

Analýza rizik plynulosti provozního procesu výrobní buňky 4.0

Martin Večerka

Bakalářská práce
2023



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta logistiky a krizového řízení

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta logistiky a krizového řízení
Ústav krizového řízení

Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Martin Večerka**
Osobní číslo: **L20665**
Studijní program: **B1022A020002 Management rizik**
Forma studia: **Kombinovaná**
Téma práce: **Analýza rizik plynulosti provozního procesu výrobní buňky 4.0**

Zásady pro vypracování

1. Zpracujte literární rešerši k zadanému tématu bakalářské práce.
2. Aplikací vhodných metod analyzujte rizika plynulosti provozního procesu výrobní buňky 4.0.
3. Na základě zjištění navrhněte opatření k zajištění plynulosti provozního procesu výrobní buňky 4.0.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. PRITCHARD, Carl L.: *Risk management: concepts and guidance. Fifth edition.* Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2015. ISBN 978-1482258455.
2. ŠVECOVÁ, Lenka a Jaromír WEBER: *Produkční a provozní management.* Praha: Grada, Expert (Grada). 2021. ISBN 978-80-271-1385-9.
3. TOMEK Gustav a Věra VÁVROVÁ: *Průmysl 4.0, aneb, Nikdo sám nevyhraje.* Průhonice: Professional Publishing, 2017. ISBN 978-80-906594-4-5.

Další odborná literatura dle doporučení vedoucí bakalářské práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Slavomíra Vargová, Ph.D.**
Ústav krizového řízení

Datum zadání bakalářské práce: **1. prosince 2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **5. května 2023**

L.S.

doc. Ing. Zuzana Tučková, Ph.D.
děkanka

Ing. et Ing. Jiří Konečný, Ph.D.
ředitel ústavu

V Uherském Hradišti dne 2. prosince 2022

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

V Uherském Hradišti, dne: 5.5. 2023

Jméno a příjmení studenta: Martin Večerka

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá analýzou rizik plynulosti výroby za účelem zlepšení toku výroby a tím zvýšení odbytu vybrané společnosti XY. Pro tento účel byla zvolena metoda DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control – definovat, měřit, analyzovat, zlepšovat, řídit) s výstupem analýzy FMEA (Failure Mode and Effect Analysis – Analýza možných chyb a jejich následků) díky své komplexnosti a přehlednosti. Jako pomocné metody pro zpracování cílové analýzy byly použity metody Vývojové diagramy, Brainstorming, Paretův diagram a Ishikawa. Práce je rozdělena na dvě části, a to teoretickou a praktickou. Teoretická část se zabývá rešeršní činností zvoleného tématu a popisem metod analýzy rizik. V praktické části je uveden popis vybrané společnosti, analýza současného stavu vybraného výrobního subjektu a analýza procesu FMEA s návrhy zajištění stability plánované výrobní kapacity. Cílem této bakalářské práce je provést analýzu rizik provozu Buňky 4.0 a navrhnout možnosti řešení, které povedou k zajištění montáže a prodeje výrobků společnosti XY dle smluvních termínů.

Klíčová slova: Výrobní proces, operativní management, analýza rizik, Průmysl 4.0, Ishikawa, Brainstorming, FMEA.

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the analysis of production continuity risks in order to improve the production flow and thus increase the sales of the selected company XY. For this purpose, the DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) method with the output of FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) was chosen due to its complexity and clarity. As auxiliary methods for processing the target analysis, the methods of Flowcharts, Brainstorming, Pareto diagram were used and Ishikawa. The thesis is divided into two parts, namely theoretical and practical. The theoretical part deals with the research of the chosen topic and the description of risk analysis methods. The practical part includes a description of the selected company, an analysis of the current state of the selected manufacturing entity and an analysis of the FMEA process with suggestions for ensuring the stability of the planned production capacity. The aim of this bachelor thesis is to perform a risk analysis of the Cell 4.0 operation and to propose solution options that will lead to ensuring the assembly and sale of XY company's products according to the contractual terms.

Keywords: Production Process, Operational Management, Risk Analysis, Industry 4.0, Ishikawa, Brainstorming, FMEA.

Poděkování patří především mé vedoucí práce Ing. Slavomíře Vargové, Ph.D. za její cenné rady, odborné vedení a vstřícnost, které mi velmi pomohly k vypracování této bakalářské práce. Mé poděkování patří také pracovníkům ve společnosti XY za jejich vstřícnost a informace. Velké poděkování patří mé manželce Michaelce a rodině, která pro mne byla velkou oporou.

OBSAH

ÚVOD.....	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 MANAGEMENT RIZIK A DEFINICE ZÁKLADNÍCH POJMŮ	11
1.1 DEFINICE ZÁKLADNÍCH POJMŮ	11
1.2 HISTORIE MANAGEMENTU RIZIK.....	13
1.3 MANAGEMENT RIZIK V SOUČASNOSTI	14
1.4 POSTUP PŘI POSUZOVÁNÍ RIZIKA	15
1.4.1 Identifikace rizik	16
1.4.2 Analýza rizik	16
1.4.3 Hodnocení rizik.....	17
1.4.4 Opatření k rizikům	17
2 DEFINICE ŘÍDÍCÍCH VÝROBNÍCH PROCESŮ	19
2.1 OPERATIVNÍ PLÁNOVÁNÍ.....	19
2.2 OPERATIVNÍ ŘÍZENÍ	20
3 VÝZNAM PRŮMYSLU 4.0 A JEHO NOSNÉ PRVKY.....	22
3.1 PRŮMYSL 4.0 A JEHO CHARAKTERISTIKA.....	22
3.2 NOSNÉ PRVKY PRŮMYSLU 4.0.....	23
4 CÍL PRÁCE A POUŽITÉ METODY PRO STANOVENÍ RIZIK PROCESU	24
4.1 CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	24
4.2 POUŽITÉ METODY PRO STANOVENÍ RIZIK.....	24
4.2.1 Brainstorming.....	24
4.2.2 Diagram příčin a následků	25
4.2.3 Paretova analýza.....	25
4.2.4 FMEA.....	26
4.2.5 Model DMAIC	27
II PRAKTICKÁ ČÁST.....	29
5 POPIS VYBRANÉ ORGANIZACE.....	30
6 POPIS FIREMNÍCH PROCESŮ A UMÍSTĚNÍ PRACOVISŤĚ VÝROBNÍ BUŇKY 4.0.....	31
6.1 ZAPOJENÍ VÝROBNÍ BUŇKY DO LOGISTICKÝCH A VÝROBNÍCH PROCESŮ FIRMY	31
6.2 POPIS PRACOVISŤĚ VÝROBNÍ BUŇKA 4.0.....	32
6.3 TECHNICKOEKONOMICKÉ ASPEKTY PROVOZU SLEDOVANÉHO SUBJEKTU	34
7 DOPAD APLIKACE MODELU DMAIC NA PLYNULOST PROVOZU VÝROBNÍ BUŇKY.....	37
7.1 DEFINOVÁNÍ PROCESU.....	37

7.2	MĚŘENÍ DAT PROVOZU	39
7.3	ANALÝZA ZÍSKANÝCH DAT A PROCESŮ	41
7.3.1	Analýza změřených dat Paretovou metodou.....	41
7.3.2	Analýza chybových hlášení brainstormingem	42
7.4	NÁVRHY NA OPTIMALIZACI	50
	ZÁVĚR	53
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	54
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	56
	SEZNAM OBRÁZKŮ	57
	SEZNAM TABULEK.....	58
	SEZNAM PŘÍLOH.....	59

ÚVOD

Tato bakalářská práce se bude zabývat analýzou vybraných rizik plynulosti výroby na automatizovaném strojním pracovišti Výrobní buňka 4.0 a návrhy na jejich řešení.

Při automatické robotické výrobě mohou nastat nežádoucí stavy, které provoz nejen zpomalí, ale přímo ho mohou i zastavit a kdy časové ztráty mohou bezprostředně ohrozit stabilitu podniku. Antropogenní vlivy na výrobu, jako jsou nedostatečná zastupitelnost lidských pracovníků, kybernetické hrozby či nedostatečná zodpovědnost v přístupu ke svěřeným úkolům, se v rámci této bakalářské práce budou řešit pouze pokud budou zjištěny v rámci použitých analytických metod. Cílem bakalářské práce bude analýza pracovní výkonnosti pozorovaného subjektu a působení chybových stavů nebo rizik ohrožujících plynulost výrobního toku důsledku použitého technického a technologického vybavení Výrobní buňky 4.0.

V teoretické části je cílem na základě studia odborné literatury vypracování literární rešerše. První kapitola je věnována podstatě managementu rizik, jeho historii a současnosti spolu s vymezením základních pojmů a zásadami řízení rizik a nakládání s rizikem. V druhé kapitole jsou vymezeny pojmy týkající se výroby a dále pojem Průmysl 4.0. Poslední kapitola je zaměřena na metody analýzy rizik s důrazem na využití modelu DMAIC, které budou použity v rámci části praktické.

V úvodu praktické části je vybraná společnost nejdříve představena a charakterizována. V dalších kapitolách je pozornost zaměřena na proces výroby finálních komponentů strojním zařízením Výrobní buňka 4.0 pro výrobní program společnosti XY. Celý sledovaný proces bude vymezen procesní mapou a následně přehledně zpracován do podoby vývojových diagramů, kde bude pomocí analytických metod podrobně rozebrán každý krok procesu a chybové stavy, které nastávají a možná rizika z toho plynoucí. V této části bude využito pozorování, brainstormingu, Paretova diagramu s diagramem Ishikawa a v následně bude využita metoda FMEA k návrhům ošetření rizik.

Očekávaným přínosem této práce je nalezení možností, jak zvýšit současnou výkonnost procesu, a to návrhem ošetření nebo snížení rizik v procesu, jež by mohla efektivitu ovlivňovat.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 MANAGEMENT RIZIK A DEFINICE ZÁKLADNÍCH POJMŮ

V této kapitole bude uvedena definice základních terminologických pojmů a dále zde bude věnována pozornost historii i současnosti managementu rizik. Poslední podkapitola bude zaměřena na celý doporučený postup při posuzování rizika.

1.1 Definice základních pojmů

Tato podkapitola bude věnována definování základních pojmů a terminologii, která se v rámci managementu rizik používá z důvodu vyvarování se rozporům nebo nepochopení.

- **Aktivum** – je všechno, co má pro pozorovaný systém hodnotu, jež může být zmenšena nebo zničena působením hrozby. Dělíme je na hmotná (nemovitosti, stroje, peníze atd.) a na nehmotná (například know-how, informace, technologické postupy a pověst firmy). Důležité při identifikaci jednotlivých aktiv je úroveň podrobnosti, která je zvolena (Smejkal a Rais, 2013).
- **Hrozba** – je síla, aktivita nebo osoba, která má nežádoucí vliv na aktiva a může způsobit škodu. Jedna hrozba nemusí působit přímo jen na jedno aktivum, ale může mít vliv na větší počet aktiv anebo zasáhnout celý subjekt. Může být původu jak přírodního, tak lidského a vytvořena jak neúmyslně, tak úmyslně. Hrozby charakterizujeme dle úrovně, s jakou intenzitou, pravidelností, a hlavně dopadem jsou schopny působit (Smejkal a Rais, 2013).
- **Management rizik** – původní anglický výraz „risk management“ nelze doslovně přeložit jako rizikový management, protože nejde o řízení rizik, která nelze v pravém slova smyslu řídit, ale jde o řízení procesů a činností, jež zdrojem rizik jsou a snižovat nebo eliminovat jejich závažnost (Kruliš, 2011). Více se tomuto tématu věnují kapitoly 1.2 a 1.3.
- **Protiopatření** – je každá činnost, která je navržena pro snížení rizika, zvýšení výkonnosti, kvality nebo bezpečnosti hlídaného aktiva, procesu nebo celého subjektu (Managementmania, 2018). Oproti tomu Smejkal a Rais (2013) definují protiopatření jako jakoukoliv činnost, která byla speciálně navržena pro zmírnění působení hrozby až po její eliminaci, s hlavním cílem předejít vzniku škody nebo usnadnění překlenutí následků již vzniklé škody. Hlavní charakteristika protiopatření je dána efektivitou a náklady.

- **Riziko** – historický výraz, ke kterému se vážou dvě možné verze původu. První teorie uvádí původ v arabském slově „*risk*“, jež označovalo příznivou i nepříznivou událost v lidském životě (Šenovský, Oravec a Šenovský, 2012). Druhá verze tvrdí, že pochází z italského 17. století související s námořnictvím a původně označoval úskalí, kterému se plavci museli vyhnout. Dle dnešního pojetí se tímto pojmem obecně rozumí nebezpečí vzniku škody, ztráty nebo zničení, případně neúspěchu v podnikání (Smejkal a Rais, 2013). Ale nejlépe je definováno v normě ČSN ISO 31000:2018, kdy je riziko definováno jako účinek nejistoty na dosažení cílů, kdy účinek je odchylka od očekávaného ať již záporná nebo kladná (Častorál, 2017).

Klasifikace rizik

- ✓ *Technické* – to jsou rizika související s výkonem,
 - ✓ *Programové* – to je riziko související se získáváním a používáním příslušných zdrojů a činností,
 - ✓ *Technické podpory* – potencionální hrozby možné nezajištěním údržby systémů nebo procesů,
 - ✓ *Nákladové* – rizika spojená s finančním zajištěním,
 - ✓ *Externí* – tato rizika jsou spojená s okolním prostředím, které nemusí být navázáno na přímo řešenou oblast, ale může ji ovlivnit,
 - ✓ *Rozhodovací* – rizika spojená s rozhodnutími autority s vyšší pravomocí,
 - ✓ *Behaviorální* – hrozby spojené s nesprávně odhadnutým lidským potenciálem jak schopnostním, tak morálním,
 - ✓ *Časové* – neplnění časových plánů,
 - ✓ *Nepředvídatelné* – zde řadíme rizika naturogenní a hrozby, jež se nám nepodařilo odhadnout anebo klasifikovat (Pritchard, 2015).
- **Zranitelnost** – je charakterizována jako nedostatek či slabina analyzovaného aktiva, který může být hrozbou využit pro napadení celého systému. Úroveň zranitelnosti aktiva určují dvě vlastnosti, a to citlivost, což je náchylnost k poškození a kritičnost, což je důležitost aktiva pro funkci procesu nebo systému (Smejkal a Rais, 2013).
Dle další definice to je stupeň náchylnosti aktiva k neschopnosti provozu, poškození nebo destrukci vlivem působícího nebezpečí (Popov, Lyon a Hollcroft, 2022).

1.2 Historie managementu rizik

Tak, jak se vyvíjela lidská historie, vyvíjel se i klasický management a s ním rovněž management rizik. Jako jeden z nejranějších příkladů můžeme použít stavění katedrál ve středověku. V této době se architektonický sloh kostelů měnil ze slohu románského na sloh gotický. Tento přechod znamenal přerod z masivních, výškově omezených staveb s malými okny na konstrukce mnohem vyšší a štíhlejší a výrazně prosvětlenější. Při stavění katedrály sv. Petra v Beauvais došlo během výstavby několikrát ke změně stavebních plánů chóru a věže, které se následně zřítily. Zpětným zkoumáním středověcí stavitelé zjistili chyby v opěrných systémech a opravili to. Tento příklad metody pokus-omyl sice posunul hranice architektury, ale za cenu obětí na životech a velkých materiálních škod. Pokud by měli tehdejší stavitelé nynější poznatky z managementu rizik, byli by schopni katastrofy předpovědět a zabránit jim (Rausand a Haugen, 2020).

Management rizik, tak jak jej známe dnes, má kořeny v pojišťovnictví na konci 19. století. Švédský matematik Filip Lundberg představil svůj první matematický model pro pojištění již v roce 1909, ale bez velkého úspěchu až do roku 1930, kdy prof. Harald Cramer vyvinul svou teorii pojistných rizik založenou na Lundbergově přístupu. Ale i pak muselo řízení rizik ještě dlouho počkat na to, aby bylo samostatnou vědeckou disciplínou. V dalších letech se díky jménům jako byl Knight, Heinrich, matematici Lusser a Pieruschka ustanovovaly přístupy k prevenci průmyslových havárií nebo vzorec pro výpočet spolehlivosti sériových systémů. Následujícím milníkem byl první návrh normy pro riziko a spolehlivost vydaný v roce 1949 jako směrnice americké armády MIL-P-1629, která vešla později ve známost pod názvem FMEA (Failure Mode and Effect Analysis – Analýza možného výskytu a vlivu vad).

