

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Modelování rizik v elektrotechnické výrobě**



**Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá modelováním rizik v elektrotechnické výrobě. V práci jsou popsány vybrané metody a nástroje pro analýzu rizik. V případové studii jsou vytvořené některé analýzy rizik a modely rizik pro malý výrobní podnik. Tento podnik se zabývá výrobou a osazováním desek plošných spojů.

**Klíčová slova**

Analýza rizik, deska plošného spoje, modelování rizik, risk management, pájení plošného spoje, proces, riziko, výroba

**Abstract**

The diploma thesis is focused on risk modeling in electrical engineering production. The thesis describes the methods and instruments in the risk analysis. In the case study are some risk analysis and risk models for a small manufacturing company. This company deals with the production and planting of printed circuit boards.

**Key words**

Manufacturing process, printed circuit board, risk management, risk, risk analysis, risk modeling, soldering

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....  
podpis

V Plzni dne 9.5.2014

Veronika Matýsová

## **Poděkování**

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Jiří Tupovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky, metodické vedení práce a za poskytnuté konzultace k diplomové práci.

## OBSAH

<b>OBSAH</b> .....	<b>7</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>9</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>1 DEFINICE RIZIKA, ZÁKLADNÍ POJMY, ANALÝZA RIZIK</b> .....	<b>11</b>
1.1 POJEM RIZIKO .....	11
1.2 ZÁKLADNÍ POJMY V ANALÝZE RIZIK .....	12
1.3 TYPY RIZIKA V ELEKTROTECHNICKÉ VÝROBĚ.....	13
1.3.1 <i>Technická rizika a výrobní rizika</i> .....	13
1.3.2 <i>Dodavatelská rizika</i> .....	15
1.4 ANALÝZA RIZIK .....	15
1.4.1 <i>Obecný postup analýzy rizik</i> .....	16
1.5 METODY PRO SNIŽOVÁNÍ RIZIK.....	17
1.6 METODY HODNOCENÍ V ANALÝZE RIZIK .....	19
1.6.1 <i>Kvalitativní metody</i> .....	19
1.6.2 <i>Kvantitativní metody</i> .....	20
1.7 METODY PRO ANALÝZU RIZIK.....	20
1.7.1 <i>FMEA</i> .....	20
1.7.2 <i>Metoda účelových interview – metoda Delphi</i> .....	21
1.7.3 <i>Brainstorming</i> .....	22
1.7.4 <i>Analýza předpokladů</i> .....	22
1.7.5 <i>Matice pravděpodobnosti a dopadu</i> .....	23
1.7.6 <i>Matice aktiv, hrozeb a zranitelností</i> .....	23
1.7.7 <i>Analýza What – if.. (Co se stane, když..)</i> .....	24
1.7.8 <i>Metodika RiskPAC</i> .....	25
1.7.9 <i>Analýza kvantitativních rizik procesu - QRA</i> .....	25
1.7.10 <i>Metodika RiskWatch</i> .....	26
1.7.11 <i>HAZOP - Identifikace zdrojů rizika a provozuschopnosti</i> .....	26
<b>2 MODELOVÁNÍ RIZIK</b> .....	<b>28</b>
2.1 DETERMINISTICKÉ MODELY RIZIKA .....	28
2.2 MODELY STOCHASTICKÉ .....	29
2.3 STATISTICKÉ MODELY .....	29
2.4 SIMULACE MONTE CARLO.....	30
2.5 POUŽÍVANÉ UDÁLOSTNÍ MODELY RIZIKA .....	31
2.6 MODEL PŘÍČINA – RIZIKO – ÚČINEK .....	32
2.7 GRAFICKÉ MODELY ANALYZOVÁNÍ RIZIK .....	33
2.7.1 <i>Stromové diagramy</i> .....	33
2.7.2 <i>Analýza stromu poruch (FTA)</i> .....	35
2.7.3 <i>Analýza stromu událostí (ETA)</i> .....	36
2.7.4 <i>Rozhodovací stromy</i> .....	37

2.7.5	<i>Analýza příčin a následků (CCA)</i> .....	38
2.7.6	<i>Ishikawův diagram – diagram příčin a následků</i> .....	38
2.7.7	<i>Technika modelování scénářů</i> .....	39
<b>3</b>	<b>POROVNÁNÍ VYBRANÝCH METOD A MODELOVACÍCH TECHNIK</b> .....	<b>40</b>
3.1	POROVNÁNÍ VYBRANÝCH METOD ANALÝZY RIZIK .....	40
3.2	POROVNÁNÍ VYBRANÝCH MODELOVACÍCH TECHNIK ANALÝZY RIZIK.....	41
<b>4</b>	<b>PŘÍPADOVÁ STUDIE</b> .....	<b>43</b>
4.1	PŘEDSTAVENÍ MODELOVÉHO PODNIKU .....	43
4.1.1	<i>Seznámení s výchozím stavem</i> .....	43
4.2	ANALÝZY PRO TECHNOLOGICKÁ RIZIKA VÝROBY DPS .....	43
4.2.1	<i>Prvotní analýza - Ishikawův diagram</i> .....	44
4.2.2	<i>Analýza vyvrtání desky DPS pomocí What-if</i> .....	44
4.2.3	<i>Analýza rizik s využitím matice pravděpodobnosti a dopadu</i> .....	45
4.2.4	<i>Analýza rizik využívající matice aktiv, hrozeb a zranitelností</i> .....	47
4.2.5	<i>Analýza výroby DPS pomocí FMEA</i> .....	49
4.2.6	<i>Analýza rizik pomocí rozhodovacího stromu</i> .....	50
4.3	MODELÝ RIZIKA V PROCESU VÝROBY DESKY PLOŠNÉHO SPOJE.....	52
4.3.1	<i>Model rizik pro vyvrtání děr desky</i> .....	53
4.3.2	<i>Model rizik při vyvolání negativního motivu</i> .....	54
4.3.3	<i>Model rizika v procesu leptání</i> .....	55
4.3.4	<i>Model rizika při pájení součástek</i> .....	56
<b>5</b>	<b>DOPORUČENÍ PRO PRAXI</b> .....	<b>57</b>
	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>59</b>
<b>6</b>	<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....	<b>1</b>



## SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

DPS	– deska plošných spojů
FMEA	– Failure Mode and Effect Analysis
FTA	– Fault Tree Analysis
ETA	– Event Tree Analysis
CCA	– Cause-Consequence Analysis
HAZOP	– Hazard and Operability Study
$\sigma$	– směrodatná odchylka
m	– hmotnost
v	– rychlost
F	– síla
QRA	– Process Quantitative Risk Analysis
$\xi$	– střední hodnota
SMD	– Surface Mounted Devices

## ÚVOD

V dnešní době se podniky musí neustále přizpůsobovat aktuálnímu dění na trhu. Vzhledem k rychlému vývoji v technologické oblasti musí společnosti neustále reagovat na nové technologie. To sebou však přináší rizika spojená s použitím nových materiálů, součástek či zavedení moderních pracovních postupů. Podnik tedy musí zachytit případná rizika spojená se změnou a snížit tak možnost selhání vývoje kvůli hrozbám. Podstatnou součástí při rozhodování je právě analýza rizik, která identifikuje možná rizika a jejich příčiny. Modelování rizik tedy umožňují ukázat, co může nastat a jaký to bude mít dopad pro společnost.

V současné době jsou stále podniky, které významnost snižování rizik podceňují. Neuvědomují si, že věnování času eliminaci rizik není ztrátou ale přínosem. Často je mylný dojem, že podnik žádná rizika snižovat nemusí. Riziko však nemusí být vždy chápáno jako negativní vliv, ale může představovat i pozitivní dopad v podobě příležitosti v podnikání.

Řízení rizik je dlouhodobá záležitost. Nelze se spoléhat na to, že pokud jsou rizika jednou odhalena a eliminována, že tato rizika již nepředstavují hrozbu. Řízení rizik je neustálý proces identifikování hrozeb a jejich snižování.

V první části práce jsou uvedeny základní pojmy, které jsou spojené s řízením rizik. Je popsán také proces analýzy rizik, který je základem pro eliminaci rizik. V této práci jsou také uvedeny nástroje a metody, které jsou vhodné pro průmyslový podnik s elektrotechnickou výrobou. Vybrané metodiky analýzy jsou srovnané v přehledných tabulkách na základě jejich např. výhod, nevýhod nebo náročnosti na zpracování.

Ve druhé části práce je případová studie, ve které jsou vybrané nástroje řízení rizik implementovány pro malý podnik. Tato společnost se zabývá výrobou a osazováním desek plošných spojů. Jsou zpracovány analýzy rizik za použití vybraných metod a vytvořeny jejich modely. V závěru je uvedeno doporučení pro praxi.

# 1 DEFINICE RIZIKA, ZÁKLADNÍ POJMY, ANALÝZA RIZIK

## 1.1 Pojem riziko

Riziko je historický výraz pocházející údajně ze 17. století, kdy se objevil v souvislosti s lodní dopravou. Výraz pochází z italského slova „risico“, kterým se označovalo místo, kterému se museli plavci vyhnout. Ve starších encyklopediích najdeme pod tímto heslem vysvětlení, že se jedná o odvalu či nebezpečí, případně že „riskovat“ znamená odvážit se něčeho. Podle dnešních výkladů se rizikem obecně rozumí nebezpečí vzniku škody, poškození, ztráty či zničení, případně nezdaru při podnikání [1].

**Neexistuje žádná jednotná definice pojmu riziko, tento pojem je interpretován různě [1]:**

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

Z hlediska problematiky řízení podnikatelských rizik bude užitečné vycházet z chápání rizika jako možnosti, že s určitou pravděpodobností dojde k události, jež se liší od předpokládaného stavu či vývoje. Riziko by v žádném případě nemělo být redukováno na pouhou pravděpodobnost, neboť zahrnuje jak samotnou pravděpodobnost, tak kvantitativní rozsah dané události. [2]

## 1.2 Základní pojmy v analýze rizik

### ➤ *Aktivum*

Aktivum je vše, co má nějakou hodnotu a ta může být působením rizika zmenšena. Aktiva dělíme na hmotná (nemovitosti, cenné papíry, peníze, atd.) a nehmotná (informace, autorská práva, kvalita personálu, atd.). Aktivem může být i samotný subjekt, protože riziko může negativně působit na jeho existenci. Základní charakteristikou je hodnota aktiva, která je relativní a závisí na úhlu pohledu hodnocení. [1]

### ➤ *Hrozba*

Hrozba je síla, událost, aktivita nebo osoba, která má negativní vliv na bezpečnost či může působit škodu. Mezi hrozby patří také přírodní katastrofy, krádeže, chyba obsluhy či kontrola finančního úřadu. Škoda, která vznikne při působení na aktivum, se nazývá dopad hrozby. Základní charakteristikou je úroveň hrozby, která se hodnotí podle třech faktorů (nebezpečnost, přístup k aktivu, motivace k vytvoření hrozby). [1]

### ➤ *Zranitelnost*

Nedostatek, slabina nebo stav, který může hrozba využít k tomu, aby dosáhla negativního vlivu. Zranitelnost udává, jak je dané aktivum citlivé vůči působení hrozby. Zranitelnost je všude, kde dochází k vzájemné interakci mezi hrozbou a aktivem. [1]

### ➤ *Protiopatření*

Jde o postup, proces, opatření či cokoliv, co dokáže zmírnit působení hrozby nebo snížit zranitelnost aktiva. Efektivnost daného protiopatření udává, nakolik se eliminoval účinek hrozby. Nejvhodnější protiopatření jsou taková, která budou nejúčinnější a přinesou co nejmenší náklady [1]

### ➤ *Riziko*

Vzájemnou interakcí aktiva a hrozby vzniká riziko. Při analýze se uvažují pouze hrozby, která působí na nějaké aktivum. Úroveň rizika je určena hodnotou aktiva, zranitelností a úrovní působící hrozby. Pouze protiopatření snižuje úroveň rizika. Zbytkové riziko je zanedbatelné, není nutné ho snižovat a podnikat jakékoliv protiopatření. Referenční

úroveň je hranice míry rizika a rozhoduje o tom, zda je vůči riziku nutné podnikat nějaké protiopatření. [1]

### 1.3 Typy rizika v elektrotechnické výrobě

Pojem „riziko“ je v ekonomii užíván v souvislosti s nejednoznačností průběhu určitých skutečností ekonomických procesů a nejednoznačností jejich výsledků. Obecně se však nejedná pouze o riziko ekonomické.

**Pokud jsou rizika rozdělena podle oblastí činnosti, tak existuje celá řada rizik [3]:**

- Ekonomická rizika (nákladová, kurzovní)
- Finanční rizika (investiční, pojišťovací, úvěrová)
- Projektová rizika
- Obchodní rizika (marketingová, strategická, tržní)
- Technická (konstrukční, materiálová)
- Technologická rizika (poruchy výrobních zařízení, přírodní katastrofy a havárie)
- Výrobní rizika (nedostatek materiálu, energií, pracovních sil)
- Politická rizika (rozpočtová, politické nestability)

#### 1.3.1 Technická rizika a výrobní rizika

Tato práce je zaměřena převážně na technický a výrobní rizika a proto jsou zde blíže specifikována.

Tato rizika jsou nejrozšířenější především v průmyslových organizacích, která mají vlastní výrobu. Na výrobě produktu se podílí kromě daného podniku také hlavně všichni dodavatelé. Pokud podnik vyrábí více druhů výrobků, tak každý výrobek má různé množství komponentů. To způsobuje to, že rozsah technických rizik je závislý na složitosti výrobku. Četnost technických rizik v analyzovaných projektech patří u průmyslových podniků k nejvyšším, což je dáno do značné míry tím, v jaké míře vyžadují přijaté externí zakázky dodatečný vývoj nebo změny technického řešení dodávaných produktů. [13]

Riziko poruchy a vad výrobků je v případě výroby produktů pro externího zákazníka nejčastějším rizikem u těch produktů, které byly nově vyprojektované. V případě složitých

výrobků je důležité se zaměřit na dostatečnou pevnost, životnost a dosažení základních požadovaných technických parametrů výrobku.

**Podle zdroje [13] patří k nejčastějším technologickým rizikům:**

- Obvody s pomocnými spínači nebo ochranami, které nebyly vhodně nastaveny
- Použité součástky v těchto obvodech nebyly zvoleny vhodně, nebyly v souladu s úrovní ovládacích nebo snímacích signálů
- Vzhledem ke složitosti řešení došlo k chybě v projektování či zkonstruování
- Chyba softwaru
- Nový dodavatel nedodal vhodný typ součástky
- Stávající dodavatel nedodal správně dimenzovaný díl do nového produktu
- Dodavatel zaslal nový komponent se skrytou vadou, která se objevila až ve specifických podmínkách
- Došlo k technické chybě při výrobě, protože výkresové plány nebyly správně pochopeny
- Došlo k vadě na výrobku vlivem nesprávného technologického postupu
- Výrobek nedodrží stanové parametry a překračuje povolené tolerance
- Nastala výrobní vada způsobená lidským faktorem [13]

Dále se ve výrobě objevují rizika plynoucí z výpadku plynulého provozu či poruchy stroje. Mezi tyto rizika se řadí výpadky elektrické energie, poruchy a havárie, kvůli kterým jsou vyrobeny zmetky nebo zastavena výroba. Dále sem patří náhrada za nemocného pracovníka nebo pracovníka odcházejícího z pracovního místa. [13]

U provozních rizik je důležité věnovat se jejich prevenci. Pokud i přes provedená opatření dojde k havárii, je nutné se intenzivně věnovat odstranění jejích důsledků, aby se minimalizoval dopad související s přerušением výroby. [7] Mezi tato rizika se řadí např [9]:

- vývoj nového výrobku, na který byly vynaložené velké finanční prostředky a ten následně neuspěl na trhu,
- investice do výrobku, který byl během krátké doby nahrazen novým výrobkem, který je založený na jiném principu
- změna legislativy státu,

- pokles výdajů na zavádění nových technologií a výrobků a zaměření se pouze na jejich vylepšování,
- nedostatky v řízení údržby a následná havárie výrobního zařízení, případně spojená s únikem nebezpečných látek,
- organizace nedisponuje zařízením, která jsou nebo budou standardním vybavením
- vývoj a následná výroba produktu, který je zastaralý a neodpovídá současným trendům.

### 1.3.2 Dodavatelská rizika

Mezi další rizika ovlivňující výrobu patří dodavatelská rizika. Tato rizika nastávají přímo na straně dodavatele nebo při přepravě a jde např. o [9]:

- Požár na výrobní lince u dodavatele komponentů pro výrobu, čímž se zastaví dodávka dílů,
- Nedostatečné množství komponentů u dodavatele,
- Dodavatel nedodává výrobky stále ve stejné kvalitě a včas,
- Dopravní nehoda při převážení komponentů od dodavatele.

