

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická

# **Disertační práce**

srpen, 2017

Petr Černek

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická  
Katedra elektrotechnologie

# **METODY ZÍSKÁVÁNÍ A HODNOCENÍ VSTUPNÍCH DAT PRO ANALÝZU RIZIK**

**Disertační práce**

**Petr Černek**

Praha, srpen, 2017

Doktorský studijní program: P 2612 Elektrotechnika a informatika  
Studijní obor: 2602V009 Elektrotechnologie a materiály

**Školitel: doc. Ing. Jan Urbánek CSc.**

# Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou disertační práci vypracoval samostatně a v předložené práci důsledně citoval použitou literaturu.

Specifikace autorského podílu:<sup>1</sup>

Předložená disertační práce a prezentované výsledky vznikly bez autorské spoluúčasti jiných osob.

Jičíně dne 21. 8. 2017

.....

Podpis

---

<sup>1</sup> V případě, že některé části disertace vznikly ve spoluautorství s jinými osobami, doktorand slovně specifikuje svůj podíl.

Spoluautorem se rozumí osoba, která tvůrčím způsobem přispěla ke vzniku disertace, např. návrhem studií a pokusů a jejich provedením, přispěla k analýze, interpretaci, teoretickému zpracování či modelování dat, podílela se na návrhu a realizaci experimentálních zařízení nebo se podílela na sepsání disertace.

V opačném případě doktorand uvede: „Předložená disertační práce a prezentované výsledky vznikly bez autorské spoluúčasti jiných osob.“

## **Poděkování**

Děkuji mým rodičům, díky nimž jsem tuto práci mohl začít psát, a děkuji i mé manželce za neustálé motivování a trpělivost, díky níž jsem mohl tuto práci dokončit.

Dále děkuji mému školiteli doc. Ing. Janu Urbánkovi CSc. za odborné vedení a cenné rady, které mě nasměrovaly k této podobě mé disertace.

## **Anotace:**

Tato práce se zabývá vstupními daty pro analýzu rizik. V úvodu představuje důvody výzkumu, dnešní stav oboru a hypotézu této práce, stanovenou během odborné rozpravy. „Neexistují vhodné metody sběru a hodnocení dat pro analýzu rizik.“ Dále předkládá otázky, na které má tato práce odpovědět.

Druhá kapitola definuje důležité pojmy. Kapitola třetí představuje pojem rizikologie, ukazuje vzájemnou provázanost mezi inženýrstvím rizik, spolehlivostí a jakostí. Pochopení této provázanosti je zásadní pro správné používání postupů a metod užívaných při řízení rizik, spolehlivosti a jakosti.

Dále se tato práce věnuje analýze rizik, skládající se z identifikace a kvantifikace nebezpečí a kvalifikace rizik. To se děje v kapitole 4. Zde jsou popsány rizika v životním cyklu produktu (kapitola 6) a vybrané metody analýzy spolehlivosti vhodné i pro analýzu rizik se zaměřením na potřebná vstupní data (kapitola 5).

Nejdůležitější část práce pojednává o samotných vstupních datech. Možnosti jejich získávání jsou velice důležité pro analýzu, protože nám zároveň napovídají i některé způsoby jejich vyhodnocování. Proto kapitoly 7 a 8 pojednávají o metodách návrhu nového produktu, jmenovitě se jedná o metodiku Design for Six Sigma a metodu Bran a fází (kapitola 7), respektive o metodách využívaných při výrobě a provozu produktu, jako jsou metody Problem Solving (8D report, A3 Problem Solving atd.) a metodika Lean Six Sigma (kapitola 8). Všechna data mají určitou kvalitu (přesnost, úplnost, aktuálnost atd.), kterou je nutno při analýze rizik vyhodnotit a zohlednit.

Poslední kapitola tedy ukazuje možnost hodnocení kvality zdrojů vstupních dat pro analýzu rizik pomocí hodnotícího vektoru kvality zdroje dat. V závěru práce jsou shrnuty předchozí kapitoly, popsány přínosy práce a nastíněny další možné směry výzkumu.

## **Klíčová slova:**

Analýza rizik, Data, MSA, Problem solving, Lean Six Sigma, DFSS, Vektor kvality dat

## **Summary:**

This thesis deals with input data for risk analysis. The opening introduces the reasons for research, the current condition of the field and the hypothesis of this thesis stated during expert discussion. “There are no suitable methods of collecting data and evaluation of data for risk analysis.” It also presents questions that are to be answered in the thesis.

Second chapter defines important terms. The third chapter introduces the term riskology. It shows interconnections between engineering of risks, reliability and quality. The understanding of these interconnections is essential for right usage of processes and methods used for controlling risks, reliability and quality.

In chapter 4 is dealt with the risk analysis that is composed of hazard identification, hazard qualification and risk quantification. The thesis also describes possible risks of manufacturing (product) life cycle (Chapter 6) and presents some reliability analysis methods suitable for risk analysis focused on necessary input data (Chapter 5).

The most important parts of the thesis are chapters about the input data themselves. Options for obtaining them are very important for this dissertation, because they also indicate some possibilities for their evaluation. That is why chapters 7 and 8 deal with methods of new product design, namely the methods of Design for Six Sigma and Phase (Stage) - Gate (Chapter 7), or more precisely methods used for production and operation of the product, such as Problem Solving (8D report, A3 Problem Solving etc.) or the methods of Lean Six Sigma (Chapter 8). All data have some qualities (accuracy, objectivity, validity, etc.), which are necessary to be evaluated and taken into account in the process of a risk analysis.

The last chapter presents the possibility of evaluation of the quality of sources of input data for risk analysis with the help of an evaluating vector (Data quality vector), which shows the quality of the sources of the data. In the end of the thesis the previous chapters are summarized, the merits of the thesis emphasized and other possible ways of the research outlined.

## **Keywords:**

Risk analysis, Data, MSA, Problem solving, Lean Six Sigma, DFSS, Data quality vector

## Obsah

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>DEFINICE ZÁKLADNÍCH POJMŮ</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>RIZIKOLOGIE</b>	<b>10</b>
3.1	MANAGEMENT RIZIK	10
3.2	INŽENÝRSTVÍ RIZIK	11
<b>4</b>	<b>ANALÝZA RIZIK</b>	<b>13</b>
4.1	IDENTIFIKACE NEBEZPEČÍ	13
4.2	KVALIFIKACE NEBEZPEČÍ	14
4.3	KVANTIFIKACE RIZIK	14
4.4	VYHODNOCOVÁNÍ RIZIK	15
<b>5</b>	<b>VYBRANÉ METODY ANALÝZY TECHNICKÝCH RIZIK</b>	<b>16</b>
5.1	PŘEDBĚŽNÁ ANALÝZA NEBEZPEČÍ (PHA)	17
5.2	SWOT ANALÝZA	18
5.3	ANALÝZA ZPŮSOBŮ A DŮSLEDKŮ PORUCH (FMEA)	19
5.4	STUDIE NEBEZPEČÍ A PROVOZUSCHOPNOSTI (HAZOP)	20
5.5	UNIVERZÁLNÍ MATICE RATINGOVÉ ANALÝZY (UMRA)	21
5.6	ANALÝZA RIZIK POMOCÍ UML	23
5.7	ANALÝZA STROMU PORUCHOVÝCH STAVŮ (FTA)	24
5.8	ANALÝZA STROMU UDÁLOSTÍ (ETA)	26
5.9	ANALÝZA VZTAHU PŘÍČINA-NÁSLEDEK (CCA)	27
5.10	ANALÝZA PŘÍČIN A DŮSLEDKŮ (CEA)	28
5.11	MARKOVOVA ANALÝZA (MA)	29
5.12	ANALÝZA TYPU MOTÝLEK	31
5.13	MYŠLENKOVÉ MAPY	32
5.14	STRUKTUROVANÉ A SEMISTRUKTUROVANÉ ROZHOVORY	33
5.15	TECHNIKA DELPHI	34
5.16	ANALÝZA LIDSKÉ SPOLEHLIVOSTI (HRA)	34
<b>6</b>	<b>ŽIVOTNÍ CYKLUS PRODUKTU</b>	<b>36</b>
6.1	FÁZE SPECIFIKACE - SPECIFIKOVANÁ RIZIKA	36
6.2	FÁZE VÝVOJE - VPROJEKTOVANÁ RIZIKA	37
6.3	FÁZE VÝROBY - INHERENTNÍ RIZIKA	37
6.4	FÁZE PROVOZU - PROVOZNÍ RIZIKA	37
6.5	FÁZE UKONČENÍ PROJEKTU - RIZIKA UKONČENÍ PROJEKTU	38
<b>7</b>	<b>METODY VYUŽÍVANÉ PŘI VÝVOJI NOVÉHO PRODUKTU</b>	<b>39</b>

<b>7.1</b>	<b>METODA „FÁZÍ A BRAN“ (<i>PHASE(STAGE)-GATE</i>)</b>	<b>39</b>
<b>7.2</b>	<b>METODIKA DESIGN FOR SIX SIGMA</b>	<b>41</b>
<b>8</b>	<b><u>METODY VYUŽÍVANÉ PŘI VÝROBĚ A PROVOZU PRODUKTU</u></b>	<b>50</b>
<b>8.1</b>	<b>PROBLEM SOLVING</b>	<b>50</b>
<b>8.2</b>	<b>LEAN SIX SIGMA</b>	<b>56</b>
<b>9</b>	<b><u>VSTUPNÍ DATA V PROCESU ANALÝZY RIZIK</u></b>	<b>66</b>
<b>9.1</b>	<b>TYPY VSTUPNÍCH DAT PRO ANALÝZU RIZIK</b>	<b>68</b>
<b>9.2</b>	<b>ANALÝZA SYSTÉMU MĚŘENÍ (<i>THE MEASUREMENT SYSTEM ANALYSIS – MSA</i>)</b>	<b>71</b>
<b>9.3</b>	<b>HODNOCENÍ KVALITY DAT</b>	<b>76</b>
<b>10</b>	<b><u>ZÁVĚR</u></b>	<b>80</b>
<b>10.1</b>	<b>HYPOTÉZA</b>	<b>80</b>
<b>10.2</b>	<b>STĚŽEJNÍ OTÁZKY</b>	<b>80</b>
<b>10.3</b>	<b>PŘÍNOS PRÁCE PRO OBOR A MOŽNOSTI DALŠÍHO VÝZKUMU</b>	<b>83</b>
<b>11</b>	<b><u>LITERATURA</u></b>	<b>84</b>
<b>12</b>	<b><u>SEZNAM PUBLIKACÍ DOKTORANDA</u></b>	<b>89</b>
<b>12.1</b>	<b>PUBLIKACE K TÉMATU DISERTAČNÍ PRÁCE</b>	<b>89</b>
<b>12.2</b>	<b>PUBLIKACE OSTATNÍ</b>	<b>90</b>
<b>13</b>	<b><u>SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A ROVNIC</u></b>	<b>91</b>
<b>14</b>	<b><u>SEZNAM ZKRATEK</u></b>	<b>92</b>



■ **Žádné nebezpečí se nepřekoná bez rizika.**

(latinské přísloví)

## 1 Úvod

Úvodní kapitola nastiňuje problematiku, která bude podrobněji popsána v dalších kapitolách, představuje motivaci ke vzniku této práce a pokládá otázky, na které by měla tato práce odpovědět.

Od roku 1981, kdy vyšel první článek autorů Kaplan a Garrick: *On the quantitative definition of risk* [24] definující riziko, naprosto jasně a srozumitelně jako součin pravděpodobnosti a ztráty, se oblast takzvané „rizikologie“ (viz kapitola 3 Rizikologie) značně rozvinula. Bylo napsáno mnoho publikací, vznikla řada normativních dokumentů a bylo vyvinuto či převzato mnoho metod nebo postupů, jak analýzy, tak řízení rizik. Rizikologie již není pouze vědecký, akademický obor, ale je široce rozšířena a prakticky využívaná, jak v oblasti výroby, těžby, ekonomiky, tak i zdravotnictví, vojenství a státní správy.

Veškeré publikace, samozřejmě až na výjimky (Tichý, Valjentová: *Expertí a expertízy* [50]), se zabývají vstupními daty pro analýzu rizik pouze okrajově a povrchně. Například v normě ČSN EN 31010 se u většiny metod v podkapitolách „Vstupy“ dočteme formulace jako: „...všechny dostupné informace nutné k porozumění systému, modům poruchových stavů a jejich scénářů...“ Přitom je nasnadě předpokládat, že kvalita vstupních dat přímo ovlivňuje i kvalitu analýzy rizik, a ta je základním podkladem pro řízení rizik.

Z výše popsaného důvodu byla během odborné rozpravy stanovena hypotéza, že: **„neexistují metody sběru a hodnocení dat pro analýzu rizik.“**

Bylo proto nutné se podívat, jak probíhá životní cyklus produktu, jaká data jsou v jednotlivých fázích k dispozici, jak jsou analyzována a jaký důraz se klade na jejich kvalitu.

Na prokázání velikosti vlivu kvality vstupních dat na výslednou analýzu by bylo potřeba udělat velké množství analýz různých rozsahů při použití velkého množství metod (pro představu viz kapitola 5 Vybrané metody analýzy rizik nebo norma ČSN EN 31010 [63]), což by bylo velice náročné, jak časově, tak na množství potřebných dat, odborníků, prostředků atd. Proto si tato práce neklade za cíl exaktně tuto závislost kvantifikovat. Cílem této práce je najít pro jednotlivé fáze životního cyklu vhodné metody získávání dat a zodpovědět následující otázky.

**„Jaké metody se používají při vývoji a kontrole výroby nového produktu?“**

Odpověď na tuto otázku by nám měla ukázat směr dalšího výzkumu a přiblížit jeho rozsah. Je důležité zjistit, jaký typ a jaké množství dat je potřebné pro vývoj a výrobu nového produktu, a tím pádem i dostupné pro analýzu rizik.

**„Jak jsou data získávána a jak se s nimi pracuje?“**

Při hodnocení vstupních dat pro nás nejsou důležité pouze informace, které můžeme díky těmto datům získat (hodnoty, závěry, doporučení, logické návaznosti atd.), ale i pozadí jejich získávání. Tímto pozadím je myšleno kým, za jakých okolností a jakou metodou byly získány a proč.

**„Jaké jsou základní inherentní znaky kvality dat?“ a „Lze inherentní znaky kvality vstupních dat kvantifikovat?“**

Pokud na tyto dvě otázky dokážeme odpovědět kladně, lze určit kvalitu vstupních dat. Tato kvalita by pro nás pak měla být směrodatná při selekci dat a informací pro naši analýzu rizik.

U všech předchozích otázek je nutné vzít v potaz i časový faktor, tedy jestli, případně jak, se během jednotlivých fází projektu mění typ užívaných dat, způsob jejich získávání a možnost kvantifikace jejich kvality pomocí inherentních znaků. Je tedy potřeba odpovědět na otázku: **„Jak ovlivňuje časový faktor vstupní data?“**

## 2 Definice základních pojmů

V této kapitole jsou definovány významy pojmů, které se sice v běžném jazyce často vyskytují a užívají, ale jejichž přesný význam je nutný ke správnému pochopení této práce a rizikologie obecně. Pokud není uvedeno jinak, je použito názvosloví z publikace Ovládání rizika: Analýza a management od prof. Tichého [49].

**Analýza rizika** [*risk assessment*] ■ proces pochopení povahy rizika a stanovení úrovně rizika [63][62].

**Bezpečnost** [*safety*] ■ stav, kdy jsou na nejnižší možnou míru eliminovány hrozby pro objekt a jeho zájmy [55].

**Bezporuchovost** [*reliability*] ■ schopnost objektu udržet si svou definovanou funkčnost a to nepřetržitě, po určený čas a za daných podmínek [58].

**Chyba** [*error*] ■ Nesoulad mezi počítanou, pozorovanou nebo naměřenou hodnotou nebo podmínkou a skutečnou definovanou nebo teoreticky správnou hodnotou nebo podmínkou [58].

**Čisté riziko** [*downside risk*] ■ riziko, jehož realizace je pro Osobu, která jej hodnotí, vždy nepříznivá.

**Expert** ■ Osoba, která je uznávaným odborníkem v konkrétním oboru, má teoretické i praktické zkušenosti, a dále se v oboru vzdělává [50].

**Expertiza** [*expertise*] ■ souhrn činností, kterým se získávají a analyzují podklady pro rozhodování na základě výroků jednoho nebo více expertů [50].

**Jakost, Kvalita** [*quality*] ■ stupeň splnění požadavků souborem inherentních znaků [66].

**Jev** [*effect*] ■ souhrn skutečností zobrazujících ucelenou nebo uceleně popsanou část objektivní reality.

**Jistota** [*certitude*] ■ všechny skutečnosti jsou jednoznačně dané a výsledek se nemůže odchýlit od předpokladu.

**Metrika** [*metric*] ■ Metrika je konkrétně definovaná metoda měření a definovaný rozsah měření [68].

**Nebezpečí** [*hazard*] ■ reálná hrozba poškození objektu či procesu.

**Nejistota** [*uncertainty*] ■ všechny skutečnosti nejsou jednoznačně dané, ale výsledek či jeho pravděpodobnost lze odhadnout.

**Neurčitost** [*indeterminacy*] ■ skutečnosti nejsou jednoznačně dané a výsledek či jeho pravděpodobnost nelze odhadnout.

**Objekt** [*facility*] ■ ucelený a vymezený technický, ekonomický nebo jiný systém tvořený prvky hmotné a/nebo nehmotné povahy.

**Odhad rizika** [*risk estimate*] ■ hodnota dohodnuté veličiny, kterou se vyjadřuje riziko, stanovené analytickým nebo empirickým postupem.

**Opravitelnost** [*reparability*] ■ způsobilost k zjišťování poruch a odstraňování následujících poruchových stavů opravou [58].

**Osoba** [*person*] ■ obecné označení pro jednotlivce, skupinu lidí, organizaci, fyzickou či právnickou osobu. Pokud je v textu uvedeno s velkým počátečním písmenem je použito v tomto obecném smyslu.

**Ovládání rizika** [*risk governance*] ■ souhrn všech organizovaných činností směřujících ke zmenšení nebo stabilizaci hodnoty portfolia rizik.

**Portfolio rizik** [*risk portfolio*] ■ souhrn dílčích rizik projektu. V portfoliu se nalézají čistá i spekulativní rizika.

**Porucha** [*failure*] ■ ukončení schopnosti objektu plnit požadovanou funkci [58].

**Poruchový stav** [*fault*] ■ stav objektu charakterizovaný neschopností plnit požadovanou funkci, kromě neschopnosti během preventivní údržby, jiných plánovaných činnostech nebo způsobené nedostatkem vnějších zdrojů [58].

**Proces** [*process*] ■ souhrn činností nebo skutečností probíhajících v čase; na proces lze hledět jako na objekt v čase [1].

**Produkt** [*product*] ■ obecný název pro výrobek, službu nebo výrobní systém, tj. výsledek projektu.

**Projekt** [*project*] ■ dočasné úsilí s cílem vytvořit, za určitý čas a při využití daných zdrojů, unikátní produkt.

**Riziko** [*risk*] ■ vliv nejistoty na dosažení stanovených cílů [12]. ■ účinek nejistoty na dosažení cílů [62].

**Riziková situace** [*risk exposure*] ■ souhrn skutečností, které vyvolávají zatížení projektu nebezpečím a rizikem.

**Riziková tolerance** [*risk tolerance*] ■ maximální ztráta, kterou je organizace schopná unést, aniž by došlo k ohrožení jejího rozpočtu.

**Rizikový faktor** [*risk drive, risk factor*] ■ jev, skutečnost, popř. okolnost, která vyvolává nebo zvětšuje nebezpečí, popř. riziko, popř. podmiňuje jejich vznik.

**Scénář nebezpečí** [*hazard scenario*] ■ způsob realizace nebezpečí a s ním související projevy poškození objektu či projektu.

**Skladovatelnost** [*storability*] ■ doba skladování za stanovených podmínek, po jejímž uplynutí udrží objekt schopnost plnit svou funkci. (autorova definice)

**Spekulativní riziko** [*upside risk*] ■ riziko, jehož realizace může být pro Osobu, která jej hodnotí, příznivá.

**Spolehlivost** [*dependability*] ■ souhrnný termín používaný pro popis pohotovosti a činitelů, které jí ovlivňují, tj. bezporuchovosti, udržovatelnosti a zajištěnosti údržby [58]. ■ schopnost objektu zachovat si požadované vlastnosti za stanovených podmínek po určitý časový úsek [33].

**Systém** [*system*] ■ složená entita na libovolné úrovni složitosti skládající se z pracovníků, postupů, materiálů, nástrojů, zařízení, vybavení a softwaru; prvky této složené entity se používají v zamýšleném prostředí provozu a zajištěnosti společně, aby prováděly daný úkol, nebo aby dosáhly specifického cíle [61].

**Škoda** [*damage*] ■ majetková újma vyjádřená obvykle v peněžních jednotkách.

**Událost** [*event*] ■ definovaná realizace jevu.

**Udržovatelnost** [*maintainability*] ■ schopnost objektu v daných podmínkách používání, setrvat nebo se vrátit do stavu, v němž může plnit požadovanou funkci [58].

**Újma** [*harm*] ■ souhrnný výraz pro hmotné, fyzické, majetkové, zdravotní nebo jiné poškození.

**Vada** [*defect*] ■ nesplnění požadavku ve vztahu k zamýšlenému nebo specifikovanému použití [66].

**Zajistitelnost údržby** [*maintenance support*] ■ schopnost organizace zajišťovat, dle požadavků, v daných podmínkách, prostředky potřebné pro údržbu [58].

**Zdroj nebezpečí** [*hazard source*] ■ antropogenní nebo přírodní činitel, který je průvodcem nebezpečí, z jehož činnosti nebo nečinnosti vyplývají nebezpečí ohrožující projekt.

**Zranitelnost** [*vulnerability*] ■ nepříznivá vlastnost Osob, projektů, procesů, objektů, která spočívá v tom, že mohou být poškozeny realizací nebezpečí.

**Životnost** [*durability*] ■ schopnost objektu vykonávat požadovanou funkci v daných podmínkách používání a údržby do dosažení mezního stavu.

### 3 Rizikologie

Tato kapitola popisuje pojem rizikologie, zmiňuje se o oblastech její působnosti a zdůrazňuje, proč je pro nás, společně s jakostí a spolehlivostí, tolik důležitá. Dále obsahuje dvě podkapitoly, které krátce popisují disciplíny rizikologie, tj. management rizik a inženýrství rizik.

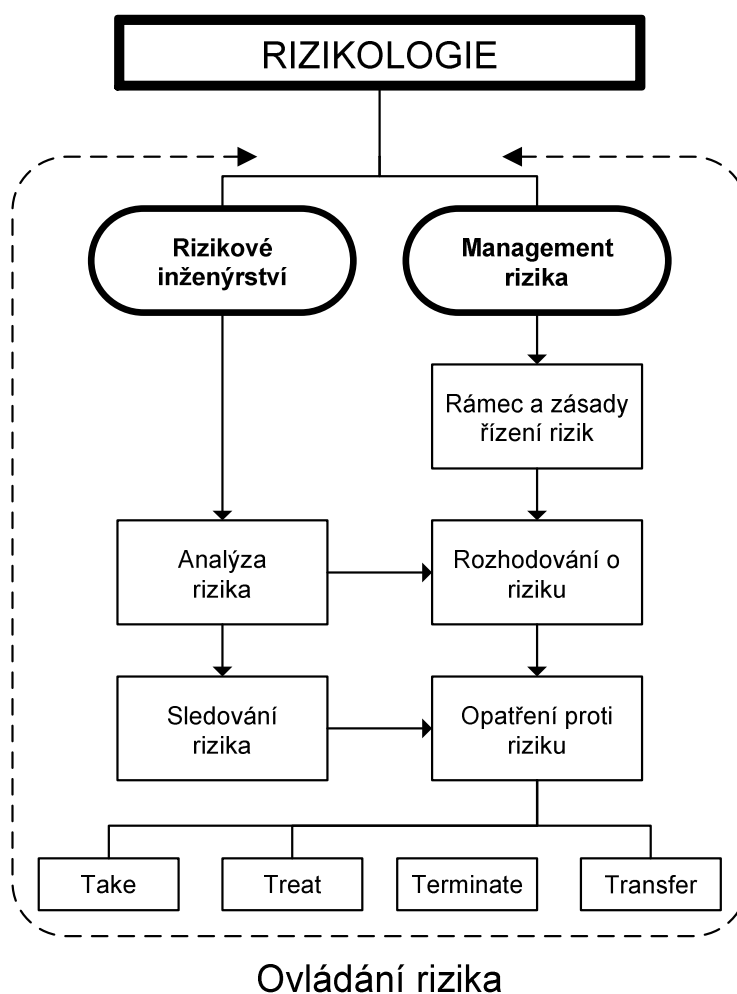
Rizikologie, jak ji definoval profesor Tichý ve své monografii Ovládání rizika, je „nauka či věda o riziku“, která se zabývá „uvědomělým a řízeným konáním směřujícím k optimalizaci života Osob v nejširším slova smyslu.“. Jejím hlavním cílem je: „Intuitivní rozhodování nahradit nebo alespoň doplnit rozhodováním založeným na systematickém přístupu k jevům, dějům a událostem, které se staly nebo se očekávají. [49]“

Z výše uvedeného je zřejmé, že vědomosti rizikologie, potažmo managementu a inženýrství rizik, lze aplikovat ve všech oblastech lidské činnosti. Pro nás je samozřejmě nejzajímavější oblastí technika, přesněji řečeno výroba, provoz a distribuce elektrotechnických zařízení a elektrické energie.

Dřívější, technologicky jednoduché, relativně snadno ovladatelné, výroby a projekty měly v sobě jaksi „instinktivně“ zakódované prvky řízení spolehlivosti, jakosti (kvality) a rizik. S rozvojem vědy a techniky se rozvíjely i technologické postupy výroby. Složitost výrobních procesů rostla a nároky na jejich řízení byly čím dál tím větší. Takto vznikla nutnost vědomě a cíleně řídit a zlepšovat spolehlivost, kvalitu a omezovat rizika těchto výrob. Proto také byly vypracovány metody managementu výroby, díky nimž lze dnešní technologicky náročné produkty vyrábět kvalitně, spolehlivě a bezpečně. A to v nejkratším možném čase, s nejnižšími možnými náklady [12].

#### 3.1 Management rizik

První ze dvou disciplín rizikologie, management rizik, se zaměřuje zvláště na stránky řízení a ekonomiky organizací, s ohledem na nejistoty nebo neurčitosti. Dominuje zde ekonomický přístup k problémům. Základní činnosti managementu rizik lze vidět v příslušné větvi na obrázku 1. Z něho vyplývá, že management rizik přejímá od inženýrství rizik výsledky analýz a doporučení. Management rizik předává inženýrství rizik podněty a požadavky, stanovuje politiku, rámec a zásady řízení rizik, rozhoduje o riziku a vybírá vhodná opatření proti riziku. Podrobněji se managementem rizik zabývají například publikace Fuchs; Vališ: Metody analýzy a řízení rizika [17], Tichý: Ovládání rizika: Analýza a management [49] a ČSN ISO 31000: Management rizik: Principy a směrnice [62].



Obrázek 1: Rizikologie a její dvě hlavní disciplíny dle [49].

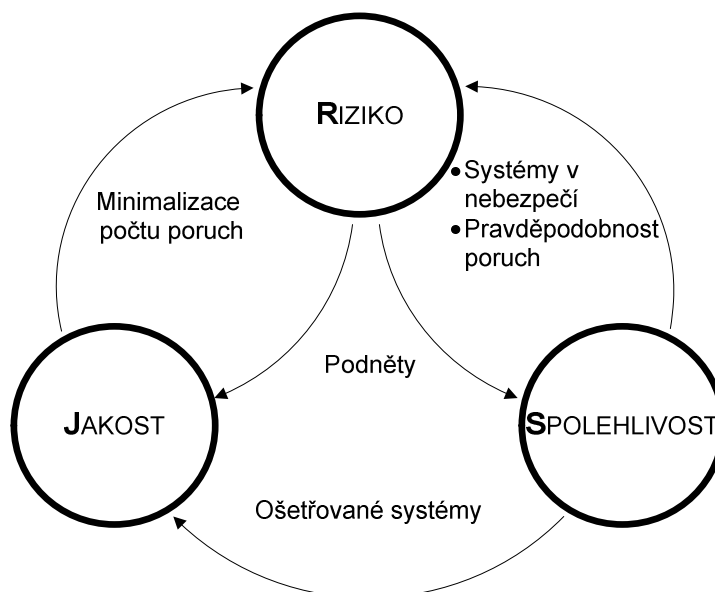
### 3.2 Inženýrství rizik

Obecně je inženýrství rizik považováno za podřízené managementu rizik, v některých ohledech je tomu skutečně tak. Je však nutné si uvědomit, že bez vědomostí, postupů a přístupů rizikového inženýrství by nebyla možná analýza rizik a jejich management by postrádal smysl.

V inženýrství rizik, stejně jako v inženýrství elektrotechnickém, stavebním, strojním, dopravním atd., se využívá exaktních vědních disciplín. U rizikového inženýrství převládají prvky matematického modelování, pravděpodobnostních analýz, statistické matematiky, věd technických, fyzikálních a environmentálních. Pokud se zabýváme působením rizik na člověka je nutno brát v úvahu prvky psychologie, anatomie a jiných medicínských věd.[49]

Inženýrství rizik (**R**) má velice blízko k inženýrství spolehlivosti (**S**) a jakosti (**J**). Mnohé postupy a metody jsou ve všech třech oborech společné či se doplňují. V některých ohledech jsou hranice téměř nezatelné a cíle podobné (blízké). Zejména v menších organizacích mívají pouze jedno oddělení zabývající se těmito oblastmi. Nazývá-li se jakkoliv, pokud vykonává vše potřebné, aby procesy organizace byly kvalitní, spolehlivé a jejich rizika minimalizována, není to nijak na škodu. Jak by v ideálním případě měly jednotlivé obory

inženýrství fungovat, ukazuje takzvaný R-S-J trojúhelník. Tento trojúhelník použil prof. Tichý ve své knize Ovládání rizika [49]. Zde na obrázku 2 je doplněná a graficky pozměněná verze.



Obrázek 2: Trojúhelník souvislosti inženýrství rizik, spolehlivosti a jakosti.

Spolehlivostní inženýrství předává inženýrství rizik informace o systémech v nebezpečí či představujících nebezpečí, o možných scénářích nebezpečí, pravděpodobnosti realizace těchto scénářů a doporučených postupech k jejich zamezení nebo omezení. Kvalita od spolehlivosti očekává informace o systémech, které je potřeba ošetřit. K získání těchto informací využívá poznatků teorie spolehlivosti.

Od inženýrství kvality se očekává udržování a kontrola jakosti procesů, objektů atd. Informace o nepříznivých událostech, opatřeních a doporučeních předává inženýrství rizik.

Inženýrství rizik pak z veškerých dostupných informací provádí vlastní analýzy, sestavuje mapy rizik, doporučuje postupy vedoucí k omezení rizik a dále rizika sleduje. Inženýrství rizik dává kvalitě a spolehlivosti podněty, jaké informace potřebuje zjistit, zpřesnit nebo ověřit, které zásahy je třeba provést a jaké postupy změnit, přidat nebo odstranit [12], [49].



## 4 Analýza rizik

Abychom mohli rizika řídit a pokud možno ovládat, je nutné provést jejich analýzu. Analýza spočívá v identifikaci a kvalifikaci nebezpečí a kvantifikaci rizika. O těchto krocích analýzy rizik pojednává tato kapitola. K těmto účelům byly vyvinuty nebo převzaty, například z inženýrství spolehlivosti a kvality, různé metody analýzy. Volba vhodné techniky analýzy je první a velice důležitý krok rozhodující o úspěchu či neúspěchu snažení rizika ovládat, proto se vybraným metodám analýzy rizik věnuje následující kapitola.

Analýza rizik může probíhat apriori, tedy předem, bez ověření [3], nejčastěji ve fázi vývoje jako kvalifikovaný odhad, nebo aposteriori, tedy na základě zkušeností [3], nejčastěji po poruše či havárii během zavádění či provozu produktu.

### 4.1 Identifikace nebezpečí

Identifikace nebezpečí je první, nejdůležitější a zároveň nejtěžší část celé analýzy rizik. Pokud správně a v plném rozsahu neurčíme možná nebezpečí, nelze provést jejich kvalitní a přesnou kvalifikaci a kvantifikaci rizik. Tím i jejich analýza nemůže dosahovat požadované kvality a ztrácí na věrohodnosti. Při identifikaci nebezpečí libovolného projektu či systému odpovídáme na otázku: „Jaké poruchy mohou ve vyšetřovaném objektu nebo procesu vzniknout? [49]“ Odpovědi lze nalézt během zkoumání „životních etap“ projektu či produktu. Podle těchto etap lze rozdělit rizika na následující:

- a) **Specifikovaná rizika** – v první etapě se určuje koncepce projektu (co a jak je třeba udělat pro úspěch projektu). Specifikují se procesy, jejich předpokládaná spolehlivost, stanovuje se přijatelná míra rizika a určují se prvotní zřejmá rizika.
- b) **Vprojektovaná rizika** – realizace specifikovaných procesů, spolehlivostí a technických řešení projektů (systému) při vývoji, návrhu a konstrukci, tj. „vprojektování“ požadované úrovně rizik. Schválená technická specifikace pro vývoj, návrh či konstrukci, musí obsahovat schválenou nomenklaturu ukazatelů nebezpečí a jejich cílové hodnoty pro specifikované funkční a provozní podmínky. K tomu je nezbytné využívat informace o rizicích předchozích projektů, systémů, jejich subsystémů a částí. K tomu se využívají například níže popsané metody analýz.
- c) **Inherentní rizika** – realizace vprojektované úrovně rizik v etapě výroby, instalace, nastavování a odzkoušení. Jejím základem jsou prostředky a postupy řízení, zabezpečování a zlepšování jakosti procesů. V této fázi je nezbytné využívat informační systém rizik v návaznosti na hodnocení provozních rizik, např. předešlých projektů, výrob, jejich komponent atd.
- d) **Provozní rizika** – zjišťování, sledování a hodnocení realizací rizik při provozu. V této etapě hraje významnou úlohu sběr informací a dat, jejich zpracování a vyhodnocení informačním systémem spolehlivosti.

- e) **Rizika ukončení projektu** – při ukončení projektu, např. rušení výroby, odstraňování zastaralého hardwaru nebo softwaru, se opět vyskytují specifická rizika, zvláště ekologická a finanční. Například, u již zmíněného rušení výroby, je třeba morálně zastaralé a poškozené stroje ekologicky zlikvidovat, ostatní výrobní prostředky prodat nebo znovu využít v další výrobě. Personál je nutné přeškolit na nové pozice, či výrobní stroje atd. [12].

