



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

# POSOUZENÍ LIDSKÉHO ČINITELE PŘI OBSLUZE VYBRANÉHO STROJE

ASSESSMENT OF THE OPERATOR RELIABILITY OF THE SELECTED MACHINE

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tomáš Jakl

## VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Luboš Kotek, Ph.D.

BRNO 2021

## Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	<b>Bc. Tomáš Jakl</b>
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Kvalita, spolehlivost a bezpečnost
Vedoucí práce:	<b>Ing. Luboš Kotek, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### Posouzení lidského činitele při obsluze vybraného stroje

#### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Výrobní stroje jsou základním prvkem výrobních procesů, management bezpečnostních rizik spojených s obsluhou komplexních výrobních systémů je velmi důležitou součástí zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci. Toto téma diplomové práce je podpořeno projektem "Strojírenská výrobní technika a přesné strojírenství" CZ.02.1.01/0.0/0.0/16\_026/0008404 prostřednictvím Operačního programu výzkum, vývoj, vzdělávání (2014 – 2020) a spolufinancováno Evropskou unií.

#### Cíle diplomové práce:

Rešeršní část obsahující popis a porovnání vybraných metod pro posouzení vlivu lidského činitele při obsluze výrobního stroje.

Popis požadavků legislativy na zajištění bezpečnosti a spolehlivosti obsluhy vybraného stroje.

Aplikace vybrané metody na výrobní proces.

Vlastní závěry a vyhodnocení pro praxi.

#### Seznam doporučené literatury:

ČSN EN ISO 12100. Bezpečnost strojních zařízení - Všeobecné zásady pro konstrukci - Posouzení rizika a snižování rizika.

ČSN EN 62508. Návod pro lidská hlediska spolehlivosti.

ČSN EN 60812. Techniky analýzy bezporuchovosti systémů – Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA).

ČSN EN 61882. Studie nebezpečí a provozuschopnosti (studie HAZOP) - Pokyn k použití.

STANTON, Neville A. Handbook of human factors and ergonomics methods. Boca Raton: CRC Press, c2005.

PALEČEK, Miloš, Stanislav MALÝ a Adam GIECI. Spolehlivost lidského činitele. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2008.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty



## **ABSTRAKT**

Diplomová práce je zaměřena na spolehlivost lidského činitele při obsluze výrobního stroje. V první části jsou uvedeny základní legislativní požadavky na bezpečnost a spolehlivost práce. Ve druhé části je pojednáváno o spolehlivosti lidského činitele spolu s popisem vybraných metod pro posouzení spolehlivosti lidského činitele. V závěru rešeršní části je pak uvedena navržená metodologie pro vyhodnocení lidského činitele pro výrobní proces. V praktické části je aplikována navržená metodologie na vybraný proces, což zahrnuje identifikaci rizik a výstupy z vybraných metod. V závěru práce jsou pak doporučeny preventivní opatření pro eliminaci zjištěných rizik.

## **ABSTRACT**

The master thesis is focused on the reliability of the human factor in the operation of the production machine. In the first part the basic legislative requirements for safety and reliability of work are presented. In the second part, the reliability of the human factor is discussed along with a description of selected methods for assessing the reliability of the human factor. The research section then concludes with a proposed methodology for human factors assessment for the manufacturing process. In the practical part, the proposed methodology is applied to the selected process, which includes risk identification and outputs from the selected methods. The thesis then concludes by recommending preventive measures to eliminate the identified risks.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Spolehlivost lidského činitele, Human HAZOP, HEART, FTA, HTA, pravděpodobnost lidské chyby, lidská chyba

## **KEYWORDS**

Human Reliability, Human HAZOP, HEART, FTA, HTA, Human Error Probability, Human Error



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

JAKL, Tomáš. *Posouzení lidského činitele při obsluze vybraného stroje*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/131805>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Ing. Luboš Kotek, PhD.





## **PODĚKOVÁNÍ**

Chtěl bych poděkovat především svým rodičům za podporu během celého mého studia a také své přítelkyni za trpělivost a pochopení. Svému vedoucímu diplomové práce panu Kotkovi bych chtěl poděkovat za cenné rady a odborné připomínky. Rovněž bych chtěl poděkovat společnosti TE Connectivity, že mi umožnila diplomovou práci vypracovat ve svém výrobním závodě. Tato diplomová práce byla řešena v návaznosti na projekt "Strojírenská výrobní technika a přesné strojírenství" CZ.02.1.01/0.0/0.0/16\_026/0008404, který byl podpořen prostřednictvím Operačního programu výzkum, vývoj, vzdělávání (2014 - 2020) a spolufinancován Evropskou unií.



## **ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ**

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Luboše Kotka, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 20.5.2021

.....

Tomáš Jakl



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY PRO BEZPEČNOST PRÁCE</b> .....	<b>17</b>
2.1	Zákon č. 262/2006 Sb., zákoník práce .....	17
2.2	Zákon č. 309/2006 Sb. o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci .....	18
2.3	Zákon č. 174/1968 Sb. o státním odborném dozoru nad bezpečností práce.....	18
2.4	Legislativní požadavky na zaměstnavatele a zaměstnance.....	18
<b>3</b>	<b>SPOLEHLIVOST LIDSKÉHO ČINITELE</b> .....	<b>20</b>
3.1	Počátky výzkumu lidského činitele .....	20
3.2	Definice lidské chyby .....	20
3.3	Ergonomie pracoviště .....	21
3.4	Kognitivní přístup .....	21
3.4.1	Klasifikace chyb podle Reasona .....	22
3.4.2	Klasifikace chyb podle Rasmussena.....	22
3.5	Fyzikální faktory ovlivňující lidského činitele .....	23
3.5.1	Hluk .....	24
3.5.2	Vibrace.....	25
3.5.3	Osvětlení.....	25
3.5.4	Barevné řešení pracoviště .....	26
3.5.5	Teplota .....	26
3.5.6	Vlhkost a atmosférické podmínky .....	26
3.6	Kauzalita nehodového děje .....	26
3.7	Člověk vs. Stroj.....	28
<b>4</b>	<b>VYBRANÉ METODY K IDENTIFIKACI RIZIK</b> .....	<b>29</b>
4.1	Studie nebezpečí a provozuschopnosti – HAZOP .....	29
4.1.1	Human HAZOP .....	31
4.2	Analýza způsobů a důsledků poruch – FMEA .....	31
4.2.1	Úvod .....	31
4.2.2	Účel metody.....	31
4.2.3	Etapy tvorby a typy metody.....	32
4.2.4	Hodnocení kritičnosti – číslo RPN .....	32
4.3	Analýza stromu poruchových stavů – FTA .....	35
<b>5</b>	<b>METODA PRO IDENTIFIKACI JEDNOTLIVÝCH ČINNOSTÍ</b> .....	<b>37</b>
5.1	HTA – Hierarchical Task Analysis.....	37
<b>6</b>	<b>METODY A METODOLOGIE PRO KVANTIFIKACI LIDSKÝCH CHYB</b> <b>38</b>	
6.1	Metody ke kvantifikaci lidských chyb .....	39
6.1.1	HEART – Human Error Assessment and Reduction Technique.....	39
6.1.2	APJ – Absolute Probability Judgements .....	39
6.1.3	SLIM – Success likelihood index .....	40
6.2	Metodologie ke kvantifikaci lidských chyb .....	41
6.2.1	THERP – Technique for Human Error Rate Prediction .....	41
6.2.2	ATHEANA – A Technique for Human Event Analysis .....	42
6.2.3	CAHR – Connectionism Assessment of Human Reliability .....	43
6.2.4	CREAM – Cognitive Reliability and Error Analysis Method.....	43

<b>7</b>	<b>NÁVRH METODOLOGIE PRO ŘEŠENÍ LIDSKÉ SPOLEHLIVOSTI PŘI OBSLUZE STROJE .....</b>	<b>44</b>
<b>8</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>45</b>
8.1	Popis společnosti .....	45
8.2	Rychloběžný lis .....	45
8.3	Popis procesu výroby .....	46
8.4	Schéma pracoviště .....	46
8.5	Procesní diagram výroby .....	47
8.6	Pracovní náplň operátora .....	49
8.7	Ovlivňující faktory na pracovišti .....	50
<b>9</b>	<b>APLIKACE METODOLOGIE .....</b>	<b>51</b>
9.1	HTA.....	51
9.2	Human HAZOP .....	53
9.3	FTA.....	54
9.3.1	Diagram FTA – Nedodrženo balné množství .....	54
9.3.2	Diagram FTA – Průnik neshodného kusu k zákazníkovi.....	56
9.4	HEART.....	56
<b>10</b>	<b>ZHODNOCENÍ ANALÝZY A NÁPRAVNÉ AKCE .....</b>	<b>58</b>
10.1	Zhodnocení analýzy.....	58
10.2	Navržená nápravná opatření .....	58
10.2.1	Nápravná opatření k zamezení nedodržení balného množství .....	58
10.2.2	Nápravná opatření k zamezení úniku neshodných kusů .....	60
<b>11</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>63</b>
<b>12</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>65</b>
<b>13</b>	<b>SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....</b>	<b>67</b>
13.1	Seznam použitých zkratk a symbolů .....	67
13.2	Seznam tabulek.....	68
13.3	Seznam obrázků.....	69
<b>14</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>71</b>

# 1 ÚVOD

Selhání lidského činitele je často označováno za příčinu havárií a nehod. Lidský činitel zároveň výrazně ovlivňuje spolehlivost celého systému. I z těchto důvodů se klade čím dál větší důraz na eliminaci lidského faktoru, ať už to je ergonomickým designem stroje nebo například robotizací daného pracoviště. Výzkum zabývající se lidským činitelem je stále relativně mladou vědou, která zažívá rozmach teprve od druhé poloviny minulého století. I z toho důvodu je důležité prosazovat do obecného povědomí důležitost spolehlivosti lidského činitele. Oblasti, kde je s tímto faktorem pracováno poměrně důkladně, jsou jaderný a chemický průmysl, což je pochopitelné, jelikož lidské selhání v této oblasti může mít katastrofální následky. Výrobní průmysl v tomto odvětví poměrně zaostává, což ale může být dobrá příležitost pro zlepšení výsledků a spolehlivosti do budoucna pro výrobní společnosti. Jelikož výrobní pracovník může značně ovlivnit kvalitu daného výrobku, což může pozitivně či negativně pocítit i konečný zákazník. Zároveň lze tímto směrem i zlepšit důležité metriky jako mohou být náklady na nekvalitu. Z těchto důvodů je nesmírně důležité věnovat pozornost nejen technické spolehlivosti strojů ale i obsluhy, jež na nich pracuje.

Jednou z možností, jak predikovat spolehlivost lidského činitele je využití analytických metod, jejichž cílem je identifikace a kvantifikace rizik spojených s člověkem. Na základě analýzy již lze identifikované riziko eliminovat nebo snížit na přijatelnou úroveň. Spolehlivost lidského činitele ovlivňují různé faktory na pracovišti, které mohou hrát výraznou roli v celkové spolehlivosti systému. Například vysoká teplota dokáže snížit produktivitu i pozornost člověka a zvyšuje tak pravděpodobnost úrazu nebo vzniku nekvality, proto je důležité se zamyslet i nad samotným pracovním prostředím.

Velmi důležité je však vybrat správné analytické metody, jelikož většina metod zabývajících se lidským činitelem je zaměřena na zmíněný jaderný a chemický průmysl, a proto jsou pro výrobní průmyslu až zbytečně podrobné a mohly by tak narušit efektivitu analýzy i možné výsledky. Kombinací správných analytických metod však lze dosáhnout komplexní analýzy zahrnující faktory na pracovišti, lidského činitele i technické vybavení, což bude i jedním z cílů diplomové práce.

Tato diplomová práce je zaměřena na posouzení spolehlivosti lidského činitele při obsluze výrobního stroje podle navržené metodologie, která je obecně využitelná pro výrobní procesy a jejich obsluhu.





## 2 LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY PRO BEZPEČNOST PRÁCE

Každá firma se musí řídit legislativou daného státu, ve kterém působí. V České republice je řada zákonů, vyhlášek nebo nařízení vlády, které nařizují podmínky a pravidla, za kterých může firma provozovat legálně svoji činnost. V této kapitole diplomové práce budou uvedeny vybrané základní legislativní požadavky pro zajištění bezpečného pracoviště. Základní legislativním pramenem je Zákon č. 262/2006 Sb., zákoník práce.

### 2.1 Zákon č. 262/2006 Sb., zákoník práce

Tento zákon upravuje právní vztahy mezi zaměstnanci a zaměstnavatelem a definuje tak pracovněprávní vztahy. Dále upravuje vztahy kolektivní povahy, které souvisejí s výkonem práce. Rovněž také zapracovává předpisy vydané Evropskou unií a upravuje některá práva a povinnosti zaměstnanců i zaměstnavatelů [1].

Účelem tohoto zákona je ochránit postavení zaměstnance, zajistit mu bezpečné a uspokojivé podmínky pro výkon práce. Dále zajistit spravedlivé odměňování zaměstnanců a zamezit jejich diskriminaci a dbá na bezpečnost a ochranu zdraví při práci např. [1]:

- a) Zaměstnavatel je povinen vytvářet bezpečné a zdraví neohrožující pracovní prostředí a musí přijímat opatření k předcházení rizikům.
- b) Zaměstnavatel musí předcházet rizikům a odstraňovat je. V případě, že je nelze zcela odstranit musí je minimalizovat.
- c) Zaměstnavatel je povinen vyhledávat nebezpečné činitele a jejich příčiny a zdroje. Na základě výsledků pak hodnotit rizika a přijímat opatření k jejich odstranění, při kterých dojde ke zlepšení pracovních podmínek. K tomu je povinen pravidelně kontrolovat stávající úroveň bezpečnosti, ochrany zdraví při práci, zejména stav výrobních a pracovních prostředků a vybavení pracovišť.
- d) V případě, že nelze rizika zcela odstranit musí zaměstnavatel přijmout opatření, aby jejich vlivy minimalizoval. Zaměstnavatel musí poskytnout osobní ochranné pracovní pomůcky (OOPP) a informovat zaměstnance o možných rizicích a vést evidenci o přijatých opatření a rizicích.
- e) Zaměstnavatel je povinen přijmout opatření pro případ zdolávání mimořádných událostí, jako jsou havárie, požáry a povodně, jiná vážná nebezpečí a evakuace zaměstnanců. Zaměstnavatel musí mít vypracovaný plán pro zajištění zdravotnické první pomoci a musí zajistit potřebný počet zaměstnanců, kteří organizují poskytnutí první pomoci a zajišťují komunikaci se složkami IZS.
- f) Zaměstnavatel je povinen přizpůsobovat opatření měnícím se skutečnostem a kontrolovat účinnost a dodržování stávajícího systému a musí zajišťovat zlepšování stavu pracovního prostředí a pracovních podmínek.

## **2.2 Zákon č. 309/2006 Sb. o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci**

Tento zákon zapracovává příslušné předpisy Evropské unie a upravuje další požadavky bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v návaznosti na zákon č. 262/2006 Sb., zákoník práce. Rovněž upravuje pracovněprávní vztahy a poskytování služeb mimo pracovněprávního vztahu. Tímto zákonem se definují požadavky na zaměstnavatele na základě, kterých musí [2]:

- a) Zajistit, aby pracoviště byla prostorově a konstrukčně uspořádána a vybavena tak, aby pracovní podmínky pro zaměstnance z hlediska bezpečnosti a ochrany zdraví při práci odpovídaly bezpečnostním a hygienickým požadavkům na pracovní prostředí a pracoviště.
- b) Zajistit, aby stroje, technická zařízení, dopravní prostředky a nářadí byly z hlediska bezpečnosti a ochrany zdraví při práci vhodné pro práci, při které budou používány. Dále, aby zmíněné vybavení disponovalo ochrannými zařízeními, aby vyhovovalo ergonomickým požadavkům a aby bylo řádně udržováno a kontrolováno.
- c) Zajistit organizaci práce a stanovit pracovní postupy tak, aby zaměstnanci nebyli jednostranně zatěžováni, přetěžováni nebo ohrožováni okolním prostředím.
- d) Zajistit, aby pracoviště bylo řádně označeno bezpečnostním značením, které upozorňuje na možné nebezpečí a vymezuje pracoviště.
- e) Zajistit, aby zaměstnanci vykonávali pouze práci, pro kterou jsou odborně způsobilí.

## **2.3 Zákon č. 174/1968 Sb. o státním odborném dozoru nad bezpečností práce**

Zákon č.174/1968 Sb. nám definuje vyhrazená technická zařízení, což jsou taková zařízení, která mají zvýšenou míru ohrožení zdraví a bezpečnosti osob a majetku, která podléhají státnímu odbornému dozoru. Mezi vyhrazená technická zařízení se řadí tlaková, zdvihací, elektrická a plynová. Podle stupně nebezpečnosti se zmíněná zařízení zařazují do tříd, případně skupin a stanoví se rozsah a způsob ověřování bezpečnosti zařízení a zároveň se posoudí odborná způsobilost dané organizace nebo osob, zda mohou pracovat na těchto zařízeních [3].

Státní odborný dozor vykonávají organizace, jež vznikly výhradně pro tuto činnost a jsou vybrány Ministerstvem práce a sociálních věcí. Tento odborný dozor pak kontroluje a podává odborná stanoviska o tom, zda v průběhu projektování, konstrukci, výrobě, montáži, provozu, obsluze, opravách, údržbě a revizi vyhrazených technických zařízení splněny bezpečnostní požadavky [3].

## **2.4 Legislativní požadavky na zaměstnavatele a zaměstnance**

Jak vyplývá z předchozích podkapitol, pro zaměstnavatele i zaměstnance vyplývají zákonné požadavky pro bezpečnost práce. Zaměstnavatel je povinen zajistit vhodné pracovní prostředí, které odpovídá hygienickým i bezpečnostním požadavkům. Zaměstnavatel nesmí přetěžovat své zaměstnance a nesmí od nich vyžadovat práci, ke které nejsou odborně způsobilí. Dále je povinen se starat o vybavení a zařízení, se kterým jeho zaměstnanci pracují, a to formou řádného servisu a pravidelné analýzy rizik, ze které vyplynou mimo jiné nápravná opatření pro zvýšení bezpečnosti zařízení nebo pracoviště. Zaměstnavatel je povinen nalezená rizika odstranit nebo snížit. V případě, že je nelze zcela eliminovat, musí je snížit na nejnižší možnou

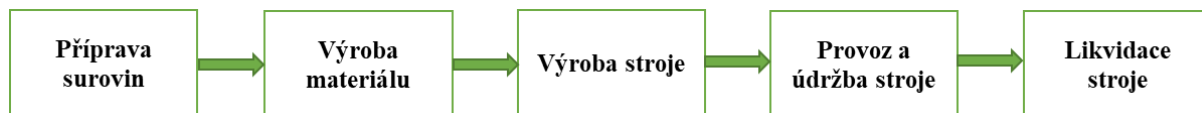
úroveň. Pokud se riziko nepodaří zcela odstranit je zaměstnavatel povinen poskytnou OOPP a musí informovat zaměstnance o všech možných rizicích. V takovém případě je zaměstnanec povinen využívat OOPP při všech stanovených činnostech. Rovněž zaměstnanec musí přecházet vznikům nebezpečných situací svým chováním a nesmí ohrozit svou práci ostatní zaměstnance, což souvisí i s konzumací alkoholu a omamných látek, která je zakázána a zaměstnanec se musí kdykoliv podrobit zkoušce na tyto látky. Zaměstnanec musí dodržovat veškeré směrnice a pokyny od zaměstnavatele. Zaměstnanec rovněž musí informovat svého nadřízeného pracovníka v případě, že objeví možný zdroj rizika nebo jakékoliv nedostatky na pracovišti. V případě úrazu musí zaměstnanec informovat svého vedoucího.

V praxi se bohužel ne vždy dodržují tyto požadavky. Z hlediska zaměstnanců je častým prohřeškem nedůsledné nošení OOPP, jelikož často snižují osobní komfort. Dalším relativně častým prohřeškem může být alkohol na pracovišti. Z hlediska zaměstnavatele může být častým prohřeškem zanedbání technického stavu zařízení nebo nevyhovující pracovní prostředí.

### 3 SPOLEHLIVOST LIDSKÉHO ČINITELE

Selhání lidského činitele je často označováno za příčinu nehod nebo havárií a je tedy jedním z rozhodujících faktorů pro celkovou spolehlivost systému. Některé zdroje uvádějí, že veškeré nehody nebo havárie způsobili lidé třeba tím, že špatně navrhli určitý stroj nebo zanesli chybu do určitého řídicího programu, a i přes tyto nedostatky obsluhují a provozují tyto stroje. Jak fatální mohou být následky jsme se v historii již mnohokrát přesvědčili, a právě proto je problematika lidské spolehlivosti a role člověka, ať už ve strojírenských výrobních procesech nebo například při obsluze auta, tolik diskutována a řešena. Ve velkých podnicích jsou často zavedena, mimo zákonné požadavky, vlastní opatření pro eliminaci chyby člověka, ani to však není plně dostačující, jelikož chybovat je lidské a člověk je od přírody líný tvor a má tendenci si práci usnadňovat, a proto je velmi náročné plně odstranit vznik chyby zaviněné člověkem. Jakýkoliv manažerský systém nemůže být úspěšný, pokud ho lidé, kteří ho mohou fyzicky ovlivnit (operátoři, řidiči, letoví dispečeri apod.) se s ním neztotožní a nebudou vykonávat předepsané procesy, pracovní postupy nebo činnosti s maximální zodpovědností a pečlivostí [4, 5].

Životní cyklus zařízení dle metody LCA se skládá z 5 hlavních fází, kde fáze provozu zařízení je vnímána jako ta nejdůležitější, u které se lidský činitel uplatňuje. Příklad takového životního cyklu je zdokumentován na obr. 1. Nicméně vliv lidského činitele je klíčový i při návrhu samotného zařízení a jeho výrobě, jelikož nedotažení detailů při návrhu přes nesprávnou výrobu a kompletaci může vést k nehodě, která se může projevit na zdraví obsluhy stroje, financích nebo k ekologické zátěži prostředí [5, 26].



Obr. 1) Životní cyklus stroje [26]

#### 3.1 Počátky výzkumu lidského činitele

Výzkum spolehlivosti lidského činitele se začal rozvíjet na počátku 20. století v USA, kde pánové Gilbreth a Taylor vytvořili základy pro rozvoj složitějších analytických nástrojů. Hybatelem technického a vědeckého pokroku však často bývá vojenský průmysl. Nebylo tomu jinak ani v případě výzkumu lidského činitele, jelikož za druhé světové války se konstruktéři letadel zabývali nad tím, proč řízení letounu dělá problémy nezkušeným pilotům. Situace byla taková, že více letadel bylo ztraceno chybou pilota než v bojové akci proti nepříteli. Z toho důvodu se konstruktéři zaměřili na analýzy činnosti pilotů a na základě získaných výsledků změnili ovládací prvky a sdělovací systém, který byl pro lidské chápání přirozenější. Tímto byly položeny základy systematického přístupu, který zohledňuje vazby mezi strojem a člověkem přes více fází životního cyklu zařízení [4, 6].