Pokud má nastat riziko, je to podmíněno existencí několika variantami výsledného řešení. Vznik rizika je podmíněné nejistotou jasného výsledku, který není předem známý. V možných variantách řešení musí být minimálně jedna, která je pro výsledný požadovaný stav negativní. Pokud jsou oba tyto stavy splněny, tak hovoříme o možnosti vzniku rizika. [1]

## 1.4 Analýza rizik

Analýza rizik je prvním důležitým krokem v procesu snižování rizik. Je podstatné identifikovat všechna možná rizika, která mohou nastat. Analýza musí být velice kvalitně zpracovaná, jinak nebudou opatření pro omezení rizik účinná. Po analýze rizik nastává fáze zvládnání rizik. Dalším krokem je samotné řízení rizik. [1]

**Analýza rizik obsahuje následující kroky [1]:**

- 1) identifikace aktiv
- 2) stanovení hodnoty aktiv
- 3) identifikaci hrozeb a slabin
- 4) stanovení závažnosti hrozeb a míry zranitelnosti.

#### **1.4.1 Obecný postup analýzy rizik**

##### ***a) Stanovení hranice analýzy rizik***

Aktiva, která mají vůči probíhajícímu procesu minimalizace rizik nějaký vztah, budou započítána do analýzy. Hranice analýzy rizik odděluje ta rizika, která jsou zahrnuta do analýzy od těch, které v analýze nehrají roli. [1]

##### ***b) Identifikace aktiv***

Vytvoření seznamu všech aktiv, která leží uvnitř hranice analýzy rizik. [1]

##### ***c) Stanovení hodnoty a seskupování aktiv***

Hodnota aktiva se stanoví na základě posouzení velikosti škody v případě zničení či ztráty aktiva. V posudku se uvažuje také, zda se jedná o jedinečné aktivum nebo o aktivum lehce nahraditelné. Aktiv je velké množství a proto se jejich počet snižuje seskupením podle různých hledisek do skupin podobných vlastností. Každá skupina aktiv je pak brána jako jedno aktivum. Nesmí se ovšem zapomenout aplikovat opatření na všechna aktiva ve skupině. [1]

##### ***d) Identifikace hrozeb***

Zde se identifikují veškeré hrozby, které se dané analýzy týkají. Vybírají se takové hrozby, které ohrožují alespoň jedno z aktiv. Přehled hrozeb subjektu lze získat některou z metod jako je brainstorming nebo metoda Delphi. [1]

##### ***e) Analýza hrozeb a zranitelností***

Každá hrozba se hodnotí vůči každému aktivu (skupině aktiv). U aktiv, na která může hrozba působit, se určí úroveň hrozby vůči danému aktivu a zranitelnosti vůči působící



hrozbě. Při této analýze se berou v úvahu pouze realizovatelná protipatření, která mohou snížit jak úroveň hrozby, tak i zranitelnosti. Výsledkem této analýzy je soupis dvojic „hrozba-aktivum“, u kterých je uvedena úroveň hrozby a zranitelnosti. [1]

#### **f) Pravděpodobnost jevu**

Je nutné stanovit pravděpodobnost, s jakou daný jev může nastat. Abychom mohli počítat s pravděpodobnostmi, musíme určit, zda je daný jev náhodný či nikoliv. Zda tento jev můžeme vyloučit nebo zda patří do určitého intervalu pravděpodobnosti. [1]

#### **g) Měření rizika**

Riziko je nestále a nemá určenou neměnnou hodnotu. Výše rizika se odvozuje z hodnoty aktiva, úrovně hrozby a zranitelnosti daného aktiva. Jedna z možností obsahuje více či méně rizika než druhá. Čím vyšší je pravděpodobnost, že k nepříznivé situaci dojde, tím větší je pravděpodobnost odchylky od příznivého výsledku. Tím vyšší je následně riziko, které může nastat. [1]

## **1.5 Metody pro snižování rizik**

Fáze zvládání rizik a jejich snižování spočívá ve volbě vhodné metody zvládání rizik. Mezi nejběžnější metody zvládání rizik patří akceptace a redukce rizika. Metody zvládání rizika jsou např.:

#### **➤ Ignorování rizika**

Tento metoda patří mezi nejnevhodnější přístup ke zvládání rizik. Management o rizicích vůbec neví, neprovádí žádnou analýzu a možná rizika ignorují.

#### **➤ Akceptace rizika**

Nejčastější metodou zvládání rizik je akceptace rizika. Užívá se tam, kde se předpokládá, že možná hrozba je minimální a není nutné vynakládat protipatření. Užití této metody je možné pouze v případě hrozeb s nízkým dopadem.

➤ **Redukce rizika**

Další běžnou metodou zvládání rizik je jeho redukce. Cílem je snížit rizika převážně s vysokou pravděpodobností výskytu na přijatelnou úroveň bez ohledu na to, jaký má hrozba dopad. [27]

➤ **Transfer rizika**

Jedná se o přenos odpovědnosti na jinou společnost. Obvykle se jedná o rizika s nízkou pravděpodobností výskytu hrozby a se zničujícím dopadem.

➤ **Vyhnutí se riziku**

V případě hrozeb, u kterých je jisté, že se objeví. Jsou to hrozby, u kterých je více než nutné je eliminovat.

➤ **Monitoring rizika**

Je důležité všechny rizika monitorovat a přezkoumávat, protože nikdy si nemůžeme být jistí, zda nedošlo ke změně možných hrozeb. [28]

### **Volba vhodné metody zvládání rizika**

Pokud použijeme pro hodnocení míry hrozby a hodnoty dopadu matici pravděpodobnosti a dopadu, objeví se v červené oblasti nejvýznamnější rizika. Tato rizika mají nejvyšší pravděpodobnost výskytu a nejvyšší dopad na výrobu. Na základě této matice jsou rizika rozdělena a lze určit, která metoda zvládání bude aplikována. [28] V následujícím seznamu jsou sepsány zásady zvládání rizik:

- Uvědomit si hrozbu rizika
- Nepodceňovat žádné riziko
- Riziky se zabývat
- Rizika najít a popsat
- Rizika analyzovat
- Vytvořit matici rizik
- Nastavit úroveň přijatelnosti
- Zvolit vhodný způsob snížení rizika

- Snížit riziko
- Vytvořit fungující systém zvládnání rizik

**Ve smyslu normy ČSN ISO 31000:2010 organizace řídí rizika tím, že je [28]:**

- Identifikuje (proces hledání, rozpoznávání a popisování rizik)
- Analyzuje (určení hrozeb útočících na aktiva a zranitelností vůči těmto hrozbám; ohodnocení pravděpodobnosti hrozby ve vztahu k zranitelnosti)
- Vyhodnocuje (výpočet rizika, stanovení hranice pro akceptovatelnou úroveň)
- Ošetřuje (tak, aby výsledná rizika byla pod hranicí akceptovatelné úrovně, jedním z nástrojů řízení je sestavení plánu zvládnání rizik)

### **Smysl zvládnání rizik**

Smyslem je vybrat taková opatření, která povedou k efektivnímu pokrytí největších rizik tak, aby se účinek nejistoty na dosažení cílů výrazně snížil. [28]

## **1.6 Metody hodnocení v analýze rizik**

V analýze rizik se pracuje se dvěma přístupy, které jsou potřeba k vyjádření veličin analýzy rizik. Jedná se o kvalitativní a kvantitativní metody.

V praxi jsou také často používané kombinované metody založené na sloučení obou předchozích metod. Základem jsou číselné údaje, ale pomocí kvalitativního hodnocení jsou výsledky blíže realitě.

### **1.6.1 Kvalitativní metody**

Riziko je chápáno jako pravděpodobnost vzniku určité ztráty nebo ohrožení. Tyto metody jsou charakterizovány tím, že riziko je vyjádřené v určitém rozsahu <0 do 5>. Může být vyjádřeno také slovně <velká, střední> nebo rozsahem pravděpodobnosti <0;1> Úroveň rizika je určena jen kvalifikovaným odhadem. Chybí konkrétní finanční vyjádření, což znesnadňuje kontrolu nákladů a konkrétní vyčíslení případných škod. Tyto metody jsou jednoduché a rychlé, používají se převážně u finančních rizik, technické bezpečnosti a bezpečnosti informačních systémů. Tyto metody jsou spíše neformální variantou zpracování analýzy rizik. Přehled vlastností kvalitativních metod je uveden v tabulce č.1. [1]

**Tabulka 1: Vlastnosti kvalitativních metod**

<b>Kvalitativní metody</b>	
<b>Klady</b>	<b>Zápory</b>
jednoduchý výpočet	nepřesné
levné zpracování	nejednoznačné
časově nenáročné	chybí finanční ohodnocení

## 1.6.2 Kvantitativní metody

Tyto metody jsou již založeny na matematickém výpočtu rizika. Kvantitativní metody jsou sice časově náročnější, ale díky tomu dávají k dispozici konkrétní vyčíslení dopadu rizika. Určité vyjádření rizika ve financích umožňuje jednodušší a účinnější rozhodování při vybírání konkrétního opatření v analýze rizik. Tyto metody jsou zpracovávány pomocí počítačových programů, které disponují databází informací. [1]

**Tabulka 2: Vlastnosti kvantitativních metod**

<b>Kvantitativní metody</b>	
<b>Klady</b>	<b>Zápory</b>
relativně přesné	náročnější výpočet
jednoznačné výsledky	časově delší zpracování
lepší kontrola nákladů	finančně náročnější

## 1.7 Metody pro analýzu rizik

Výše uvedené metodiky se v praxi nepoužívají samostatně, ale vzájemně se doplňují. Kvalitativní analýza rizik se obvykle provádí tehdy, když je potřeba rychle vyhodnotit a naleznout největší rizika. Když jsou již největší rizika známá, je na místě tyto rizika více a hlouběji prozkoumat.

### 1.7.1 FMEA

Metoda se nejčastěji používá při zavádění nového výrobku, procesu nebo systému. Lze ji ale aplikovat také na modifikaci nebo zlepšení původního systému. Zjišťují se poruchy, které mají nežádoucí důsledky na provoz systému. Tyto závady významně zasahují do výroby nebo zhoršují celý výrobní provoz. V některých případech mohou dokonce ovlivňovat bezpečnost pracovníků. Užívá se také jako nástroj pro zlepšení udržitelnosti celého systému. [11]

**Cíle FMEA se stanovují z požadavků organizace a patří mezi ně převážně tyto následující [11]:**

- bezproblémový náběh sérií,
- kratší doby vývoje,
- dodržování termínů,
- hospodárnější výroba,
- minimalizace rizik záruky na výrobky,
- lepší interní komunikace,
- zvyšování bezpečnosti a spolehlivosti produktů a procesů
- zajištění know-how.

Výsledkem FMEA metody je objektivní vyhodnocení návrhu včetně funkčních požadavků a alternativních návrhů. Metoda zvyšuje pravděpodobnost, že závady a jejich následky budou zjištěny v první fázi návrhu procesu. Metoda také zlepšuje kvalitu vyráběných produktů, služeb nebo procesů, a tím se také uspokojí požadavky od zákazníků. Analýzou FMEA se vypracuje seznam možných závad, které jsou ohodnoceny dle svého významu. Jsou uvedené možné příčiny, které jsou ohodnocené z hlediska pravděpodobnosti výskytu. Dle současných opatření se určí hodnota odhalitelnosti hrozby. Následně je možné vytvořit seznam prioritních návrhů na řešení. FMEA umožňuje zjistit informace pro podporu vývoje, navrhování a plánování výroby. [11]

Tato metoda je obtížněji aplikovatelná v organizaci, která je složena z více komponent nebo se analýza ve společnosti vypracovává poprvé na složitý systém.

U velmi propracovaných a složitých systému, je nejslabším článkem člověk, proto se často nahrazuje jinými automaticky řízenými systémy a softwarovými prvky. Pomocí FMEA metody lze dostatečně přesně zjistit úzká místa, která jsou nejcitlivější na nepříznivé vlivy činnosti člověka a upřesnit tak další kroky k jejich eliminaci. [11]

### **1.7.2 Metoda účelových interview – metoda Delphi**

Tato metoda je pro analýzu rizik velmi vhodná. Určuje, co se může stát a za jakých podmínek. Základem je řízený kontakt mezi experty hodnotící skupiny a příslušnými představiteli hodnocené organizace. K nesporným výhodám metody patří její nestrojové

zpracování. Delphi je založena souboru otázek prodiskutovaných na účelových pohovorech, na kterých jsou obvykle tyto otázky tvořeny předem danou a variabilní částí. Při pohovorech nepřichází jednotlivý respondenti do styku, což zaručí, že se nebudou navzájem ovlivňovat. [4]

V kompletním využití metody existuje „víceúrovňový“ postup metody Delphi. Získané výsledky z dalšího kola rozhovorů jsou po svém statistickém zpracování sděleny respondentům, kteří jsou vyzváni, aby zaujali k těmto souhrnným výsledkům stanovisko a případně upravovali nebo potvrdili svá stanoviska. Doporučuje se provedení 2 až 3 kol rozhovorů, při dalším nárůstu vzrůstá statistická chyba metody.

Výhodou této metody je menší náročnost na spotřebu zdrojů a času, zohlednění specifik posuzovaného informačního systému, jeho správce, okolí a uživatelů. U této metody se považuje za největší negativum absence finančního vyjádření. [4]

### 1.7.3 Brainstorming

Tato metoda spočívá ve skupinové diskuzi na dané téma. Základní myšlenkou je, že lidé dostanou více nápadů ve skupině, na základě podnětů, které dostanou od ostatních účastníků. 12 účastníků porady je ideální a délka trvání se pohybuje od 15 do 45 minut.

**Základní pravidla se dají shrnout v následujících bodech [6]:**

- Stanovit časový limit
- Jasná definice problému
- Určit, jakým způsobem se budou nápady účastníků zaznamenávat
- Nápady nechat na viditelném místě
- Přijmout zásadu, že žádná myšlenka je špatná myšlenka
- Odložit posudek
- Povzbuzovat účastníky, podporovat jejich myšlenky a uvolnit jejich zábrany
- Podstatné je množství nápadů, jejich kvalita se vyhodnotí až později

### 1.7.4 Analýza předpokladů

Tato analýza se aplikuje tam, kde jsou stanovené předpoklady objevující se během procesu plánování. V závěru projektu jsou předpoklady ohodnoceny podle toho, zda byly

správné či nikoliv. Předpoklady, které se ukážou jako nesprávné, se stanou stavebním kamenem pro seznam potencionálních rizik. Je ale možné, že nebudou identifikována všechna rizika, protože mohou být některé nesprávné předpoklady skryté. [6]

### 1.7.5 Matice pravděpodobnosti a dopadu

Tato matice udává, jak je reálné a pravděpodobné, že riziko vznikne. Jsou zde stanovené tři úrovně pravděpodobnosti rizika: nízké, střední a vysoké. Dále se definuje velikost dopadu vzniku rizika na danou organizaci opět ve třech úrovních: negativní, ohrožující a zničující. [5]

Vodorovná osa matice představuje pravděpodobnost vzniku události. Svislá osa představuje měřítko dopadu ztráty. Na obou osách je možné zachytit i více možností než je na obrázku 1. Vysoce rizikové události spadající do tmavě červených políček, které se nazývají červená zóna rizikové události. Políčka zabarvená žlutou barvou spadají do žluté zóny a světle zelená zóna jsou události zelené zóny. [23] Nejzávažnější dopad na výrobu mají rizikové faktory v červené oblasti a na ty je důležité se zaměřit.

Pomocí této matice mají společnosti možnost kategorizovat rizikové události kvalitativně na základě pravděpodobnosti jejich výskytu a jejich následků. [23]

		Pravděpodobnost výskytu		
		Nízká	Střední	Vysoká
Dopad ztráty	Nízká			
	Střední			
	Vysoká			

Obrázek 1: Matice pravděpodobnosti a dopadů rizik [23]

### 1.7.6 Matice aktiv, hrozeb a zranitelností

Při této analýze rizik využijeme matici zranitelností a matice rizik. Metoda využívá tři parametry označené jako aktivum, hrozba a zranitelnost. Doplní se identifikovaná aktiva a jejich hodnoty. K jednotlivým aktivům identifikujeme hrozby, zranitelnosti a existující opatření. Odhadne se pravděpodobnost incidentu, který ohrozí dané aktivum. Do matice se

doplň identifikované hrozby a jejich pravděpodobnosti. V dalším kroku se posoudí a doplní zranitelnosti jednotlivých aktiv (skupin aktiv) jednotlivými hrozbami do matice zranitelností. Posledním krokem analýzy je výpočet míry rizika podle následujícího vzorce [8]:

$$R = T * A * V \quad (1)$$

kde **R** je míra rizika,  
**T** je pravděpodobnost vzniku hrozby,  
**A** je hodnota aktiva, a  
**V** je zranitelnost daného aktiva.