Do 70. let minulého století byl management rizik postaven převážně na kvalitativním přístupu, ale od tohoto desetiletí již nastupovaly první pokusy kvantitativního hodnocení jako např. HAZOP (Hazard and Operability Study – Studie nebezpečí a provozuschopnosti), který byl do podoby, jež známe dnes, doveden v roce 1974. V roce 1966 to byla PHA (Preliminary Hazard Analysis – Předběžná analýza rizik) a nejdůležitějším úspěchem byla „Reactor Safety Study“ prof. Rasmussena, která sice byla silně kritizována, nicméně dala základ mnoha novým kvantitativním přístupům, a hlavně sehrála velkou roli při uvědomění si zranitelnosti kritické infrastruktury. Díky tomu se v mnoha zemích během 70. a 80. let minulého století zavedla řada zákonů a předpisů o bezpečnosti a riziku. Dále se stalo povinným v rámci územních celků provádět analýzy

rizik a zranitelnosti infrastruktury a důležitých služeb. A díky tomu vzniklo mnoho nových organizací, aby se zabránilo nehodám, např ve Velké Británii Královský úřad pro atomovou energii (UKEAEA - United Kingdom Atomic Energy Authority) a navazující Ředitelství pro bezpečnost a spolehlivost (SRD - Safety and Reliability Directorate), další ranou organizací byla IEEE Reliability Society a první vědecká komunita Společnost pro analýzu rizik (SRA - Society of Risk Analysis) byla založena roku 1980 a v roce 1981 začaly vydávat mezinárodní časopis Risk Analysis (Rausand a Haugen, 2020).

1.3 Management rizik v současnosti

Současná doba je plná turbulentních a dynamických proměn celé společnosti. Tradiční hrozby, jako je ohrožení válkou, jsou doplněny různými modifikacemi globalizačních a destabilizačních rizik. Každý subjekt se musí s tímto vyrovnat a vytvořit si svou vlastní cestu v budoucnosti nebo bude k tomu časem donucen. Ten jedinec, který zvolí možnost první, bude mít větší šanci se chytit objevujících se příležitostí a rychleji čelit přicházejícím krizím. K tomu je potřeba využít prediktivních metod managementu rizik, jež mohou rizika omezit nebo jim dokonce do budoucna zabránit (Antušák a Vilášek, 2016).

S managementem rizik nebo česky řízením rizik je spjato mnoho pojmů a definic. Jedno z nejčastějších vysvětlení ho definuje jako **koordinovaný přístup vedení a řízení projektů nebo firemních procesů ke snižování počtu nepředvídatelných rizikových stavů za použití procesů definování, analýzy, kontroly až k následné minimalizaci nebo eliminaci těchto stavů** (Smejkal a Rais, 2013).

Jedna z dalších definic klasifikuje řízení rizik jako „*součástí metod managementu, využívající strategický (koordinovaný) přístup manažerských opatření k rizikovým faktorům a rizikovým stavům založený na analýze, rozhodování a implementaci*“ (Častorál, 2017, s. 53).

A poslední stručná a asi nejlépe vystihující je z aktuální verze ISO 31000:2018 (International Organization for Standardization – Mezinárodní organizace pro normalizaci) a zní „*koordinované činnosti pro řízení a kontrolu organizace s ohledem na rizika*“ (ČSN ISO 31000 (01 0351) Management rizik - Směrnice, 2018, s. 9).

Postupem času se systém řízení rizik harmonizoval do normy ISO 31000:2009 převzatou do norem ČSN v roce 2010, nejnovější verze pochází z roku 2018. Ustanovení formální metodiky managementu rizik znamenalo mnoho přínosů, z nichž nejvýznamnější jsou:

- ještě před zahájením různých procesů nebo projektů je možno identifikovat a posoudit klíčová rizika,
- již v samotném průběhu je možné zpracovat a průběžně vypracovávat vliv rizik na náklady a lhůty,
- zvyšuje se spolehlivost prognózy hospodářských výsledků a tím i spokojenost zadavatelů a dodavatelů (Korecký a Trkovský, 2011).

Těmito výhodami se zvyšuje motivace pro přijetí metodiky ISO nebo ČSN (České státní normy) oproti dřívějšímu nesystematickému a intuitivnímu „hašení požárů“, kdy tento nežádoucí stav neúměrně zatěžoval vyšší management a negativně ovlivňoval důvěru zákazníků (Korecký a Trkovský, 2011).

V samotném řízení rizik využíváme dva způsoby nebo jejich kombinaci:

1. **reaktivní strategie** – ta je asi nejběžnější a pracuje na bázi „zpětné vazby“, kdy se díky negativním událostem, nehodám a následné vyvinutí snahy minimalizovat jejich vznik v budoucnu,
2. **proaktivní strategie** – tento vědecký přístup zná současný stav subjektu a faktory, které na něj působí a z nichž je schopen odvodit možné hrozby, které by mohly nastat. Na tomto základě je schopen navrhnout opatření k předcházení nebo minimalizaci vzniklých škod,
3. **prediktivní strategie** – tento přístup je ojedinělý, snaží se předvídat úplně nová rizika, ke kterým zatím ještě nikdy nedošlo. Tento přístup se může vyskytnout v případě potřeby identifikace možných rizik u zcela nových technologií nebo zařízení (Čermák, 2022).

1.4 Postup při posuzování rizika

Tato podkapitola bude věnována zásadám a praktikám ustáleného standardního postupu při ohrožení důležitých aktiv nebo jiných sledovaných procesů. Zásady, které budou nastíněny níže, mohou nabídnout lepší vhled do hloubky a podstaty ohrožení sledovaného subjektu. Pravidla pro ovládání rizik vnesou lepší orientaci v množství informací a také obecné pokyny pro rozbor rizik, přičemž pomohou při jejich kvalifikaci, kvantifikaci a vývoji reakce (Pritchard, 2015).

1.4.1 Identifikace rizik

Podle Koreckého a Trkovského (2011) je v první fázi potřeba nalézt co nejvíce rizik ohrožujících pozorovaný projekt nebo proces, pak porozumět podstatě a správně rizika popsat. Důležitou zásadou je zapojit do procesu identifikace hrozeb (nebezpečí) co nejvíce zainteresovaných stran a podněcovat interaktivitu s tvořivostí. Všechny identifikované hrozby pečlivě zaznamenat a zachovat v záznamech i po vyřešení z důvodu možného návratu. Po shromáždění veškerých podkladů se určí vhodné metody k identifikaci rizik a následuje sepsání registru rizik, kam se dopisují rizika nejen zjištěná, ale i předpokládaná a určuje se vlastník každého jednotlivého rizika, což je osoba, které bude v budoucnu svěřené riziko analyzovat a řešit.

Další pohled začíná identifikací aktiv, kdy se vytvoří soupis všech aktiv ležících uvnitř pozorovaného procesu a stanoví se jejich hodnota, která vychází buď z nákladových nebo výnosových charakteristik. Pokud je aktiv velké množství, provede se tzv. seskupení podle různých hledisek, například dle účelu a ceny, které jejich počet sníží, a tyto skupiny se berou jako jedno aktivum, poté určí se vlastník rizika. Na základě seznamu aktiv se provede identifikace hrozeb, jež by mohly sledovaná aktiva ohrozit. Zde lze vycházet ze seznamu vytvořeného dle literatury, vlastních zkušeností nebo průzkumů. Pro zpracování vlastního seznamu je doporučeno využít metody jako jsou brainstorming, Delphi a jiné (Smejkal a Rais, 2013).

1.4.2 Analýza rizik

Definice hovoří, že cílem analýzy je včas rozpoznat všechna významná potencionální rizika a příčiny k nim vedoucí a čím přesnější je jejich poznání, tím větší budou přínosy provedených protiopatření. Cílem provedené analýzy nemají být symptomy (závada nebo chyba pracovníka), ale kořenové příčiny, jejichž odstraněním se odstraní původ hrozby (Kruliš, 2011).

Nejnovější poznatky hovoří o dvou druzích analýzy rizik, a to analýza operačních rizik, která se provádí pro podporu operačních rozhodnutí, a druhá je tzv. dynamická, jež je aktualizována průběžně v kratších časových úsecích. Tyto dvě metody se překrývají a jsou užitečné jak pro podporu provozních rozhodnutí, tak pro modelování plánovacích rozhodnutí (Rausand a Haugen, 2020).

1.4.3 Hodnocení rizik

Po analýze rizik je důležité hodnocení rizika, hlavně jako podklad pro určení míry rizika a tím je poskytnut vstup pro rozhodování. Způsob, jakým je riziko ohodnoceno, nakonec určuje, jaké informace poskytne samotná analýza rizik, a proto je potřeba v rámci možností hrozby kvantifikovat, aby podklady byly co nejpřesnější (Rausand a Haugen, 2020).

Norma ISO 31010:2020 Management rizik – Techniky posuzování rizik rozšiřuje, že kvantitativní analýza hrozeb nemusí být vždy možná kvůli nedostatečným podkladům nebo i žádoucí kvůli hodnotícímu náhledu a doporučuje spíše kvalitativní metodu, při které stačí slovní hodnocení „vysoká, vážná, střední nebo nízká“ pro odstupňování závažnosti následků, pravděpodobnost výskytu nebo úroveň hrozby (Popov, Lyon a Hollcroft, 2022). Tato fáze má určit, jak moc mohou zjištěná rizika ohrozit pozorovaná aktiva nebo procesy a vyhodnotit přednosti jejich dalšího ošetření (Korecký a Trkovský, 2011). Tato hodnocení rizik následně zpřehledňuje a zpřesňuje matice rizik na Obrázku 1.

4 Vysoká pravděpodobnost				
3 Spíše vyšší pravděpodobnost				
2 Spíše nižší pravděpodobnost				
1 Nízká pravděpodobnost				
	1 Malý dopad	2 Spíše menší dopad	3 Spíše větší dopad	4 Velký dopad

Obrázek 1: Matice rizik (Čep, 2015)

1.4.4 Opatření k rizikům

Tato fáze je kritickým bodem celého procesu ovládnání rizika. Zde se určuje, jaká opatření, budou použita na řešení nalezených rizik, která byla nalezena a ohodnocena v rámci předchozích etap (Pritchard, 2015).

Při výběru možností ošetření rizik se musí zvážit hodnoty a názory všech zainteresovaných stran a zařadit do rozhodování možnost dopadu opatření na některou z nich. V úvahu se musí brát, že každé opatření k riziku může sebou nést samo o sobě nové hrozby, a proto je potřeba v rámci plánovaných ošetření zahrnout také pozdější monitorování a přezkoumávání provádění jednotlivých procesů (Častorál, 2017).

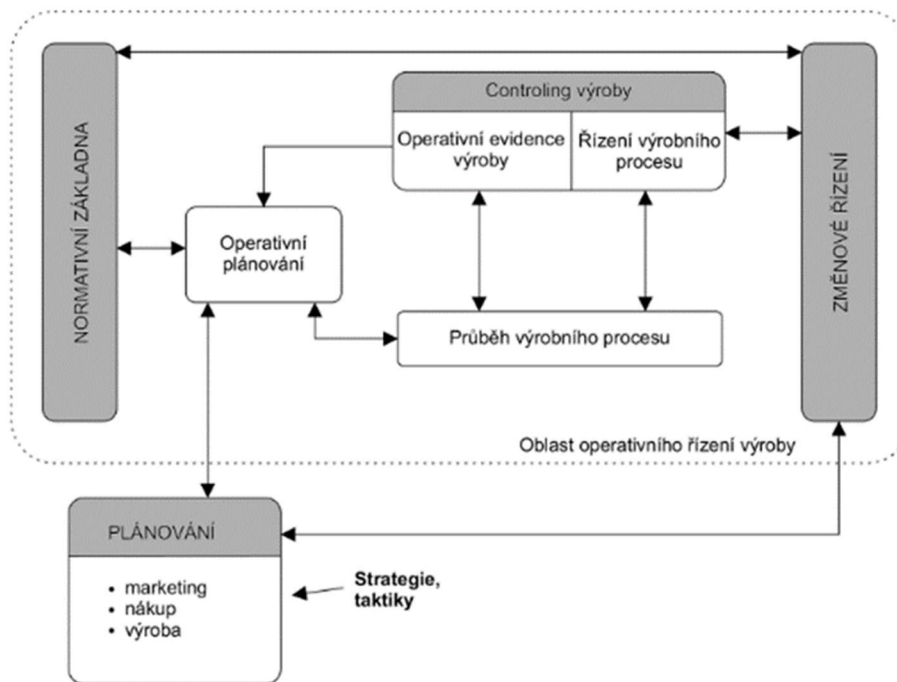
Mezi nejobecnější strategie patří tyto strategie:

1. **Riziku se vyhnout** – to znamená použít jiné řešení pro konečný výsledek nebo upravit či změnit cílové požadavky. Toto opatření se nazývá také strategie eliminovat nejistotu, což znamená, že se změní postupy a provedou změny tak, aby bylo riziko vyloučeno (Korecký a Trkovský, 2011). Tento přístup je však vnímán jako negativní a pro řešení mnoha rizik naprosto nevyhovující, protože s jakýmkoliv aktivitami je vždy spjato riziko, a proto se užití této strategie nedoporučuje (Smejkal a Rais, 2013).
2. **Riziko přenést** – zde se jedná o taktiku předání řešení hrozby někomu, kdo může riziku lépe čelit a má možnost lépe pokrýt následky. Základním pravidlem je, aby rizika řešil ten, kdo má větší zkušenosti a kompetence (Korecký a Trkovský, 2011). Typickými příklady ošetření rizika je uzavření pojištění nebo zajištění náhradního výrobního provozu. Nicméně u těchto opatření se musí dát pozor na finanční stránku zajištění rizika u možnosti první a u varianty druhé hrozí ztráta kontroly termínů a nákladů náhradní výroby (Smejkal a Rais, 2013).
3. **Riziko zmírnit** – tato strategie je definována jako snaha reaktivní, která začne probíhat až po incidentu, jako snaha snížení ztráty na životech nebo majetku (Popov, Lyon a Hollcroft, 2022). Zde je důležité provést rychlý postup v přípravě i v dalším provedení protiopatření, protože rychlý zásah má vyšší účinnost a tím zamezí většímu rozvinutí incidentu a pozdější obtížné nápravě do stavu před uskutečněním rizika (Korecký a Trkovský, 2011).
4. **Riziko přijmout** – tato strategie je možná za předpokladu, že analýza rizik dává perspektivu buď malého dopadu, nebo malé pravděpodobnosti naplnění hrozby (Smejkal a Rais, 2013). Nicméně je vždy potřeba důkladně analyzovat dopad analyzovaných hrozeb na splnění cílů, protože při naplnění rizika není možnost ovlivnit následky (Korecký a Trkovský, 2011).

Uvedené základní strategie opatření rizika jsou v principu strategie preventivní, protože se připravují a realizují předtím, než hrozba nastane. Za ryze preventivní jsou považovány strategie vyhnutí a přenesení, strategie zmírnění rizika kombinuje preventivní akce k zabránění riziku s reaktivními akcemi připravovanými pro možnost uskutečnění rizika. S nachystanými reaktivními opatřeními pro případ dopadu rizika počítá pouze strategie přijmutí rizika (Korecký a Trkovský, 2011).

2 DEFINICE ŘÍDÍCÍCH VÝROBNÍCH PROCESŮ

Tato kapitola se bude zabývat popisem provozních procesů, znázorněných na Obrázku 2, které jsou využívány při řízení výroby, kdy operativní management a plánování výroby jsou zařazeny na nejspodnější stupeň pyramidy řízení, ale svým významem určitě ne stupněm posledním.



Obrázek 2: Řízení provozních procesů (Jurová, 2016)

2.1 Operativní plánování

Operativní plánování je dnes sestavováno jako celek operativních plánů, jenž je tvořen krátkodobými, zajišťujícími úkoly pro dané období s ohledem na co nejlepší využití zdrojů, které jsou nebo budou k dispozici (Jurová, 2016).