## 4.2 Kvalifikace nebezpečí

Při kvalifikaci nebezpečí posuzujeme nebezpečné události, mechanismy jejich vzniku, projevy a následky. Lze stanovit rizikový model systému, tj. grafický, matematický či jiný popis struktury systému rizik. Kvalifikace se provádí pomocí dvou možných přístupů, a to buď deduktivně anebo induktivně. Některé metody analýzy umožňují tyto přístupy kombinovat.

U deduktivních metod známe nebo definujeme typické poruchy či následky nebezpečných událostí a hledáme jejich možné příčiny. Pravděpodobnost vzniku těchto příčin a jejich možnou souslednost analyzujeme a zjišťujeme, jak je možno četnost a následky co nejvíce omezit. Typickou deduktivní metodou jsou Analýza stromu poruchových stavů (kapitola 5.7) a Analýza příčin a důsledků (kapitola 5.10).

Induktivní metody fungují právě opačně, tj. po zjištění možných kořenových příčin zjišťujeme jejich pravděpodobné následky. Opět se snažíme co nejvíce omezit nejčastější a nejrizikovější následky. Induktivní přístup využívají například metody Analýza způsobů a důsledků poruch (kapitola 5.3) a Analýza stromu událostí (kapitola 5.8).

Metody kombinující oba přístupy, jako například Analýza vztahu příčina-následek (kapitola 5.9) a Analýza typu motýlek (kapitola 5.12), využívají výhod obou přístupů. Jako u většiny hybridních metod a přístupů mají však i nevýhody, a to buď přílišnou komplexnost (Analýza vztahu příčina-následek využívaná hlavně pro jaderné elektrárny) nebo přílišné zjednodušení (Analýza typu „motýlek“ zjednodušené zobrazení rizik při tvorbě business plánů).

## 4.3 Kvantifikace rizik

Kvantifikace je většinou číselné ohodnocení získaných či odhadnutých údajů popisujících riziko. Hodnoty potřebné ke kvantifikaci lze získat:

- a) **Analytickým odhadem** – pomocí statistiky a pravděpodobnosti se odhadnou potřebné údaje a vypočte se míra rizika. Pokud vezmeme riziko „...jako kombinaci pravděpodobnosti a škody [49]“, lze, po zjednodušení, celkové riziko  $R_s$  hrozící určitému systému v čase  $t$ , v prostoru  $\omega$ , stanovit jako:

$$R_S = \sum_{i=1}^n Dm_i \cdot \bar{P}_i$$

Rovnice 1: Kvantifikace rizik systému analytickým odhadem dle [49]

Kde  $Dm_i$  je škoda vzniklá realizací rizika v jednotkách určených vlastníkem rizik nebo analytikem.  $\bar{P}_i$  je pravděpodobnost realizace rizika.

- b) **Empirickým odhadem** – hodnoty pro kvantifikaci získává řešitel analýzy na základě znalostí a zkušeností svých nebo týmu odborníků. Pomocí těchto hodnot lze spočítat některý z indexů ukazující míru rizika. Těmito indexy se blíže zabývají Fuchs; Vališ: *Metody analýzy a řízení rizika* [17], O'Connor, Newton, Bromley: *Practical Reliability Engineering* [34] a Tichý: *Ovládání rizika: Analýza a management* [49].

#### 4.4 Vyhodnocování rizik

Vyhodnocení analýzy rizik je vždy závislé na požadavcích (normativních, regulačních atd.), na zvyklostech a použité metodě. Běžně je toto vyhodnocení nazýváno mapa rizik a obsahuje možné příčiny a následky realizace rizikové události (kapitola 4.2), vyhodnocení míry rizika (kapitola 4.3), tj. pravděpodobnost vzniku a závažnost následků. Dalšími body, které můžeme nalézt v mapě rizik, jsou způsoby detekce vzniku nebezpečné události či „bariéry“ pro zastavení šíření rizik. Jak bylo řečeno výše, obsah a forma je závislá na více faktorech. Nejčastěji se používá mapa rizik ve formě tabulky, či grafu.

Typickými příklady metod využívajících mapy rizik v podobě tabulky jsou metody Analýza způsobů a důsledků poruch FMEA (kapitola 5.3), Universální matice ratingové analýzy (kapitola 5.5) či SWOT analýza (kapitola 5.2). Pomocí grafů vyhodnocují rizika například metody Analýza rizik pomocí UML (kapitola 5.6), Analýza stromu poruchových stavů FTA (kapitola 5.7), Analýza vztahu příčina-následek CCA (kapitola 5.9), Markovova analýza (kapitola 5.11) nebo Analýza typu motýlek (kapitola 5.12).

## 5 Vybrané metody analýzy technických rizik

Při volbě vhodných technik nebo jejich kombinací pro zadanou analýzu, je nutné brát v potaz mnoho kritérií. Ke kritériím patří složitost a dělení analyzovaného systému, znalost problematiky (známe následky poruch a potřebujeme znát jejich příčiny či naopak), požadovaná hloubka a složitost analýzy, dostupné zdroje a to jak lidské, tak finanční, místní zvyklosti, předpisy, normy a zákony.

Celá tato kapitola čerpá informace z publikací Černek: Analýza rizik v elektrotechnické výrobě [12], Mykiska: Spolehlivost technických systémů [33] a ČSN EN 31010: Management rizik: Techniky posuzování rizik [63], jejichž obsah zde také cituje a parafrázuje.

V níže uvedeném seznamu jsou uvedeny v praxi nejužívanější metody analýzy spolehlivosti a rizik. Dělení jednotlivých technik do skupin je převzato z normy ČSN EN 31010 [63] a doplněno o metody v normě neuváděné:

### 1. Vyhledávací metody

- a. Předběžná analýza nebezpečí (PHA - *Preliminary Hazard Analysis*)
- b. SWOT analýza (*Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats Analysis*)
- c. Kontrolní seznamy (*Check-lists*)

### 2. Analýza funkce

- a. Analýza způsobů a důsledků poruch (FMEA - *Failure Modes and Effects Analysis*)
- b. Analýza parazitních jevů (obvodů) (SCA - *Sneak (Circuit) Analysis*)
- c. Studie nebezpečí a provozuschopnosti (HAZOP - *HAZard and OPerability Studies*)
- d. Analýza nebezpečí a kritické kontrolní body (HACCP - *Hazard Analysis and Critical Control Point*)
- e. Údržba zaměřená na bezporuchovost (RCM - *Reliability Centred Maintenance*)
- f. Univerzální matice ratingové analýzy (UMRA- *Universal Matrix of Rating Analysis*)
- g. Analýza rizik pomocí UML
- h. Petriho sítě (*Petri Nets*)

### 3. Analýza scénáře

- a. Analýza stromu poruchových stavů (FTA - *Fault Tree Analysis*)
- b. Analýza stromu událostí (ETA - *Event Tree Analysis*)
- c. Analýza vztahu příčina-následek (CCA - *Cause-Consequence Analysis*)
- d. Analýza příčin a důsledků (CEA - *Cause-and-Effect Analysis*)
- e. Analýza kořenových příčin (RCA - *Root Cause Analysis*)
- f. Analýza scénáře (*Scenario Analysis*)

- g. Analýza dopadů na podnikání (BIA - *Business Impact Analysis*)

#### 4. Statistické metody

- a. Markovova analýza (MA - *Markov Analysis*)
- b. Analýza Monte Carlo (*Monte Carlo Simulation*)
- c. Bayesovská analýza (*Bayesian Analysis*)

#### 5. Analýza bezpečnostních prvků

- a. Analýza ochranných vrstev (LOPA - *Layers Of Protection Analysis*)
- b. Analýza typu motýlek (*Bow Tie Analysis*)

#### 6. Podpůrné metody

- a. Myšlenkové mapy (*Mind Maps*)
- b. Strukturované a semistrukturované rozhovory ((*Semi-*)*Structured Interviews*)
- c. Brainstorming, Writestorming
- d. Technika Delphi (*Delphi Technigue*)
- e. Strukturovaná „What-If“ technika (SWIFT - *Structured „What-IF“ Technique*)
- f. Analýza lidské spolehlivosti (HRA - *Human Reliability Assessment*)
- g. Analýza rozhodovacího stromu (*Decision Tree Analysis*)

Další podkapitoly stručně popisují vybrané metody analýzy rizik. Stručný popis je vždy zakončen doporučenými vstupními daty dle autora (autorů) nebo dle ČSN EN 31010.

### 5.1 Předběžná analýza nebezpečí (PHA)

Jedná se o induktivní metodu analýzy rizik. Metoda se používá v raném stádiu projektu, kdy nejsou k dispozici veškeré podrobnosti a slouží jako výchozí bod pro další specifikace návrhu. Jejím cílem je identifikace nebezpečných situací a událostí, které mohou způsobit škodu.

Vzhledem k nedostatku detailních informací analýza provádí pouze tyto kroky nebo jejich kombinace:

1. Provádí se kvalitativní analýza následků realizací identifikovaných nebezpečí.
2. Stanovuje se pravděpodobnost výskytu těchto nechtěných událostí.
3. Sestavují se seznamy nebezpečí, nebezpečných situací či rizik.

To vše se odehrává s ohledem na plánované použité či vyrobené materiály, polotovary, výrobky, použitá zařízení, provozní prostředí, systémy a rozhraní mezi nimi atd. Důležitá je aktualizace identifikovaných nebezpečí a rizik a provedení opatření k jejich omezení, ihned po upřesnění či změně návrhu nebo jako reakci na výsledky zkoušek.

Výstupem této analýzy jsou již zmíněné seznamy, nebezpečí a rizik, a doporučení pro prvky řízení rizik, specifikace návrhu a další podrobné posouzení vybraných problémů.

Metoda je vhodná pro všechny výrobní procesy užívané v elektrotechnické výrobě, zvláště pro rizikové provozy. Jelikož PHA poskytuje pouze předběžná data a neposkytuje podrobné informace o rizicích a nebezpečích, užívá se hlavně jako doplněk podrobnějších a přesnějších analýz typu FMEA, HAZOP nebo FTA.

V těchto fázích je k dispozici málo informací o systému, technologických postupech a procesech, a proto jsou důležité všechny dostupné podrobnosti návrhu, zkušenosti z předchozích projektů a to jak vlastních, tak i konkurenčních.

## 5.2 SWOT analýza

V šedesátých letech 20. století navrhl tuto universální analytickou techniku Albert Humphrey. Pojmenování SWOT vzniklo jako akronym anglických slov Strengths, Weaknesses, Opportunities a Threats.

Při této analýze zainteresované osoby hodnotí silné (Strengths) a slabé stránky (Weaknesses), tj. vnitřní vlivy, příležitosti (Opportunities) a hrozby (Threats), tj. vnější vlivy, které ovlivňují rozhodování o dalších aktivitách, zajišťujících splnění cílů. Tyto faktory se zapíší do SWOT tabulky a v některých případech, kde není důležité se zabývat interakcemi, může být tato tabulka výsledkem analýzy (příklad této analýzy je na obrázku 3: SWOT analýza projektu užití paralelního síťového kondicionéru v praxi). Většinou se ale provádí i další krok, ve kterém se v matici ohodnotí vzájemné interakce činitelů. Hodnocení může být slovní nebo znaky (+, -).

Správně (špatně) provedená SWOT analýza může mít zásadní vliv při dalším směřování projektu, organizace či podniku.

Vstupem do analýzy mohou být všechny relevantní informace o zkoumaných stránkách projektu, podniku, výrobku. [63]

SWOT analýza paralelního harmonického kondicionéru	
Silné stránky	Slabé stránky
Kompenzace harmonických složek proudu	Relativně složité řídicí algoritmy
Selektivní kompenzace harmonických	Nároky na hardware
Selektivní kompenzace jalového výkonu a střídavé složky činného výkonu	Při neselektivní kompenzaci je jmenovitý výkon měniče stejného řádu jako výkon zátěže
Kompenzace proudové nesymetrie	Trvalý aktivní provoz - opotřebení
Lze provozovat ve tří i čtyřvodičové síti	Nezanedbatelné spínací ztráty
Kompenzace proudu jen ze zvolené zátěže - nehrozí přetížení	Nutnost filtračních (oddělovacích) tlumivek
Tlumení rezonance vedení	
Příležitosti	Hrozby
Řídicí algoritmy lze využít i pro řízení usměrňovač	Vysoko frekvenční rušení
Lze kombinovat s dalšími prostředky a tím snížit náklady na provoz i počáteční investici	Amplituda napětí v síti musí být nižší než je napětí ve stejnosměrném obvodu
Pro vysoká napětí lze použít také víceúrovňoví měnič	Časově proměnná zátěž
Lze kombinovat se sériovým AHC	Pro vyšší napětí je nutný oddělovací transformátor
Řízením odběru jalového výkonu lze omezit poklesy napětí	

Obrázek 3: SWOT analýza projektu užití paralelního síťového kondicionéru v praxi.[7]

### 5.3 Analýza způsobů a důsledků poruch (FMEA)

FMEA vznikla ve čtyřicátých letech minulého století pro potřeby armády spojených států (US Military), která jí v roce 1949 zveřejnila v normě MIL-P-1629. Od roku 1963 jí úspěšně využívala NASA nejen při projektu Apollo (přistání člověka na Měsíci). V průmyslu se užívá od sedmdesátých let, kdy byla postupně zavedena v potravinářství (1971), jaderné energetice (1975) a automobilovém průmyslu (1977). V roce 1990 pronikla analýza způsobů a důsledků poruch do výroby medicínských technologií, komunikačních technologií a strojírenství a od roku 1995 je tato metoda využívána i při vývoji softwaru. Posledním důležitým milníkem metody FMEA je rok 1996, kdy Německé sdružení automobilového průmyslu (VDA) vydala normu VDA 4.2, která optimalizovala a normalizovala metodu pro celý dodavatelský řetězec automobilového průmyslu [42].

Jedná se o kvantitativní metodu analýzy bezporuchovosti s induktivním přístupem. Zkoumá možné druhy poruch a jejich důsledky na nejbližší nejvyšší funkční úrovni. Takto se zhodnotí celý systém a určí se pravděpodobnost nebo četnost výskytu poruch, ty se poté uspořádají dle stupně závažnosti. Takto lze hodnotit i složité systémy až s několika tisíci prvky. Metoda není příliš vhodná pro zálohované struktury a neřeší kombinace závislosti událostí. Vytváří se seznam, do kterého se zapisují veškeré podrobnosti poruch, jejich následky, možnost detekovat, pravděpodobná možnost a příčina vzniku, preventivní a nápravná opatření atd.

Metoda má tři základní typy, a to **FMEA systémová (S-FMEA)**, **FMEA konstrukční (D-FMEA)** a **FMEA procesní (P-FMEA)**.

**S-FMEA** má za cíl detekovat vývojová rizika, to znamená možné poruchové módy a jejich následky vzniklé z konceptu systému(ů). Systém je analyzován a vyhodnocován s ohledem na jeho funkce, funkční rozhraní systému, poruchové stavy systému a vlivy systému i prostředí. Nezaměřuje se na rizika pramenící z odchylek rozměrů a vlastností dílů nebo z odchylek ve výrobním a montážním procesu. Z těchto důvodů se většinou provádí jako první.

**D-FMEA** detekuje nebezpečí, která vznikají z odchylek rozměrů, vlastností či nastavení tolerancí. Díly jsou analyzovány a vyhodnocovány s ohledem na jejich vlastnosti a rozměry, funkci(e) dílu a poruchové stavy zapříčiněné neshodnými díly.

**P-FMEA** se provádí po konstrukční jako závěrečná ve fázi schvalování technické přípravy výrobního procesu. Zabývá se souvislostmi jednotlivých operací výrobního procesu a to z hlediska všech jeho prvků, tj. lidí, strojů, materiálu a prostředí. Analyzuje a vyhodnocuje funkci, vlastnosti, vlivy procesu a možné defekty vzniklé během výrobního procesu. Jejím úkolem je detekovat poruchové módy a jejich následky v námi navrženém procesu.

Metodu FMEA lze, díky její univerzálnosti, využít pro analýzu všech elektrotechnických výrob. Zvláště výhodná je pro diskrétní výrobní procesy s předmětovým funkčním uspořádáním bez zálohování jednotlivých technologických pracovišť.

FMEA potřebuje informace o prvcích systému, které mohou selhat a to dostatečně podrobně pro smysluplnou analýzu všech možných způsobů poruch. Pro detailní konstrukční FMEA mohou být prvky na podrobné úrovni jednotlivých komponent, zatímco pro systémovou FMEA mohou být prvky definovány jako celé podsystémy.

Informace mohou zahrnovat [63]:

- výkresy nebo vývojové diagramy systému, který je analyzován, jeho částí, nebo jednotlivých kroků procesu;
- pochopení funkce jednotlivých kroků procesu nebo komponent systému;
- údaje o environmentálních a dalších parametrech, které mohou ovlivnit provoz;
- pochopení výsledků jednotlivých poruch;
- historické informace o poruchách, včetně údajů o poruchovosti, jsou-li k dispozici.

#### 5.4 Studie nebezpečí a provozuschopnosti (HAZOP)

HAZOP je kvantitativní deduktivní technika zkoumání plánovaného nebo existujícího systému. Původně byla navržena pro systémy chemického a petrochemického průmyslu. Dnes je HAZOP již široce rozšířena, např. v elektrotechnickém, strojním, stavebním i softwarovém průmyslu. Využívaná je i u právních firem např. při zkoumání návrhů smluv. Speciální druhem studie nebezpečí a provozuschopnosti je tzv. CHAZOP [*Control (Computer) HAZards and OPerability Analysis*] zabývající se počítačovými a řídicími systémy, kritickými z hlediska bezpečnosti.

Metoda HAZOP strukturovaně a systematicky identifikuje rizika, kterými je ohrožován nebo ohrožuje systém lidí, zařízení (hardware i software), prostředí či cíle organizace. Vybraný multidisciplinární tým na řadě pracovních porad hledá možné příčiny a následky nežádoucích událostí a navrhuje opatření k zabránění a předcházení jejich výskytu nebo zmírnění jejich následků. K tomuto účelu si tým rozděljuje systém na funkční subsystémy a použitím generických vodících slov (příklad viz tabulka 1 a tabulka 2) zjišťuje jejich reakce na odchylky. Tato slova se volí dle životní etapy zkoumaného systému. Nejvýhodnější je metodu HAZOP užít v etapě návrhu, když jsou již dostupná úplná a podrobná schémata systému, ale je ještě možno provést změny, jejichž provedení by v etapě provozu již bylo velice nákladné.

Výhodou metody HAZOP je její široká aplikovatelnost, důkladnost a systematická rozboru, během kterého vzniká podrobný písemný záznam myšlenkových procesů. Díky tomuto záznamu lze později dohledat a vyjasnit případné nejasnosti. Technika explicitně zohledňuje příčiny a následky lidských chyb ovlivňujících systém.



Nevýhodou je, že technika podrobně hledá problémy návrhu a jejich řešení místo zpochybnění základních chybných předpokladů. Jak bylo řečeno, jedná se o podrobnou analýzu, proto je časově a finančně náročná, vyžaduje vysokou odbornou úroveň expertů v týmu a kvalitní dokumentaci a specifikaci systému.[33][12]

Tabulka 1: Základní vodící slova a jejich význam [23].

Vodící slovo	Význam
ŽÁDNÝ, NENÍ nebo NE	Úplná negace cíle projektu
VYŠŠÍ	Kvantitativní nárůst
A TAKÉ, JAKOŽ I, A ROVNĚŽ	
NIŽŠÍ	Kvantitativní pokles
ČÁSTEČNĚ	
OBRÁCENÝ, ZPĚTNÝ	Logický opak cíle projektu
JINÝ NEŽ	Úplná negace cíle projektu

Tabulka 2: Dodatečná vodící slova a jejich význam [23].

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

Základní vstupy do HAZOP studie obsahují aktuální informace o systému, procesu nebo postupu, které mají být přezkoumány, a záměr a výkonnostní specifikace návrhu. Vstupy mohou zahrnovat: výkresy, specifikace, vývojové diagramy, řízení procesů a logické diagramy, rozvržení výkresů, postupy pro provoz a údržbu, a postupy reakce na mimořádné události. Vstupem pro HAZOP nesouvisející s hardware může být jakýkoliv dokument, který popisuje funkce a prvky systému nebo postupu podle studie. Například, mohou sloužit jako vstupy organizační schémata a popisy rolí, návrhy smluv, nebo dokonce návrhy postupů. [63]

## 5.5 Univerzální matice ratingové analýzy (UMRA)

Tato technika byla vytvořena v roce 2000 týmem okolo prof. Tichého pro potřeby analýzy rizik převedení pražského metra pod Vltavou ze stanice Nádraží Holešovice severním směrem. Do dnešní doby byla užita v řadě analýz rizik výstavbových projektů, projektů

vedení tepla a jednom týkajícího se požární bezpečnosti filiálek výrobce stavebních izolací. Vhodnost této metody pro elektrotechniku se jeví jako vysoká.

Podle publikací TICHÝ: Ovládání rizika: Analýza a management [49] a TICHÝ; VALJENTOVÁ: Experti a expertizy [50] má analýza dvě fáze. V prvním kroku tým expertů vedený analytikem (analytiky) rizik identifikuje segmenty projektu či systému vystavené nebezpečí a zdroje nebezpečí ohrožující jednotlivé segmenty. Výsledkem „**Verbální fáze**“ je formulář výchozí „**Matice UMRA**“ (tabulka 3), který bude využit v tzv. „**Numerické fázi**“, při které se zvolí analytik rizik hladiny závažnosti (např. dle ALARP) a stanoví logicko-numerickou stupnici, kterou zapíše do tzv. „**Tabulky UMRA**“ (tabulka 4). Pomocí této stupnice experti odhadují stupeň ohrožení ( $c_{ijk}$  hodnocení  $k$ -tého experta) jednotlivých segmentů systému ( $a_i$  je  $i$ -tý segment systému) jednotlivými zdroji nebezpečí ( $b_j$   $j$ -tý zdroj nebezpečí) viz **Matice UMRA** (tabulka 3).

Značnou výhodou techniky UMRA je, že přihlíží k různému vztahu expertů k systému či projektu. Další plus spočívá v tom, že experti nemusí hodnotit nebezpečí, která nespádají do rámce jich odbornosti, nebo která nepovažují za logicky možná.

Tabulka 3: *Matice UMRA  $k$ -tého experta [50]*

Segmenty systému	Zdroje nebezpečí						
	$b_1$	$b_2$	$b_3$	...	$b_j$	...	$b_n$
$a_1$	$c_{11k}$	$c_{12k}$	$c_{13k}$	...	$c_{1jk}$	...	$c_{1nk}$
$a_2$	$c_{21k}$	$c_{22k}$	$c_{23k}$	...	$c_{2jk}$	...	$c_{2nk}$
$a_3$	$c_{31k}$	$c_{32k}$	$c_{33k}$	...	$c_{3jk}$	...	$c_{3nk}$
...	...	...	...	...	...	...	...
$a_i$	$c_{i1k}$	$c_{i2k}$	$c_{i3k}$	...	$c_{ijk}$	...	$c_{ink}$
...	...	...	...	...	...	...	...
$a_m$	$c_{m1k}$	$c_{m2k}$	$c_{m3k}$	...	$c_{mjk}$	...	$c_{mnk}$

Tabulka 4: Tabulka UMRA příklad dle [50].

Logická část		
Expert...	... v buňce na křížení segmentu a zdroje nedokáže rating odhadnout	ponechá buňku prázdnou
	... považuje souběh zdroje a segmentu za...	... logicky nemožný
... logicky možný		
Ratingová část		
Impakt podle názoru experta ...	Efekty realizace impaktu	R <sub>IS</sub>
... nepatrný	deskriptor 0	0
... malý	deskriptor 1	1
... střední	deskriptor 2	2
... velký	deskriptor 3	4

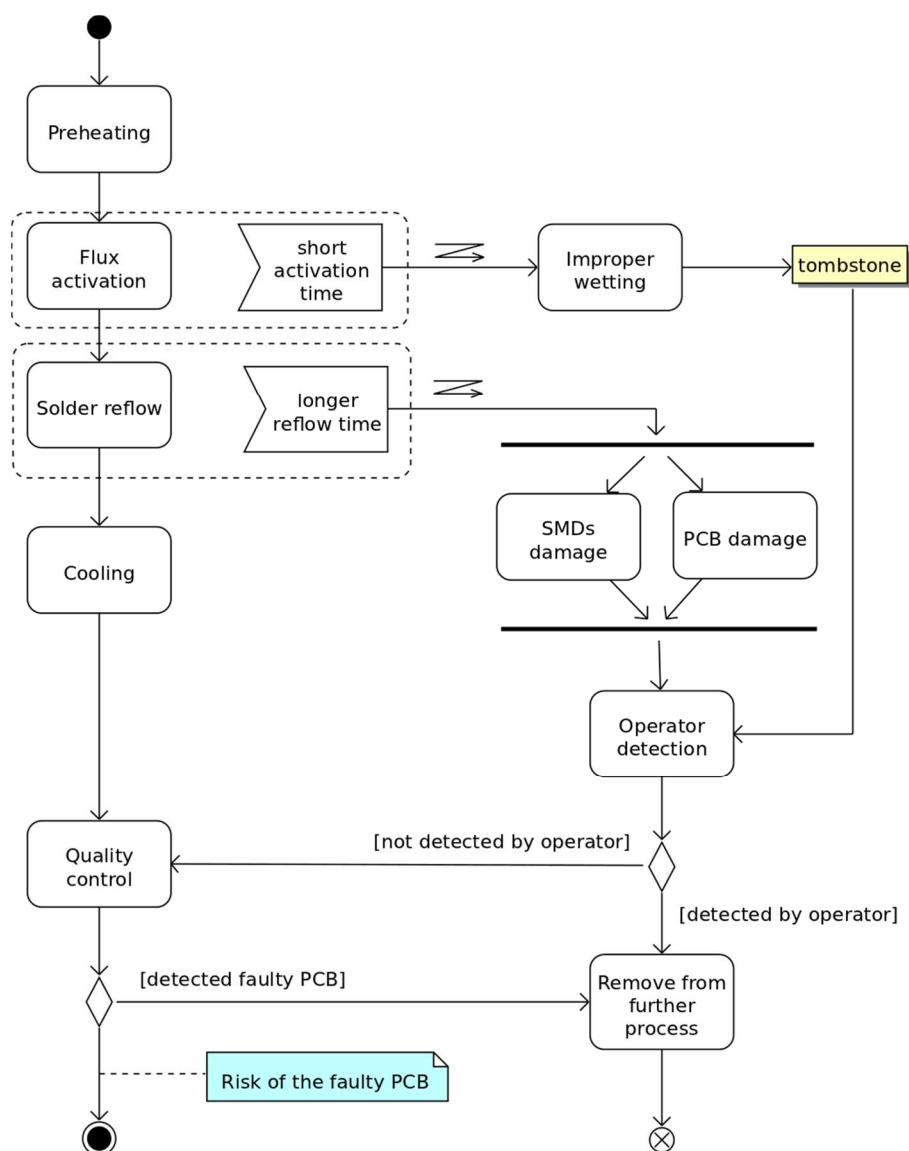
## 5.6 Analýza rizik pomocí UML

Jelikož byl *Unified Modeling Language* vyvinut k usnadnění vývoje softwarových aplikací, je logické, že byl poprvé využit v roce 2003 odborníky z West Virginia University k analýze rizik a zvyšování kvality softwaru [18].

U nás se zabýval metodikou užití UML při analýze rizik technologických systémů Ing. Jirsa ve své disertaci „Využití UML při analýze rizik technologických systémů“ [23]. V této práci navrhl následující postup:

1. vytvoření modelu statistické struktury zkoumaného systému za pomoci *diagramu tříd* nebo *diagramu komponent*;
2. tvorba modelu chování a jeho zápis pomocí *diagramu aktivit*, *sekvenčního* nebo *stavového diagramu*;
3. identifikace a kvalifikace možných nebezpečí a jejich doplnění do *diagramu tříd*;
4. vytvoření hrubých scénářů nebezpečí a jejich zápis formou *případů užití*;
5. detailní rozpracování scénářů pomocí *diagramu aktivit* nebo *sekvenčního diagramu*;
6. kvantifikace identifikovaných nebezpečí pomocí indexu RPN a zápis získaných hodnot do příslušných diagramů;
7. vyhodnocení získaných poznatků a tvorba dokumentace;

Příklad využití UML, přesněji diagramu aktivit k analýze rizik je na obrázku 4: Využití UML k analýze rizik procesu tavení pájecí pasty při pájení přetavením [14].



Obrázek 4: Využití UML k analýze rizik procesu tavení pájecí pasty při pájení přetavením [14].

## 5.7 Analýza stromu poruchových stavů (FTA)

Analýzu stromu poruchových stavů vymysleli a poprvé využili ve firmě Bell Telephone Laboratories v roce 1962. Později byla převzata a zdokonalena firmou Boeing [33].

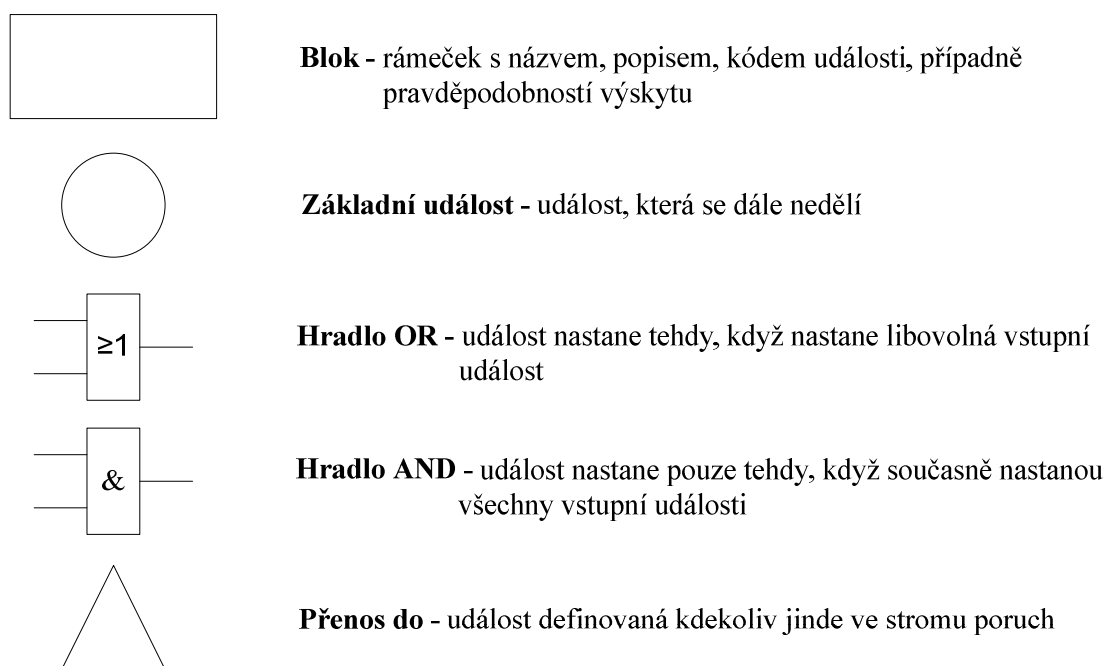
Jedná se o metodu deduktivní, pro vrcholovou událost (vrcholové události), hledáme možné příčiny. Lze jí použít jako pouze kvalitativní metodu, to znamená k identifikaci a popisu možných příčin a mechanismů vedoucích k poruchovému stavu nebo i kvantitativně, jako prostředek k výpočtu pravděpodobnosti vrcholového poruchového stavu a jeho příčin. FTA je vhodná i pro systémy s několika tisíci prvky, a na rozdíl od FMEA, i pro zálohované systémy či pro systémy mající zálohované podsystémy.

Při analýze metodou FTA hledáme pro vymezenou vrcholovou událost, například kritický poruchový stav, příčiny na nižších úrovních systému. Výsledky poté vyhodnotíme a zobrazíme, jako strom (stromy) poruchových stavů. Pod pojmem strom poruchových stavů

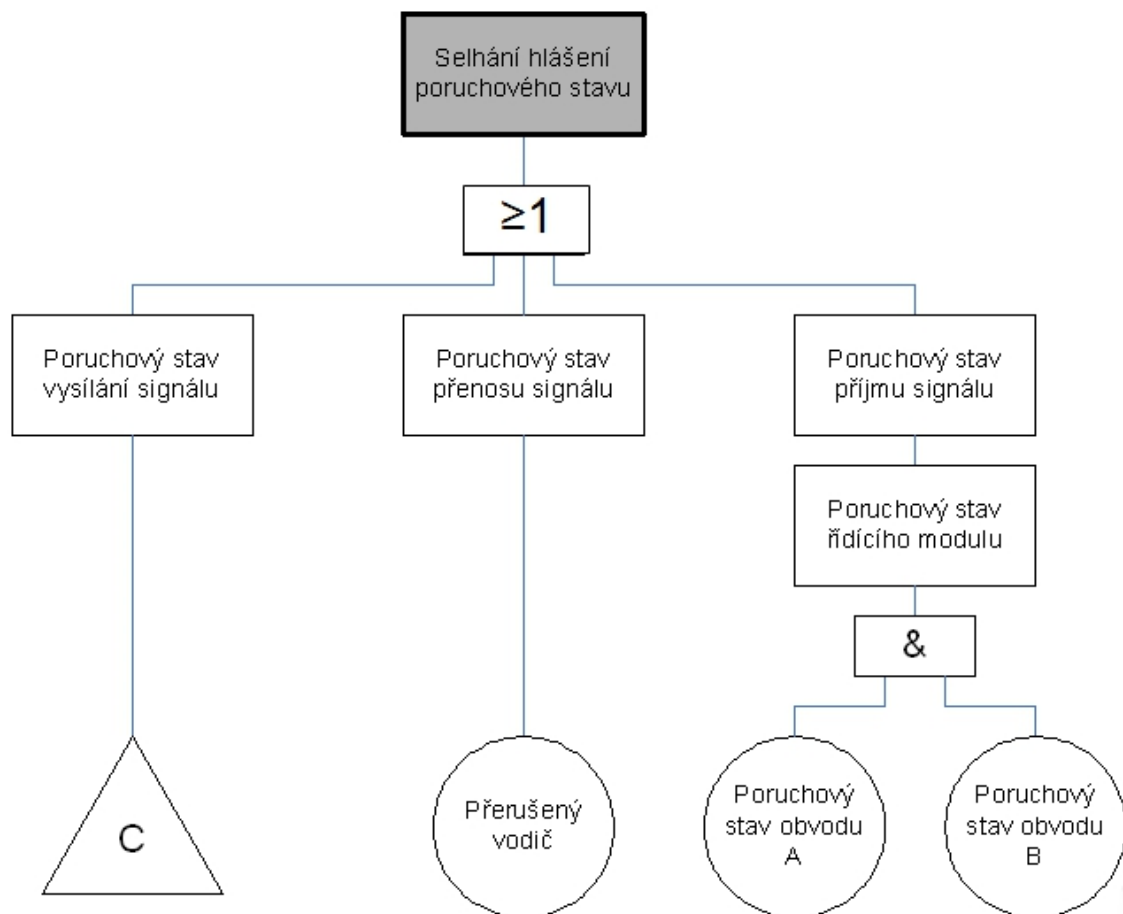
si můžeme představit diagram znázorňující události, stavy a jejich posloupnost, kde logický vztah příčin a následků znázorňujeme pomocí logických hradel. Schématické značky užívané ke kreslení stromu poruchových stavů podle Černek: Analýza rizik v elektrotechnické výrobě [12] a ČSN EN 61025 [65] jsou znázorněné na obrázku 5. Na obrázku 6 je jednoduchý příklad FTA.