Výpočty míry rizika se doplní do matice rizik. Po analýze se stanoví hranice pro výši rizika podle stupnice: nízká, střední a vysoká rizika. Vysoká rizika jsou označena červeně a opět spadají do oblasti nejzávažnějších rizik. [8]

### 1.7.7 Analýza What – if .. (Co se stane, když..)

Metodika je založena na společné diskusi ve skupině lidí, kteří mají zkušenosti s daným procesem. Společně si skupina klade otázky a uvažuje nad možnými riziky a událostmi, které se mohou v procesu objevit. Otázkou začínající slovy „Co se stane, když...?“ je skupina motivována k hledání a k přemýšlení nad možnými zdroji rizika. Možné nápady nemusí mít nutně podobu otázky, ale oceněny jsou vyslovené jakékoliv úvahy.

Veškeré vyslovené úvahy jsou zaznamenány a následně jsou rozděleny podle jednotlivých zkoumaných oblastí, jako je např. elektrická bezpečnost či požární ochrana. Každou oblast pak zkoumá odborník. [20]

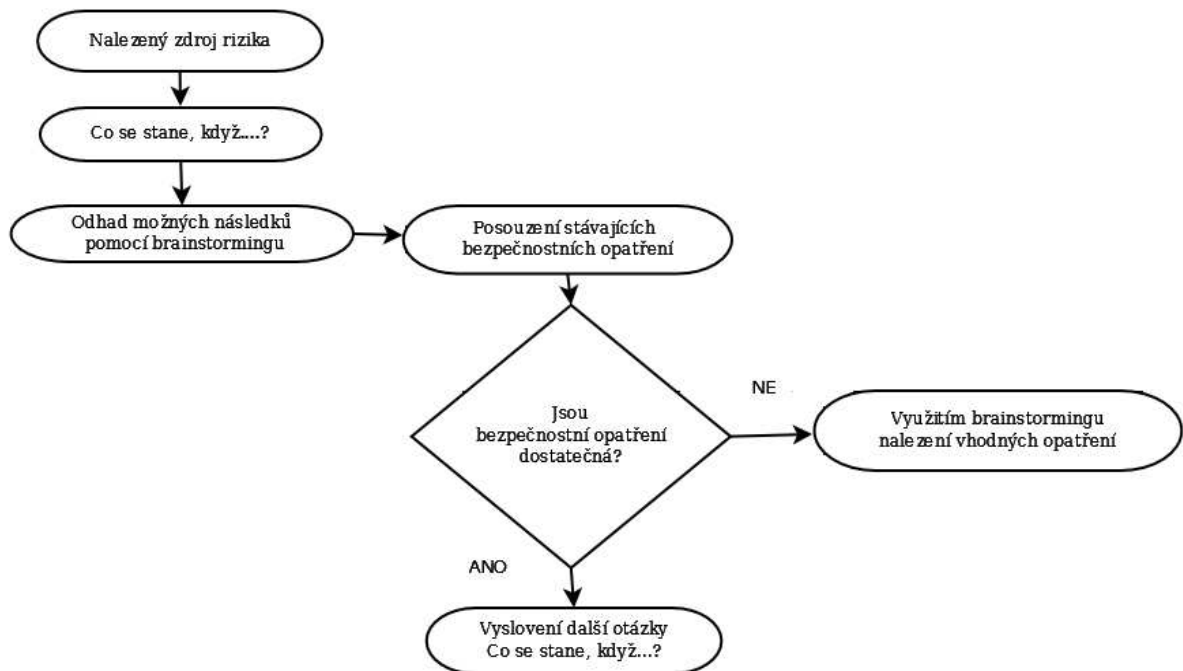
Cílem analýzy „Co se stane, když ...“ je nalézt zdroje rizika, nebezpečné situace nebo určité nehodové události, které mohou způsobit nežádoucí následky. Odborník zkoumající vyřčené úvahy pak vyhodnotí rizikové situace, jejich následky a určí bezpečnostní opatření. Poté se navrhnou alternativní možnosti na snížení rizika.

Základní podoba metodiky je ve formě seznamu otázek a odpovědí o procesu. Mohou se také vytvořit přehlednější tabulkové seznamy, ve kterých bude seznam nebezpečných situací, seznam ochrany nebezpečných situací proti následkům a seznam možných návrhů pro snížení rizika.

Tato analýza je velice přizpůsobivá, že se může provádět s využitím libovolných



informací a znalostí o procesu v jakékoliv fázi. Doba a náklady na vypracování analýzy „Co se stane, když ...“ jsou úměrné složitosti daného procesu a počtu analyzovaných oblastí. [20]



Obrázek 2: Postup metody What-If..

### 1.7.8 Metodika RiskPAC

Jedná se o systém, umožňující zjednodušení přehledu rizik a jeho následující analýzy. Podle systému je pak navržen dotazník, který má za cíl umožnit analýzu dopadů rizik na provoz. Slouží k automatizaci dotazníkových přístupů. Tato metoda umožňuje řešit zpracovanou metodu dotazníkových akcí formou automatizovaného hodnocení. [4]

### 1.7.9 Analýza kvantitativních rizik procesu - QRA

Tato metodika se používá k výběru zdrojů rizika závažné havárie. Analýza kvantitativních rizik procesu je koncept, který rozšiřuje kvalitativní metody hodnocení rizik o číselné hodnoty. Algoritmus využívá propojení s jinými známými koncepty a směřuje k zavedení kritérií pro rozhodovací proces, potřebnou strategii a programy k efektivnímu řízení rizika. Vyžaduje náročnou databázi a počítačovou podporu. [10]

Ne všechna zařízení zásadně přispívají k riziku, není nutno uvažovat při tomto hodnocení všechny, a proto byla vyvinuta tato selektivní metodika.

Před použitím je důležité posuzovaný objekt rozdělit na relativně samostatná zařízení. Důležitým kritériem pro definování samostatných zařízení je skutečnost, že únik obsahu

jednoho zařízení nevyvolá podstatný únik ze zařízení jiného. V důsledku toho jsou dvě zařízení považována za dvě samostatná zařízení tehdy, pokud mohou být od sebe odděleny v případě havárie ve velmi krátkém čase.

Pro cíl metody se rozlišují dva různé typy zařízení - provozní a skladovací. Provozní zařízení je např. reaktor, potrubí, provozní zásobník. Skladovací zařízení tvoří skladovací zásobník nebo skladovací zásobník s příslušenstvím (např. sklad tlakových lahví apod.)

**Postup QRA je následující [10]:**

- 1) Podnik se rozdělí na nezávislá zařízení,
- 2) na základě množství látky, provozních podmínek a vlastností nebezpečných látek se stanoví skutečná nebezpečnost každého,
- 3) následně jsou na základě relativní hodnoty selektivního čísla vybírána zařízení pro analýzu QRA.

#### **1.7.10 Metodika RiskWatch**

RiskWatch je programový produkt, který poskytuje metodický soubor pro zjištění, simulaci a následnou změnu parametrů jednotlivých rizik systému. Metoda je založena na vytvoření modelu, který je postavený na získaných datech nebo simulační metodě Monte Carlo. Oba přístupy lze vhodně kombinovat a doplňovat. Jedná se tedy o automatizaci zpracování výsledků, získaných na základě souborů otázek, strukturovaných podle definovaných bezpečnostních oblastí. [4]

#### **1.7.11 HAZOP - Identifikace zdrojů rizika a provozuschopnosti**

Jedná se o analýzu ohrožení a provozuschopnosti a je jednou z nejjednodušších a nejrozšířenějších přístupů k identifikaci rizik. Tato metoda vychází z principu hodnocení pravděpodobnosti ohrožení a z nich plynoucích rizik. Jejím hlavním cílem je identifikace scénářů potenciálního rizika - umožňuje tedy identifikovat nebezpečné stavy, které se mohou na zkoumaném zařízení vyskytnout. Metoda hledá tzv. kritická místa a následně vyhodnocuje potenciální rizika a nebezpečné stavy. Jedná se o týmovou expertní multioborovou metodu, kdy členové týmu hledají scénáře na společném jednání například

s využitím metody brainstormingu. Výsledky jsou vyjádřené v závěrečném doporučení, které směřuje ke zlepšení procesu nebo systému. [12]

## 2 MODELOVÁNÍ RIZIK

Prvním krokem k ovládní hrozeb je zpracování analýzy rizik, která ideálně obsahuje i samotné modelování rizika. Důvodem pro ovládní rizik může být vše od zavádění nového výrobku či inovace postupu výroby. Model rizika je způsob, jakým lze popsat základní strukturu a výčet všech možných rizik ve výrobě. Pokud je správně zvolený model, tak nám dobře poslouží jak k identifikaci rizik, následně k jejich analýze, hledání příčin rizika a v neposlední řadě společnost samozřejmě dokáže provést jejich eliminaci.

Modelování rizik se týká modelů a metod používaných k hodnocení rizika. Většina organizací obvykle mají jednoduchý finanční model, který popisuje, jak různé vstupy ovlivňují klíčové výkonnostní ukazatele. Většina strukturovaných finančních modelů jsou deterministické modely, tyto modely mohou být převedeny na stochastické. K dispozici je široká škála metod modelování rizik, které mohou společnosti využít pro vlastní analýzu. [14]

### 2.1 Deterministické modely rizika

Důležitou roli při snižování rizika hrají metody operační analýzy, které jsou založeny na deterministických modelech. V těchto modelech jsou všechny proměnné, konstanty a funkce náhodné veličiny nebo funkce. Při aplikaci metod operační analýzy lze snížit riziko před nebo po výpočtu rizikového modelu.

Tyto modely se používají hlavně při snižování rizika rozhodovacích problémů, které se řeší opakovaně. Cílem rozhodování je nalézt optimální řešení rozhodovacího problému. Optimální řešení je také, které má minimální náklady nebo maximální zisk.

Úspěch nebo neúspěch podniku závisí na rozhodovacím procesu vedení společnosti. Důležitou roli hraje manažer, který se orientuje na řešení operativních problémů, které se okamžitě odrážejí v chodu podniku. Deterministické modely se používají při řešení firemních rozhodovacích procesů vyskytujících se nejčastěji na operativní úrovni řízení a u nichž jsou vztahy mezi vstupními a výstupními proměnnými modelu jednoznačně určeny. [16]

Nejčastěji se používají modely na bázi lineárního programování, metod síťové analýzy a modelů hromadné obsluhy. [16]

Studium chování fyzikálních systémů znamená studovat chování souborů pohybujících se objektů. Newtonův 2. pohybový zákon, univerzální vztah  $F = m \frac{\partial v}{\partial t}$  popisující chování

jakéhokoliv fyzikálního objektu s hmotností  $m$ . Zrychlení  $\frac{\partial v}{\partial t}$  je změna rychlosti  $v$  za dobu  $t$ , pokud na něj působí síla  $F$ . Analytické řešení tohoto problému může být dosaženo řešením integrálu:

$$\int_{v_1}^{v_2} dv = \int_{t_1}^{t_2} dt \frac{F(t, s, v)}{m} \quad (2)$$

Pokud budeme známy přesné počáteční podmínky ( $t_1$ ) jakéhokoliv fyzikálního objektu ( $m$ ,  $s$ ,  $v$ ) a všechny příslušné faktory, které jej ovlivňují (síla  $F$ ), pak je možné přesně předpovědět jeho budoucnost (od  $t_1$  do  $t_2$ ). [20] Model tedy umožní předvídat jakoukoliv událost na fyzikálním systému v kterémkoliv čase a s jakoukoliv přesností. [20]

Deterministický model rizika je založený na předpokladu, že každý následek má svoji příčinu. Pokud je možné co nejpřesněji analyzovat příčiny, tak jsme schopni lépe identifikovat následky. Pokud je známo všechno o příčinách, které nastaly v minulosti, pak víme všechno o následcích, které se vyskytnou v budoucnosti. [20]

## 2.2 Modely stochastické

Alespoň jedna proměnná, konstanta nebo funkce v modelu je náhodná veličina nebo náhodná funkce. Stochastický model je nástroj, který slouží k odhadu pravděpodobných potenciálních výnosů použitím náhodné proměnné (nebo skupiny proměnných) v jednom nebo více vstupů za časové období. Proměnná je obvykle založena na výkyvech v historických datech za vybrané období. Je simulováno velké množství stochastických předpovědí v závislosti na změně proměnné a tato simulace vyžaduje několik tisíc opakování.

Stochastické modely počítají s nestálostí a náhodností a proto lépe simulují situace v reálném životě. Při hodnocení rizika se využívají data o minulých škodách, korelace, vzájemné závislosti a další metody. [17]

## 2.3 Statistické modely

Tyto modely jsou založeny na základě analýzy historických dat. Tyto modely jsou závislé na datech, a proto se hodí převážně tam, kde je dostupné velké množství dat. Ve výrobním procesu se události neustále opakují, tudíž mohou být předmětem opatrných a řízených studií. Na strategické úrovni je ale získání dat velice obtížné a velice obtížně se zde

provádějí experimenty. Z toho důvodu je značnou nevýhodou možnost, že se výsledek rozhodnutí a jeho zhodnocení objeví i za několik let.

## 2.4 Simulace Monte Carlo

Monte Carlo je rozsáhlá třída numerických výpočetních metod, které jsou založeny na využití náhodných veličin a teorii pravděpodobnosti. Jde o simulaci systémů pomocí stochastických metod, které využívají pseudonáhodná čísla. Má širokou škálu využití od simulace experimentů, přes počítání určitých integrálů až k řešení diferenciálních rovnic. [18] Monte Carlo se nejčastěji využívá ke hledání přibližného řešení takových úloh, u kterých by analytické řešení bylo příliš obtížné. Jediné co potřebujeme znát, jsou distribuční funkce vstupů. Pomocí nich generujeme jednotlivé náhodné vstupy (čísla, vektory.) a zaznamenáváme výstupy. Po dostatečném počtu opakování lze pomocí statistické analýzy výstupů odhadnout parametr, který nás zajímá. Rozlišují se dvě varianty metody Monte Carlo: analogový a neanalogový model. [18]

### ➤ *Neanalogový model*

V tomto případě se nebere v úvahu model reálného děje. Jde například o výpočet určitého integrálu, případně obsahu ohraničeného útvaru. [18]

### ➤ *Analogový model*

U tohoto typu je nutné celou situaci vymodelovat na počítači. K tomu je nutná znalost všech pravděpodobnostních rozdělení a fyzikální zákonitosti, kterými se daná situace řídí. Realizací této simulace dostaneme jakousi náhodnou veličinu  $\xi$ . Pokud simulací spustíme  $n$ -krát, tak získáme soubor historií  $x_1 \dots x_n$ . Odhad střední hodnoty  $\xi$  se pak určí:

$$\xi = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3)$$

a směrodatná odchylka  $\sigma$  se pak určí:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \xi)^2}{n}} \quad (4)$$

Modelování pomocí simulační metody Monte Carlo je spolehlivější s rostoucím počtem opakování simulace  $n$ . [18]

## 2.5 Používané událostní modely rizika

### a) Jednoduchý model

Nejjednodušší model nazývaný jako jednoduchý vychází z následující definice rizika „kombinace pravděpodobností nějaké události a jejich důsledků“.