A jak rozšiřují další autoři, operativním plánováním neurčujeme pouze kolik dílů, komponentů, výrobků se má v daném časovém úseku zhotovit, ale je potřeba i určit kdy který díl bude do výroby nebo montáže zadán. K tomu všemu je třeba znát dobu, jež je potřeba k výrobě součásti, zda je efektivní vyrobit pouze jednu nebo více kusů současně a o kolik dříve časově musí předešlé pracoviště začít dříve, aby byl daný výrobek vyroben včas při adekvátním vytížení pracovišť (Švecová a Veber, 2021).

Posláním celého operativního plánování je průběžné analyzování činností výrobního systému a zlepšování jeho funkcí při používání dvou protichůdných požadavků, kterými jsou maximalizace využití strojů a minimalizace průběžné doby výroby. Při maximalizaci využití strojů je potřeba redukovat vedlejší časy pomocí mezioperačních zásob, které ale na druhou stranu způsobují zvýšení časů čekání v celkové průběžné době výroby (Jurová, 2016).

Hlavními vstupy pro sestavení komplexního operativního plánu tvoří operativní plán odbytu, kusovníky, normativy zahrnuté pod pojmem standardizace kombinací při operativním řízení výroby (velikost výrobní dávky, průběžná doba výroby) a data normativní základny. Tyto představují především THN (technickohospodářské normy) kapacitní a výkonové, které se pro přehlednost počítají v normohodinách nebo normominutách, což je měrná jednotka pro stanovení pracnosti dané práce (Tomek a Vávrová, 2014).

2.2 Operativní řízení

Operativní řízení lze také považovat za jeden z hlavních způsobů řízení funkcí podniku a jako síť manažerských rozhodnutí. Úroveň důležitosti této činnosti je stejná, jako je jedna ze tří hlavních úloh každé podnikové organizace – finanční, marketingové a řídicí (Nowak, 2021).

Hlavní funkcí tohoto řízení je sestavit a řídit výrobní proces s cílem zajistit jeho optimální fungování a rozvoj. Tento výrobní proces je tvořen z prvků, jako jsou pracovníci, stroje, materiály, informace a primárním úkolem je vytvářet hodnoty ve formě zboží nebo služeb přeměnou vstupů na výstupy. Zde je nutná souhra různých činností vzniklých uplatněním principu dělby práce, jež se týká hlavně věcného, prostorového uspořádání výrobních faktorů a časového sladění. Do operativního managementu patří nejen výrobní úsek včetně mistrů, ale i údržba, správa budov, odpadové hospodářství a jiné (Váchal a Vochozka, 2013).

Základním kamenem řízení je umění správně synchronizovat veškeré hlavní, vedlejší a pomocné výrobní procesy pro úspěšnou přeměnu dodaných vstupů na konečné výrobky. Základním pilířem je správné uspořádání pracovišť, které se tvoří na základě hlavního výrobního programu. Důležitými funkcemi provozního řízení je zajištění minimalizování plýtvání a optimalizaci provozu z důvodu zamezení plýtvání drahých zdrojů a neméně důležitou úlohou je zamezení chybovosti provozních procesů, jež mohou vést k vadným výrobkům, pozdním termínům dodání a tím pádem ztrátě zákazníků ve prospěch lépe fungující konkurence (Anderson, Anderson a Parker, 2021).

K tomuto nám dopomáhá i souhrnný ukazatel vyjadřující faktický výkon kteréhokoliv výrobního zařízení za určité období tzv „OEE“ (Overall Equipment Effectiveness – celková efektivita zařízení), který poskytuje užitečnou informaci o skutečném využití výrobního zařízení, potažmo o nevyužitém potenciálu (Švecová a Veber, 2021).

OEE má tři vstupní faktory:

$$OEE = \text{dostupnost zařízení} \times \text{reálná výkonnost} \times \text{úroveň kvality}$$

(1)

Kde dle (Švecová a Veber, 2021) :

Dostupnost – faktický čas provozu za daný časový úsek, kdy se posuzuje reálný čas, kdy bylo zařízení skutečně v provozu.

Výkonnost – tento aspekt hodnotí skutečnou výkonnost zařízení počtem vyrobených kusů za daný časový úsek.

Kvalita – tento aspekt posuzuje kvalitu vyrobených dílů počtem shodných výrobků vyrobených za daný časový úsek.

Výsledek lze interpretovat v procentech a vyjadřuje na kolik byl výrobní stroj ve sledovaném období fakticky výkonný. Pravděpodobně to bude hodnota menší než 100 %, ale čím více se bude této hodnotě přibližovat, tím bude faktické vytížení lepší (Švecová a Veber, 2021).

Konečným cílem operativního řízení je dosažení kladných hospodářských výsledků prostřednictvím řízení základních článků výrobního procesu. Řízení těchto základních článků je založeno na bezprostředně konkrétní znalosti stavu řízeného objektu a jeho vazeb na ostatní objekty a možnost okamžitě zasáhnout do struktury řídicích procesů, což klade vysoké nároky na periodicitu sběru dat a jejich využití v reálném čase. Z tohoto důvodu se začaly využívat počítačové informační systémy MES (Manufacturing Execution Systems – výrobní realizační systémy), které pokrývají iniciativy v oblastech správy podnikových zdrojů např. CNC strojů (Computer Numerical Control – číslicové stroje řízené počítačem), štihlé výroby, oblasti řízení kvality a monitoring s analýzou příčin kritických událostí (Jurová, 2016).

3 VÝZNAM PRŮMYSLU 4.0 A JEHO NOSNÉ PRVKY

Jak je známo z dějepisu, v lidské historii již proběhly tři průmyslové milníky všeobecně nazývané průmyslové revoluce. První průmyslová revoluce byla charakterizována mechanizací pomocí vodní a parní energie, pro druhou je milníkem rozvoj sériové a hromadné výroby a třetí průmyslové revoluci vládne komplexní využívání elektroniky a automatizace. Jako poslední výsledek snahy lidstva přichází čtvrtý průmyslový milník, jehož cílem je inteligentní továrna, která se vyznačuje všestranností, ekologickým využíváním zdrojů a díky respektování ergonomie také zajištěním lehčí a bezpečnější práce (Tomek a Vávrová, 2017).

3.1 Průmysl 4.0 a jeho charakteristika

Pojem „Industrie 4.0“ (Průmysl 4.0) se objevil poprvé na veletrhu EMO v Hannoveru 2011 jako high-tech novinka, podporovaná německou vládou, zaměřená na komputerizaci průmyslu. Základním principem je IoT (Internet of Things - Internet věcí), který může bezdrátově ovládat, monitorovat i propojovat CPS (Cyber-Physical Systems – kyberfyzikální systémy) nasazené v průmyslové výrobě (Jurová, 2016).

Takto na sebe propojené soustavy budou pomocí vzájemného propojení přes internet schopny na sebe vzájemně reagovat a analyzovat data, pomocí kterých se budou plánovat opravy nebo nenadálé chyby a následně na to upravovat svou vlastní konfiguraci. Díky těmto systémům se standartní továrny přetvoří na tzv. továrny inteligentní, kde se otevře prostor pro nové kreativní cesty výroby a nové obchodní modely. Dojde ke změně vazeb mezi zákazníky, dodavateli a výrobcí, stejně jako ke změně komunikace mezi člověkem a strojem a díky tomu se pozitivně změní nakládání se vzácnými surovinami, energiemi a fyzicky těžkou prací (Mařík, 2016).

V českých firmách je koncepce Průmyslu 4.0 vítána a je zde velký prostor pro její aplikaci. V průmyslových firmách lze vidět první výsledky s implementací nástrojů Big Data technologií, mobilní komunikace ve výrobních procesech a sdílení dat přes cloudové aplikace. Hlavní, co firmy díky implementaci nových prvků, očekávají je vyřešení řady denních operativních konfliktů, jež se notoricky opakují ve výrobních procesech (Chromjaková, Tuček a Bobák, 2017).

3.2 Nosné prvky Průmyslu 4.0

Obsahem této podkapitoly je představení nosných prvků automatizace a digitalizace v Průmyslu 4.0, jichž je možno využít a implementovat do výrobních, logistických i obchodních procesů.

Internet věcí (IoT) – jde o vzájemné propojení věcí a objektů pomocí RFID (Radio Frequency Identification – Identifikace na rádiové frekvenci) čipů, senzorů, tabletů a mobilních telefonů. Výsledkem je vazba mezi specifikací výrobků, možností vyrobitelnosti dostupnými výrobními technologiemi s pomocí využití softwarově řízeného výrobního procesu. (Chromjaková, Tuček a Bobák, 2017) Použití tohoto systému zaručuje hladký přechod ze sériové výroby na výrobu v malých dávkách, aniž by se navýšila cena výrobků (Jurová, 2016).

Kyber – fyzikální systém (CPS) – zde jde o spojení fyzického a virtuálního světa do jednoho celku, který umožňuje variabilitu výrobního procesu pomocí digitálních a inteligentních nástrojů. Tyto chytré prvky pomáhají při projektování provozních procesů a dále zajišťují materiálový a informační tok (Chromjaková, Tuček a Bobák, 2017).

Big data (Velká data) – to jsou soubory dat, které pro jejich velikost není možné zachytávat, spravovat a analyzovat v rozumném čase a pro jejich záznam jsou využívány cloudy (Mařík, 2016).

Cloudové technologie – zajišťují transformaci fyzikálních dat do digitální podoby a uložení pro jejich následné zpracování (Chromjaková, Tuček a Bobák, 2017).

Virtual Twin (Virtuální dvojče) – je virtuální obraz monitorovaného subjektu pomocí, kterého lze předvídat servisní zásahy, nachystat nastavení stroje na předpokládanou výrobu a simulaci vlastní výroby. Digitální dvojče může poskytnout i simulaci budoucího provozu a tím zkrátit čas instalace a následné ožívování (Švecová a Veber, 2021).

4 CÍL PRÁCE A POUŽITÉ METODY PRO STANOVENÍ RIZIK PROCESU

Tato kapitola se bude věnovat popsání cíle bakalářské práce a popsání vhodných metod pro analýzu, identifikaci a ošetření možných rizik plynulosti sledovaného procesu.

4.1 Cíl bakalářské práce

Cílem této bakalářské práce je identifikace a analýza příčin časových ztrát na pracovišti Výrobní buňky 4.0 při výrobě dílců určených pro montáž finálních výrobků. Předpokladem k naplnění práce je identifikování místa nebo míst, kde mohou mít časové ztráty kořenový původ, navrhnout adekvátní opatření pro minimalizaci a zvýšit výrobní čas na původní úroveň.

Pro dosažení tohoto cíle budou využity základní metody analýzy, sběru dat, indukce, dedukce a následné syntézy opřené o zpracované literární rešerše o managementu krizí a doporučenému nakládání s riziky zjištěnými i předpokládanými za pomoci využití modelu DMAIC, doplněného o metody Brainstorming, Paretův diagram, Ishikawův diagram příčin a následků. Návrhová část opatření bude dle literárních poznatků realizována metodou FMEA.

4.2 Použité metody pro stanovení rizik

V rámci této podkapitoly budou popsány metody pro stanovení rizik, které se objeví v rámci praktické části analýzy rizik plynulosti provozního procesu.

4.2.1 Brainstorming

Je to nejčastěji používaná skupinová metoda pro získávání informací a hledání rizik projektů a procesů. Její největší výhodou je logický postup provádění, což ji dělá pro většinu lidí uživatelsky velmi příjemnou. Metoda spočívá ve vyjádření nápadů k danému tématu a tyto vyvolávají další myšlenky u členů teamu, kteří se schůzky účastní (Korecký a Trkovský, 2011).

Dle rozšiřující definice Andersena a Fagerhauga (2011) to je velmi častá metoda pro stanovení možných příčin problému založená na generování co možná nejvíce dobrých nápadů nebo myšlenek týkajících se daného předmětu. Účelem je vygenerovat seznam problémových oblastí, identifikovat možné důsledky pocházející ze zadaného problému

a povzbudit uvažování účastníků ke hledání jiných neobvyklých cest k řešení. Tato technika lze provádět dvěma způsoby a to:

- **Strukturovaně** – kdy každý účastník, jeden po druhém, vysloví jeden nápad. Tato forma zajišťuje rovnocennost mezi účastníky, ale zároveň tlumí spontánnost.
- **Nestrukturovaně** – zde každý účastník může neomezeně říkat své nápady a zároveň rychle reagovat na myšlenky ostatních a rozvíjet je. Tato forma je velmi spontánní a je příznivější pro četnost a bohatost myšlenek. Nicméně je zde nebezpečí dominance pouze jedné nebo několika málo výřečnějších osob (Andersen a Fagerhaug, 2011).

4.2.2 Diagram příčin a následků

Je všeobecně známým a v praxi hojně využívaným zástupcem netradičních metod k provádění identifikace procesu a analýzy rizik. Princip metody je založený na jednoduché grafické a slovní identifikaci děje události, která se sleduje a je potřeba ji podrobně identifikovat (Šenovský, Oravec a Šenovský, 2012).

Dle lépe vysvětlující definice Andersena a Fegauhera diagramu příčin a následků je to „*diagram, který analyzuje vztahy mezi nějakým problémem a jeho příčinami*“ (Andersen a Fagerhaug, 2011, s. 119).

Tento nástroj je známý také jako Ishikawův diagram a je důležité se zaměřit jen na jeden problém, který je potřeba vyřešit. Čím širší je počet příčin, tím je pravděpodobnější nárůst celého diagramu, a proto je lépe přesněji vyspecifikovat původy problémů k přesnější analýze. Nicméně u každé nové příčiny je potřeba se zeptat proč vznikla, aby se tím skutečně odhalily všechny zdroje dané příčiny (Pritchard, 2015).

4.2.3 Paretova analýza

Tato metoda je pojmenována podle italského ekonoma Vilfreda Pareta, jenž na základě statistického pozorování ustanovil pravidlo 20:80, což lze v rámci této bakalářské práce použít například tak, že ve většině případů 20 % příčin způsobuje 80 % problémů (Doležal, Máchal a Lacko, 2012).

A jak uvádí Miler (2016), tato analýza pomůže určit pořadí důležitosti příčin problému a oddělí nejdůležitější příčiny od dalších nevýznamných.

4.2.4 FMEA

Tato metoda je jednou z nejběžněji používaných technik pro identifikaci a analýzu způsobů, jak může systém nebo proces selhat při plnění navrženého úkolu. Obecně je považována za kvalitativní nebo semikvantitativní analýzu, která predikuje způsoby selhání, jejich následky a možné způsoby protiopatření, které jsou potřebné pro snížení rizika na přijatelnou úroveň (Popov, Lyon a Hollcroft, 2022).

Dle další definice je FMEA (Failure Mode and Effects Analysis – analýza možného výskytu a vlivu vad) nástroj, který analyticky rozebírá subjekt nebo proces a pokouší se vyhledat možné slabiny. Přitom se snaží nalézt preventivní opatření a zavést jejich kontrolu, tím se tato metoda řadí mezi tzv. preventivní (Miller, 2016).

Metodu analýzy FMEA dělíme na:

- **FMEA návrhu produktu (FMEA (D))** – tento nástroj se primárně používá při práci týmů odpovědných za návrh produktu. Cílem je rozpoznat možná slabá místa návrhu a zvolit jejich ošetření tak, aby byla rizika selhání snížena na nejmenší úroveň.
- **FMEA Procesu (FMEA-P)** – při této formě metody se analyzují možnosti způsobu selhání výrobních, logistických a montážních procesů, jež mohou nastat v důsledku odchylky. Cílem poté je stanovit preventivní opatření a případně zlepšit prostředky k odhalení selhání (AIAG a VDA, 2019).