#### 3.2 Definice lidské chyby

Jedna z prvních moderních definic lidské chyby pochází z roku 1990, která byla vytvořena panem Reasonem a říká, že pojem lidská chyba zahrnuje všechny události, kde plánovaný sled mentálních nebo fyzických činností nedosahuje zamýšleného výsledku a jestliže tato selhání

nemohou být způsobena intervencí nějakého náhodného působení. Zajímavé je, že ačkoliv výzkum lidského činitele probíhal již od počátku 20. století, tak definice samotné chyby byla známa až ke konci 20. století [6].

Podobné znění definice lidské chyby můžeme nalézt i v normě ČSN EN 62508, která ji definuje jako nesoulad mezi provedeným nebo neprovedeným lidským zásahem a zamýšleným zásahem [14].

### 3.3 Ergonomie pracoviště

Ergonomický přístup návrhu pracoviště lze charakterizovat jako přizpůsobení práce člověku. Jelikož lidský faktor je poměrně vysokým zdrojem chyb, je nezbytné eliminovat možné zdroje, které lze odstranit například správným ergonomickým navržením pracoviště, ovládacích prvků stroje nebo zařízení, čehož lze dosáhnout různými způsoby [4, 7]:

- Návrh pracoviště by měl brát ohled na rozdílné fyzické a mentální dovednosti pracovníků
- Ovládací panely by měly být navrženy s důrazem na uživatelské pohodlí a aby informace o procesu nebo stroji byly jasné a zřetelné s případnou možností rychlého zásahu
- Pracoviště by mělo být navrženo tak, aby se minimalizovalo působení negativních faktorů na pracovníka
- Pracoviště by mělo být uspořádáno tak, aby minimalizovalo nároky na fyzickou a mentální zátěž

Zaměstnavatel by měl pravidelně kontrolovat, zda nedochází k přetěžování pracovníků a případně hledat možné zlepšení. K tomu mohou sloužit různé formuláře pro hodnocení ergonomických nedostatků, které pomohou odhalit nedostatky, ze kterých by měly vyplynout nápravné akce. Často lze nedostatky na pracovišti zjistit rozhovory s pracovníky, což může být velmi podnětné [4,7].

Ergonomický přístup je základním předpokladem pro eliminaci lidské chyby, nicméně zdaleka není dostačující, jelikož neposkytuje systematický postup k eliminaci kognitivních chyb v oblastech diagnózy a řešení problémů [4, 7].

### 3.4 Kognitivní přístup

Metoda kognitivního přístupu byla vyvinuta v průběhu 70. a 80. let. Tento přístup změnil pohled na člověka tím, že už ho nepovažuje jen za pasivní element sloužící k výkonu práce, ale jako jednotlivce s vlastními úmysly, plány a cíli, které ovlivňuje jeho rozhodování. Kognitivní přístup je využíván zejména v případech, kdy člověk musí jednat v mimořádných situacích a plánovat. Metody kognitivního přístupu zahrnují analýzy kognitivních úkolů, které se zaměřují na chyby při zpracování informací a rozhodování při nestandardních situacích. Tento přístup je nejefektivnější v případě odhalování příčin chyb, jež byly zapříčiněny lidským faktorem. Obzvláště je vhodný pro analýzu opakujících se chyb a predikci specifických chyb [4, 6].

Rozdíl mezi ergonomickým a kognitivním přístupem spočívá v tom, že kognitivní přístup zdůrazňuje roli centrálního aspektu lidského chování, mezi něž se řadí myšlení, záměr, cíl a vůle. Ergonomický přístup k člověku by se na druhou stranu mohl přirovnat k práci strojního zařízení, které vykonává pouze předem určenou práci jednoho druhu. K tomu však

člověk nemá patřičné vloh. Proto je důležité kombinovat oba přístupy. Pracoviště a stroje musí být navrženy dle ergonomického přístupu, avšak lidská práce už musí být posuzována dle kognitivního přístupu. V následujících podkapitolách budou uvedeny klasifikace chyb, které vycházejí z kognitivního přístupu [4,6].

### 3.4.1 Klasifikace chyb podle Reasona

Definice lidské chyby podle Reasona je v této diplomové práci zmíněna v podkapitole 3.2. a vyplývá z ní, že chyby jsou založeny na nedosažení výsledku nebo cíle, popřípadě systém neudělal to, co se předpokládalo [4].

Na základě zmíněné definice jsou rozlišovány následující chyby: Slip, Lapse, Mistake a Violation [4].

- a) Slip – tato chyba je klasifikována jako chybné provedení úkolu nebo akce za předpokladu, že se člověk snaží provádět úkol nebo akci správně, avšak provede je nesprávně. Příkladem takové chyby může být vlastní gól obránce při fotbalovém zápase. Jinými slovy člověk ví, co je správné a čeho chce docílit, nicméně provedení je chybné. Opatření proti vzniku chyby tohoto typu může být provedeno formou chytrého designu.
- b) Lapse – pod tuto chybu se řadí vnitřní události, obvykle výpadky paměti. Pracovník vynechá jeden krok v pracovním postupu nebo například nedotáhne všechny povolené šrouby. Předějit takové chybě lze například vytvořením kontrolních listů, kde si jednotlivé úkony může daný pracovník odškrtnout.
- c) Mistake – je to chyba, která se stane v případě, že člověk provádí nesprávnou akci i za předpokladu, že nesprávnou akci provede excelentně, jelikož nesouvisí s daným pracovním postupem. Česky lze tuto chybu označit za omyl. Opatřením proti vzniku tohoto typu chyby může být školení a výcvik. V případě, že člověk ovládá dané pracovní postupy, stroje a nástroje dokonale, zmenšuje se pravděpodobnost, že pracovník zapomene pracovní postup nebo použije nesprávné nástroje.
- d) Violation – neboli vědomé porušení, což je záměrné porušení stanovených pravidel. Pracovníci často porušují pravidla za účelem zvýšit svoji produktivitu, ulehčit si práci nebo dokončit úkol rychleji. Velmi často se jedná o bezpečnostní pravidla, která obvykle zanášejí do pracovního postupu kroky zdánlivě navíc, avšak mají za úkol ochránit zdraví pracovníků. Předcházet vědomému porušení pravidel je poměrně obtížné, proto je důležité nastavená pravidla vyžadovat a motivovat pracovníky k jejich dodržování.

Reason tuto klasifikaci vytvořil ke konci minulého století a bohužel již z části nereflexuje nynější dobu, kdy jsou daleko častější teroristické útoky a sabotáže, a proto je považována tato klasifikace za překonanou, jelikož se nezabývá právě teroristickými útoky nebo záměrnou sabotáží. Pro účely této diplomové práce je však tato klasifikace dostačující.

### 3.4.2 Klasifikace chyb podle Rasmussena

J. Rasmussen klasifikoval činnosti a chyby na bázi dovedností a vytvořil Model SRK (Skill, Rules, Knowledge). Tento model ovlivnil řadu dalších přístupů a metodických nástrojů k analýze chyb člověka. Podle Rasmussena se činnosti lidí dají rozčlenit na 3 kategorie [4].

- a) Činnosti založené na dovednosti (Skill-based): do této kategorie spadají rutinní činnosti, vysoce nacvičené úkoly, které lze provádět automaticky bez nutnosti usilovného přemýšlení.
- b) Činnosti založené na pravidlech (Rule-based): do této kategorie spadají situace, které vyžadují řešení, jelikož došlo k neobvyklé situaci a naruší tak rutinní činnost. Při řešení takové situace se používají nastavená pravidla a aplikují se známé principy.
- c) Činnosti založené na znalostech (Knowledge-based): v této kategorii nalezneme činnosti, které vyžadují analytické myšlení a znalosti. Může se jednat o situace, které jsou zcela nové a nelze aplikovat známá pravidla.

### 3.5 Fyzikální faktory ovlivňující lidského činitele

Provoz daného zařízení je z hlediska životního cyklu nejdelší etapou, a zároveň nejrizikovější etapou z hlediska lidské spolehlivosti. Obsluha zařízení je během této etapy vystavena kombinaci vlivů prostředí různého charakteru (např. fyzikální, sociální, psychologické vlivy) a každý člověk může odolávat nebo podléhat těmto vlivům různě, proto je poměrně složité určit jednoznačný faktor, který by měl zabránit vzniku lidské chyby. Často totiž na pracovníky působí více vlivů současně a může dojít ke kumulaci vlivů, což může mít za následek vznik chyby a následky takové chyby lze určit jen se značnou nejistotou. Tento problém dlouhodobě studoval H.J. Bullinger, který definoval korelační matici, ve které vyjádřil vztahy vybraných faktorů prostředí a kvality sledovaných parametrů lidského výkonu. Na základě jeho výzkumu se prokázalo, že ne všechny faktory mají za následek negativní ovlivnění člověka. Záleží totiž na délce působení určitých faktorů a osobní toleranci člověka. Sledované faktory a potenciální následky jsou uvedeny v tabulce 1 [5].

Tab 1) Ovlivnění člověka působením vybraných faktorů podle Bullingera [5]

Vysvětlivky: • koreluje ○ nekoreluje	Potenciální pozitivní následky		Potenciální negativní následky			
	Faktory prostředí	Zlepšení pracovního výkonu	Pracovní pohoda	Nepohodlí / stres	Selhání / vznik chyby	Chronická újma na zdraví
Osvětlení	•	•	•	•	○	
Barevné řešení pracoviště	•	•	○	•		
Klima	○	•	•	○	•	
Teplota		•	•			•
Kvalita vzduchu	○	•	•	○	•	
Hluk		○	•	•	•	•
Vibrace		○	•	•	•	•
Fyzická zátěž			•	•		•
Vlhkost			•	•	•	
Nepořádek			•	○	○	

Z uvedené tabulky vyplývá, jak vybrané faktory ovlivňují výkon pracovníka. Co však z dané tabulky nelze vyčíst, je kumulativní vliv. Pokud faktory působí jednotlivě, pak jejich míra snesitelnosti je vyšší než v případě kumulativního působení, kdy ke vzniku nepohodlí a možné chyby stačí daleko menší intenzita působení. Při dlouhodobém působení nežádoucích faktorů může dojít k výrazně horším nežádoucím výsledkům než v případě působení jednotlivých faktorů zvlášť [5].

### 3.5.1 Hluk

Hluk je vnímán jako negativní faktor, jež ovlivňuje lidskou pozornost, zdraví a pohodlí. Intenzita hluku se odvíjí od konstrukce pracovních strojů a zařízení nebo od pracovního prostředí. Všeobecně platí, že pro práci vyžadující soustředění by neměla hladina hluku překročit 55 dB (např. práce konstruktérů, výpočtářů, programátorů). Pro běžnou administrativní práci se uvádí limitní hladina hluku 65 dB. Při překročení hranice 85 dB dochází k nepohodlí pracovníka. Zároveň při dlouhodobém působení vyšší hladiny hluku může dojít k poškození sluchu, problémům s nespavostí, bolestem hlavy a dalším zdravotním problémům. Z hlediska ochrany zdraví při práci je přípustná hodnota hluku do 85 dB, při překročení této hodnoty musí zaměstnavatel zajistit příslušné OOPP. Přítomnost hluku na pracovišti rovněž



může ovlivnit komunikaci na pracovišti a předávání verbálních informací. Na druhou stranu při provádění jednoduchých rutinních úkolů nemusí člověk podléhat vlivu hluku, a dokonce může i zlepšit bdělost a vést ke zvýšení výkonosti [4,7].

### 3.5.2 Vibrace

Vibrace jsou opět negativní faktor, jež vznikají mechanickým kmitáním pružných těles. V technickém prostředí to mohou být stroje, motory, přístroje a podobně. Z těchto zařízení se vibrace přenášejí na člověka, ať už přímým dotekem nebo nepřímo přes vibrující podlahu nebo přes prostředí. Nežádoucí účinky vibrací se projevují onemocněním cév, kloubů a kostí a mohou nechávat i trvalé následky. Negativní dopady na lidské zdraví zvyšuje chlad. Při práci v chladném prostředí se umocňují negativní účinky vibrací. Nepřiměřené vibrace nejsou vhodné ani pro samotný stroj, jelikož ho mohou poškodit nebo narušit přesnost výroby. Často jsou doprovodným jevem mechanického poškození stroje [7].

### 3.5.3 Osvětlení

Vliv světla na lidský organismus je poměrně podstatný, ovlivňuje lidské biorytmy, podporuje imunitní systém a metabolické procesy. Proto je důležité, aby se na pracovišti co nejvíce umožnilo využívat denní světlo. V dnešních výrobních halách je však realita trochu jiná a upřednostňuje se především umělé osvětlení [4,7].

Dlouhodobé nedostatečné osvětlení na pracovišti může vést ke zhoršení zraku, bolestem hlavy a zrakové únavě. Rovněž mohou pracovníci chybně přečíst značení na ventilech nebo kontrolních panelech obzvláště v kombinaci se znečištěním. Naopak silné osvětlení může odvést pozornost a způsobit diskomfort. Tabulka 2 uvádí do souvislosti pracovní činnosti a požadovanou osvětlenost v kombinaci s kontrastem pozadí. Z tabulky je patrné, že čím jemnější pracovní činnost tím vyšší musí být osvětlenost na pracovišti [4,7].

Tab 2) Vztah mezi činností, osvětleností a kontrastem [7]

Činnost	Požadavky na zrakový výkon	Kontrast	Osvětlenost [lx]
<b>Mimořádně jemné práce</b> – montážní práce a výroba, hodinářství, jemné zámečnické práce, klenotnictví	velké	malý	5000
		střední	3000
		velký	2000
<b>Středně jemné práce</b> – strojní obrábění, řezání, broušení, opravy automobilů, zámečnická práce, náročné balení a třídění, kontrola výrobků	průměrné	malý	500
		střední	300
		velký	200
<b>Hrubé práce</b> – manipulace s břemeny, hrubé nýtování, nenáročná svařování, hrubá kontrola chodu dopravníků	malé	malý	200
		střední	150
		velký	100

### 3.5.4 Barevné řešení pracoviště

Barva použitého světla i barvy interiéru je nezbytné zohlednit při ergonomickém návrhu pracoviště. Spektrum světla se skládá z 6 barev (fialová, modrá, zelená, žlutá, oranžová a červená), na které lidské oko reaguje různě. Ve vnitřních prostorách pracoviště je vhodné volit teplejší světlo například žluté, nebo alespoň bílé světlo (poměrné zastoupení barevných složek je téměř stejné). Správné osvětlení a barevné řešení pracoviště dokáže zvýšit produktivitu a pracovní pohodu. Při návrhu pracoviště je nezbytné dbát i na barvy podlah, stěn, nábytku a dalšího vybavení [7].

### 3.5.5 Teplota

Vysoká nebo naopak nízká teplota na pracovišti může negativně ovlivnit výkon pracovníků. V případě chladu pracovník ztrácí jemnou motoriku, obratnost i sílu, jinými slovy, chlad ovlivňuje kontrolu svalů. Zvýšená teplota pak může pracovníky vyčerpávat, může způsobit nadměrné pocení u fyzicky náročné práce, což může vést k poklesu ostražitosti a osobního pohodlí. V důsledku vysoké teploty může dojít ke ztrátě potřebných minerálů a solí, proto by zaměstnavatel měl poskytnout ochranné nápoje v případě, že technické řešení nedovoluje účinně ochlazovat pracoviště. Extrémní teplotou bývají ovlivňováni hlavně začátečníci, jelikož zkušenější pracovníci se stávají resistantnějšími [4, 7].

### 3.5.6 Vlhkost a atmosférické podmínky

Vlhkost vzduchu ovlivňuje především osobní pohodlí. V našich zeměpisných šířkách obvykle nebývá problém zajistit optimální relativní vlhkost vzduchu v místnostech (40 až 60 %). Přesto se může stát, že v extrémních podmínkách klesne pod 20 %, kdy dochází k vysychání sliznic, nebo naopak přesáhne 80 %, což může vést ke tvorbě plísní. Oba případy jsou zdraví škodlivé [7].

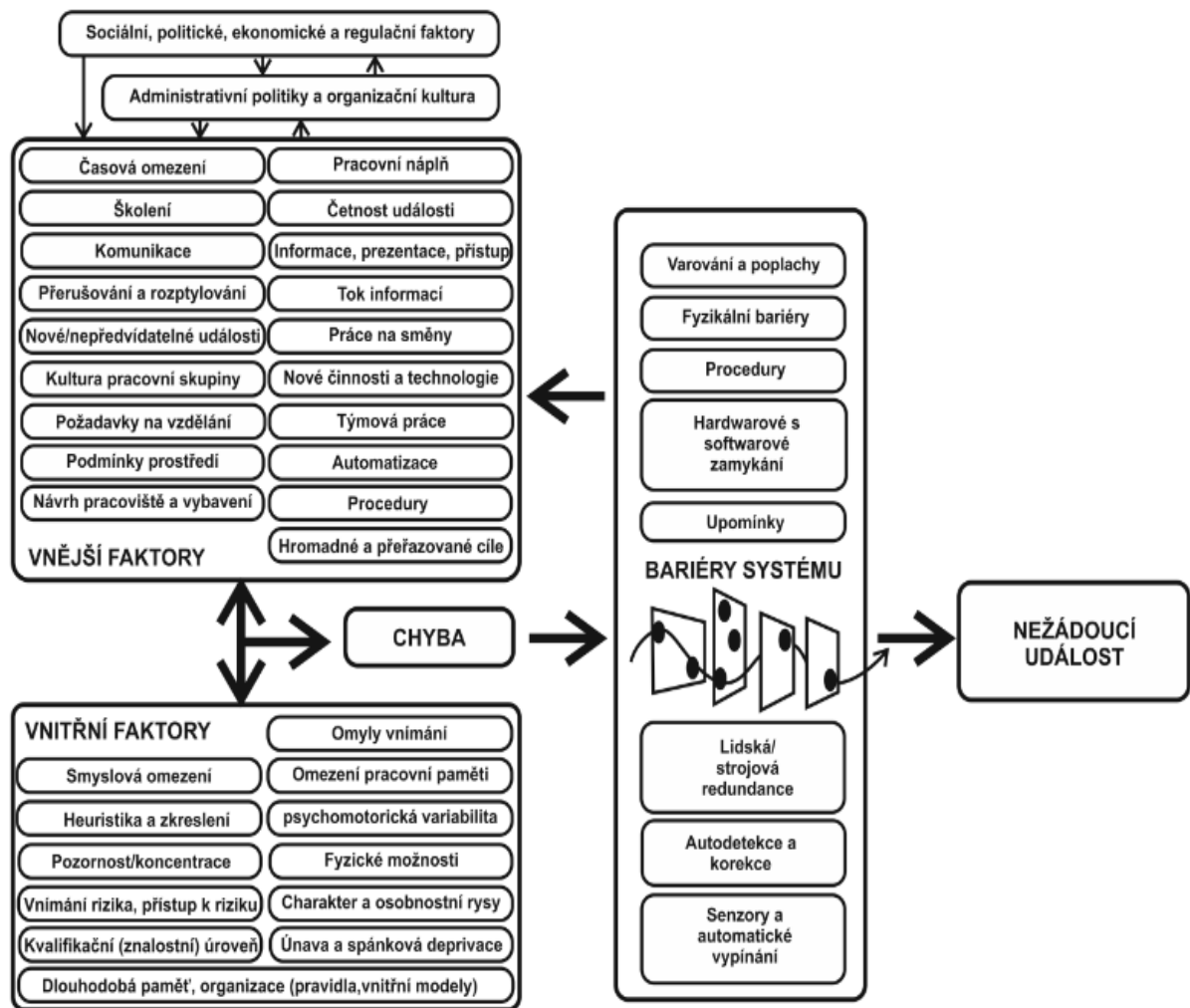
U mnoha pracovních činností jsou pracovníci vystaveni prachu, plynům a parám. V těchto případech musí zaměstnavatel poskytnout osobní ochranné prostředky, které obvykle sníží osobní komfort pracovníků a ne vždy je poctivě využívají. Takové chování může vést ke vzniku pracovního úrazu nebo při dlouhodobé expozici i trvalému zhoršení zdraví [4].

## 3.6 Kauzalita nehodového děje

Pro kvantitativní analýzu lidského činitele je nezbytné znát scénář nehodového děje, který může za daných okolností nastat. Velmi často pro tyto predikce byly dříve používány stromové metody FTA a ETA. Jejich nevýhodou však je, že jen minimálně zohledňují lidský faktor, jelikož je velmi složité do technické analýzy děje zahrnout individualitu a variabilitu lidského chování a přemýšlení bez použití speciálních metod pro odhad lidské spolehlivosti [13].

Rozvoj metod kognitivního přístupu umožnil lépe pochopit lidské jednání a změnil se přístup k řešení nehodových dějů. Chyba již nebyla vnímána jako důsledek jedné nežádoucí akce, nýbrž jako proces, který zahrnuje několik po sobě jdoucích akcí, jež překonávají ochranné systémy (bariéry), což vede k nežádoucímu stavu. Tento model se nazývá kauzalita. Reason jako první vytvořil bariérový systém, jež se přirovnává k modelu švýcarského sýru, a který byl rozšířen Sharitem o podrobnější popis faktorů, které mohou ovlivňovat výkon člověka a také o zpětné vazby. Sharitův model kauzality je znázorněn na obr. 2. Zpětné vazby znázorňují správnou reakci ochranných bariér na chybnou akci člověka. Z uvedeného obrázku vyplývá, že existuje velké množství faktorů, které negativně (některé však i pozitivně) mohou ovlivňovat výkon člověka. Spektrum těchto faktorů je široké a zahrnují faktory z kategorie sociální,

fyzikální, organizační, psychologické a socioekonomické. Tyto faktory jsou rozděleny na vnější a vnitřní. Kombinace a kumulace těchto faktorů může vést k chybě člověka, jak je znázorněno šipkami. Vzniklá chyba je zanesena do systému a v případě, že překoná ochranné bariéry (zmiňovaný model švýcarského sýru), pak vede k nežádoucí události. V případě, že ochranné systémy zachytí danou chybu, pak nemusí dojít k nežádoucí události, ale může dojít k zastavení stroje nebo procesu, popřípadě je vyžadována další akce člověka, kterou opět ovlivňují již zmiňované faktory [13].



Obr. 2) Kauzalita nehodového děje [13]

### 3.7 Člověk vs. Stroj

Vykonávat úkoly nebo obsluhovat stroj za účelem dosažení cíle je úlohou lidí v pracovním systému. Jejich činnosti je možno dělit na dvě role – monitorovací a aktivní. Lidé mohou pozitivně nebo i negativně ovlivňovat daný proces, jak už bylo zmíněno dříve. Vliv člověka se rozpíná přes všechny stádia životního cyklu a zahrnuje široké spektrum lidí od obsluhy stroje až po projektového manažera. V každé úrovni a každý člověk na dané úrovni může ovlivnit spolehlivost systému. Při celkové spolehlivosti systému se musí brát ohled na tuto skutečnost, jelikož lidské chyby mohou mít závažné důsledky [14].

Na druhou stranu stroje jsou navrženy tak, aby vykonávali předem určené funkce pro dosažení daných cílů a výkonosti. V provozu stroje poskytují informace v podobě zpětných vazeb, aby člověk mohl provést příslušné reakce a posouvat tak proces dále. Aby tyto interakce mezi člověkem a strojem byly efektivní, je potřeba, aby se ve všech částech životního cyklu počítalo s lidskými hledisky a ergonomií [14].