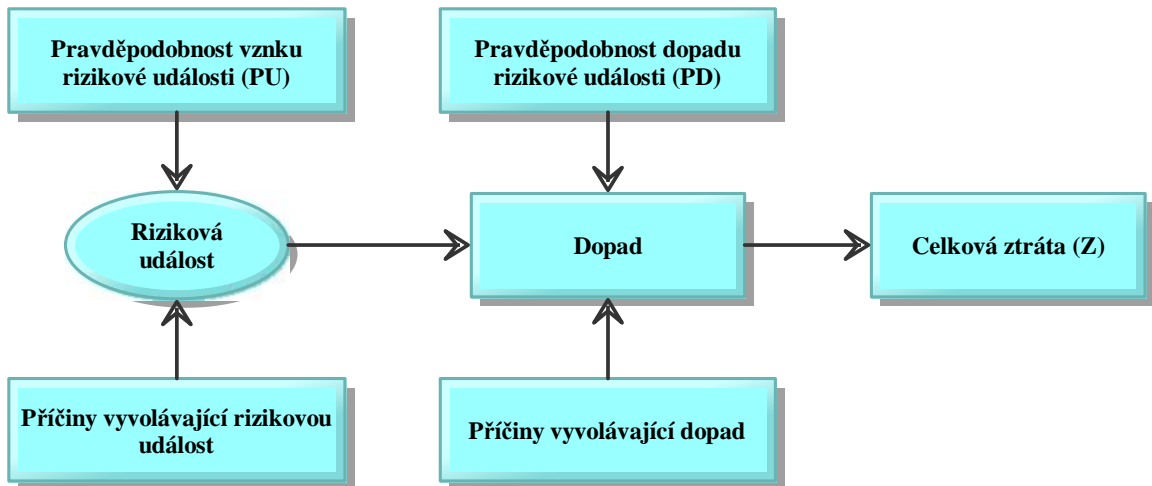
Jednoduchý model byl používán převážně v počátcích implementace managementu rizik. Rizikové události a jejímu účinku je dána pravděpodobnost  $p$ . Riziko a jeho účinek nastane právě za této pravděpodobnosti. Jsou zkoumány události, za kterých riziko vznikne, a účinek jeho dopadu. Konečný dopad rizika je vyjádřený ve formě celkové ztráty ( $Z$ ). [13]



Obrázek 3: Jednoduchý model [13]

### b) Standardní model

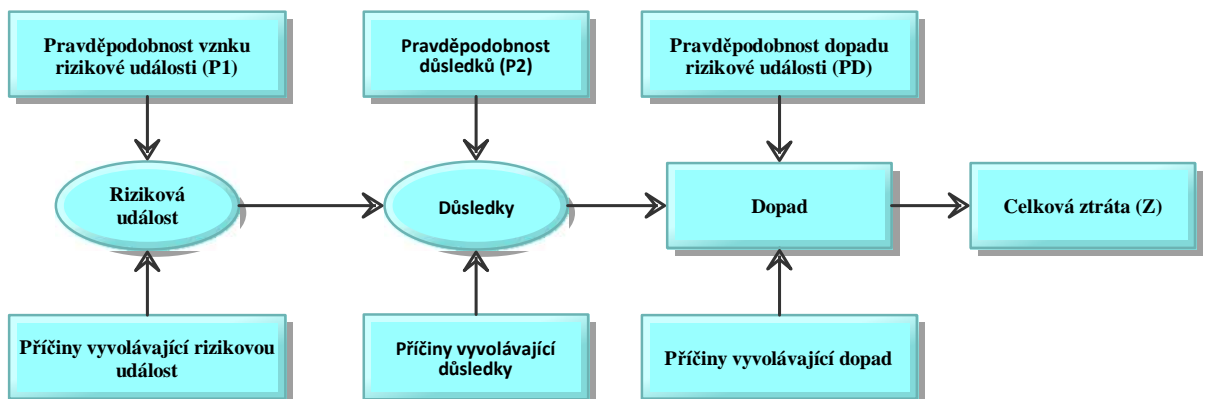
Dalším modelem je tzv. standardní model, ve kterém jsou vzájemně odděleny riziková událost a její dopad. Pro každou rizikovou událost a její dopad se určují příčiny ( $p_U$ ) a pravděpodobnost vzniku ( $p_D$ ). Lze tedy odděleně analyzovat příčiny vzniku rizikové události a také příčiny dopadu vzniku rizikové události. Tím se zajistí, že je možné zkoumat jak rizikovou událost samotnou, tak se můžeme zaměřit také na její dopad. [13]



Obrázek 4: Standardní model [13]

### c) Kaskádový model rizika

Tento model je rozšířen o stádium důsledky. Ty se vkládají mezi rizikovou událost a dopad. Díky důsledkům, kterých může být samozřejmě více, lze popsat riziko do hlubších detailů než u standardního modelu. Tento model se používá u složitějších vztahů, které vedou k takovým událostem, které vyvolávají katastrofální dopad. [13]



Obrázek 5: Kaskádový model [13]

## 2.6 Model příčina – riziko – účinek

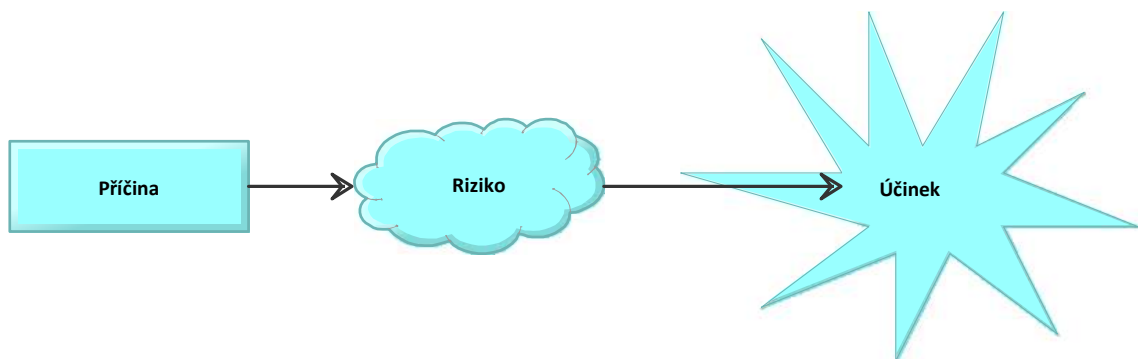
V tomto modelu se neuvažují pravděpodobnosti na rozdíl od těch předchozích. Základní pojmy modelu jsou definovány takto [13]:

**Příčina** – jisté skutečnosti, které existují v projektu a jeho okolí, které mohou nastat se 100% pravděpodobností



**Riziko** – představuje nejistotu, riziko zde nastane s pravděpodobností menší než 100%

**Účinek** – nastane pouze v případě, že riziko vznikne



Obrázek 6: Model příčina - riziko – účinek [13]

Tento model umožňuje rozdělit zaměření managementu rizika dvěma směry [13]:

- působení v oblasti příčin – cílem je působit preventivně a zabránit tomu, aby příčina způsobila vznik rizika
- působení v oblasti účinku – zabránit účinkům hrozby nebo alespoň snížit negativní dopad [13]

## 2.7 Grafické modely analyzování rizik

### 2.7.1 Stromové diagramy

Znáznorňuje vývoj stavu od zvolené „iniciační události“. Od tohoto bodu se dále strom rozvětňuje na všechny možné následky, které vzniklou událostí mohou nastat.

**Postup analýzy stromu událostí [6]:**

- 1) identifikovat a definovat závažné nahodilé (výchozí) události (jevy), které mohou vést k nechtěným důsledkům
- 2) identifikovat překážky, které mohou způsobit nahodilé události vytvořit strom událostí
- 3) popsat potenciální výsledky nepředvídané události
- 4) určit frekvenci nahodilé události a pravděpodobnost větve ve stromu událostí
- 5) vypočítat pravděpodobnosti /frekvence pro identifikované následky
- 6) shrnout a prezentovat závěry analýzy

Druhy stromových diagramů lze rozdělit do dvou základních skupin dle toho, jaké následky plynou z událostí a jaké příčiny vedou k událostem [19]:

a) **analytické diagramy** – od jedné události přecházíme k několika událostem

b) **syntetické diagramy** – od několika událostí přecházíme k jediné události

Pokud budou aplikovány analýzy stromových diagramů, tak je nutné dodržovat několik základních pravidel:

- „příčina“ má vždy jen jeden nebo několik následků
- „následek“ má jednu nebo několik příčin
- následky / příčiny jsou vzájemně nezávislé, závislé a vždy částečně nebo úplně

Stromové diagramy se používají v mnoha fázích analýzy rizik. Nejčastější použití této metody je následující [19]:

- **stromy událostí (ETA)** – analýzou se zjišťuje vývoj procesu, kde události mohou, ale nemusí
  - být poruchami
- **stromy poruch (FTA)** – analýza směřuje k odhadu hypotetických poruch, které mohou nastat při vzniku nebezpečí. Při reálné poruše se hledají její příčiny, aby bylo možné učinit závěry pro prevenci rizik
- **stromy příčin** – hledají se příčiny událostí, které už nastaly nebo ještě nastat mohou
- **diagramy následků** – hledají se možné následky jedné nebo několika událostí, které
  - už nastaly nebo teprve nastat můžou
- **smíšené stromy příčin a následků (CCA)** – vývoj diagram, který zobrazuje větvení události na následky nebo příčiny (viz níže)

Stromové diagramy pomáhají rizikovému inženýrovi rychleji a podrobněji vniknout do problému, protože stromy poskytují snadný přehled o jevech, událostech, příčinách a následcích. Tyto diagramy jsou zdrojem impulsů pro analýzu rizik, protože při jejich zpracování se identifikují události, následky nebo příčiny, ke kterým by se pouhým uvažováním bylo obtížné dostat. [19]

## 2.7.2 Analýza stromu poruch (FTA)

Tato technika je zaměřena pouze na jednu konkrétní nehodu nebo selhání systému. Strom poruch je grafický model, který zobrazuje různé varianty poruch zařízení a lidských chyb, které mohou způsobit vážené nebezpečí. Tato technika je standardizována jako norma ČSN IEC 1025.

FTA je vhodná při použití na analýzu velmi rozsáhlých systémů. Analýza FTA se využívá hlavně v případech, kdy jiná technika objevila závažnou nehodu, u které je nutné vytvořit detailnější analýzu.

Strom poruch je tedy modelovaný tak, aby určil posloupnost událostí, které mohou samostatně či v kombinaci s jinými událostmi směřovat k vrcholové události. [20] Vrcholovou událost představuje nejčastěji selhání zařízení nebo specifická porucha. K nejčastějším příčinám vzniku rizikových událostí patří selhání lidského činitele nebo vnější okolnosti, které neodpovídají běžnému provozu nebo normálnímu průběhu zkoumaného procesu. [13]

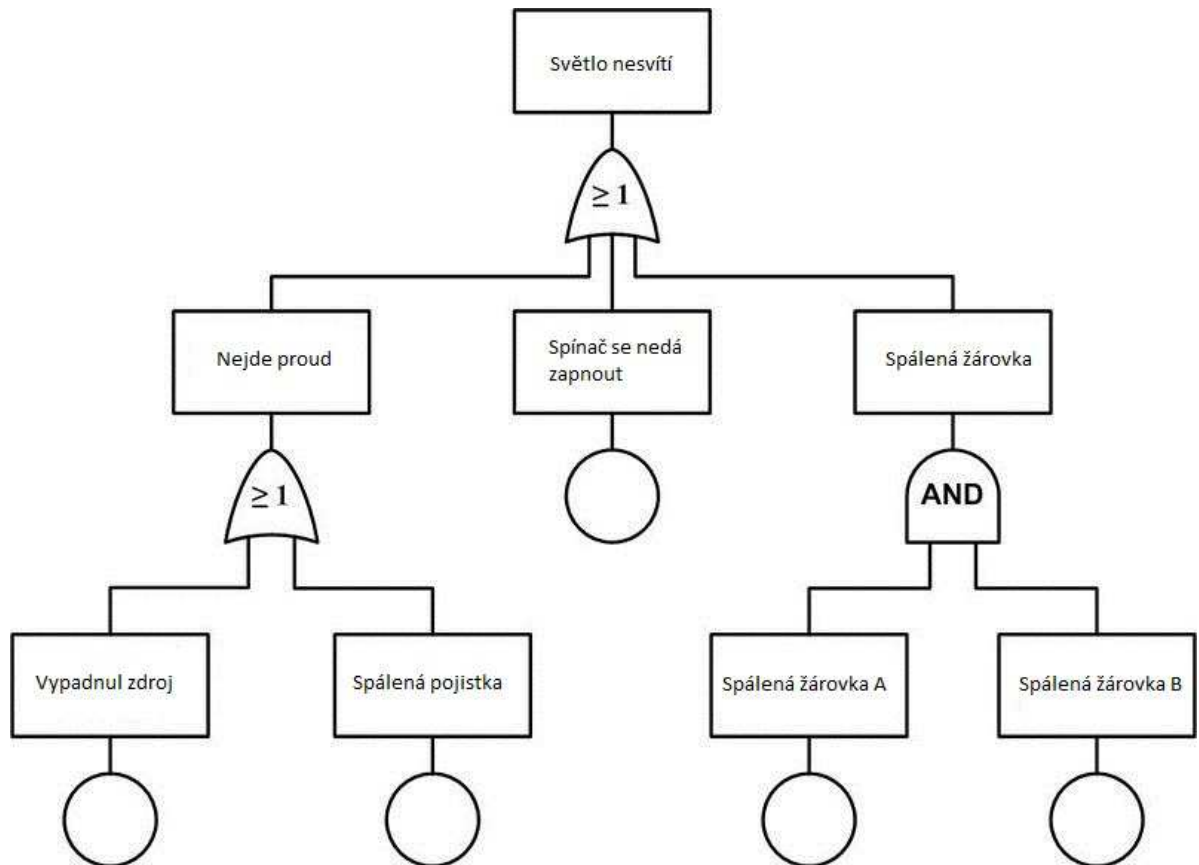
### **Základní postup analýzy stromu poruch zahrnuje následující kroky [13]:**

- 1) Zvolíme vrcholovou událost, kterou budeme analyzovat. Pokud strom obsahuje také důsledky rizikové události, tak strom obsahuje i část vztahující se ke zmírnění důsledků
- 2) Směrem od vrcholové události níže se hledají příčiny poruchových stavů.
- 3) Pro každý z nalezených poruchový stavů je nutné nalézt jeho bezprostřední příčiny.
- 4) Takto se postupuje od vrcholové události k nižším úrovním. Na nejnižších úrovních jsou události, které se označují za základní události.

V případě, že je možné základním událostem přiřadit pravděpodobnosti, může se následně vypočítat také pravděpodobnost vrcholové události. Přitom se musí prokázat, že vstupní události na každé úrovni jsou jak nutné tak postačující k vytvoření výstupní události.

Vzhledem k jasnému grafickému znázornění je velice jednoduché pochopit vztahy mezi jednotlivými událostmi. Naopak nevýhodou je statické znázornění, které neumožňuje popsat časové vazby. Další nevýhodou je, že model používá pouze stavy ano/ne. To u velmi složitých systémů může zapříčinit situaci, že se model vypracuje chybně a nepřesně. [13]

Pro lepší představivost uvádím základní příklad grafického zpracování diagramu stromu poruch na příkladu poruchy světla v jednoduchém elektrickém obvodu se dvěma paralelními zdroji světla.



Obrázek 7: Příklad diagramu FTA

### 2.7.3 Analýza stromu událostí (ETA)

Strom událostí je grafické znázornění všech potenciálních konečných stavů nějaké nehody, která následovala po prvotní události. Touto událostí může být určitá porucha zařízení nebo lidská chyba. [21] ETA je určena pro analýzu sledu událostí, které vyvolala právě spouštěcí událost. Díky stromové struktuře je možné znázornit postupný vývoj od vzniku prvotní události až ke konečnému stavu. [13]

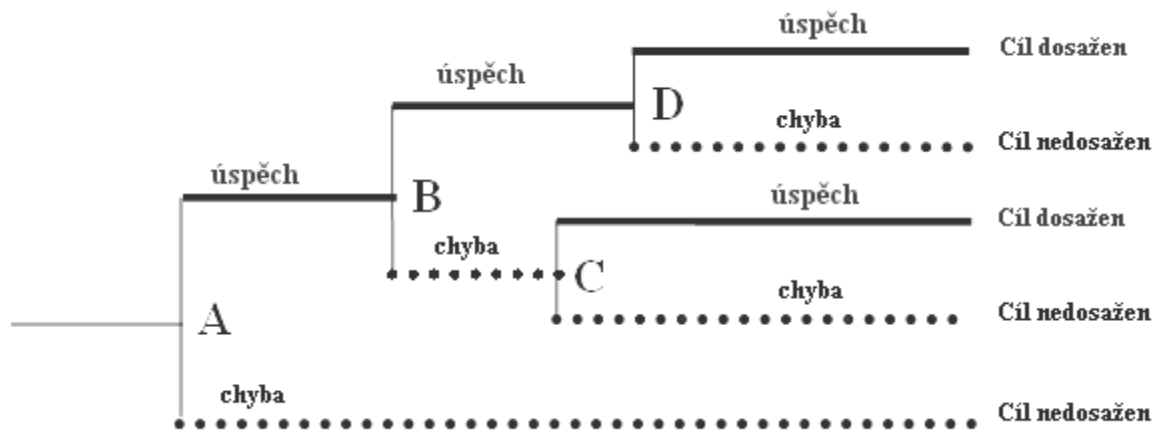
Stromy mohou být použity před vznikem nějaké nehody jako preventivní opatření nebo jsou použity pro zpětnou analýzu již vzniklých událostí. ETA se sestavuje zleva doprava od prvotní události. U každého záhlaví či uzlu jsou analyzovány dvě nebo více alternativ, dokud není získán koncový stav sekvence pro každý uzel. Důležitým výstupem analýzy je seznam bezpečných a naopak nehodových koncových stavů sekvencí. Je obvyklé používat větve úspěch (ano) směrem nahoru a větve neúspěch (ne) směrem dolů. [21] Je důležité, aby

v místě větvení byly pouze události, které nemohou nastat zároveň, a jejich součet pravděpodobností byl rovný jedné.[13]

Výsledkem analýzy ETA jsou scénáře nehody. Jedná se o soubor všech poruch nebo chyb, které následně způsobí nehodu. Výsledky události mají nejčastěji dvoustavovou podobu jako například úspěch/neúspěch nebo ano/ne. Výsledky mohou být také vícestavové jako např. 100%, 30% nebo 80%. [21]

Oproti FTA je tento strom schopný počítat s faktorem časových sousledností, závislostí či dominových efektů. [13]

Pokud podnik kromě určení velikosti pravděpodobnosti vzniku rizika zajímají také přínosy nebo ztráty, tak je možné je modelovat pomocí tzv. rozhodovacích stromů. Ty jsou popsány v následující kapitole.