Samotným cílem FMEA je identifikace funkcí sledovaného objektu nebo jednotlivých kroků procesu a formuluje potencionální vady, následky a příčiny. Tato interdisciplinární aktivita postihuje celý proces realizace a může snížit čas a náklady. Je důležité dodržovat základní pravidla jednoznačnosti, pravdivosti, reálnosti a úplnosti. (AIAG a VDA, 2019)

Aplikace metody FMEA je prováděna v sedmi postupných sekvencích, při kterých je potřeba respektovat zásady jednoznačnosti, pravdivosti, reálnosti a úplnosti (AIAG a VDA, 2019):

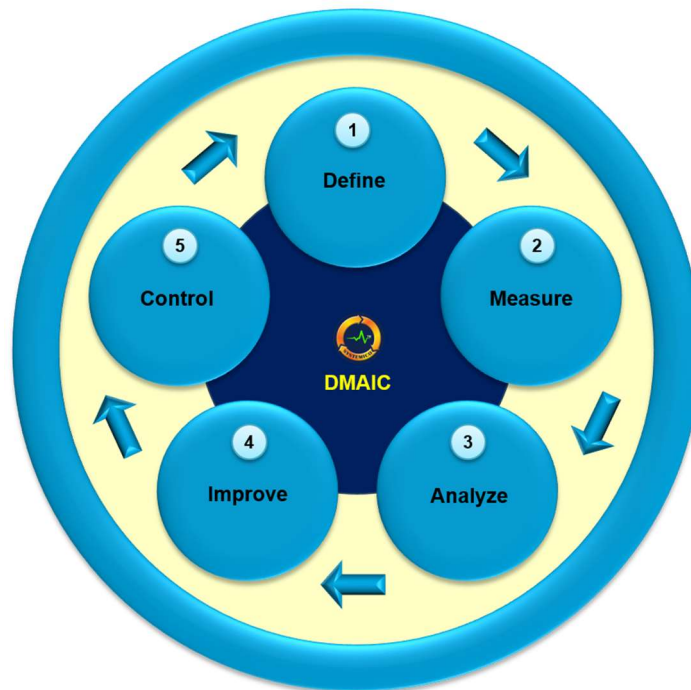
1. **Plánování a příprava** – účelem tohoto kroku je určit, které procesy budou prověřovány, co všechno bude do analýzy zahrnuto a co bude vyloučeno,
2. **Analýza struktury** – zde je účelem identifikace systému výroby a jeho rozčlenění do úrovně procesu, kroků procesu a prvků příčin. Zde se tvoří pomocí vývojového diagramu a stromu struktury základ pro další krok Analýzu funkcí,
3. **Analýza funkcí** – hlavním smyslem tohoto kroku je zajistit, aby všechny požadavky na proces byly náležitým způsobem přiřazeny,

4. **Analýza selhání** – v tomto kroku je účelem identifikovat následky, vady a příčiny a utřídit pro potřeby hodnocení rizik jejich vzájemné vztahy,
 5. **Analýza rizik** – zde je cílem odhad rizika pomocí hodnocení významu, výskytu a detekce s následným rozhodnutím o prioritách potřebných opatření. Pro hodnocení rizik existují následující parametry:
 - **Význam (S):** vyjadřuje důležitost následků vady,
 - **Výskyt (O):** vyjadřuje výskyt příčiny vady,
 - **Detekce (D):** formuluje schopnost rozpoznání příčiny vady.
- Pro parametry S, O a D se používá hodnocení v stupnici 1–10 bodů, přičemž nejvyšší známka vyjadřuje vždy nejvyšší příspěvek k riziku. Jakmile se dokončí celý postup identifikace včetně hodnocení, musí se rozhodnout, zda je nezbytná další snaha ke snížení rizika. Zde přichází na řadu metodika Priorita opatření, která pomocí výpočtu hodnoty ukazatele RPN (Risk Priority Number – číslo priority rizika), jež získáme součinem výše uvedených parametrů S, O a D, poskytuje informace k zařazení do třech úrovní priority – vysoká, střední a nízká,
6. **Optimalizace** – smyslem tohoto kroku je stanovení opatření ke zmírnění rizik a vyhodnocení efektivnosti navrhovaných opatření,
 7. **Dokumentování výsledků** – posledním krokem je výsledná sumarizace a komunikace výsledků celého procesu FMEA.

4.2.5 Model DMAIC

Je to výchozí prostředek zlepšování s pevnou a logickou strukturou používaný v rámci procesu Six Sigma a sestává z pěti kroků, jejichž počáteční písmena tvoří zkratku metody (Miller, 2016).

V rozšířenější definici je uveden původ této metody, kdy ve společnosti Motorola, v období koncem 80. let, přestával stačit cyklus PDCA (Plan, Do, Check, Act – plánovat, provést, ověřit, jednat) a zavedla se metoda DMAIC, znázorněná graficky na Obrázku 3, která přesněji označovala jednotlivé fáze cyklu realizace projektu nebo identifikace problémů v projektech již probíhajících (Basu, 2022).



Obrázek 3: Cyklus DMAIC (Basu, 2022)

Popis jednotlivých kroků DMAIC:

- Define (definování) – zde se definuje základní cíl.
- Measure (měření) – definování současného stavu a procesů.
- Analyze (analýza) – v této fázi se určují kořenové příčiny problémů v procesech nebo postupech.
- Improve (zlepšení) – v této části metody se za použití pomocných metod zlepšuje kvalita a stabilita procesu.
- Control (kontrola) – v této etapě se kontrolují procesy po provedených změnách, pozoruje se stabilita, výkonnost a provádějí se případné korekce (Franchetti, 2015).

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 POPIS VYBRANÉ ORGANIZACE

Společnost XY je tradiční česká firma, sídlící ve Zlíně, zabývající se vývojem a výrobou obráběcích strojů. Dle zavedeného třídění je zařazena svou velikostí a objemem tržeb do podniků velkých a dle specifikace CZ-NACE (Nomenclature Statistique des Activités Économiques dans la Communauté Européenne – Evropská klasifikace ekonomických činností) do skupiny 28490. V rámci vlastních provozů zajišťuje všechny fáze vývoje a výroby CNC obráběcích strojů od návrhu projektu stroje až po celkovou montáž a odzkoušení. V rámci svých služeb poskytuje možnost seřízení výrobní technologie dle požadavků zákazníka s poskytnutím komplexního servisu.

Počátky společnosti se datují do roku 1903, kdy při hlavních závodech vznikla první strojírenská dílna, která zajišťovala opravy a zlepšení obuvnických strojů a posléze i jejich výrobu. Od roku 1936 se portfolio rozšířilo i o výrobu obráběcích strojů, jenž dominují do dnešních dnů. Po znárodnění firmy XY v roce 1950 se tato součást podniku vyčlenila a vznikl samostatný národní podnik. Dominantním produktem firmy se staly konvenční obráběcí stroje a od 70. let minulého století stroje NC (číslicově řízený stroj) později CNC, které firma vyrábí a konstruuje dodnes v nejmodernějších variantách. V roce 1990 se podnik přejmenoval na XY Zlín a roku 1992 po kuponové privatizaci byl podnik transformován do podoby akciové společnosti. Na přelomu tisíciletí po vážné hospodářské krizi firmu převzal zahraniční vlastník a název firmy se změnil na současný název, v této formě podnik setrvává do dnešních dní (Hrdlička, 2013).

Současnost a postavení na trhu

V průběhu minulých let došlo v této firmě k rozsáhlým restrukturalizacím z důvodu lepšího nastavení prodejních a obchodních aktivit. Po této nutné fázi se však již povedlo podniku dosáhnout navýšení počtu prodaných výrobků a stal se vyhledávaným dodavatelem pro mnoho stávajících i nových zákazníků. V nynějším období se vložilo mnoho pracovních sil a prostředků do vývoje nových výrobků i inovace stávajících. V rámci obnovení bylo investováno do obnovy strojového parku a digitalizace výrobních procesů, v jejichž čele vévodí projekt digitalizovaného robotického pracoviště Výrobní buňka 4.0, která posílila výrobní program firmy a zároveň i strojový park.

6 POPIS FIREMNÍCH PROCESŮ A UMÍSTĚNÍ PRACOVIŠTĚ VÝROBNÍ BUŇKY 4.0

Firma XY ve spolupráci s technologickou společností AB, v souladu s neustále narůstající poptávkou po zařízeních zapadajících do moderního trendu Průmyslu 4.0, rozběhla v roce 2018 projekt Výrobní buňka 4.0 se snahou zařadit se mezi světovou špičku firem, nabízející pružnou automatizaci bezobslužné výroby, určený především pro kusovou a malosériovou výrobu. Konečný produkt by měl sloužit, jak ve vlastní výrobě produktů, tak i jako marketingový leader portfolia s cílem nabídnout zákazníkovi výrobu s vysokým stupněm automatizace za příznivého poměru mezi cenou a výkonem, kdy jako srovnávací etalon bylo využito klasické pracoviště osazeno stejným typem CNC stroje.

Prototyp automatizovaného robotického pracoviště byl nejprve zprovozněn spoluřešitelem na jeho detašovaném pracovišti, kde se celá robotická Buňka sestavovala, připravovalo se základní nastavení a probíhaly první testy funkčnosti, kterážto činnost probíhala v roce 2018. V měsíci 11/2019 byl projekt přesunut již na určené a připravené místo do zadavatelské firmy XY, kde se dolad'ovaly chybové stavy, které přinášelo postupné zapojování Výrobní buňky do výrobní činnosti, jež byla oficiálně spuštěna 10/2020.

6.1 Zapojení Výrobní buňky do logistických a výrobních procesů firmy

Popisovaný subjekt je v rámci výrobního a logistického řetězce zařazen v oblasti samotné výroby a jeho funkce spočívá ve výrobě montážních, ale i náhradních dílů pro výrobky firmy XY. Celý proces, který je znázorněn v Tabulce 1, začíná v jednotlivých obchodních odděleních výrobních divizí, která přijímají zakázky na jednotlivé výrobky nebo náhradní díly a zanášejí je do systému plánování výroby. V systému plánování výroby MES se zadané objednávky rozdělí na jednotlivé komponenty, jež jsou dle systému logistiky výroby přiděleny v dávkách na jednotlivá výrobní pracoviště dle povahy výroby, z nichž jedno je Výrobní buňka 4.0. Při výrobě prochází jednotlivé kusy dávky průběžnou kontrolou a po vyrobení celé výrobní dávky je tato expedována do montážního skladu. Odtud jsou potřebné komponenty vydávány ke kompletaci jednotlivých finálních výrobků a po jejich smontování a kontrole jsou přemístěny na expediční sklad. Z expedičního skladu jsou po instalaci do ochranných obalů vypravovány ke konečným zákazníkům.

Tabulka 1: Procesní mapa (Vlastní zpracování)

Dodavatelé	Vstupy	Proces	Výstupy	Zákazník
Sklad	Materiál	Plán výroby	dílec dlouhotoč	Dlouhotočné soustruhy
Dodavatel nástrojů	Nástroje		dílec CNC	CNC centra
Technologie	Program		dílec vícevřeteno	Vícevřetenové automaty
Výrobní dílna	HR	▽	dílec pneu lis	Pneumatické lisy
		▽		
		Programování VB 4.0		
		▽		
		Seřízení VB 4.0		
		▽		
		Výroba VB 4.0		
		▽		
		Kontrola dílců		
		▽		
		Odvedení hotové zakázky		
		▽		

6.2 Popis pracoviště Výrobní buňka 4.0

Pracoviště, označené na Obrázku 4, je umístěno na výrobní hale č. 1, ve které se nachází veškeré výrobní stroje potřebné pro produkci finálních výrobků. Pracoviště Výrobní buňka 4.0 je umístěno v oddělení, kde se nachází výrobní centra stejné konstrukce, které by mělo toto pracoviště postupně nahradit. V blízkosti tohoto pracoviště je umístěn výdejní automat na nástroje pro rychlou výměnu opotřebovaných nebo zlomených nástrojů.

V ostatních odděleních jsou stroje rozmístěny dle rozměrů a typů práce, pro kterou jsou určeny, proto se zde nachází dílna soustružnická, dílna horizontálních vyvrtávaček,

portálových center a CNC brusek. V prostřední dílně, kde se nachází i pozorovaný subjekt je umístěna kontrola, která slouží ke kontrole zde vyrobených dílců.

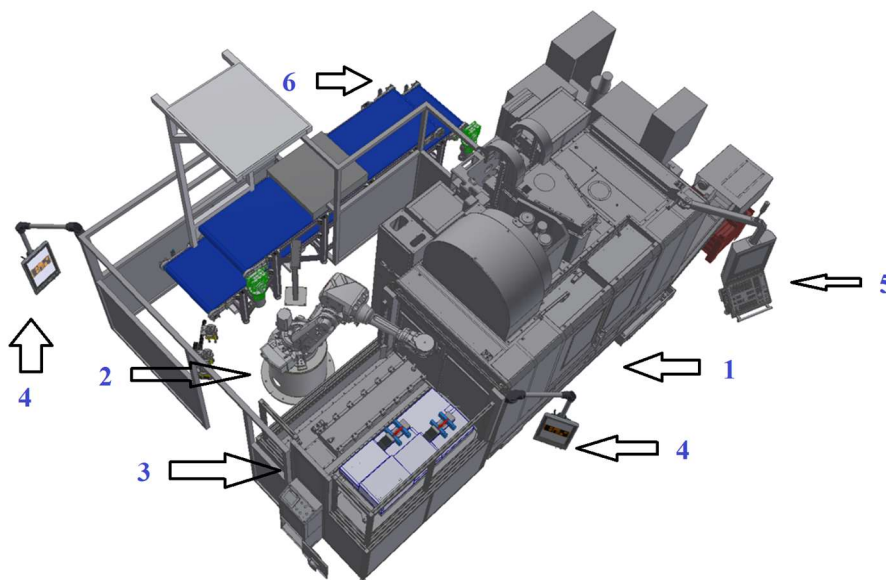


Obrázek 4: Umístění pracoviště (Interní zdroj)

Pracoviště se skládá a obsahuje prvky:

- stroj vlastní výroby CNC 1260i, jenž je vybaven paletovým výměníkem,
- robota firmy AX s automatickou výměnou gripů a force control pohybů,
- 2D VisionSystem OptiSolutions s rozpoznáváním tvarů, strojové učení pomocí technologie umělé inteligence,
- napojení na MES systém, kdy je buňka řízena frontami práce z nadřazeného systému,
- správa NC programů,
- správa nástrojů, kontrola použitelnosti pro výrobní dávku, kontrola životnosti nástrojů,
- monitoring stavů klíčových komponent buňky.

Tyto všechny komponenty jsou řízeny integrační platformou B&R Automation, která podporuje snadnou rozšiřitelnost o další prvky, jako jsou například 3D měřicí stroj, automatické čisticí centrum apod. Typ tohoto pracoviště zajišťuje flexibilitu a adaptabilitu výroby s možností výroby více typů obrobků v jedné výrobní dávce bez nutnosti přeseřizování. Celá Výrobní buňka 4.0, popsaná na Obrázku 5, je konstruována dle platných norem ČSN EN ISO 16090-1 – Bezpečnost obráběcích strojů, ČSN EN ISO 10218-2:2011 – Roboty a robotická zařízení, ČSN EN 60204-1 – Bezpečnost strojních zařízení – Elektrická zařízení strojů, ČSN EN ISO 12100 - Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci.



- 1 - CNC stroj
- 2 - Robotická ruka s chapadlem
- 3- Výměnný paletizační systém
- 4 - Ovládací systém Buňky 4.0
- 5- Ovládací systém CNC stroje
- 6 - Dopravníkový pás

Obrázek 5: Popis Výrobní buňky 4.0 (Vlastní zpracování)

6.3 Technickoekonomické aspekty provozu sledovaného subjektu

Celkové náklady na realizaci projektu byly spočítány na hodnotu 13 496 500 Kč a jsou přehledně rozepsány do příložené Tabulky 2.