FTA je opět velice univerzální metoda použitelná ve všech elektrotechnických výroбах. Zvláště vhodná je pro kontinuální výrobu a pro výrobu a distribuci elektrické energie.

Pro kvalitativní analýzu je nutné pochopení systému a příčin poruch, jakož i technické pochopení toho, jak může systém selhat. Pro analýzu jsou užitečné detailní diagramy. Pro kvantitativní analýzu nutně potřebujeme údaje o poruchovosti a pravděpodobnosti, že je systém v poruchovém stavu, pro všechny základních událostí stromu poruch. [63]



Obrázek 5: Příklad schématických značek použitých při FTA.



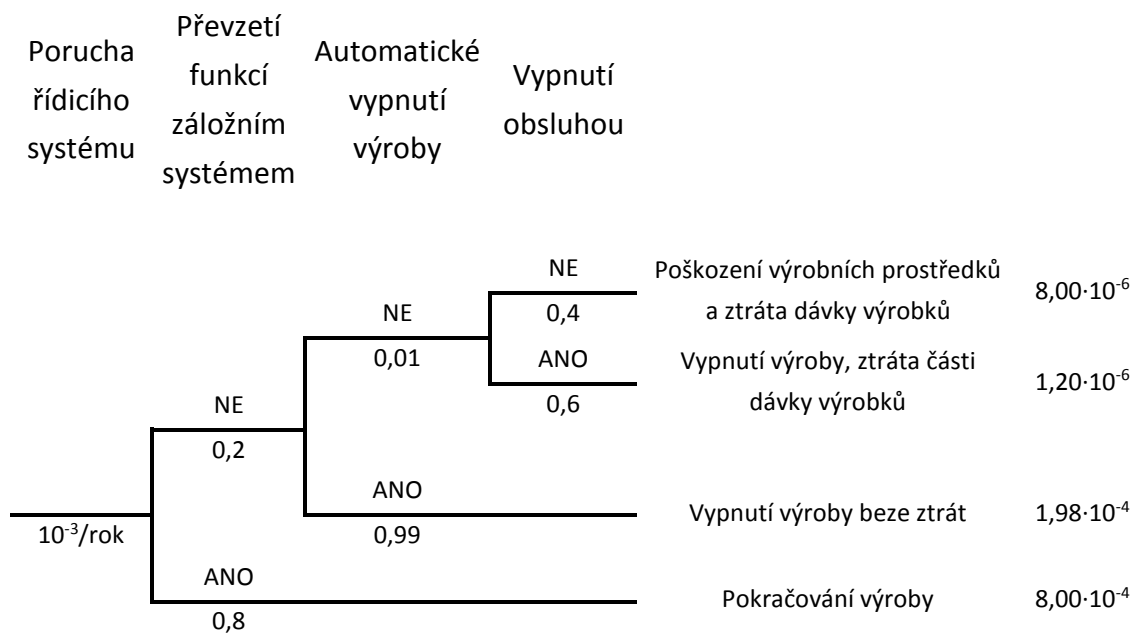
Obrázek 6: FTA, pro vrcholovou událost selhání hlášení poruchového stavu [12].

## 5.8 Analýza stromu událostí (ETA)

Analýza stromu událostí je induktivní kvalitativní metoda s možností kvantitativního vyhodnocení pravděpodobnosti dosažení jednotlivých následků iniciační události. Metoda je vhodná pro 2 až 50 prvků, tedy pro menší počet než FTA, a lze s ní analyzovat i zálohované systémy.

Během analýzy zjišťujeme chronologický postup reakcí jednotlivých prvků systému na iniciační událost a vše zaznamenáváme do stromu událostí, jehož příklad je na obrázku 7. Po kvalifikaci systému se určí pravděpodobnost iniciační události, následných reakcí prvků a spočte se pravděpodobnost konečných následků.

Metoda ETA se užívá u komplexních systémů, kde mají subsystemy pracovat přesně podle zadané sekvence úkolů. Z toho je patrné, že ETA je vhodná pro výroby s vysokou mírou automatizace, kontinuální výrobní procesy nebo jaderné elektrárny. Pro rizika projektu či pro výrobní systémy se silným vlivem lidského činitele je možno použít analýzu rozhodovacího stromu. Tato je velice podobná metodě ETA, začíná počáteční událostí nebo rozhodnutím a jsou modelovány různé cesty, závislé na dalších rozhodnutích či činnostech. Jednotlivé větve lze dále kvantifikovat, například finanční náročností či ztrátami následujícími po rozhodnutí. [33]

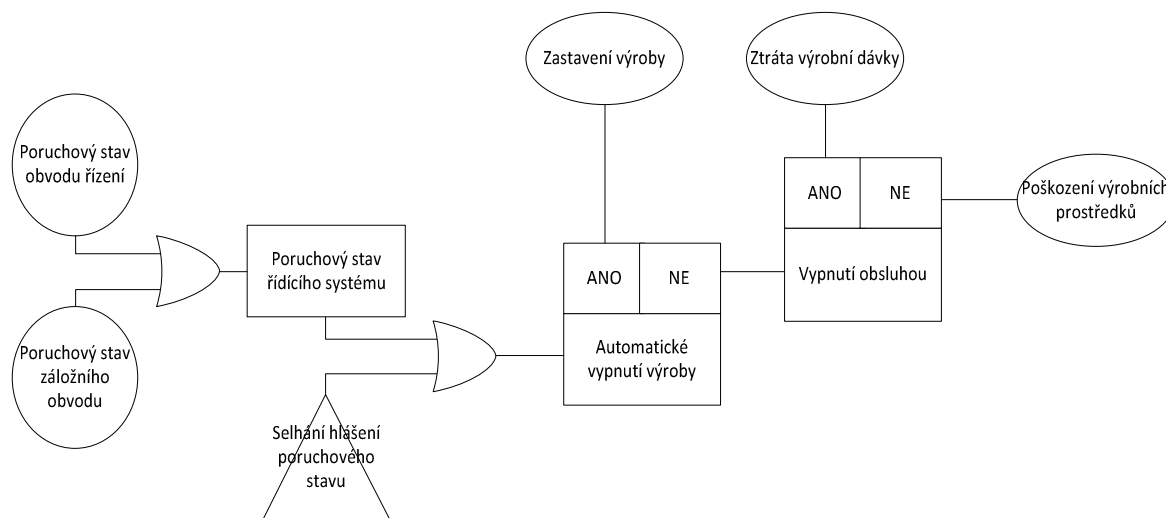


Obrázek 7: Strom událostí pro poruchu řídicího systému výroby.

Jako vstupní data do analýzy stromu událostí je potřeba vypracovat seznam vhodných iniciačních událostí a mít informace o kontrolách, ošetření nebezpečí a překážkách šíření následků realizace nebezpečí, dále i o pravděpodobnosti selhání těchto kontrol, překážek a opatření (kvantitativní analýzy).

### 5.9 Analýza vztahu příčina-následek (CCA)

Metoda analýzy vztahu příčina-následek vznikla kombinací metod FTA a ETA. Tato technika byla poprvé představena v květnu 1971 Danem S. Nielsenem z Dánské RISØ laboratoře jako RISØ-M-1374 (The Cause/Consequence Diagram Method as a Basis for Quantitative Accident Analysis). Je však využitelná i v jiných průmyslových odvětvích. V analýzách spolehlivosti a rizik má stejné využití jako metody FTA a ETA.



Obrázek 8: CCA poruchového stavu řídicího systému a selhání hlášení poruchového stavu.

Technika CCA kombinuje deduktivní a induktivní způsoby analýzy. Pomocí stromu poruchových stavů (FT) se zjistí příčiny vrcholové události a její možné následky jsou poté analyzovány stromem událostí (ET). Často jsou stromy událostí analyzovány i události „pod vrcholové“ a jednotlivé spolu související následky lze v analýze logicky propojovat. Konečným výstupem kvalitativní části CCA je strom (obrázek 8) vzniklý spojením FT a všech ET. V kvantitativní části je možné z ukazatelů bezporuchovosti jednotlivých důsledků vypočítat ukazatele bezporuchovosti celého systému.

Vstupní data potřebná pro provedení analýzy CCA jsou opět stejná jako u analýz typu FTA a ETA. Jedná se tedy o všechny dostupné informace nutné k porozumění systému, modům poruchových stavů a jejich scénářů.

### 5.10 Analýza příčin a důsledků (CEA)

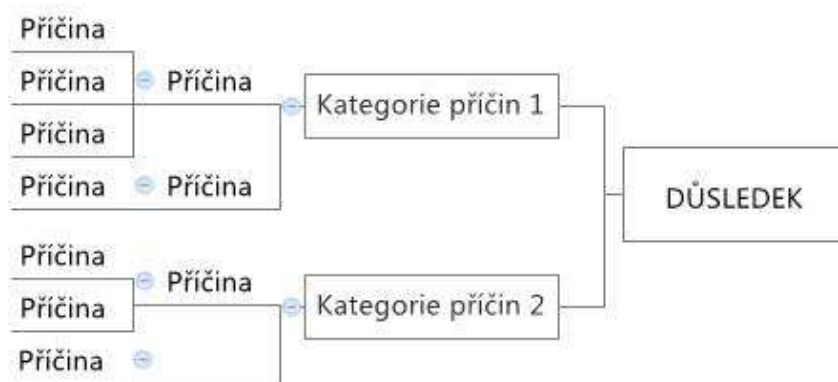
Analýza příčin a důsledků nám pomáhá při identifikaci možných příčin žádoucích (cílů), častěji však nežádoucích událostí (např. poruchových stavů). Jedná se o strukturovanou deduktivní metodu, při které tým expertů vyhledává všechny věrohodné hypotézy, z nichž extrahuje možné faktory, které pak zaznamenává do jednotlivých kategorií. Protože není prováděno empirické testování hypotéz, nemusí faktory poukazovat na skutečné příčiny. Takto získané výsledky se strukturovaně zobrazí ve formě diagramu.

Velice časté rozdělení kategorií příčin, zvláště v technice a průmyslu, je rozdělení 5M, nazvané dle anglických ekvivalentů názvů kategorií příčin. Kategorie jsou příčiny způsobené lidmi (*Menpower*), příčiny způsobené stroji, nářadím, nástroji a řídicí technikou (*Machines*), příčiny způsobené vadou materiálu nebo jeho vlastnostmi (*Materials*), příčiny způsobené použitou metodou (*Methods*). Poslední pátá kategorie se dle potřeby liší, buď se používá kategorie příčin způsobených řízením (*Management*) nebo příčiny způsobené okolním prostředím (*Mother Nature*) nebo příčiny způsobené měřením (*Measurements*). V některých případech se používá více kategorií příčin (6M, 7M).

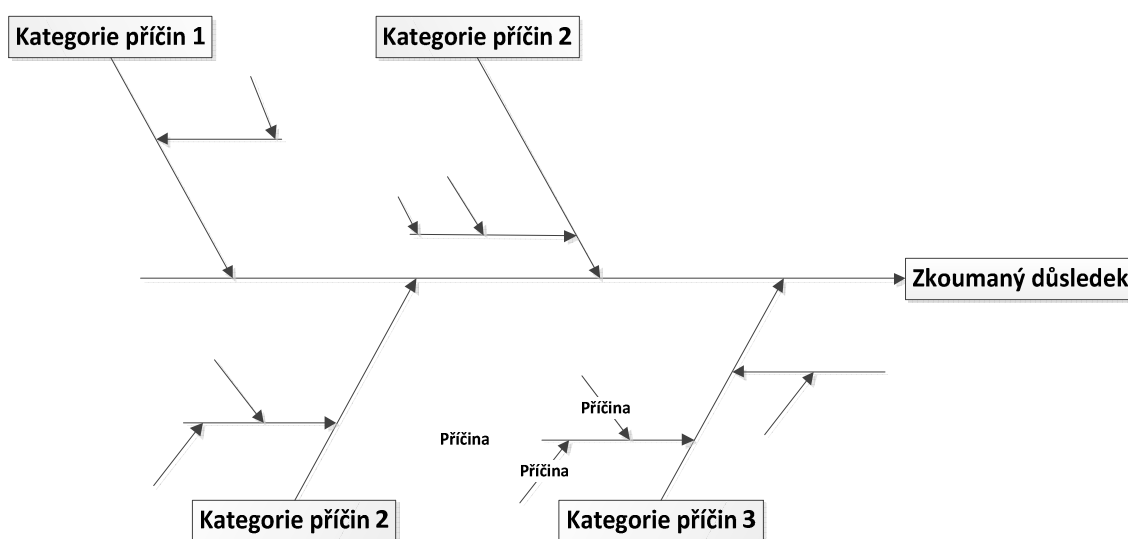
Diagram může mít buď stromovou strukturu (obrázek 9) nebo tvar rybí kosti (Ishikawův diagram – obrázek 10). Řešená vrcholová událost je buď „pozitivní“ (vrcholová událost je nějaký cíl) nebo „negativní“ (vrcholová událost je nějaký problém).

Vstupy do analýzy příčin a následku mohou pocházet z odborných znalostí a zkušeností odborníků nebo z dříve vyvinutého modelu, který byl již použit v minulosti.





Obrázek 9: Stromová struktura analýzy příčin a důsledků.



Obrázek 10: Ishikawův diagram „rybí kosti“ analýzy příčin a důsledků.

### 5.11 Markovova analýza (MA)

Markovova analýza je převážně induktivní metoda založená na teorii Markovových řetězců. Pomocí této analýzy lze, pro specifické časové body, kvantifikovat pravděpodobnosti, že prvky systému jsou v určitém stavu nebo že nastanou určité události. Proto je na počátku analýzy potřeba definovat stavy, které jsou předmětem zájmu a stanovit pravděpodobnost přechodu z jednoho stavu do jiného. Určení všech možných stavů systému umožní jejich znázornění diagramem stavových přechodů, viz obrázek 11.

Pravděpodobnosti přechodů a způsob vzájemných vztahů mezi stavy umožňuje sestavit matici přechodů jako matematický model pro výpočty pravděpodobnosti bezporuchového provozu, součinitele pohotovosti, případně dalších ukazatelů spolehlivosti systému [33].

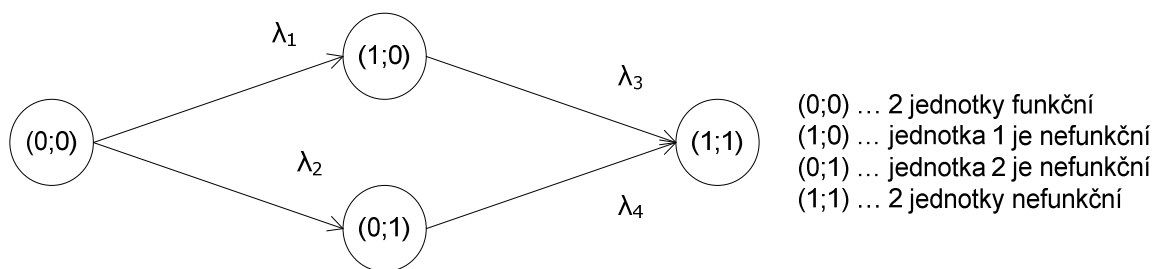


Diagram stavových přechodů pro systém se dvěma neobnovitelnými jednotkami

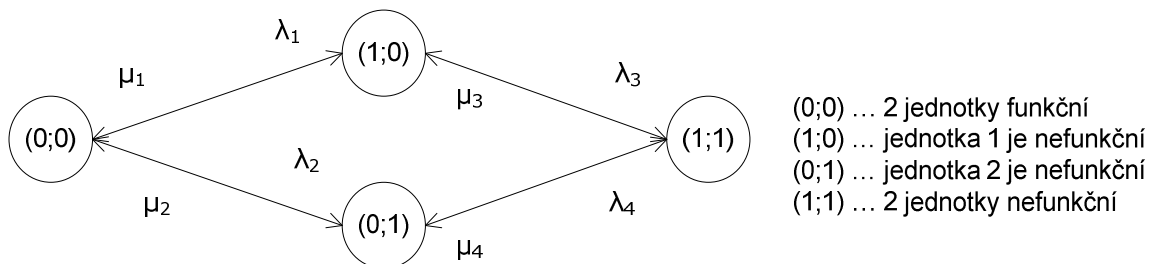


Diagram stavových přechodů pro systém se dvěma obnovitelnými jednotkami

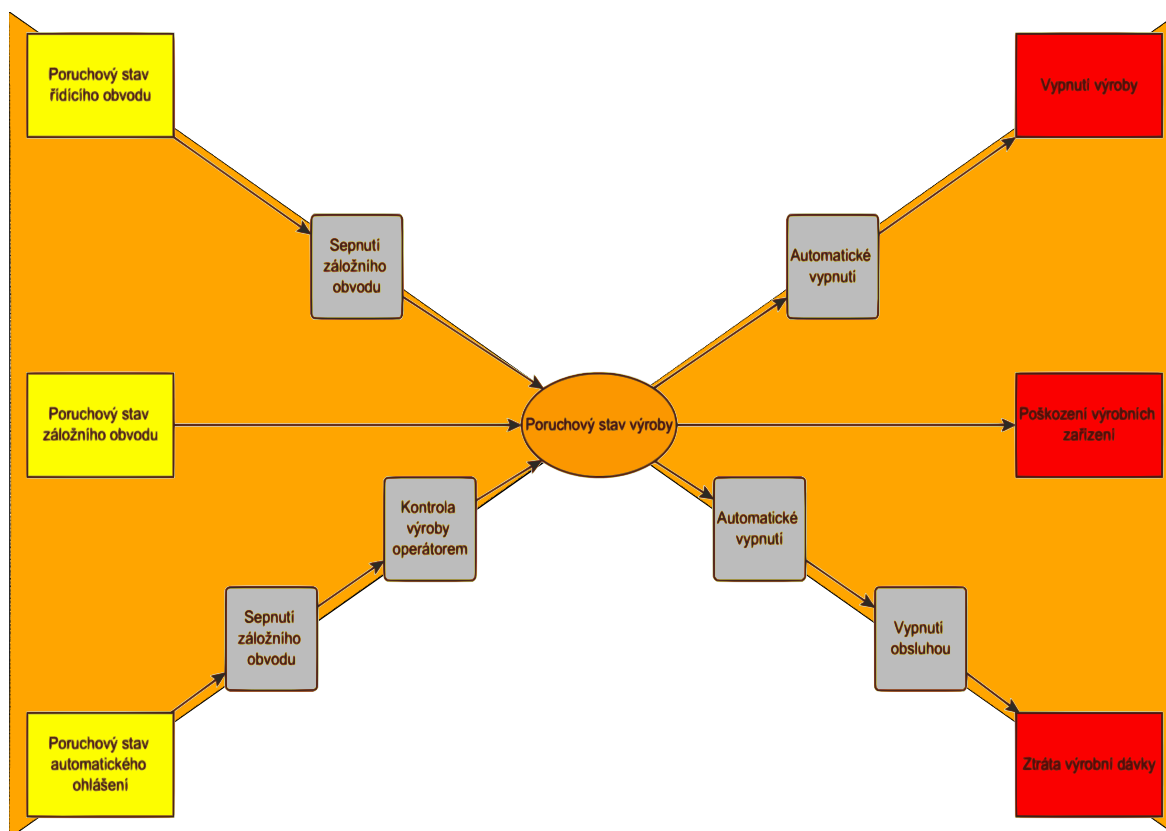
Obrázek 11: Diagram stavových přechodů. [12], [33]

Markovova analýza je vhodná i pro značně složité systémy s 2 až 100 podsystémy (součástmi). V elektrotechnické výrobě má širokou škálu využití jak u kontinuálních, tak u diskrétních procesů. Vhodná je i pro všechny stupně automatizace.

Vstupy nezbytné pro Markovovu analýzu jsou následující:

- seznam různých stavů, v kterých může být systém, subsystém nebo jejich součásti (např. plně funkční, částečně v provozu (tj. v zhoršeném stavu), poruchový stav atd.);
- jasná představa o možných přechodech mezi stavy, které je nutné do modelu zahrnout, například při modelování poruchového stavu systému se musí vzít v úvahu stav zálohovacího podsystému a frekvence jeho kontroly;
- rychlost změny z jednoho stavu do druhého, obvykle reprezentována buď pravděpodobností změny mezi stavy pro diskrétní události, nebo intenzitou poruch ( $\lambda$ ) a/nebo intenzitou oprav ( $\mu$ ) pro spojitě události. [63]

## 5.12 Analýza typu motýlek



Obrázek 12: Diagramu typu motýlek.

Historie analýzy typu motýlek není zcela jasná, ale má se za to, že poprvé byla veřejně představena v poznámkách ke kurzu HAZAN (Hazard Analysis) pořádaných na University of Queensland (Austrálie) v roce 1979. Po katastrofě na těžební plošině Piper Alfa v roce 1988 a zprávě lorda Cullena, ve které kritizuje petrochemický průmysl pro nesystémový a nesystematický přístup k rizikům, neznalost souvislostí a tím i neschopnost zajištění kontroly nad nebezpečími a souvisejícími riziky, přijala firma Royal Dutch/Shell Group, v 90. letech 20. století metodu motýlek jako firemní standard pro analýzu a řízení rizik. [20]

Jedná se o kombinovanou deduktivně-induktivní metodu analýzy rizik, při níž hledáme možnou cestu poruchového stavu od jeho příčin přes samotnou poruchu až k následkům poruchy. Součástí metody je zkoumání překážek a kontrol, jejich silných a slabých stránek, možností jejich selhání (důvodů jejich selhání, pokud vyšetřujeme nehodu, která se již stala) a jak těmto selháním zabránit.

Výsledky analýzy zakresluje do diagramu ve tvaru motýlku (pánského společenského doplňku), kde levé „křídlo“ představuje příčiny poruchy a prvky poruše zabraňující, uzel vrcholovou událost, tedy samotný poruchový stav a pravé „křídlo“ následky poruchy a prvky zmírnění následků či obnovy systému.

Samotná analýza je v principu velice jednoduchá, zkoumá efektivnost prvků řízení, prevence a zmírnění nebezpečí či rizik. Dává srozumitelný výstup, pomocí něhož lze

interpretovat rizika i laikům, kteří snáze porozumí diagramu typu motýlek než stromovým strukturám technik FTA, ETA a CCA. Metoda je použitelná i pro žádoucí vrcholové události, například jak se dostat k určitému cíli přes dané překážky či naopak, co nám v „cestě“ k danému cíli může pomoci, a jaký vývoj můžeme čekat po dosažení cíle.

Jednoduchost metody je i jejím hlavním nedostatkem. Metoda nemá prostředky pro popis interakcí příčin jako například FTA a zakreslování do diagramu typu motýlek může analytiky svádět k nadměrnému zjednodušení mechanismu šíření poruchových stavů či realizací nebezpečí.

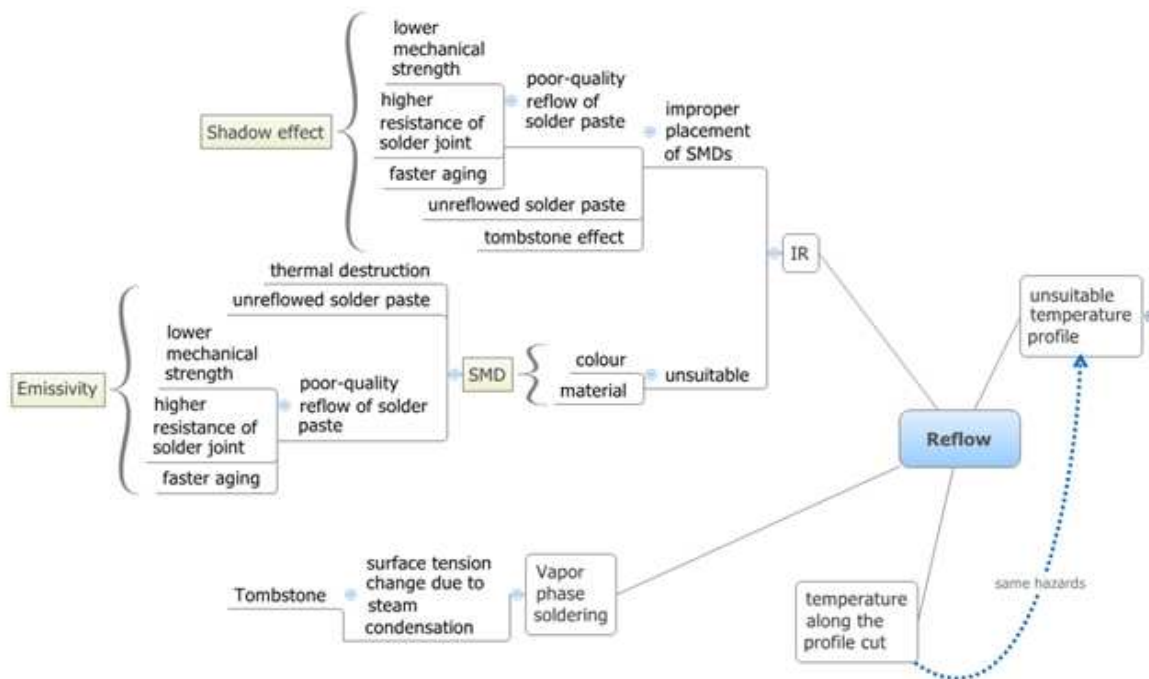
Jako vstup jsou zapotřebí data umožňující pochopení příčin a důsledků realizace nebezpečí. Důležité jsou i informace o překážkách a kontrolách, které mohou bránit realizaci nebezpečí, jeho šíření, umožňují zmírňovat následky jeho realizace nebo detekují, že k jeho realizaci došlo.

### 5.13 Myšlenkové mapy

Myšlenkové mapy jsou, podobně jako například konceptuální mapy nebo sémantické sítě, grafický strukturovaný záznam informací. Schémata podobná myšlenkovým mapám prý užívali ve svých dílech již římský filozof Porfyrios z Tyru (232-304), španělský filozof Ramon Llull (1232-1315) nebo slavný Leonardo da Vinci (1452-1519).

Myšlenkové mapy se užívají pro strukturované psaní poznámek (např. brainstormingu, strukturovaných rozhovorů, PHA atd.) jako nástroj při analýze a řešení problémů nebo pomůcka při studiu. Při tvorbě mapy lze snáze pochopit strukturu dané problematiky a později se k analyzovanému problému jednoduše vrátit. Myšlenkové mapy jsou informačně hutnější než běžný text, přesto jsou v mnoha případech přehlednější než prostý text. Z toho vyplývá, že myšlenkové mapy se nejčastěji využívají jako pomocná metoda některé s ostatních metod analýzy rizik. Příklad myšlenkové mapy použité při analýze rizik lze vidět na obrázek 13.

Myšlenkové mapy jsou využívány jako pomocná metoda, pro strukturovaný zápis vstupních dat k jiným metodám. Z těchto důvodů závisí vstupní data na hlavní metodě (např. FTA, FMEA, HAZOP atd.).



Obrázek 13: Myšlenková mapa při analýze rizik technologií pájení přetavením. [14]

## 5.14 Strukturované a semistrukturované rozhovory

Strukturované a semistrukturované rozhovory (interview) jsou pomocné metody sloužící zvláště k identifikaci jednotlivých nebezpečí, lze je využít i v dalších fázích analýzy rizik. Pro tyto fáze však existují sofistikovanější techniky s přesnými postupy a výstupy.

Obě techniky jsou založeny na pokládání otázek z listu výzev a to jednotlivým dotazovaným z týmu expertů. Cílem je povzbudit dotazovaného, aby nahlížel na problematiku z různých hledisek. U semistrukturovaných rozhovorů je, na rozdíl od strukturovaných, konverzace volnější, ne tolik svázána připravenými otázkami. Převládá zde snaha co nejvíce prozkoumat problémy, na které se při rozhovoru „narazí“.

Samotný proces se skládá ze stanovení cíle rozhovoru, sestavení souboru otázek a seznamu expertů, kterým budou otázky pokládány. Otázky by měly být jednoduché, rozšiřitelné, pokrývající jeden problém a zvláště u semistrukturovaných rozhovorů je nutná jejich flexibilita, aby bylo možné prozkoumat všechny oblasti, do kterých chce dotazovaný vstoupit. Při interview je nutné dát expertovi čas na rozmyšlení odpovědi, jejíž kvalita je pro nás stěžejní. Na rozhovory o dané problematice je potřeba zvát experty všech zainteresovaných stran.

Hlavním omezením této techniky je časová náročnost, u odpovědí je tolerována předpojatost a není spuštna představivost jako u brainstormingu. Výhodou je větší čas na promyšlení odpovědí, tudíž i jejich hlubší promyšlení, nevzniká však dynamika skupiny. Dají se takto získat názory více zainteresovaných stran. [63]

Vstupy zahrnují:

- jasnou definici cílů rozhovorů;
- seznam respondentů vybraných z příslušných zúčastněných stran;
- připravenou sadu otázek.

### 5.15 Technika Delphi

Též nazývaná jako Delfská metoda je metoda expertního dotazování, jehož cílem je aktivovat a stimulovat expertní myšlení a znalosti. Dle publikace TICHÝ; VALJENTOVÁ: *Experti a expertizy* [50] byla poprvé použita při vojenském strategickém plánování v 50. letech 20. století. Dnes se užívá v celé řadě oborů a norma ČSN EN 31010 jí doporučuje jako vhodnou doplňkovou metodu k jednotlivým krokům analýzy rizik.

Při technice Delphi se, na rozdíl od strukturovaných rozhovorů, proces dotazování opakuje. Proto je rozdělena do několika kroků. Prvním krokem je sestavení řídicí skupiny (běžně 2 – 5 osob, v závislosti na velikosti expertní skupiny) a expertního panelu čítajícího 10 až 100 členů, u rozsáhlých projektů i až několik set členů. V dalším jsou jednotlivým expertům rozeslány dotazníky, které vybízejí, aby formulovali řešení jasně vymezeného problému. Experti anonymně odpovídají na jednotlivé otázky a v dané podobě předají odpovědi řídicímu týmu. Ten zpracuje a vyhodnotí výsledky a vypracuje souhrnný elaborát, sestavený z názorů celého panelu. V dalších cyklech jsou experti obeznámeni s výsledky předchozích kroků a na jejich základě mohou upravovat své odpovědi. Existence přímé interakce je možná až v posledním cyklu, kdy dochází ke kompletaci hlavních tezí a priorit. Cílem metody je dosáhnout konsenzu.

Výhodami procesu je možnost zapojení velkého množství osob s různou odborností, bez rizika vzniku některých nežádoucích dynamických procesů běžně vznikajících v úzce spolupracujících týmech. Nevýhodou je časová a finanční náročnost (v dnešní době lze snížit využitím moderních komunikačních prostředků) a zvýšené odborné nároky na řídicí skupinu.

Vstupními daty jsou sada možností, pro které je zapotřebí shoda a odpovědi jednotlivých expertů. [63]

### 5.16 Analýza lidské spolehlivosti (HRA)

Hodnocení lidské spolehlivosti je zejména kvalitativní metoda zabývající se vlivem typických chyb člověka na spolehlivost systému. Její důležitost je demonstrována řadou nehod, při kterých chybné lidské jednání přispělo ke katastrofické eskalaci původně banální události. Nebo naopak, kdy na první pohled beznadějná situace směřující ke katastrofě, byla zachráněna důmyslným lidským zásahem (Apollo 13).

Aplikací metody se identifikují zejména různé typy chybných činností, k nimž může dojít, např. chyby vlivem zanedbání činnosti, provedení činností nesprávně (v nesprávném čase,

pořadí či s nedostatečnou přesností) nebo v důsledku nepatřičné činnosti. Součástí metody je také identifikace možností zotavení po chybě, tj. činnostech, kterými se chyby mohou napravit.

Analýzy provedené touto technikou jsou užitečné tím, že umožňují identifikovat chyby lidské obsluhy a jejich důsledky na spolehlivost systému, na snížení produktivity atd. HRA odhaluje způsoby, jakými mohou být systémy „zotaveny“ po těchto chybách nebo jiných poruchách hardwaru nebo softwaru, operátorem či pracovníkem údržby.

Tato metoda není příliš vhodná pro automatizované výrobní systémy, při jejichž obsluze je lidský vliv minimální. Pro tyto výroby se užívá zejména jako doplňková metoda. [33][12]

Vstupy do HRA dle ČSN ISO EN 31010 [63]:

- informace umožňující definovat úkoly, které by lidé měli provádět;
- zkušenosti s typy chyb, které se v praxi vyskytují a potenciál pro tyto chyby;
- znalosti možností selhání lidského faktoru a kvantifikace tohoto selhání.

## 6 Životní cyklus produktu

„Jaké metody se používají při vývoji nového výrobku, kontrole a řízení jeho výroby?“ a „Jak jsou data získávány a jak se s nimi pracuje?“ Tyto dvě otázky, velice úzce spolu související, by měly být zodpovězeny v následujících podkapitolách.

Dostupná data a práce s nimi (sběr, vyhodnocování atd.) jsou přímo závislé na metodách, které jsou využity při vývoji nového výrobku a při kontrole a řízení jeho výroby. Tedy v ideálním případě. Vždy musíme brát v potaz zákonné a normativní pravidla dané země, nastavená pravidla v daném výrobním závodě, na jednotlivých odděleních tohoto podniku a samozřejmě lidský faktor.

Při zavádění jednotlivých metod většinou není až takový problém s regulačními pravidly dané země, nutností přizpůsobit vnitřní předpisy podniku a jeho oddělení nebo potřebou zpracovat metody do procesů běžících v podniku. Z vlastní zkušenosti vidím největší problém v lidském faktoru. Lidská pohodlnost, nepochopení výhod a snaha neměnit zavedené a „fungující“ bývá největší překážkou zavedení a plného využití nových metod („zbytečných komplikací, stačí selský rozum“). Toto samozřejmě není možné plně postihnout při vývoji nové metody, ale je nutné to vzít v potaz při praktickém zavádění.

Použité metody pro vývoj produktu, sběr a vyhodnocování dat, a samotná dostupnost těchto dat jsou také závislé na etapě životního cyklu produktu. Proto se další podkapitoly zabývají životním cyklem produktu a metodami vývoje tohoto produktu, protože právě vývojová etapa je pro předcházení rizikům stěžejní.

Všechna rizika nejsou v celém trvání životního cyklu produktu stejná, mění se jejich závažnost, pravděpodobnost výskytu, možné kořenové příčiny i následky.

V kapitole 4.1, zabývající se identifikací nebezpečí, byla definována rizika v životním cyklu projektu, neboť se dle mého názoru jedná o jednu ze stěžejních částí této práce. Dovolím si její části v následujícím textu zopakovat a rozšířit.