V následující tabulce 3 jsou uvedeny výhody stroje a člověka v pracovním systému.

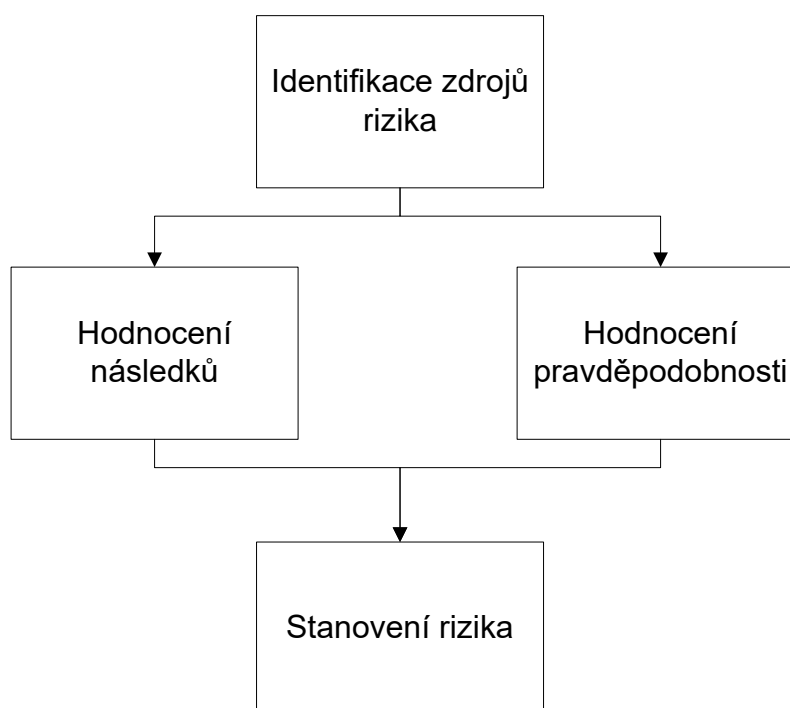
Tab 3) Výhody člověka a stroje v pracovním systému [14]

Člověk	Stroj
Schopnost vnímat charakter světla nebo zvuku	Schopnost zjistit malé množství a širší rozsah vizuálních a akustických signálů
Schopnost improvizovat a používat flexibilní postupy	Schopnost rychle reagovat na řídicí signály a přesně uplatnit velkou sílu
Schopnost uchovat velké množství informací a vzpomenout si na důležitá fakta	Schopnost důsledně a přesně vykonávat rutinní úkoly
Schopnost induktivně usuzovat	Schopnost deduktivně usuzovat, včetně výpočetní techniky
Schopnost uplatňovat názor	Schopnost zvládat vysoce složité operace a provádět mnoho operací najednou

Mezi další významné rozdíly se řadí schopnost člověka učit se a rozvíjet. Stroje jsou obvykle vyrobeny pro jeden účel s určitou možností modifikace. Člověk je tedy schopen provádět širší spektrum činností. Naopak hlavní výhodou strojů je to, že jsou určeny k vykonávání přesných opakujících se operací, k čemuž člověk není biologicky ani psychologicky stavěný. Stroje výrazně předčí člověka v rychlosti práce a síle. Další výhodou strojů je to, že nejsou ovlivňovány jak vnějšími, tak vnitřními faktory jako člověk a jednájí bez emocí. Stroje však nejsou určeny ke kreativní práci, jelikož nejsou schopni tohoto typu uvažování na rozdíl od člověka [14].

## 4 VYBRANÉ METODY K IDENTIFIKACI RIZIK

Analýzu rizik by pravidelně měla provádět každá firma. Existuje mnoho metod k analýze rizik, vybrané metody pak budou uvedeny v této diplomové práci. Jednoduché základní schéma analýzy rizik je uvedeno na obr. 3 a skládá se ze čtyř kroků. V prvním kroku by měly být identifikovány všechny zdroje rizika. Následují kroky, při kterých jsou hodnoceny následky a pravděpodobnost situace. Kombinací těchto kroků je stanovena hodnota rizika. Tyto čtyři obecné kroky mají různé metody k analýze rizik společné a nezáleží na tom, jak rozsáhlá analýza se provádí a k čemu je vztažena [8].



Obr. 3) Základní kroky analýzy rizik [8]

### 4.1 Studie nebezpečí a provozuschopnosti – HAZOP

Metoda HAZOP (Hazard and Operability study) byla poprvé představena v polovině 60. let společností Imperial Chemical Industries (ICI). Přibližně o 10 let později byla tato metoda definována jako prostředek k identifikaci odchylek od zamýšleného návrhu a byl publikován první návod [9, 10].

Původně byla tato metoda vyvíjena za účelem identifikovat možné nebezpečí a vyhodnotit rizika při výrobě chemikálií nebo jiných nebezpečných látek, aby se zamezilo možnosti výbuchu, požáru nebo úniku látek do okolí. Nicméně za roky vývoje se z této metody stal poměrně univerzální nástroj pro analýzu rizik, který se využívá v mnoha odvětvích [9, 10].

Proces analýzy rizika prostřednictvím metody HAZOP je týmová práce, kde tým je tvořen řadou odborníků (technici, inženýři výroby, technologové, odborníci z oblasti bezpečnostního inženýrství apod.) a skládá se z několika fází, během kterých se systematicky prochází všechny části zařízení. V první fázi se musí stanovit cíle, účel a určit vedoucího týmu, který řídí a koordinuje celý tým. Ve druhé fázi se provádí samotná analýza za použití klíčových

slov a ve třetí fázi se navrhnou nápravná opatření v návaznosti na nalezená rizika a sepisuje se dokumentace. Pro analýzu HAZOP jsou charakteristická klíčová slova, která se využívají k odhalení odchylek a jsou uvedena v tab. 4 [9, 10].

Tab 4) Klíčová slova k analýze HAZOP [10]

Klíčové slovo	Význam
NENÍ	úplná negace původní funkce
VĚTŠÍ	kvantitativní nárůst
MENŠÍ	kvantitativní pokles
A TAKÉ, JAKOŽ I	kvalitativní nárůst (výskyt ještě jiného případu)
A ROVNĚŽ	kvalitativní nárůst
ČÁSTEČNĚ	kvalitativní pokles
REVERZE	opačná funkce (činnost)
JINÝ	úplná náhrada
PŘEDČASNÝ	předčasná funkce (činnost)
ZPOŽDĚNÝ	opožděná funkce (činnost)

Výhodou této metody je systematická identifikace nebezpečných událostí a lepší pochopení daného zařízení. Možnou nevýhodou této metody je, že se vyžadují znalosti a zkušenosti jak dané metody, tak i analyzovaného objektu nebo procesu. Rovněž tato metoda je poměrně časově náročná, jelikož tým se musí opakovaně scházet [9, 10].

Metoda HAZOP bývá často doplněna hodnocením rizik. Na základě stanovení míry rizika se určují priority nápravných opatření. Obvykle je využíváno dvouparametrické hodnocení, které zohledňuje četnost výskytu a závažnost následků. Na základě těchto dvou parametrů je vyhodnocena míra rizika. V následujících tabulkách 5 a 6 jsou uvedeny hodnoty parametrů a v tabulce 7 pak vyhodnocení rizika [10].

Tab 5) Četnost výskytu – parametr P [10]

P	Četnost výskytu
1	velmi malá
2	malá
3	střední
4	velká
5	velmi velká

Tab 6) Závažnost důsledků – parametr S [10]

S	Ztráty nebo zranění
1	Bez ztrát nebo zranění
2	Drobné ztráty nebo zranění
3	Střední ztráty nebo vážná zranění
4	Vysoké ztráty nebo smrtelný úraz
5	Velmi vysoké ztráty nebo více smrtelných úrazů

Tab 7) Kumulativní vyhodnocení rizika – R [10]

<b>R = P + S</b>	<b>Riziko</b>
1 až 2	nevýznamné
3 až 5	málo významné
6 až 10	významné

Na základě výše uvedených tabulek bude vyhodnocována míra rizika v praktické části této diplomové práce.

#### 4.1.1 Human HAZOP

Metoda Human HAZOP reflektuje skutečnost, že mnoho chyb ve výrobě je zapříčiněno lidským činitelem. Tato metoda je modifikací klasické analýzy HAZOP. Liší se pouze v klíčových slovech. Strukturou a organizací jsou totožné. Klíčová slova pro metodu Human HAZOP jsou uvedena v tab. 8. Tato analýza slouží k odhalení slabých míst ve výrobě z hlediska lidského činitele a vyvození nápravných opatření [11].

Tab 8) Klíčová slova k analýze Human HAZOP [11]

<b>Klíčové slovo</b>	<b>Význam</b>
NEPROVEDENO	akce neprovedena
OPAKOVÁNO	akce provedena vícekrát
MÉNĚ	akce byla provedena s menším účinkem
VÍCE	akce byla provedena s větším účinkem
DŘÍVE	akce byla provedena dříve
POZDĚJI	akce byla provedena později
A TAKÉ	byla provedena ještě jiná akce
OBRÁCENĚ	posloupnost akcí byla porušena
JINÝ NEŽ	byla provedena jiná akce
ČÁST	byla provedena jen část akce

## 4.2 Analýza způsobů a důsledků poruch – FMEA

### 4.2.1 Úvod

FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) je systémová metoda k identifikaci a prevenci rizik. Hlavním cílem této metody je předcházet kvalitativním problémům a zvyšovat bezpečnost zařízení. Existují tři druhy této metody a to: systémová, konstrukční a procesní FMEA. FMEA byla vyvinuta v 60. letech 20. století a poprvé byla aplikována v kosmickém průmyslu. Dále byla využívána v chemickém průmyslu a jejím hlavním cílem bylo zvýšit bezpečnost a zabránit haváriím nebo nehodám. V dnešní době je to poměrně rozšířená a oblíbená metoda obzvláště v automobilovém průmyslu [12].

### 4.2.2 Účel metody

Účelem této metody je identifikovat způsoby poruch, které mají nepříznivé důsledky pro provoz systému nebo ovlivňují bezpečnost osob. Dále se provádí za účelem zefektivnění návrhu, vývoje a procesů a za účelem předcházení vzniků rizik. Metoda FMEA může být použita jako součást procesu managementu rizik ve firmě. Často se tento typ metody vyžaduje od zákazníků

dané firmy jako důkaz o managementu rizik, čímž se zvyšuje důvěryhodnost a konkurence schopnost firmy. Rovněž může tato metoda vytvářet podklady pro další analýzy spolehlivosti, popřípadě může poskytovat základ pro plánování údržby a další programy zaměřené na bezporuchovost [15].

### 4.2.3 Etapy tvorby a typy metody

Pro správnou a úspěšnou aplikaci této metody je potřeba pracovat v týmu. Tým by měl být sestaven ze zkušených pracovníků z oblasti vývoje, technologie, procesu, kvality a bezpečnosti. Proces tvorby by měl probíhat při několika sezeních, záleží na rozsahu a podrobnosti. Rozlišují se tři etapy při realizaci této metody: plánování, provádění a dokumentace. Při plánování analýzy jsou vymezeny cíle a rozsah, dále jsou definovány rozhodovací kritéria, je stanovena forma zápisu a protokol a jsou nastavena pravidla, která budou dodržována během celého procesu. V etapě provádění jsou identifikována rizika a jiné příčiny poruch. Dále je stanovena jejich závažnost a v případě, že se jedná o rizika nebo příčiny, které musí být odstraněny, tak jsou vymyšlena nápravná opatření, která sníží jejich závažnost. Ve finální etapě jsou veškeré akce patřičně zdokumentovány a uloženy [12, 15].

Existují tři typy metody FMEA, nejpoužívanější jsou pak konstrukční a procesní FMEA [12]:

- a) Konstrukční FMEA – Cílem tohoto typu metody FMEA je odhalit konstrukční vady produktu, které by mohly vyústit v ohrožení zdraví člověka nebo ke kvalitativním problémům.  
Konstrukční FMEA je použitelná v každé fázi procesu návrhu produktu (předběžný návrh, výroba prototypu, finální návrh). Případně může být použita i na produkty ve výrobě.
- b) Procesní FMEA – Procesní FMEA pomáhá odhalit problémy, které jsou spojeny s výrobou produktu. Obvykle se používá v případě automatické výroby, kdy se vyskytne problém například se sestavením produktu nebo na produktu chybí některé části a je potřeba zjistit, proč se tak děje a co je příčinou.
- c) Systémová FMEA – Systémová FMEA prověřuje funkčnost a součinnost jednotlivých komponent systému v rámci komplexního systému

### 4.2.4 Hodnocení kritičnosti – číslo RPN

Hodnocení kritičnosti je využíváno při hodnocení rizika a pomáhá určit závažnost dané skutečnosti, a také pomáhá určit priority pro řešení nápravných opatření a mělo by být součástí každého formuláře pro řešení metody FMEA. Existují různé metody pro hodnocení kritičnosti, ale v této diplomové práci bude popsána metoda RPN, kterou popisuje i norma ČSN EN IEC 60812 [15].

Risk Priority Number (RPN) neboli číslo priority rizika se získá kombinací třech parametrů, kterým je přiřazena určitá hodnota. Mezi tyto parametry se řadí závažnost (S – Severity), výskyt (O – Occurrence) a detekovatelnost (D – Detectability), které mohou obvykle nabývat hodnot od 1 do 10. Obvykle platí, že číslo RPN je součin zmiňovaných parametrů, z čehož vyplývá, že může dosahovat hodnot od 1 do 1000 [15].

$$RPN = S \times O \times D$$

V první etapě procesu tvorby metody FMEA se musí určit, které hodnoty RPN jsou přijatelné a naopak. V případě překročení stanovené kritické hranice se musí vymyslet a zavést



nápravné opatření pro dané riziko. Je důležité, aby se při vyhodnocování jednotlivých parametrů postupovalo pečlivě, jelikož by mohlo dojít k zavádějícím výsledkům [15].

V následujících tabulkách bude uveden příklad hodnoty parametrů a co tyto hodnoty představují. Pro každou FMEA se může popis parametrů lišit v závislosti na procesu nebo analyzované oblasti. Princip by však měl být zachován stejný.

Tab 9) Závažnost – S [16]

Závažnost	Důsledek	Hodnocení
Kritická, bez výstrah	Ohrožení operátora nebo zařízení bez výstrahy	10
Kritická s výstrahou	Ohrožení operátora nebo zařízení s výstrahou	9
Velmi závažná	Prvek je nefunkční, ztráta klíčových vlastností, 100 % výrobků znehodnoceno	8
Závažná	Prvek funguje, ale jeho úroveň výkonu je snížena, část výrobků (menší než 100 %) znehodnocena	7
Mírná	Kosmetické vady výrobku, část výrobků může být znehodnocena (menší než 100 %)	6
Nízká	Kosmetické vady výrobku, přetřídění výrobků, část výrobků je nutné přepracovat mimo linku (menší než 100 %)	5
Velmi nízká	Kosmetické vady výrobku, přetřídění výrobků, část výrobků je nutné přepracovat (menší než 100 %)	4
Nepatrná	Přepracování části výrobků (menší než 100 %) na lince mimo normální pozici	3
Zanedbatelná	Přepracování části výrobků (menší než 100 %) na lince a normální pozici	2
Nulová	Žádný znatelný důsledek	1

Tab. 9 je zdokumentován parametr S. V levém sloupci je popsána míra závažnosti, v prostředním sloupci pak charakteristika dané závažnosti a v pravém sloupci je uvedeno číselné hodnocení.

Tab 10) Výskyt – O [16]

Pravděpodobnost výskytu	Četnosti chyb	Hodnocení
Velmi vysoká – neustálý výskyt chyby	$\geq 100$ na 1000 kusů	10
	50 na 1000 kusů	9
Vysoká – častý výskyt chyby	20 na 1000 kusů	8
	10 na 1000 kusů	7
Mírná – občasný výskyt chyby	5 na 1000 kusů	6
	2 na 1000 kusů	5
	1 na 1000 kusů	4
Nízká: Malá možnost výskytu chyby	0,5 na 1000 kusů	3
	0,1 na 1000 kusů	2
Vzácná: Chyba je nepravděpodobná	$\leq 0,01$ na 1000 kusů	1

Tab. 10 je zdokumentován parametr O. V levém sloupci je popsána pravděpodobnost výskytu, v prostředním sloupci je uvedena četnost chyb k dané pravděpodobnosti výskytu a v pravém sloupci je uvedeno číselné hodnocení.

Tab 11) Detekovatelnost – D [16]

Detekce	Popis	Hodnocení
Téměř vyloučeno	Absolutní jistota, že nedojde k odhalení chyby	10
Velmi nepravděpodobné	Chyba pravděpodobně nebude odhalena	9
Nepravděpodobné	Existuje malá šance odhalit chybu	8
Velmi malá pravděpodobnost	Existuje malá šance odhalit chybu	7
Malá pravděpodobnost	Existuje šance odhalit chybu	6
Nízká pravděpodobnost	Existuje šance odhalit chybu	5
Vyšší pravděpodobnost	Existuje dobrá šance odhalit chybu	4
Vysoká pravděpodobnost	Existuje dobrá šance odhalit chybu	3
Velmi vysoká pravděpodobnost	Téměř jisté odhalení chyby	2
Téměř jisté	Jistota odhalení chyby	1

Tab. 11 je zdokumentován parametr D. V levém sloupci je popsána pravděpodobnost odhalení, v prostředním sloupci pak charakteristika dané pravděpodobnosti a v pravém sloupci je uvedeno číselné hodnocení.

### 4.3 Analýza stromu poruchových stavů – FTA

Fault Tree Analysis (FTA) neboli Analýza stromu poruchových stavů je jednou z analytických metod pro analýzu spolehlivosti. Metoda FTA se často využívá k určení bezpečnosti systémů. Jedná se o deduktivní metodu k určení příčin nebo kombinaci příčin, které mohou vést k vrcholové události. Tento sled událostí se zapisuje do formy stromu poruchových stavů, což je organizovaná grafická reprezentace podmínek nebo jiných faktorů, které vedou ke zmíněné vrcholové události. Vrcholovou událostí může být například selhání systému, porucha nebo třeba nebezpečný stav. Výhodou stromu poruchových stavů může být snadná pochopitelnost, analyzovatelnost a v případě potřeby je možné ho přeskupit, aby se usnadnila identifikace [17]:

- Faktorů ovlivňujících vrcholovou událost
- Faktorů ovlivňujících znaky bezporuchovosti a výkonosti systému
- Událostí ovlivňujících více než jednu součást

Uplatnění metoda FTA nalezne zejména při analýze systému, které se skládají z více funkčně propojených nebo závislých systémů. Obzvláště vhodné je použít FTA v případě, že výsledný systém je tvořen několika nezávislými technickými skupinami, jelikož je tyto skupiny možno sloučit do jedné logické struktury. FTA má široké spektrum uplatnění, které se rozpíná přes různá průmyslová odvětví, příkladem mohou být: jaderné elektrárny, dopravní systémy, zdravotnické systémy, železniční systémy nebo výrobní průmysl apod. Obecně platí, že FTA se využívá jako nástroj například pro [17]:

- Stanovení logické kombinace událostí vedoucích k vrcholové události
- Zkoumání systému v průběhu vývoje a předvídání a zabránění vzniku potenciální příčiny vzniku nežádoucí vrcholové události
- Analýzu systému, určení bezporuchovosti nebo určení hlavních příčin poruchovosti
- Při pravděpodobnostním posuzování rizika

Metodu FTA lze použít ve všech fázích návrhu nebo modifikace produktu. Velmi často se také kombinuje s jinými metodami (např. FMEA a ETA) [17].

#### Kombinace metod FTA a FMEA

Kombinace těchto metod je poměrně často využívána, zejména v případě bezpečnostní analýzy. Mezi výhody této kombinace se řadí [17]:








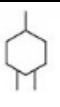



- FTA je deduktivní metoda, kdežto FMEA induktivní, proto se dobře doplňují a je vhodné je zkombinovat pro úplnost analýzy
- FMEA je vhodná pro analýzu jedné poruchy, FTA je v tomto směru univerzálnější a hodí se pro analýzu jedné i vícenásobných poruch
- FMEA je vhodná metoda pro identifikaci základních událostí a nebezpečí, kdežto FTA je vhodná metoda pro kauzální analýzu událostí

Zmíněné výhody tedy naznačují, že tyto dvě metody je vhodné kombinovat, jelikož se doplňují. Což demonstruje i následující fakt a to, že jakákoliv vrcholová událost nebo porucha v analýze FTA se musí objevit i v analýze FMEA [17].

Jak již bylo zmíněno výstupem z analýzy FTA je strom poruchových stavů, jež vedou k vrcholové události. Při tvorbě stromu se využívá logické značení, které by mělo být konzistentní a je například popsáno v normě ČSN EN 61025, která se zabývá metodou FTA.

V této diplomové práci budou popsány často používané vybrané značky. Jejich přehled je shrnut v tab. 12 [17].

Tab 12) Často používané značky pro metodu FTA

Značka	Název značky	Popis
	Základní událost	Způsob poruchy součásti nebo jednotlivá příčina poruchy
	Podmínková událost	Jedná se o podmínkovou událost, která je nutná pro výstupní událost
	Neaktivní událost	Primární událost, která reprezentuje možnou poruchu a je možná ji detekovat při kontrole nebo analýze
	Nerozvíjená událost	Primární událost, která reprezentuje dosud nerozvinutou část systému
	Přepínací událost	Událost řízená uživatelem, která umožňuje provádět variantní analýzu za různě definovaných podmínek systému
	Hradlo OR	Výstupní událost nastane, jestliže nastane jakákoliv ze vstupních událostí
	Hradlo AND	Výstupní událost nastane pouze tehdy, jestliže nastanou všechny vstupní události
	Hradlo INHIBIT	Výstupní událost nastane pouze tehdy, jestliže nastanou obě vstupní události, z nichž jedna je podmínková
	Hradlo NOT	Výstupní událost nastane pouze tehdy, jestliže nenastane vstupní událost
	Hradlo NOR	Výstup nastane, jestliže nenastane žádná ze vstupních událostí
	Hradlo NAND	Výstupní událost nastane, jestliže nenastane nejméně jedna vstupní událost

## 5 METODA PRO IDENTIFIKACI JEDNOTLIVÝCH ČINNOSTÍ

### 5.1 HTA – Hierarchical Task Analysis

První zmínky o analýze HTA pocházejí z roku 1967, přestože se oblast lidské spolehlivosti rychle vyvíjela, HTA zůstala jedním z pilířů jako součást metodologie pro posouzení lidské spolehlivosti dodnes a existuje přesvědčení, že tomu tak bude i v následujících letech. Česky se tato metoda nazývá Hierarchická analýza úkolů.