Tabulka 2: Komponenty VB 4.0 (Interní zdroj)

Integrační platforma BaR	3 000 000,00 Kč
CNC stroj	5 100 000,00 Kč
Opce Industry 4.0	60 000,00 Kč
Základy pro stroj	700 000,00 Kč
Vision systém	350 000,00 Kč
Robot	1 000 000,00 Kč
Chapadlo (gripper)	250 000,00 Kč
Pásový dopravník	175 000,00 Kč
Zabezpečovací systém	70 000,00 Kč
Svěrák 2x	150 000,00 Kč
Oplota	80 000,00 Kč
Oplachy krytů	70 000,00 Kč
Ruční sprcha	22 000,00 Kč
Nástrojová sonda	200 000,00 Kč
Nátrojové vybavení	1 400 000,00 Kč
Ofuk dílců	4 500,00 Kč
Zakrytování chapadel	25 000,00 Kč
Paleta na třísky	200 000,00 Kč
Laser. závora dopravníku	40 000,00 Kč
Práce na projektu	2 000 000,00 Kč

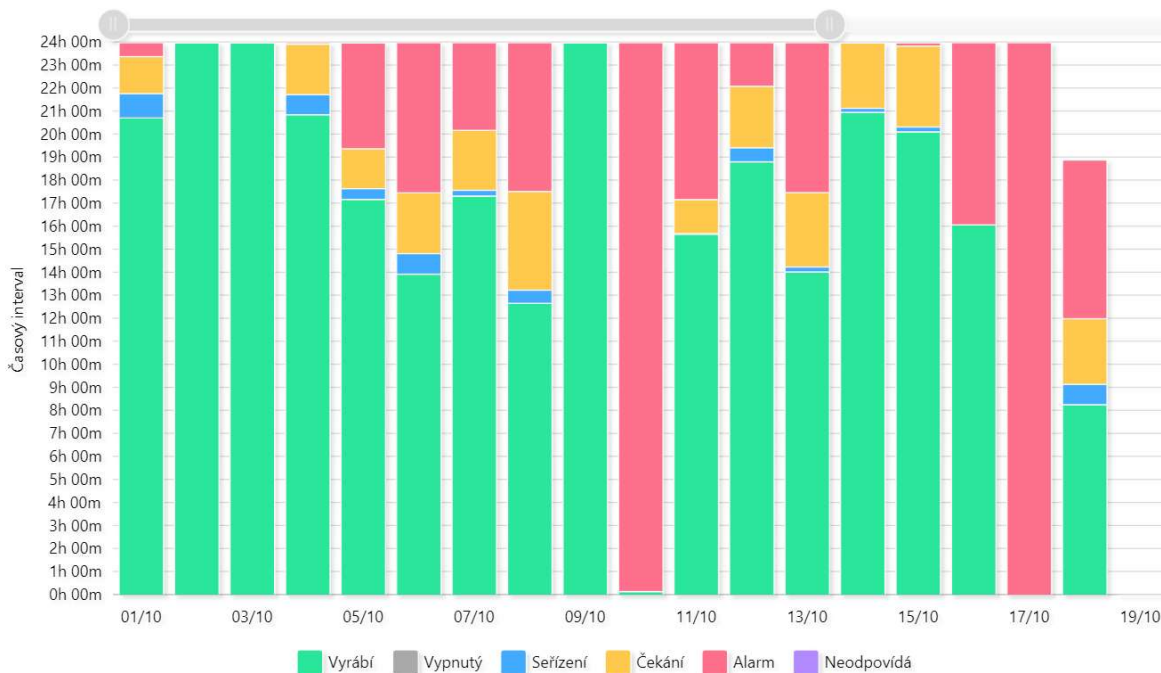
Normohodina Buňky 4.0 byla vypočtena ekonomickým oddělením firmy XY na 603 Kč při provozu 24/7 za přítomnosti odpovědných pracovníků pouze na ranní směně. V rámci předávání projektu v roce 2020 se provedl zkušební test stability provozu Buňky, jehož výsledky jsou přehledně uvedeny v Tabulce 3.

Tabulka 3: Ekonomické zhodnocení projektu v automatickém režimu (Interní zdroj)

Typ stroje	Hodinová sazba	Počet kusů kontrolní dávky	Čas kontrolní dávky	Náklady na dávku
VB 4.0	603 Kč	20 ks	570 min	5 725 Kč
CNC stroj	984 Kč	20 ks	840 min	13 773 Kč

Tabulka 3 byla zpracována na základě požadavku firmy XY. Bylo v ní počítáno s celkovým potřebným časem vyhotovení etalonové výrobní zakázky, vytvořené z různých typů výrobků, pro porovnání časů výroby, a to mezi potřebnou dobou vyhotovení na standardním CNC stroji, obsluhovaném pouze pracovníkem, a pracovišti vytvořeném dle požadavků Průmyslu 4.0. Celkový čas byl pro větší přesnost měřen v minutách a pro účely ekonomického zhodnocení byl ve výpočtu převeden na hodiny. Následně bylo pomocí ceny

normohodiny stroje, která byla pro tyto stroje určena ekonomickým oddělením firmy XY, vypočítány náklady na výrobu této dávky a porovnány. V rámci tohoto testu byla spočítána předpokládaná průměrná nákladová úspora 58 % a 32% časová úspora oproti stávající výrobě.



Obrázek 6: Využití VB 4.0 (Interní zdroj)

Využití měsíčního pracovního fondu za období 10/2020 bylo vysledováno kontrolním systémem na 82 %, což znamenalo 590 hodin celkového výrobního času. Předávací měsíční výkonnost byla kontrolována systémem RECON a výstupní data jsou graficky znázorněna na Obrázku 6.

7 DOPAD APLIKACE MODELU DMAIC NA PLYNULOST PROVOZU VÝROBNÍ BUŇKY

7.1 Definování procesu

V průběhu ostrého provozu se začaly vyskytovat, od měsíce 11/2020, na popisovaném **aktivu** závažná pochybení, která bránila plynulému automatickému provozu. Tím výkonnost celého projektu razantně poklesla a v rámci celého logistického řetězce začalo být ohroženo dodržování termínů montáže produktů firmy. Z tohoto důvodu byl započat projekt pro vysledování vzniklých rizik plynulosti provozu a jejich následné minimalizace. Prvním z možných důvodů těchto pochybení, které vznikly od začátku standardní pracovní činnosti v měsíci 12/2020 bylo, že se počet plánovaných operací rozrostl z původně plánovaných 37 dílců na 317, z nichž bylo dosud naprogramováno 245 a z tohoto počtu odladěno 187 prací. Příčinou těchto rozdílných čísel bylo navyšování plánované výroby z důvodu nedostatku normohodin na standardních CNC strojích a díky tomu se průběžně odlaďují další nové operace již za ostrého běhu VB 4.0. V rámci rozšiřování výroby se také zkoušejí a následně zavádějí možnosti, které byly v původním návrhu zamítnuty pro časovou nebo technologickou náročnost a u kterých byla také pravděpodobná eventualita vyšší chybovosti systému a tím zvýšené **riziko** nestability celého provozního procesu.

Další proměnná je informační a technická „novost“ projektu, kdy se subjekt potýká s konstrukčními chybami a vysokou zátěží na všechny komponenty, jež jsou v celém systému obsaženy a vytváří chybné stavy, které se projevují až ve větším časovém odstupu. Posledním vstupujícím faktorem, a to velmi zásadním, který ovlivňuje celou funkčnost subjektu, je **faktor lidský**. Celý bezobslužný provoz je zásadně ovlivněn plánováním logistiky, technologickou přípravou, řízením výroby, obsluhou, a zejména kooperací mezi jednotlivými odděleními ovlivňujícími automatický provoz Výrobní buňky 4.0. Tento prvek má rovněž významný provozní vliv na standardizaci a složitost informačních i jiných cest. Stanoveným cílem bylo identifikovat slabá místa projektu, navrhnout **protiopatření** ke snížení nestability procesu, poruchovosti systému, a hlavně touto aktivitou přiblížit výrobní časy k původnímu stavu z října 2020. Za hlavní měřenou veličinu byl považován **celkový výrobní čas**. Časový rámec pro nalezení kořenových **příčin** pomocí modelu DMAIC byl vymezen od 07/2022 do 11/2022. Na tomto úkolu se podíleli odpovědní pracovníci společnosti a zástupce dodavatele technologie obrábění. Cílem tohoto úkolu bylo poskytnout jak reaktivní analýzu chybovosti zařízení, tak i alternativní proaktivní náhled na

problematiku plynulosti provozu a zavedený výrobní proces. Výhodou této práce je také skutečnost zmapování přípravné činnosti výrobního procesu VB 4.0, který společnosti doposud chyběl.

Mapa výrobního procesu

Jako první byly zpracovány vývojové diagramy, znázorněné v PŘÍLOHA P I, PŘÍLOHA P II a PŘÍLOHA P III, které ukazují posloupnosti činností v jednotlivých provozech, které jsou ve vzájemné součinnosti při zavádění nového typu dílce na stroji VB 4.0.

Celý proces zavádění výroby začíná v oddělení **Logistiky výroby**, kde se shromažďují požadavky na výrobu strojních komponentů pro zakázky z jednotlivých obchodních divizí společnosti. Zde se tyto požadavky rozdělují na jednotlivé výrobní příkazy, zavádí se do **MES systému** a dle různých, a to zejména časových požadavků se přidělují jednotlivým oddělením ke zpracování dle zavedeného pořadí.

Jako první oddělení se dostává ke slovu oddělení **Technologie**, kde se na základě typu dílce určuje odpovědný technologický pracovník, který nejprve na základě doporučení ze systému určuje základní rozměry a jakost polotovaru pro výrobní příkaz, následně vypracuje technologický postup a v závislosti na výrobním příkazu stanoví minimální výrobní dávku. Po zpracování technologického postupu se nyní již výrobní dávka uvolňuje ke skupině programátorů, zde přidělený programátor společně s technologem vytváří „**Nástrojový list**“, v němž se stanovuje sestava výrobních nástrojů ke zhotovení dílce, která se v případě potřeby konzultuje s oddělením Hospodaření s nástroji a externím dodavatelem příslušných nástrojů. Poté programátor vytvoří „**Seřizovací list**“ se základními hodnotami nastavení pro stroj a instrukcemi pro robotické rameno. Následně odpovědný programátor vytvoří CNC program pro VB 4.0 spolu s programem pro robotickou manipulační část a příslušná data odešle do oddělení „**Seřizovna**“, kde se vše zkompletuje a připraví přímo pro Výrobní buňku 4.0. Po komplekaci se potvrzuje v MES systému zpracování výrobní příkazu a ten se spolu s doporučenou minimální výrobní dávkou vrací zpět do oddělení Logistiky výroby.

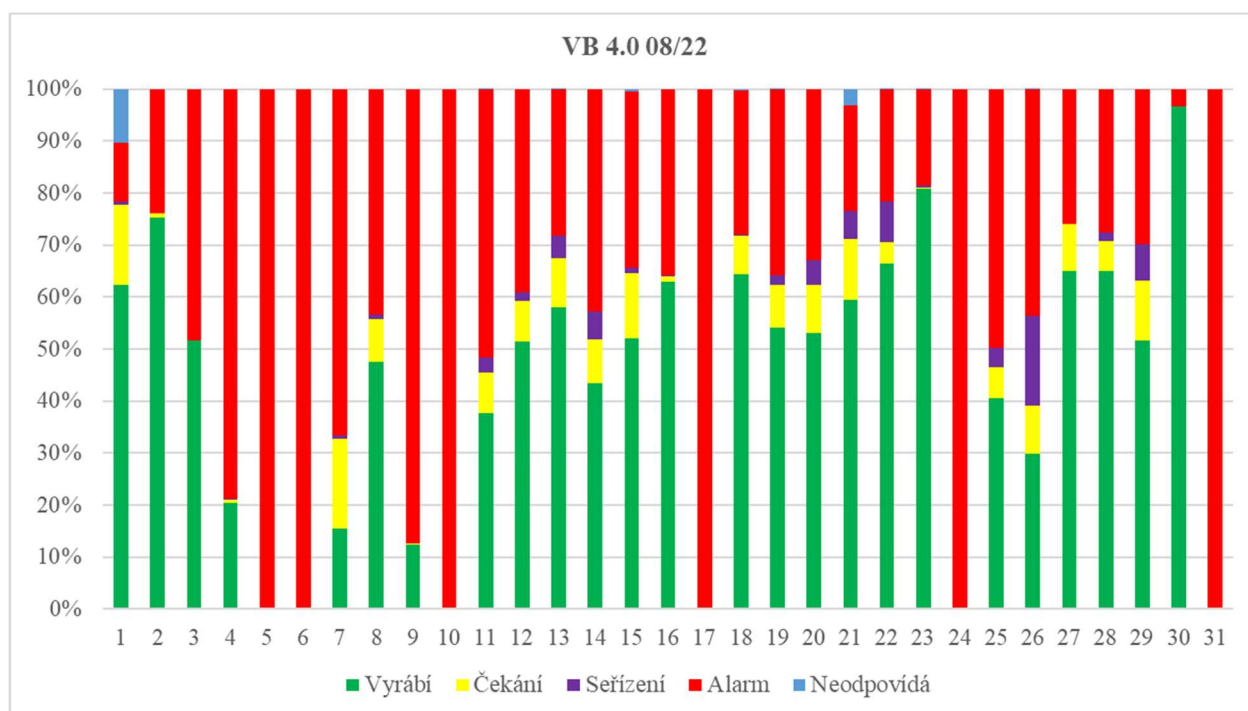
Ve fázi druhé je vydán příkaz k nachystání požadovaného počtu polotovarů v daném rozměru a kvalitě. V oddělení „**Řezárna**“ se materiál vychystá ve skladovacích rozměrech pro další úpravu. V případě nemožnosti použít předepsanou kvalitu materiálu proběhne konzultace s oddělením Logistika a použije se materiál chemickým složením nejbližší. Poté se materiál nařeže na předepsané rozměry, procesem odjehlování se upraví hrany polotovaru a odesílá se do meziskladu oddělení Logistika.

V etapě třetí následuje v Logistice výroby tvorba tzv „**Plánu práce**“, ve kterém jsou obsaženy výrobní dávky pro dané pracoviště. V našem případě je to Výrobní buňka 4.0, jež

system MES vyhodnotil jako prioritní v rámci montáže finálních výrobků firmy. Dle tohoto Plánu práce přiveze odpovědný pracovník Seřizovny potřebné nástrojové sestavy, nahraje do VB 4.0 program pro obráběcí část stroje a pomocné instrukce pro robotickou část. Následně odladí výrobu prvního kusu výrobní dávky, provede případné korekce programu a instrukcí dle výsledků ze střediska Kontroly a pokračuje do té doby, než vyrobí etalonový kus výrobní dávky. Takto postupuje až do doby, než nastaví všechny výrobní dávky z Plánu práce určené pro tento výrobní objekt. Poté předává nastavené výrobní pracoviště VB 4.0 odpovědnému pracovníkovi dílenské obsluhy. Po ukončení výroby nastavené dávky provede odpovědná obsluha očistu strojní části pracoviště a jednou za měsíc očistu celého pracoviště VB 4.0 s důrazem na Vision systém.

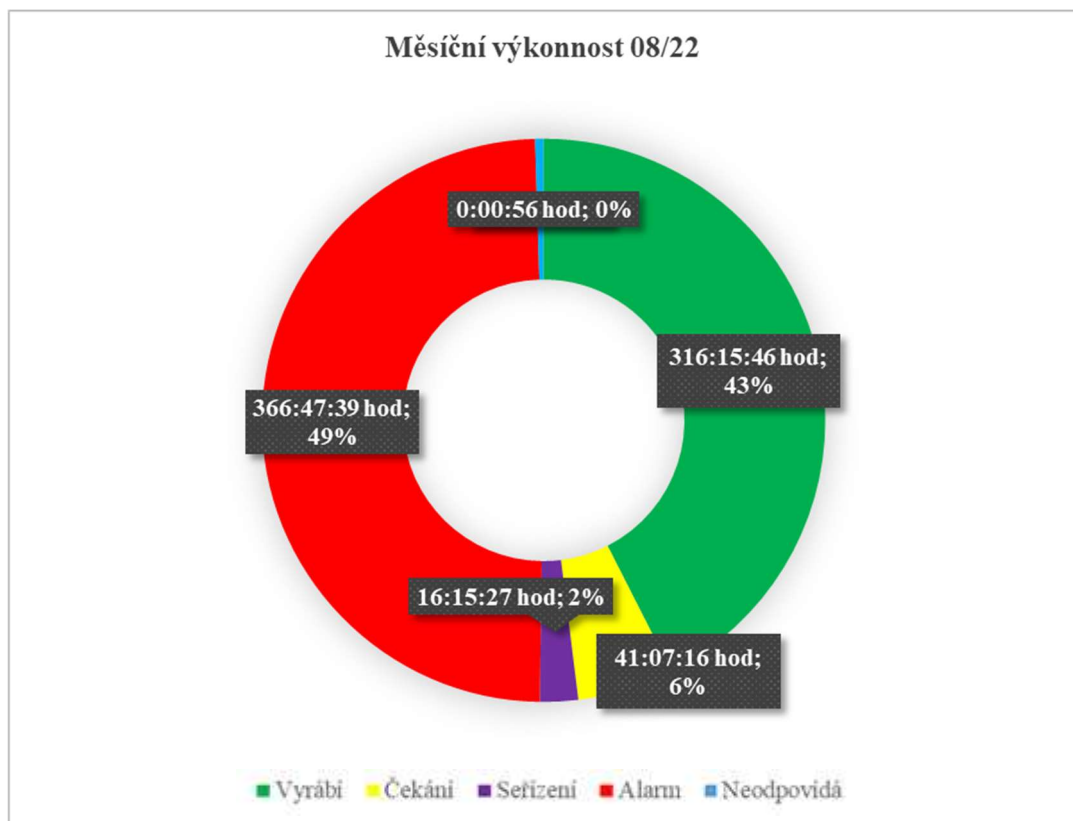
7.2 Měření dat provozu

V měsíci srpen 2022 proběhlo pozorování, měření veškerých časů a stavů na sledovaném subjektu. K identifikaci a měření časů byla využita metoda pozorování spolu se sledovacím systémem RECON, který je napojen jak na strojní část, tak i na robotickou část VB 4.0 a sbírá provozní data i chybová hlášení z obou výše zmíněných úseků. Díky důkladnému vizuálnímu a softwarovému přístupu ke všem částem VB 4.0, vzájemně na sobě závislých, byla zjištěna vstupní data k analýze. Časový rozbor plynulosti provozu VB 4.0 je podrobně rozebrán po jednotlivých dnech na Obrázku 7.