Životní cyklus produktu, z technického pohledu, lze rozdělit na následující fáze:

### 6.1 Fáze specifikace - specifikovaná rizika

V první etapě se určuje koncepce projektu (co a jak je třeba udělat pro úspěch budoucího produktu). Zjišťují se požadavky zákazníka, regulační požadavky v cílových zemích a v zemích, kde se nacházejí výrobní závody. Provádí se průzkum trhu a specifikují se kritéria úspěchu, časový rámec projektu a předpokládané potřebné zdroje.

Vzniká prvotní představa o produktu (koncept), předběžně se specifikují procesy (výrobní, logistické, prodejní atd.) a stanovuje se jejich (jak produktu, tak procesu) požadovaná spolehlivost, kvalita, míra rizika a určují se prvotní zřejmá rizika projektu.



## 6.2 Fáze vývoje - vprojektovaná rizika

V této fázi dochází k realizaci specifikovaného produktu a procesů potřebných pro jeho výrobu. Na začátku vývojové fáze existuje koncept, ten je postupně upřesňován a konkretizován v celé fázi vývoje.

Většina metod vývoje (např. Design for Six Sigma, Quality Function Deployment, Teória Rešenja Izobretateľskich Zadač, Lean Product Development) provede dekompozici produktu na jednotlivé funkční systémy, subsystémy a součásti. Jednotlivé součásti jsou potom navrhovány, zkoušeny a testovány pro splnění veškerých požadavků na ně a výrobek kladených. Součásti se potom spojují do funkčních uzlů, subsystémů a systémů, které jsou opět zkoušeny a optimalizovány, dokud nesplní veškeré požadavky.

Jedním z požadavků je i vyrobiteľnosť, ktorou schvaluje oddelenie technologie či subdodavateľ. Technologické oddelenie, poté co je stabilizován návrh produktu, navrhuje výrobních a montážních linky. Tento návrh poté buď samo vyrábí, anebo častěji poptává a nakupuje u specializovaných firem. Některé podniky si své výrobní procesy nechávají celé navrhnout a dodat formou subdodávky.

Výrobní a montážní zařízení a linky se testují, školí se na nich obsluha, případně se provádí audit zákazníkem a vyrábí se na nich zkušební, tzv. nultá série.

Při realizaci specifikovaných procesů, spolehlivostí a technických řešení produktu při vývoji, návrhu a konstrukci, dochází k takzvanému „vprojektování“ požadované úrovně rizik. Schvalovaná technická specifikace pro vývoj, návrh či konstrukci musí obsahovat schválenou nomenklaturu ukazatelů nebezpečí a jejich cílové hodnoty pro specifikované funkční a provozní podmínky.

## 6.3 Fáze výroby - inherentní rizika

Realizace vprojektované úrovně rizik v etapě výroby, instalace, nastavování a odzkoušení produktu. Jejím základem jsou prostředky a postupy řízení, zabezpečování a zlepšování jakosti procesů. Využívány bývají takzvané *Lean* metody (Keizen, Six Sigma atd.) V této fázi je nezbytné využívat informační systém rizik v návaznosti na hodnocení provozních rizik, např. předešlých projektů, výrob, jejich komponent atd.

## 6.4 Fáze provozu - provozní rizika

Fáze provozu produktu se dělí na dvě části. Část, kdy je výrobek pořád v sériové výrobě, tudíž se tato část překrývá s fází výrobní, a na část, kdy je podnik dle smlouvy (či ze zákona) povinen dodávat náhradní díly.

V obou částech této fáze se provádí zjišťování, sledování a hodnocení realizací rizik, např. reklamací, poruch atd. při provozu. V této etapě hraje významnou úlohu sběr informací a dat, jejich zpracování a vyhodnocení informačním systémem spolehlivosti a jakosti.

Zároveň je důležité, jako ostatně v každé etapě životního cyklu produktu, aktualizovat databázi rizik na základě nově získaných poznatků a adekvátně na tyto změny reagovat.

## **6.5 Fáze ukončení projektu - rizika ukončení projektu**

Při ukončení projektu, např. rušení výroby, odstraňování zastaralého hardwaru nebo softwaru, se opět vyskytují specifická rizika, zvláště ekologická a finanční. Například, u již zmíněného rušení výroby, je třeba morálně zastaralé a poškozené stroje ekologicky zlikvidovat, ostatní výrobní prostředky se prodají nebo znovu využijí v další výrobě, personál je nutné přeškolit na nové pozice či nové výrobní stroje atd.

## 7 Metody využívané při vývoji nového produktu

### „Jaké metody se používají při vývoji nového produktu a jaká data nám poskytují?“

Je důležité zjistit, jaký typ a jaké množství dat je potřebné pro vývoj a výrobu nového produktu, a tedy i dostupné pro analýzu. Tedy, jestli je potřeba pro vypracování analýzy rizik získávat nějaká data „navíc“ nebo stačí jen „změnit pohled“ na vyvíjený produkt. Změnou pohledu je myšlena změna z: „jakými prostředky (systémy, subsystémy, díly atd.) chceme dosáhnout požadovaných vlastností produktu (rozměry, váha, cena, fyzikální či chemické vlastnosti atd.)“ na: „jak ovlivní náš produkt, když některý prostředek nebude mít požadované vlastnosti (induktivní analýza) nebo co z daného řešení může způsobit tento poruchový stav a jak mu zabránit (deduktivní analýza)?“

Při vývoji nových produktů je vždy spoléháno na zkušenosti a erudici vývojáře či týmu(ů) vývojářů. Je však dostupná a využívána celá řada metod a z nich vzniklých metodik. Ty mají za úkol zkrátit, zpřehlednit a zkvalitnit vývoj zvláště složitých produktů, jako jsou automobily, letadla nebo produkty elektrotechnického průmyslu (např. výpočetní technika, mobilní komunikační zařízení atd.).

K nejrozšířenějším patří metody „Fází a bran“ (*Phase-Gate*), *Quality Fiction Deployment* (QFD), TRIZ (*Těorija Rešenja Izobretatělskich Zadač*), *Lean Product Development* (LPD) a metodika *Design for Six Sigma* (DFSS), která v sobě, mimo jiné, výše uvedené metody spojuje.

### 7.1 Metoda „Fází a bran“ (*Phase(Stage)-Gate*)

Jednou z nejvyužívanějších metod vývoje nového produktu je metoda fází a bran. Tato metoda obsahuje takzvané fáze, neboli přesně definované činnosti a aktivity, vedoucí ke zdárnému výsledku, tj. novému produktu na trhu. Mezi jednotlivými fázemi se nachází synchronizační, kontrolní a rozhodovací bod, který se nazývá brána. Počet a názvy jednotlivých fází a bran závisí na zvyklostech a nastavení vývojových procesů v jednotlivých firmách.

V každé fázi paralelně probíhají činnosti nutné k úspěšnému splnění cíle, tyto na sobě prozatím nezávislé činnosti mají specifické vstupy, podklady a nástroje potřebné pro jejich úspěšné dokončení. Tyto vstupy a nástroje jsou voleny dle regulačních a normativních požadavků platných v daném státě a standardů či metod zavedených v daném podniku.

Každá brána je rozhodovacím a synchronizačním bodem vývojového projektu. Do tohoto bodu (stanoveného data) musí být dokončeny paralelně probíhající činnosti dané fáze. Následně se sejde management projektu a rozhoduje o dalším pokračování daného projektu. V zásadě se nabízí tři možnosti, často označované barvami dle semaforu. Zelená znamená pokračování do další fáze, oranžová návrat do fáze předchozí, z důvodu přepracování či úplné dokončení některé z činností, a červená značí definitivní zastavení (ukončení) projektu.

K rozhodování o projektu dochází na základě porovnání výsledků předchozí fáze a kritérií stanovených na začátku projektu a upřesněných v předchozích branách. [57]

Následuje příklad, jak může být rozdělen životní cyklus produktu pomocí metody fází a bran. (*Fáze značeny kurzivou, brány tučným písmem*)

1. Inovace a plán
  - a. *Plánování inovačního projektu* – **Schválení inovačního projektu**
2. Základní vývoj (báze) produktu
  - a. *Vylepšení konceptu produktu* – **Schválení konečné koncepce**
  - b. *Definování konstrukce produktu* – **Schválení definované konstrukce**
  - c. *Vývoj produktu* – **Schválení stabilního návrhu**
  - d. *Testování navržené konstrukce produktu* – **Návrh validován**
  - e. *Návrh výrobních procesů* – **Schválení výrobního procesu**
3. Jednání se zákazníkem
  - a. *Jednání o smlouvě* – **Schválení smlouvy k projektu**
  - b. *Kontrola objednávky* – **Schválení přijetí objednávky**
4. Zákaznický projekt (implementace zákaznických požadavků na produkty navržené při základním vývoji)
  - a. *Vylepšení konceptu produktu* – **Schválení konečné koncepce**
  - b. *Definování konstrukce produktu* – **Schválení definované konstrukce**
  - c. *Vývoj produktu* – **Schválení stabilního návrhu**
  - d. *Testování navržené konstrukce produktu* – **Návrh validován**
  - e. *Návrh výrobních procesů* – **Schválení výrobního procesu**
  - f. *Validování produktu a procesu* – **Schválení výroby produktu**
5. Výroba produktu
  - a. *Předsériová výroba* – **Schválení sériové výroby**
  - b. *Sériová výroba* – **Ukončení sériové výroby**
  - c. *Výroba náhradních dílů* – **Ukončení povinnosti dodávek náhradních dílů**

Výše zmíněný postup lze beze zbytku uplatnit pro klasické řízení projektů stylem „vodopád“ (např. metodiky PMBOK, Prince2 atd.) i při agilním řízení projektů. U agilního řízení je struktura fází a jejich trvání určena jednotlivými sprinty, specifikou metody (neurčování časové, ale úkolové náročnosti) a zákaznickými či vnitřními požadavky. V poslední době se například využívá i hybridní způsob řízení projektů, při kterém je celý vývojový projekt managementem veden pomocí klasické projektové metodiky (PMBOK, Prince2 atd.), ale jednotlivé (někdy pouze některé) týmy, zodpovědné za činnosti během fáze, jsou řízeny pomocí agilního řízení (SCRUM, Kanban atd.).

Je samozřejmé, že při vývoji produktu metodou fází i bran lze využít všechny výše zmíněné metody, tj. QFD, TRIZ a LPD. A jak se dočtete níže, lze vyvíjet produkt metodikou Design for Six Sigma a mít jednotlivé fáze či jejich části synchronizované pomocí bran.

## 7.2 Metodika Design for Six Sigma

Metodika Design for Six Sigma (dále jen DFSS), vznikla spojením několika metod již využívaných při vývoji nových produktů. Jedná se metody Quality Function Deployment, TRIZ, Design of Experiment a Six Sigma. Jejím úkolem je podporovat vývoj nových produktů a procesů a zajištění jejich robustnosti. Této robustnosti má být dosaženo na základě pochopení požadavků kladených na produkt (proces), zmapování vnějších i vnitřních interakcí, zjištění matematického modelu požadovaných funkcí (fyzikálních, materiálových, informačních), zjištění možných chyb, poruch a rušení (analýza rizik pomocí metody FMEA). Statistického simulování navržené funkce, její optimalizace, ověření hypotéz návrhu a verifikace produktu (procesu).

Metodika DFSS se skládá z pěti fází tvořících spirálu DICOV. DIVOC je akronym podle prvních písmen názvů těchto fází **D**efinice (*Definition*), **I**dentifikace (*Identify*), **C**harakterizace (*Characterize*), **O**ptimalizace (*Optimize*) a **V**alidace (*Validate*).

Ve fázi Definice se definuje projekt, to znamená, určí se cíle, rozsah a časový plán projektu, metriky (pro měření úspěchu projektu) a postupné cíle jednotlivých fází. Dále se přidělí zdroje, kterými může projekt disponovat. Mezi zdroje řadíme jak zdroje finanční, tak i technické (stroje, přístroje, zařízení atd.), ale i zaměstnance, kteří se budou na projektu podílet. Jednotlivým zaměstnancům či projektovým týmům, se přidělí předpokládané úkoly a jejich zodpovědnosti pomocí matice zodpovědnosti (nejčastěji RASI - *Responsible, Approval, Support, Inform*).

Identifikace požadavků (*Kano Model*), jejich rozdělení na zákaznické, ekonomické a regulativní (zákonné a normativní) a jejich priorizace (*Pairwise Comparison*) je první částí fáze Identifikace. V dalších fázích se k priorizovaným požadavkům přiřadí metriky (*Critical to Quality* – CTQ) sloužící ke kvantitativnímu zhodnocení splnění požadavků. K těmto měřitelným hodnotám (CTQ) se přiřadí parametry výrobku (*Critical Design Parameters* – CDP), které zaručí dosažení požadavků. To se děje v domech kvality 1 a 2 (*House of Quality* – HoQ 1, HoQ 2). Společně s tím se definují hranice jednotlivých systémů (*Boundary Diagram*), podsystémů a dílů výrobku, provádí se hierarchická a funkční dekompozice problému a navržených koncepcí jeho řešení. Z těchto koncepcí se potom objektivně volí ta nejvýhodnější pomocí PUGHovi rozhodovací matice (*Pugh Matrix*). Součástí této fáze je i započítání práce na analýze rizik (systémová FMEA).

K určení důležitých funkčních charakteristik a procesních kroků dochází na začátku fáze Charakterizace. Používá se k tomu dům kvality 3 (HoQ 3), kde se k parametrům produktu (CDP) přiřazujeme procesní parametry (*Critical Process Parameters* – CPP), kritické pro dosažení správných hodnot CDP parametrů. V dalším kroku této fáze se vypracovává tzv. P-Diagram (*Parameter Diagram*), kontrolní list spolehlivosti a robustnosti (*Reliability & Robustness Check List* - RRCL) a analýza rizik pomocí konstrukční a procesní FMEA (*Design FMEA, Process FMEA*). P-Diagram je používán, aby byly identifikovány variace

(faktory rušení) jako zdroj potencionálních poruchových stavů navržených funkcí. Poruchové stavy (rizika) jsou identifikovány v FMEA analýzách. Pomocí kontrolního listu spolehlivosti a robustnosti je zkoumána síla vzájemného vztahu mezi poruchovými stavy a faktory rušení navržených funkcí produktu. Také jsou zde definovány metody verifikace nápravných prostředků pro jednotlivé poruchové stavy a faktory rušení. Poslední činností fáze je analýza FAST (*Function Analysis System Technique*), což je rozšíření a aktualizace funkční dekompozice.

Fáze Optimalizace se zabývá hledáním přenosové funkce (*Transfer Function*), simulováním dat, toleranční analýzou a optimalizací parametrů. Přenosová funkce fungování daného procesu, součástí, podsystemu, systému nebo produktu, je buď známá jako empirický, fyzikální, chemický nebo jiný vztah ( $U = R \cdot I$ ;  $F_1 = \frac{L_2}{L_1} \cdot F_2$ ; atd.), anebo se stanovuje pomocí měření a experimentů. Konkrétně lze přenosovou funkci stanovit pomocí regresivní analýzy (*Regression Analysis*) nebo faktorového experimentu (*Design of Experiments – DoE*). Simulování dat se provádí ve specializovaných softwarech (Quantum XL, Quality Companion atd.) metodou Monte Carlo. Jejím účelem je zjistit vliv variací vstupů na fungování systému. Pomocí statistických metod (ANOVA, T-test atd.) se ověří všechny hypotézy. Pomocí těchto znalostí můžeme provést toleranční analýzu (*Tolerance Analysis*) a stanovit tolerance jednotlivým parametrům systému (podsystemů, dílů atd.). Poté jsou ve speciálních softwarech (Quantum XL, Quality Companion atd.) tyto parametry optimalizovány na základě požadavků (např. maximální  $C_{pk}$ , minimální směrodatná odchylka, cílová střední hodnota atd.).

Na začátku fáze Validace se aktualizuje kontrolní list spolehlivosti a robustnosti (RRCL). Podle aktualizovaného kontrolního listu se pomocí měření, testování a statistického vyhodnocování provádí validace navržených dílů, procesů, podsystemů, systémů a konečného produktu. Provedou se závěrečné analýzy způsobilosti (*Capability Analysis*). Zkušenosti získané při projektu se zapíší do znalostní databáze a vypracuje se finální dokumentace. Tím je vývojový projekt ukončen a produkt jde do sériové výroby.

Po začátku sériové výroby se doporučuje používat pro řešení problému s produktem či procesem jeho výroby, způsobené opakujícími se odchylkami či poruchami, metodu *Problem Solving*, pro zlepšování procesů (např. předcházení či snižování rizik) nebo pro komplexnější problémy metodiku *Lean Six Sigma*. (viz kapitola 8.2).

Pokud v jakékoliv fázi vývoje narazíme na problém dvou proti sobě jdoucích technických požadavků, lze si při jeho řešení pomoci metodou TRIZ. Metoda TRIZ sama o sobě problém neřeší, to není jejím úkolem, pouze má řešiteli pomoci nalézt princip možného řešení. Po analýze systému a nalezení technického rozporu, například pomocí dekompozic a HoQ, se nalezené protichůdné parametry přiřadí k 39 funkcím TRIZ (viz tabulka 5). K nim je přiřazeno 40 heuristických principů (viz tabulka 6 *Tabulka 1*), které pomáhají navést řešitele správným směrem vedoucím k vyřešení problému. Vysvětlení heuristických principů a příklady řešení obsahují některé webové stránky zabývající se TRIZ (např. [www.triz40.com](http://www.triz40.com); [www.triz.it](http://www.triz.it); [www.triztools.bmgilabs.com](http://www.triztools.bmgilabs.com) ) či programy, které odkazují na patenty řešící náš problém (např. TriSolver)

Základní filozofií DFSS je navrhnout produkt pomocí domů kvality, hierarchické a funkční dekompozice, Boundary diagramu a FAST analýzy. Možné poruchové stavy a citlivost systému na variace vstupů, tedy rizika navrhovaného řešení, ale i způsoby jejich předcházení a verifikace funkčnosti preventivních kroků se navrhuje a zjišťují pomocí Boundary diagramu, P-diagramu, analýzy rizik FMEA a kontrolního listu spolehlivosti a robustnosti. Proto jsou v dalších kapitolách popsány metody, které metodika Design for Six Sigma používá jako zdroj dat pro analýzu rizik.

*Tabulka 5: 39 Standardních technických funkcí*

1. Hmotnost pohyblivého objektu	21. Výkon
2. Hmotnost nepohyblivého objektu	22. Ztráty energie
3. Délka pohyblivého objektu	23. Ztráta látky/hmoty
4. Délka nepohyblivého objektu	24. Ztráta informací
5. Plocha pohyblivého objektu	25. Ztráta času
6. Plocha nepohyblivého objektu	26. Množství látky/hmoty
7. Objem pohyblivého objektu	27. Spolehlivost
8. Objem nepohyblivého objektu	28. Přesnost měření
9. Rychlost	29. Přesnost výroby
10. Síla (Intenzita)	30. Škodlivé faktory působící na objekt
11. Tlak, napětí	31. Škodlivé faktory vyvolané objektem
12. Tvar	32. Snadnost výroby
13. Stabilita rozložení objektu	33. Snadnost použití
14. Pevnost	34. Snadnost oprav
15. Doba působení pohyblivého objektu	35. Přizpůsobitelnost, Univerzálnost
16. Doba působení nepohyblivého objektu	36. Složitost zařízení
17. Teplota	37. Složitost detekce a měření
18. Osvětlenost	38. Stupeň automatizace
19. Spotřeba energie pohyblivého objektu	39. Produktivita a výkonnost
20. Spotřeba energie nepohyblivého objektu	

Tabulka 6: 40 heuristických principů

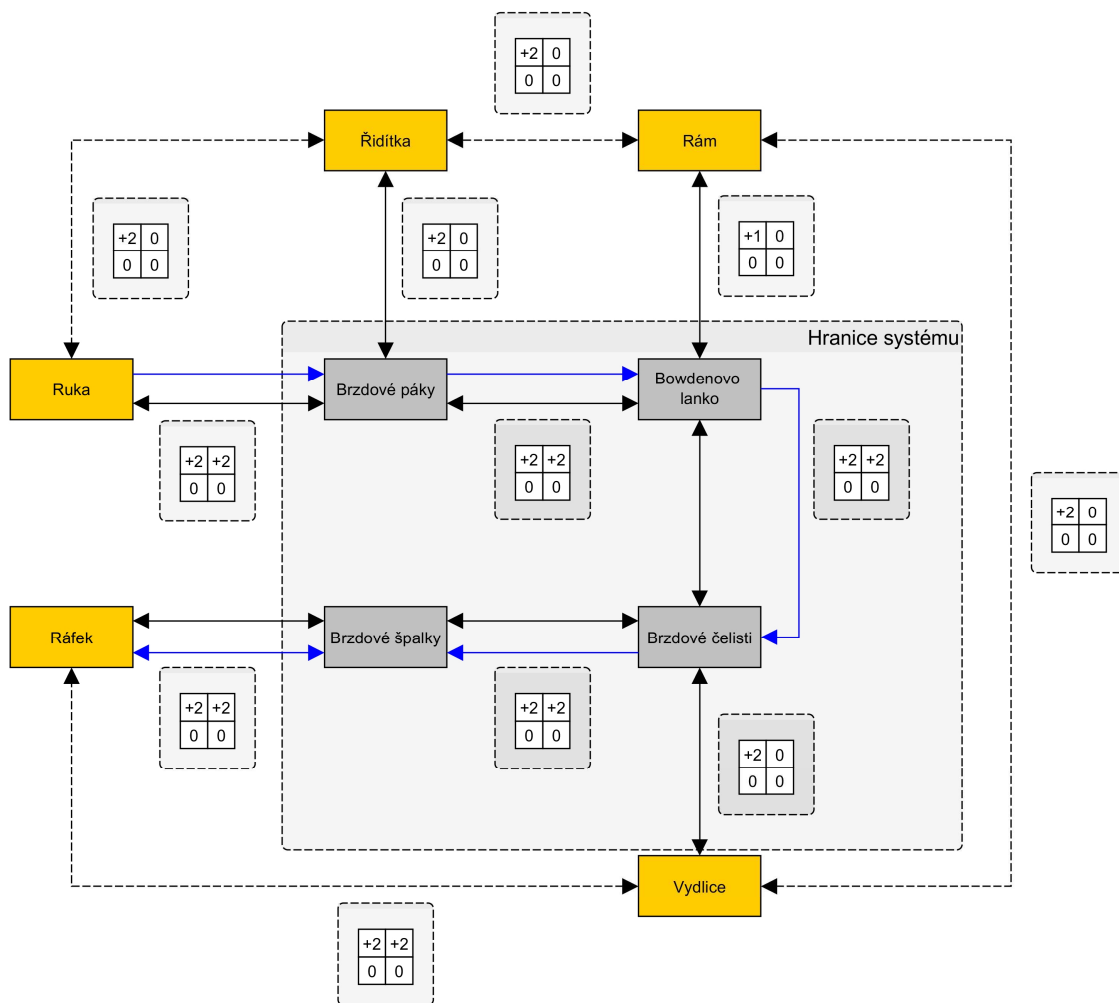
1. Segmentace	21. Princip "Zvrátit škodu v užitek"
2. Oddělení	22. Princip zpětné vazby
3. Princip místní kvality	23. Princip prostředníka
4. Princip asymetrie	24. Princip samoobsluhy
5. Princip sloučení	25. Princip kopírování
6. Princip univerzálnosti	26. Nahradit drahou nezničitelnost levnou zničitelností
7. Princip "Jeden v druhém"	27. Nahradit mechanické vazby
8. Princip anti-tíže	28. Využití pneu-hydro konstrukcí
9. Princip průběžného anti-působení	29. Využití pružných technických vrstev
10. Princip průběžného působení	30. Použití pórovitých materiálů
11. Princip "Předem podložené podušky"	31. Princip změny optických vlastností
12. Princip ekvipotenciálnosti	32. Princip stejnorodostí
13. Princip inverse	33. Odhození a regenerace částí
14. Princip sféroideálnosti	34. Změna fyzikálně-chemického stavu objektu
15. Princip dynamičnosti	35. Princip využití fázových přechodů
16. Částečné či nadbytečné působení	36. Princip využití tepelné dilatace
17. Princip přechodu na jiný rozměr	37. Princip využití silných oxidací
18. Princip využití mechanických vibrací	38. Princip využití inertního prostředí
19. Princip periodického působení	39. Princip použití kompozitního materiálu
20. Princip přeskočení	40. Plynulost užitečného působení

### 7.2.1 Boundary diagram

U každého produktu je velice důležité znát rozhraní mezi jednotlivými podsystémy, mezi systémem a prostředím, v kterém je systém provozován nebo dalšími systémy, s kterými má systém vzájemnou vazbu. Na těchto rozhraních nejčastěji vznikají poruchové stavy. Odstrašujícími příklady můžou být například již zmiňované havárie Apolla 1 (vnitřní prostředí čistý kyslík, systém izolace a vedení kabeláže), raketoplánů Challenger (systém spoje pomocné rakety – pryžové těsnění a venkovní prostředí) a Columbia (ochranný tepelný štít, okolní prostředí – ledová námraza při startu a plazma vzniklá při návratu raketoplánu). Ve všech těchto případech bylo podceněno riziko vzájemného působení mezi systémy nebo systémem a okolím.

Boundary diagram znázorňuje rozhraní systémů a jejich vzájemné interakce. Lze v něm znázornit druh vzájemného působení, jeho sílu i směr. Příklad Boundary diagramu zpracovaný na systém brzdy jízdniho kola můžeme vidět na obrázku 14. Z diagramu můžeme vytvořit i matici rozhraní (*Interface matrix*). Tato matice přehledně zobrazuje sílu a druh vzájemných vazeb (viz obrázek 15).

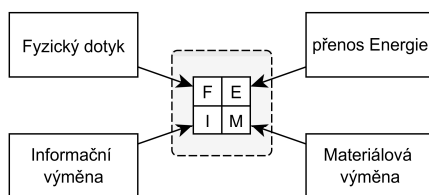




Obrázek 14: Boundary diagram pro brzdy jízdního kola

V diagramu rozlišujeme čtyři druhy vzájemné vazby, a to fyzický dotyk, přenos energie, informační výměna a materiálová výměna. Rozlišujeme pět stupňů síly interakcí. První značená +2 je nezbytná pro správnou funkci systému, např. přenos energie slunečního svitu na fotovoltaický panel. Druhý stupeň (+1) je vzájemné působení, které je pro korektní fungování systému vhodné, ale ne nezbytné (informační výměna mezi automatickými opravami textového editoru Word a uživatelem je vhodná, ale pro korektní fungování textového editoru není nezbytná). Pokud nemá vzájemné působení žádný vliv na funkci námi řešeného systému, označujeme sílu interakce 0. Příkladem může být informační výměna mezi řídítky a rámem kola, které nemá na systém brzd žádný vliv, jelikož jednoduše neexistuje. Negativně hodnocené vzájemné působení má dva stupně a to -1, interakce s negativním vlivem na systém, ale nebrání jeho funkčnosti (hlučnost chladícího větráku mikročipu) a -2, kdy musí být vzájemnému působení daného druhu zabráněno, aby byla zachována funkčnost (materiálová výměna mezi dvojitým brzdovým válcem a podtlakovým brzdovým posilovačem - proniknutí brzdové kapaliny do podtlakového brzdového posilovače).

	Brzdové páky		Bowdenův kabel		Brzdové čelisti		Brzdové špalky		Ruka		Řídítka		Rám		Vydlice	
Bowdenův kabel	+2	+2														
	0	0														
Brzdové čelisti			+2	+2												
			0	0												
Brzdové špalky					+2	+2										
					0	0										
Ruka	+2	+2														
	0	0														
Řídítka	+2	0							+2	0						
	0	0							0	0						
Rám			+1	0							+2	0				
			0	0							0	0				
Vydlice					+2	0							+2	0		
					0	0							0	0		
Ráfek							+2	+2							+2	0
							0	0							0	0



**Měřítko síly interace**

- +2= Interakce je pro funkci nezbytná.
- +1 = Interakce je hodná, ale není nezbytně nutná pro funkci.
- 0 = Interakce nemá žádný vliv na funkci.
- 1 = Interakce je příčinou negativních vlivů, ale nebrání funkci.
- 2 = Interakci musí být zabráněno, aby byla zachována funkčnost.

Obrázek 15: Matice rozhraní s vysvětlivkami typů a síly interakcí

Jak již bylo zmíněno na začátku kapitoly, jsou rozhraní potencionálním zdrojem poruch. Z těchto důvodů je Boundary diagram a matice rozhraní důležitým zdrojem informací pro analýzu FMEA a P-diagram, tedy pro redukci rizik poruchových stavů, stejně jako pro formulování strategie, jak dosáhnout robustního produktu.

**7.2.2 P-diagram (Parameter Diagram)**

Pokud je navrhován jakýkoliv systém, vychází se z předpokladu, alespoň při prvotním návrhu, že funguje ideálně. Ideálním fungováním se rozumí, že vstupní i výstupní veličiny jsou přesně takové, jaké jsou očekávány, vždy stejné, časově i jinak stálé. Tento předpoklad je samozřejmě určitým zjednodušením, které je nutné v pozdější fázi návrhu opustit a zkoumat a zjistit jak navržený systém doopravdy funguje v reálných podmínkách. Tedy v podmínkách, kdy je systém vystaven rušení, které způsobuje nechtěné chování systému, odchylky od ideálního fungování systému a poruchové stavy systému.

P-diagram má tedy za úkol:

1. definovat a zdokumentovat potřebné vstupní signály/faktory potřebné pro splnění požadované funkce – **Vstupy**
2. popsat hlavní funkci systému – **Hlavní funkce systému**
3. definovat ideální výstupní výsledky systému/funkce – **Požadované výstupy**
4. definovat všechny říditelné faktory systému/funkce – **Říditelné faktory**
5. identifikovat všechny faktory rušení (zdroje odchylek, nebezpečí) – **Faktory rušení**
6. identifikovat potenciální chybové stavy systému/funkce (rizika) jako výsledek působení faktory rušení – **Chybové stavy**

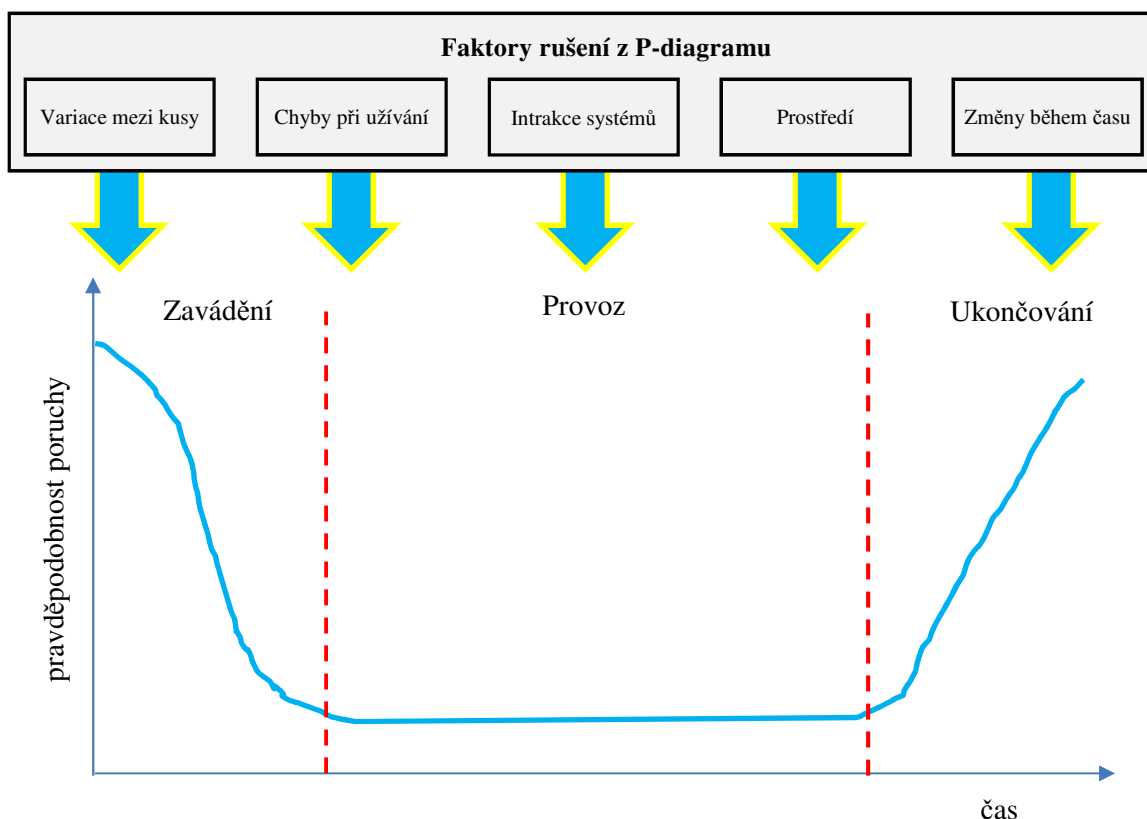
Hlavní funkce systému se určuje při hierarchické dekompozici. Vstupy, říditelné faktory a žádané výsledky funkce systému pak v domech kvality. Říditelné faktory jsou konstrukční parametry (CDP), pokud je řešena citlivost produktu na rušení, anebo procesní parametry (CPP), pokud se zabýváme citlivostí výrobního procesu na rušení. Konstrukční parametry jako říditelné parametry jsou v pozdějších fázích návrhu ( fáze Optimalizace) optimalizovány pomocí metody Monte Carlo, z důvodu minimalizace vlivu variací (odchylek) a kvůli zvýšení úrovně robustnosti.