Obrázek 8: Obecný vzor stromu událostí

#### 2.7.4 Rozhodovací stromy

Rozhodovací stromy jsou další z možností grafické podpory znázornění možných variant při rozhodování a zamezování vzniku rizik. Za pomoci grafů jsou zobrazovány nejen různé varianty a rizikové faktory, ale také rozvoj těchto rizikových faktorů a jejich následky. [13]

Rozhodovací stromy slouží v situacích, kdy se společnost rozhoduje mezi dvěma nebo více alternativami. Tato analýza začíná vlastním rozhodnutím, které můžeme přímo ovlivnit. Pro každou z možných variant se vytvoří strom, který se větví podle nejistých událostí. Tyto události jsou ale nejisté a není možné je ovlivnit nebo jen částečně. Oproti stromu událostí jsou tyto stromy doplněny o přínosy a ztráty, které plynou z dané možnosti. [13]

Tvorba rozhodovacího stromu probíhá stejně a to zleva doprava. Očekávaná hodnota se ale počítá jako suma součinu hodnot a pravděpodobností přiřazených jednotlivým větvím, které vystupují z uzlu a jsou vypočítané dle následujícího vzorce pro výpočet střední hodnoty pro diskrétní a spojité pravděpodobnostní rozdělení náhodné veličiny  $E(X)$  [13]:

$$E(x) = \sum_x xP(x) = \sum_I x_i p_i \quad (5)$$

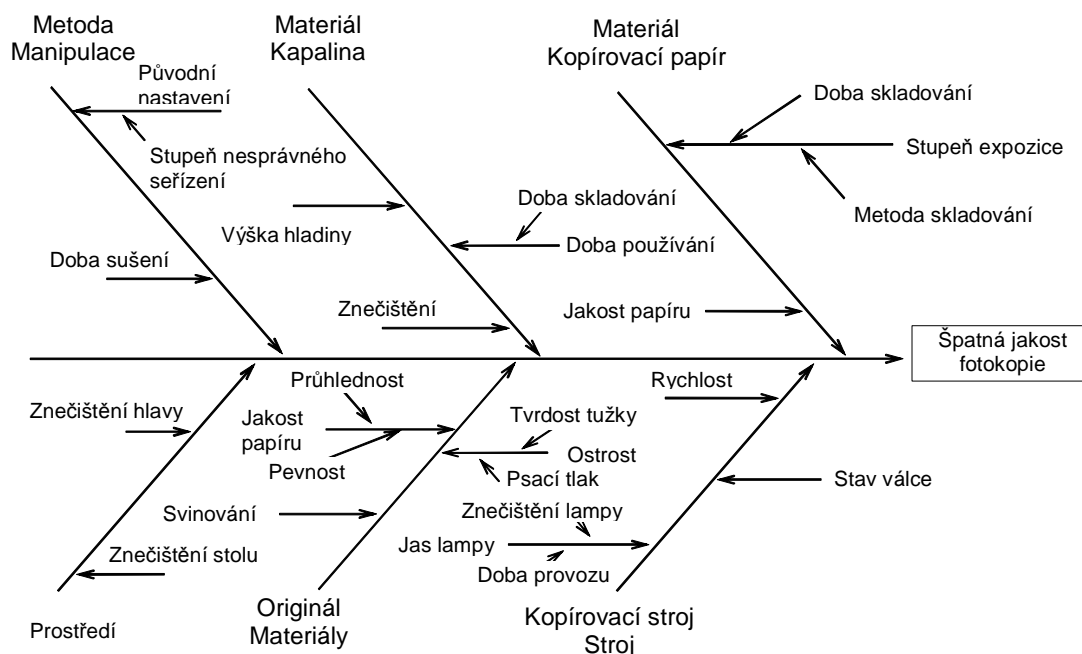
Tato analýza umožní společností rozhodovat se v situacích, která jsou složitá a představují pro podnik finanční zátěž.

### 2.7.5 Analýza příčin a následků (CCA)

V této analýze se kombinují analýzy stromu poruch a analýzy stromu událostí. Největší předností CCA je její použití jako komunikačního prostředku, protože diagram příčin a následků zobrazuje vztahy mezi koncovými stavy nehody (následky) a jejich základními příčinami. Účelem této analýzy je objevit základní příčiny nehod a jejich všechny možné následky. [22]

### 2.7.6 Ishikawův diagram – diagram příčin a následků

Tento diagram je jedna z možností, jak identifikovat a graficky znázornit příčiny rizik, které lze dále analyzovat. Je známý také pod pojmem „diagram rybí kosti“. Patří mezi jednoduché nástroje pro získání přehledných informací o příčinách a následcích. Pro analýzu rizik se vychází z jednoduchého principu, že každý následek má svou příčinu. Výhodou tohoto diagramu je, že je možné ho použít k identifikaci rizik preventivně nebo ho lze vyhodnotit i zpětně již po vzniku následku. Příklad diagramu Ishikawa je na obrázku 9. [15]



Obrázek 9: Příklad diagramu příčin a následků[15]

### 2.7.7 Technika modelování scénářů

Tato technika patří mezi kvantitativní typ analýzy. Za její pomoci je možné vytvořit hypotetické scénáře, které poskytnout zlepšení kvality řízení rizik. Výstupem analýzy by měla být četnost výskytu rizikové události a odhad finanční ztráty v případě jejího vzniku. Tento model simuluje realitu, aniž by bylo nutné simulovat reálnou situaci. Simulace pomáhá porozumět problému a předpovídat následky, které jsou spojené s různými scénáři.

Složité i jednoduché modely umožňují zkoumat následky rizikových událostí za různých podmínek. Modelování hlavně umožňuje podnikům upravovat svůj podnikatelský plán na základě určení vzniku potenciálních rizik, kterým se snaží vyhnout. Umožňuje zvážit množství potenciálních možností a řídit široké spektrum vzájemně souvisejících rizik.

[17]

## 3 POROVNÁNÍ VYBRANÝCH METOD A MODELOVACÍCH TECHNIK

### 3.1 Porovnání vybraných metod analýzy rizik

V tabulce 3 je uvedeno porovnání vybraných metod analýzy rizik. U každé metodiky jsou vypsány výhody a nevýhody. Dále jsou uvedeny potřebné informace, které je nutné získat, aby bylo možné metodiku zpracovat. U každé analýzy je také uvedena informace, zda je zpracování časově náročné či nikoliv.

**Tabulka 3: Porovnání vybraných metoda analýzy rizik**

Metoda	Výhody	Nevýhody	Potřebné informace a požadavky na zpracování	Časová náročnost
<b>What -if</b>	Metoda založen na jednoduchém principu, možnost vyjádření ochranných opatření, lze ji provádět v jakékoliv fázi procesu, vysoká efektivita a účinnost metody	Jedná se o kvalitativní odhad následků, možnost opomenutí některých havarijních scénářů, úzké zaměření metody	Aplikační zkušenosti jednotlivých členů týmu, vysoké nároky na provozní znalosti jednotlivých členů odborného týmu	Časově nenáročná dle složitosti systému
<b>HAZOP</b>	Jednoduchá metoda, možnost použití metody HAZOP v různých oblastech průmyslu; využití metody HAZOP při hodnocení spolehlivosti lidského činitele, zvýšení účinnosti posuzovaného zařízení a zvýšení odborných znalostí obsluhy	Velice náročná na znalosti a zkušenosti s aplikací metody	Vysoké nároky na provozní znalosti jednotlivých členů HAZOP týmu, aplikační zkušenosti vedoucího HAZOP týmu	Časově náročná



<b>FMEA</b>	Systematický a důkladný přístup, možnost formulace opatření, možnost zaměření metody FMEA <b>do různých oblastí průmyslu</b> , nižší efektivita oproti HAZOP v určování podrobného seznamu kombinací možných poruch a havarijních scénářů, zlepšení kvality produktů	Omezené možnosti hodnocení vlivu lidského činitele	Vysoké nároky na odborné znalosti zpracovatele v posuzované oblasti analýzy metodou FMEA	Časově náročná
<b>Delphi</b>	Určuje, co se může stát a za jakých podmínek, výhodou je její nestrojové zpracování	Absence finančního zhodnocení, vysoké nároky na organizaci a zpracování	Potřeba skupiny nezávislých odborníků	Časově náročná
<b>Monte Carlo</b>	Široké spektrum využití, jednoduchá implementace, lze aplikovat na jakýkoliv proces	Relativně malá přesnost, kterou lze zvýšit s počtem opakování simulací, potřeba historický dat, nelze vypracovat ručně – nutný software	Složitější získání vstupních údajů pomocí distribuční funkce	Časově nenáročná

### 3.2 Porovnání vybraných modelovacích technik analýzy rizik

V následující tabulce jsou vybrané metodiky pro grafická modelování v analýze rizik. Tyto analýzy jsou vhodné zejména pro využití v průmyslových oblastech tedy i v elektrotechnickém podniku. Pro porovnání jsou použita opět stejná kritéria jako v tabulce 3.

**Tabulka 4: Porovnání vybraných modelovacích technik analýzy rizik**

Metoda	Výhody	Nevýhody	Potřebné informace a požadavky na zpracování	Časová náročnost
<b>FTA</b>	Systematická metoda, možnost využití metody FTA v <b>různých oblastech průmyslu</b> , Přehled posloupnosti všech událostí, které mohou nastat a vést k vrcholové události	Problém se zdrojovými daty a jejich věrohodnost, vysoké nároky na odborné znalosti a zkušenosti zpracovatele	Dostupnost a věrohodnost údajů (pravděpodobnosti poruch jednotlivých prvků, které přispívají k vrcholové události)	Časově náročná

ETA	Systematická metoda, možnost návrhu modifikace/doplnění bezpečnostních prvků posuzovaného systému, možnost využití metody ETA v <b>různých oblastech průmyslu</b> , Analýza sledu všech událostí, které vyvolala spouštěcí událost	Výsledky analýzy metodou ETA jsou závislé na dostupnosti a věrohodnosti údajů o pravděpodobnosti úspěšného/neúspěšného zásahu jednotlivých bezpečnostních prvků posuzovaného systému	Vysoké nároky na odborné znalosti a zkušenosti zpracovatele analýzy metodou ETA	Časově náročná
Ishikawův diagram	Jednoduchá technika, výstupem je soubor příčin problémů a náměty na řešení daných problémů, používá se pro hledání nejpravděpodobnějších příčin problému pomocí brainstormingu	Obtížné zobrazení složitějšího problému	Skupina o dostatečném počtu diskutujících lidí	Časově nenáročná
Rozhodovací stromy	Možnost zobrazit následná rozhodnutí, dlouhé posloupnosti rozhodovacích situací, rozdílné rozhodovací situace; výhodné zejména pro oblast vrcholového řízení, pomáhají pochopit složitý proces rozhodování	Při existenci většího počtu možností a stavů se stává strom nepřehledným	Předvídaní budoucích rozhodovacích bodů	Časově nenáročná
CCA	Stromy příčin a následků zobrazuje vztahy mezi následky a jejich základními příčinami, příčiny nehod a jejich všechny možné následky	Nutnost detailní znalosti procesu	Znalosti poruch komponent nebo nerovnováh procesu, znalosti bezpečnostních systémů nebo nouzových procedur a znalosti potenciálních dopadů všech těchto selhání.	Časově náročná

## 4 PŘÍPADOVÁ STUDIE

### 4.1 Představení modelového podniku

V této části práce je představena případová studie. Cílem případové studie je ukázka modelování rizik pomocí vybraných nástrojů uvedených v předchozí teoretické části. Pro modelování rizik byla vybrána technologická rizika malého výrobního podniku, který vyrábí a osazuje desky plošných spojů. Jednou z priorit tohoto podniku je kvalita vyráběných produktů a proto je důležité omezit možná rizika na minimum. Podnik je se zabývá sériovou výrobou, ale je schopný se přizpůsobit i přání zákazníka.

Proces osazování a pájení desek plošných spojů je velice náročný proces a nikdy není zaručené, že se provede bezchybně. Na chybovost mají vliv vlastnosti materiálu, zařízení a také lidský faktor. Cílem výrobce je odstranit nebo alespoň eliminovat chyby na minimum. Ideální je nalézt chybu a opravit ji tak, aby se nedostala do další fáze procesu. Tím se zajistí, že se nebudou chyby opravovat na dalších stupních výrobního procesu a zvyšovat náklady na výrobu.

#### 4.1.1 Seznámení s výchozím stavem

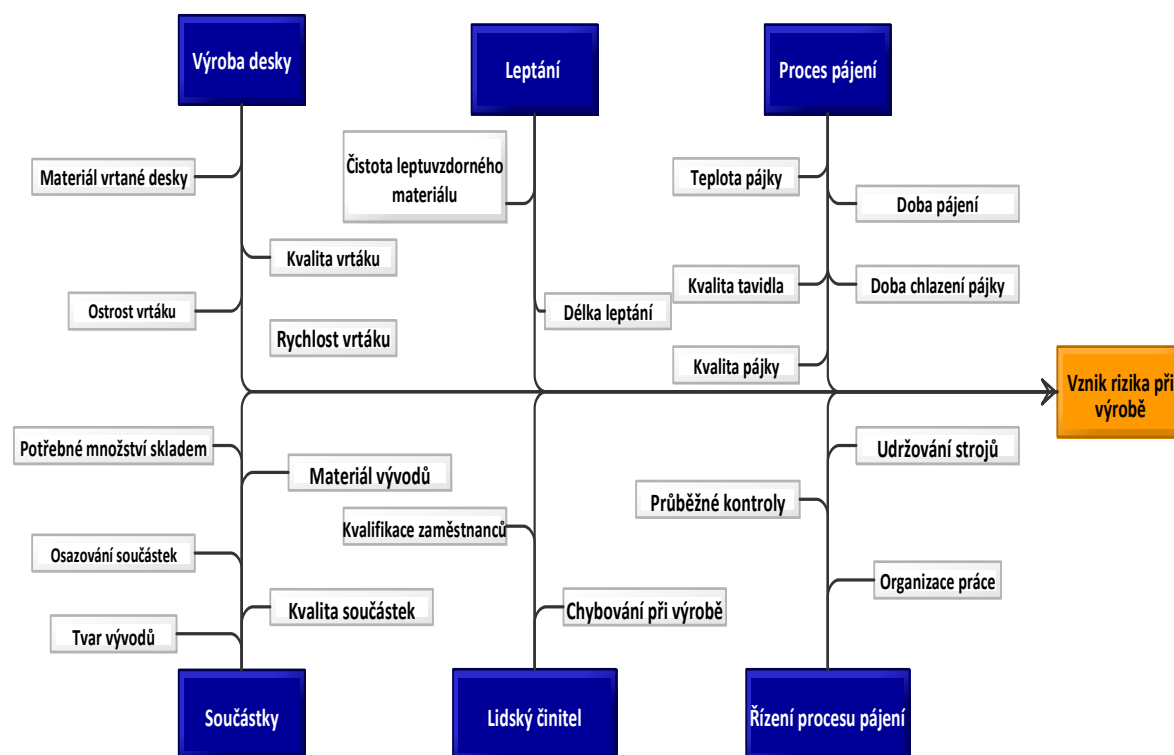
Společnost má velmi silné postavení na trhu a chce zabránit nebo alespoň minimalizovat jakékoliv riziko, které může při výrobě nastat. Celý proces sériové výroby je plně automatizovaný. Podnik má ale možnost vyrábět na přání zákazníka a přizpůsobit tomu výrobu. Při zakázkové výrobě na přání zákazníka je však větší pravděpodobnost vzniku rizik, kterým chce právě společnost zamezit.

### 4.2 Analýzy pro technologická rizika výroby DPS

Prvotní analýza rizik je velice důležitá pro zjištění stavu organizace a identifikaci možných rizik. V následujících kapitolách jsou zpracované vybrané analýzy rizik se zaměřením na výrobní rizika pro modelový podnik, který se zabývá výrobou DPS. Pro analýzu klíčových procesů byly pro názornost vybrány různé metody a nástroje.