Obrázek 7: Vytíženost pracoviště VB 4.0 08/22 (Vlastní zpracování)

Pro lepší představu využitelnosti zařízení při automatizovaném provozu byl na Obrázku 8 tento sloupcový graf převeden do formy grafu prstencového výsečového s časovými údaji doplněnými o procentuální vyjádření.



Obrázek 8: Prstencový graf využitelnosti VB 4.0 (Vlastní zpracování)

Z Obrázku 8 vyplývá, že největší podíl na úbytku měla výrazně zvýšená chybovost celého systému, projevující se v dobách automatického provozu. Dalším omezením, ovšem výrazně marginálním, byl čas prostojový, který zabíral 6 % z času celkového, což je 41 hodin. Oproti výše uvedeným číslům zabíral čas seřizovací pouze 2 % z celkového času, což dělalo 16 hodin z celkového času, z čehož plyne, že zadané výrobní dávky za 08/2022 zde již byly vesměs v minulosti jednou zpracovávány a plynulost by měla být kontinuální.

Výrobní buňka 4.0 v analyzovaném provozu vyráběla 316 hodin, což bylo 53,5 % z času deklarovaného při předání, který původně byl 516 hodin. To představovalo o 46,5 % nižší výrobní výkon než v deklarovaném stavu. Pro lepší představu se jednalo o 274 hodin nižší výrobní čas. Při předání Buňky 4.0 byla při automatickém provozu na kontrolní dávce spočítána a deklarována úspora nákladů 58 % a úspora časová 32 % proti stávajícímu parku CNC strojů. Pro účely srovnání byla vypracována Tabulka 4, která byla zpracována na bázi stejných parametrů určených firmou XY, v níž se na základě měřených dat srovnal výkon z měsíce 08/2022 s deklarovaným výkonem z měsíce 10/2020 prezentovaným v Tabulce 3.

Z důvodu změny sazeb normohodin na sledovaných pracovištích nebyla počítána změna nákladů a pro potřeby analýzy rizik nebyla prioritní.

Tabulka 4: Průběžné zhodnocení časové úspory Buňky 4.0 (Vlastní zpracování)

Typ stroje	Počet kusů kontrolní dávky	Čas kontrolní dávky
VB 4.0	20 ks	835 min
CNC stroj	20 ks	840 min

Na základě výpočtu složeného ze zjištěného chybějícího procentuálního výkonu 46,5 % připočítanému k původnímu času 572 minut se navýšil původní čas na hodnotu 835 minut, jenž je v podstatě totožný, jako u standardního CNC stroje, rozdíl činil pouhé necelé 1 % potřebného času pro výrobu.

7.3 Analýza získaných dat a procesů

Poznáním výrobních procesů, získáním relevantních kvantitativních časových dat a sesbíráním chybových hlášení byla provedena analýza nízké plynulosti výrobního procesu pozorované Výrobní buňky 4.0, která byla představena širšímu týmu zainteresovaných interních pracovníků. K určení nejvíce se opakujících omezení provozu bylo navrženo a týmem schváleno provést Paretovu metodu, na kterou se naváže řízeným brainstormingem.

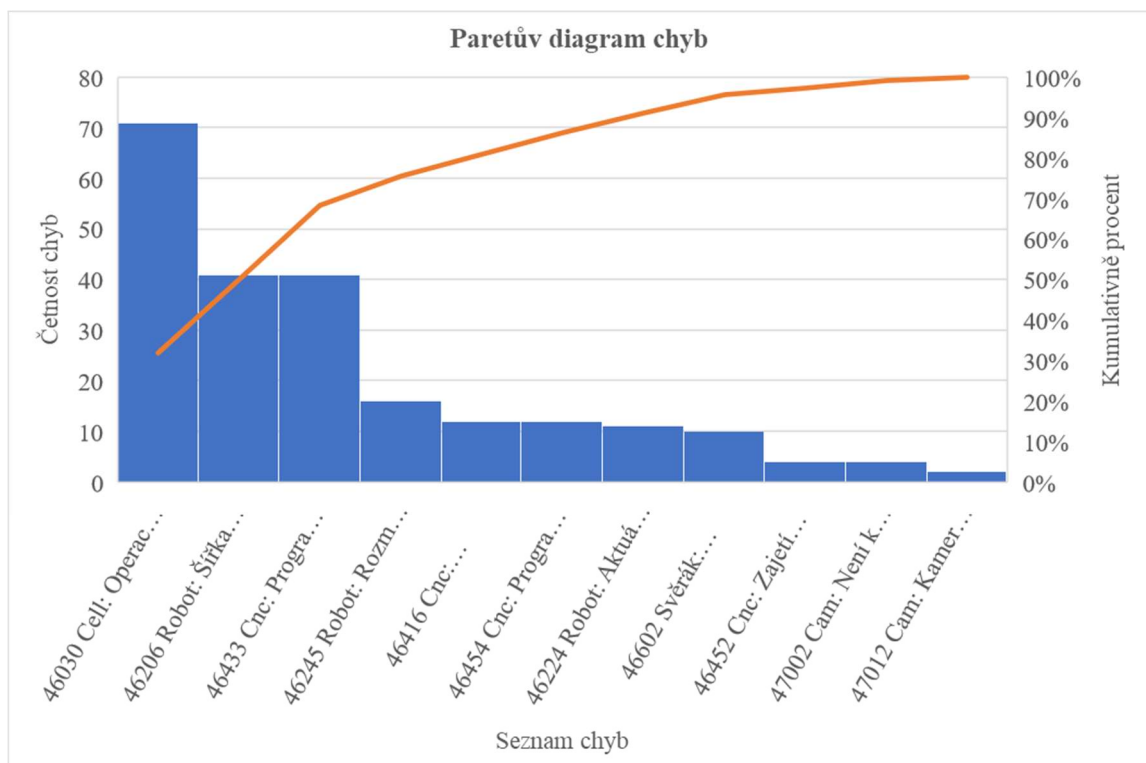
7.3.1 Analýza změřených dat Paretovou metodou

Při přípravě podkladů pro Paretovu metodu a vypracování následného diagramu se využilo, jak metody pozorování, tak i dat zaznamenaných systémem RECON a pomocí těchto metod byla vytvořena Tabulka 5.

Tabulka 5: Četnost chybových hlášení (Vlastní zpracování)

Popisek chybových hlášení	Četnost	% podíl
46030 Cell: Operace robota se nezdařila	71	90 %
46206 Robot: Šířka dílu je mimo toleranci	41	50 %
46224 Robot: Aktuální poloha svěraku je mimo rozsah	11	11 %
46245 Robot: Rozměr kusu v upínači je mimo toleranci	16	16 %
46416 Cnc: Nepodařilo se zvolit program	12	12 %
46433 Cnc: Program byl pozastaven	41	50 %
46452 Cnc: Zajetí palety do stroje selhalo	4	4 %
46454 Cnc: Program nebyl spuštěn	12	12 %
46602 Svěrák: Enkodéry svěraků nejsou inicializovány	10	10 %
47002 Cam: Není k dispozici žádný polotovar	4	4 %
47012 Cam: Kamera nevrátila ani jeden platný kus	2	2 %

Následně byla tato data využita při tvorbě Paretova diagramu, jenž je zobrazen na dalším Obrázku 9.



Obrázek 9: Paretův diagram chyb (Vlastní zpracování)

Z Paretova diagramu vyplývá, že nejvýznamnější poruchy plynulosti vznikají na straně automatické robotické obsluhy VB 4.0. Nejčastější je chyba „46030 Cell: Operace robota se nezdařila“, která pravděpodobně vzniká při zakládání dílců a může být způsobena špatným seřazením fyzických pohybů robota proti matematicko-fyzikálnímu modelu, dle kterého se pohybuje, nebo nasazením nevhodného typu upínacích čelistí (gripperu). Druhým nejzávažnějším problémem je chyba „46206 Robot: Šířka dílu je mimo toleranci“, kde je možných příčin několik, od špatného rozměru polotovaru, nevhodného tvaru, až po vysokou hmotnost celého obrobku. A třetím nejzávažnějším problémem je „46433 Cnc: Program byl pozastaven“, kdy dochází k nedokončení celého nastaveného obráběcího programu, který může být zapříčiněn kombinací softwarových chyb, nedostatky v obráběcím úseku buňky nebo nepředvídatelnými stavy mechanických částí VB 4.0.

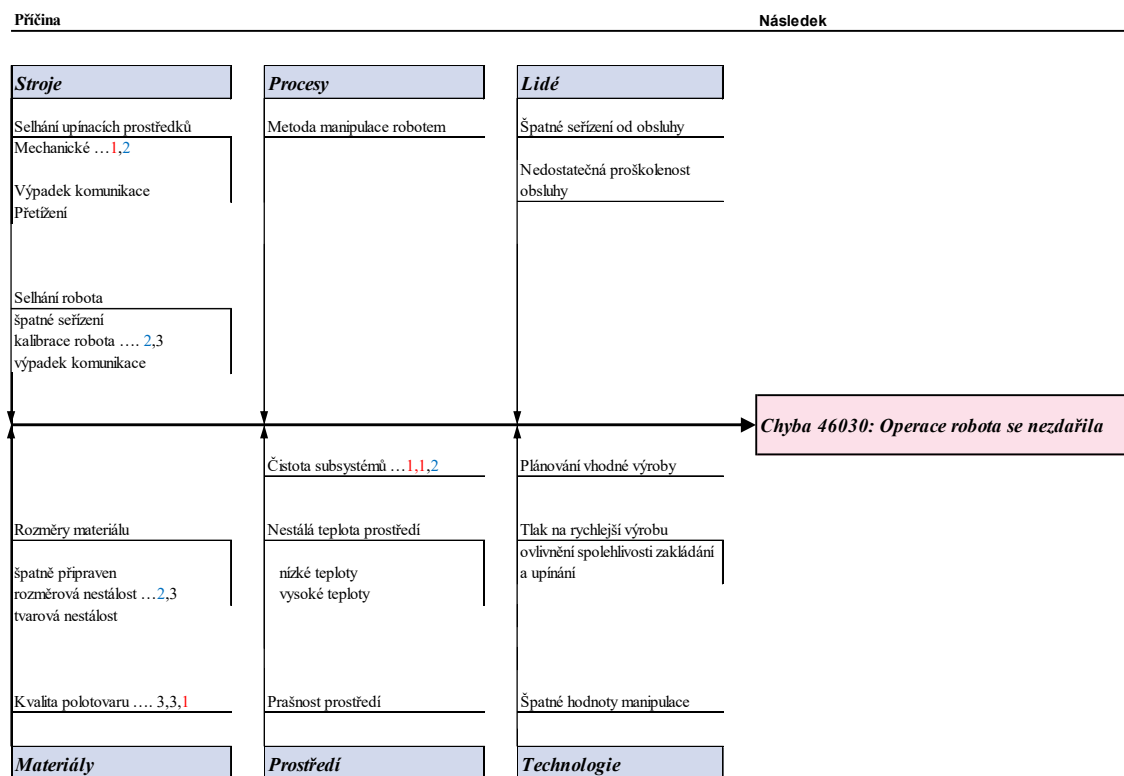
7.3.2 Analýza chybových hlášení brainstormingem

Dne 22. 9. 2022 se uskutečnila, z důvodu detailního zpracování všech možných kořenových příčin nejčastějších chyb, schůzka řešitelského týmu ve složení vedoucí technologie, technolog, hlavní programátor a zástupce dodavatele technologie obrábění. Řízenou diskusi

vedl hlavní programátor a zapisováním byl pověřen zástupce dodavatele. Zde se nejprve provedlo shrnutí zjištěných dat a následně se k vybraným chybným stavům provedla skupinová debata s generováním všech možných kořenových příčin. Po krátké pauze následovala rozprava, kde se na základě vzájemného souhlasu vybraly nejpravděpodobnější kořenové příčiny těchto chyb a byly zaznamenány do Ishikawových diagramů příčin a následků. Poté následovalo hodnocení důležitosti jednotlivých chyb každým členem týmu samostatně.

1. 46030: Operace robota se nezdařila

Diagram příčin a následků

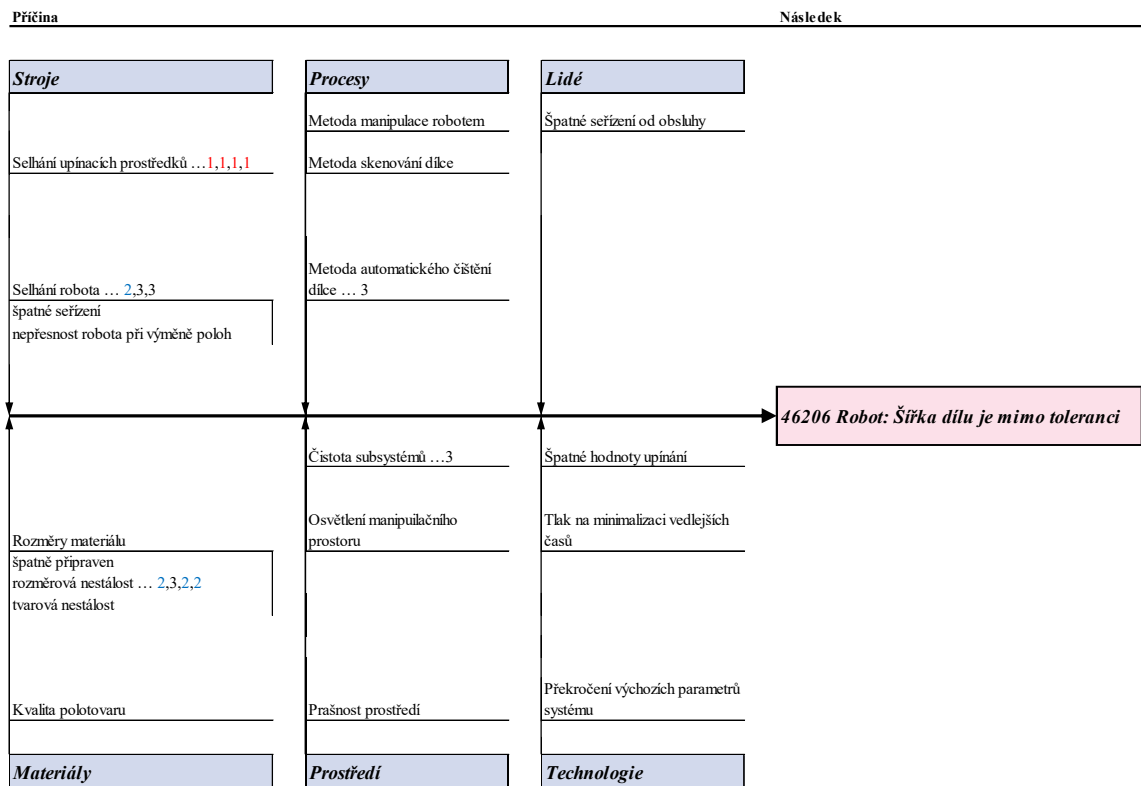


Obrázek 10: Ishikawův diagram chyby 46030 (Vlastní zpracování)

Po skončení hodnocení vyšly u vady systému „46030 Cell: Operace robota se nezdařila“, graficky znázorněné na Obrázku 10, jako nejčastější kořenové příčiny příčina „Čistota subsystémů“, příčina „Selhání upínacích prostředků – mechanické“ spolu s příčinou „Kvalita polotovaru“. A na třetím místě dva důvody „Rozměrová nestálost materiálu“ s „Kalibrace robota“.