HTA je velice oblíbená metoda, jelikož má široké uplatnění a je velice užitečná. Existuje také řada doplňků a rozšíření této metody. Rovněž se HTA kombinuje i s jinými metodami nebo je součástí určité metodologie. Důvodem, proč je tato metoda tak oblíbená může být fakt, že byla založena na silných teoretických základech a je zaměřena na řešení reálných problémů. Samotný postup při analýze HTA je poměrně flexibilní, a proto je možné tuto metodu aplikovat v různých průmyslových odvětvích. Přestože se HTA za roky její existence vyvinula, základní myšlenky zůstaly nedotčeny a stále jsou součástí analýzy. HTA poskytuje hierarchický komplexní model, který zahrnuje cíle, subcíle, úkoly a dílčí úkoly v systému. Hierarchický model je vhodný pro všechny další druhy analýz, proto se HTA obvykle používá na samém začátku procesu analýzy rizik [19, 20].

Princip analýzy spočívá v určení cílů, kterých má být dosaženo správným vykonáním úkolů. Jednotlivé úkoly jsou definovány pomocí požadavků, které jsou zahrnuty do hierarchie cílů a subcílů. Pro dosažení určitého cíle nebo subcíle je zapotřebí vykonat určité operace. Klíčovými znaky operace jsou podmínky, které v kombinaci s dalšími akcemi vedou ke splnění cíle. Jak už bylo zmíněno, jedná se o hierarchický model, kde na nejvyšší úrovni se nachází hlavní cíl. Pod tímto cílem se pak nacházejí jednotlivé subcíle, které mají definované pořadí, které závisí na plánu činností. Pro zjištění správného pořadí je zapotřebí získat detailní informace o daném procesu, které je možné získat například pozorováním nebo z pracovních pokynů apod [19, 20].

Výstup HTA je tvořen tabulkou nebo úkolovým diagramem, kde jsou přehledně vyznačeny cíle a subcíle, operace a plány v hierarchickém uspořádání. Úkolový diagram je přehledný a zobrazuje jednotlivé cíle a subcíle na dané úrovni včetně funkčních podmínek. Tabulka je vhodnější pro složité strukturované procesy, kde by grafické znázornění nebylo možno provést přehledně. Rovněž by měly být uvedeny požadavky na zlepšení [19, 20].

Mezi hlavní výhody této metody se řadí [19, 20]:

- HTA je jednou z nejlepších metod daného zaměření.
- Univerzální metoda, která je vhodná pro jakýkoliv proces nebo systém.
- Startovací analýza ostatních metod.
- Všeobecně uznávaná a používaná metoda.

## 6 METODY A METODOLOGIE PRO KVANTIFIKACI LIDSKÝCH CHYB

V této kapitole diplomové práce budou uvedeny vybrané metody pro posouzení lidské spolehlivosti. Při analýze lidské spolehlivosti, anglicky Human Reliability Assessment (HRA), se využívají kvalitativní i kvantitativní metody, které vyhodnocují vliv lidského činitele na celkovou spolehlivost. Existuje poměrně velké množství metod HRA, které se zaměřují na vysoce rizikové průmysly (např. jaderný, chemický), ale i na ostatní odvětví a lze je tedy použít i ve výrobních závodech apod. [18].

Metody HRA můžeme rozdělit na dva druhy – HRA první generace a HRA druhé generace, mezi kterými jsou určité rozdíly. Metody první generaci uvažují nad lidským selháním jako nad poruchou hardwaru, kdy výstup z lidských činností nahrazuje výstup ze zařízení. Při dosahování výsledků se lidská činnost posuzuje binárním způsobem. To znamená, že se posuzuje, zda zásah člověka byl úspěšný nebo neúspěšný. První generace rovněž předpokládá, že úkoly a vedlejší úkoly mají inherentní pravděpodobnost neúspěchu, která je modifikována faktory, které mají vliv na výkonost a vycházejí z ergonomického hodnocení pracoviště. Metody první a druhé generace se liší způsobem, kterým jsou odhadovány pravděpodobnosti lidské chyby a začleňovány faktory ovlivňující výkonost. Metody druhé generace modelují a hodnotí roli okolí a lidského chování při rozhodování a jaké nežádoucí účinky mohou mít na systém. Jsou to metody, které se začaly vyvíjet teprve v 90. letech minulého století, to znamená, že se stále rozvíjejí, ale i tak nabízejí užitečný vhled do problematiky lidské spolehlivosti. [14, 18].

Mimo již zmíněné dva druhy metod HRA existují i metody založené na znaleckém posudku. Tyto metody byly populární v 80. letech 20. století a dodnes se využívají zejména v průmyslových odvětvích, které nepředstavují vysoké bezpečnostní riziko. Tyto metody jsou určeny pouze pro zkušené odborníky v daném oboru, kde daný odborník posuzuje a vyhodnocuje možné havarijní nebo nebezpečné scénáře. Tento typ HRA může být zpochybnitelný, nicméně se stále využívá, jelikož mohou mít užitečný informativní přínos [18].

Existuje řada studií, jež se zabývají studiem metod HRA. V této diplomové práci bylo vycházeno ze studie *Review of human reliability assessment methods (2009)*, ve které bylo nalezeno celkově 72 možných metod HRA. Z celkového množství však jich 37 bylo vyloučeno z důvodů nízké důvěryhodnosti nebo podrobnosti. Zbylých 35 je ve studii řešeno, avšak většina z těchto metod nalezne uplatnění pouze v jaderném průmyslu, což pro účely této diplomové práce je irelevantní. Na základě normy ČSN EN 62508 a zmíněné studie bylo vybráno 7 technik, které budou podrobněji popsány v následujících podkapitolách. Je důležité rozdělovat mezi metodami a metodologiemi. Metody HRA jsou určeny ke kvalitativnímu nebo kvantitativnímu zhodnocení lidské spolehlivosti, kdežto metodologie nabízejí komplexní postup, který zahrnuje více metod různých druhů (např. FTA, FMEA, ETA a další).

## 6.1 Metody ke kvantifikaci lidských chyb

### 6.1.1 HEART – Human Error Assessment and Reduction Technique

HEART je metoda první generace, která byla vyvinuta Williamsem v roce 1985. Tato metoda je relativně rychlá a jednoduchá a využívá se pro kvantifikaci lidské chyby. Jedná se o metodu s obecným uplatněním, která je vhodná pro jakýkoliv případ nebo průmyslové odvětví, kde je spolehlivost lidského činitele důležitá. Metoda HEART vychází z mnoha předpokladů. Jedním z nich je předpoklad, že lidská spolehlivost se odvíjí od podstaty úkolu, který je prováděn. Dalším předpokladem je, že v případě ideálních podmínek bude daná úroveň spolehlivosti v pravděpodobnostních mezích. Vzhledem k tomu, že ideální podmínky jsou jen těžko dosažitelné, lidská spolehlivost se může snížit v závislosti na odchylkách od ideálních podmínek [18, 21].

Vyhodnocení metody HEART je tvořeno následujícími kroky:

- Provést analýzu úkolů a rozdělit je do 9 obecných typů úkolů.
- Přiřadit hodnotu pravděpodobnosti lidské chyby (HEP) každému úkolu.
- Rozhodnout, které z 38 podmínek, které podporují vznik chyby, ovlivňují daný úkol a jako mírou.
- Vypočítat hodnotu HEP pro daný úkol.

Přínosem metody HEART může být schopnost odhalit slabá místa, popřípadě určit místa pro možné zlepšení. Jako všechny metody má i tato metoda své výhody a nevýhody [18]:

Výhody:

- Všestranná, rychlá a relativně jednoduchá metoda
- Poskytuje návrhy pro snížení vzniku chyb.
- Není náročná na zdroje.

Nevýhody:

- Vyžaduje jednoznačné popsání úkolů pro správné přiřazení podmínek.
- Není jasné, do jaké míry se má postupovat při dekompozici jednotlivých úkolů během analýzy.
- Subjektivní posuzování při určování míry vlivu negativních podmínek.

### 6.1.2 APJ – Absolute Probability Judgements

Jak název napovídá, APJ je metoda založena na odhadu a názoru odborníka, která má však matematické podklady, které byly vyvinuty v roce 1983 dvojicí Seaver a Stillwell. Existuje příručka, ve které jsou nastíněny příklady a formáty této metody. Koncepčně je APJ poměrně přímočará metoda pro kvantifikaci spolehlivosti lidského činitele, jelikož předpokládá, že člověk provádějící studii jednoduše dokáže odhadnout pravděpodobnost chyby při činnosti nebo události. V případě, že by APJ prováděl jeden člověk, výsledky by nemusely být odpovídající, proto se doporučuje provádět APJ v týmu a existují 4 přístupy, jak provést a vyhodnotit výsledky [18]:

- Souhrn individuálních metod – každý člen týmu provede vlastní odhady. Výsledek se stanoví pomocí geometrického průměru z jednotlivých odhadů.
- Metoda Delphi – tato metoda se liší od předchozí tím, že se individuální odhady sdílí, ještě před celkovým hodnocením a při té příležitosti mají odborníci možnost

přehodnotit svůj odhad na základě nových informací. Pak je opět proveden geometrický průměr.

- Technika nominální skupiny – tento přístup je podobný metodě Delphi s tím rozdílem, že přehodnocení odhadů probíhá utajeně a teprve potom jsou výsledky statisticky vyhodnoceny.
- Metoda skupinového odhadu – při této metodě se sejde skupina odborníků a jejich odhady jsou prováděny na základě společné domluvy.

Jak vyplývá z předchozího textu APJ je náročná na lidské zdroje, jelikož ji musí provádět zkušení odborníci, kteří mají detailní přehled v analyzované oblasti a minimálně 10 let zkušeností v oboru [18].

Výhody této metody jsou následující [18]:

- APJ má široké spektrum uplatnění.
- Je relativně časově nenáročná a obsahuje právě tolik informací, kolik se uzná za vhodné. Může být užitečná z kvalitativního hlediska.
- Na základě získaných informací se může tým zabývat návrhy pro snížení nestandardních situací.

Nevýhody:

- Výsledky může ovlivnit složení týmu, práce v týmu může vést ke konfliktům.
- Princip této metody je založen na názoru lidí a odhadování, což může snížit důvěryhodnost.
- Problémy při výběru týmu.

### 6.1.3 SLIM – Success likelihood index

Metodika indexu věrohodnosti úspěchu (SLIM) byla vyvinuta v roce 1983 pro účely jaderného průmyslu v USA. Jedná se o metodu založenou na odhadech odborníků. SLIM nabízí řadu procedur, během kterých je prováděn odborný odhad HEP. Podle Kirwana je vhodné tuto metodu kombinovat s metodou MAUD, což je multikriteriální dekompozice metody SLIM s počítačovou podporou. Výhodou tohoto rozšíření metody SLIM je, že se částečně eliminuje předsudky, které by mohly ovlivnit výsledky [18].

Základní logický výklad SLIM spočívá v tom, že pravděpodobnost chyby, ke které dojde v konkrétní situaci závisí na kombinovaných účincích relativně malého souboru faktorů ovlivňujících výkonnost (PSF). Předpokládá se, že odborník (nebo odborníci) je schopen posoudit relativní důležitost (nebo jeho váhu) každého PSF s ohledem na jeho účinek na spolehlivost vyhodnocovaného úkolu. Rovněž se předpokládá, že nezávisle na hodnocení relativní důležitosti, může daný odborník provést číselné hodnocení, jak dobré nebo jak špatné jsou PSF v uvažovaném úkolu, kde „dobrý“ nebo „špatný“ znamená, že PSF buď zvýší nebo sníží spolehlivost. Na základě získaných informací o důležitosti a váze se vyhodnotí index Success Likelihood Index (SLI). Ten se získá celkovým součtem násobků důležitosti a váhy pro každý PSF. Hodnota SLI pak reprezentuje šanci na úspěch určitého úkolu samozřejmě za předpokladu, že tým provádějící analýzu neudělal žádnou chybu [18].

Metoda SLIM našla uplatnění zejména v jaderném a chemickém průmyslu, ale je možné ji použít i na jiná odvětví. Tato metoda má řadu výhod, ale i nevýhod, proto budou některé uvedeny [18]:



Výhody:

- SLIM je obecně uznávaný přístup.
- Umožňuje provádět hodnocení přínosů a nákladů.
- Je to flexibilní metoda.

Nevýhody:

- Kalibrace indexu SLI je rozporuplná.
- SLIM vyžaduje zkušené odborníky a je poměrně nákladná.
- Jako jiné metody založené na odhadech má i tato metoda sklon k tendenčnosti, což se odráží na její důvěryhodnosti.

## 6.2 Metodologie ke kvantifikaci lidských chyb

### 6.2.1 THERP – Technique for Human Error Rate Prediction

Technika pro předpověď intenzity lidských chyb (THERP) byla vyvinuta společností Sandia National Laboratories. V roce 1983 byla vydána první příručka k této metodě. Tato příručka obsahuje metody a modely pro odhadnutí HEP, což umožňuje provedení kvalitativního nebo kvantitativního hodnocení výskytu chyb lidského činitele. THERP je metodologie, která spadá do první generace HRA [18].

Metodologie THERP nabízí celkový postup pro posouzení lidské spolehlivosti, který zahrnuje analýzu činností, identifikaci rizik a kvantifikaci HEP. THERP využívá dekompoziční přístup, čímž dosahuje poměrně přesných výsledků v porovnání s ostatními metodami. Rovněž tato metoda klade důraz na nápravu chyb více než jiné metody. Zmíněná příručka k této metodě obsahuje tabulkové hodnoty HEP, které lze modifikovat a upravovat dle působících faktorů, jež ovlivňují výkonnost. Pro úspěšnou identifikaci a kvantifikaci lidských chyb by měly být dodrženy následující kroky [14, 18]:

- Rozložení úkolů na jednotlivé elementy
- Ke každému elementu přiřadit nominální hodnotu HEP
- Zohlednit působící faktory na každý element
- Výpočet závislosti mezi úkoly
- Sestavit strom událostí zaměřený na lidskou spolehlivost
- Kvantifikace HEP pro daný úkol

Pro výpočet celkové pravděpodobnosti selhání je zapotřebí sečíst veškeré pravděpodobnosti každé cesty ve stromu událostí, která vede k selhání [18].

Původně tato metodologie byla vyvinuta primárně pro jaderný průmysl, avšak své uplatnění našla i v jiných odvětvích převážně tam, kde je potřeba posoudit celkovou spolehlivost systému, která je závislá na zásazích obsluhy. Naopak tato metodologie neposuzuje rozhodování a nezohledňuje vliv kontextuálních faktorů [14, 18].

Mezi výhody THERP se řadí [18]:

- THERP je dobře využitelná v praxi.
- Metodika THERP je robustní a dobře obstojí při auditech.
- Je založena na velkém množství informací dostupných v databázích a příručce.

Mezi nevýhody THERP se řadí [18]:

- THERP může být náročná na zdroje a je i časově náročná.
- Neposkytuje dobré vedení pro modelování scénářů a dopady faktorů ovlivňujících výkon.
- Vyžaduje mnoho podrobností, což při velkém počtu hodnocení může působit nepřiměřeně.

### 6.2.2 ATHEANA – A Technique for Human Event Analysis

ATHEANA je technika analýzy lidských chyb, která patří do druhé generace metod HRA. Tato metodologie byla vyvinuta v USA na přelomu tisíciletí spolu s příručkou pro její aplikaci. Prvotní uplatnění našla v jaderném průmyslu, avšak je použitelná i v jiných odvětvích průmyslu. ATHEANA je metodologie pro kvalitativní a kvantitativní hodnocení lidské spolehlivosti. Premisou této metody je to, že lidské chyby jsou způsobeny kombinací faktorů a vlivů okolí, tato kombinace je nazývána kontext vynucení chyby (ECF). ATHEANA poskytuje strukturovaný návod pro odhalení ECF, jehož předpokladem jsou znalosti a zkušenosti z oboru, znalost pravděpodobnostního hodnocení rizik (PRA) a lidských faktorů a psychologie [18].

Mezi hlavní důvody, proč byla ATHEANA vyvinuta se může řadit fakt, že modelování lidského chování v dřívějších metodách HRA nebylo považováno za odpovídající vzhledem k důležitosti lidského faktoru v pracovních úkolech. A také bylo zapotřebí integrovat pokroky v psychologii a behaviorálních vědách do technického prostředí [18].

Každý proces tvorby dle této metodologie by měl obsahovat následující kroky [18]:

- Identifikace lidských selhání a nebezpečného chování, které souvisejí s řešeným problémem.
- Pro každé selhání a nebezpečnou akci identifikovat důvody proč tyto situace nastaly.
- Kvantifikovat ECF a pravděpodobnost nebezpečných událostí.
- Vyhodnocení výsledku analýzy.

ATHEANA zdařile řeší problémy, se kterými se potýkaly metody HRA první generace. Její silnou stránkou může být kvalitativní zhodnocení systému, avšak při kvantitativním hodnocení se spoléhá na expertní odhady. Mezi výhody této metodologie se řadí [18]:

- Tato metoda poskytuje systematický postup pro odhalení poruchy při zásahu obsluhy.
- ATHEANA může být použita pro kvalitativní studii systému a může odhalit podmínky, při kterých vzniknou nežádoucí situace.
- Zaměřuje se pouze na stanovený předmět studie.

Mezi nevýhody této metodologie se řadí:

- Je velmi těžkopádná, složitá, relativně drahá a časově náročná.
- Kvantifikace záleží na expertních odhadech, může mít nízkou důvěryhodnost a spolehlivost.
- Kvalitativní výsledky jsou dobré, ale možná by se jich dalo dosáhnout jinou, efektivnější metodou.
- Účinnost metody ATHEANA je velmi ovlivněna týmem, který studii provádí.

### 6.2.3 CAHR – Connectionism Assessment of Human Reliability

Metoda CAHR neboli Posuzování konekcionizmu bezporuchovosti lidské činnosti byla vyvinuta v německém Mnichově mezi roky 1992 a 1997. CAHR je metoda druhé generace, která kombinuje analýzu událostí a hodnocení založené na databázi přechozích zkušeností pro hodnocení lidské spolehlivosti. Své uplatnění našla v jaderném průmyslu, leteckém průmyslu a kdekoliv, kde je za potřebí řešit bezpečnost a zdraví při práci [18].

CAHR využívá obecný model, který je využitelný pro všechny pozorovatelné události, u kterých je možný sběr informací o lidské chybě při dané události. Nasbírané informace jsou uloženy v databázi, která obsahuje obecné znalosti pro analýzu událostí a lze ji rozšířit o další popis událostí. Tato databáze obsahuje informace o systému a o úkolech, ale také o možných chybách nebo faktorech ovlivňujících výkon [18].

Mezi základní myšlenky, které se skrývají za touto metodou, se řadí zaměření pozornosti na systém, nikoliv na člověka. Lidské chyby jsou výsledkem kombinace faktorů a vlivů, které působí na člověka během pracovního úkolu. Tato metoda využívá pevnou strukturu, nikoliv taxonomii. Dalším charakteristickým znakem je striktní rozdělování mezi pozorovatelnými informacemi a příčinami v událostní analýze a popisu [18].

Mezi výhody této metody patří fakt, že CAHR je jedním z mnoha nástrojů, které se pokoušejí shromáždit informace z přechozích událostí a vybudovat tak rozsáhlou databázi, která by mohla pomoci pochopit a zachytit složitost lidského chování [18].

### 6.2.4 CREAM – Cognitive Reliability and Error Analysis Method

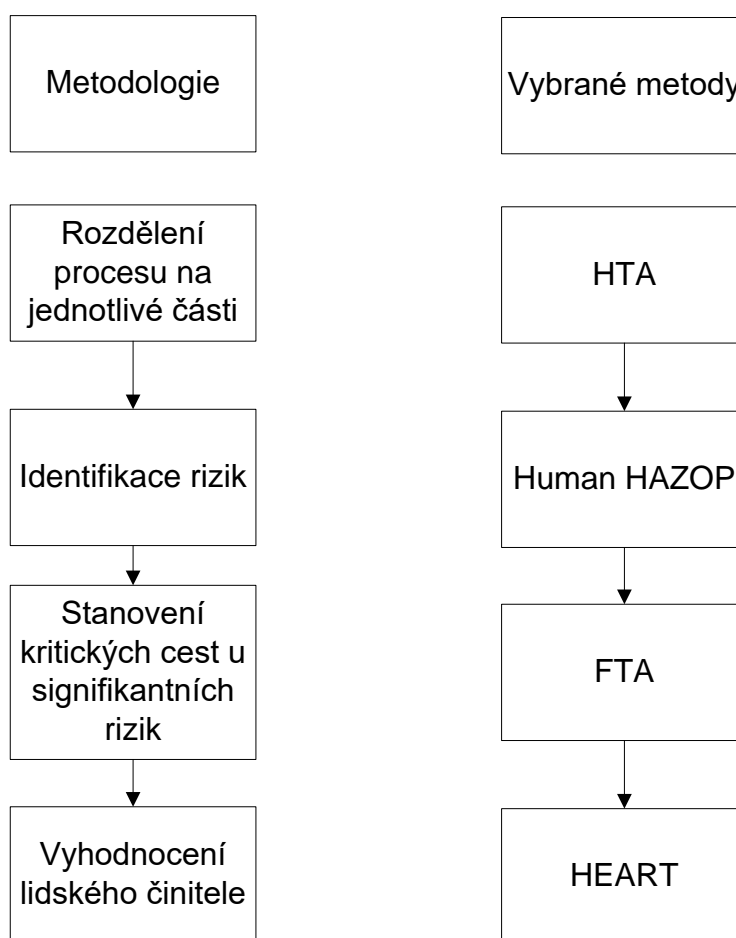
Metoda analýzy bezporuchové poznávací činnosti a chyb (CREAM) se řadí do druhé kategorie metod HRA. CREAM umožňuje kvalitativní analýzu vlivu kontextu na lidské chování a rozhodování a hrubou kvantifikaci. Tato metoda se vyvíjí od roku 1993, kdy ji navrhl Erik Hollnagel. Hollnagel ji popisuje jako obousměrnou metodu, což znamená, že je vhodná pro retrospektivní analýzy, ale i pro prediktivní analýzy a je založena na rozdílem mezi kompetencí a řízením. Rozdíl mezi kompetencí a řízením je založen na modelu COCOM (kontextuální řízení), který říká, že kompetence člověka je založena na jeho dovednostech a vědomostech. Řízení je pak vnímáno jako kontinuální průběh z pozice, kde má jedinec malou nebo žádnou kontrolu až po maximální kontrolu. Vliv kontextu na člověka se skládá z 9 aspektů, které ovlivňují výkon. Při analýze se každému aspektu přiřadí určitá hodnota, ze které se stanoví skóre na základě, kterého se hodnotí daná situace. Mezi tyto aspekty patří [14, 18]:

- a) Přiměřenost organizace
- b) Pracovní podmínky
- c) Uživatelské rozhraní člověk-stroj
- d) Dostupnost postupů a plánů
- e) Počet souběžně běžících procesů
- f) Časové limity
- g) Denní čas
- h) Míra proškolení a zkušeností
- i) Kvalita týmové práce

Metoda CREAM se používá v jaderném průmyslu nebo k rychlému posouzení kontextu, pokud jde o lidskou výkonnost. [14, 18].