#### 4.2.1 Prvotní analýza - Ishikawův diagram

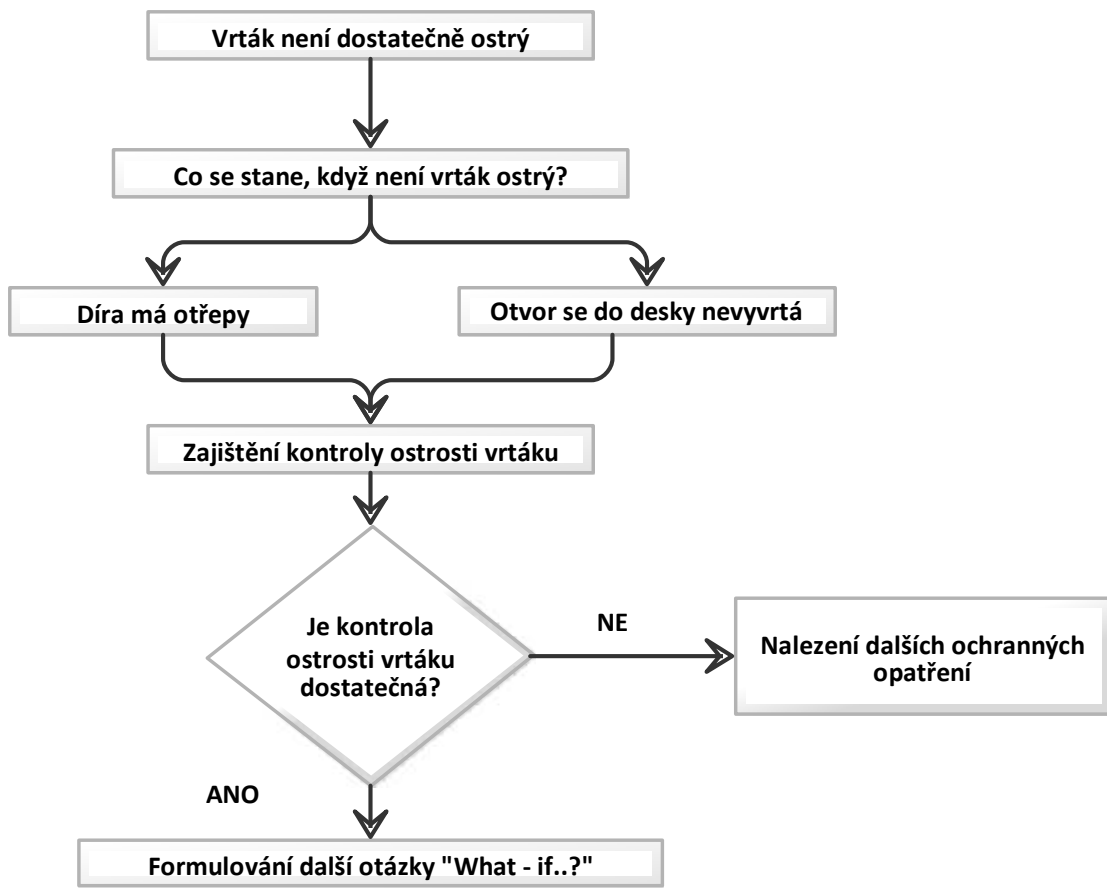
Jako první je zde vypracována analýza rizik pomocí Ishikawa diagramu. Tato analýza je velice jednoduchá a rychlá. Její zpracování je snadné a management získá ihned základní přehled o možných rizicích v procesu výroby. Tento diagram lze vytvořit pomocí brainstormingu a je výhodný pro prvotní analýzu rizik a zjištění hrozeb, které mohou vzniknout. Tato analýza vyžaduje pouze skupinu lidí, kteří mají odborné znalosti o probíhajících procesech. Analýza rizik pro výrobu DPS ukazuje následující obrázek 10.



Obrázek 10: Analýza rizik výroby DPS - Ishikawův diagram

#### 4.2.2 Analýza vyvrtání desky DPS pomocí What-if

Jedná se o další jednoduchou metodiku analýzy rizik, která využívá výsledků brainstormingu. Skupina pro vypracování analýzy se skládá z odborníků, kteří se snaží odpovědět na otázku týkající se daného tématu. Celá skupina se snaží najít rizika vznikající v procesu výroby a navrhnou možné důsledky dopadu rizik. Analýzu What – if aplikovanou na proces vyvrtání děr DPS ukazuje obrázek 11. Díky této analýze jsme schopni určit možné následky vzniku rizika a definovat ochranná opatření.



Obrázek 11: Analýza rizik pomocí metodiky What-if

#### 4.2.3 Analýza rizik s využitím matice pravděpodobnosti a dopadu

Pomocí této matice lze jednotlivá rizika rozdělit podle pravděpodobnosti výskytu rizika a síly jeho dopadu. Prvním krokem k vytvoření analýzy je seznam rizikových faktorů, které se zaznamenají dle pravděpodobnosti výskytu a dopadu do matice. Tyto rizikové faktory mohou být identifikovány například na základě zpracování analýzy What-if... .

V následujícím seznamu jsou uvedené rizikové faktory vyskytující se v procesu ve výrobě DPS: [24,25]

- R1: Změna vlastností pájky
- R2: Záměna součástek při osazování desky
- R3: Teplota pájky má rozdílnou teplotu na ploškách součástky
- R4: Doba leptání je příliš dlouhá
- R5: Nepřesný film s motivem spojů

- R6: Nepřesný odhad doby na výrobu desky, což způsobí nedodržení termínu
- R7: Nedodržování přesných pracovních postupů
- R8: Osvit pro vyvolání negativního motivu není dostatečně silný
- R9: Nedostatečná leptací síla leptací látky
- R10: Nedostatečné bezpečnostní opatření proti zranění zaměstnanců
- R11: Nehodného tavidlo pro daný druh pájení
- R12: Neprovedený test pájitelnosti
- R13: Použití nevhodné pájecí pasty
- R14: Výskyt nečistot v pájce
- R15: Tepelné poškození součástky
- R16: Znečištěné prostřední při osvitu
- R17: Nedostatečná vrstva fotorezistu

Tabulka 5: Stupnice pro hodnocení rizik

Pravděpodobnost výskytu rizika	Dopad rizika na výrobu DPS
Nízká	Nízký
Střední	Střední
Vysoká	Vysoký

Hodnocení pravděpodobnosti výskytu a dopadu se provádí pomocí stupnice. Modelová stupnice pro podnik je uvedena v tabulce 5. U každého stupně je možné uvést slovní vyjádření. Tím se upřesní, jaký dopad a pravděpodobnost sebou daný rizikový faktor nese.

Tabulka 6: Matice pravděpodobnosti a dopadu pro výrobu DPS

Vliv na výrobu →			
Pravděpodobnost výskytu ↓	<i>Nízký</i>	<i>Střední</i>	<i>Vysoký</i>
<i>Nízká</i>		R4,R8,R10	R2,R11,R15,R16
<i>Střední</i>		R9	R6,R12,R13,R17
<i>Vysoká</i>		R3,R5	R14, R7,R1

Z tabulky 6 je vidět, že nejvyšší vliv na výrobu za určitých podmínek nesprávného skladování má rizikový faktor *R14 – výskyt nečistot v pájce* a *R1 - změna vlastností pájky*. Může to způsobit utržení pájeného spoje a vznik prasklinek v kontaktech. Dalším rizikovým faktorem, který může nastat např. při nedostatečné kvalifikaci zaměstnance je *R7 – Nedodržování přesných pracovních postupů*. Společnost by se měla zaměřit zejména na rizika, která jsou v červené oblasti.

Tato metoda je vhodná pro rychlé zjištění závažných rizik ve výrobě. Z výsledků analýzy lze zjistit, která rizika je nutná snižovat (zvládat) a která lze zanedbat.

#### 4.2.4 Analýza rizik využívající matice aktiv, hrozeb a zranitelností

Prvním krokem v této analýze je určení a ohodnocení aktiv (A). Následuje určení pravděpodobnosti a vzniku hrozby (T). Pak se v matici zranitelnosti doplní hodnoty zranitelnosti jednotlivých aktiv konkrétními hrozbami (V). Vyplňují se pouze ty buňky, ve kterých existuje vzájemná interakce tzn. aktivum je danou hrozbou ohroženo. Některá data použitá pro vypracování matice zranitelností byla převzata ze zdroje [26].

Po vyplnění hodnot zranitelností následuje vytvoření matice rizik pomocí vzorce (1). Určí se číselné rozpětí pro nízké, střední a vysoké hodnoty rizik. Po té lze získat přehled o mírách rizik všech identifikovaných hrozeb.

Tabulka 7: Matice zranitelností [26]

Aktiva		A1 - Pájecí pasta	A2 - DPS	A3 - Teplotní profil pece	A4 - Postup čištění šablony	A5 - Vrtání desky	A6 - Leptání	A7 - Personal	
		Hodnota aktiva (A)	5	5	3	2	4	5	1
Definované hrozby		Pravděpodobnost hrozby (T)	5	5	3	2	4	5	1
H1 – Změna vlastností aktiva	3	3	2				3		
H2 – Nekvalitní materiál	5	1	2						
H3 – Neúmyslná změna aktiva	3			2					

H4 – Nedodržování postupů	3			3	3			
H5 – Nesprávná teplota při pájení	3			2				
H6 – Nedostatek kvalifikovaného personálu	5							3
H7 – Nedostatečně ostrý vrták	2		1			3		

Je důležité se zaměřit převážně na hrozby s nejvyšší hodnotou míry rizik, která jsou v matici rizik označena červeně. Z tabulky lze také vyčíst, že hrozba neohrožuje pouze jedno aktivum. Podnik touto analýzou získá přehled o tom, na které hrozby je třeba se zaměřit vytvořit opatření pro jejich eliminaci.

Výhodou této analýzy je, že umožňuje vlastní ohodnocení pravděpodobnosti vzniku rizika a také zhodnotit jednotlivá aktiva. Další nespornou výhodou je možnost rozdělení výsledných hodnot míry rizik do intervalů, které od sebe rozlišují rizika s nízkým, středním a vysokým indexem míry rizika. Je zde také vidět vzájemná interakce aktiv se všemi možnými hrozbami.

Tabulka 8: Matice rizik [26]

Aktiva		A1 - Pájecí pasta	A2 - DPS	A3 - Teplotní profil pece	A4 - Postup čištění šablony	A5 - Vrtání desky	A6 - Leptání	A7 - Personál	
		Hodnota aktiva (A)	5	5	3	2	4	5	1
Definované hrozby		Pravděpodobnost hrozby (T)	5	5	3	2	4	5	1
H1 – Změna vlastností aktiva	3	45	30				45		
H2 – Nekvalitní materiál	5	25	50						
H3 – Neúmyslná změna aktiva	3			18					
H4 – Nedodržování postupů	3			27	18				
H5 – Nesprávná teplota při pájení	3			18					
H6 – Nedostatek kvalifikovaného personálu	5							15	
H7 – Nedostatečně ostrý vrták	2		10			24			



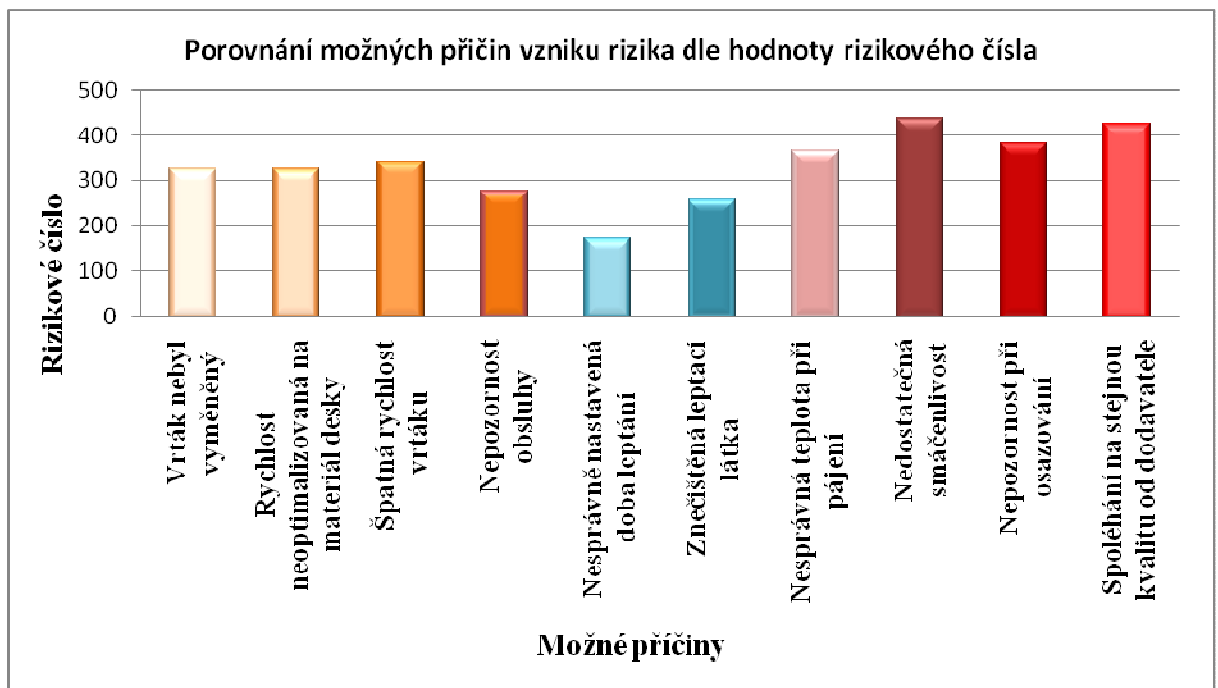
#### 4.2.5 Analýza výroby DPS pomocí FMEA

FMEA analýza zahrnuje proces vyvrtání děr desky, leptání spoje a připájení součástek. Pro každý proces jsou identifikované možné vady, které mohou v procesu nastat. Pro každou z nich jsou uvedené možné následky a příčiny. V FMEA tabulce se dále uvádějí stávající opatření pro prevenci, která jsou zavedena a stávající řízení procesu. Rizikové číslo se vypočítá součinem hodnot ve sloupcích význam, výskyt a odhalitelnost. Hodnota rizikového čísla se následně srovnává s nadefinovanou kritickou hodnotou rizikového čísla, která je předem určena. Vypracována FMEA analýza pro modelový podnik je uvedena v tabulce 9.

**Tabulka 9: FMEA analýza pro výrobu DPS**

Prvek/ Funkce	Možná vada	Možné následky	Význam	Možné příčiny	Výskyt	Stávající opatření pro prevenci	Stávající řízení procesu	Odhalitelnost	Rizikové číslo
Vrtání děr DPS	Neostrý vrták	Otvor se nevyvrtá	8	Vrták nebyl vyměněný	5	Žádná	Kontrola na začátku směny	8	400
	Nesprávná rychlost vrtáku			Rychlost neoptima- lizovaná na materiál desky	5	Žádná	Kontrola na začátku směny	8	400
	Otřepy	Ovlivnění vodivosti	8	Špatná rychlost vrtáku	7	Žádná	Vizuální kontrola	6	336
	Nesprávný rozměr vrtáku	Špatné průměry děr	9	Nepozornost obsluhy	5	Žádná	Vizuální kontrola	6	270
Leptání	Dlouhá doba leptání	Podleptání spoje	7	Nesprávně nastavená doba leptání	3	Žádná	Kontrola na začátku směny	8	168
	Nedostatečná síla leptací látky	Nevyleptání spoje	9	Znečištěná leptací látky	4	Žádná	Kontrola na začátku směny	7	252
Pájení	Nesprávně připájená součástka	Součástka nemusí fungovat	8	Nesprávná teplota při pájení	5	Žádná	Elektrické testování desky	9	360
				Nedostatečná smáčecí síla	6	Žádná	Elektrické testování desky	9	432
	Záměna součástek	Nefunkční DPS	9	Nepozornost obsluhy	6	Žádná	Vizuální kontrola	7	441
	Neprovedený test pájitelnosti	Nepřipájené součástky	10	Spoléhání na stejnou kvalitu od dodavatele	6	Žádná	Testování jen u nových materiálů	7	420

Tato tabulka 9 slouží pro analýzu současného stavu a jeho hodnocení. V analýze FMEA je vypracování této tabulky prvním krokem. Díky této metodě byly nadefinovány možné příčiny vzniku rizika. Byla získána také hodnota rizikového čísla pro jednotlivé možné příčiny. Kritická hodnota rizikového čísla byla pro tento model určena na 300. Pro lepší přehlednost, kterým příčinám je třeba věnovat pozornost, je uveden na obrázek 12. Z tohoto grafu je lépe patrné, které příčiny přesahují kritickou hodnotu rizika a na které se podnik bude prioritně zaměřovat.



Obrázek 12: Porovnání rizikového čísla dle možných příčin

V případě, že je počet možných příčin vysoký, stává se tabulka FMEA méně přehledná. Z výše uvedeného grafu již management dokáže lépe určit, které z možných příčin přesahují kritickou hodnotu rizika. Na všechny příčiny s hodnotou rizikového čísla vyšší než uvedená kritická hodnota bude nutné se zaměřit.

#### 4.2.6 Analýza rizik pomocí rozhodovacího stromu

Současná moderní uspěchaná doba si žádá řadu důležitých rozhodnutí, která musí společnost provádět. V elektrotechnickém průmyslu každé rozhodnutí přináší rizika finanční ztráty. Rozhodovací stromy jsou typem analýzy rizik, která umožňuje namodelovat rozhodovací možnosti. Výhodou je, že je možné zahrnout do této analýzy také finanční

ohodnocení, které s sebou dané možnosti přinesou. Podnik získá přehled o tom, jakou ztrátu nebo zisk dané rozhodnutí přinese.