2. 46206 Robot: Šířka dílu je mimo toleranci

Diagram příčin a následků

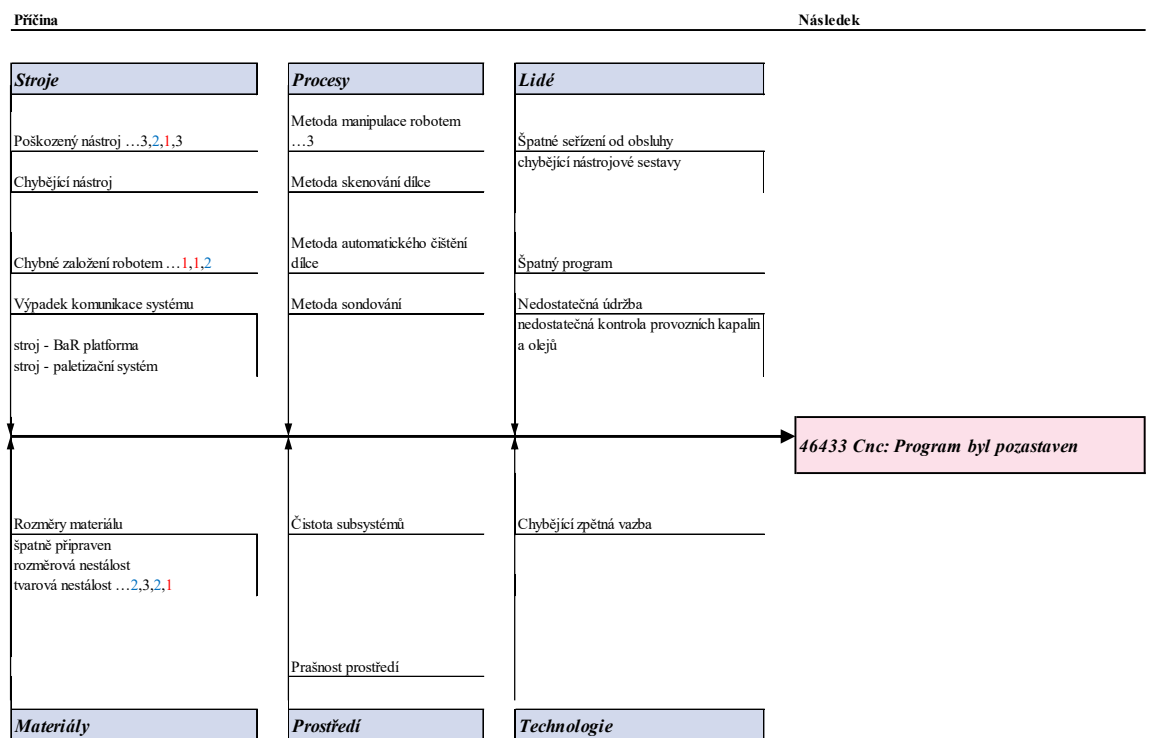


Obrázek 11: Ishikawův diagram chyby 46206 (Vlastní zpracování)

U chybového stavu, znázorněném na Obrázku 11, vady „46206 Robot: Šířka dílu je mimo toleranci“ byla jednoznačně označena jako hlavní kořenová příčina „Selhání upínacích prostředků“ následována na druhém místě vadou „Rozměry materiálu – rozměrová nestálost“ a na třetí pozici byla vada „Selhání robota“.

3. 46433 Cnc: Program byl pozastaven

Diagram příčin a následků



Obrázek 12: Ishikawův diagram chyby 46433 (Vlastní zpracování)

U poslední nejčastější chyby plynulosti systému dle Paretova diagramu znázorněné na Obrázku 12, chybového stavu „46433 Cnc: Program byl pozastaven“, byly vybrány jako nejčastější kořenové příčiny „Rozměry materiálu – tvarová nestálost“, dále pak příčina „Poškozený nástroj“ a jako poslední „Chybné založení robotem“.

Analýza metodou FMEA

Dalším krokem byly diskuse odborného týmu nad poznatky zjištěnými pomocí diagramu příčin a následků s označením kořenových příčin chybových stavů, které již na pracovišti VB 4.0 nastaly. S ohledem na vypracované vývojové diagramy a analýzy se přistoupilo k vypracování závěrečné metody FMEA, která by měla řešit jak již proběhlé časové prostoje, které ohrozily plynulost výroby, tak i další rizikové stavy, které by mohly nastat.

Pro kvantitativní hodnocení rizik a návrhů na jejich ošetření vhodným protiopatřením vytvořil řešitelský tým, rozšířený o vedoucího výroby, následné klasifikační tabulky hodnot pro ohodnocení významu (Tabulka 6), výskytu (Tabulka 7) a detekci vad (Tabulka 8) a následnou tabulku výsledné hodnoty míry rizikovosti (Tabulka 9).

Pro klasifikaci významu byla vytvořena Tabulka 6 se stupnicí 1-10, v níž hodnota 1 představuje význam zanedbatelný a hodnota 10 významem naprosto zásadní.

Tabulka 6: Kritérium klasifikace Významu (Vlastní zpracování)

Všeobecná kritéria hodnocení parametru význam (S) pro proces		
S	Význam	Slovní hodnocení Významu pro proces
10	Vysoký	Význam vady je zásadní pro provoz zařízení
9		
8	Středně vysoký	Význam vady vysoce ohrožuje provoz zařízení
7		
6	Středně nízký	Význam vady má středně významný vliv na chod zařízení
5		
4		
3	Nízký	Význam vady má nízký význam pro chod zařízení
2		
1	Velmi nízký	Význam vady má zanedbatelný význam pro chod zařízení

Pro klasifikaci výskytu byla vytvořena taktéž Tabulka 7 s hodnocením 1-10, v níž ohodnocení 1 znamená, že výskyt vady je vysoce nepravděpodobný a stupeň 10 znamená výskyt chyby v každém procesu, jak novém, tak opakujícím se.

Tabulka 7: Kritérium klasifikace Výskytu (Vlastní zpracování)

Všeobecná kritéria hodnocení parametru výskytu (O) pro proces		
O	Předpoklad výskytu příčiny	Slovní hodnocení Výskytu pro proces
10	Extrémně vysoký	Výskyt vady je v každém procesu
9	Velmi vysoký	Výskyt vady je velmi častý
8		
7	Vysoký	Výskyt vady je běžný
6		
5	Střední	Výskyt vady je poměrně běžný
4		
3	Nízký	Výskyt vady je velmi malý
2		
1	Extrémně nízký	Výskyt vady je nepravděpodobný

Pro třetí zkoumaný parametr byla rovněž vytvořena Tabulka 8 se stejnou stupnicí, ale zde známka 1 znamená odhalení vady naprosto jisté a ohodnocení 10 značí, že odhalení vady je velmi nepravděpodobné.

Tabulka 8: Kritérium klasifikace Detekce (Vlastní zpracování)

Všeobecná kritéria hodnocení parametru detekce (D) pro proces		
D	Schopnost odhalit	Slovní hodnocení Detekce pro proces
10	Velmi nízká	Odhalení vady je nepravděpodobné
9		
8	Nízká	Odhalení vady je téměř nepravděpodobné
7		
6	Střední	Odhalení vady je pravděpodobné
5		
4	Vysoká	Odhalení vady je téměř jisté
3		
2		
1	Velmi vysoká	Odhalení vady je jisté

Jako poslední byla vytvořena Tabulka 9 pro určení rizikovosti a kritičnosti jednotlivých hodnocených kroků procesů, kde byla pro hodnocení použita stupnice 1-1000, pro obsáhnutí všech možných součinů hodnot významu, výskytu a detekce.

Tabulka 9: Stupnice klasifikace rizika (Vlastní zpracování)

Priorita opatření pro FMEA-P		
Hodnota	Hodnocení míry rizika (RPN)	Slovní definice výšky rizika
101-1000	Vysoká (H)	Riziko je vysoce kritické pro proces
51-100	Střední (M)	Riziko je středně kritické pro proces
1-50	Nízká (L)	Riziko není kritické pro proces

Jako první byly prověřeny technologické procesy, znázorněné v Příloze P IV, probíhající při určení základních parametrů výroby finálních komponentů.

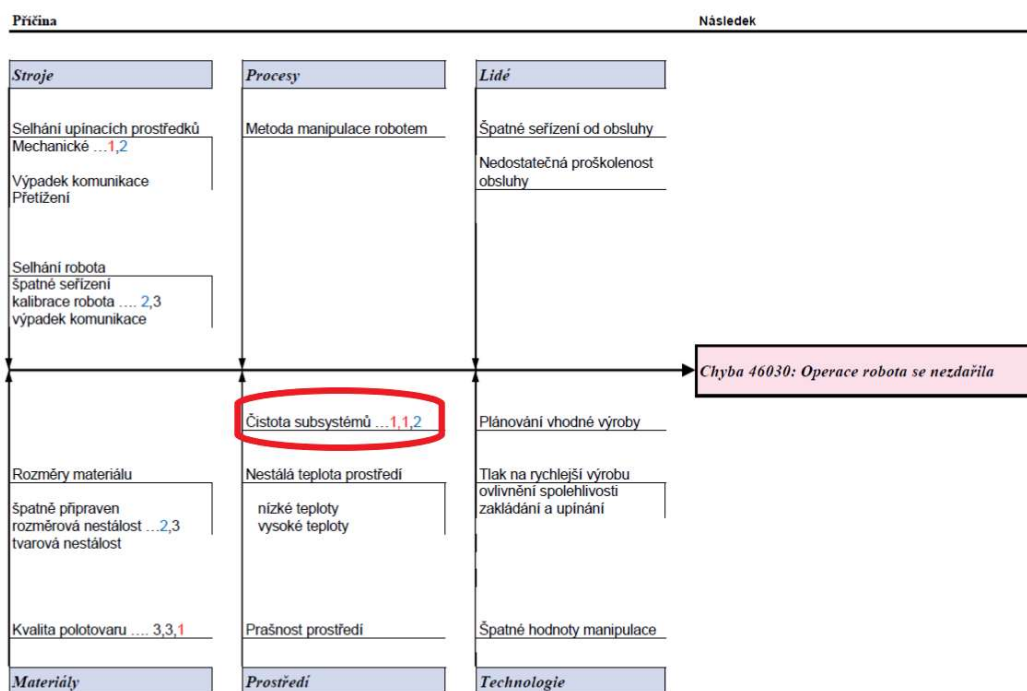
Následně se pokračovalo analýzou jednotlivých procesů přípravy polotovarů a hrozících potencionálních rizik znázorněných v Příloze P V.

Jako poslední krok analýzy byla prověřena samotná výroba finálních komponentů, znázorněná v Příloze P VI, a možné kořenové příčiny chybových stavů.

Příklad postupu při analýze a ošetření rizik

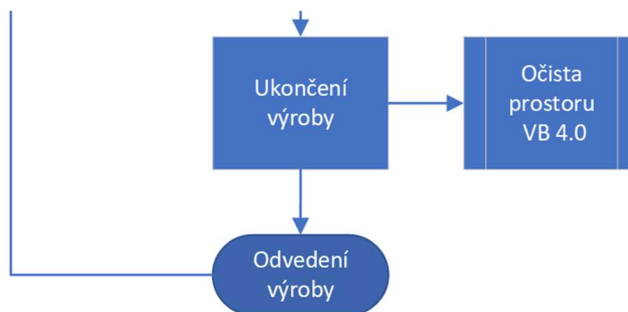
Nejčastějším rizikovým stavem, jenž byl v Ishikawa diagramu vyhodnocen jako nejvíce ohrožující plynulost provozního procesu Buňky 4.0, byla chyba „46030 Cell: Operace robota se nezdařila“. U této procesní vady byla pomocí brainstormingu určena jako hlavní kořenová příčina „Čistota subsystémů“ označena na Obrázku 13.

Diagram příčin a následků



Obrázek 13: Kořenová příčina chyby 46030 (Vlastní zpracování)

Pomocí vývojového diagramu, na Obrázku 14, si určíme místo v procesu, kde tato chyba vznikala.



Obrázek 14: Určení místa vzniku kořenové chyby (Vlastní zpracování)

Místo vzniku bylo označeno v Diagramu Výrobní fáze (Příloha P III) mezi kroky „Ukončení výroby“ a „Odvedení výroby“.

Následně byla vyhledána místa (Tabulka 10) v analýze FMEA Výrobní fáze (Příloha P VI), kde se na třech místech analýzy struktury a funkcí rozebírá tato závada provozu.

Tabulka 10: Analýza struktury a funkcí v FMEA (Vlastní zpracování)

2. Krok procesu číslo stanice a název prvku "Vybraný prvek"	3. Prvek provádění činnosti 4M	1. Funkce položky procesu Funkce systému, subsystému, dílu/komponentu nebo procesu	2. Funkce kroku procesu a charakteristika produktu (kvalitativní hodnota je volitelná)	3. Funkce prvku provádění činnosti a charakteristiky procesu
5.a) Údržba prostoru stroje	Lidé (Seřizovač)	Očista upínacích prvků	Údržba	Očištění upínačů od kovových třísek a nečistot
5.b) Údržba prostoru stroje	Lidé (Seřizovač)	Očista Vision systému	Údržba	Očištění čočky kamery od nečistot
5.c) Údržba prostoru stroje	Lidé (Seřizovač)	Očista pásu	Údržba	Očištění dopravníkového pásu od kovových třísek a nečistot

Příčiny selhání a rizik byly popsány v části Analýza rizik a selhání FMEA, znázorněné v Tabulce 11 a ohodnoceny prioritou „H“ vysoká, „M“ střední a „M“ střední.

Tabulka 11: Analýza selhání a rizik v FMEA (Vlastní zpracování)

Následek (FE)	Význam (S)	2. Vada (FM) v kroku procesu	3. Příčina (FC) v prvku provádění činnosti	Stávající preventivní opatření k příčině	Výskyt (O)	Stávající opatření k odhalení vady, nebo příčiny	Detekce (D)	FMEA-PAP
VB 4.0 nebude pracovat korektně	8	Upínací prvky nesprávně upnou polotovary a stroj se zastaví	Kovové třísky brání dostatečně silnému upnutí dílce	1x týdně údržba pracovníkem	4	X	5	M
VB 4.0 nebude pracovat korektně	8	Vision systém nesprávně určí polotovary a robot neuchopí polotovary	Vision systém nesprávně určí polotovary a robot neuchopí polotovary	1x měsíčně údržba pracovníkem	6	X	5	H
VB 4.0 nebude pracovat korektně	8	Vision systém nesprávně určí polotovary a nástroje se zničí	Vision systém nesprávně určí polotovary a upne větší rozměr	1x měsíčně údržba pracovníkem	5	X	5	M

K nimž byly navrženy optimalizace uvedené v Tabulce 12, přičemž u systémových funkcí „Očista upínacích prvků“ a „Očista pásu“ bylo určeno datum dokončení realizace a odpovědná osoba. U opatření „Očista Vision systému“, jež bylo označeno statusem „H“,

datum určeno nebylo z důvodu potřebného dodatečného proškolení obsluhujícího pracovníka firmou AB. Po zavedení navržených opatření, byly hodnocení výskyt a detekce sníženy a celkový status se u všech kroků snížil na status „L“ nízký.

Tabulka 12: Optimalizace v FMEA (Vlastní zpracování)

Zvláštní charakteristiky	Kód filtru (variantě)	Preventivní opatření	Opatření k odhalení	Odpovědná osoba	Preventivní datum dokončení	Status	Přijata a opatření s odkazem na důkaz	Datum do končení	Význam (S)	Výskyt (O)	Detekce (D)	FMEA-P AP
	X	1x týdně údržba pracovníkem	Kontrola nadřazeným pracovníkem	Mistr Výroby	06.01.2023	V realizaci			8	2	3	L
	X	1x týdně údržba pracovníkem	Kontrola nadřazeným pracovníkem	Mistr Výroby		V rozhodování			8	2	3	L
	X	1x týdně údržba pracovníkem	Kontrola nadřazeným pracovníkem	Mistr Výroby	06.01.2023	V realizaci			8	2	3	L

7.4 Návrhy na optimalizaci

V rámci sledování a zkoumání plynulosti provozu Buňky 4.0 ve firmě XY byly zjištěny závažné vady, které bránily dosažení potřebného časového výkonu. Na základě Paretova diagramu byly určeny chyby, jež činily nejčastější překážku plynulosti provozu. S těmito se nadále pracovalo v brainstormingových týmových diskusích, kde se určovaly kořenové příčiny těchto chyb pomocí Ishikawových diagramů, na něž se navazovalo zpracováním FMEA analýz zúčastněných procesů. Opatřeními pro tyto vady byly navrženy:

1. 46030: Operace robota se nezdařila

- Kořenová příčina „Čistota subsystémů“.