Faktory rušení jsou zdroje variací (odchylek) navrhovaného systému, a proto je velmi důležité je identifikovat. P-diagram rozlišuje 5 kategorií zdrojů rušení:

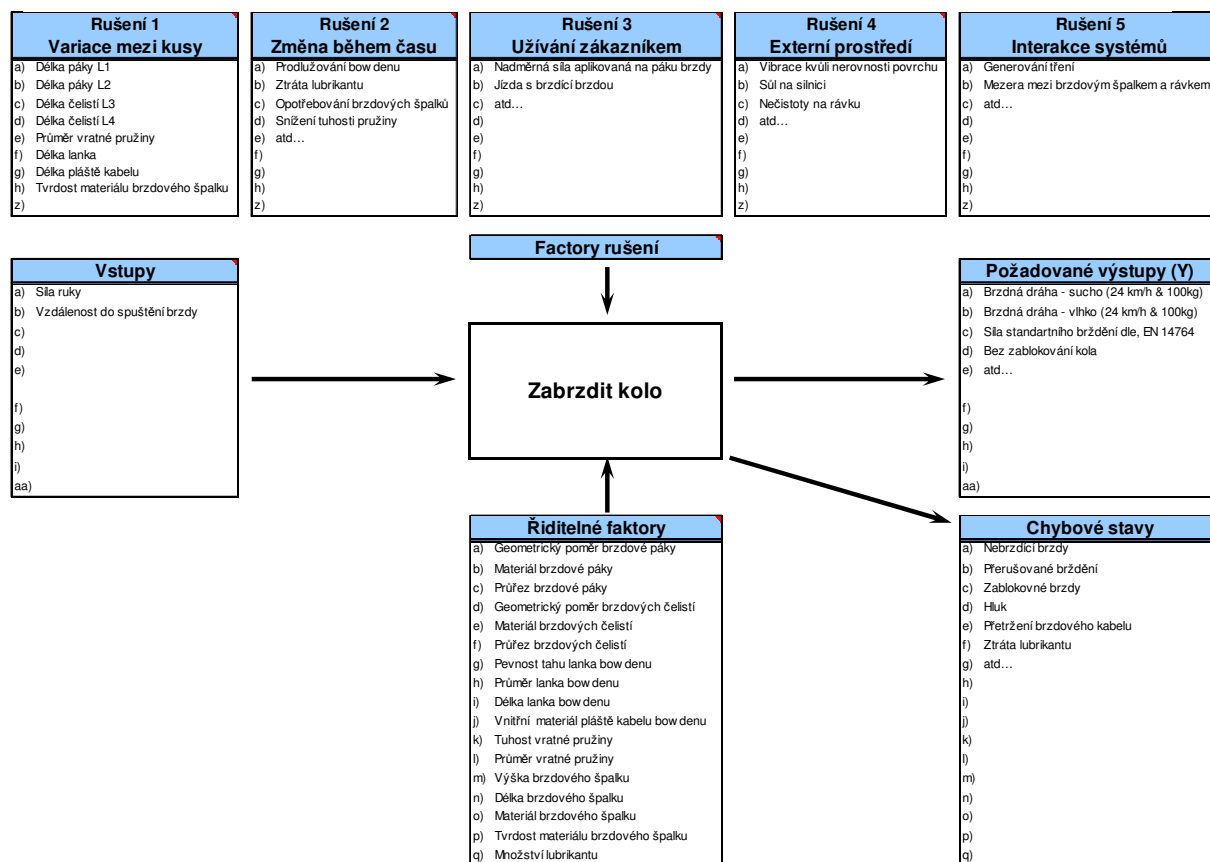
1. **variace mezi kusy** – odchylky mezi produkty, jejich systémy, podsystémy, částmi;
2. **změna během času** – faktory změny systému během času (např. degradační procesy);
3. **chyby při užívání** – lidský faktor ovlivňující správné fungování systému;
4. **prostředí** – faktory vnějšího prostředí, v kterém je systém provozován, mající vliv na fungování systému (např. teplota, vlhkost, nečistoty atd.);
5. **interakce systémů** – vzájemné působení jednotlivých systémů (podsystémů, součástí) produktu mezi sebou.

Jak ukazuje obrázek 16, mají faktory rušení přímou souvislost se spolehlivostí. Odchylky mezi kusy jsou jedním z důvodů poruch v první fázi vanové křivky popisující spolehlivost (dětské nemoci). Ve (druhé) fázi konstrukční odolnosti se projevují chyby uživatele, systémové interakce a působení prostředí. Ve třetí fázi, tedy fázi vyhoření, se pak logicky projevují změny během času.

Na obrázku 17 je zobrazen příklad P-diagramu pro návrh brzd pro jízdní kolo metodou DFSS.



Obrázek 16: Vliv faktorů rušení na spolehlivost



Obrázek 17: P-Diagram návrhu brzd jízdního kola

### 7.2.3 Kontrolní list spolehlivosti a robustnosti (RRCL)

Poté, co jsou pomocí P-diagramu identifikovány všechny poruchové stavy a k nim příslušné faktory rušení (zdroje rizik), lze pomocí kontrolních listů spolehlivosti a robustnosti znázornit následující:

1. míru vlivu (podíl) faktoru rušení na poruchovém stavu (realizace rizika),
2. zjistitelnost (detekovatelnost) poruchového stavu pomocí existujících testů,
3. potenciální strategii pro redukování, případně eliminaci vstupního rušení.

RRCL se vypracovává formou tabulky, většinou v tabulkovém editoru (např. Microsoft Exel, OpenOffice Calc atd.) pomocí maker, a to společně s P-diagramem. Pokud byl před RRLC vypracován P-diagram nebo hierarchická a funkční dekompozice, potom se začíná se zápisem ideální funkce a plánovaných testovacích procedur. Pokud nebyl, musí se nejdříve ideální funkce identifikovat. Dalším krokem je popis poruchových stavů a jejich souvislosti s faktory rušení, které zapříčiňují tyto stavy kvůli svým variacím. Dále se určí, jestli každý nežádoucí stav může být detekován některým z námi navrhovaných validačních testů. Pokud je nalezen nějaký, který nelze pomocí definovaných testů identifikovat, je nutné navrhnout další validační testování. Na závěr se vytváří a implementuje strategie, která určuje, jakým způsobem a kdy je žádoucí minimalizovat, eventuálně zcela eliminovat, variace všech faktorů rušení.

Možné strategie minimalizace vlivu faktorů rušení:

1. změna technologie nebo konstrukce,
2. změna nominálních konstrukčních parametrů s konstrukčními parametry ((pod) při zachování specifikačních limitů),
3. změna konstrukčních specifikací (tolerancí),
4. snížení vlivu faktorů rušení pomocí robustního návrhu konstrukce (posun střední hodnoty u nelineárních přenosových funkcí),
5. přidání kompenzačních faktorů za faktory rušení,
6. seřízení systému či procesu nebo schválení odchylky pro faktory rušení.

Preferovanější jsou strategie 1. – 3. anebo 6., protože strategie 4. – 5. jsou spojeny s vyššími náklady.

## 8 Metody využívané při výrobě a provozu produktu

„Jak jsou data získávána v průběhu výroby a provozu produktu a jak se s nimi pracuje?“

V průběhu výroby dochází k realizaci vprojektované úrovně jakosti, spolehlivosti a rizik, která se později projeví v období provozu tohoto produktu. Během výroby dochází ke sledování a řízení parametrů zabezpečujících a indikujících správné proběhnutí technologického procesu výroby a montáže produktu. Tyto faktory kritické pro výrobní proces a konstrukci produktu, jejich správné hodnoty, kontrolní, regulační mechanismy, postupy jak výrobní, tak i při odchylkách či poruchách, jsou součástí návrhu, vzniklém ve fázi výzkumu a vývoje produktu. Většinou je lze najít jako součást analýzy spolehlivosti, jakosti, rizik či robustnosti.

Fáze provozu produktu se dělí na dvě části. První část, kdy je výrobek pořád v sériové výrobě, tudíž se tato část překrývá s fází výrobní a na druhou část, kdy je podnik dle smlouvy (či ze zákona) povinen dodávat náhradní díly.

V obou částech této fáze se provádí zjišťování, sledování a hodnocení realizací rizik při provozu, např. reklamací, poruch atd. V této etapě hraje významnou úlohu sběr informací a dat, jejich zpracování a vyhodnocení informačním systémem spolehlivosti a jakosti. Zároveň je důležité, jako ostatně v každé etapě životního cyklu produktu, aktualizovat databázi rizik na základě nově získaných poznatků a adekvátně na tyto změny reagovat.

Všechny výše uvedené analýzy, výrobní a provozní data a postupy jsou vstupními daty při analýze rizik, realizovaných ve fázi výroby či provozu produktu. V těchto fázích se většinou lze setkat s nenadálými realizacemi rizik, které nebyly odhaleny při analýze, která se uskutečnila ve fázi vývoje. Jedná se většinou o odchylky na procesu nebo produktu, poruchy, havárie a reklamace.

Tyto nežádoucí stavy jsou v dnešní době řešeny některou z metod *Problem Solving* (8D report, A3 Problem Solving, PDCA atd.) nebo *Lean Six Sigma*, kde metody *Problem Solvingu* vedou rychleji k řešení problému, ale pro specifické problémy je vhodné použít metodiku *Lean Six Sigma*.

### 8.1 Problem Solving

*Problem Solving* je obecný termín používaný v různých disciplínách lidské činnosti. V každé disciplíně má trochu jiný význam. V technice a technických vědách se tyto metody využívají ke strukturovanému řešení problémů s produkty nebo procesy. Hlavním cílem při užití některé z těchto metod je zabránit opakování problému tím, že se odstraní kořenové příčiny a to dlouhodobě udržitelným způsobem. Důležitou součástí je i poučení se a zaznamenání řešení.

Nejběžnější a nejvíce rozšířené metody PDCA, A3 Problem Solving a 8D report jsou popsány v dalších odstavcích.

### 8.1.1 A3 Problem Solving

A3 Problem Solving je způsob, jak řešit problémy strukturovaně. Sestává se ze čtyř základních kroků, které je nutné použít ve správném pořadí a opírá se o standardizované šablony formátu A3.

Těmito kroky jsou:

#### Krok 1. **Popis problému**

- určení sponzora projektu, vedoucího projektu a projektového týmu
- vytvoření podrobného popisu problému a jeho příznaků, při použití všech dostupných faktů a informací
- v případě nutnosti okamžité zavedení akčního plánu za účelem minimalizování vlivu námi řešeného problému
- definování současného stavu problematiky, metrik (Jak lze měřit problém?) a cílů, kterých je třeba dosáhnout projektem
- vypracování zprávy s výsledky 1. kroku pro sponzora projektu

#### Krok 2. **Nalezení kořenových příčin problému**

- nalezení a porovnání potenciálních příčin problému s popisem problému doporučeným nástrojem je některý z typů Ishikawova diagramu „rybí kosti“
- analyzování hlavních technických a systémových příčin vzniku problému a jejich ověření pomocí pokusů a zkoušek, řízení analýzy a výběr pokusů a testů se doporučuje provádět pomocí metody 5 Why
- vypracování zprávy s výsledky 2. kroku pro sponzora projektu

#### Krok 3. **Řešení problému**

- vyhodnocení všech možných nápravných opatření, následované volbou a ověřením nejúčinnějšího dostupného postupu
- implementace akčního plánu nápravných opatření cílících k zamezení opakování problémů proto jsou jednotlivé akce směřovány k eliminaci kořenových příčin a splnění cílů stanovených v kroku 1.
- Vypracování zprávy s výsledky 3. kroku pro Sponzora projektu

#### Krok 4. **Ověření řešení a jeho standardizace**

- monitorování výsledků realizovaných nápravných opatření
- porovnání skutečné účinnosti nápravných opatření s definovanou cílovou účinností
- kontrola, zda byla hlavní příčina problému vyřešena, tedy jestli se problém v daném časovém rámci nebo limitu nevyskytne:

- Problém byl úspěšně vyřešen: ukončí se realizovaný akční plán a zhodnotí se, zda použitý přístup(y) může/mohou být použit(y) pro podobné výrobky nebo procesy, jako ověřený postup. Tím lze předejít opakování tohoto problému v budoucnu a nutnosti jeho opětovného řešení. Doporučeným postupem je výsledné řešení problému zapsat do podnikové znalostní databáze.
- Problém nebyl vyřešen: návrat ke kroku 1. nebo 2.
  - vypracování zprávy s výsledky projektu a řešením problémů pro sponzora projektu
  - ukončení projektu sponzorem.

Výhodou využití některé ze šablon (většinou v dané společnosti normalizované) je, že veškerý potřebný obsah je zobrazen na jednom listě. Díky tomu lze snadněji zacílit činnosti týmu, zvláště pokud je jednoduše dostupný všem členům tohoto týmu (sdílení elektronické verze nebo vystavení v projektové meetingové místnosti (např. Obey room)). Další výhodou je jasně daná a znázorněná posloupnost činností, kde výstup jednoho kroku je zároveň vstupem do dalšího. V neposlední řadě je nespornou výhodou snadná prezentace aktuálního dosaženého pokroku, bez nutnosti připravovat další materiály.

### 8.1.2 Spirála PDCA

PDCA (*Plan–Do–Check–Act*) alias Deminganův cyklus (spirála, kruh), je nesprávně pojmenován podle Williama Edwardse Deminga, jednoho z průkopníků statistické kontroly výroby a řízení kvality. Ve skutečnosti je původním autorem Walter Andrew Shewhart, který Deminga inspiroval svým pojetím aplikace statistických metod při řízení a kontrole výroby. [5]

PDCA cyklus lze použít ve všech odvětvích zlepšování a řízení. Proto je označován za jednu z metod vhodných pro řešení problémů při výrobě produktu.

Skládá se ze čtyř základních fází, které se neustále opakují, až do konečného vyřešení problému, nebo do fáze zlepšení, kdy by každé další zlepšení bylo tolik nepatrné, že by nepokrylo náklady do něj vložené. Fáze Demingova cyklu jsou:

**Plánování** (*Plan*) – sestavení plánu s vědomím, že plán pravděpodobně nebude 100 % účinný a bude potřeba ho upravit. Nejčastěji se plán upravuje v dalším cyklu, opět ve fázi plánování.

**Uskutečnění plánu** (*Do*) – provedení naplánovaných akcí.

**Kontrola** (*Control*) – posouzení účinnosti vykonaných akcí, dle stanovených kritérií a metrik.

**Provedení změn** (*Act*) – dle výsledků kontrol účinnosti předchozích akcí se zavedou změny a vylepšení.



Spirálu jakosti PDCA lze použít pro řešení problému s produktem, procesem jeho výroby a všech činnostech spojených s vývojem a výrobou produktu.

### 8.1.3 8D report

Metoda 8D je velmi rozšířenou metodu zvláště v průmyslových odvětvích založených na řetězcích mnoha subdodavatelů. Jako příklad můžeme uvést automobilový průmysl. Rozvětvený dodavatelský řetězec obecně zlevňuje zboží, ale zesložitňuje logistiku a zvyšuje rizika reklamací a problémů s dodávkami. Tyto problémy (realizovaná rizika) je možné řešit pomocí metody 8D.

Metoda využívá tři vzájemně se doplňující postupy:

- Proces řešení problémů (*Problem Solving*)
- Standardizované postupy
- Standardizovaný formulář zprávy

Velkou výhodou metody 8D je, že komunikuje (např. se zákazníkem) postup řešení problému v logickém a známém formátu. Metoda je založena na faktech a datech. To znamená, že v každém kroku jsou závěry vyvozené z analýzy skutečností. Tato analýza je ověřována, přičemž je zajištěno, že je zjištěna skutečná příčina a jsou definována a realizována účinná nápravná opatření.

Metoda 8D se skládá z následujících kroků:

#### **D0 - Vyhodnocení potřeby procesu 8D a provedení akcí pro nouzovou reakci** (*Emergency Response Action*)

Cílem tohoto kroku je zhodnotit potřebu procesu 8D, popsat příznaky problému a v případě potřeby provést nouzový zásah (akci). Do 8D formuláře se zaznamenávají všechny dostupné údaje a informace, které popisují a objasňují problém a identifikují se Osoby (zúčastněné strany - zákazník, výrobní závod, dodavatelé apod.).

#### **D1 - Vytvoření týmu**

Na základě předběžného pochopení problému by měl být určen tým. Nutnou součástí zprávy jsou údaje o jméně, funkci a kontaktní informace o vedoucím týmu, šampionovi projektu (Champion) a jednotlivých členech týmu.

Účelem tohoto kroku je určit nejlepší členy týmu, který by měl vyřešit problém a specifikovat týmová pravidla. Během práce se členové mohou měnit a počet členů týmu se může zvyšovat či snižovat. Za účelem správného výběru lidí do týmu je třeba prvně určit potřebné dovednosti a znalosti pro určité role. Tým musí být odpovídajícím způsobem informován, jak byly určeny cíle, postupy, termíny a jaký bude používán formulář pro podávání zpráv. V tomto bodě by měla být rovněž stanovena vhodná komunikační strategie s jednotlivými zúčastněnými stranami.

## **D2 - Popis problému**

Jako základ pro další kroky D3 a D4 je potřeba jasný, přesný a podrobný popis problému. Kvalitní popis problému vede k definici účinných akčních plánů a spolehlivé analýze základních příčin.

Uvádí se označení problému (co je špatně kvůli čemu), které lze většinou použít jako název 8D reportu. Toto označení má odrážet reálné jádro problému a obsahuje příslušné informace včetně krátkého popisu problému, jména zákazníků (nepovinné), kterých se problém týká a označení dotčených součástí.

Dalším důležitým bodem je popis prostředí a podmínek, ve kterých se problém vyskytuje, a to včetně analýzy porouchaného (reklamovaného) dílu. Pokud je to možné, je dobré zapojit do procesu analýzy dílu i dodavatele a subdodavatele.

Oddíl D2 – popis problému má obsahovat i jasnou definici toho, co není v souladu s požadavky kladenými na produkt, proces nebo systém řízení kvality. To zahrnuje obrázky, e-maily, zprávy a další přílohy, které pomohou čtenáři 8D reportu porozumět problému. Proto je potřeba určit podmínky jak kvalitativně tak kvantitativně, zkontrolovat dostupné údaje, identifikovat další dostupná data, shromáždit je a analyzovat. To většinou není možné od stolu, proto se pro lepší pochopení a rychlejší zajištění dat doporučuje zajít na místo, kde k problému došlo (Gemba walk). Shromažďovaná data bývají normálně této povahy:

1. dotčené výrobky a zákazníci, čísla dílů, sériová čísla, přepravní informace atd.,
2. sledovatelnost procesu během výroby, dopravy, stavy uvolnění atd.,
3. historie specifikací produktu a procesů včetně změn po prvních zkušebních sériích,
4. datum prvního výskytu problému, výrobní období a dotčený proces.

Pokud je to možné, je nutné během tohoto kroku rozeznávat mezi popisem problému z pohledu zákazníka a výrobního podniku. Oba pohledy jsou pro analýzu důležité, a proto je žádoucí být v neustálém kontaktu se zákazníkem. V případě potřeby zjišťovat či odstraňovat následky realizace rizik přímo u něj.

Je vhodné aktualizovat popis problému, kdykoliv dostaneme nové relevantní informace.

## **D3 - Vypracování dočasného opatření pro omezení následků realizace rizika (problému)**

Na základě popisu problému se provádí okamžitá, dočasná opatření, aby se minimalizoval dopad tohoto problému na všechny postižené zúčastněné strany (zákazníka, dodavatele, výrobní závod, dopravce). Z toho vyplývá, že cílem tohoto kroku je v maximální možné míře chránit zákazníka před problémem, dokud nebude nalezeno jeho trvalé řešení.

Pokud nejsou vyžadovány nebo neexistují žádná použitelná opatření pro omezení problému, zdokumentují se důvody a přistoupí se k dalšímu kroku.

V jiném případě je vypracován akční plán, který se implementuje a ověří se účinnost akcí omezujících následky realizace rizik. Cílem je se ujistit, že jsou akce dostatečné pro ochranu zákazníka před problémem. Během zjišťování efektivity běžícího akčního plánu se zaznamenávají výsledky. Tyto výsledky obsahují údaje o počtu vyrobených kusů, defektů, časové informace a další relevantní informace o dílech zpracovaných během akčního plánu. Zároveň se kontroluje a aktualizuje bod D2 (Popis problému).

Existují dva hlavní aspekty, které je třeba zvážit:

- 1) části vyrobené před zjištěním či oznámením problému,
- 2) Části, které byly (budou) vyrobeny po zjištění či oznámení problému.

U součástí, které byly vyrobeny před zjištěním problému, musí být identifikovány všechny lokality, kde se mohou nacházet problematické díly. Prozkoumává se celý dodavatelský řetězec, dodavatelé, sklady, dopravci (běžné je i zastavování zásilek), zákazník, dealeri atd. Výrobky na všech těchto místech by měly být identifikovány a ověřeny.

U dílů, které budou (byly) vyrobeny po zjištění problému, musí být dodržovány a udržovány akce akčního plánu, dokud nebude prokázána účinnost stálých nápravných opatření.

#### **D4 - Definice a ověření kořenových příčin**

Analýza kořenových příčin metodou 8D se provádí stejným způsobem, který je popsán v kroku 2 základního procesu strukturovaného A3 Problem Solving (viz strana 51).

Klíčovým bodem je identifikovat všechny potenciální příčiny problému, verifikovat námi zjištěné příčiny a nalézt mezi nimi základní příčinu(y) vzniku problému a to jak na technické, tak i na systémové úrovni. Jakmile je zjištěna hlavní příčina, je možné provést revize za účelem zlepšení technické kvality nebo účinnosti systému.

Součástí zprávy by měla být i dokumentace všech kroků analýzy, včetně ověřovacích postupů a jejich výsledků. Všechny závěry by měly být odůvodněny zkouškami a pokusy. Důležitá je i kontrola, jestli existuje konzistence mezi zjištěnými základními příčinami a popisem problému. Závěrečnou částí tohoto bodu je kontrola a aktualizace kroků D1, D2 a D3.

#### **D5 - Zvolení a ověření nápravných opatření**

V tomto kroku se definují nápravná opatření, která mají zajistit trvalé odstranění všech zjištěných příčin problému. Obvykle se definuje alespoň jedna nápravná akce pro každou technickou a systémovou příčinu výskytu problému. Standardem je uspořádat brainstorming, kde jsou potenciální nápravná opatření probírána s odborníky ve snaze nalézt vhodná nápravná opatření (řešení) pro každou základní příčinu realizace rizik. Stanovují se rozhodovací kritéria (např. čas/úsilí a (nebo) náklady/přínosy) pro hodnocení nápravných opatření (řešení).

Poté se ověřují nápravná opatření, například pomocí vhodných testů, aby se demonstrovalo (zákazníkovi, managementu atd.), že bylo nalezeno skutečné řešení problému a že nejsou žádné nežádoucí vedlejší účinky tohoto řešení.

Na závěr se pak vytvoří a popíše plán implementace ověřených nápravných akcí.

#### **D6 - Provedení a ověření nápravných opatření**

První činností v tomto kroku je zajistit kontinuální kontroly skutečného odstranění kořenových příčin problému. Poté se provádějí nápravná opatření určená v předchozím kroku a ověřuje se jejich skutečná účinnost. Jakmile je účinnost těchto akcí potvrzena a validována, ukončí se veškeré dočasné provizorní zásahy a akce pro nouzovou reakci, započaté v kroku D0.

#### **D7 - Zabránění opakování problému**

Kontrola, zda lze použít nápravná opatření, aby se zabránilo problémům s podobnými produkty nebo procesy na jiné lince, v jiné lokaci nebo u dodavatele, je velice důležitým bodem metody 8D. K tomu slouží většinou podnikové znalostní databáze, které jsou někdy sdíleny i v celém dodavatelském řetězci (záleží na politice dané společnosti a na hloubce know-how, které je ochoten do takové databáze vložit).

V tomto kroku dochází k vyhodnocování rizik podobných problémů vyplývajících z potenciálních příčin zjištěných dříve v kroku D4 (například v automobilovém průmyslu se užívají metody FMEA, FTA, DRBFM či jiné nástroje řízení rizik). Na základě vyhodnocení mapy rizik se podle potřeby určují a provádějí preventivní opatření.

#### **D8 - Konečné schválení závěrů, uznání zásluh týmu a uzavření projektu**

Název tohoto kroku je dostatečně vypovídající o tom, co je jeho účelem. Zkompletuje se závěrečná zpráva o řešení problému a odešle ke schválení (zákazník(ům), managementu). Zhodnotí se zásluhy týmu a oslaví se s ním úspěch, tento postup je doporučován hlavně pro posílení týmového ducha a motivování kolegů do další práce.

Po úspěšném zvládnutí problému a uzavření jeho řešení se veškeré požadované formuláře vyplní v interních i zákaznických databázích.

## **8.2 Lean Six Sigma**

Six Sigma je metoda zlepšování procesů, používaná v průmyslových a servisních společnostech, která je uznávána a propagována v mnoha odvětvích lidské činnosti. Může být použita i ve velmi specifických případech řešení problémů.

Tato metodika je založena na faktech a je řízena daty. Má za úkol minimalizovat aktivity bez přidané hodnoty, odstraňovat příčiny odchylek, defektů (realizace rizik) a snižovat variace procesů s cílem splnit nebo překročit požadavky zákazníků.

Výše zmíněné zlepšení je dosahováno pomocí spirály DMAIC<sup>2</sup> (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*), jejíž jednotlivé kroky jsou podrobně popsány v dalších podkapitolách. Zkráceně lze říci, že ve fázi Definice je hlavním úkolem naslouchat zákazníkovi, zjistit jeho požadavky a převést je na měřitelné klíčové výstupní parametry (Y). Ve fázi Měření je zjišťováno, jak daná kritéria splňuje proces v současnosti. V dalším kroku, neboli ve fázi Analýzy se určují vstupy zodpovídající za hodnoty výstupu (za měřitelné klíčové výstupní parametry – Y) a identifikují se mezi nimi ty klíčové (X). Ty jsou ve fázi Zlepšování optimalizovány (jejich střední hodnota, variace atd.), aby bylo dosaženo požadovaných hodnot měřitelných klíčových výstupních parametrů. Na závěr ve fázi Řízení se zjišťuje, jak moc se povedlo proces zlepšit a jak, pokud jestli, se bude ve zlepšování pokračovat.

### 8.2.1 Fáze Definice (*Define*)<sup>3</sup>

Ve fázi Definice je úkolem objasnit cíle projektu, zachytit potřeby a přání zákazníka, převést je na měřitelné charakteristiky a definovat kritéria přijetí. Tyto klíčové procesní výstupy jsou označovány jako Y.

Prvním krokem této fáze je vyplnění projektového plánu (*Project Charter*), který má za úkol poskytnout všem členům týmu a zainteresovaným Osobám jasný přehled o cílech a rozsahu projektu. Kromě popisu cílů a rozsahu projektu, je v tomto dokumentu zapsán i seznam členů projektového týmu, často i s oblastmi zodpovědnosti jednotlivých členů. Důležitou částí projektového plánu je časový rozvrh projektu. Aktualizaci a dodržování tohoto plánu je nutné kontrolovat po celou dobu projekt. Projektový plán a jeho obsah je nutné nechat si schválit jak u *Project Championa* tak u vlastníka projektu.

Poté je nutné určit požadavky zákazníků. Začíná se vypracováním mapy procesu na vysoké úrovni. K tomu je vhodný SIPOC diagram, kde se identifikují dodavatelé (*Suppliers*), vstupy procesu (*Inputs*), procesní kroky řešeného procesu (*Process*), výstupy procesu (*Outputs*) a zákazníci dotčení procesem (*Customers*). Díky této identifikaci jsou známy všechny zúčastněné strany (*Stakeholders*) a může se začít se shromažďováním informací o požadavcích zákazníků. Získaný seznam zákaznických potřeb je klasifikován pomocí Kano modelu - hlas zákazníka (*Voice of Customers*) na základní (*Basic*), výkonové (*Performance*) a neočekávané (*Delight*) požadavky.

---

<sup>2</sup> Dovolím si vsuvku s osobní zkušeností. Během školení, které jsem absolvoval, nám školitel jednotlivé fáze nejdříve popsal citacemi přílehlavých výroků. Tyto citace jsem si zaznamenal, protože mi přišly velmi výstižné, a proto je připojuji ke každé podkapitole jako poznámku pod čarou.

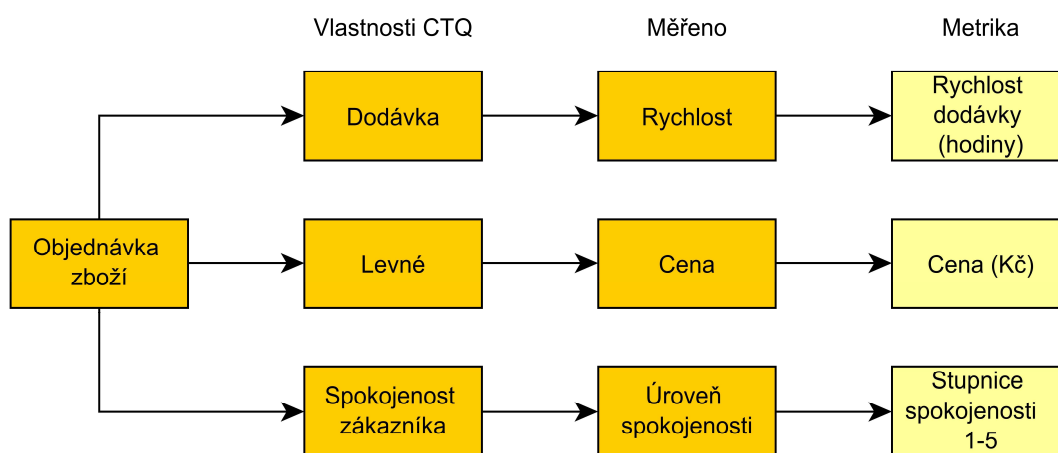
<sup>3</sup> „Jasně popsany problém je z poloviny vyřešený.“ (“*A problem clearly stated is a problem half-solved.*”)

**Dorothea Brande**

Společně s požadavky zúčastněných stran se rozdělí na kritické požadavky pro (Critical to – CTX):

- kritické pro prostředí (*Critical To Environment* (CTE));
- kritické pro bezpečnost (*Critical to Safety* (CTS));
- kritické pro podnikání (*Critical To Business* (CTB));
- kritické pro kvalitu (*Critical To Quality* (CTQ));

Požadavky a potřeby zákazníka a dalších zúčastněných stran musí být převedeny na kvantifikovatelnou formu - metriky projektu - Y. Za tímto účelem vytvoříme strom CTX / CTQ viz obrázek 18: Příklad Stromu CTX/CTQ (Kritické pro/Kritické pro kvalitu). Jakmile jsou identifikovány metriky projektu, které kvantifikují požadavky zákazníků a zúčastněných stran, stanoví se hodnoty metrik projektu (Y), které splňují požadavky zákazníka a ostatních zúčastněných stran, tzv. požadavky na přijetí - kritéria přijatelnosti. U produktu se někdy nazývají limitami specifikace.



Obrázek 18: Příklad Stromu CTX/CTQ (Kritické pro/Kritické pro kvalitu) objednávka zboží

### 8.2.2 Fáze Měření (*Measure*)<sup>4</sup>

Ve fázi Měření je hlavním úkolem zjistit, jak dobré (nebo špatné) jsou klíčové výstupy (Y) z hlediska požadovaných metrik. Také se zjišťuje, jestli jsou spolehlivé systémy pro získání dat o vstupech a výstupech.

K tomu je na začátku potřeba získat nebo vytvořit aktuální procesní mapu zkoumaného procesu. I když existuje mapa procesu a přeskočení tohoto kroku by ušetřilo čas, nedoporučuje se to. Nehledě na to, že některé mapy jsou neaktuální nebo špatně vytvořené, jsou znalosti získané při tvorbě nové, nebo při aktualizaci stávající mapy, zásadní při dalších

<sup>4</sup> „Nemůžete řídit to, co neměříte.“ (“You cannot manage what you do not measure.”)

činnostech v rámci jednotlivých fází metodiky Six Sigma. Procesní mapy jsou důležité, protože poskytují přehled o vnitřním fungování procesu.

Jak bylo řečeno na začátku, metodika Lean Six Sigma je založena na faktech a řízena daty, proto je nutné mít vypracovaný plán měření pro výstupy (Y). Pokud se nepodaří správně naplánovat postupy měření, nelze reálně dosáhnout požadovaných cílů projektu. Stejně jako plán projektu ukazuje strukturu tohoto projektu a napomáhá plnění plánu, tak plán měření má zajišťovat, že bude shromážděno správné množství správných dat správným způsobem ve správný čas.

Když je vypracován plán měření a sestaven měřicí systém, je nutné ho verifikovat. K tomu slouží Analýza systému měření (*The Measurement System Analysis* – dále jen MSA). MSA je statistické vyhodnocení měřicího systému. Říká, zda je měřicí systém dostatečně přesný na to, aby rozlišoval mezi různými úrovněmi výstupů (Y).

V MSA se hojně využívají řídicí diagramy (*Control Chart*). Ty se nejvíce využívají ve fázi Řízení, kde jimi kontrolujeme stabilitu vylepšeného procesu, ale jsou užitečné také ve fázi Měření při posuzování stability měřidel a původních procesů.

Je důležité si uvědomit, že název analýzy je „Analýza měřicího systému“, ne „Analýza měřidel“. Důvodem je skutečnost, že kromě měřidel existují další faktory, které mohou ovlivnit spolehlivost požadovaných měření. Těmito faktory mohou být například operátoři provádějící měření a okolní podmínky.

V tomto okamžiku je vytvořen systém měření, který byl ověřen pomocí MSA, neboli byla ověřena jeho spolehlivost, a existuje plán na získání dat. Dalším krokem tedy je skutečné shromáždění dat z procesu a vyhodnocení současného stavu výstupu procesu (Y).

Při sběru dat je důležité měřit proces, aniž by se změnilo jeho fungování. Pokud tak nebylo ještě učiněno, je potřeba začít zkoumat, jak proces reálně funguje, nalézt či potvrdit uvažované vstupy (X), které by mohly ovlivnit výstupy (Y).

Pokud je plán měření řádně proveden, mohou být data, která shromáždíme z procesu, použita k měření základní způsobilosti procesu. Jednoduše řečeno, způsobilost procesu je měřítkem toho, jak spolehlivě výstupy procesu (Y) splňují specifikaci. Studie způsobilosti může například ukázat, zda nemá proces příliš mnoho variací nebo jak se jeho hodnoty pohybují vzhledem ke středu rozsahu specifikací. Pokud je proces způsobilý, ale zákazník není přesto spokojen, je dobré ověřit, zda jsou limity specifikací správně definovány nebo jestli používáme správné výstupní metriky (Y).

Pokud jsou všechny výše zmíněné úkoly uspokojivě splněny (rozhoduje vedoucí projektu společně se sponzorem a *Championem*) lze přejít do další fáze, fáze Analýzy.

### 8.2.3 Fáze Analýzy (*Analyze*)<sup>5</sup>

Fáze Analýzy je bodem, kde se zaměření pozornosti projektu změní z výstupů (Y) na vstupy (X). V této fázi je podrobně studován a analyzován proces. Cílem analýzy je seznámit se všemi vstupními faktory, a pak, racionálním a datově řízeným přístupem, vyhledat několik významných, kontrolovatelných faktorů, u kterých je předpoklad, že pomocí jejich optimalizace lze dosáhnout požadovaných parametrů výstupů Y.

Při zkoumání procesu, za předpokladu, že je dostatek času se jím podrobně zabývat, jsou často vyzorovány věci, o jejichž existenci nebylo doposud nic známo. Zjišťování podrobností o procesu je ale obtížné, jelikož když si zainteresované strany (dodavatelé, manipulátoři na linkách, mistři atd.) uvědomí, že je na jejich činnost zaměřena pozornost, chovají se často způsobem, který je netypický. To může zkreslit poznatky o procesu.