Společnosti se zvyšuje poptávka po novém typu výrobku a je potřeba pro něj zavést novou výrobní linku. Nyní stojí před rozhodnutím, zda celý výrobní podnik přesunout do jiné větší haly nebo pouze rozšířit stávající halu a zavést výrobu zde. Další možností je novou linku vůbec nezavádět a nerozšiřovat výrobu.

Tabulka 10: Matice ztrát

Činnost	Situace trhu	
	P1 - Vysoký zájem	P2 - Nízký zájem
A - Přesunout výrobu do nové haly	30	-20
B - Rozšíření stávající haly	18	-5
C - Nezavádět výrobu	0	0

V tabulce 10 jsou uvedeny odhadnuté hodnoty zisků a ztrát, kde kladná hodnota představuje zisk a záporná hodnota znamená ztrátu. Společnost odhaduje pravděpodobnost zisku při přesunutí haly za předpokladu vysokého zájmu o výrobek na 30 mil. Kč a při nízkém zájmu na ztrátu -20 mil. Kč. Naopak při rozšíření stávající haly předpokládá zisk 18 mil. Kč a ztrátu -5 mil. Kč. Pokud se podnik rozhodne nečinit žádnou změnu, je samozřejmě zisk a ztráta vlivem změny nulová.

Za předpokladu, že vysoký zájem trhu nastane s pravděpodobností 60% a nízký zájem se 40% se očekávaná hodnota zisku vypočítá následovně:

$$E(X_1) = 30 \cdot 0,6 + (-20) \cdot 0,4 = 10 \text{ mil. Kč}$$

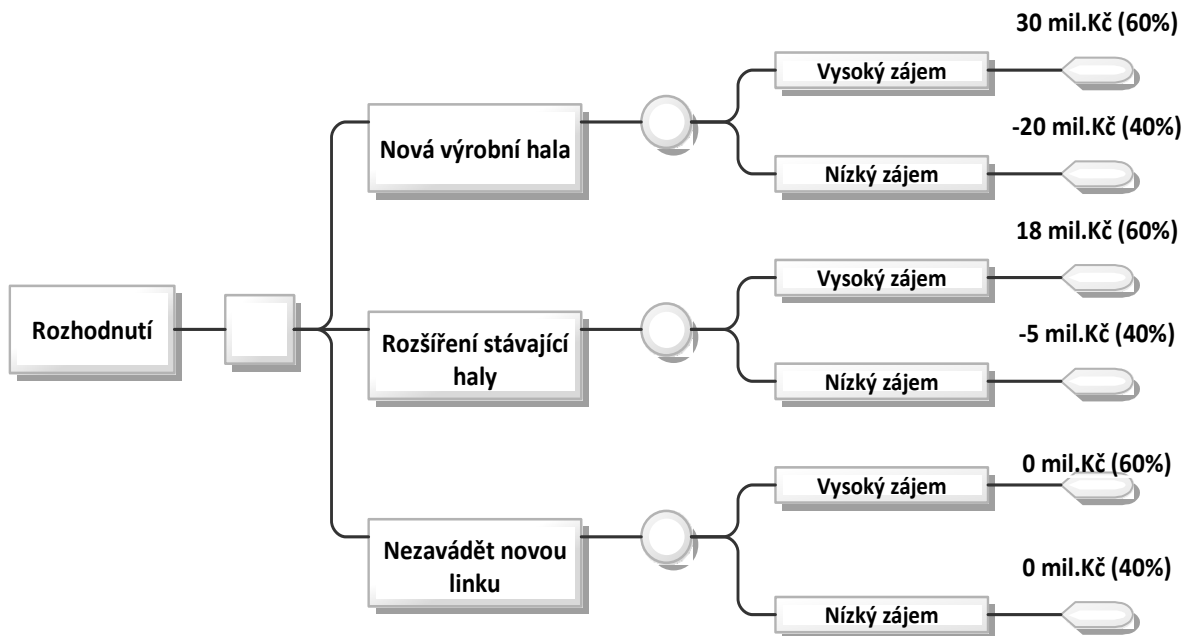
$$E(X_2) = 18 \cdot 0,6 + (-5) \cdot 0,4 = 8,8 \text{ mil. Kč}$$

$$E(X_3) = 0 \cdot 0,6 + 0 \cdot 0,4 = 0 \text{ mil. Kč}$$

Střední hodnota zisku se vypočítá vynásobením očekávaného zisku s danou pravděpodobností výskytu situace na trhu. Dále se sečtou vypočítané hodnoty od všech možných situací na trhu. Z výše uvedených výpočtů je vidět, že nejvyšší střední hodnotu zisku má v tomto případě  $E(X_1)$ . Za uvedených pravděpodobností se tedy stává nejvýhodnější možností A – přesunout výrobu do nové haly.

Na níže uvedeném modelu rozhodovacího stromu jsou graficky znázorněny všechny možnosti, pro které se podnik může rozhodnout. V této situaci se s největší pravděpodobností

tedy společnost rozhodne pro variantu A, která se dle výpočtu očekávané hodnoty při nejistotě trhu za daných odhadnutých hodnot zdá nevýhodnější a přinese společnosti největší hodnotu zisku a nejnižší riziko investičního selhání.



Obrázek 13: Rozhodovací strom - rozšíření výroby

### 4.3 Modely rizika v procesu výroby desky plošného spoje

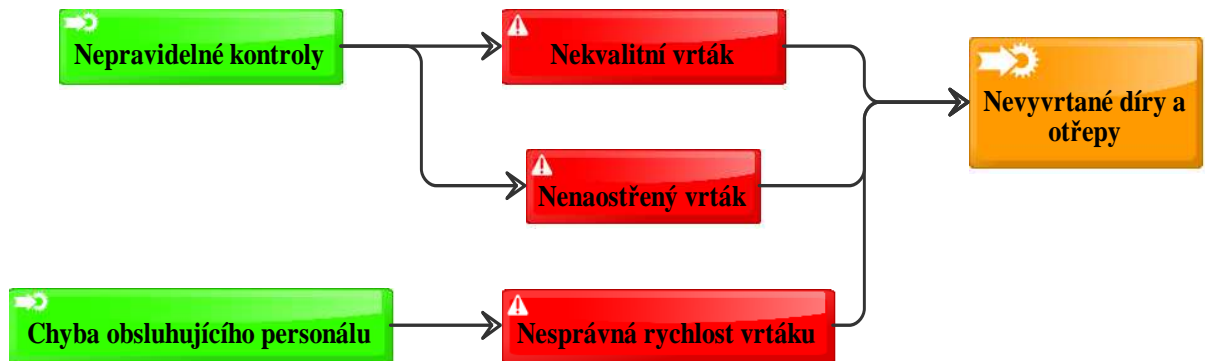
Podnik využívá modernějšího způsobu osazování plošných desek pomocí metody povrchové montáže. Tato technika předpokládá využití bezvývodových součástek nebo součástek s vývody, které se pájí přímo na povrch desky s plošnými spoji. Součástky pro povrchovou montáž se značí SMD ( Surface Mounted ). [24]

Na obrázku 15 je popsán celý proces výroby desky plošného spoje pro dvouvrstvou desku s pokovenými kontakty. Pro tento účel byl použitý modelovací program ARIS. A na obrázku 17 je znázorněný proces osazování desky při oboustranném pájení a použití klasických součástek s SMD.

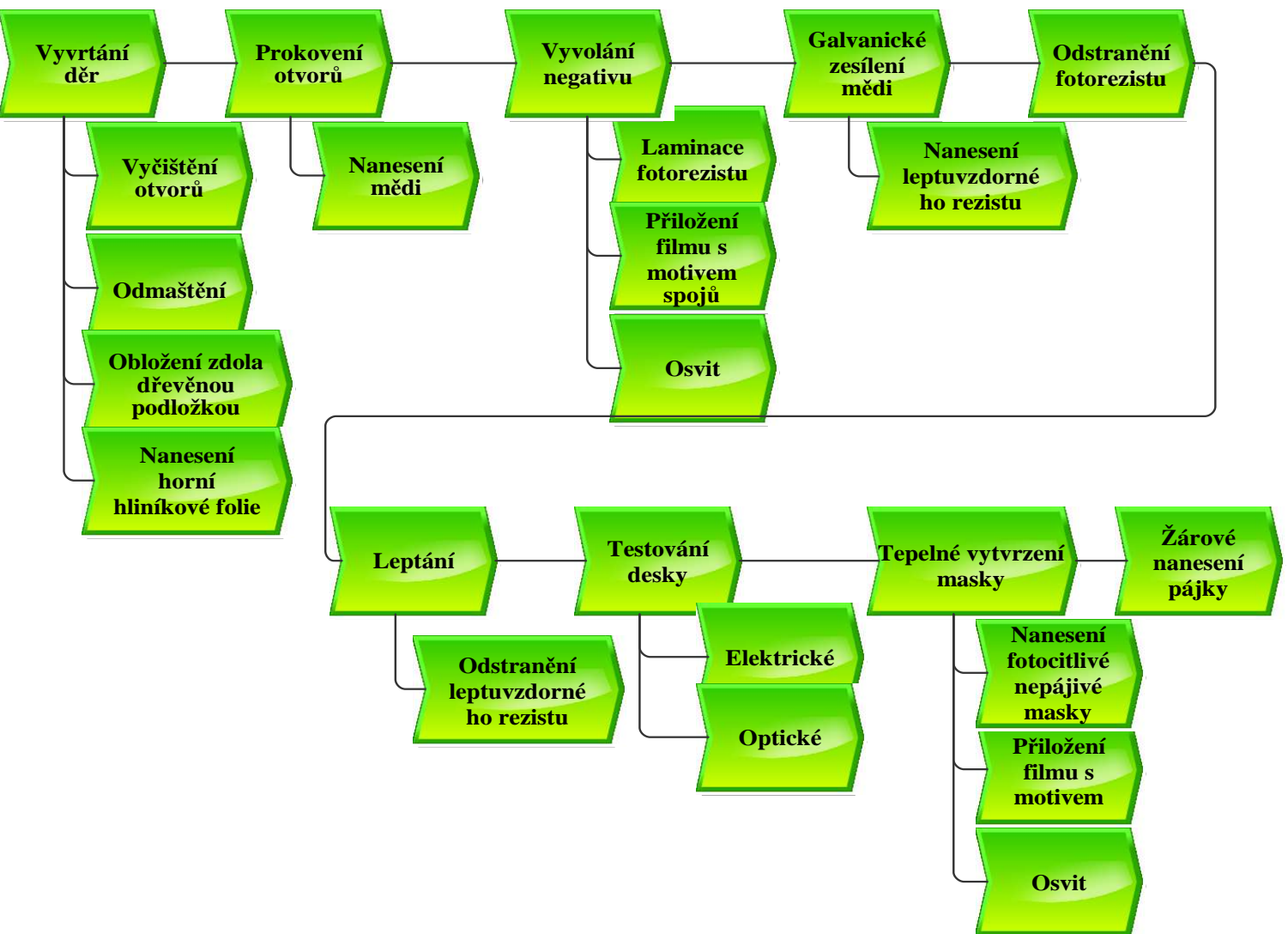
Modely rizik slouží k lepší vizualizaci všech možných následků a jejich příčin. To poslouží společnosti v řízení rizik.

### 4.3.1 Model rizik pro vyvrtání děr desky

Pro vrtání je důležité použít kvalitní ostrý a odolný vrták. Vrtání musí probíhat velice přesně, protože jde o velice důležitý proces při výrobě DPS. Po vyvrtání děr nesmí zůstat na vstupní a výstupní straně žádné otřepy. Otáčky vrtáku je důležité nastavit dle vrtaného materiálu. Pro vypracování byl využitý model příčina-riziko-účinek.



Obrázek 14: Model možných rizik při vrtání děr desky

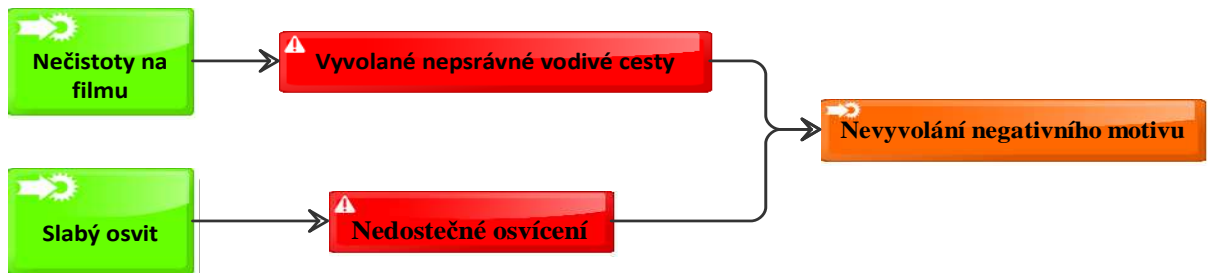


Obrázek 15: Postup výroby dvouvrstvé desky plošných spojů s pokovenými otvory

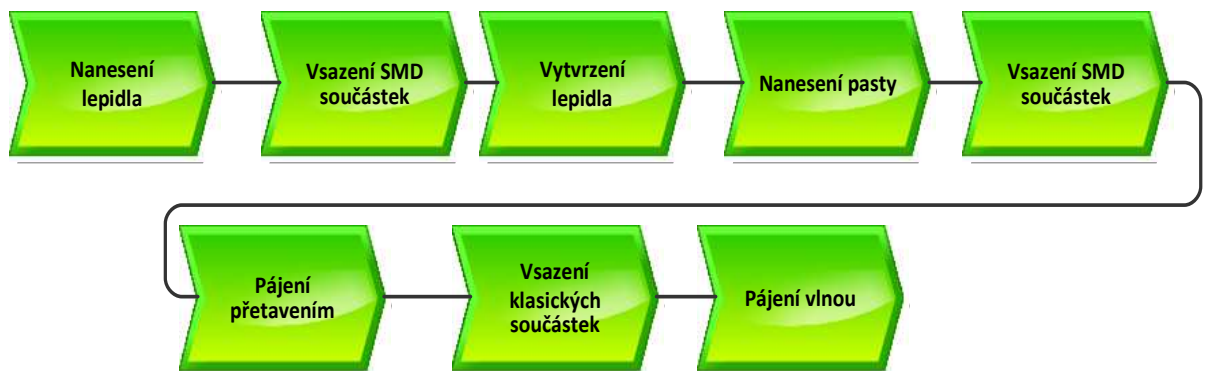
#### 4.3.2 Model rizik při vyvolání negativního motivu

Jako fotorezist se používá vrstva tekutého fotocitlivého polymeru, která se nanese na desku. Na takto připravenou desku se co nejpřesněji přiloží motiv spojů a následuje osvit celé

desky za pomocí výbojky. Osvit musí mít dostatečně silný a dlouhý, aby se ve fotorezistu objevila vodivá cesta. V této fázi je nanejvýš důležité, aby osvit probíhal v čistých podmínkách bez nečistot. I lidský vlas, který se promítne, lze považovat za vodivý spoj. Grafický model rizik je vytvořen v programu ARIS na obrázku 16.



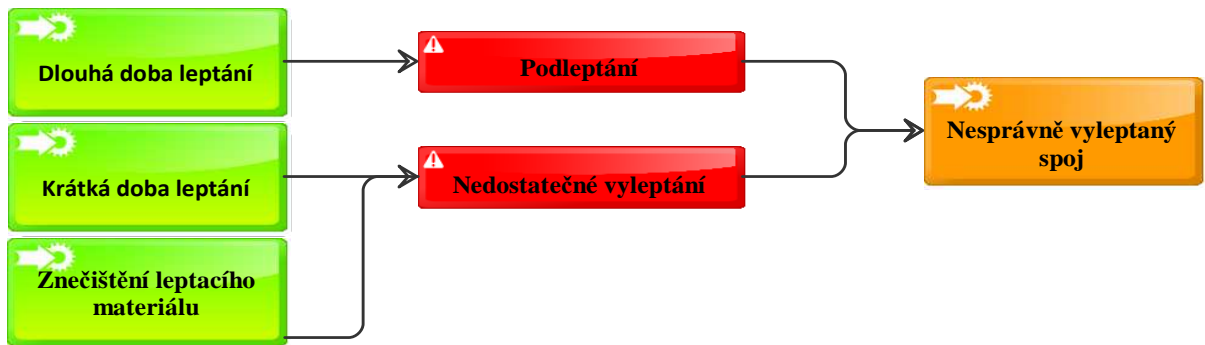
Obrázek 16: Model rizik v procesu vyvolání negativního motivu



Obrázek 17: Proces při osazování a pájení dvoustranné smíšené desky

### 4.3.3 Model rizika v procesu leptání

V podniku tento proces probíhá pomocí leptací lázně. Účinnost leptání se zvýší, pokud je leptací lázeň v pohybu. Deska se musí v lázni nechat dostatečně dlouho, ale nesmí dojít k podleptání. Důležité je nanesení leptuvzorného rezistu, který zajistí, že budou vyleptány pouze určené plochy. Při aplikování chloridu železitého vzniká při jeho vícenásobném použití riziko, že se leptací roztok znehodnotí rozpuštěnou mědí a dochází k nedostatečnému vyleptání u dalších desky.