## 7 NÁVRH METODOLOGIE PRO ŘEŠENÍ LIDSKÉ SPOLEHLIVOSTI PŘI OBSLUZE STROJE

Jak vyplývá z informací uvedených výše, existuje mnoho metod a metodologií pro kvalitativní i kvantitativní vyhodnocení chyb lidského činitele. Velmi důležité je vybrat správné metody, jelikož ne všechny metody jsou obecné, tudíž nejsou vhodné pro libovolné aplikace. Jak už bylo zmíněno, nejvíce metod je zaměřených na jaderný průmysl, jelikož lidské selhání v tomto odvětví přináší velmi závažné následky. Avšak cílem této diplomové práce je vyhodnotit spolehlivost lidského činitele při obsluze výrobního stroje. K tomuto účelu byly vybrány metody HTA, Human HAZOP, stromová analýza FTA a HEART. Na obr. 4 je znázorněno systematické pořadí těchto metod. Zmíněný postup byl vybrán z důvodu jeho univerzálnosti a lze jej aplikovat na libovolný výrobní stroj a jeho obsluhu.



Obr. 4) Návrh metodologie

Z uvedeného schématu je zřejmé, že navržená metodologie obsahuje čtyři kroky. V prvním kroku je zapotřebí rozčlenit výrobní proces na jednotlivé části, čehož lze docílit pomocí metody HTA. V následujícím kroku je zapotřebí identifikovat a analyzovat jednotlivá rizika, která hrozí v dané části procesu a zároveň jim přiřadit určitou hodnotu kritičnosti. K tomuto účelu byla zvolena metoda Human HAZOP, která zohledňuje lidského činitele. Ve třetím kroku je zapotřebí analyzovat signifikantní rizika, která vyplynula z předchozího kroku. V tomto případě formou logického stromu FTA. V posledním kroku se aplikuje metoda HEART, pomocí které je vyhodnocena spolehlivost lidského činitele.

## 8 PRAKTICKÁ ČÁST

### 8.1 Popis společnosti

Tato diplomová práce byla napsána ve spolupráci se společností Tyco Electronics Czech s.r.o., která existuje na českém trhu již od roku 1969. Tyco Electronics Czech s.r.o. je součástí divize Automotive společnosti TE Connectivity, jejíž produkty se používají v pokročilých systémech zabezpečení vozu a řidiče, v integrovaných systémech kontroly motoru, infotainmentových aplikacích, senzorce a v hybridních a elektrických vozech. Nabídka výrobků obsahuje terminály, konektory, kabelové soustavy pro hybridní a elektro vozy, vysokorychlostní kabelové systémy a další specializované výrobky pro automobilový průmysl [27].

Jeden z mnoha výrobních závodů této společnosti se nachází i v České republice v Kuřimi, kde se vyrábějí výše zmíněné produkty. Tento závod se skládá z mnoha výrobních oddělení, mezi které se řadí i oddělení Stamping, což je středisko lisovny kovů. Tato diplomová práce vyhledává možné chyby obsluhy rychloběžného stroje při výrobě kusových kontaktů právě na oddělení Samping.

### 8.2 Rychloběžný lis

Jak již bylo zmíněno, oddělení Stamping využívá rychloběžné lisy značky Bruderer. Výhodou těchto strojů je jejich univerzálnost, přesnost a vysoká výkonnost. Pro lepší představu je tento stroj zobrazen na obr. 5 níže.



Obr. 5) Rychloběžný lis Bruderer [22]

Z obr. 5 je patrné, že lis je ovládán pomocí ovládacího panelu, který slouží k nastavení provozních parametrů a spouštění nebo vypínání stroje. Nástroj je upínán za ochranné plexisklo, kde také probíhá samotné lisování. Vybrané technické údaje o stroji jsou uvedeny v následující tabulce 13 [22].

Tab 13) Technické údaje o stroji Bruderer BSTA 510 [22]

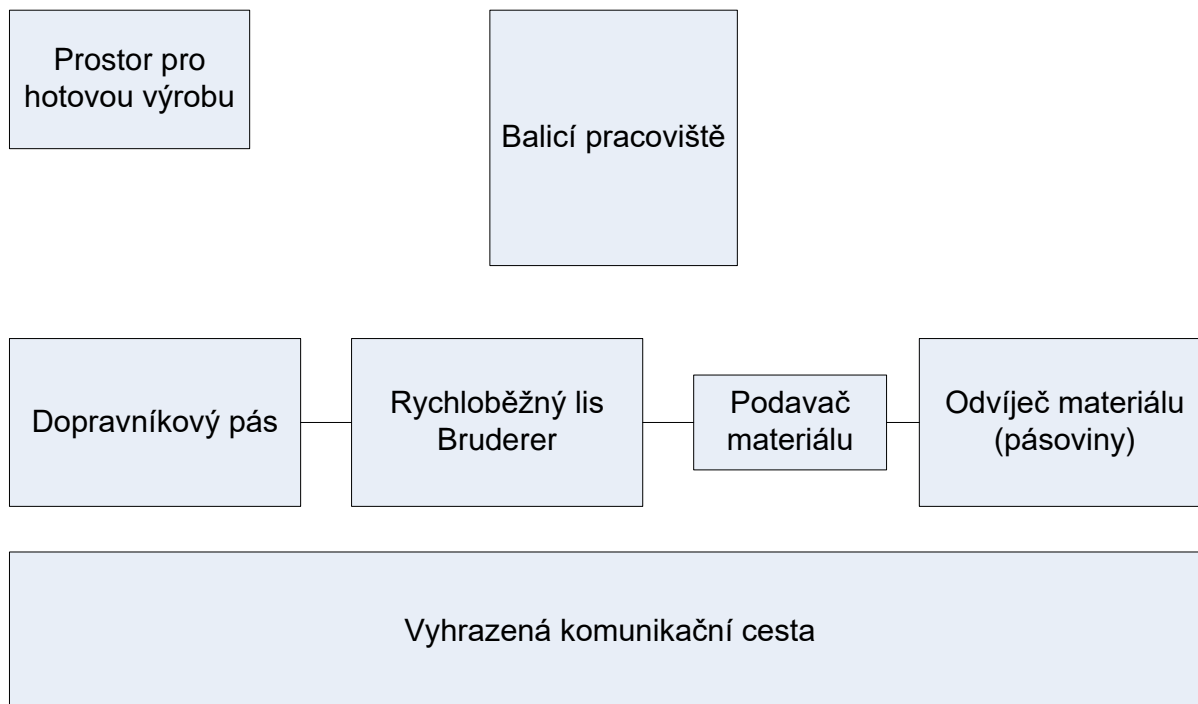
Jmenovitá síla	510 kN
Prostor pro nástroj	délka 950 mm
Počet zdvihů	min. 100 zdvihů/min
	max. 1120 zdvihů/ min
Výkon hlavního hnacího motoru	22 kW
Pneumatická přípojka	min. 7 bar. Max 10 bar.
Plocha upínací desky	délka 940 mm
	šířka 650 mm
	výška 1221 mm
Průchodná šířka pásoviny	250 mm

### 8.3 Popis procesu výroby

V této kapitole bude popsáno pracoviště, proces výroby a činnosti pracovníka při výrobě určitého typu kontaktu. Jedná se o kusovou výrobu z plného materiálu (pásoviny), to znamená, že dané kontakty nejsou nijak spojeny a z lisu vycházejí jednotlivě. Přesné označení výrobků v této diplomové práci nebude uvedeno, jelikož uvedené pracoviště je naprosto stejné pro přibližně 30 typů výrobků, které se liší například svou délkou, šířkou nebo prolisy. Z hlediska pracovní náplně operátora však lze říct, že se jedná o totožnou výrobu.

### 8.4 Schéma pracoviště

V této podkapitole bude uvedeno schéma pracoviště, kde budou zaznamenány veškeré komponenty, s kterými daný pracovník přichází do styku a obsluhuje je. Pracoviště je znázorněno na obr. 6. Odvíječ materiálu odvíjí pásovinu a přes podavač pásoviny je materiál dodáván do lisu, kde probíhá lisování daného výrobku. Hotové výrobky jsou přes dopravníkový pás dodávány do připravených krabic. Pracovník následně plné krabice převezme a zabalí je na baličím pracovišti dle požadovaného standardu a uloží je do vyhrazeného prostoru pro hotovou výrobu. Tento stručný popis procesu výroby bude rozvinut v následujících kapitolách.

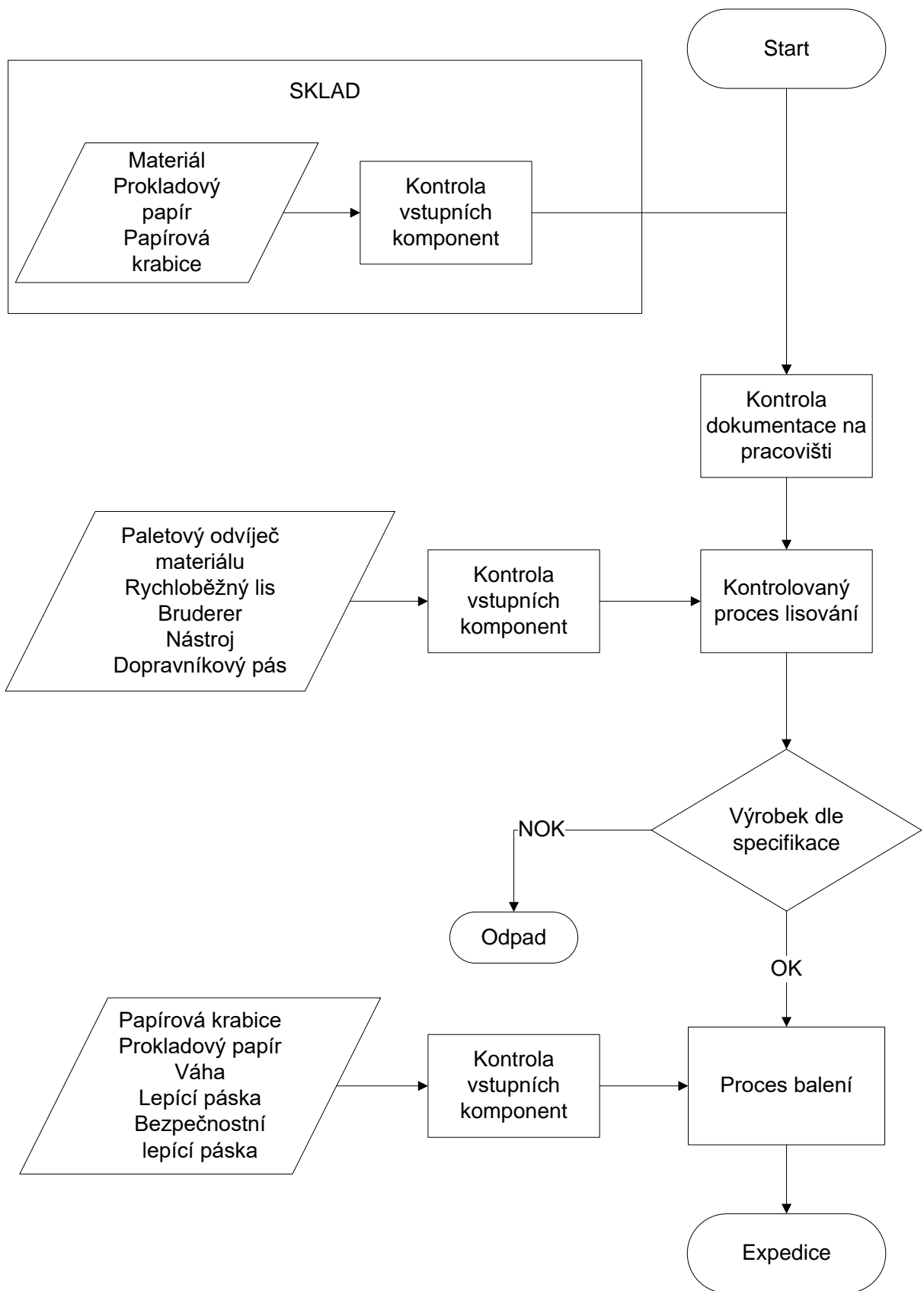


Obr. 6) Schéma pracoviště

## 8.5 Procesní diagram výroby

Na obr. 7 je uveden procesní diagram výroby typového kontaktu. Tento diagram dokumentuje procesní kroky na středisku Stamping s výjimkou vstupní kontroly komponent, které přicházejí od externích dodavatelů. Tuto kvalitativní vstupní kontrolu provádějí příslušní pracovníci skladu.

Kontrolovaný proces lisování je automatický proces, při kterém probíhají pravidelné kontroly rozměrů, kontroly kalibrem a vizuální kontroly. Zároveň jakékoliv akce (zastavení stroje, chybějící materiál apod.) jsou monitorovány systémem na základě přiřazených předem definovaných kódů. Kontrolovaný proces lisování je podrobněji popsán v metodě HTA, která hierarchicky rozřazuje jednotlivé pracovní úkony, jež spadají do tohoto procesu.



Obr. 7) Procesní diagram



## 8.6 Pracovní náplň operátora

Pro správnou aplikaci navržené metodologie bylo potřeba provést pozorování operátora během vykonávání své práce, za účelem zjistit časové rozložení pracovní náplně. Nutno podotknout, že za sledované období neproběhly veškeré činnosti, které jsou v pracovní náplni operátora, a to z důvodu, že se může jednat o velmi sporadické činnosti, které nemusí za pracovní směnu nastat (např. reakce na nenadálé situace) nebo se jedná o činnosti, které se provádějí 1x za směnu. Pozorování probíhalo na 3 různých směnách vždy po 2 hodinách na jedno pozorování. Celkový čas pozorování byl 6 hodin. Na následujícím obr. 8 lze pozorovat procentuální rozdělení pracovní náplně operátora.



Obr. 8) Pracovní náplň operátora

Na základě uvedených dat lze říct, že největší část pracovního dne operátora zabere doplňování kusů na váze, balení výroby a příprava krabic. Tyto činnosti na sebe úzce navazují, proto bylo občas složité, časově určit kdy začíná nebo končí jednotlivá činnost. Další relativně velkou část pracovní doby zabraly čekací prostoje, čímž bylo myšleno například čekání na materiál nebo čekání na odvoz odpadu v případě plné odpadní bedny s materiálem, rovněž se do tohoto času započítává čekání na příchod nástrojaře za účelem opravy nástroje. Během této čekací doby operátor obvykle provádí úklid na výrobní hale nebo jiné potřebné činnosti. Další činnosti, které mezi sebou úzce souvisí jsou rozměrové kontroly vzorků a zápis do kontrolní karty. Operátor provede kontrolu kalibrem, popřípadě posuvným měřidlem a tyto hodnoty zapíše do kontrolní karty a následně vzorek donese kontrolorům kvality pro důkladné měření dalších rozměrů vyžadujících odpovídající měřidla a odbornost.

Jak již bylo zmíněno ne všechny činnosti operátora se nezbytně provádějí každou směnu. Například doplňování oleje je prováděno pouze podle potřeby nebo ovládání periferií (odvíječe materiálu a pásového dopravníku) je také prováděno jen v případě potřeby. Kalibrace váhy zde také není uvedena, jelikož tato činnost je prováděna na začátku výroby nebo při změně

směny. To znamená jednou za směnu. Veškeré pracovní úkoly jsou pak lépe popsány v rámci metod HTA a HHAZOP.

## **8.7 Ovlivňující faktory na pracovišti**

Mezi kladně ovlivňující faktory se může řadit fakt, že pracoviště, kde působí obsluha stroje, je organizované, přehledné a řídí se metodikou 5S, tudíž veškeré vybavení a dokumentace má své určené místo a lze se snadno zorientovat na daném pracovišti.

Dalším kladným faktorem je komunikace na středisku, která probíhá za využití centrálního systému, díky kterého má operátor možnost nahlásit problém přímo na terminálu lisu a přivolat tak příslušnou osobu, která má za úkol daný problém vyřešit. Operátor se pomocí své osobní karty přihlásí do systému na daném stroji a z předem připravených možností může vybrat typ závady, která je odeslána na danou osobu (mistr, seřizovač, nástrojař, manipulant ve výrobě), která má vlastní telefon s tímto systémem. Další možností je pak osobní komunikace v případě jakéhokoliv problému s nadřízeným (výrobní mistr).

Mezi záporné faktory na pracovišti se řadí konstantní hluk po celou pracovní dobu. Tento faktor nelze zcela odstranit z podstaty výrobního hlediska. Každý lis však je zakrytován v protihlukové konstrukci, která však nedokáže zcela eliminovat hluk. Tento faktor může ovlivnit verbální komunikaci a předávání informací.

Na pracovišti lze pocítit i vibrace, jsou však zanedbatelného charakteru.

V teplejších dnech a obzvláště v letních měsících je na pracovišti zvýšená teplota, která může ovlivnit osobní komfort, výkonost a pozornost pracovníků.

Všichni pracovníci musí nosit OOPP, které mohou snižovat osobní komfort. Je vyžadováno neustálé nošení ochranných brýlí a pracovní obuvi s vyztuženou špičkou. V případě, že pracovník otevře dveře ochranné protihlukové konstrukce, za účelem provedení opravy a je nezbytné spustit stroj, musí si nasadit i ochranu sluchu. Při nasazené ochraně sluchu je výrazně zhoršena komunikace a předávání informací mezi pracovníky.

## 9 APLIKACE METODOLOGIE

V této kapitole bude aplikována navržená metodologie pro řešení lidské spolehlivosti při obsluze stroje.

### 9.1 HTA

Jak již bylo popsáno dříve, metoda HTA slouží k rozřazení jednotlivých úkolů do přehledného diagramu a zobrazení jednotlivých operací. Diagram HTA zaměřený na práci operátora je zobrazen na obr. 8. K vypracování tohoto diagramu byl využit software HTA 1.5 od VÚBP.

Z příloženého obr 9. vyplývá, že práce operátora při výrobě kontaktů lze rozdělit do 4 hlavních skupin, které se dále dělí na jednotlivé činnosti. Na základě těchto činností byla vytvořena analýza rizika metodou Human HAZOP.

# Hierarchical Task Analysis

## Úkolový diagram

Podnik: TE Connectivity

Provoz: Stamping

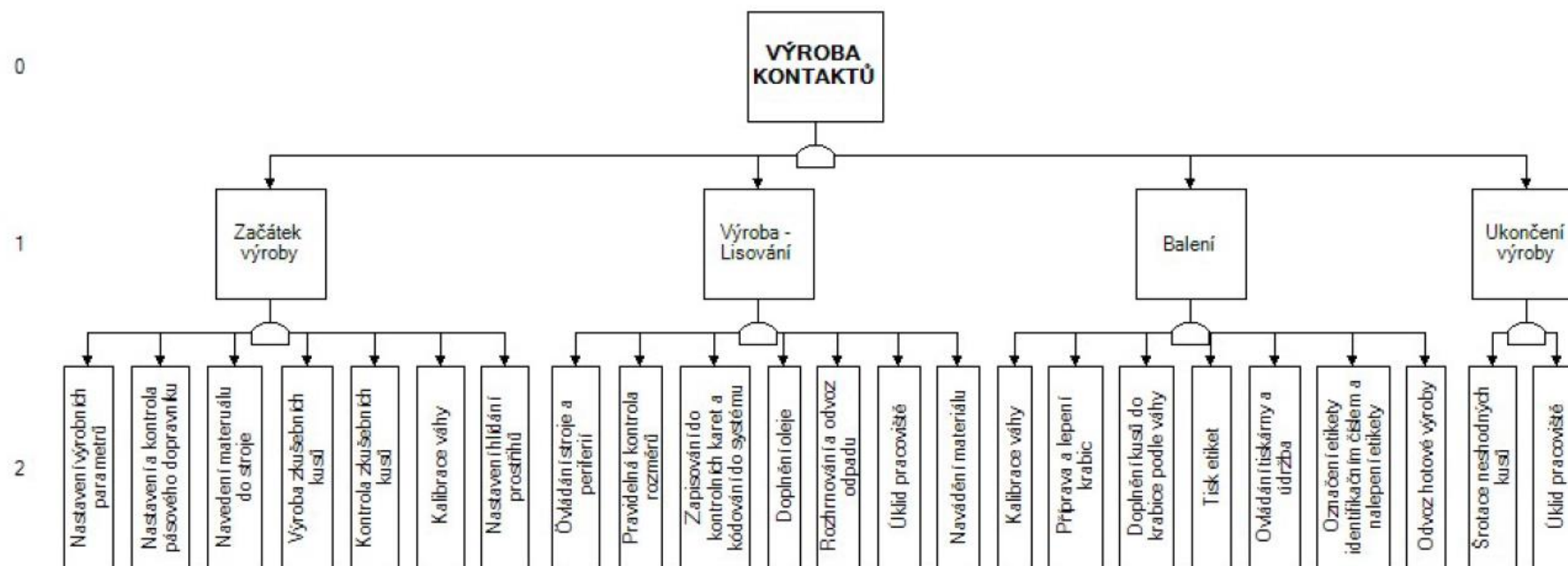
Pracovní operace: Výroba kontaktů

Pracovní zařazení obsluhy: Operátor

Pracovní reglementy:

Datum: 28.02.2021

Provedl: Bc. Tomáš Jakl



Obr. 9) Úkolový diagram – HTA

## 9.2 Human HAZOP

V této kapitole bude uvedena tabulka s metodou HHAZOP. Při vypracování této metody bylo vycházeno z metody HTA a pozorování práce operátora. Hodnocení kritičnosti rizika bylo uvedeno v kapitole 4.1. Pro rizika, která dosahují hodnoty 6 a výše bude vypracována metoda HEART a FTA. Rizika s hodnotnou 5 a níže jsou považována za méně signifikantní a zmíněné metody aplikovány nebudou, jelikož výskyt těchto rizik je buď velmi sporadický nebo následky nejsou příliš závažné.

Při určování možné příčiny byla použita klasifikace chyb dle Reasona, která je popsána v kapitole 3.4.1.

Na obr. 10 je znázorněn příklad vypracování metody Human HAZOP. V hlavičce tabulky jsou uvedeny základní údaje o dané analýze jako zaměření dané analýzy, kdo ji provedl a podobně.

Ve sloupci Pracovní činnost operátora jsou uvedeny veškeré úkoly, které byly definovány v metodě HTA. Následně ke každému úkolu byly přiřazeny relevantní klíčová slova, která pomohla odhalit možné odchylky. Po odhalení odchylek byly zkoumány možné příčiny. Jelikož v této práci je popsána i definice klasifikace chyb podle Reasona, byla tato klasifikace využita i pro definování možných příčin. Na základě následků a současných opatření byly určeny hodnoty parametrů P a S, ze kterých bylo spočteno rizikové číslo R. V poslední části analýzy byly doporučeny nápravná opatření pro signifikantní rizika.