Návrh na řešení vysvětlen na vzorovém příkladu.

- Kořenová příčina „Selhání upínacích prostředků – mechanické“

Návrh na řešení se nachází v analýze FMEA Příprava polotovarů (Příloha P V), zde se řeší v bodu 1 d) Kvalita polotovarů a návrh na opatření je zadání dodatečných požadavků již do systému MES, přes který se požadovaný materiál objednává.

Další návrh se nachází v analýze FMEA Příprava technologie (Příloha P IV)

1 a) Určení rozměrů materiálů, zde se opatření nenavrhovalo z důvodu velmi malé pravděpodobnosti výskytu.

2. 46206 Robot: Šířka dílu je mimo toleranci

- Kořenová příčina „**Selhání upínacích prostředků**“.

Návrhy na řešení se nachází v analýze FMEA Příprava polotovarů (Příloha P V), zde se řeší v bodu 1 d) Kvalita polotovarů a návrh na opatření je zadání dodatečných požadavků již do systému MES, přes který se požadovaný materiál objednává.

Pak se nachází v analýze FMEA Výrobní fáze (Příloha P VI), zde se nachází v bodu 5 a) Údržba prostoru stroje, ke kterému je přiřazen návrh na častější údržbu stroje kontrolovanou nadřízeným pracovníkem s datem realizace.

- Kořenová příčina „**Rozměry materiálu – rozměrová nestálost**“

Návrhy na řešení se nachází v analýze FMEA Příprava polotovarů (Příloha P V), řešení se nachází v bodech 1 d) Kvalita polotovarů a 2 b) Rozměry polotovarů, ke kterému je navrženo řešení zavedení výstupní kontroly.

Další návrh se nachází v analýze FMEA Příprava technologie (Příloha P IV) 1 a) Určení rozměrů materiálů, zde se opatření nenavrhovalo z důvodu velmi malé pravděpodobnosti výskytu.

3. 46433 Cnc: Program byl pozastaven

- Kořenová příčina „**Rozměry materiálu – tvarová nestálost**“

Návrhy na řešení se nachází v analýze FMEA Příprava polotovarů (Příloha P V), řešení se nachází v bodech 1 d) Kvalita polotovarů a 2 b) Rozměry polotovarů, ke kterému je navrženo řešení zavedení výstupní kontroly.

Další návrh se nachází v analýze FMEA Příprava technologie (Příloha P IV) 1 a) Určení rozměrů materiálů, zde se opatření nenavrhovalo z důvodu velmi malé pravděpodobnosti výskytu.

- Kořenová příčina „**Poškozený nástroj**“

Návrhy na řešení se nachází v analýze FMEA Příprava polotovarů (Příloha P V), zde se řešení nachází v bodech 1 a) b) Kvalita polotovarů s návrhy řešení důsledně kontrolovat kvalitu materiálu a použít speciální verze nástrojů.

Další návrhy se nachází v analýze FMEA Výrobní fáze (Příloha P VI), zde se týká bodů 2 a) b) Seřízení nástrojů, zde byly navrženy opatření kontroly na měřicím přístroji a kontroly systémem VB 4.0.

Na základě provedených analýz bylo zjištěno, že nejvíce kořenových příčin analyzovaných chyb plynulosti systému se tvořilo již při přípravě polotovarů a poté ve výrobní fázi požadovaných dílců. Díky navrženým opatřením v analýzách FMEA (Příloha P IV, Příloha P V, Příloha P VI), které byly projednány v rámci brainstormingových týmových diskusí, by se měl sledovaný výrobní čas zvednout o poměrnou část chybového alarmového času, jež činí 80 % ze změřených **366 hodin**. Původní ostrý provozní čas pracoviště činil **316 hodin** za měsíc. Snížení chybových časů, způsobených identifikovanými riziky, činí **293 hodin** za měsíc. Po součtu těchto dvou časových hodnot by celkový provozní čas Výrobní Buňky 4.0 měl činit **609 hodin** za měsíc, což nám dává OEE efektivitu 84,5% využití pracoviště, která je o 2,5 % vyšší, než byla deklarována při předávání automatizovaného pracoviště Průmyslu 4.0 do provozu.

ZÁVĚR

V této bakalářské práci byla zkoumána rizika plynulosti výrobního toku společnosti XY zabývající se výrobou obráběcích strojů, jež vznikají zapojením nového adaptivního pracoviště s robotickou obsluhou. Cílem bylo identifikovat místo nebo místa, kde mohou mít časové ztráty kořenový původ, navrhnout adekvátní opatření pro minimalizaci a zvýšit výrobní čas na původní úroveň.

Bakalářská práce byla rozdělena na dvě části, a to praktickou a teoretickou. Teoretická část se zabývala vymezením teoretických definic a pojmů zaměřených na management rizik v kapitole první. V kapitole druhé byly definovány pojmy týkající se výrobního procesu a operativního plánování a v kapitole třetí byly definovány výchozí pojmy týkající se zavádění Průmyslu 4.0. Poslední čtvrtá kapitola teoretické části byla věnována popisu metod využitých v praktické části pro analýzu rizik sledovaného aktiva.

Praktická část je v páté kapitole věnována popisu a současnému stavu vybrané firmy XY, kde se sledovaný subjekt nachází, následována kapitolou šestou, která se již podrobně věnuje popisovanému aktivu, jeho implementaci do provozu a následnému zapojení do výroby. Kapitola sedmá je věnována praktickému využití modelu DMAIC a analytických metod Brainstorming, Paretův diagram, Ishikawa, jejichž aplikace byla zpracována v teoretické části této práce. Nakonec pomocí analýzy FMEA byla navrhována opatření, která by měla zaručit omezení vzniku rizik ohrožujících tok výroby finálních komponentů a vrátit analyzované pracoviště na původní efektivitu provozního času ze začátku ostrého provozu.

V rámci této práce byly aplikovány metody analýzy rizik výhradně na již vzniklá nebezpečí, způsobující omezení provozu sledovaného pracoviště Výrobní buňka 4.0 a řešení byla hledána převážně v rámci vnitřních systémů vybrané společnosti XY, což mohlo být zapříčiněno složením týmu, který se skládal z interních pracovníků vybrané společnosti a jednoho zástupce dodavatele. Nicméně, všechny zjištěné poznatky byly předloženy vyššímu managementu firmy. Následně po zevrubném prozkoumání byly včleněny do organizačních systémů společnosti, spolu s doporučením zařazení do podkladů zabývajících se konstrukcí tohoto typu pracovišť pro zákazníky.

Další potencionální výzkum možných rizik vidím v zaměření se na lidský faktor ovlivňující provoz sledovaného aktiva, viz Obrázek 8 parametr „Čekání“, a v rozšíření výzkumu na vnější ohrožení zejména z pohledu možných kyber útoků.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

AIAG, a VDA, 2019. *Příručka FMEA: Analýza možností vzniku vad a jejich následků*. 1. vydání. Přeložil Stanislav KŘEČEK. Praha: Česká společnost pro jakost, z.s. ISBN 978-80-02-02885-7.

ANDERSEN, Bjørn a Tom FAGERHAUG, 2011. *Analýza kořenových příčin: zjednodušené nástroje a metody*. 2. vyd. [i.e. 1. české]. Praha: Česká společnost pro jakost. ISBN 978-80-02-02356-2.

ANDERSON, Mary, Edward ANDERSON a Geoffrey PARKER, 2021. *Operations Management For Dummies*. 2nd. Indianapolis: John Wiley and Sons. ISBN 9781119843108.

ANTUŠÁK, Emil a Josef VILÁŠEK, 2016. *Základy teorie krizového managementu*. Vydání první. Praha: Univerzita Karlova v Praze, nakladatelství Karolinum. ISBN 978-80-246-3443-2.

BASU, Ron, 2022. *The Green Six Sigma Handbook: A Complete Guide for Lean Six Sigma Practitioners and Managers*. 1st. New York: Productivity Press. ISBN 9781003268239.

ČASTORÁL, Zdeněk, 2017. *Management rizik v současných podmínkách*. Vydání I. Praha: Univerzita Jana Amose Komenského. ISBN 9788074521324.

ČEP, Vlastimil, 2015. Řízení rizik v rámci projektů. In: *Management.cz* [online]. 2019, s. 1 [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <http://www.management.cz/rizeni-rizik-v-ramci-projektu-cast-12/>

ČERMÁK, Miroslav, 2022. Reactive, proactive a predictive risk management. *Clever and Smart* [online]. [cit. 2022-10-03]. ISSN 2694-9830. Dostupné z: <https://www.cleverandsmart.cz/reactive-proactive-a-predictive-risk-management/>

ČSN ISO 31000 (01 0351) *Management rizik - Směrnice*, 2018. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 27 s.

DOLEŽAL, Jan, Pavel MÁCHAL a Branislav LACKO, 2012. *Projektový management podle IPMA*. 2., aktualiz. a dopl. vyd. Praha: Grada. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-4275-5.

FRANCHETTI, Matthew John, 2015. *LEAN SIX SIGMA for ENGINEERS and MANAGERS*. Boca Raton: CRC PressTaylor & Francis Group. ISBN 978-1482243529.

HRDLIČKA, Jan, 2013. *110 let strojírenství ve Zlíně: 1903-2013*. Zlín: TAJMAC-ZPS. ISBN 978-80-260-4511-3.

CHROMJAKOVÁ, Felicita, David TUČEK a Roman BOBÁK, 2017. *Projektování výrobních procesů pro Průmysl 4.0*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. ISBN 978-807-4546-808.

JUROVÁ, Marie, 2016. *Výrobní a logistické procesy v podnikání*. 1. vydání. Praha: Grada Publishing. Expert (Grada). ISBN 978-802-4757-179.

KORECKÝ, Michal a Václav TRKOVSKÝ, 2011. *Management rizik projektů: se zaměřením na projekty v průmyslových podnicích*. Praha: Grada. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-3221-3.

KRULIŠ, Jiří, 2011. *Jak vítězit nad riziky: aktivní management rizik - nástroj řízení úspěšných firem*. Praha: Linde. ISBN 978-807-2018-352.

MANAGEMENTMANIA, 2018. Protiopatření. In: *ManagemetMania* [online]. <https://managementmania.com/cs/protiopatreni-countermeasures>: Wilmington (DE) [cit. 2022-10-05]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/protiopatreni-countermeasures>

MAŘÍK, Vladimír, 2016. *Průmysl 4.0: výzva pro Českou republiku*. Vydání 1. Praha: Management Press. ISBN 9788072614400.

MILLER, Ivan, 2016. *Kapesní příručka Six Sigma*. 3. vydání. Praha: Interquality. ISBN 9788090541412.

NOWAK, Dariusz, 2021. *Production-operation management.: The chosen aspects* [online]. 1. vydání. Poznan: Pueb Press [cit. 2022-12-01]. ISBN 978-83-8211-059-3.

POPOV, Georgi, Bruce LYON a Bruce HOLLCROFT, 2022. *Risk Assessment: A Practical Guide to Assessing Operational Risks*. 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., 111 River Street, Hoboken, NJ 07030, USA: Wiley. ISBN 9781119755920.

PRITCHARD, Carl L., 2015. *Risk management: concepts and guidance*. Fifth edition. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group. ISBN 9781482258455.

RAUSAND, Marvin a Stein HAUGEN, 2020. *Risk assessment: theory, methods, and applications*. Second edition. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. ISBN 9781119377238.

SMEJKAL, Vladimír a Karel RAIS, 2013. *Řízení rizik ve firmách a jiných organizacích*. 4., aktualiz. a rozš. vyd. Praha: Grada. Expert (Grada). ISBN 978-802-4746-449.

ŠENOVSKÝ, Michail, Milan ORAVEC a Pavel ŠENOVSKÝ, 2012. *Teorie krizového managementu*. 1. vyd. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 9788073851088.

ŠVECOVÁ, Lenka a Jaromír VEBER, 2021. *Produkční a provozní management*. Praha: Grada Publishing. Expert (Grada). ISBN 978-80-271-1385-9.

TOMEK, Gustav a Věra VÁVROVÁ, 2014. *Integrované řízení výroby: od operativního řízení výroby k dodavatelskému řetězci*. 1. vyd. Praha: Grada. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-4486-5.

TOMEK, Gustav a Věra VÁVROVÁ, 2017. *Průmysl 4.0, aneb, Nikdo sám nevyhraje*. Průhonice: Professional Publishing. ISBN 978-80-906594-4-5.

VÁCHAL, Jan a Marek VOCHOZKA, 2013. *Podnikové řízení*. 1. vyd. Praha: Grada. Finanční řízení. ISBN 978-80-247-4642-5.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CNC	Číslicové stroje řízené počítačem
CZ-NACE	Evropská klasifikace ekonomických činností
ČSN	České státní normy
DMAIC	Definovat, měřit, analyzovat, zlepšovat, řídit
FMEA	Analýza možných vad a jejich důsledků
HAZOP	Studie nebezpečí a provozuschopnosti
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
MES	Výrobní informační systém
NC	Číslicově řízený stroj
OEE	Celková efektivnost zařízení
PDCA	Plánovat, provést, ověřit, jednat
PHA	Předběžná analýza rizik
RFID	Identifikace na rádiové frekvenci
RPN	Číslo priority rizika
SRA	Společnost pro analýzu rizik
SRD	Ředitelství pro bezpečnost a spolehlivost
THN	Technicko-hospodářské normy
UKEAEA	Královský úřad pro atomovou energii

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Matice rizik (Čep, 2015)	17
Obrázek 2: Řízení provozních procesů (Jurová, 2016).....	19
Obrázek 3: Cyklus DMAIC (Basu, 2022)	28
Obrázek 4: Umístění pracoviště (Interní zdroj)	33
Obrázek 5: Popis Výrobní buňky 4.0 (Vlastní zpracování).....	34
Obrázek 6: Využití VB 4.0 (Interní zdroj).....	36
Obrázek 7: Vytíženost pracoviště VB 4.0 08/22 (Vlastní zpracování).....	39
Obrázek 8: Prstencový graf vytíženosti VB 4.0 (Vlastní zpracování).....	40
Obrázek 9: Paretův diagram chyb (Vlastní zpracování).....	42
Obrázek 10: Ishikawův diagram chyby 46030 (Vlastní zpracování)	43
Obrázek 11: Ishikawův diagram chyby 46206 (Vlastní zpracování)	44
Obrázek 12: Ishikawův diagram chyby 46433 (Vlastní zpracování)	45
Obrázek 13: Kořenová příčina chyby 46030 (Vlastní zpracování)	48
Obrázek 14: Určení místa vzniku kořenové chyby (Vlastní zpracování).....	48

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Procesní mapa (Vlastní zpracování)	32
Tabulka 2: Komponenty VB 4.0 (Interní zdroj)	35
Tabulka 3: Ekonomické zhodnocení projektu v automatickém režimu (Interní zdroj).....	35
Tabulka 4: Průběžné zhodnocení časové úspory Buňky 4.0 (Vlastní zpracování).....	41
Tabulka 5: Četnost chybových hlášení (Vlastní zpracování)	41
Tabulka 6: Kritérium klasifikace Významu (Vlastní zpracování).....	46
Tabulka 7: Kritérium klasifikace Výskytu (Vlastní zpracování).....	46
Tabulka 8: Kritérium klasifikace Detekce (Vlastní zpracování)	47
Tabulka 9: Stupnice klasifikace rizika (Vlastní zpracování)	47
Tabulka 10: Analýza struktury a funkcí v FMEA (Vlastní zpracování).....	49
Tabulka 11: Analýza selhání a rizik v FMEA (Vlastní zpracování).....	49
Tabulka 12: Optimalizace v FMEA (Vlastní zpracování)	50

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Vývojový diagram Příprava technologie

Příloha P II: Vývojový diagram Příprava polotovarů

Příloha P III: Vývojový diagram Výrobní fáze

Příloha P IV: FMEA Příprava technologie

Příloha P V: FMEA Příprava polotovarů

Příloha P VI: FMEA Výrobní fáze