Tento jev se nazývá Hawthornský efekt (*Hawthorne Effect*), podle slavné přehledové studie provedené ve společnosti the Western Electrical Company's Hawthorne Works v Chicagu během dvacátých a třicátých let 20. století. Bylo zjištěno, že zlepšení osvětlení zlepšilo produktivitu práce, ale že se výkonnost po ukončení studie opět snížila. Později se dospělo k závěru, že se výkonnost nezlepšila z důvodů lepšího osvětlení, ale kvůli pozornosti, kterou vědci věnovali tomuto procesu.<sup>6</sup> [29]

Prvním krokem tedy je pečlivě studovat proces, aniž by byl studiem ovlivněn. Cílem je zjistit plýtvání a neefektivitu, která stojí podnik čas a peníze.

Užívají se dvě základní metody, jak nalézt plýtvání a neefektivitu v procesu:

První je metoda hledání 7+1 běžných plýtvání v procesech (nejen výrobních), nazývaná 7+1 *Mudas* (plýtvání nebo anglicky *Wastes*) či TIM WOODS podle počátečních písmen anglických pojmenování jednotlivých druhů plýtvání. Těmi jsou zbytečný transport (*Transport*), přebytečné zásoby (*Inventory*), zbytečné pohyby (*Movement*), čekání (*Waiting*), nadbytečné zpracování (*Over-Processing*), nadvýroba (*Over-Production*), vady (*Defects*) a nevyužití potenciálu (*Skills Unutilized*).

Druhou je metoda *Value Stream Maps* (VSM), neboli mapa hodnotových toků. Touto metodou si graficky znázorníme veškeré toky procesem (materiálu, činností, peněz, informací atd.) a vyhledáme možná plýtvání.

Jak je zřejmé, lze využít obě metody zároveň, kdy si zakreslíme veškeré toky pomocí metody VSM a poté pomocí metody 7+1 *Mudas* hledáme možná plýtvání.

<sup>5</sup> „Nevěřte ničemu jen proto, že jste to slyšeli. Nevěřte ničemu jen proto, že se to říká a že to říkají mnozí...Ale po pozorování a analýze, když zjistíte, že rozumná agrese je přínosem pro dobro a prospěch jednotlivce a všech, přijměte to a žijte podle toho.“

**Buddha**

„Můžete vidět hodně už jen tím, že hledáte.“ (“*You can see a lot by just looking.*”)

**Yogi Berra**

<sup>6</sup> Mohu potvrdit ze své praxe, kdy se některé problémy „zázračně“ vyřešily a to pouze tím, že se jim věnovala pozornost. Poté co se jim pozornost přestala věnovat a měly se za vyřešené, se opět objevily.



Zatímco krok 1. fáze analýzy byl zaměřen na *Lean* stranu projektu, krok 2. se zaměřuje na nalezení, kvalifikování a kvantifikování vstupů či faktorů (X), které ovlivňují úroveň klíčového výstupu (Y). Je to jeden z populárních způsobů, jak vytvořit seznam vstupů, je užití metod týmového brainstormingu nebo strukturovaných či semistrukturovaných rozhovorů (viz kapitola 5.14) Po ukončení brainstormingu může být vytvořen afinitní diagram pro uspořádání a zjednodušení seznamu potenciálních vstupů. Další možností je zanést vstupy do diagramu příčin a následků (také Ishikawův diagram „rybí kosti“ viz kapitola 5.10).

Po zjištění určení klíčových vstupů (X) řešeného procesu je nutné ověřit jejich měřicí systém. Ověření se provádí stejně, jak se provádělo ověřování měřicího systému pro výstupní metriku ve fázi měření, tedy metodou MSA viz strana 58. Pokud by tak nebylo učiněno, mohly by být závěry o vztahu X na Y negativně ovlivněny chybou měření. Pokud nemá některý ze vstupů měřicí systém, je nutné jej vyvinout.

Nyní, když jsou nalezeny vstupy, pomocí kterých je potenciálně možno řídit výstupy, je potřeba stanovit vztah mezi nimi ( $Y=f(X)$ ). V tomto kroku je využíváno dostupných údajů a procesních znalostí k zúžení počtu klíčových vstupů/faktorů. V některých případech je to možné jednoduše brainstormingem a přidělováním bodů jednotlivým vstupům na diagram příčiny a následku. Tím, že lze klasifikovat zdroje variace. Další možností je použít specializovaný statistický program (například Minitab), který poskytuje možnost využití některých grafických nástrojů, které nám pomohou interpretovat vztah mezi vstupy a výstupy. Takto lze vybrat několik kritických vstupů (X), které mají nejsilnější dopad na výstupy (Y).

Jakmile je k dispozici seznam kritických vstupů/faktorů, je možné, pomocí testů a experimentů, stanovit nastavení vstupu (X), které povedou k optimalizovanému výkonu výstupní metriky (Y). A to tak, že jsou postupně měněny hodnoty vstupů X a sledovány reakce výstupu Y. Nejpoužívanější metody jsou tyto:

- **Korelační studie** kvantifikuje lineární vztah mezi vstupem a výstupem.
- **Regrese** poskytuje matematický model vztahu mezi vstupem a výstupem.(i nelineární).
- **Testy hypotéz** lze použít k určení, zda změna vstupu (X) způsobila statisticky významnou změnu výstupní metriky (Y).
- **Faktorové experimenty** (*Design of Experiments* – DOE) lze použít k vyhodnocení změn na výstupu (Y) vyplývajících ze současného nastavení dvou nebo více vstupů (X).

Pokud již známe vztahy mezi vstupy a výstupy a všechny druhy plýtvání a neefektivity, lze přejít do fáze zlepšování.

#### 8.2.4 Fáze Zlepšování (*Improve*)<sup>7</sup>

Ve fázi Zlepšování všechny předchozí kroky (získávání a vyhodnocování zákaznických požadavků, tvorba a analýza měřicího systému, mapování procesu a analýza naměřených dat) vyvrcholí výběrem a aplikací potencionálně nejlepšího řešení.

Na straně *Lean* řešení je omezováno plýtvání a neefektivita a při řešení problémů je snaha optimalizovat výstupy. Jak zdůrazňuje citát pod čarou, je nutné tak činit s jasnou vizí a plánem, jinak není možné dosáhnout požadovaných cílů.

Ve fázi Analýzy bylo identifikováno plýtvání v procesu. Nyní je čas s tím něco udělat. *Lean* metody poskytují řadu nástrojů, které lze použít k odstranění identifikovaných plýtvání.

1. **Kaizen** (z japonštiny *kai* - změna a *zen* – dobrý) označuje postupné zlepšení. Pokud jsou pravidelně prováděna malá, dlouhodobě udržitelná zlepšení, lze v průběhu času pozorovat značné zlepšení procesu.
2. **Poka Yoke** (nespisovně česky „blbuvzdornost“) je metoda, která se snaží jednoduchým způsobem upozornit na chybu nebo jí zamezit. Jedná se hlavně o barevné nebo tvarové řešení. (např. zástrčku díky speciálnímu tvaru nelze do zásuvky zastrčit špatným způsobem).
3. Jedním z principů štíhlé výroby je myšlenka, že věci nejsou „tlačeny“ ale „tahány“. Vyrábí se pouze to, co zákazník potřebuje a v množství, které zákazník potřebuje v daném čase (*Just-In-Time*).
4. Jednou z forem plýtvání je čekání na podproces s dlouhou dobou výrobního cyklu (úzké místo – *Bottleneck*); vyřešením tohoto problému se zvyšuje potenciální kapacita i flexibilita procesu.
5. *Lean* procesy jsou agilní, protože mohou snadno přecházet z výroby jednoho výrobku do výroby výrobku jiného, aniž by to zabralo mnoho času na přestavbu. Tato agilita je předpokladem pro minimalizaci velikosti šarže a schopnost dodávat *Just-In-Time*.
6. 5S je metoda odstranění všeho nepotřebného z pracoviště a zjednodušení přístupu k potřebným věcem a to prostřednictvím vizuální organizace a údržby zlepšeného stavu.

Při snaze optimalizovat procesy se, v návaznosti na brainstorming, který byl užit ve fázi analýzy, užívají i další nástroje, které pomáhají nalézt potenciální řešení:

- *Benchmarking* identifikuje vylepšení, které ostatní již úspěšně vyvinuli, otestovali a užívají.

---

<sup>7</sup> „Vize bez akce je sněním. Akce bez vize je noční můrou.“ (“*A vision without action is called a daydream; but then again action without vision is called a nightmare.*”)

Jim Sorensen

- SWOT analýza vyhodnocuje "velký obraz" potenciálního řešení, které může uspět nebo selhat. Optimalizace jednoho výstupu může vést k degradaci dalších výstupů (viz kapitola 5.2).

V určitém okamžiku se může rozhodovat mezi dvěma nebo více možnými řešeními. Pughova matice poskytuje metodu porovnání potenciálních řešení a identifikace nejlepší alternativy.

Po vymezení nejlepšího řešení je nutné provést posouzení rizika tohoto řešení. Většinou se užívá metoda FMEA (viz kapitola 5.3), která pomáhá identifikovat, kvalifikovat a kvantifikovat rizika procesu. Tím je získán prostor provést nápravná opatření předtím, než bude navrhované řešení implementováno.

Na závěr fáze Zlepšování jsou k aplikaci připraveny veškeré poznatky, které byly zjištěny o zlepšovaném procesu. Aplikace pilotního řešení je reálným testem navrženého plánu zlepšování. Pokud tento test dosáhne požadovaných výsledků, lze jej implementovat v širším měřítku. V případě, že jsou identifikovány problémy, měl by být tento plán revidovat tak, aby mohla být plná implementace úspěšná.

- Standardní práce slouží k minimalizaci variability spojené s lidským faktorem. Zaměřuje se na minimalizaci příčin z kategorií (z větve) Člověk (*Menpower*) a Metody (*Methods*) v diagramu příčin a účinků (viz kapitola 5.10).
- Matice zodpovědnosti (Zodpovídá - *Responsible*, Schvaluje - *Approves*, Podporuje - *Supports*, Informován - *Informed*; RASI) definuje role a odpovědnosti za zlepšený proces.

Rozhodování o úspěšnosti zlepšení řešeného procesu se děje ve fázi Řízení.

#### 8.2.5 Fáze Řízení (*Control*)<sup>8</sup>

Během fáze Řízení je projekt ukončován. Na začátku této fáze je dostupný pomocí pilotního řešení zlepšený proces, a to buď po stránce plýtvání, nebo po stránce optimalizace klíčových výstupů (ideálně obojí). Nyní je potřeba podniknout kroky, které zajistí stálost zlepšení procesu. Pokud nebudou správně provedeny kroky v této fázi, hrozí reálné nebezpečí, že se proces vrátí do původního stavu. Jak je napsáno v citátu pod čarou, pokud se z problému reálně nepoučíme, jsme v budoucnu nuceni mu opět čelit.

Ve fázi zlepšování bylo otestováno pilotní zlepšení procesu (např. na jednom stanovišti, jedné výrobní lince, jednom administrativním procesu atd.), kterým bylo ověřeno reálné zlepšení procesu. Pokud bylo dosaženo požadovaných výsledků, je možné, s využitím zkušeností získaných z této zkoušky, vyvinout, naplánovat a provést implementaci zlepšení

---

<sup>8</sup> „Ti, kteří si nepamatují svou minulost, jsou odsouzeni opakovat své chyby.“ (“*Those who do not remember their past are condemned to repeat their mistakes.*”)

George Santayana

na všechny relevantní procesy v širokém rozsahu (všechny stejné stanice, výrobní linky, administrativní procesy ve všech odděleních atd.).

K řízení procesů, za účelem udržení úrovně zlepšení, se používají následující metody:

- **Řídící diagramy** se implementují do řízení procesu, aby se zajistilo, že hodnoty klíčových vstupů a (nebo) výstupů a jejich variace budou udržovány na potřebných úrovních.
- **Kontrolní plán** obsahuje seznam všech řídicích prvků, které budou zavedeny, aby nedošlo k opětné degradaci vylepšeného procesu
- **Visual Management** posiluje kontrolní plán sdělováním důležitých informací, jako je například provozní stav procesu. Patří do něj i přehledné návody, které mají napomoci k omezení chyb způsobených lidským faktorem.
- **Celková produktivní údržba** (*Total Productive Maintenance* - TPM) zajišťuje, že veškeré problémy se zařízením budou okamžitě identifikovány, hlášeny a řešeny, hned jak je to možné. Ideálním stavem je předcházení těchto problémů (poruch, neshod) s pomocí preventivních či dokonce prediktivních postupů.
- **Jidoka** má podobný přístup, ale se zaměřením na vady. Jidoka je charakterizována odstávkami procesu, pokud se vyskytne nějaká odchylka. Tyto odstávky mají usnadnit řešení problémů, opravu procesů a vývoj účinných preventivních protipatření, pokud si to situace žádá.

V dalším kroku dochází ke konečnému zavádění navrženého zlepšení. Je nezbytné dodržovat plán implementace a zajistit, aby byly náležitě používány kontrolní plány a standardní pracovní postupy. Je vhodné zaznamenat do materiálů o projektu veškeré problémy se zaváděním zlepšení do daného procesu a odpovídající řešení těchto problémů. Tyto informace pak mohou být sdíleny s ostatními lokacemi, které se rozhodnou zavést vyvinuté řešení.

Jakmile bylo zlepšení procesu plně zavedeno, je nezbytné provést studii s cílem ověřit jejího účinnost. Využívá se k tomu studie způsobilosti procesu, která již byla využita ve fázi měření. Důležité je nejen zlepšit faktory (jak vstupní, tak výstupní), které měly nevyhovující způsobilost (úroveň způsobilosti (Ppk, nebo Cpk) menší než 1,67), a byly tedy zahrnuty do plánu zlepšení, ale i udržet úroveň způsobilosti u těch faktorů, které nebyly zahrnuty do plánu zlepšování, a to minimálně na úrovni na které byly, když byla provedena prvotní studie způsobilosti.

Posledním krokem je uzavření projektu. V tomto kroku se odehrávají následující činnosti:

1. Vypočet přínosu projektu.
2. Dokončení projektové dokumentace.
3. Komunikace výsledků.
4. Zajištění převzetí zlepšeného procesu vlastníkem procesu.
5. Zaznamenání získaných poznatků do znalostní databáze.

Nestačí pouze, aby byl projekt technicky úspěšný, ale musí být také vnímán jako úspěšný a musí se z něho všechny zúčastněné strany poučit. Z těchto důvodů je v závěrečné fázi velmi důležitá dobrá komunikace a kritická reflexe výsledků a poznatku.

Všechny zúčastněné strany by měly provést revizi toho, kam je projekt zavedl, co při něm bylo uděláno a jaké poučení si mohou odnést. Jinak řečeno, měli by si odpovědět na tři jednoduché otázky:

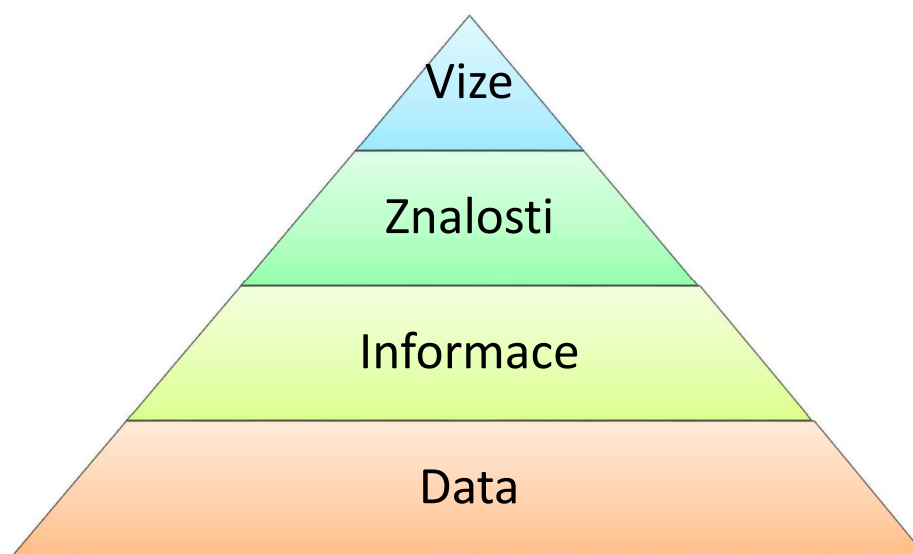
- Jaké benefity nám realizace projektu poskytla?
- Co jsme se během projektu naučili?
- Jaké možnosti dalšího zlepšování stále existují?

Tým musí prezentovat výsledky projektu vedení, které pak schvaluje splnění cílů projektu a dává svolení k ukončení projektu. Dále se musí ujistit, že vlastník procesu a všichni zainteresovaní vědí, jak proces dále využívat, aby byly zachovány všechny zlepšení dosažená během projektu.

## 9 Vstupní data v procesu analýzy rizik

V předchozích kapitolách byl popsán životní cyklus produktu, metody jeho vývoje, a specifické metody řešení problémů vzniklých realizováním rizik či k předcházení jejich realizace, které jsou používány během jeho následné výroby a provozu. V této kapitole se zaměříme konkrétně na data získávána během tohoto životního cyklu.

Pro pochopení další kapitoly je nutné si nejdříve definovat některé pojmy. Těmito pojmy jsou data, informace, znalosti a vize. Základní představu jejich významu lze nalézt na obrázku 19, který představuje takzvanou pyramidu znalostí [4].



Obrázek 19: Pyramida znalostí [48]

Základnou této pyramidy jsou data, jež norma ČSN ISO/IEC 2382-1:1998 definuje takto: „opakovaně interpretovatelná formalizovaná podoba informace vhodná pro komunikaci, vyhodnocování nebo zpracování. [59]“ Z této definice i z pyramidy znalostí lze dojít k závěru, že na základě dat vznikají informace. Informace definuje stejná norma jako data následujícím způsobem: „poznatek týkající se jakýchkoliv objektů, např. faktů, událostí, věcí, procesů, myšlenek nebo pojmů, které mají v daném kontextu specifický význam. [59]“ Tedy chceme-li mít kvalitní informace, potřebujeme i kvalitní data.

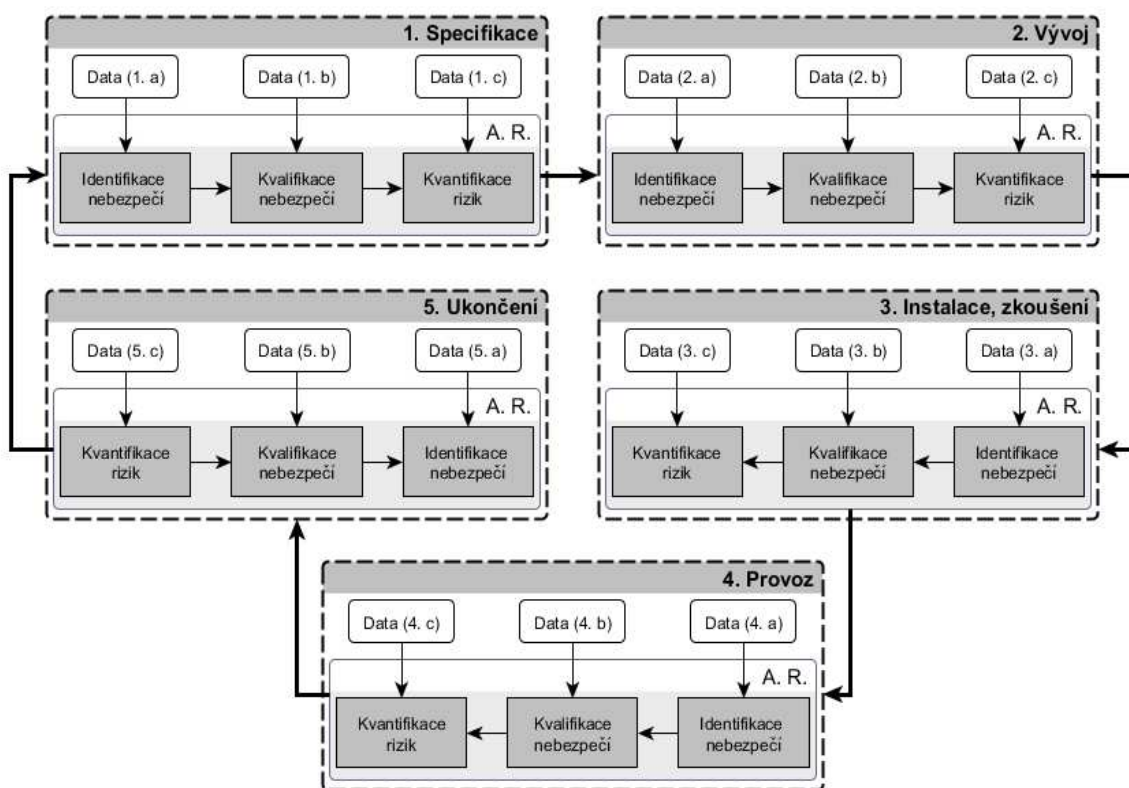
Kvalita informací je tedy širším pojmem, protože v sobě zahrnuje nejen datovou kvalitu, ale je nutné řešit i kvalitu interpretace těchto dat. To, jak jsme schopni data interpretovat, záleží na znalostech. Znalosti mají také svou definici dle publikace Smejkal; Rais: Řízení rizik ve firmách a jiných organizacích je znalost: „informace, která byla zorganizována a analyzována tak, aby byla srozumitelná a použitelná pro řešení problémů nebo rozhodování a učení. Velice obecně lze znalost chápat jako kategorii vyšší formy obrazu o chování objektu nebo jeho charakteristikách. [45]“

Na základě znalostí pak lze stanovit vizi. Vize je dle Cambridge advanced learner's dictionary: „Schopnost využívat své znalosti a zkušenosti pro správná rozhodnutí a úsudky. [10]“ Z manažerského pohledu potom: „vize vyjadřuje představu žádoucího cílového stavu v budoucnu, kterého chce organizace prostřednictvím realizace strategie dosáhnout. Vize je součástí komplexního procesu strategického řízení a zároveň důležitou součástí fungování každé organizace. [53]“

Jak bylo napsáno v předchozích odstavcích, na základě kvalitních dat, lze získat kvalitní informace. Analýzou informací a jejich organizováním se získávají znalosti, z čehož vyplývá, že kvalita získaných znalostí závisí na kvalitě informací. Na základě získaných znalostí se dělají rozhodnutí, a to rozhodnutí správná nebo špatná.

Co to znamená pro analýzu rizik? Vize nakládání s riziky vzniká na základě znalostí o riziku. Tyto znalosti jsou získávány pomocí analýzy rizik. Analyzují se informace o možných nebezpečích a jejich závažnosti a pravděpodobných následcích. Tyto informace jsou získávány na základě dat, která byla získána pomocí měření nějakým měřicím systémem, nebo z databáze.

Jako u všeho je nutné vzít v potaz i časový faktor, tedy jestli a případně jak se během času mění kvalita užívaných dat, jestli, stejně jako například výrobní materiál, data stárnou. Je tedy potřeba odpovědět na otázku: „**Jak ovlivňuje časový faktor vstupní data?**“



Obrázek 20: Vstupní data pro analýzu rizik v jednotlivých fázích životního cyklu produktu.

Výsledky analýzy rizik by měly být během celého životního cyklu živým dokumentem, který by měl být v jednotlivých fázích v závislosti na nově dostupných datech neustále aktualizován, jak ukazuje obrázek 20. Z těchto důvodů budou v dalších podkapitole popsána dostupná data v jednotlivých fázích životního cyklu produktu.

Další podkapitoly se dále zabývají hodnocením kvality měřicího systému a hodnocení kvality dat obecně. Obecné hodnocení kvality dat je jako obor silně svázáno s potřebou hodnocení dat potřebných pro řízení podniků a umístěných většinou v databázích. Jelikož tato práce vzniká pro účely hodnocení technických rizik, je potřeba zmínit i vyhodnocování dat vzniklých měřeními. Pro vyhodnocení naměřených dat a vytvoření příslušných informací potřebných pro analýzu rizik je třeba provést analýzu kvality měřicího systému a určit nejistotu naměřené veličiny. Určování nejistoty měření je v technice obecně známý postup, a proto se jím tato práce nebude zabývat. Je však nutné si uvědomit, že vypovídající hodnota některých testů a jejich vyhodnocení jsou silně závislé na expertnosti odborníka, který test připravil a hodnotil. Hodnocením expertů a expertností se podrobně zabývá publikace *Expertní a expertizy od autorů Tichý, Valjentová* [50], a to i z hlediska hodnocení expertnosti analytiků rizik. Z těchto důvodů se tato práce expertností nezabývá a případné zájemce o tuto problematiku odkazuje na výše uvedenou publikaci.

## 9.1 Typy vstupních dat pro analýzu rizik

Jak bylo napsáno výše, mění se dostupnost dat s životním cyklem výrobku. Mění se i jejich aktuálnost, úplnost a správnost. Z těchto důvodů je třeba volit v jednotlivých fázích vhodné typy metod analýzy rizik, tak aby pro danou metodu byl dostatek podkladů a projekt nemusel být zatěžován nadměrnými náklady na získání dat, které by v další fázi vývoje nemusely být již relevantní.

### 9.1.1 Data dostupná ve fázi specifikace

V této fázi jsou dostupná hlavně data z předchozích projektů nebo data z průzkumu konkurenčních výrobků (*benchmarking*). Jedná se především o technickou dokumentaci starších výrobků, výsledky jejich testů a zkoušek, analýzy a expertízy, vědecké články a další položky, které podnik zaznamenává do znalostních databází. Těmi mohou být například výsledky *Lean Six Sigma*, *Problem solving* či *Design for Six Sigma* projektů.

Novými daty a informacemi, získanými během fáze specifikace jsou projektové cíle, harmonogramy projektu a různé požadavky na projekt. Tyto požadavky jsou, jak již bylo napsáno v kapitolách 7.2 a 8.2.1, tří druhů - zákonné a normativní požadavky (*VoR - Voice of Regulation*), požadavky dané ekonomikou podniku (*VoB - Voice of Business*) a v neposlední řadě požadavky zákazníka a trhu (*VoC - Voice of Customers*).

Všechna tato data a informace se týkají starších projektů a dávají nám pouze představu o možných rizicích. I tak je dobré v této fázi analýzu rizik provést a přizpůsobit jí specifikaci požadavků na nový výrobek.



### 9.1.2 Data dostupná ve fázi vývoje

V této fázi dochází k největšímu nárůstu dostupnosti nových dat. Při vývoji nového výrobku se vychází ze specifikací či z požadavků na jeho vlastnosti a proces jeho výroby. Postupně jsou vybírány nejlepší možné varianty řešení a ty testovány. Podrobněji popisuje metody vývoje výrobku kapitola 7 „Metody využívané při vývoji nového produktu“.

Na začátku vývoje jsou k dispozici stejná data jako ve fázi specifikace, tedy data o starších nebo konkurenčních produktech, postupně ale získáváme informace o fungování vyvíjeného produktu, na základě, kterých lze provádět systémové, produktové a později i procesní analýzy rizik.

Jedním z nejdůležitějších vodítek při analýze rizik ve fázi vývoje je nám technická dokumentace. Ta se dělí na výrobní, provozní, montážní a obchodně-technickou dokumentaci. Všechna tato dokumentace má určitý daný formát řídicí se normami, jak již podnikovými, korporátními, státními nebo mezinárodními. V dnešní době je tvořena v CAD systémech (počítačem podporované projektování – *Computer-Aided Design*). Neznámější jsou programy AutoCad, SolidWorks a Catia pro strojírenství, Allplan, ArchiCad pro stavebnictví a architekturu, a pro elektrotechniku ProfiCad, Eagle či ELPLAN. Proto je již veškerá technická dokumentace povětšinou pouze v elektronické podobě a uložena v ERP systémech (Plánování podnikových zdrojů - *Enterprise Resource Planning*; např. SAP) nebo v systémech pro řízení životního cyklu produktů (*Product Lifecycle Management* – PLM, např. 3D Experience, Siemens PLM Software).

Dělení technické dokumentace bez dalších podrobností je následující:

1. Výrobní dokumentace
  - a. Výkresy
    - i. Součástí
    - ii. Sestavení
    - iii. Montážní
  - b. Schémata
    - i. Funkční
    - ii. Elektrická
    - iii. Hydraulická
    - iv. Kinematická
  - c. Texty
    - i. Technické zprávy
    - ii. Technické podmínky
    - iii. Soupisy položek (kusovníky)
2. Provozní dokumentace
  - a. Provozní směrnice
  - b. Provozní předpisy
  - c. Havarijný řád

3. Montážní dokumentace
4. Obchodně-technická dokumentace

Dalšími daty, která přináší fáze vývoje produktu, jsou výsledky měření, testů a zkoušek. I ty většinou mají ustálený formát a podrobnost. Bývají vyhodnocovány statistickými metodami a uvolňovány po kontrole několika odborníky. Zajímavou částí hodnocení věrohodnosti měření a testů je Analýza systému měření (*The Measurement System Analysis* – MSA), kterou se podrobně bude zabývat kapitola 9.2.

V dnešní době se při vývoji výrobků a systémů pro jejich výrobu běžně využívají výpočty a simulace. Z nich se získává představa o budoucích vlastnostech produktu (např. životnosti nebo pevnostní analýzy, simulace vstupních a výstupních veličin atd.), procesu výroby a všech procesech na něj navázaných (logistika, kvalita atd.). I tato data jsou velmi užitečná pro analýzu rizik.

V neposlední řadě jsou vstupními daty výsledky analýz a expertíz vypracovaných během vývoje a další data uložená v podnikových znalostních databázích.

### 9.1.3 Data dostupná během fáze instalace a zkoušení

Během instalace a zkoušení výrobního zařízení či produktu jsou k dispozici všechna data z předchozích fází. K těm se přidávají nové poznatky a výsledky získané v této fázi. Většinou se jedná o naměřená data z testů a zkoušek, předseriové výroby a podobně. Dále jsou to data získaná v závěrečné fázi verifikace u metodiky *Design for Six Sigma* (viz kapitola 7.2), *Problem solving* (viz kapitola 8.1), či metody *Lean Six Sigma* (viz kapitola 8.2).

Ve všech výše zmíněných případech je důležité využívat a aktualizovat data získaná pomocí Analýzy systému měření (viz kapitola 9.2), díky níž máme představu o věrohodnosti naměřených dat a můžeme provést kalibraci měřicího systému.

### 9.1.4 Data dostupná během fáze provozu

V této fázi se prolíná výroba a provozování produktu. Jsou dostupná všechna data z předchozích fází. Dále jsou k dispozici výrobní data, tj. naměřená či jinak získaná data z procesu výroby a zkoušení produktu, data provozní, data z reklamací, data získaná při řešení problémů metodou *Problem solving* a *Lean Six Sigma*. Data získaná při vylepšování výrobního procesu metodami pro „štíhlou“ (*Lean*) výrobu. Samozřejmě by měla být dostupná data z pravidelné údržby a kalibrace strojů. Pravidelnou údržbou, kalibrací a analýzou (MSA), by měl procházet i měřicí systém.

### 9.1.5 Data dostupná během fáze ukončování

V poslední fázi již jsou dostupná všechna data z fází vývoje, výroby i provozu daného produktu. Ve fázi ukončování provozu výroby a (nebo) provozu zařízení jsou dostupná hlavně data ekonomická. Z dat pro technickou analýzu rizik dostáváme především data o recyklaci a o ekologických aspektech. Tyto aspekty životního cyklu je dobré mít vyřešené již ve fázi vývoje a ve fázi ukončování si je pouze potvrdit. Případné problémy lze řešit

metodami k tomu určenými (*Problem solving, Lean Six Sigma atd.*). Data je vhodné jako v každé fázi životního cyklu zaznamenat do databáze, aby byla dostupná pro budoucí podobné produkty a procesy výroby.

## 9.2 Analýza systému měření (*The Measurement System Analysis – MSA*)

Metoda MSA je určená k verifikaci a určení kvality měřicího systému. Jak bylo již uvedeno výše, měřicí systém neznamená pouze samotná měřící zařízení a přístroje, ale i operátory, kteří zařízení používají, postupy, které jsou k měření využívány a prostředí, v kterém je měřicí systém provozován. K vyhodnocení je použito statistických nástrojů a doporučuje se použít i specializované statistické programy, které mají v sobě metody analýzy systému měření implementovány (např. Minitab). Vyhodnocení systému měření má velkou vypovídající hodnotu o naměřených datech, jejich věrohodnosti a vhodnosti jejich použití při analýze rizik.

Měřicí systém lze popsat několika vlastnostmi, které budou v dalších odstavcích podrobněji popsány. Těmito vlastnostmi jsou **Přesnost** (*Accuracy*), **Opakovatelnost** (*Precision/Repeatability*), **Linearita** (*Linearity*), **Stabilita** (*Stability*), **Reprodukovatelnost** (*Reproducibility*) a **Citlivost** (*Discrimination/Sensitivity*).

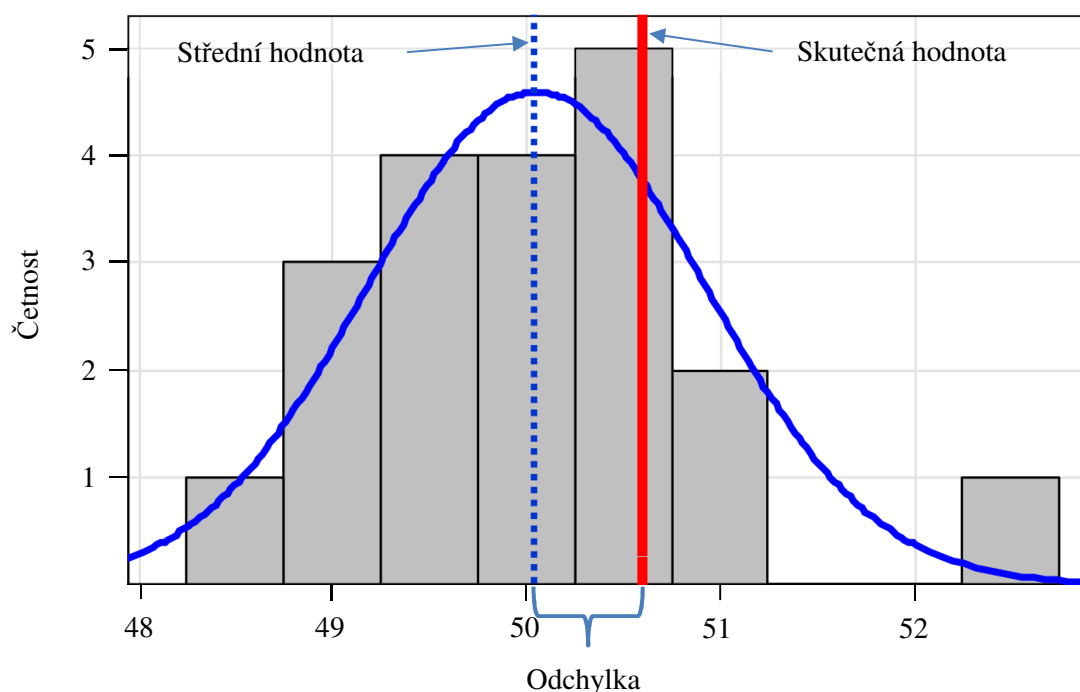
Citlivost měřicího systému (zařízení, přístroje) říká kolik jedinečných výsledků (úrovní) lze naměřit při použití daného systému a rozsahu možných hodnot měřeného objektu či veličiny. Počet možných jedinečných výsledků měření (úrovní, kategorií) se vypočte jako rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší možnou hodnotou měřené veličiny podělený rozlišením daného měřicího systému. Platí jednoduché pravidlo, že je ideální mít 30 – 300 úrovní na rozsahu od nejmenší po největší možnou hodnotu měřené veličiny. Samozřejmě vždy záleží na dané situaci, ale obecně se méně než 5 – 10 úrovní považuje za příliš málo (malá rozlišovací schopnost) a více než jednotky tisíců za příliš mnoho (cena měřicího zařízení). Dále je uveden jednoduchý příklad.