Human HAZOP										
Společnost: TE Connectivity						Analýzu provedl: Bc. Tomáš Ják				
Středisko: Stamping						Datum: 14.03.2021				
Zaměření: Práce operátora při kusové výrobě						Projekt: Diplomová práce				
Č.	Pracovní činnost operátora	Vodící slovo	Odchylka	Možná příčina - Klasifikace chyb dle Reasona	Následky	Současná opatření	P	S	R	Doporučená nápravná opatření
15	Pravidelná kontrola rozměrů	NEPROVEDENO	Kontrola rozměrů neprovedena	Violation - pracovník neprovedl kontrolu rozměrů dle zkušebního plánu	Průnik neshodných kusů k zákazníkovi	Zápis do tištěných kontrolních karet, pravidelná rozměrová kontrola Kontrolorem kvality	1	4	5	100% kontrola prostřínů a rozměrů automatickým měřicím zařízením.
		OPAKOVÁNO	Kontrola rozměrů byla provedena vícekrát na jednom kusu	Violation - pracovníkovi se nechtělo pravidelně odebírat kusy	Průnik neshodných kusů k zákazníkovi	Pravidelná rozměrová kontrola Kontrolorem kvality	1	4	5	
		POZDĚJI	Kontrola rozměrů byla provedena později než ve stanoveném intervalu	Lapse - pracovník ztratil pojem o čase	Průnik neshodných kusů k zákazníkovi	Zápis do tištěných kontrolních karet, pravidelná rozměrová kontrola Kontrolorem kvality	1	4	5	
		DŘÍVE	Kontrola rozměrů byla provedena dříve než stanoveném intervalu	Violation - pracovník provede kontrolu dříve, jelikož chce ušetřit čas	Průnik neshodných kusů k zákazníkovi	Zápis do tištěných kontrolních karet, pravidelná rozměrová kontrola Kontrolorem kvality	1	2	3	
		ČÁST	Pracovník při kontrole odhalil neshodný kus, ale nepostupoval dle Reakčního plánu.	Violation - pracovník se neřídil nastaveným Reakčním plánem	Průnik neshodných kusů k zákazníkovi	N/A	2	4	6	
		ČÁST	Byla provedena kontrola jen části předepsaných rozměrů	Violation - pracovník provede kontrolu jen části rozměrů, jelikož chce ušetřit čas	Průnik neshodných kusů k zákazníkovi	Zápis do tištěných kontrolních karet, kontrola kalibrem, pravidelná rozměrová kontrola Kontrolorem kvality	1	4	5	

Obr. 10) Příklad z metody Human HAZOP

## 9.3 FTA

V této kapitole budou uvedeny výstupní diagramy z metody FTA. Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, do metody FTA byly vybrány vrcholové události s celkovým hodnocením rizika 6 a výše. Pro vytvoření diagramů byl použit software Visual Paradigm Enterprise.

Diagramy FTA byly vytvořeny pro rizika přesahující hodnotu 5 z metody Human HAZOP. Vrcholové události s vyšší mírou rizika byly nalezeny 2 a to vrcholová událost Nedodrženo balné množství a Průnik neshodného kusu k zákazníkovi. Tyto diagramy budou popsány níže. Vstupní parametry základních událostí byly vypočteny z metody HEART. Výpočet pravděpodobnosti nastání vrcholové události je dán logickou strukturou diagramu.

### 9.3.1 Diagram FTA – Nedodrženo balné množství

Na obr. 11 je uveden diagram FTA pro vrcholovou událost Nedodrženo balné množství. Tento diagram se skládá ze dvou hlavních větví, které představují dva typy chyb. Nesprávná kalibrace váhy představuje systematickou chybu, kterou do procesu vnese nesprávné kalibrování váhy nebo neprovedení kalibrace váhy. Pro kalibraci váhy jsou vytvořeny standardní pracovní pokyny dostupné na pracovišti, podle kterých daný pracovník provádí kalibraci. Nesprávně provedená kalibrace může být zapříčiněna nedodržením zmíněného pracovního pokynu, kdy pracovník použije nesprávné kalibrační množství a nedodrží stanovenou posloupnost kroků.

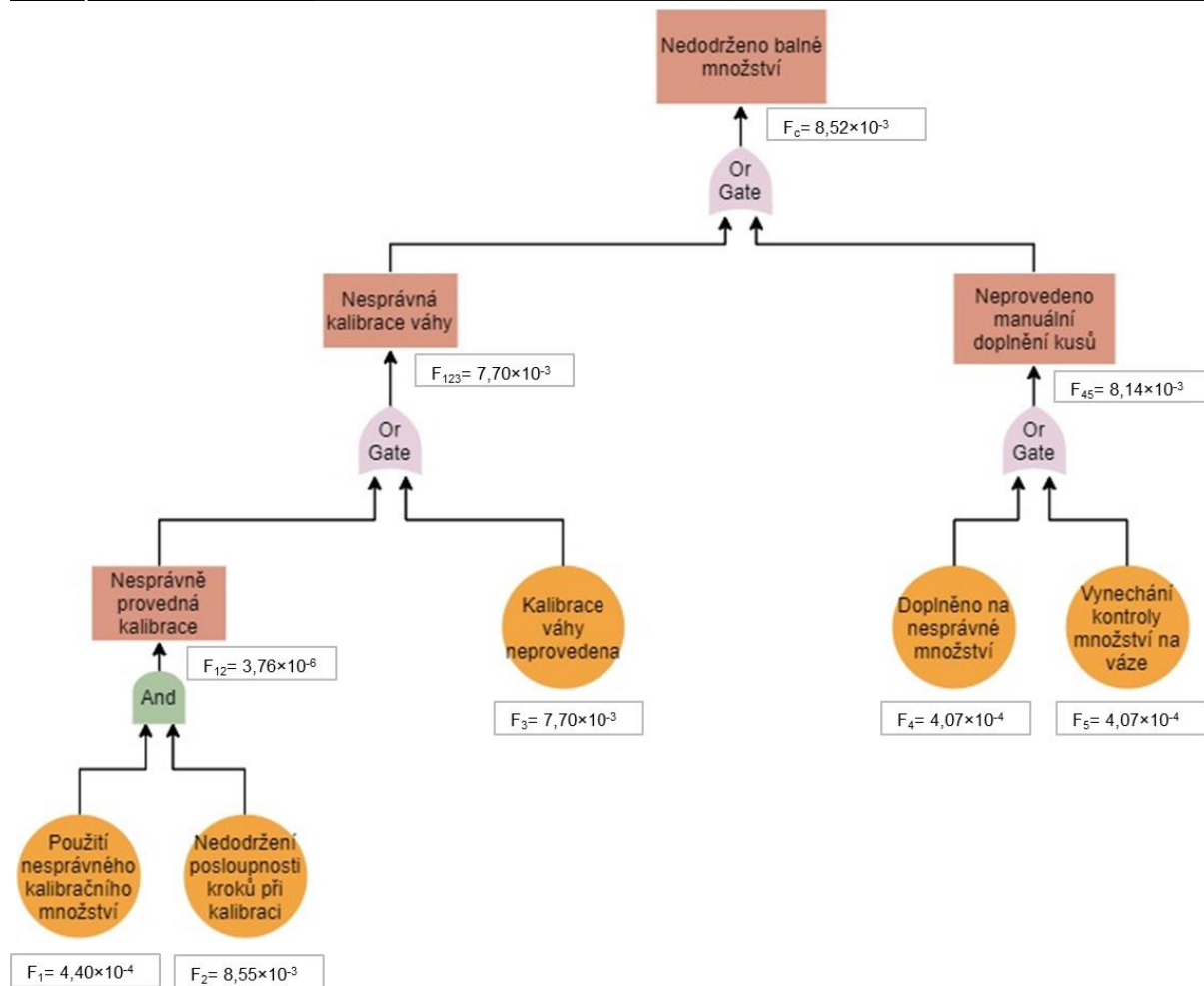
V pracovních pokynech jsou rovněž uvedeny intervaly, ve kterých se musí kalibrace opakovat. V případě, že pracovník neprovede pravidelnou kalibraci váhy, může dojít k nesprávné kalibraci váhy.

Jak již bylo zmíněno, nesprávná kalibrace váhy představuje systematickou chybu, která v případě nastání se promítne do každé zabalené krabice. Jedná se tedy o závažnější scénář než v případě druhé větve, která představuje pochybení náhodné a ojedinělé.

Pracovník musí na váze zkontrolovat množství kusů v krabici a ručně doplnit na potřebné množství. Událost Doplněno na nesprávné množství může nastat v případě, že se pracovník přehlédne a vloží do krabice buď více nebo méně kusů. Událost Vynechání kontroly množství na váze může být zapříčiněna např. vyrušením pracovníka, kdy pracovník převezme krabici naplněnou z pásového dopravníku, ale již nezkontroluje množství na váze a rovnou ji zabalí. Obě tyto události mohou vést vrcholové události.

Závažnější, co do následků je větev Nesprávná kalibrace váhy, jelikož povede k většímu počtu neshod v dodávce pro zákazníka.

Při nastání vrcholové události není ohrožena funkčnost kontaktů, a tedy nehrozí žádné nebezpečí pro koncového zákazníka, tedy uživatele automobilu. Pravděpodobnost nastání této události je 0,85 %.



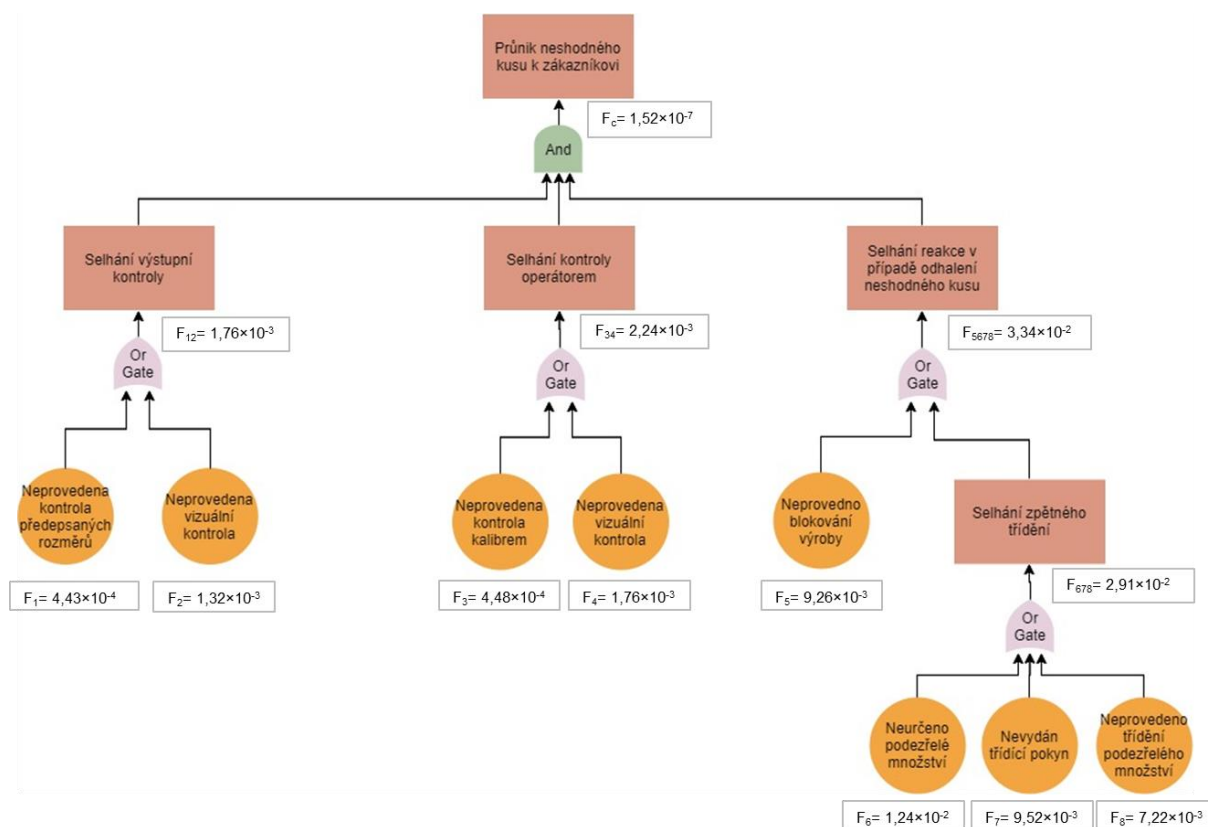
Obr. 11) Diagram FTA – Nedodržení balného množství.

### 9.3.2 Diagram FTA – Průnik neshodného kusu k zákazníkovi

V následujícím diagramu na obr. 12 je uveden diagram FTA pro vrcholovou událost Průnik neshodného kusu k zákazníkovi. Předpokladem v tomto případě je, že byl vyroben neshodný kus. Kvalitativní kontrola je prováděna v předepsaných intervalech operátorem, ale i kontrolorem kvality na výstupní kontrole. Pro případ, že pracovník odhalí nekvalitu na kontaktu, je vypracován reakční plán, podle kterého jsou pracovníci povinni postupovat, aby zabránili úniku neshodného kusu k zákazníkovi.

Kontrolor kvality na výstupní kontrole má k dispozici přesná měřidla a podmínky k důkladné kontrole kvality kontaktů, která zahrnuje kontrolu předepsaných rozměrů různými měřidly a vizuální kontrolu pod mikroskopem. Operátor ve výrobě má definovány kontroly kalibrem a vizuální kontroly pod lupou. V případě, že v průběhu výroby jakýkoliv pracovník objeví nekvalitu, musí být provedena okamžitá blokace dosavadního vyrobeného množství. Kontrolor kvality musí určit podezřelé množství na základě charakteru vady, vydat třídící pokyn a následně musí být provedeno třídění.

V případě, že selže výstupní kontrola, operátor i následná reakce, dojde k průniku neshodných kusů k zákazníkovi. Výsledná pravděpodobnost nastání vrcholové události je  $1,52 \times 10^{-5} \%$ .



Obr. 12) Diagram FTA – Průnik neshodného kusu k zákazníkovi

### 9.4 HEART

Metoda HEART byla vypracována na základě diagramů FTA způsobem, kde pro každou základní událost byla určena pravděpodobnost selhání lidského činitele. Příklad vypracování a určení pravděpodobnosti selhání lidského činitele je vyobrazen na obr. 13. V hlavičce tabulky



jsou opět uvedeny základní informace o analýze. Na obr. 13 je uveden příklad vypracování pro vrcholovou událost Průnik neshodného kusu k zákazníkovi. Ve sloupci Činnost je uvedena každá základní událost z diagramu FTA. Typ úkolu vychází z předem definovaných možností, které jsou popsány v rámci metody HEART. Každý typ úkolu má přiřazenou nominální hodnotu lidské nespolehlivosti. Ke každé činnosti byly pečlivě zkoumány možné ovlivňující faktory, které by mohly mít vliv na výslednou spolehlivost lidského činitele. Jak již bylo zmíněno dříve, podle metody HEART existuje 38 možných faktorů, které mohou ovlivňovat člověka. Míra jejich vlivu je dána maximální hodnotou faktoru. Použitá hodnota faktoru se odvíjí od podstaty úkolu a odhadu vlivu. Na základě zmíněných hodnot je vypočten výsledný reálný vliv faktoru. Pravděpodobnost selhání lidského činitele je následně vypočtena na základě uvedených hodnot.

HEART								
Společnost:		TE Connectivity			Analýzu provedl:		Bc. Tomáš Jakl	
Středisko:		Stamping			Datum:		31.03.2021	
Vrcholová událost:		Průnik neshodného kusu k zákazníkovi			Projekt:		Diplomová práce	
Č.	Činnost	Typ úkolu	Nominální hodnota lidské nespolehlivosti	Faktor	Maximální hodnota faktoru	Použitá hodnota faktoru	Vliv faktoru	Pravděpodobnost selhání lidského činitele
4	Neurčeno podezřelé množství	Úkol prováděný na základě jasných pokynů	0,007	Zodpovědný pracovník necítí odpovědnost za tuto činnost	1,6	0,6	1,360	1,24E-02
6	Neprovedeno zpětné třídění	Úkol prováděný na základě jasných pokynů	0,007	Činnost závisející na rozhodnutí jiného pracovníka	1,03	1,03	1,031	7,22E-03
7	Nevydán třídící pokyn	Úkol prováděný na základě jasných pokynů	0,007	Zodpovědný pracovník necítí odpovědnost za tuto činnost	1,6	0,6	1,360	9,52E-03

Obr. 13) Příklad metody HEART

# 10 ZHODNOCENÍ ANALÝZY A NÁPRAVNÉ AKCE

V této kapitole bude zhodnocena analýza a budou zde uvedeny doporučené nápravné akce.

## 10.1 Zhodnocení analýzy

Praktická část této diplomové práce byla zaměřena na vyhodnocení spolehlivosti lidského činitele při obsluze stroje. Předmětem analýzy byl zvolen výrobní proces kusové výroby kontaktů na rychloběžném stroji.

V rámci metody HTA bylo identifikováno 23 jednotlivých činností, které operátor musí vykonávat. Tyto činnosti byly podrobně analyzovány v rámci metody Human HAZOP pomocí klíčových slov. Celkem bylo identifikováno 58 rizik, z nichž 5 bylo označeno za signifikantní. Těchto 5 signifikantních rizik vedlo ke 2 vrcholovým událostem, které byly podrobně analyzovány v rámci metody FTA.

Spolehlivost lidského činitele byla vyhodnocena pomocí metody HEART, kdy ke každé základní události z metody FTA byla přiřazena hodnota pravděpodobnosti lidského selhání.

Dvě významné selhání jsou – nedodržení balného množství a průnik neshodného kusu k zákazníkovi.

Nedodržení balného množství bylo vyhodnoceno jako pravděpodobnější scénář, kdy výsledná pravděpodobnost selhání byla spočtena na 0,85 %. Na rozdíl od průniku neshodného kusu k zákazníkovi, kde pravděpodobnost tohoto scénáře byla spočtena na  $1,52 \times 10^{-5}$  %. Z hlediska kvalitativního je však závažnější druhý jmenovaný scénář. V případě, že zákazník obdrží vyhovující kusy, ale v jednom balení bude o něco nižší nebo naopak vyšší množství je pro konečného zákazníka naprosto bez problému a bez jakéhokoliv ohrožení zdraví či funkce. Jediné nepříjemnosti spojené s tímto problémem by mohly být zdržení výrobního procesu, a tedy zvýšení dodací doby.

Méně pravděpodobným, ale závažnějším problémem je pak průnik neshodného kusu k zákazníkovi, kdy může být ohrožena funkčnost kontaktu. Výsledná pravděpodobnost je velmi malá, jelikož je nastaven poměrně robustní systém, který by měl zabránit právě těmto případům. Nicméně tento systém je závislý na rozhodnutí a činnostech člověka, což může být jeho slabostí. Světový trend plyne směrem k eliminaci vlivu člověka na celkovou spolehlivost systému z opodstatněných důvodů. Proto v rámci nápravných opatření bude doporučena automatizace rozměrových kontrol.

## 10.2 Navržená nápravná opatření

V této kapitole budou uvedeny doporučené akce ke snížení pravděpodobnosti nastání nežádoucích událostí.

### 10.2.1 Nápravná opatření k zamezení nedodržení balného množství.

Jak již bylo zmíněno, v případě nedodržení balného množství nedojde k ohrožení zdraví nebo funkčnosti ve finálním výrobku – automobilech. Nicméně je důležité vyvarovat se jakékoliv reklamaci a předcházet těmto nepříjemným situacím. Proto zde budou uvedena možná preventivní doporučení.

### a) **Kontrola etalonem váhy**

První možnou variantou je kontrola správnosti nastavení měřicího zařízení etalonem váhy. Pro každý typ výroby by byl vyroben etalon, který by představoval váhu přesně 500 kusů. Takto by měl pracovník možnost ověřit, jestli je váha správně nastavena a zda ukazuje potřebné množství.

Kontroly nastavení by mohly být prováděny ve dvouhodinových intervalech se zápisem do kontrolní karty, jestli výsledek odpovídá nebo ne.

Výhodou tohoto řešení je, že nejsou vyžadovány velké investice. Etalony váhy pro tyto účely mohou být vyrobeny například z železa, které je běžně dostupné ve firemní nástrojárně, není třeba vytvářet etalon z velmi stálých slitin. Jednalo by se totiž pouze o kontrolní měření.

Nevýhodou tohoto řešení je, že se zcela neodstraňuje lidský faktor, jelikož za kontrolní měření by byl zodpovědný pracovník. Naopak by do procesu zaneslo další krok závisející na člověku. Není totiž zaručeno, že by pracovník tuto zkoušku nepřeskakoval a pouze by zapisoval vyhovující výsledky do kontrolní karty. V případě, že by daný pracovník nestíhal nebo by si chtěl usnadnit práci, existuje poměrně velká šance, že by tato kontrola nebyla prováděna správně a daný problém by odstraněn nebyl.

### b) **Pásový dopravník s kontrolou hmotnosti**

Variantou, při které by byl eliminován vliv operátora je implementace pásového dopravníku, který automaticky měří váhu krabice a až po dosažení požadované váhy by byla převzata operátorem rovnou k zabalení bez jakéhokoliv doplňování.

Příklad takového dopravníku je zobrazen na obr. 14. Jedná se o pásový dopravník od společnosti Lesak, která se zabývá vážicími systémy. Princip tohoto dopravníku spočívá v tom, že v SW dopravníku jsou nastaveny jednotlivé programy pro danou výrobu a na základě tohoto nastavení SW hlídá hmotnost krabice. Po dosažení limitu je krabice posunuta do prostoru na zabalení. Zároveň je zajištěna 100% zpětná sledovanost každé krabice, jelikož jsou údaje ukládány [23].



Obr. 14) Pásový dopravník od společnosti Lesak [23]

Výhodou tohoto řešení je, že se eliminuje lidský faktor při doplňování množství a není nutná kontrola na váze. Pro operátora by se zjednodušila náplň práce, jelikož by nemusel kontrolovat každou zabalenou krabici a získal by tak časový prostor navíc, který by se dal využít efektivněji. Další výhodou by byla jednoduchost ovládní. V SW by byly nahrány balné a procesní údaje ke každému typu výroby a operátor by musel pouze zvolit správný typ.

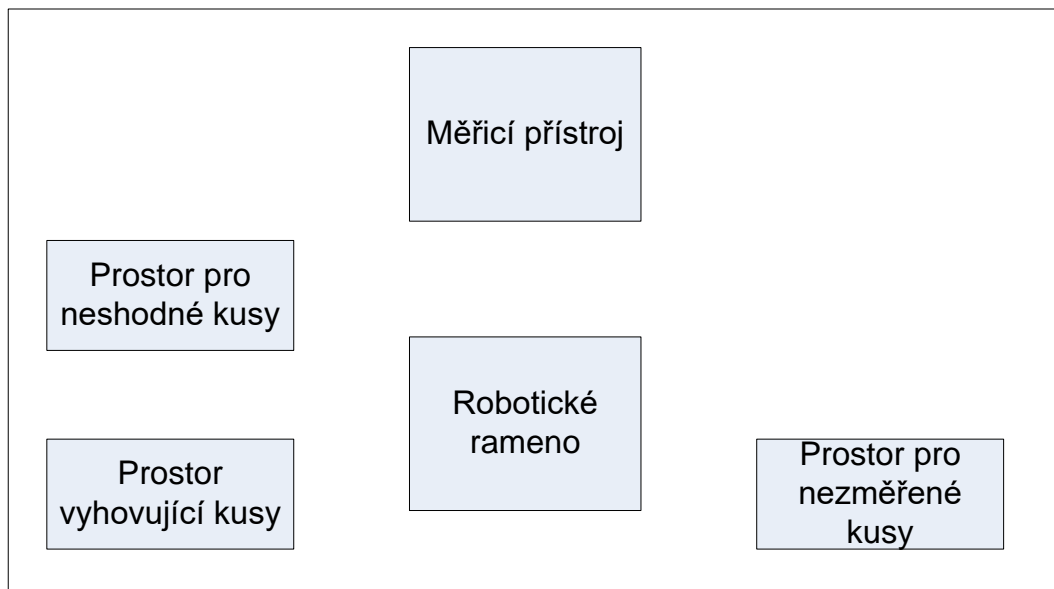
Mezi nevýhody tohoto řešení se řadí pořizovací cena, která se pohybuje v řádech nižších statisíců. Konečnou cenu nelze určit, jelikož záleží na případných specifických požadavcích střediska. V každém případě by středisko muselo investovat do této technologie. Na druhou stranu, jednalo by se o jednorázovou investici, která by odstranila potenciální riziko zákaznické reklamace a uvolnila by časový potenciál operátora. Vzhledem k tomu, že kusová výroba probíhá jen na jednom stroji, výše investice by byla konečná pro jeden stroj. Další nevýhodou by mohl být fakt, že vliv lidského činitele by nebyl zcela odstraněn, jelikož by člověk musel správně nastavit dané výrobní parametry a dále operátor by musel zvolit správný typ výroby. Lze však předpokládat, že celkový vliv lidského činitele na spolehlivost procesu při implementaci tohoto stroje by se výrazně snížil.