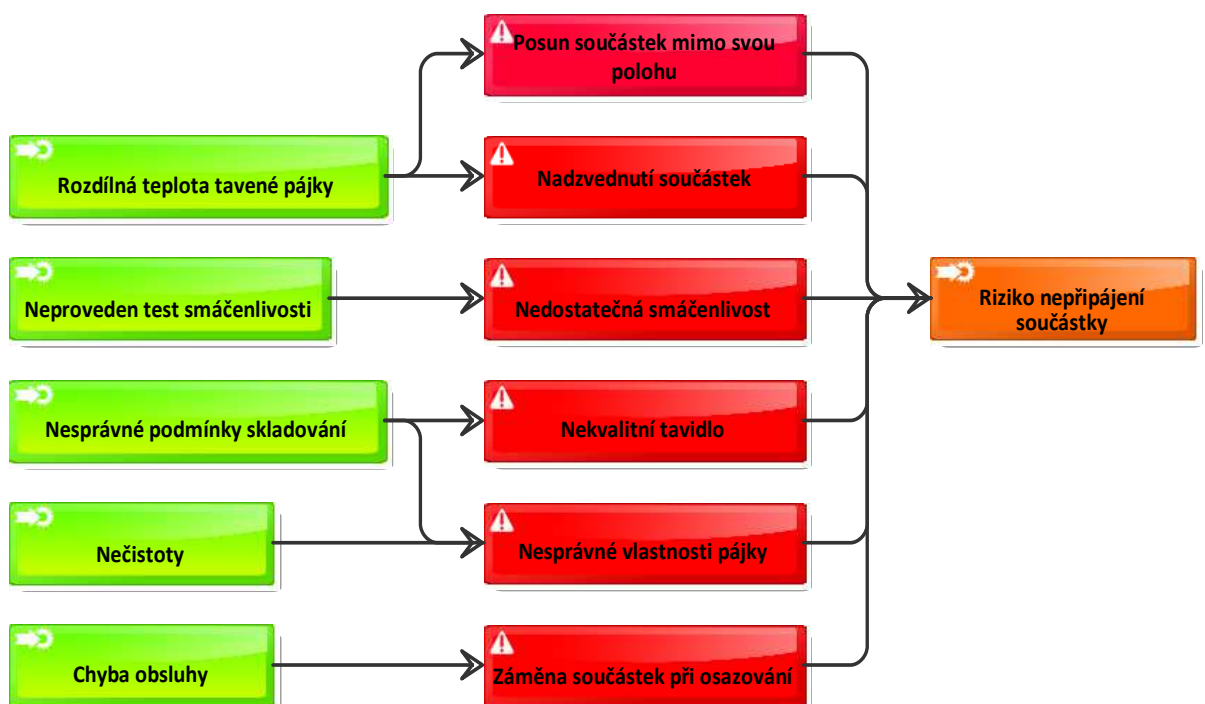


Obrázek 18: Model rizik při leptání plošného spoje

#### 4.3.4 Model rizika při pájení součástek

Nejčastější chyby vznikající při výrobě DPS jsou právě ve fázi pájení spoje. V tomto procesu je několik faktorů, které způsobují rizika a kterým je nutné věnovat pozornost. Některé z možných příčin způsobující riziko nepřipájení součástek, jsou uvedena v modelu rizik pájení součástek.

Při pájení přetavením může dojít k tomu, že teplota pájky není na všech ploškách součástky stejný. Nebudou pak stejná povrchová napětí pájky jednotlivých pájených spojů. Z toho důvodu může dojít k rizikovému jevu, které způsobí posun součástek. Součástky se mohou vychýlit ze svého místa nebo se mohou nadzvednout, čímž může dojít k nepřipájení některých kontaktů. [24] Při ruční výrobě DPS je riziko záměny součástek při osazování desky vyšší než při automatizované výrobě. Příčinou je převážně selhání lidského faktoru.



Obrázek 19: Model rizika při v procesu při pájení součástek



## 5 DOPORUČENÍ PRO PRAXI

V praxi jsou mnohdy možná rizika podceňována a podniky nemají zavedenou žádnou identifikaci rizik. Prakticky lze s jistotou říci, že riziko se nevyhýbá nikomu. Nikdy není jisté, že žádná rizika nemohou nastat. V praxi se rizika velmi často podceňují. Mnohé společnosti se domnívají, že mají rizika pod kontrolou a není nutné vypracovávat analýzy rizik.

Pokud chce být podnik úspěšný, musí se neustále přizpůsobovat trhu. V praxi tedy nastává mnoho případů, kdy je nutné učinit rozhodnutí a s tím souvisí také hrozby, která dané rozhodnutí nese. Identifikací, zhodnocením a eliminací těchto rizik se zvyšuje pravděpodobnost, že rizika neohrozí dané rozhodnutí. Podnik tím také získá přehled o tom, jaká rizika s rozhodnutím souvisejí.

K tomu aby společnost dokázala správně určit, která rizika je nutné eliminovat, slouží právě metody a nástroje analýzy rizik. Některé z možných analýz, které lze použít v podnicích zabývajících se výrobou, jsou uvedena v této práci. Některé analýzy jsou velice jednoduché a logické, tudíž je jejich zpracování v praxi velice jednoduché a časově nenáročné. Pro vytvoření modelů rizik je potřeba učinit následující kroky:

- Analyzovat současný stav
- Identifikovat všechna aktiva
- Určit hodnotu aktiv
- Identifikovat rizika
- Stanovit závažnost a míru zranitelnosti rizik
- Identifikovat příčiny vzniku rizika
- Určit důsledky rizika
- Navrhnout možná opatření ke snížení rizika
- Zvolit vhodný model pro vizualizaci rizik

V této práci je v prvním kroku analýzy vypracovaný Ishikawův diagram pro identifikaci všech možných rizik při výrobě DPS. Tento diagram je vhodný pro přehled o tom, které rizikové procesy negativně ovlivňují výrobu a dávají možnost ke vzniku hrozeb. Tento diagram je vhodné vypracovávat za pomoci metody brainstormingu s osobami, které mají přehled o probíhajících procesech. V dalším kroku po získání všech procesů je použita analýza What – if. Pomocí této metody lze zjistit příčiny, které způsobují daná rizika. Postup metody je velice jednoduchý, ale je nutná znalost všech procesů.

Dalším důležitým krokem v analýze je zjištění, která rizika výrobu ohrožují a která mají na výrobu nízký až zanedbatelný vliv. K tomuto účelu je vypracována matice pravděpodobnosti a dopadu. Tato matice je vhodná použít v případě, že není zcela jasné, na které hrozby se má společnost zaměřit. Vypracování této analýzy je opět velice jednoduché. Jsou nadefinované rizikové faktory (příčiny), které jsou zdrojem rizik. Matice se vyplní dle pravděpodobnosti a dopadu daného faktoru na výrobu. Na rizika, která jsou v červené oblasti, se podnik s největší pravděpodobností zaměří. Samozřejmě jsou důležité také náklady na minimalizaci rizika. Pokud jsou náklady na minimalizaci příliš vysoké, může být možnost neeliminování rizika pro podnik přijatelnější.

Metodou pro identifikaci míry jednotlivých rizik byla použita matice aktiv, hrozeb a zranitelností. Z této analýzy podnik získal přehled o tom, které hrozby ovlivňují jaká aktiva. Oproti matici pravděpodobnosti a dopadu umožňuje tato matice společnosti detailnější přehled o interakci mezi hrozbami a aktivy.

Další vypracovanou analýzou je FMEA, která shrnuje všechny poznatky z předchozích analýz. V této analýze jsou využity identifikované hrozby, příčiny a dopady rizik. Z této analýzy bylo získáno rizikové číslo, které vypovídá o výši možné hrozby. Podnik nadefinoval kritickou hodnotu rizika na hladinu 300. Po vložení všech příčin do grafu společně s hodnotou rizikové čísla získá společnost přehled o tom, na které příčiny rizik je nutné se zaměřit. FMEA analýze je velmi často využívána ve výrobním procesu.

V průmyslové výrobě nastávají další rizika, která jsou spojena s rozhodováním. To sebou nese velké množství nejistoty a rizik. Proto je důležité nepodceňovat vypracování analýzy rizik, která tuto oblast také zvládá. K tomuto účelu slouží rozhodovací stromy. Díky této analýze je možné odhadnout pravděpodobnou výši zisku a varianty rozhodnutí, které podnik může učinit. V této práci byl rozhodovací strom vytvořený na modelu situace, kdy se společnost rozhoduje o rozšíření výroby. Na základě výpočtu střední hodnoty zisku, která zahrnuje i pravděpodobnost nízké nebo vysoké poptávky po výrobku, je pro podnik rozhodování méně náročné a předejde tak několikamilionové ztrátě.

## ZÁVĚR

Pro každý podnik je důležité si nejdříve uvědomit, že rizika nelze podceňovat a ignorovat. Pokud nejsou hrozby zřejmé, neznamená to ještě, že žádná rizika neexistují. V ideálním případě by společnost měla svá rizika znát a snižovat jejich dopad na minimum. Nejhorší variantou je případ, kdy podnik ví o rizicích, ale neprovádí žádná opatření proti nim. V tomto případě mohou časem velice negativně zasáhnout do chodu společnosti.

V elektrotechnické výrobě je zlehčování působících rizik velmi nebezpečné. Podcenění možných rizik může způsobit vysoké náklady na opravu vzniklých chyb. Pokud by společnosti prováděly preventivně analýzy rizik, v mnoha případech by zjistili, že náklady na výrobu by se aplikováním ochranných prostředků snížili.

V elektrotechnickém průmyslu je nalezení rizik a jejich eliminace důležitá zejména proto, že je pravděpodobnost ohrožení lidského života při výrobě. Pokud nejsou rizika ve výrobě eliminována, zasahují do procesu výroby, prodlužují délku výrobního procesu nebo vzniká riziko výroby nekvalitního produktu. Každý nekvalitní produkt předaný zákazníkovi zvyšuje riziko reklamace nebo opět ohrožení lidského života výrobkem.

V případech, kdy nejsou rizika eliminována, může to být v některých případech pro společnost devastující účinek. Riziko může způsobit vysokou finanční ztrátu nebo zvýšit náklady na výrobu nad přijatelnou hranici.

V této práci jsou uvedené metody a nástroje pro analýzu rizik, které jsou vhodné pro malý a střední podnik s elektrotechnickou výrobou. V případové studii jsou zpracované vybrané rozdílné analýzy pro technologická rizika a vytvořeny modely znázorňující příčiny, rizika a důsledky hrozeb.

Modelování rizik společností slouží k vizualizaci následků, které mohou nastat, a všech jejich příčin. Modelování umožní podnikům lépe se orientovat v hrozbách a může být použito k vlastnímu řízení rizik. Z tohoto důvodu je modelování rizik důležitou součástí analýzy rizik.

Zavedení managementu rizik by společnost neměla považovat za negativní aktivitu. Kladný postoj k zavedení managementu rizik je pro podnik přínosem a nikoliv ztrátou času. Čím dříve se podaří rizika identifikovat a eliminovat, tím menší dopad hrozba bude mít.

Ne všechna rizika jsou předmětem eliminace, protože nepředstavují pro podnik závažnější hrozbu. Propočítání nákladů na ochranu před riziky a náklady, které vzniknou při zachování rizika, pomáhají při rozhodování, zda riziko snižovat či nikoliv.

Není možné všechny hrozby eliminovat, ale snahou společnosti by mělo být je alespoň potlačit na minimum. Každá existující negativní hrozba představuje pro podnik nějaký druh nákladu nebo ztráty. V této práci jsou některé analýzy rizik, které nejsou složité a poskytnou managementu přehled o možných příčinách, která vyvolávají rizika. Řízení rizik díky těmto metodám nemusí být pro podnik nijak náročné a složité.

## 6 SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ

- [1] SMEJKAL, Vladimír a Karel RAIS. Řízení rizik: ve firmách a jiných organizacích. Praha: Granada Publishing, a.s., 2010. ISBN 978-80-247-3051-6.
- [2] Řízení rizik v podniku s elektrotechnickou výrobou. Plzeň, 2006. Bakalářská práce. Západočeská univerzita V Plzni.
- [3] *Řízení rizik ve vybrané firmě*. Plzeň, 2012. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Doc. Ing. František Zvoneček, Ph.D.
- [4] [Http://www.risk-management.cz/](http://www.risk-management.cz/). [online]. [cit. 2013-12-12]. Dostupné z: <http://www.risk-management.cz/index.php/tisk.php?clanek=3727>
- [5] [Https://managementmania.com](https://managementmania.com). [online]. [cit. 2013-12-12]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/winterlingova-krizova-matic>
- [6] Risk Management. Brno: Computer Press, a.s., 2007. ISBN 978-80-251-1547-3.
- [7] Management Mania. *Provozní rizika* [online]. 16.05.2013 [cit. 2013-12-14]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/provozni-rizika>
- [8] *Řízení bezpečnosti informačních systémů veřejné správy: Analýza rizik - příklady*. 2007.
- [9] ZAPLETALOVÁ, Šárka. *Krizový management podniku pro 21. století*. 1. vyd. Praha: Ekopress, 2012, 166 s. ISBN 978-80-86929-85-9.
- [10] [Http://www.dashofer.cz/](http://www.dashofer.cz/). Verlag Dashöfer: nakladatelství odborné literatury [online]. 2006 [cit. 2014-01-12]. Dostupné z: <http://www.dashofer.cz/metody-pro-vyber-zdroju-rizika-zavazne-havarie-cid139631/>
- [11] VESELÝ, Milan. *POUŽITÍ METODY FMEA PRO PREVENCI CHYB V PRŮMYSLOVÉM PODNIKU*. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [12] HAZOP (Hazard and Operability Study). *Management Mania* [online]. 2013 [cit. 2014-01-13]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/hazop-hazard-and-operability-study-analyza-ohrozeni-a-provozuschopnosti>
- [13] KORECKÝ, Michal a Václav TRKOVSKÝ. *Management rizik projektů: se zaměřením na projekty v průmyslových podnicích*. 1. vyd. Praha, 2011, 583 s. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-3221-3.

- [14] Enterprise Risk Management. [Http://www.decisioncraft.com/](http://www.decisioncraft.com/) [online]. 1. 5. 2008 [cit. 2014-02-24]. Dostupné z: <http://www.decisioncraft.com/dmdirect/erm.htm>
- [15] Prezentace Diagram příčin a následků (Ishikawův diagram). 1. 11. 2010.
- [16] SMEJKAL, Vladimír a Karel RAIS. *Řízení rizik ve firmách a jiných organizacích*. 4., aktualiz. a rozš. vyd. Praha: Grada, 2013, 483 s. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-4644-9.
- [17] SEDLÁŘOVÁ, Monika. *ŘÍZENÍ RIZIKA*. Brno, 2009. Bakalářská práce. Masarykova univerzita.
- [18] Principy metody Monte Carlo. [Http://sofe2.pepiino.cz/](http://sofe2.pepiino.cz/) [online]. 2010 [cit. 2014-03-30]. Dostupné z: [http://sofe2.pepiino.cz/wiki/doku.php?id=principy\\_metody\\_monte\\_carlo](http://sofe2.pepiino.cz/wiki/doku.php?id=principy_metody_monte_carlo)
- [19] ŠMÍDOVÁ, ZDEŇKA. *Nástroje a metody pro měření a snižování rizika*. BRNO, 2012. DIPLOMOVÁ PRÁCE. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.
- [20] *Postupy a metodiky analýz a hodnocení rizik*. 2000.
- [21] FUCHS, Pavel. *Řízení jakosti a spolehlivosti*. Přednáška. 2008.
- [22] FUCHS, Pavel a David VALÍŠ. *Metody analýzy a řízení rizika*. Liberec, 2004. Skriptum. Technická univerzita v Liberci.
- [23] SEDLÁŘOVÁ, Monika. *Řízení rizika*. Brno, 2009. Bakalářská práce. Masarykova univerzita.
- [24] ZÁHLAVA, Vít. *Návrh a konstrukce desek plošných spojů: principy a pravidla praktického návrhu*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2010, 123 s. ISBN 978-80-7300-266-4.
- [25] ABEL, Martin. *Bezolovnaté pájení v legislativě i praxi*. 1. vyd. Pardubice: ABE.TEC, 2005, 179 s. ISBN 80-903-5970-1.
- [26] STEINER, František. *Incidence poruch procesů pájení*. Plzeň, 2007. Habilitační práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [27] Zvládání rizik: Jemný úvod do zvládání rizik. Cleverandsmart [online]. 2010, 2013 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <http://www.cleverandsmart.cz/zvladani-rizik/>
- [28] ČSN EN 31000. *Management rizik – principy a směrnice*. 2010.