Měřicí zařízení má nejnižší zobrazovanou hodnotu (rozlišení) 0,1 kg, je požadavek jím měřit některé živočišné druhy. Otázka zní: „Pro které živočišné druhy je váha vhodná? (Z hlediska měření hmotnosti, rozměr váhy není pro zjednodušení brán v potaz). Jak můžeme vidět, v tabulce 7: Počet rozlišitelných kategorií hmotnosti živočišných druhů, váženo s rozlišením 0,1 kg, váha je nejvhodnější pro německého ovčáka. Za vhodnou jí lze považovat pro dospělého člověka a orla skalního. I když u dospělého člověka by bylo dobré uvážit, zda by nestačila váha s rozlišením 0,5 kg či 1 kg, tedy s menší citlivostí a u orla skalního naopak s citlivostí vyšší (rozlišení např. 0,05 kg nebo 0,01 kg). U potkana obecného je již nutno zvážit k jakému účelu bude měření sloužit, případně použít váhu s vyšší citlivostí. Pro slona afrického a myš domácí je váha nevhodná. Pro slona je zbytečně citlivá a pro myši je citlivost tak nízká, že lze pro všechny myši naměřit pouze jednu hodnotu hmotnosti.

Tabulka 7: Počet rozlišitelných kategorií hmotnosti živočišných druhů, váženo s rozlišením 0,1 kg.

Druh	Hmotnost (kg)		Počet kategorií
	Nejnižší	Nejvyšší	
Slon africký	4000	7000	30000
Člověk (dospělý)	50	150	1000
Německý ovčák	30	50	200
Orel skalní	2,8	4,5	17
Potkan obecná	0,2	0,9	7
Myš domácí	0,025	0,045	0,2

Přesnost systému ukazuje, jak velkou má odchylku naměřené hodnoty od skutečné hodnoty. Pokud je známá odchylka, víme, jak moc je měřicí systém potřeba kalibrovat. Kalibrovat lze hardwarově, softwarově či matematicky při zpracovávání výsledků.



Obrázek 21: Přesnost a odchylka

Přesnost měřicího systému se zjišťuje následujícím postupem:

1. Získání vzorku se známou referenční hodnotou, která má vztah s relevantní normou.
2. Pokud referenční vzorek nebo norma nejsou k dispozici, vybere se vzorek, jehož hodnota spadá do středu měřeného rozsahu. Tento se měří více než desíkrát na měřicím zařízení, které má řádově větší přesnost než zamýšlený měřicí systém. Tím se získá kalibrační vzorek, u něhož je známá skutečná hodnota. Někdy je vhodné mít kromě kalibračního vzorku reprezentujícího střední hodnotu měřicího

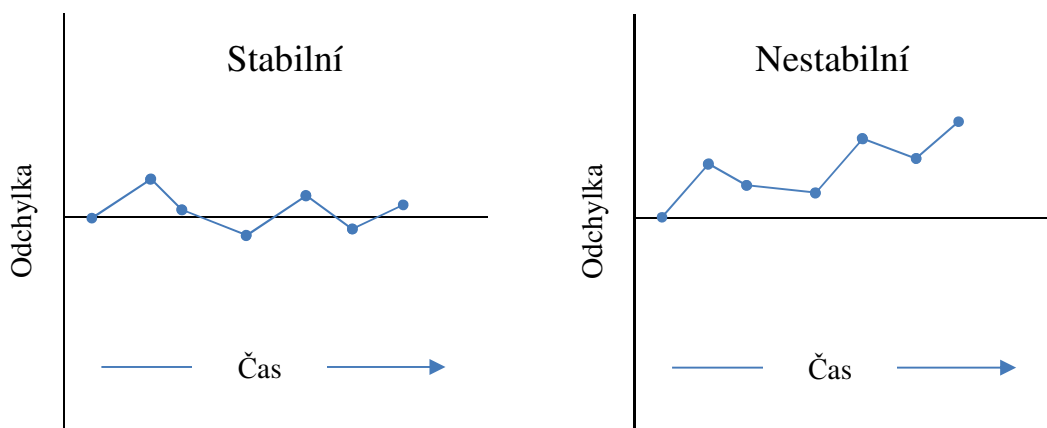
rozsahu i kalibrační vzorky reprezentující hodnoty na spodní a horní mezi měřeného rozsahu.

3. Jeden operátor změří více než desetkrát kalibrační vzorek pomocí měřicího systému.
4. Vypočte se odchylka měřicího systému od skutečné hodnoty, jako:

$$\text{Odchylka} = \text{Skutečná hodnota} - \text{Měřená střední hodnota}$$

Další vlastností měřicího systému je jeho stabilita. Stabilita popisuje změnu odchylky během času. Stabilita ukazuje, jak často je potřeba měřicí systém kalibrovat. Stabilita systému se zjišťuje velice podobně jako přesnost. Postup je následující:

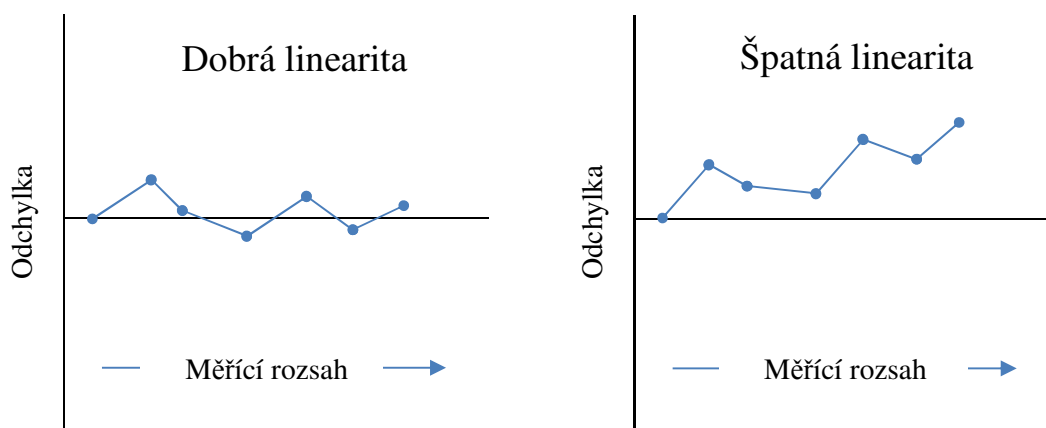
1. Kalibrační vzorek(y) se měří periodicky (každou směnu, denně, týdně atd.) a to pokaždé stejným operátorem více než 3 - 5 krát.
2. Naměřená data se vynesou do řídicích diagramů a kontrolují se dle základních pravidel, které platí pro kontrolu procesu pomocí řídicích diagramů.



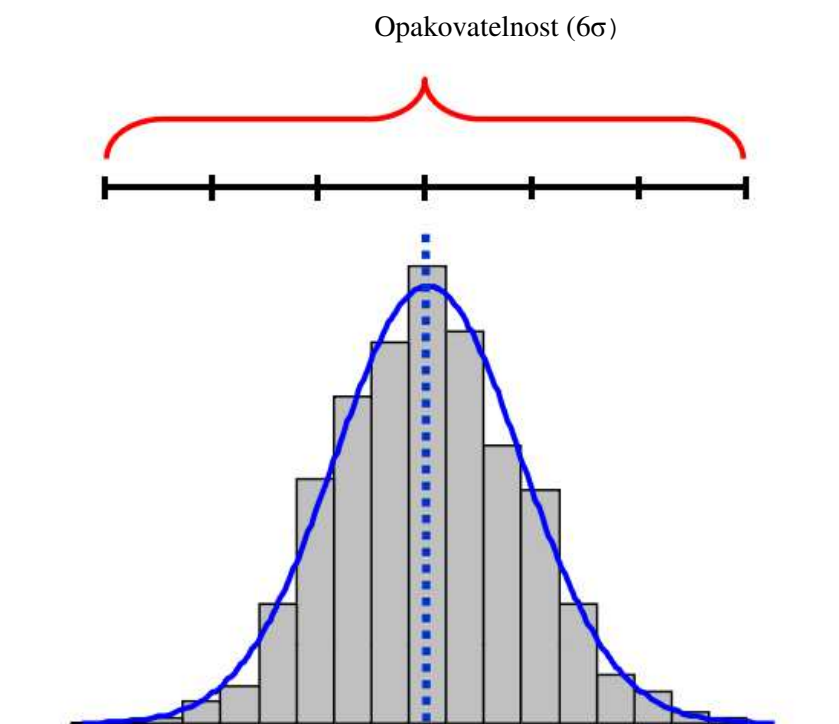
Obrázek 22: Stabilní versus nestabilní měřicí systém

Linearita oproti stabilitě popisuje změnu odchylky od skutečné hodnoty (určení skutečné hodnoty viz odrážka 2.) přes celý měřicí rozsah. Linearita měřicího systému se zjišťuje následujícím způsobem:

1. Vybere se minimálně 5 měřících vzorků rovnoměrně reprezentujících celý měřicí rozsah.
2. U všech vzorků se zjistí skutečná hodnota měřené veličiny. Tyto vzorky se měří více než desetkrát na měřicím zařízení, které má řádově větší přesnost než zamýšlený měřicí systém. Měření statisticky vyhodnotíme, čímž získáme skutečnou hodnotu měřené veličiny.
3. Poté je měřen každý vzorek více než desetkrát a statisticky vyhodnocen.



Obrázek 23: Měřicí systém s dobrou nebo špatnou linearitou



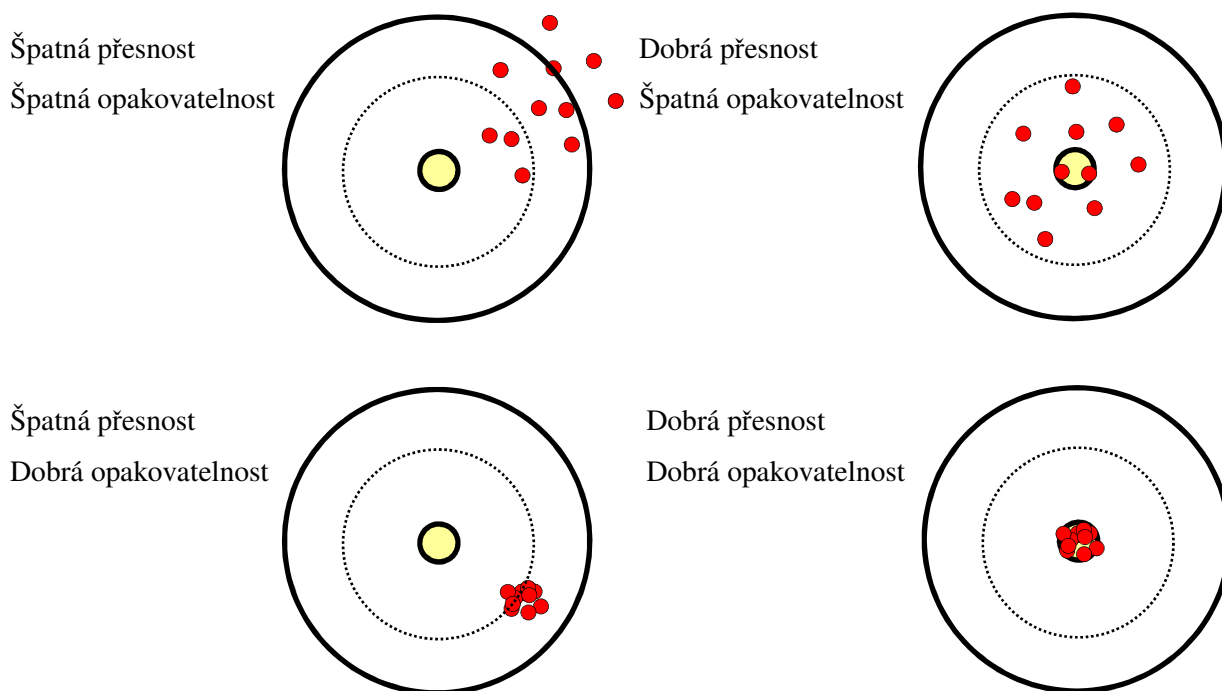
Obrázek 24: Opakovatelnost měření měřicího systému

Další důležitou vlastností měřicího systému je opakovatelnost. Opakovatelnost udává jak velká je variace mezi hodnotami opakovaného měření jednoho vzorku (viz obrázek 24), neboli jak blízko jsou opakovaná měření od sebe.

Postupy, jak zlepšit nedostatečnou opakovatelnost, jsou následující:

- Vylepšit nebo opravit samotné měřicí zařízení.
- Zlepšit měřicí systém (příslušenství, školení atd.).
- Pořídit přesnější měřicí zařízení.
- Měřit vícekrát a použít jako výsledek průměr naměřených hodnot.

Jelikož rozdíl mezi anglickými *accuracy* a *precision* může být ztracen v překladu a i české definice jsou si velmi podobné, jejich odlišnost nemusí být na první přečtení jasná. Proto vysvětluje rozdíly mezi přesností a opakovatelností obrázek 25.



Obrázek 25: Přesnost a opakovatelnost měřicího systému

Další vlastností měřicího systému, která by se dala zaměnit za opakovatelnost je reprodukovatelnost. Tato vlastnost popisuje, jak velká je variace mezi hodnotami opakovaného měření jednoho vzorku v závislosti na změně některého faktoru ovlivňujícího měřicí systém. Tato změna může znamenat změnu operátora, změny prostředí (teplota, vlhkost atd.), příslušenství atd. Opakovatelnost závisí na měřicím zařízení a vyhodnocuje se jako výsledek opakovaných měření při neměnných podmínkách. Naproti tomu reprodukovatelnost závisí na faktorech, které mohou potencionálně ovlivnit měření, a proto je nutné tyto podmínky měnit, aby bylo možné zjistit jejich vliv.

Vlastností měřicího systému opakovatelnost a reprodukovatelnost lze zjistit odděleně samostatným měřením pro každou vlastnost, kdy se opět měří vybraný vzorek (vzorky) nejméně desetkrát, a to buď při nezměněných podmínkách, pokud je cílem zjistit opakovatelnost, nebo se podmínky mění (jiný operátor, vlastnosti prostředí atd.), pokud se jedná o zjišťování reprodukovatelnosti měřicího systému. Poté se naměřené hodnoty statisticky vyhodnotí. Další možností je zjistit opakovatelnost a reprodukovatelnost měřicího systému v jednom měření a následně vyhodnotit. Některé statistické programy mají speciální menu pro vyhodnocování MSA a vlastností měřicího systému (např. Minitab).

Postup je následující:

1. Získání souboru minimálně 5 vzorků, lépe 10 a více, které reprezentují očekávaný rozsah rozptylu hodnot. Zjistí se jejich skutečná hodnota (stejně jako u kalibračního vzorku viz str. 72). Doporučuje se vzorky označit, ale tak, aby operátoři neznali skutečnou hodnotu. Pro výběr vzorků je dobré dodržovat následující pravidla:
  - Vybrané vzorky by měly pokrývat celý rozsah očekávaných variací.
  - Výběr vzorků by měl probíhat náhodně.
  - Nevybírat bezprostředně po sobě vyrobené vzorky, raději vybírat vzorky z různých dnů, směn, výrobních dávek atd.)
  - Doporučení pro minimální velikost souboru vzorků a faktorů pro měření:
    - Vzorky  $\geq 5$
    - Operátoři (či hodnota jiného faktoru)  $\geq 2$
    - Opakování měření  $\geq 2$ 
      - Pokud Opakování měření = 2, pak (Vzorky · Operátoři  $\geq 30$ )
      - Pokud Opakování měření  $\geq 3$ , pak (Vzorky · Operátoři  $\geq 15$ )
2. Provedení všech měření. Ideální je provádět měření dle připraveného měřicího plánu, který je randomizován (např. funkce Minitab). Randomizací se omezí některé možné chyby a snahy o umělé ovlivnění výsledků.

### 9.3 Hodnocení kvality dat

Hodnocení kvality dat a řízení kvality dat vychází ze stejných principů jako obecná kvalita a systém jejího řízení. Základní definicí je pro nás definice jakosti (kvality) dle normy ČSN EN ISO 9000 jako: „...stupeň splnění požadavků souborem inherentních znaků.“ [66]. Tedy i datovou kvalitu lze brát jako míru plnění požadovaných vlastností dat [48].

Dle většiny prací zabývajících se tímto tématem (DAMA UK.: The Six Primary Dimensions For Data Quality Assessment [14], Lainhart: COBIT™: A Methodology for Managing and Controlling Information and Information Technology Risks and Vulnerabilities [26], Lee, et al.: Journey to data quality. [27], Otto, et al.: Towards a framework for corporate data quality management. [35], Pejčoch: Audit datové kvality podle IT Assurance Guide: Using COBIT [36], Redman: Data quality: the field guide [42], Tomčová: Datová kvalita v prostředí otevřených a propojitelných dat. [48]) jsou těmito vnitřními (inherentními) znaky **Správnost** (*Accuracy*), **Úplnost** (*Completeness*), **Konzistentnost** (*Consistency*) a **Včasnost** (*Timeliness*). Na těchto čtyřech znacích se shodují všechny výše uvedené zdroje. Další pak udávají **Aktuálnost** (*Currency*), **Volatilitu** (*Volatility*), **Validitu** (*Validity*), **Unikátnost** (*Uniqueness*), **Relevantnost** (*Relevance*) a **Důvěryhodnost** (*Credibility*) a **Interpretovatelnost** (*Interpretability*).

Pro hodnocení vstupních dat pro analýzu rizik bylo vybráno, na základě zkušeností z praxe a zkoumání, sedm tučně zvýrazněných znaků kvality, jejichž přesnou definici



naleznete níže. Z běžně užívaných znaků, užívaných pro hodnocení kvality dané datové sady či databáze, byly některé vynechány z důvodu malé vypovídající hodnoty pro hodnocení kvality vstupních dat pro analýzu rizik. Příkladem může být znak Včasnost. Včasnost je definována jako: „...časový rozdíl, například v hodinách, dnech atd., kdy skutečnost nastala a kdy byla zapsána do databáze. [14][48]“ Již z definice je jasné, že tato vlastnost, má sice vypovídající hodnotu o kvalitě databáze, do které byla data zapsána, ale nemá vliv na kvalitu analýzy rizik. Časový faktor kvality vstupních dat lépe popisuje Aktuálnost.

- **Správnost** (*Accuracy*) – míra do jaké data správně zachycují objekty či události reálného světa. Měří se jako procento hodnot, které splňují pravidla správnosti. [14][36][48]
- **Úplnost** (*Completeness*) – jedná se o míru nevyplněných hodnot, které by vyplněné být měly. Měří se jako procentuální poměr počtu chybně nevyplněných hodnot vůči celku, kterým rozumíme počet hodnot, které být vyplněny mají. [14][36][48]
- **Konzistentnost** (*Consistency*) – jedná se o míru shody hodnot napříč datovými zdroji nebo při porovnání více reprezentací stejné skutečnosti v jednom datovém zdroji. Lze měřit jako procento hodnot, které si neodpovídají v rámci datové sady nebo napříč různými datovými zdroji [36][42][48].
- **Důvěryhodnost** (*Credibility*) – míra důvěryhodnosti zdroje nebo poskytovatele dat [41][48]. Důvěryhodnost podle [7] není nezávislý znak kvality, ale závisí na Správnosti, Úplnosti, Konzistentnosti a Pravdivosti (*Non-Fictitiousness*). První tři znaky jsou definovány výše. Pravdivost lze stanovit jako procentuální poměr nepravdivých (falešných) záznamů, atributů nebo hodnot k celkovému počtu záznamů.
- **Aktuálnost** (*Currency*) – popisuje stáří dat [42]. Jde o časový údaj popisující dobu od vzniku události po využití dat o ní.
- **Interpreovatelnost** (*Interpretability*) – míra do jaké jsou data jasně definována a je tak možné pochopit jejich obsah [41][48]. Lze měřit jako poměr dat plnicích definované požadavky na relevantní jazyk, symboly, jednotky atd.

Z těchto znaků (v odborné literatuře často zmiňovaných jako dimenzí) kvality dat lze určit vektor kvality ( $\overrightarrow{DQ}$ ) daného zdroje vstupních dat pro analýzu rizik. Vektor měl mít podle prvních úvah zápis:

$$\overrightarrow{DQ}_{OLD} = (IC_{ACC}, IC_{COM}, IC_{CON}, IC_{CRE}, IC_{INT}, IC_{CUR});$$

Rovnice 2: Původní návrh hodnotícího vektoru kvality dat

,kde  $IC_{ACC}$  je inherentní znak Správnost,  $IC_{COM}$  je inherentní znak Kompletnost,  $IC_{CON}$  je inherentní znak Konzistentnost,  $IC_{CRE}$  je inherentní znak Důvěryhodnost,  $IC_{INT}$  je inherentní znak Interpreovatelnost a  $IC_{CUR}$  je inherentní znak Aktuálnost.

A však Důvěryhodnost je, podle některých autorů např. Bovee, Srivastava, Mak: A Conceptual Framework and Belief-Function Approach to Assessing Overall Information Quality [7], znak závislý na jiných znacích datové kvality. Jak je uvedeno výše, těmito dimenzemi jsou Správnost, Úplnost a Konzistentnost, jediným znakem Důvěryhodnosti, který je nezávislý, je Pravdivost. Proto u vektorového hodnocení kvality vstupních dat pro analýzu rizik, můžeme nahradit inherentní znak Důvěryhodnosti ( $IC_{CRE}$ ) Pravdivosti ( $IC_{NOF}$ ). Potom má hodnotící vektor kvality dat pro analýzu rizik následující tvar:

$$\overline{DQ} = (IC_{ACC}, IC_{COM}, IC_{CON}, IC_{NOF}, IC_{INT}, IC_{CUR});$$

*Rovnice 3: Konečný návrh hodnotícího vektoru kvality dat*

Zde Správnost a Interpretovatelnost nabývají hodnot 0 % – 100 %, kde nejlepší hodnocení je 100 %. Naproti tomu Úplnost, Konzistentnost a Pravdivost, i když také nabývají hodnot 0 % - 100 %, mají nejlepší hodnocení při 0 %. Aktuálnost je časový údaj, který může nabývat téměř libovolných hodnot. Dá se předpokládat, že čím je tato hodnota menší tím je, údaj aktuálnější.

Bohužel to není v případě aktuálnosti tak jednoduché, jak by se mohlo na první pohled zdát. Čas je velice relativní veličina, a proto některá data mohou být aktuální i desítky či stovky let, jiná jsou neaktuální během jednotek či desítek sekund. Z těchto důvodů je dobré si uvědomit s jakými daty je v organizaci pracováno a podle toho vypracovat systém hodnocení aktuálnosti dat.

Systém aktuálnosti dat může pracovat s více kategoriemi. Příkladem může být následující kategorizace:

- Data dlouhodobě platná – např. finální verze norem, výkresů, testů, fyzikální zákony
- Data středně době platná – např. pracovní verze norem, výkresů, měření
- Data krátkodobě platná – např. hodnota měřené veličiny posledního vyrobeného kusu, politické sliby

Jak bylo napsáno výše, jednotlivé znaky mají různé stupně kvantifikace. Většina jich je hodnocena pomocí procent, ale aktuálnost v jednotkách času. I u procentuálního hodnocení nalezneme rozdíly. Správnost a Interpretovatelnost mají nejlepší hodnocení 100 %, pro Úplnost, Konzistentnost a Pravdivost je 100 % naopak hodnocením absolutně nejhorším. Z těchto důvodů by pouhé zapsání kvantifikovaných znaků do vektoru nemělo velkou vypovídající hodnotu, dalo by se říct, že by bylo matoucí. Aby vektor na první pohled vypovídal něco o kvalitě vstupních dat z daného zdroje, je dobré přiřadit jednotlivým hodnotám znaků hodnotu ratingu kvality  $R_t$ . Příklad jak by takové kategorie mohly vypadat naleznete v tabulce 8 a tabulce 9.

Tabulka 8: Přiřazení ratingu kvality znakům kvality dat

Správnost Interpretovatelnost (%)	Úplnost (%)	Konzistentnost (%)	Pravdivost (%)	Rating Rt (-)
100 - 90	0 - 15	0 - 10	0 - 5	5
89 - 80	16 - 30	11 - 20	6 - 10	4
79 - 70	31 - 45	21 - 30	11 - 15	3
69 - 60	46 - 60	31 - 40	16 - 20	2
59 - 50	61 - 75	41 - 50	21 - 25	1
49 - 0	76 - 100	51 - 100	26 - 100	0

Tabulka 9: Rozdělení kategorií aktuálnosti dat a přiřazení ratingu kvality

Krátkodobá (min.)	Střednědobá (týdny)	Dlouhodobá (roky)	Rating Rt (-)
0 - 0,5	0 - 1	0 - 1	5
0,6 - 1	1 - 4	2 - 3	4
1,1 - 2	5 - 16	4 - 5	3
2,1 - 3	17 - 32	6 - 7	2
3,1 - 5	33 - 52	8 - 9	1
6 +	53 +	10 +	0

Výše zmíněné tabulky jsou pouze ukázkovým příkladem, který pracuje s předpokladem, že nejdůležitější je mít při analýze rizik důvěru ke zdroji dat, proto je také nejprísněji hodnocena Pravdivost. Falešná či vymyšlená data (zjistitelná např. pomocí statistických metod) devalvují kvalitu daného zdroje více než data neúplná či neaktuální. Znaky Správnost, Interpretovatelnost a Konzistentnost jsou v tomto případě také důležité, proto jsou hodnoceny také velmi přísně, ale ne tak přísně jako Pravdivost. O kvalitě datového zdroje je v tomto případě nejméně vypovídající údaj Úplnost.

Aktuálnost je v tomto případě rozdělena do tří kategorií. Krátkodobá data prezentují velice rychle se měnící hodnoty s periodou v jednotkách až desítkách sekund (např. okamžité hodnoty procesních parametrů, či testů parametrů vyrobených výrobků). Střednědobá data jsou v tomto případě data, která se běžně obměňují v jednotkách dní, jednat se může například o pracovní verze výkresů, kusovníku, výrobní statistiky. Dlouhodobě aktuální data se mění během desítek měsíců, může jít o finální verze výkresů, map procesů a norem.

Podle hodnot znaků hodnotícího vektoru lze zvolit nejvhodnější metodu analýzy rizik nebo se rozhodnout data z nekvalitního zdroje nevyužívat (např. při nízké hodnotě pravdivosti). Například je možné stanovit, že pro hodnoty Úplnosti a Aktuálnosti nižší než 3 se užije metoda předběžné analýzy rizik (PHA) a pro hodnoty vyšší než 4 některá z komplexnějších metod (FTA, FMEA, HAZOP atd.)

## 10 Závěr

V kapitole „Závěr“ této práce je hodnocena hypotéza, která byla stanovena oborovou radou během odborné rozpravy, a jsou shrnuty odpovědi na stěžejní otázky položené v úvodu. Shrnutí největšího přínosu této práce z pohledu autora a doporučení pro další výzkum této oblasti vědění se nalézají v podkapitole 10.3.

### 10.1 Hypotéza

Hypotéza, která byla stanovena během odborné rozpravy, předpokládající že: „**neexistují metody sběru a hodnocení dat pro analýzu rizik**“, byla částečně vyvrácena. Existují totiž metody, které přímo počítají s přípravou co nejkvalitnějších dat pro analýzu rizik. Tyto metody, založené na statistickém vyhodnocování a potvrzování či vyvrácení hypotéz, jako jsou například Design for Six Sigma a Six Sigma, mají jako svou integrální součást i některé metody analýzy rizik (Analýza způsobů a důsledků poruch (FMEA), Analýza příčin a důsledků (CEA)). Data připravená pro výše zmíněné analýzy jsou přitom použitelná i pro další metody analýzy rizik.

Co se týče části hodnocení dat pro analýzu rizik, existují takové metody, jako například Analýza systému měření (The Measurement System Analysis – MSA) či hodnocení nejistot měření, pomocí nichž lze ohodnotit naměřená data či zkoušky, které jsou závislé na měřícím systému. Obecně však je vypovídající hodnota některých testů a jejich vyhodnocení silně závislá na expertnosti odborníka, který test připravil a hodnotil. Metody hodnocení expertnosti a expertů jsou detailně popsány v publikaci *Expert a expertizy* od autorů Tichý, Valjentová [50], a to i z hlediska hodnocení expertnosti analytiků rizik.

Pro samotné hodnocení dat jsou obecné metody, určené hlavně pro hodnocení kvality dat a informací pocházejících z oblasti informatiky a počítačových systémů (databáze, weby atd.), ostatně jak je uvedeno v kapitole 9.3 „Hodnocení kvality dat“, použitelné i pro hodnocení zdrojů dat pro analýzu rizik.

Možná metodika byla nastíněna ve výše zmíněné kapitole.

### 10.2 Stěžejní otázky

V úvodu této práce byly položeny otázky, na které měla tato práce odpovědět.

Zde je rekapitulace otázek a stručné shrnutí odpovědí:

#### 1. „**Jaké metody se používají při vývoji, řízení a kontrole výroby nového produktu?**“

Odpověď na tuto otázku je nutno rozdělit na dvě části, stejně jako v textu této práce kde se jí zabývají kapitoly 7 a 8. První část (kapitola 7) pojednává o metodách vývoje a druhá část (kapitola 8) o metodách použitých ve fázi výroby a provozu výrobku.

Při vývoji nového produktu je využíváno nepřeberné množství metod a postupů. Ty nejrozšířenější metody v sobě zahrnuje metodika Design for Six Sigma. Tato daty řízená metodika, podrobně zkoumá požadavky zákazníků a souvislosti jednotlivých parametrů. Parametry budoucího produktu jsou navrhovány nejen s ohledem na požadovanou funkci, ale i s ohledem na možné nechtěné a nežádoucí funkce způsobené použitým technickým řešením. Veškeré postupy a metody jsou směřovány k tomu, abychom dostávali data pro technickou optimalizaci i analýzu rizik v co možná nejpřehlednější formě s co nejlepší vypovídající hodnotou. Statistické vyhodnocování nám napomáhá odhalit data nepřesná (pomocí analýzy měřicího systému), stejně tak i data, s kterými bylo manipulováno.

V etapě výroby a provozu produktu se opět využívají různé statistické metody směřující hlavně k získávání dat pro analýzy spolehlivosti a jakosti (použitelné i pro analýzy rizik). Je nutné si uvědomit, že v této fázi životního produktu se analýza rizik provádí a aktualizuje většinou až po nějaké realizaci rizika (reklamace, závada, porucha, katastrofa atd.), nebo periodicky s ohledem na získání některé z požadovaných certifikací. Nejdůležitějšími metodami a metodikou je Problem solving, zabývající se řešením problémů (např. reklamace, odchylky atd.) a metodika (Lean) Six Sigma. Lean Six Sigma stejně jako Design for Six Sigma je daty řízená metodika určená k zlepšování procesů a řešení specifických většinou velmi komplexních problémů.

Výše zmíněné metody a metodiky jsou nejdůležitější, v praxi běžně používané, které poskytují vysoce kvalitní data pro analýzy rizik.

## **2. „Jak jsou data získávána a jak se s nimi pracuje?“**

Nejčastěji jsou data pro analýzu rizik získávána pomocí měření, testování, jako výsledky analýz či konstrukčních postupů specifických pro daný obor. Běžně jsou tato data uložena v nějaké databázi, tedy pokud nejsou určena přímo pro specifické potřeby analýzy rizik.

S daty se většinou pracuje ve specializovaných softwarech určených pro jejich čtení, úpravu a vyhodnocování. Jedná se o tabulkové editory, statistické programy, konstrukční programy (např. CAD), simulační programy, programy řízení životního cyklu produktu (Live Cycle Manager - LCM) a další specializované programy. První kategorií specializovaných programů mohou být grafické programy určené k tvorbě specializovaných grafů, schémat a procesních map určených pro názorné zobrazení řízeného, analyzovaného či navrhovaného produktu či procesu. Další kategorií jsou programy pro práci s velkými objemy dat. Dnešní technická řešení umožňují sbírat a ukládat veliké objemy dat (Big Data). Vznikla tak potřeba tato data vyhodnocovat. V některých případech je dokonce požadováno vyhodnocení v reálném čase. V neposlední řadě je potřeba jmenovat kategorii programů určených pro různé druhy analýz rizik (např. Analytica, APIS IQ, HAZOP+ atd.)

### 3. „Jaké jsou základní inherentní znaky kvality dat?“

Podle zdrojů zabývajících se hodnocením kvality dat existuje až 15 znaků kvality dat či informací. Některé znaky mají i „podznaky“ tj. existují závislé znaky. Z těchto znaků jsou pro analýzu rizik vhodné následující:

- **Správnost** (*Accuracy*) – míra, do jaké data správně zachycují objekty či události reálného světa [14][36][48].
- **Úplnost** (*Completeness*) – jedná se o míru nevyplněných hodnot, tam kde by vyplněné být měly [14][36][48].
- **Konzistentnost** (*Consistency*) – jedná se o míru shody hodnot napříč datovými zdroji nebo při porovnání více reprezentací stejné skutečnosti v jednom datovém zdroji [36][42][48].
- **Důvěryhodnost** (*Credibility*) – míra důvěryhodnosti zdroje nebo poskytovatele dat [41][48]. Důvěryhodnost podle [7] není nezávislý znak kvality, ale závisí na Správnosti, Úplnosti, Konzistentnosti a Pravdivosti (*Non-Fictiousness*). První tři znaky jsou definovány výše. Pravdivost lze stanovit jako procentuální poměr nepravdivých (falešných) záznamů, atributů nebo hodnot k celkovému počtu záznamů.
- **Aktuálnost** (*Currency*) – popisuje stáří dat [42]. Jde o časový údaj popisující dobu od vzniku události po využití dat o ní.
- **Interpreovatelnost** (*Interpretability*) – míra do jaké jsou data jasně definována a je tak možné pochopit jejich obsah [41][48].

Pro snadnější a přehlednější hodnocení kvality zdroje informací jsem v kapitole 9.3 navrhl vektor kvality ve tvaru:

$$\vec{DQ} = (IC_{ACC}, IC_{COM}, IC_{CON}, IC_{NOF}, IC_{INT}, IC_{CUR});$$

Kde:

$IC_{ACC}$  je inherentní znak **Správnosti**.

$IC_{COM}$  je inherentní znak **Kompletnosti**.

$IC_{CON}$  je inherentní znak **Konzistentnosti**.