### 10.2.2 Nápravná opatření k zamezení úniku neshodných kusů

Únik neshodných kusů k zákazníkovi představuje poměrně velké riziko. V případě, že zákazník neodhalí neshodné kusy, hrozí selhání funkčnosti systému v automobilu, což může mít dopad na zdraví člověka nebo funkčnosti automobilu. Z toho důvodu je nesmírně důležité, aby tato událost nenastala. Z uvedeného FTA diagramu vyplývá, že výsledná pravděpodobnost je velmi nízká. V případě porovnání 3 větví, které přispívají k výsledné pravděpodobnosti se jako kritická jeví případná reakce při odhalení neshodného kusu. Z tohoto důvodu zde bude uvedeno možné řešení, jak snížit vliv člověka.

## Robotické měření vyrobených kusů

Služby návrhu a sestavení robotického měřicího centra nabízí například společnost Astro KOVO Plzeň s.r.o. Jedná se o plně automatické pracoviště, kde robotické rameno přesouvá výrobky z krabice na automatické měřicí stanoviště. Po změření na základě výsledku robotické rameno přesune výrobek na místo pro vyhovující výrobu nebo na místo pro neshodné kusy. Schéma pracoviště je pro lepší názornost uvedeno na obr. 15.



Obr. 15) Schéma robotického měřicího stanoviště

Využití tohoto pracoviště by v rámci výroby mohlo být takové, že v případě standardní výroby by v pravidelném intervalu operátor dával ke 100% kontrole vždy jednu krabici ve stanoveném intervalu. Interval kontroly by se odvíjel od rychlosti výroby a zároveň od rychlosti měření. To znamená, že ke stávajícím kontrolám by se rovněž přidala i nezávislá kontrola automatickým programem, což by zvýšilo pravděpodobnost záchytu případného neshodného kusu a snížilo by závislost spolehlivosti nastaveného systému na člověka. Dalším možným využitím v procesu by bylo, kdyby neshodný kus byl zachycen kontrolorem kvality nebo operátorem a bylo by potřeba přetřídit dosud vyrobené kusy. To znamená, že proces třídění kusů by již nebyl zcela závislý na člověku.

Astro KOVO s.r.o. nabízí různé varianty robotických měřicích stanovišť. Pro účely střediska Lisovny kovů by bylo vhodné zvolit variantu Astrobox Keyence, která využívá robotické rameno značky KUKA a měřicí přístroj značky Keyence IM Series. Konkrétní stroje by byly vybrány na základě přesných požadavků. Na obr. 16 je pak znázorněn reálný příklad možného rozložení pracoviště [25].



Obr. 16) AstroBox Keyence [24]

Výhody tohoto opatření mohou spočívat v částečné eliminaci lidského faktoru na celkovou spolehlivost systému. Dále by bylo dosaženo vyšší efektivity v oblasti měření, robotické pracoviště dokáže pracovat rychleji a přesněji, než dokážou lidé. Zároveň by se bylo dosaženo skvělé opakovatelnosti měření, jelikož by byly výsledky vyhodnocovány automaticky vždy stejným programem pro daný typ výroby. Další výhodou by mohlo být usnadnění reaktivní činnosti v případě odhalení neshodného kusu, kdy pracovníci by nebyli limitováni svou kapacitou a toto třízení by proběhlo automaticky. Pomocí tohoto přístroje lze dosáhnout 100% kontroly veškerých vyrobených kusů, ale za cenu výrazného zvýšení výrobního času.

Nevýhodou tohoto řešení je bezesporu poměrně vysoká pořizovací cena. Dodavatel Astro KOVO s.r.o. neuvádí cenu, jelikož může být individuální a záleží na konkrétních požadavcích, nicméně lze očekávat konečnou cenu v řádech milionů korun. To znamená, že se jedná o poměrně vysokou investici. Vzhledem k tomu, že 100% kontrola všech vyrobených kusů není reálná, tak by nedošlo k úplnému odstranění lidského faktoru a opět by záleželo na správné reakci zodpovědného člověka v případě odhalení neshodného kusu, aby došlo k zablokování dosavadní výroby a určení podezřelého množství ke kontrole. Další nevýhodou může být fakt, že měřicí přístroj nedokáže na rozdíl od člověka spolehlivě odhalit povrchové vady materiálu, například zvýšenou porozitu nebo mírné otlaky na ploše výrobku.

## 11 ZÁVĚR

Diplomová práce byla zaměřena na posouzení spolehlivosti lidského činitele při vybraném výrobním procesu. V teoretické části byly uvedeny základní legislativní požadavky na bezpečnost a spolehlivost práce, což byl jeden z cílů této diplomové práce. V další části bylo pojednáváno o spolehlivosti lidského činitele, kde byly zahrnuty informace o počátcích výzkumu lidského činitele přes definice chyb až po faktory, které mohou ovlivňovat spolehlivost člověka.

Jedním z cílů diplomové práce bylo porovnat metody pro vyhodnocení lidského činitele. V rešeršní části diplomové práce bylo celkově zkoumáno vybraných 11 metod, které souvisejí s analýzou rizika a vyhodnocením spolehlivosti lidského činitele. Při vypracovávání rešeršní části však bylo vybíráno celkem z 35 metod a metodologií zaměřených na vyhodnocení lidského činitele. Většina těchto metod je však z pochopitelných důvodů zaměřena především na jaderný a chemický průmysl. V rámci této diplomové práce byly zkoumány pouze metody, které lze efektivně uplatnit i ve výrobním sektoru. Závěrem rešeršní části je pak samotný návrh metodologie, která byla aplikována na výrobní proces v praktické části diplomové práce. Schéma této metodologie bylo zachyceno na obr. 3 a zahrnuje metody HTA, Human HAZOP, FTA a HEART.

Aplikace navržené metodologie na výrobní proces byl další cíl této diplomové práce. Jako výrobní proces byl zvolen výroba kusových kontaktů na rychloběžném lisu na středisku lisovny kovů. Tento proces byl popsán v rámci praktické části. Samotná analýza byla zaměřena na obsluhu stroje, tedy operátora.

Při aplikaci metodologie bylo vycházeno z pozorování pracovní náplně operátora a zároveň ze zkušeností. V rámci metody HTA bylo identifikováno celkem 23 jednotlivých činností, které operátor musí vykonávat. Tyto činnosti byly podrobně analyzovány v rámci metody Human HAZOP. Z těchto 23 činností vyplynulo za využití klíčových slov celkem 58 rizik, z nichž bylo 5 označeno za signifikantní v rámci nastavených pravidel. Signifikantní rizika byla analyzována v rámci metody FTA. Zmíněných 5 signifikantních rizik vedlo ke 2 vrcholovým událostem, což se promítlo do metody FTA. Pro výpočet pravděpodobnosti selhání lidského činitele byla využita metoda HEART, kdy ke každé základní události z metody FTA byla vypočtena hodnota pravděpodobnosti lidského selhání. Výsledná pravděpodobnost vrcholové události byla následně vypočtena podle logických operací v rámci metody FTA.

Z analýzy procesu výroby kusových kontaktů vyplynuly 2 významné selhání, a to nedodržení balného množství a průnik neshodného kusu k zákazníkovi. Pro tyto dvě selhání byly doporučeny preventivní akce, které by snížily vliv lidského činitele na celkovou spolehlivost systému a jsou z větší části technického charakteru. Navržen byl například automatický pásový dopravník s vestavěnou váhou a počítačem nebo třeba robotické měřicí stanoviště.

Z této diplomové práce je patrné, že lidský činitel je velmi důležitou součástí výrobního procesu a tím tedy výrazně ovlivňuje celkovou spolehlivost nastavených systémů. Proto je velmi důležité, aby i výrobní společnosti kladly důraz na tuto problematiku a analyzovaly své procesy i z hlediska lidské spolehlivosti. Zvýšení spolehlivosti systému může být dosaženo i třeba odborným školením nebo přezkoumáním ergonomie pracoviště. Nemusí se tedy vždy jednat o nezbytně technická řešení a spjatými investicemi. Nicméně v případě, že to povaha

daného úkolu nebo činnosti umožňuje, je vhodné implementovat strojní zařízení, které by vylepšilo nebo eliminovalo působení lidského činitele.

V této diplomové práci byl uveden teoretický rozbor problematiky lidského činitele spolu s vybranými metodami pro analýzu lidského činitele při obsluze strojního zařízení. Rovněž zde byl uveden i přehled základních legislativních požadavků pro bezpečnost a spolehlivost práce. Pomocí analytických metod byl přezkoumán proces výroby kusových kontaktů na rychloběžném lisu. Z této analýzy vyplynula signifikantní rizika, která byla kvantifikována a zároveň zde byly uvedeny preventivní opatření o jejichž implementaci musí rozhodnout vedení firmy. Veškeré výsledky z analýzy jsou uvedeny v této diplomové práci nebo v rámci příloh. Na základě těchto informací lze konstatovat, že cíle diplomové práce byly splně



## 12 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Zákon č. 262/2006 Sb., zákoník práce. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-262>
- [2] Zákon č. 309/2006 Sb. o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-309>
- [3] Zákon č. 174/1968 Sb. o státním odborném dozoru nad bezpečností práce. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1968-174>
- [4] PALEČEK, Miloš, Stanislav MALÝ a Adam GIECI. *Spolehlivost lidského činitele*. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2008, 140 s. ISBN 978-80-86973-28-9.
- [5] SKŘEHOT, Petr. Chyby lidského činitele a identifikace jejich příčin. *JOSRA : Journal of Safety Research and Applications* [online]. 2009(1) [cit. 2020-10-18]. Dostupné z: <https://www.bozpinfo.cz/josra/chyby-lidskeho-cinitele-identifikace-jejich-pricin>
- [6] SKŘEHOT, Petr. Spolehlivost lidského činitele. *Výzkumný ústav bezpečnosti práce* [online]. [cit. 2020-10-18]. Dostupné z: <https://www.bozpinfo.cz/spolehlivost-lidskeho-cinitele>
- [7] MAREK, Jakub; SKŘEHOT, Petr. *Základy aplikované ergonomie*. Praha : VÚBP, v.v.i., 2009, 118 s., ISBN 978-80-86973-58-6.
- [8] BERNATÍK, Aleš. *Prevence závažných havárií I*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství v Ostravě, 2006. ISBN 80-86634-89-2.
- [9] MARHAVILAS, Panagiotis K., Michail FILIPPIDIS, Georgios K. KOULINAS a Dimitrios E. KOULOURIOTIS. The integration of HAZOP study with risk-matrix and the analytical-hierarchy process for identifying critical control-points and prioritizing risks in industry – A case study. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* [online]. 2019, 62 [cit. 2020-10-31]. ISSN 09504230. Dostupné z: doi:10.1016/j.jlp.2019.103981
- [10] KOTEK, Luboš. Analýza HAZOP: výběr opatření pro snížení rizik. *Automa* [online]. 2014, 2014(1), 2 [cit. 2020-10-31]. Dostupné z: [https://automa.cz/cz/casopis-clanky/analyza-hazop-vyber-opatreni-pro-snizeni-rizik-2014\\_01\\_52947\\_6821/](https://automa.cz/cz/casopis-clanky/analyza-hazop-vyber-opatreni-pro-snizeni-rizik-2014_01_52947_6821/)
- [11] KOTEK, Luboš. Použití metody Human HAZOP při redukci chyb operátorů. *Automa* [online]. 2009, 2009(11), 2 [cit. 2020-10-31]. Dostupné z: [https://automa.cz/cz/casopis-clanky/pouziti-metody-human-hazop-pri-redukci-chyb-operatoru-2009\\_11\\_39901\\_6542/](https://automa.cz/cz/casopis-clanky/pouziti-metody-human-hazop-pri-redukci-chyb-operatoru-2009_11_39901_6542/)
- [12] McDERMOTT, Robin, Raymond MIKULAK a Michael BEAUREGARD. *The Basic of FMEA*. 2. vydání. New York: Productivity Press, 2009. ISBN 13:978-1-56327-377-3.
- [13] DOLEŽAL, R. et al Analýza a hodnocení rizik s ohledem na lidský faktor: materiály z 50. semináře odborné skupiny pro spolehlivost, Praha, únor 2013: [sborník přednášek] [online]. 1. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2013, 32 s. [cit. 2020-06-11]. ISBN 978-80-02-02434-7. Dostupné z: [https://www.csq.cz/fileadmin/user\\_upload/Spolkova\\_cinnost/Odborne\\_skupiny/Spolehlivost/Sborniky/Sbornik\\_2013\\_02\\_26\\_Lidsky\\_faktor.pdf](https://www.csq.cz/fileadmin/user_upload/Spolkova_cinnost/Odborne_skupiny/Spolehlivost/Sborniky/Sbornik_2013_02_26_Lidsky_faktor.pdf)
- [14] ČSN EN 62508:2011 – Návod pro lidská hlediska spolehlivosti. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011
- [15] ČSN EN IEC 60812 ed. 2. *Analýza způsobů a důsledků poruch (FMEA a FMECA)*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019, 72 s. Třídící znak 010675.

- [16] Analýza možných způsobů a důsledků závad (FMEA): příručka [online]. 3. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2001 [cit. 2020-11-12]. ISBN 80-020-1476-6. Dostupné z: <http://kramerius-vs.nkp.cz/view/uuid:4123e240-2fa9-11e9-844c-005056827e51?page=uuid:8b742b30-5cd0-11e9-b2a9-005056825209>
- [17] ČSN EN 61025. *Analýza stromu poruchových stavů (FTA)*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007, 48 s. Třídící znak 010676.
- [18] BELL, Julie a Justin HOLROYD. Review of human reliability assessment methods. *Health and Safety Executive* [online]. Derbyshire: Health and Safety Laboratory, 2009 [cit. 2020-11-22]. Dostupné z: <https://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr679.pdf>
- [19] STANTON, Neville A. Hierarchical task analysis: Developments, applications, and extensions. *Applied Ergonomics* [online]. 2006, **37**(1), 55-79 [cit. 2020-11-29]. ISSN 00036870. Dostupné z: doi:10.1016/j.apergo.2005.06.003
- [20] SKŘEHOT, Petr. Hodnocení spolehlivosti lidského činitele pomocí integrované metody HTA-PHEA a zkušenosti s aplikací softwarového nástroje HTA-PHEA. *Časopis výzkumu a aplikací v profesionální bezpečnosti* [online], 2011, roč. 4, č. 2. Dostupné z: [http://www.bozpinfo.cz/josra/josra-02-2011/hta-phea\\_skrehot.html](http://www.bozpinfo.cz/josra/josra-02-2011/hta-phea_skrehot.html). ISSN 1803-3687.
- [21] EVANS, Mark, Ying HE, Leandros MAGLARAS a Helge JANICKE. *HEART-IS: A novel technique for evaluating human error-related information security incidents* [online]. 2019, **80**, 74-89 [cit. 2020-12-03]. ISSN 01674048. Dostupné z: doi:10.1016/j.cose.2018.09.002
- [22] *Bruderer* [online]. [cit. 2021-02-02]. Dostupné z: [https://www.bruderer.com/media/pdf/13/61/5e/BSTA-510\\_cs\\_01.pdf](https://www.bruderer.com/media/pdf/13/61/5e/BSTA-510_cs_01.pdf)
- [23] *Lesak* [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://www.profi-vahy.cz/profi-vahy/eshop/27-1-Vahy-podle-provedeni/121-2-Vahy-prubezne-automaticke/5/2727-LESVD700450PD30-2-ITER10RS-30kg-2g>
- [24] *AstroBox* [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: [http://astrobox.cz/galerie.html#prettyPhoto\\_PhotoGallery1\[PhotoGallery1\]/0/](http://astrobox.cz/galerie.html#prettyPhoto_PhotoGallery1[PhotoGallery1]/0/)
- [25] *AstroBox* [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <http://astrobox.cz/astroboxKeyence.html>
- [26] *Mmspektrum* [online]. [cit. 2021-5-14]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/ekodesign-a-systematicke-rizeni-dopadu-na-zivotni-prostredi>
- [27] *Výroční zpráva* [online]. [cit. 2021-5-14]. Dostupné z: <https://or.justice.cz/ias/ui/vypis-sl-detail?dokument=61138963&subjektId=565478&spis=698506>

# 13 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

## 13.1 Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratka	Popis
Sb.	Sbírka zákonů
OOPP	Osobní ochranné pracovní pomůcky
IZS	Integrovaný záchranný systém
LCA	Life cycle assesment
ČSN	Česká technická norma
FTA	Analýza stromu poruchových stavů
ETA	Analýza stromu událostí
HAZOP	Studie nebezpečí a provozuschopnosti
ICI	Imperial Chemical Industries
FMEA	Analýza způsobů a důsledků poruch
RPN	Risk Priority Number
HTA	Hierarchical Task Analysis
HRA	Human Reliability Assessment
HEART	Human Error Assessment and Reduction Technique
HEP	Human Error Probability
APJ	Absolute Probability Judgements
SLIM	Success likelihood index
PSF	Faktor ovlivňující výkonnost
THERP	Technique for Human Error Rate Prediction
ATHEANA	A Technique for Human Event Analysis
ECF	Kontext vynucení chyby
PRA	Pravděpodobnostní hodnocení rizik
CAHR	Connectionism Assessment of Human Reliability
CREAM	Cognitive Reliability and Error Analysis Method
VÚBP	Výzkumný ústav bezpečnosti práce
SW	Software

## 13.2 Seznam tabulek

TAB 1) OVLIVNĚNÍ ČLOVĚKA PŮSOBENÍM VYBRANÝCH FAKTORŮ PODLE BULLINGERA .....	24
TAB 2) VZTAH MEZI ČINNOSTÍ, OSVĚTLENOSTÍ A KONTRASTEM .....	25
TAB 3) VÝHODY ČLOVĚKA A STROJE V PRACOVNÍM SYSTÉMU .....	28
TAB 4) KLÍČOVÁ SLOVA K ANALÝZE HAZOP .....	30
TAB 5) ČETNOST VÝSKYTU – PARAMETR P.....	30
TAB 6) ZÁVAŽNOST DŮSLEDKŮ – PARAMETR S .....	30
TAB 7) KUMULATIVNÍ VYHODNOCENÍ RIZIKA – R.....	31
TAB 8) KLÍČOVÁ SLOVA K ANALÝZE HUMAN HAZOP.....	31
TAB 9) ZÁVAŽNOST – S.....	33
TAB 10) VÝSKYT – O .....	34
TAB 11) DETEKOVATELNOST – D .....	34
TAB 12) ČASTO POUŽÍVANÉ ZNAČKY PRO METODU FTA .....	36
TAB 13) TECHNICKÉ ÚDAJE O STROJI BRUDERER BSTA 510.....	46

### 13.3 Seznam obrázků

OBR. 1) ŽIVOTNÍ CYKLUS STROJE.....	20
OBR. 2) KAUZALITA NEHODOVÉHO DĚJE .....	27
OBR. 3) ZÁKLADNÍ KROKY ANALÝZY RIZIK .....	29
OBR. 4) NÁVRH METODOLOGIE .....	44
OBR. 5) RYCHLOBĚŽNÝ LIS BRUDERER.....	45
OBR. 6) SCHÉMA PRACOVIŠTĚ .....	47
OBR. 7) PROCESNÍ DIAGRAM.....	48
OBR. 8) PRACOVNÍ NÁPLŇ OPERÁTORA .....	49
OBR. 9) ÚKOLOVÝ DIAGRAM – HTA .....	52
OBR. 10) PŘÍKLAD Z METODY HUMAN HAZOP .....	53
OBR. 11) DIAGRAM FTA – NEDODRŽENÍ BALNÉHO MNOŽSTVÍ.....	55
OBR. 12) DIAGRAM FTA – PRŮNIK NESHODNÉHO KUSU K ZÁKAZNÍKOVÍ56	
OBR. 13) PŘÍKLAD METODY HEART .....	57
OBR. 14) PÁSOVÝ DOPRAVNÍK OD SPOLEČNOSTI LESAK.....	60
OBR. 15) SCHÉMA ROBOTICKÉHO MĚŘICÍHO STANOVIŠTĚ.....	61
OBR. 16) ASTROBOX KEYENCE .....	62



# 14 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Analýza Human HAZOP

Příloha 2 Analýza HEART

# **PŘÍLOHY**



## Příloha 1 Analýza Human HAZOP

Human HAZOP										
<b>Společnost:</b>		TE Connectivity					<b>Analýzu provedl:</b>		Bc. Tomáš Jakl	
<b>Středisko:</b>		Stamping					<b>Datum:</b>		14.03.2021	
<b>Zaměření:</b>		Práce operátora při kusové výrobě					<b>Projekt:</b>		Diplomová práce	
Č.	Pracovní činnost operátora	Vodící slovo	Odchyłka	Možná příčina - Klasifikace chyb dle Reasona	Následky	Současná opatření	P	S	R	Doporučená nápravná opatření
1	Nastavení počtu zdvihů za minutu	MÉNĚ	Nastavení nižšího počtu zdvihů/min	Slip - pracovník opsal chybnou hodnotu z pracovních pokynů	Delší výrobní čas.	Pracovník musí vyplnit seřizovačský checklist, který je kontrolován zodpovědnou osobou.	1	1	2	
		VÍCE	Nastavení vyššího počtu zdvihů/min	Slip - pracovník opsal chybnou hodnotu z pracovních pokynů	Poškození nástroje - zlomení střížníků a poškození střížných hran.	Pracovník musí vyplnit seřizovačský checklist, který je kontrolován zodpovědnou osobou.	1	3	4	
2	Nastavení posuvu	MÉNĚ	Nastavení nižší hodnoty posuvu materiálu	Slip - pracovník opsal chybnou hodnotu z pracovních pokynů	Posunutý stříh. Kontakty neodpovídají specifikaci.	Pracovník musí vyplnit seřizovačský checklist, který je kontrolován zodpovědnou osobou. Před začátkem výroby jsou kontrolovány rozměry kontaktu.	1	2	3	
		VÍCE	Nastavení vyšší hodnoty posuvu materiálu	Slip - pracovník opsal chybnou hodnotu z pracovních pokynů	Posunutý stříh. Kontakty neodpovídají specifikaci.	Pracovník musí vyplnit seřizovačský checklist, který je kontrolován zodpovědnou osobou. Před začátkem výroby jsou kontrolovány rozměry kontaktu.	1	2	3	