$IC_{NOF}$  je inherentní znak **Pravdivosti**.

$IC_{INT}$  je inherentní znak **Interpreovatelnosti**.

$IC_{CUR}$  je inherentní znak **Aktuálnosti**.

### 4. „Lze inherentní znaky kvality vstupních dat kvantifikovat?“

Ano, lze. Stejně jako jsou již nalezeny znaky pro hodnocení kvality dat, je ke každému znaku i doporučený způsob hodnocení. Bohužel pro účel hodnocení zdrojů dat pro analýzu rizik jsou tyto způsoby přinejmenším nepřehledné. Proto byl v kapitole 9.3 navržen způsob hodnocení pomocí vektoru a hodnotící stupnice pomocí ratingu kvality dat založená na

původním hodnocení znaku kvality dat. Příklady jsou uvedeny v tabulce 8: Přiřazení ratingu kvality znakům kvality dat a v tabulce 9: Rozdělení kategorií aktuálnosti dat a přiřazení ratingu kvality. Je nutné zmínit, že tyto tabulky jsou pouze možným příkladem. Každá organizace či obor pracují s jinými daty a nelze proto vytvořit univerzální hodnotící stupnici.

### 5. „Jak ovlivňuje časový faktor vstupní data?“

„Data a informace mají pouze omezenou životnost.“<sup>9</sup> Data, která byla ještě před několika okamžiky správná, mohou být nyní již naprosto zavádějící a přivést dotčené osoby při rozhodování o riziku i do krizové situace (typicky letecké katastrofy).

Tuto „životnost“ dat popisuje jeden ze znaků kvality dat a to Aktuálnost. Jak již bylo napsáno v kapitole 9.3, je velmi složité a snad i nemožné obecně hodnotit aktuálnost dat. Vždy záleží na tom, co daná organizace vyrábí a s jakými daty pracuje. Proto by si měla každá organizace stanovit stupnici pro hodnocení Aktuálnosti sama, aby pro ni měla co největší vypovídací hodnoty, zvláště s ohledem na analýzu rizik.

## 10.3 Přínos práce pro obor a možnosti dalšího výzkumu

Za největší přínos této práce považuji zmapování druhů dat pro analýzu rizik, metod používaných ve fázi vývoje, výroby a provozu pro sběr dat a nastínění možných způsobů hodnocení zdrojů vstupních dat pro analýzu rizik pomocí **hodnotícího vektoru kvality zdroje dat**. Tento vektor byl navrhnout, aby pomocí sjednocené kvantifikace jednotlivých znaků kvality dat umožnil snadné a přehledné ohodnocení a porovnání zdrojů dat.

Možný směr dalšího zkoumání vidím v možnostech kvantifikace jednotlivých znaků kvality. Základní otázkou je nalezení nejvhodnějšího rozsahu kvantifikační stupnice a stanovování hladiny pro přidělení určité hodnoty ratingu kvality zdroje danému znaku. Stupnice i její, hladiny budou záležet na jednotlivých oborech, korporacích, anebo podnicích, a budou stanovovány dle zvyklostí a potřeb, které daný subjekt má. O možnosti stanovení univerzální stupnice nejsem přesvědčen.

Další oblastí, kterou je možné zkoumat, je výběr vhodné metody na základě hodnot jednotlivých znaků hodnotícího vektoru kvality dat.

---

<sup>9</sup> Doc. Ing. Jan Urbánek Csc., tuto myšlenku vyslovil během jedné z našich konzultací.

## 11 Literatura

- [1] *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide)*. 3rd ed. Newtown Square, Pa.: Project Management Institute, Inc., c2004, 388 s. ISBN 19-306-9950-6.
- [2] **ADÁSKOVÁ, P.; BALCAR, J.:** *Průzkum současného stavu řízení rizik v podnicích a organizacích v ČR (2009)* [online]. 1.7.2009. Dostupný z: <http://resa.rza.cz/www/file.php?id=76>.
- [3] *Akademický slovník současné češtiny* [online]. Praha: Ústav pro jazyk český AV ČR, v. v. i, 2017 [cit. 2017-06-10]. Dostupné z: <http://www.slovníkcestiny.cz/web/index.php>
- [4] **BENSON, P.:** ISO 8000 Data Quality – The Fundamentals Part 1. In: *RWDS Journal* [online]. 2009 [cit. 2016-07-17]. Dostupné z: [http://www.ewsolutions.com/resource-center/rwds\\_folder/rwds-archives/issue.2009-10-12.0790666855/document.2009-10-12.3367922336](http://www.ewsolutions.com/resource-center/rwds_folder/rwds-archives/issue.2009-10-12.0790666855/document.2009-10-12.3367922336)
- [5] **BEST, M.:** Walter A Shewhart, 1924, and the Hawthorne factory. *Quality and Safety in Health Care* [online]. 2006, **15**(2), 142-143 [cit. 2017-07-27]. DOI: 10.1136/qshc.2006.018093. ISSN 1475-3898. Dostupné z: <http://qualitysafety.bmj.com/lookup/doi/10.1136/qshc.2006.01809>
- [6] **BING, L.:** *Web data mining : Data-Centric Systems and Applications*. Berlin Heidelberg: Springer, 2011. Social Network Analysis, s. 269 - 309. Dostupné z: <http://www.springerlink.com/content/v872964555118031/>. ISBN 978-3-642-19460-3, Doi: 10.1007/9783642194603\_7.
- [7] **BOVEE, M.; SRIVASTAVA, R. P.; MAK, B. R.:** A Conceptual Framework and Belief-Function Approach to Assessing Overall Information Quality. In: *Proceedings of the 6th International Conference on Information Quality (ICIQ 01)*, Boston, MA, [online]. 2001 Dostupné z: <http://mitiq.mit.edu/ICIQ/Documents/IQ%20Conference%202001/Papers/AConceptFrameworkBeliefFunctionApproach.pdf>
- [8] **BREJCHA, M.; ČERNEK, P.; BAYER, R.; HÁJEK, J.:** *Technologie konstrukce odrušovacích filtrů I: Analýza příčin chyb ve frekvenční charakteristice*. Elektrověue [online]. 2011, roč. 2011, č. 65, s. 1-15. Dostupné z: <http://www.elektrověue.cz/cz/clanky/analogova-technika--vzajemny-a-d-prevod/0/technologie-konstrukce-odrusovacich-filtru-i--ana>. ISSN 1213-1539.
- [9] **BUŠTÍKOVÁ, L.:** *Analýza sociálních sítí*. Sociologický časopis . 2/1999, XXXV, s. 193 - 206. Dostupný také z WWW: [http://sreview.soc.cas.cz/uploads/42a6c78198cacdc20c3a2da286e0c226ef935606\\_210\\_193\\_BUSTI.pdf](http://sreview.soc.cas.cz/uploads/42a6c78198cacdc20c3a2da286e0c226ef935606_210_193_BUSTI.pdf).
- [10] *Cambridge advanced learner's dictionary*. 3rd ed., 1st pub. Cambridge: Cambridge University Press, 2008. ISBN 9780521712668.
- [11] **CORREA, H. L.; SLACK, N.:** *Framework to analyse flexibility and unplanned change in manufacturing systems*. Computer Integrated Manufacturing Systems. Velká Británie: Elsevier, 1996, roč. 9, č. 1, s. 57-64.



- [12] **ČERNEK, P.:** *Analýza rizik v elektrotechnické výrobě*, 2010. 59 s. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra elektrotechnologie. Vedoucí práce Ing. Jan Jirsa.
- [13] **ČERNEK, P.; JIRSA, J.:** *Analýza rizik výroby alternátorů 3 MW pro větrné elektrárny*. In Proceedings of the 12th International Scientific Conference Electric Power Engineering 2011 [CD-ROM]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2011, s. 1-4. ISBN 978-80-248-2393-5.
- [14] **DAMA UK.:** *The Six Primary Dimensions For Data Quality Assessment* [online]. 2013 [cit. 2017-01-15]. Dostupné z: <http://damauk.org/rw/CatViewLeafPublic.php?&cat=403&dx=1&ob=3&rpn=catviewnotleaf179&&frompage=catviewnotleaf179&sid=455295a3c4780c6f5780f651acef3d9a>
- [15] **DUŠEK, K.; ČERNEK, P.; JIRSA, J.:** *Risk Analysis of Reflow Technologies in Electronics Assembly*. 35th International Spring Seminar on Electronics Technology ISSE 2012.
- [16] *Fault Tree Handbook whit Aerospace Applications*. NASA, 2002. Dostupné z: <http://www.hq.nasa.gov/office/codeq/doctree/fthb.pdf>
- [17] **FUCHS, P.; VALIŠ, D.:** *Metody analýzy a řízení rizika* [online]. Liberec: TUL, 2004. Dostupné z: [http://risk.rss.tul.cz/vyuka/vyucovane-predmety/hri-hodnoceni-rizik-1/materialy-ke-stazeni/Analiza\\_rizeni\\_rizika\\_skriptum.pdf](http://risk.rss.tul.cz/vyuka/vyucovane-predmety/hri-hodnoceni-rizik-1/materialy-ke-stazeni/Analiza_rizeni_rizika_skriptum.pdf)
- [18] **GOSEVA-POPSTOJANOVA, K., et al.:** Architectural-level risk analysis using UML. *Software Engineering, IEEE Transactions on*, 2003, 29(10), s. 946-960.
- [19] **HALLINAN, J. T.:** *Proč děláme chyby*. Vyd. 1. Praha: Beta, 2010, 271 s. ISBN 978-80-7306-405-1.
- [20] The history of bowtie. *CGE Knowledge Base* [online]. Leidschendam (Netherlands): CGE Risk Management Solutions, c2017 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: [https://www.cgerisk.com/knowledgebase/The\\_history\\_of\\_bowtie](https://www.cgerisk.com/knowledgebase/The_history_of_bowtie)
- [21] **JINDRA, J.; ŠMÍDOVÁ, M.:** *Skupinové řešení problémů: Metody sběru nápadů*. Metodický portál RVP: Inspirace a zkušenosti učitelů [online]. 2008 Dostupné z: <http://clanky.rvp.cz/clanek/k/z/2803/SKUPINOVE-RESENI-PROBLEMU---METODY-SBERU-NAPADU.html/>
- [22] **JIROVSKÝ, L.:** *Teorie grafů* [online]. Praha: září 2010. Diplomová práce. Univerzita Karlova, MFF. Dostupné z WWW: <<http://teorie-grafu.cz/uvod/>>.
- [23] **JIRSA, J.:** *Využití UML při analýze rizik technologických systémů*. Praha, 2010. 97 s. Disertační práce. ČVUT FEL v Praze.
- [24] **KAPLAN, S.; GARRICK, B. J.:** On the quantitative definition of risk. *Risk analysis*, 1981, č. 1, s. 11-27.
- [25] **KARIUKI, S. G.; LÖWE, K.:** *Integrating human factors into process hazard analysis*. *Reliability Engineering* [online]. Elsevier, 2007, roč. 92, č. 12, s. 1764-1773. ISSN

09518320. DOI: 10.1016/j.ress.2007.01.002. Dostupné z:  
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0951832007000166>.
- [26] **LAINHART, J. W.** COBIT™ : A Methodology for Managing and Controlling Information and Information Technology Risks and Vulnerabilities. *Journal of Information Systems* [online]. 2000, 14(s-1), 21-25 [cit. 2016-02-20]. DOI: 10.2308/jis.2000.14.s-1.21. ISSN 0888-7985. Dostupné z: <http://aaajournals.org/doi/abs/10.2308/jis.2000.14.s-1.21>
- [27] **LEE, Y. W., et al.:** *Journey to data quality*. Cambridge, Mass: MIT Press, 2009. ISBN 0262513358.
- [28] **LEITL, R.:** *Spolehlivost elektrotechnických systémů*. 1. vyd. Praha : Nakladatelství technické literatury, 1990. 287 s.
- [29] **MCCARNEY, R.; WARNER, J.; ILIFFE, S.; VAN HASELEN, R.; GRIFFIN, M.; FISHER, P.:** The Hawthorne Effect: a randomised, controlled trial. *BMC Medical Research Methodology*[online]. 2007, 7(1), - [cit. 2017-07-27]. DOI: 10.1186/1471-2288-7-30. ISSN 1471-2288. Dostupné z:  
<http://bmcmedresmethodol.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2288-7-30>
- [30] **MELOUN, M.; MILITKÝ, J.:** *Statistická analýza experimentálních dat*. Vyd. 2. uprav. rozš. Praha: ACADEMIA, 2004, 953 s. ISBN 80-200-1254-0.
- [31] **MELOUN, M.:** *Kompendium statistického zpracování dat: metody a řešené úlohy*. Vyd. 2., přeprac. a rozš. Praha: Academia, 2006, 982 s. ISBN 80-200-1396-2.
- [32] **MILLER, J.:** *Integration of Sneak Analysis with Design*, RADC-TR-109, Vol. 1 of 2, Sohar Incorporated for Rome Air Development Center, Griffis AFB, NY 13441, June, 1990.
- [33] **MYKISKA, A.:** *Spolehlivost technických systémů*. 1. vyd. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2000. 177 s. ISBN 80-01-02079-7.
- [34] **O'CONNOR, P.D.T., NEWTON, D., BROMLEY, R.:** *Practical Reliability Engineering*. 4th edition. Chichester : Wiley, 2002. 513 s. ISBN 0-470-84463-9.
- [35] **OTTO, B., et al.:** Towards a framework for corporate data quality management. *ACIS 2007 Proceedings* [online]. 2007, 109. [cit. 2016-09-17] Dostupné z:  
<http://aisel.aisnet.org/acis2007/109>
- [36] **PEJČOCH, D.:** Audit datové kvality podle IT Assurance Guide: Using COBIT - 1. díl. In: *Data Quality CZ* [online]. 1. března 2012 [cit. 2017-02-22]. Dostupné z:  
[http://www.dataquality.cz/index.php?ID=5&ArtID=13&clanek=201203\\_DQA\\_IT\\_Assurance\\_Guide\\_1dil](http://www.dataquality.cz/index.php?ID=5&ArtID=13&clanek=201203_DQA_IT_Assurance_Guide_1dil)
- [37] **PEJČOCH, D.:** Audit datové kvality podle IT Assurance Guide: Using COBIT - 2. díl. In: *Data Quality CZ* [online]. 1. března 2012 [cit. 2017-02-22]. Dostupné z:  
[http://www.dataquality.cz/index.php?ID=5&ArtID=14&clanek=201203\\_DQA\\_IT\\_Assurance\\_Guide\\_2dil](http://www.dataquality.cz/index.php?ID=5&ArtID=14&clanek=201203_DQA_IT_Assurance_Guide_2dil)
- [38] **PEJČOCH, D.:** Audit datové kvality podle IT Assurance Guide: Using COBIT - 3. díl. In: *Data Quality CZ* [online]. 1. března 2012 [cit. 2017-02-22]. Dostupné z:

- [http://www.dataquality.cz/index.php?ID=5&ArtID=15&clanek=201203\\_DQA\\_IT\\_Assurance\\_Guide\\_3dil](http://www.dataquality.cz/index.php?ID=5&ArtID=15&clanek=201203_DQA_IT_Assurance_Guide_3dil)
- [39] **PEJČOCH, D.:** Linked Data Quality – 1. díl. In: *Data Quality CZ* [online]. 13. dubna 2013. Dostupné z:  
[http://www.dataquality.cz/index.php?ID=5&ArtID=18&clanek=Linked\\_Data\\_Quality\\_1dil](http://www.dataquality.cz/index.php?ID=5&ArtID=18&clanek=Linked_Data_Quality_1dil)
- [40] **PEJČOCH, D.:** Linked Data Quality – 2. díl. In: *Data Quality CZ* [online]. 18. května 2013. Dostupné z:  
[http://www.dataquality.cz/index.php?ID=5&ArtID=19&clanek=Linked\\_Data\\_Quality\\_2dil](http://www.dataquality.cz/index.php?ID=5&ArtID=19&clanek=Linked_Data_Quality_2dil)
- [41] **PIPINO, L. L.; LEE, Y. W.; WANG, R. Y.:** *Data Quality Assessment*. [online]. ACM Computing Surveys (CSUR). 2002 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z:  
<http://web.mit.edu/tdqm/www/tdqmpub/PipinoLeeWangCACMApr02.pdf>
- [42] **REDMAN, T. C.:** *Data quality: the field guide*. Boston: Digital Press, c2001. ISBN 1555582516.
- [43] **SCANNAPIECO, M., MISSIER, P., BATINI, C.** *Data Quality at a Glance* [online]. 2005 [cit. 2017-01-15]. Dostupné z:  
[https://www.researchgate.net/publication/220102773\\_Data\\_Quality\\_at\\_a\\_Glance](https://www.researchgate.net/publication/220102773_Data_Quality_at_a_Glance)
- [44] **SCHÜLER, P.; BUCKLEY, B.:** *Re-Engineering Clinical Trials: Best Practices for Streamlining the Development Process*. Cambridge (Massachusetts): Academic Press, 2014. ISBN 978-0-12-420246-7.
- [45] **SMEJKAL, V.; RAIS, K.:** *Řízení rizik ve firmách a jiných organizacích*. 4., aktualiz. a rozš. vyd. Praha: Grada, 2013. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-4644-9.
- [46] *Sneak circuit analysis: Guideline for electromechanical systéme*, PRACTICE NO. PD-AP-1314, NASA, Marshall Space Flight Center, 1995. Dostupné z:  
[http://www.klabs.org/DEI/References/design\\_guidelines/analysis\\_series/1314msfc.pdf](http://www.klabs.org/DEI/References/design_guidelines/analysis_series/1314msfc.pdf)
- [47] **ŠLERKA, J.:** *Social network analysis pro začátečníky*. Lupa.cz [online]. 22. 2. 2011, x, [cit. 2011-09-27]. Dostupný z WWW: <<http://www.lupa.cz/clanky/social-network-analysis-pro-zacatecniky/>>.
- [48] **TOMČOVÁ, Lucie.** *Datová kvalita v prostředí otevřených a propojitelných dat*, 2014. Diplomová práce. VŠE-FIS, Praha.
- [49] **TICHÝ, M.:** *Ovládání rizika: Analýza a management*. 1. vyd. Praha : C. H. Beck, 2006. 396 s. ISBN 80-7179-415-5.
- [50] **TICHÝ, M; VALJENTOVÁ, M.:** *Expertí a expertízy*. Praha: Linde, 2011, 287 s. ISBN 978-80-7201-823-9.
- [51] **TICHÝ, M.:** *Entity Risk Mechanics*. Nepublikováno, Osobní sdělení, Praha, 2010.
- [52] **VANĚK, O.:** *Analýza sociální sítě hráčů šifrovacích her*. Brno, 2008. 33 s. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Fakulta informatiky.
- [53] *Vize*. *ManagementMania.com* [online]. ©2011-2013, [cit. 2017-06-01]. Dostupné z:  
<https://managementmania.com/cs/vize>

- [54] **VOLKANOVSKI, A.; ČEPIN, M.; MAVKO, B.:** Application of the fault tree analysis for assessment of power system reliability. *Reliability Engineering* [online]. 2009, roč. 94, č. 6, s. 1116-1127 [cit. 2012-04-14]. ISSN 09518320. DOI: 10.1016/j.res.2009.01.004. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0951832009000210>.
- [55] **WANG, R. Y., STRONG D. M.:** Beyond accuracy: What data quality means to data consumers. In: *Journal of Management Information Systems*, 1996, ročník 12, číslo 4. 1996. Dostupné z: [http://courses.washington.edu/geog482/resource/14\\_Beyond\\_Accuracy.pdf](http://courses.washington.edu/geog482/resource/14_Beyond_Accuracy.pdf)
- [56] **ZEMAN, P. a kol.:** *Česká bezpečnostní terminologie*, Brno: Ústav strategických studií Vojenské akademie v Brně, 2002, 113 s. Dostupné z: [www.defenceandstrategy.eu/filemanager/files/file.php?file=16048](http://www.defenceandstrategy.eu/filemanager/files/file.php?file=16048)
- [57] 6.1 Metody vývoje nových produktů. *InnoSupport: Supporting Innovation in SME* [online]. European Community (program Leonardo da Vinci), 2005 [cit. 2017-08-12]. Dostupné z: <http://www.innosupport.net/index.php?id=2235&L=8>
- [58] **ČSN IEC 50(191).** Mezinárodní elektrotechnický slovník.: Kapitola 191: Spolehlivost a jakost služeb. Praha: ČNI, 2000. 28 s.
- [59] **ČSN ISO/IEC 2382-1 (369001)** Informační technologie: Slovník - Část 1: Základní termíny. Praha: ČNI, 1997. 68 s.
- [60] **ČSN IEC 60300-3-1 (010690).** Management spolehlivosti: Část 3-1: Pokyny k použití - Techniky analýzy spolehlivosti - Metodický pokyn. 2. vyd. Praha: ČNI, 2003, 55 s.
- [61] **ČSN IEC 300-3-9 (010690).** Management spolehlivosti.: Část 3: Návod k použití. Oddíl 9 : Analýza rizika technologických systémů. Praha: ČNI, 1997. 29 s.
- [62] **ČSN ISO 31000 (010351).** *Management rizik: Principy a směrnice*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010. 40 s.
- [63] **ČSN EN 31010 (010352).** *Management rizik: Techniky posuzování rizik*. Praha: ČNI, 2011. 80 s.
- [64] **ČSN EN 60812 (010675).** *Techniky analýzy bezporuchovosti systémů: Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA)*. Praha: ČNI, 2007. 44 s.
- [65] **ČSN EN 61025 (010676).** *Analýza stromu poruchových stavů (FTA)*. Praha: ČNI, 2007, 48 s.
- [66] **ČSN EN ISO 9000 (010300).** Systémy managementu kvality: Základní principy a slovník. Praha : ČNI, 2006. 64 s.
- [67] **MIL-STD-1629A** Military standard: *Procedures for performing a failure mode, effects and criticality analysis*. Washington, DC : Department of Defense, 24 November 1980. 104 s.
- [68] **ISO/IEC FDIS 9126-1:2001.** Software engineering:: Product quality - Part 1: Quality model. 2001. 32 s

## 12 Seznam publikací doktoranda

### 12.1 Publikace k tématu disertační práce

#### 12.1.1 Odborné recenzované publikace

1. ČERNEK, P. (70 %); BREJCHA, M. (10 %); HÁJEK, J. (10 %); PÍGL, J. (10 %): A Comparison of Power Quality Controllers [online]. *Acta Polytechnica*. 2012, **2012**(52), s. 22-25. ISSN 1805-2363. Dostupné z: <https://ojs.cvut.cz/ojs/index.php/ap/article/view/1628/1460>
2. BREJCHA, M. (40 %); ČERNEK, P. (40 %); BAYER, R. (10 %); HÁJEK, J. (10 %): Technologie konstrukce odrušovacích filtrů I: Analýza příčin chyb ve frekvenční charakteristice [online]. *Elektrorevue*. 2011, **2011**(65), s. 1-15. ISSN 1213-1539. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/cz/clanky/analogova-technika--vzajemny-a-d-prevod/0/technologie-konstrukce-odrusovacich-filtru-i--analyza-pricin-chyb-ve-frekvencni-charakteristice/>
3. ČERNÁ, L. (30 %); ČERNEK, P. (25 %); HRZINA, P. (30 %); BENDA, V. (15 %): Diagnostics of PV Modules Using Time Domain Reflectometry [online]. *Transaction on Electrical Engineering*. 2013, **2**(4), s. 106-108. ISSN 1805-3386
4. ČERNÁ, L. (30 %); HRZINA, P. (20 %); ČERNEK, P. (20 %); BENDA, V. (20 %); ŠTĚPÁNEK, M. (10 %): Termografie ve fotovoltaike. *Energetika*. 2014, **64**(8-9), s. 440-442. ISSN 0375-8842.

#### 12.1.2 Excerpované ISI

1. JIRSA, J.; DUŠEK, K.; ČERNEK, P. (20 %): Risk analysis of reflow technologies in electronics assembly. In: *35th International Spring Seminar on Electronics Technology*. 35th International Spring Seminar on Electronics Technology "Power Electronics". Bad Aussee, 09.05.2012 - 13.05.2012. Wien: Technische Universität. 2012, s. 178-182. ISSN 2161-2528. ISBN 978-1-4673-2240-9.
2. ČERNÁ, L.; ČERNEK, P.; HRZINA, P.; BENDA, V.: Using Measurement of AC Parameters for CIGS PV Modules Degradation Studying. In: *2014 29th International conference on microelectronics - proceedings*. 2014 29th International conference on microelectronics. Bělehrad, 12.05.2014 - 14.05.2014. Piscataway: IEEE - Electron Devices Society. 2014, s. 307-310. ISSN 2159-1660. ISBN 978-1-4799-5296-0.

#### 12.1.3 Konference

1. ČERNEK, P. (80 %); JIRSA, J. (20 %): Analýza rizik výroby alternátorů 3 MW pro větrné elektrárny. In: *Proceedings of the 12th International Scientific Conference Electric Power Engineering 2011*. Electric Power Engineering 2011. Kouty nad Desnou, 17.05.2011 - 19.05.2011. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. 2011, s. 1-4. ISBN 978-80-248-2393-5.
2. ČERNEK, P. (70 %); BREJCHA, M. (10 %); HÁJEK, J. (10 %); PÍGL, J. (10 %): Comparison of Power Quality Controllers. In: *16th International Student Conference on Electrical Engineering*. 16th International Student Conference on Electrical Engineering. Praha, 17.05.2012. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická. 2012, s. 1-4. ISBN 978-80-01-05043-9.
3. SPATARU, S.; ČERNEK, P.; SERA, D.; KEREKES, T.; TEODORESCU, R.: Characterization of a Crystalline Silicon Photovoltaic System After 15 Years of Operation in Northern Denmark. In: *29th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*. Amsterdam (Holland), 22. - 26. 9. 2014. s. 2680 - 2688. ISBN 3-936338-34-5. DOI: 10.4229/EUPVSEC20142014-5BV.1.31
4. ČERNÁ, L.; ČERNEK, P.; HRZINA, P.; BENDA, V.: Diagnostika fotovoltaičských modulů s využitím střídavých metod měření [online]. In: *Sborník příspěvků z 8.ČFVK*. 8. Česká fotovoltaičská konference. Brno, 14.05.2013 - 15.05.2013. 2013

#### 12.1.4 Ostatní

1. **HRZINA, P.; ČERNÁ, L.; ČERNEK, P.; BENDA, V.:** Test teplotní odolnosti TF PV modulů. *Neuvedeno*. 2013
2. **HRZINA, P.; ČERNÁ, L.; ČERNEK, P.; BENDA, V.:** Metodický pokyn k postupu identifikace stupně poškození PV modulů požárem. *Neuvedeno*. 2013

### 12.2 Publikace ostatní

#### 12.2.1 Konference

1. **BREJCHA, M.; HÁJEK, J.; ČERNEK, P.; PÍGL, J.; PAPEŽ, V.; KÜNZEL, K.; ŽÁČEK, J.:** Střední hodnota okamžitého výkonu pro řízení aktivních filtrů. In: *Proceedings of the 13th International Scientific Conference EPE 2012*. Electric Power Engineering 2012. Brno, 23.05.2012 - 25.05.2012. Brno: VUT v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. 2012, s. 323-328. ISBN 978-80-214-4514-7.
2. **ČERNÁ, L.; ČERNEK, P.; HRZINA, P.; BENDA, V.:** Ekonomické a technologické trendy ve fotovoltaice. In: *Sborník odborná konference Aktuální otázky a vybrané problémy řízení elektrizační soustavy*. PODĚBRADY 2013 - Aktuální otázky a vybrané problémy řízení elektrizační soustavy - 18. ročník. Poděbrady, 19.11.2013 - 20.11.2013. Praha: EGÚ Praha Engineering a.s.. 2013, ISBN 978-80-87774-10-6.

## 13 Seznam obrázků, tabulek a rovnic

<i>Obrázek 1: Rizikologie a její dvě hlavní disciplíny dle [49].</i>	11
<i>Obrázek 2: Trojúhelník souvislosti inženýrství rizik, spolehlivosti a jakosti.</i>	12
<i>Obrázek 3: SWOT analýza projektu užití paralelního síťového kondicionéru v praxi.[7]</i>	18
<i>Obrázek 4: Využití UML k analýze rizik procesu tavení pájecí pasty při pájení přetavením [14].</i>	24
<i>Obrázek 5: Příklad schématických značek použitých při FTA.</i>	25
<i>Obrázek 6: FTA, pro vrcholovou událost selhání hlášení poruchového stavu [12].</i>	26
<i>Obrázek 7: Strom událostí pro poruchu řídicího systému výroby.</i>	27
<i>Obrázek 8: CCA poruchového stavu řídicího systému a selhání hlášení poruchového stavu.</i>	27
<i>Obrázek 9: Stromová struktura analýzy příčin a důsledků.</i>	29
<i>Obrázek 10: Ishikawův diagram „rybí kosti“ analýzy příčin a důsledků.</i>	29
<i>Obrázek 11: Diagram stavových přechodů. [12], [33]</i>	30
<i>Obrázek 12: Diagramu typu motýlek.</i>	31
<i>Obrázek 13: Myšlenková mapa při analýze rizik technologií pájení přetavením. [14]</i>	33
<i>Obrázek 14: Boundary diagram pro brzdy jízdního kola</i>	45
<i>Obrázek 15: Matice rozhraní s vysvětlivkami typů a síly interakcí</i>	46
<i>Obrázek 16: Vliv faktorů rušení na spolehlivost</i>	48
<i>Obrázek 17: P-Diagram návrhu brzd jízdního kola</i>	48
<i>Obrázek 18: Příklad Stromu CTX/CTQ (Kritické pro/Kritické pro kvalitu) objednávka zboží</i>	58
<i>Obrázek 19: Pyramida znalostí [48]</i>	66
<i>Obrázek 20: Vstupní data pro analýzu rizik v jednotlivých fázích životního cyklu produktu.</i>	67
<i>Obrázek 21: Přesnost a odchylka</i>	72
<i>Obrázek 22: Stabilní versus nestabilní měřicí systém</i>	73
<i>Obrázek 23: Měřicí systém s dobrou nebo špatnou linearitou</i>	74
<i>Obrázek 24: Opakovatelnost měření měřícího systému</i>	74
<i>Obrázek 25: Přesnost a opakovatelnost měřícího systému</i>	75
<i>Tabulka 1: Základní vodící slova a jejich význam [23].</i>	21
<i>Tabulka 2: Dodatečná vodící slova a jejich význam [23].</i>	21
<i>Tabulka 3: Matice UMRA k-tého experta [50]</i>	22
<i>Tabulka 4: Tabulka UMRA příklad dle [50].</i>	23
<i>Tabulka 5: 39 Standardních technických funkcí</i>	43
<i>Tabulka 6: 40 heuristických principů</i>	44
<i>Tabulka 7: Počet rozlišitelných kategorií hmotnosti živočišných druhů, váženo s rozlišením 0,1 kg.</i>	72
<i>Tabulka 8: Přiřazení ratingu kvality znakům kvality dat</i>	79
<i>Tabulka 9: Rozdělení kategorií aktuálnosti dat a přiřazení ratingu kvality</i>	79
<i>Rovnice 1: Kvantifikace rizik systému analytickým odhadem dle [49]</i>	15
<i>Rovnice 2: Původní návrh hodnotícího vektoru kvality dat</i>	77
<i>Rovnice 3: Konečný návrh hodnotícího vektoru kvality dat</i>	78

## 14 Seznam zkratk

5M	Kategorie příčin zkoumaného důsledku
5S	Metoda řízení a optimalizace organizace pořádku na pracovišti
BIA	Analýza dopadů na podnikání
CAD	Počítačem podporované projektování
CEA	Analýza příčin a důsledků
CCA	Analýza vztahu příčina-následek
CDP	Kritické parametry výrobku
CPP	Kritické procesní parametry
CTB	(Požadavky) Kritické pro podnikání
CTE	(Požadavky) Kritické pro prostředí
CTQ	(Požadavky) Kritické pro kvalitu
CTS	(Požadavky) Kritické pro bezpečnost
DFSS	Metodika Design for Six Sigma
DIVOC	Fáze metodiky Design for Six Sigma (Definice, Identifikace, Charakterizace, Optimalizace, Validace)
DMAIC	Fáze metodiky Lean Six Sigma (Definice, Měření, Analýza, Zlepšení, Řízení)
DoE	Faktorové experimenty
DRBFM	<i>Design Review Based on Failure Mode</i>
DTA	Analýza rozhodovacího stromu
ERP	Systém plánování podnikových zdrojů
ETA	Analýza stromu událostí
FAST	<i>Function analysis system technique</i>
FMEA	Analýza způsobů a důsledků poruch
FTA	Analýza stromu poruchových stavů
HACCP	Analýza nebezpečí a kritické kontrolní body
HAZOP	Studie nebezpečí a provozuschopnosti
HoQ	Dům kvality
HRA	Analýza lidské spolehlivosti
IC <sub>ACC</sub>	Inherentní znak Správnost (Složka hodnotícího vektoru kvality dat)
IC <sub>COM</sub>	Inherentní znak Kompletnost (Složka hodnotícího vektoru kvality dat)
IC <sub>CON</sub>	Inherentní znak Konzistentnost (Složka hodnotícího vektoru kvality dat)
IC <sub>CRE</sub>	Inherentní znak Důvěryhodnost (Složka hodnotícího vektoru kvality dat)
IC <sub>CUR</sub>	Inherentní znak Aktuálnost (Složka hodnotícího vektoru kvality dat)
IC <sub>NOF</sub>	Inherentní znak Pravdivosti (Složka hodnotícího vektoru kvality dat)
IC <sub>INT</sub>	Inherentní znak Interpretovatelnost (Složka hodnotícího vektoru kvality dat)
LOPA	Analýza ochranných vrstev
LPD	<i>Lean product development</i>
MA	Markovova analýza



---

MSA	Analýza systému měření
PDCA	Deminganův cyklus kvality
PHA	Předběžná analýza nebezpečí
PLM	Systém řízení životního cyklu produktu
QFD	<i>Quality function deployment</i>
RASI	Matice zodpovědnosti
RCA	Analýza kořenových příčin
RCM	Údržba zaměřená na bezporuchovost
RRCL	Kontrolní list spolehlivosti a robustnosti
SCA	Analýza parazitních jevů (obvodů)
SIPOC	Mapa procesu řešící i vstupy, výstupy, dodavatele a zákazníky
SWIFT	Strukturovaná technika „ <i>What-If</i> “ (Co-Když?)
SWOT	Analýza silných a slabých stránek, příležitostí a hrozeb projektu
TPM	<i>Total productive maintenance</i>
TRIZ	Metoda tvorba a řešení inovačních zadaní
UML	<i>Unified modeling language</i>
UMRA	Univerzální matice ratingové analýzy
VoB	Požadavky dané ekonomikou podniku (Hlas obchodu)
VoC	Zákaznické požadavky (Hlas zákazníka)
VoR	Regulační tj. zákonné a normativní požadavky (Hlas regulace)