Č.	Pracovní činnost operátora	Vodící slovo	Odchylna	Možná příčina - Klasifikace chyb dle Reasona	Následky	Současná opatření	P	S	R	Doporučená nápravná opatření
3	Nastavení mazání	MÉNĚ	Nedostatečný přísun oleje.	Slip - pracovník opsal chybnou hodnotu z pracovních pokynů	Tvorba špon, které poškozují nástroj. Kontakty neodpovídají specifikaci z důvodu otřepu na hranách.	Kontakty jsou pravidelně kontrolovány zodpovědnou osobou.	1	3	4	
		VÍCE	Přemazávání.	Slip - pracovník opsal chybnou hodnotu z pracovních pokynů	Stopy oleje na kontaktech, nečistoty.	Kontakty jsou pravidelně kontrolovány zodpovědnou osobou.	1	2	3	
		JINÝ NEŽ	Použit jiný typ oleje	Violation - pracovník nezkontroloval pásový dopravník z důvodu úspory času.	Tvorba špon, které poškozují nástroj. Kontakty neodpovídají specifikaci z důvodu otřepu na hranách.	Kontakty jsou pravidelně kontrolovány zodpovědnou osobou. LPA audity	1	2	3	
4	Kontrola čistoty pásového dopravníku	NEPROVEDENO	Neproběhla kontrola čistoty pásového dopravníku	Violation - pracovník nezkontroloval pásový dopravník z důvodu úspory času.	Poškození kontaktu o nečistoty, zbytky materiálu nebo oleje.	Pravidelná kontrola kontaktů zodpovědnou osobou.	1	3	4	
5	Nastavení třídění na pásovém dopravníku	NEPROVEDENO	Nastavení třídění pásového dopravníku neproběhlo. Počet kusů dopravených do krabic nebude odpovídat požadovanému množství	Lapse - pracovník zapomněl nastavit třídění na pásovém dopravníku	Poškození balicího materiálu nebo výrobku, zpomalení procesu balení.	N/A	1	2	3	
6	Navedení materiálu do stroje	JINÝ NEŽ	Pracovník navedl špatný materiál	Mistake - pracovníkovi byl poskytnut jiný materiál.	Poškození nástroje, výroba neshodných kusů - nevyhovující tloušťka, šířka nebo složení materiálu.	Pracovník odpovědný za dovoz materiálu musí naskenovat etiketu materiálu do systému	1	3	4	
		MÉNĚ	Materiál byl naveden špatnou stranou nahoru	Mistake - pracovník nevěděl o rozdílu v materiálu	Výroba neshodných kusů.	Pravidelná kontrola zodpovědnou osobou	1	2	3	

Č.	Pracovní činnost operátora	Vodící slovo	Odchyłka	Možná příčina - Klasifikace chyb dle Reasona	Následky	Současná opatření	P	S	R	Doporučená nápravná opatření
7	Rozměrová kontrola po navedení nového materiálu	ČÁST	Pracovník neprovedl / nedonesl po navedení materiálu předepsaný počet kusů k rozměrové kontrole	Violation - pracovník vědomě přeskočil kontrolu z důvodu urychlení výroby	Uvolnění výroby s kvalitativními problémy na kontaktu (chybějící prostřih, nevyhovující rozměry, povrchové vady).	N/A	1	4	5	
8	Výroba zkušebních kusů	POZDĚJI	Pracovník nedodal první zkušební kusy k uvolnění výroby a rovnou začal vyrábět. Zkušební kusy dodal později.	Violation - pracovník vědomě přeskočil kontrolu z důvodu urychlení výroby	Uvolnění výroby s kvalitativními problémy na kontaktu (chybějící prostřih, nevyhovující rozměry, povrchové vady).	N/A	1	1	2	
9	Kontrola zkušebních kusů	NEPROVEDENO	Nebyla provedena rozměrová kontrola kusů	Violation - pracovník vědomě přeskočil kontrolu z důvodu urychlení výroby	Výroba s kvalitativními problémy na kontaktu (chybějící prostřih, nevyhovující rozměry, povrchové vady).	Výrobu může povolit pouze pracovník zodpovědný za kvalitu kontaktů	1	4	5	
		MÉNĚ	Nebyla provedena všech předepsaných rozměrů	Violation - pracovník vědomě přeskočil kontrolu vybraných rozměrů z důvodu urychlení výroby	Výroba neshodných kusů - chybějící prostřih, nevyhovující rozměry, povrchové vady	Výrobu může povolit pouze pracovník zodpovědný za kvalitu kontaktů	1	4	5	
		OBRÁCENĚ	Kontrola kusů byla provedena, poté však proběhl zásah v nástroji (seřízení, oprava)	Slip - pracovník nedodržel posloupnost činností	Výroba neshodných kusů - chybějící prostřih, nevyhovující rozměry, povrchové vady	Výrobu může povolit pouze pracovník zodpovědný za kvalitu kontaktů	1	4	5	

Č.	Pracovní činnost operátora	Vodící slovo	Odchyłka	Možná příčina - Klasifikace chyb dle Reasona	Následky	Současná opatření	P	S	R	Doporučená nápravná opatření
10	Kalibrace váhy	NEPROVEDENO	Kalibrace váhy nebyla provedena	Violation - pracovník porušil pracovní pokyny	Nedodrženo balné množství - zákaznická reklamáce	N/A	1	4	5	
		POZDĚJI	Kalibrace váhy nebyla provedena ve stanoveném intervalu	Lapse - pracovník zapomněl na kontrolu kalibrace váhy	Nedodrženo balné množství - zákaznická reklamáce	N/A	1	4	5	Pravidelná kontrola váhy pomocí kalibru
		MÉNĚ	Kalibrace váhy byla provedena, ale pracovník ji zkalibroval na nižší množství kusů	Slip - neúmyslné porušení pracovních pokynů	Nedodrženo balné množství, zákazník dostal nižší počet kusů než si objednal.	N/A	2	4	6	Pravidelná kontrola váhy pomocí kalibru
		VÍCE	Kalibrace váhy byla provedena, ale pracovník ji zkalibroval na vyšší množství kusů	Slip - neúmyslné porušení pracovních pokynů	Nedodrženo balné množství, poškození kontaktů z důvodu vzájemného tření a nedostatku místa. Poškození balicího materiálu.	N/A	2	4	6	Pravidelná kontrola váhy pomocí kalibru
11	Nastavení hlídání prostřihů	MÉNĚ	Nastavení hlídání prostřihů bylo provedeno chybně	Slip - pracovník nastavil hlídání prostřihu, ale neúčinně	Chybí kontrola na přítomnost prostřihů	N/A	1	3	4	
		NEPROVEDENO	Nastavení hlídání prostřihů nebylo nastaveno	Violation - pracovník úmyslně přeskočil tento pracovní krok	Chybí kontrola na přítomnost prostřihů	N/A	1	3	4	

Č.	Pracovní činnost operátora	Vodící slovo	Odchyłka	Možná příčina - Klasifikace chyb dle Reasona	Následky	Současná opatření	P	S	R	Doporučená nápravná opatření
12	Postup při nestandardní situaci	OBRÁCENĚ	Při nenedálem zastavení stroje pracovník nedodrží posloupnost kontrolních akcí a rozjede výrobu	Violation - Nedodržení předepsaného reakčního plánu	Poškození střížných jednotek v nástroji z důvodu zastavení stroje v dolní úvrati.	N/A	1	4	5	
		NEPRAVEDENO	Při nenedálem zastavení stroje pracovník nezkontroluje příčinu a rozjede výrobu	Violation - Nedodržení předepsaného reakčního plánu	Poškození střížných jednotek v nástroji z důvodu zastavení stroje v dolní úvrati.	N/A	1	4	5	
13	Ovládání odvíječe materiálu	MÉNĚ	Pracovník upraví odvíječ materiálu na nižší otáčky	Lapse - pracovník špatně vyhodnotí situaci a sníží otáčky na odvíječi	Poškození materiálu z důvodu nadměrného tření, poškození kladek	N/A	1	2	3	
		VÍCE	Pracovník upraví odvíječ materiálu na vyšší otáčky	Lapse - pracovník špatně vyhodnotí situaci a zvýší otáčky na odvíječi	Poškození materiálu - pád materiálu z kladek	N/A	2	2	4	
14	Ovládání dopravníkového pásu	MÉNĚ	Nastavení nižších parametrů na dopravníkovém pásu	Slip - pracovník udělá matematickou chybu při výpočtu posuvu na dopravníkovém pásu	Narušení procesu balení - pracovník musí ručně přidávat více kontaktů.	N/A	1	1	2	
		MÉNĚ	Pracovník nevloží do pásového dopravníku potřebný počet krabic	Lapse - pracovník zapomene vložit krabice do pásového dopravníku	Hotová výroba padá na zem a je znehodnocena	N/A	1	2	3	
		VÍCE	Nastavení vyšších parametrů na dopravníkovém pásu	Slip - pracovník udělá matematickou chybu při výpočtu posuvu na dopravníkovém pásu	Narušení procesu balení - pracovník musí odebírat kontakty z krabice	N/A	1	1	2	

Č.	Pracovní činnost operátora	Vodící slovo	Odchylna	Možná příčina - Klasifikace chyb dle Reasona	Následky	Současná opatření	P	S	R	Doporučená nápravná opatření
15	Pravidelná kontrola rozměrů	NEPROVEDENO	Kontrola rozměrů neprovedena	Violation - pracovník neprovedl kontrolu rozměrů dle zkušebního plánu	Průnik neshodných kusů k zákazníkovi	Zápis do tištěných kontrolních karet, pravidelná rozměrová kontrola Kontrolorem kvality	1	4	5	100% kontrola prostřihů a rozměrů automatickým měřicím zařízením.
		OPAKOVÁNO	Kontrola rozměrů byla provedena vícekrát na jednom kusu	Violation - pracovníkovi se nechtělo pravidelně odbírat kusy	Průnik neshodných kusů k zákazníkovi	Pravidelná rozměrová kontrola Kontrolorem kvality	1	4	5	
		POZDĚJI	Kontrola rozměrů byla provedena později než ve stanoveném intervalu	Lapse - pracovník ztratil pojem o čase	Průnik neshodných kusů k zákazníkovi	Zápis do tištěných kontrolních karet, pravidelná rozměrová kontrola Kontrolorem kvality	1	4	5	
		DŘÍVE	Kontrola rozměrů byla provedena dříve než stanoveném intervalu	Violation - pracovník provede kontrolu dříve, jelikož chce ušetřit čas	Průnik neshodných kusů k zákazníkovi	Zápis do tištěných kontrolních karet, pravidelná rozměrová kontrola Kontrolorem kvality	1	2	3	
		ČÁST	Pracovník při kontrole odhalil neshodný kus, ale nepostupoval dle Reakčního plánu.	Violation - pracovník se neřídil nastaveným Reakčním plánem	Průnik neshodných kusů k zákazníkovi	N/A	2	4	6	
		ČÁST	Byla provedena kontrola jen části předepsaných rozměrů	Violation - pracovník provede kontrolu jen části rozměrů, jelikož chce ušetřit čas	Průnik neshodných kusů k zákazníkovi	Zápis do tištěných kontrolních karet, kontrola kalibrem, pravidelná rozměrová kontrola Kontrolorem kvality	1	4	5	

Č.	Pracovní činnost operátora	Vodící slovo	Odchyłka	Možná příčina - Klasifikace chyb dle Reasona	Následky	Současná opatření	P	S	R	Doporučená nápravná opatření
16	Zapisování do kontrolní karty	NEPROVEDENO	Zápisy nebyly provedeny	Violation - pracovník záměrně nezapisuje do kontrolních karet	Chybějící údaje pro analýzy procesu nebo zpětné analýzy.	Kontrola nadřízeným pracovníkem, LPA audit	1	1	2	
		ČÁST	Zápisy byly provedeny jen z části - pracovník nezapsal všechny potřebné údaje	Violation - pracovník záměrně nezapisuje do kontrolních karet	Chybějící údaje pro analýzy procesu nebo zpětné analýzy.	Kontrola nadřízeným pracovníkem, LPA audit	1	1	2	
17	Kódování do systému	NEPROVEDENO	Kódování nebylo řádně provedeno	Violation - pracovník se záměrně nepřihlašuje do systému	Narušení metrik procesu	Kontrola nadřízeným pracovníkem, LPA audit	1	1	2	
		MÉNĚ	Pracovník použije špatný kód	Slip - pracovník si spletl kódy	Narušení metrik procesu	Kontrola nadřízeným pracovníkem, LPA audit	1	1	2	
18	Doplnění oleje	NEPROVEDENO	Nebylo provedeno doplnění oleje	Lapse - pracovník zapomněl zkontrolovat hladinu oleje	Poškození nástroje šponami nebo zhoršená kvalita kontaktů z důvodu otřepů	N/A	1	3	4	
		JINÝ NEŽ	Byl doplněn špatný olej	Mistake - pracovník omylem vezme špatný olej	Poškození nástroje šponami nebo zhoršená kvalita kontaktů z důvodu otřepů	Oleje jsou označovány štítky	1	3	4	
19	Rozhrnování odpadu	NEPROVEDENO	Odpad nebyl řádně rozhrnován	Lapse - pracovník zapomene rozhrnout odpad	Odpad poškodí střížné hrany nástroje nebo dojde k ulomení střížníků a kousnutí nástroje.	LPA audit	1	3	4	

Č.	Pracovní činnost operátora	Vodící slovo	Odchyłka	Možná příčina - Klasifikace chyb dle Reasona	Následky	Současná opatření	P	S	R	Doporučená nápravná opatření
20	Úklid pracoviště	NEPROVEDENO	Úklid nebyl proveden	Violation - pracovník vyhodnotil úklid jako zbytečný	Nedodržení standardu 5S	LPA auditu	1	1	2	
21	Příprava krabic	MÉNĚ	Krabice neobsahovala potřebné proklady	Slip - pracovník omylem použil jiné než předepsané proklady	Poškození kontaktů během přepravy z důvodu vzájemného tření.	N/A	1	4	5	Odstranit z pracoviště přebytečné balicí materiály a zanechat jen ty pro danou výrobu
		JINÝ NEŽ	Byla použita krabice o špatných rozměrech	Slip - pracovník omylem použil jinou krabici	Nedodržení balného množství, zpomalení procesu balení, poškození kontaktů	N/A	1	4	5	
22	Lepení krabic	MÉNĚ	Krabice nebyly slepeny dle požadovaného standardu	Violation - pracovník z důvodu nedůsledného přístupu k práci neslepil krabice dle standardu	Narušená kvalita balení - hrozí znehodnocení kontaktů třením.	N/A	1	3	4	



Č.	Pracovní činnost operátora	Vodící slovo	Odchyłka	Možná příčina - Klasifikace chyb dle Reasona	Následky	Současná opatření	P	S	R	Doporučená nápravná opatření
23	Doplnění kusů do krabic dle váhy	NEPROVEDENO	Krabice byly převzaty a zabaleny rovnou z dopravníkového pásu	Lapse - pracovník zapomněl na nutnost ručního doplnění kontaktků	Nedodržení balného množství.	N/A	1	4	5	
		MÉNĚ	Do krabice bylo doplněno menší množství kusů než je požadované balné množství	Slip - pracovník měl špatně zkalibrovanou váhu nebo se kalibrace váhy v průběhu procesu výroby narušila	Nedodržení balného množství - balení obsahuje menší počet kusů.	N/A	2	4	6	Pravidelná kontrola váhy pomocí kalibru
		VÍCE	Do krabice bylo doplněno větší množství kusů než je požadované balné množství	Slip - pracovník měl špatně zkalibrovanou váhu nebo se kalibrace váhy v průběhu procesu výroby narušila	Nedodržení balného množství - balení obsahuje vyšší počet kusů.	N/A	2	4	6	Pravidelná kontrola váhy pomocí kalibru
24	Tisk etiket	JINÝ NEŽ	Záměna etiket	Mistake - pracovník použije etiketu z vedlejšího stroje	Odeslání výroby se špatnou etiketou - zákaznická reklamace	Přímý tisk etiket u stroje	1	4	5	
25	Označení etikety	NEPROVEDENO	Pracovník neoznačí etiketu svým osobním číslem	Lapse - pracovník zapomene označit etiketu svým osobním číslem	Zhoršení trasování při zpětné analýze.	LPA audit	1	1	2	
		JINÝ NEŽ	Pracovník označí etiketu osobním číslem jiného pracovníka	Violation - pracovník tuší problémy s výrobou, proto použije jiné osobní číslo než své	Zhoršení trasování při zpětné analýze.	LPA audit	1	1	2	

Č.	Pracovní činnost operátora	Vodící slovo	Odchylna	Možná příčina - Klasifikace chyb dle Reasona	Následky	Současná opatření	P	S	R	Doporučená nápravná opatření
26	Odvoz hotové výroby	MÉNĚ	Pracovník odveze hotovou výrobu do skladu s nižším počtem krabic	Slip - pracovník špatně porozuměl pracovním pokynům	Zpomalení procesu balení.	Kontrola pracovníky ve skladu	1	1	2	
		VÍCE	Pracovník odveze hotovou výrobu do skladu s vyšším počtem krabic	Slip - pracovník špatně porozuměl pracovním pokynům	Zpomalení procesu balení, zhoršení manipulace	Kontrola pracovníky ve skladu	1	1	2	
27	Šrotace neshodných kusů	JINÝ NEŽ	Neshodné kusy nebyly vyšrotovány, ale zabaleny s OK kusy	Violation - pracovník nerespektoval pokyny pro zacházení s neshodnými kusy	Zákaznická reklamace	Neshodné kusy jsou uchovávány v červené krabičce	1	4	5	
		OBRÁCENĚ	Neshodné kusy nebyly uloženy do označené krabičky	Slip - při střídání směny nově příchozí pracovník považoval kusy za dobrou výrobu	Zákaznická reklamace	Neshodné kusy jsou uchovávány v červené krabičce	1	4	5	
		NEPROVEDENO	Šrotace nebyla provedena.	Violation - pracovník nerespektoval pokyny pro zacházení s neshodnými kusy	Hromadění neshodných kusů.	Neshodné kusy jsou uchovávány v červené krabičce	1	1	2	
28	Úklid pracoviště	NEPROVEDENO	Úklid před předáním směny nebyl proveden	Violation - pracovník záměrně neprovedl úklid z důvodu špatné pracovní morálky	Nedodržení standardu 5S	Nově příchozí pracovník by měl tuto skutečnost nahlásit vedoucímu pracovníkovi	1	1	2	

## Příloha 2 Analýza HEART

HEART								
<b>Společnost:</b>		TE Connectivity			<b>Analýzu provedl:</b>		Bc. Tomáš Jakl	
<b>Středisko:</b>		Stamping			<b>Datum:</b>		31.03.2021	
<b>Vrcholová událost:</b>		Nedodrženo balné množství			<b>Projekt:</b>		Diplomová práce	
Č.	Činnost	Typ úkolu	Nominální hodnota lidské nespolehlivosti	Faktor	Maximální hodnota faktoru	Použitá hodnota faktoru	Vliv faktoru	Pravděpodobnost selhání lidského činitele
1	Použití nesprávného kalibračního množství	Jednoznačný, naprosto pochopitelný úkol	0,0004	Nezkušený operátor	3	0,05	1,100	4,40E-04
2	Nedodržení posloupnosti kroků při kalibraci	Úkol prováděný na základě jasných pokynů	0,007	Vyrušení operátora jiným pracovníkem	1,06	0,3	1,018	8,55E-03
				Nezkušený operátor	3	0,1	1,2	
3	Kalibrace váhy neprovedena	Úkol prováděný na základě jasných pokynů	0,007	Nízká pracovní morálka	1,2	0,5	1,100	7,70E-03
4	Vynechání kontroly množství na váze	Jednoznačný, naprosto pochopitelný úkol	0,0004	Vyrušení operátora jiným pracovníkem	1,06	0,3	1,018	4,07E-04
5	Doplnění na nesprávné množství	Jednoznačný, naprosto pochopitelný úkol	0,0004	Vyrušení operátora jiným pracovníkem	1,06	0,3	1,018	4,07E-04

HEART								
<b>Společnost:</b>		TE Connectivity			<b>Analýzu provedl:</b>		Bc. Tomáš Jakl	
<b>Středisko:</b>		Stamping			<b>Datum:</b>		31.03.2021	
<b>Vrcholová událost:</b>		Průnik neshodného kusu k zákazníkovi			<b>Projekt:</b>		Diplomová práce	
Č.	Činnost	Typ úkolu	Nominální hodnota lidské nespolehlivosti	Faktor	Maximální hodnota faktoru	Použitá hodnota faktoru	Vliv faktoru	Pravděpodobnost selhání lidského činitele
1	Neprovedena vizuální kontrola operátorem	Jednoznačný, naprosto pochopitelný úkol	0,0004	Nízká pracovní morálka	1,2	0,5	1,100	1,76E-03
				Nezkušený operátor	3	1,5	4,000	
2	Neprovedena kontrola kalibrem	Jednoznačný, naprosto pochopitelný úkol	0,0004	Nízká pracovní morálka	1,2	0,5	1,100	4,84E-04
				Nezkušený operátor	3	0,05	1,100	
3	Neprovedena kontrola předepsaných rozměrů	Jednoznačný, naprosto pochopitelný úkol	0,0004	Vyrušení jiným pracovníkem	1,06	0,1	1,006	4,43E-04
				Nízká pracovní morálka	1,2	0,5	1,100	
4	Neurčeno podezřelé množství	Úkol prováděný na základě jasných pokynů	0,007	Zodpovědný pracovník necítí odpovědnost za tuto činnost	1,6	0,6	1,360	1,24E-02
				Nedostatečné instrukce pro splnění úkolu	1,6	0,5	1,300	

Č.	Činnost	Typ úkolu	Nominální hodnota lidské nespolehlivosti	Faktor	Maximální hodnota faktoru	Použitá hodnota faktoru	Vliv faktoru	Pravděpodobnost selhání lidského činitele
5	Neprovedeno zpětné třídění	Úkol prováděný na základě jasných pokynů	0,007	Činnost závisející na rozhodnutí jiného pracovníka	1,03	1,03	1,031	7,22E-03
6	Nevydán třídící pokyn	Úkol prováděný na základě jasných pokynů	0,007	Zodpovědný pracovník necítí odpovědnost za tuto činnost	1,6	0,6	1,360	9,52E-03
7	Neprovedeno blokování výroby	Úkol prováděný na základě jasných pokynů	0,007	Zodpovědný pracovník necítí odpovědnost za tuto činnost	1,03	0,6	1,018	9,26E-03
				Nedostatečné instrukce pro splnění úkolu	1,6	0,5	1,300	
8	Neprovedena vizuální kontrola kontrolorem kvality	Jednoznačný, naprosto pochopitelný úkol	0,0004	Nízká pracovní morálka	1,2	0,5	1,100	1,32E-03
				Nezkušený pracovník	3	1	3,000	