



Bakalářská práce

Technická diagnostika robotů

Studijní program:

B0613A140005 Informační technologie

Studijní obor:

Aplikovaná informatika

Autor práce:

Dominik Jireš

Vedoucí práce:

Ing. Věra Pelantová, Ph.D.

Ústav mechatroniky a technické informatiky

Konzultant práce:

Ing. Jan Kamenický, Ph.D.

Ústav mechatroniky a technické informatiky

Liberec 2024



Zadání bakalářské práce

Technická diagnostika robotů

<i>Jméno a příjmení:</i>	Dominik Jireš
<i>Osobní číslo:</i>	M21000115
<i>Studijní program:</i>	B0613A140005 Informační technologie
<i>Specializace:</i>	Aplikovaná informatika
<i>Zadávací katedra:</i>	Ústav mechatroniky a technické informatiky
<i>Akademický rok:</i>	2023/2024

Zásady pro vypracování:

1. Vytvořte úvod do problematiky technické diagnostiky robotů.
2. Proveďte analýzu stavu technické diagnostiky v organizaci (výrobci, počty robotů, senzory, poruchy dílů atd.).
3. Stanovte základní ukazatele spolehlivosti pro vybrané komponenty robotů a porovnejte stávající roboty z hlediska spolehlivosti.
4. Vypracujte metodiku hodnocení výrobců průmyslových robotů s ohledem na možnosti diagnostiky.
5. Zpracujte metodiku a příp. studii vyčítání dat z různých robotů od různých výrobců (programové zpracování datových výstupů pro hodnocení diagnostiky robotů pro údržbu, nákup, management a výrobu).

Rozsah grafických prací: dle potřeby dokumentace
Rozsah pracovní zprávy: 30 až 40 stran
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická
Jazyk práce: čeština

Seznam odborné literatury:

- [1] THIMSEN, J.S. Pět technologických trendů v autonomní mobilní robotice. In. *Průmyslová automatizace. Technický týdeník*. No. 4, 2022, pp.8-9. ISSN 2336-7830.
- [2] SKELTON, D. Tři základní pilíře pro dosažení úspěchu v rámci procesu digitalizace podniku. In. *Control Engineering Česko*. No. 3/11, 2023, pp.26-29. ISSN 1896-3784.
- [3] PATERMANN, J. *LEAN dílenské řízení*. Praha: GRADA, 2022. ISBN 978-80-271-3534-9.

Vedoucí práce: Ing. Věra Pelantová, Ph.D.
Ústav mechatroniky a technické informatiky

Konzultant práce: Ing. Jan Kamenický, Ph.D.
Ústav mechatroniky a technické informatiky

Datum zadání práce: 12. října 2023
Předpokládaný termín odevzdání: 14. května 2024

prof. Ing. Zdeněk Plíva, Ph.D.
děkan

L.S.

doc. Ing. Josef Chaloupka, Ph.D.
garant studijního programu

V Liberci dne 12. října 2023

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucí bakalářské práce paní Ing. Věře Pelantové Ph.D., podniku A a zaměstnancům podniku A.

Technická diagnostika robotů

Abstrakt

Tato práce analyzuje stav technické diagnostiky ve vybrané anonymizované společnosti. Autor identifikuje klíčové ukazatele spolehlivosti komponentů robotů a provádí srovnání robotů od různých výrobců. Na základě zjištění je vypracována metodika hodnocení výrobců průmyslových robotů s ohledem na možnosti diagnostiky. Práce řeší neshody ve výrobním procesu společnosti. Poslední část práce se věnuje metodice a případové studii vyčítání dat z průmyslových robotů.

Klíčová slova: Průmyslový robot; Technická diagnostika; Spolehlivost; Automatizace; Data

Technical Diagnostics of Robots

Abstract

This thesis analyses the state of technical diagnostics in a selected anonymous company. The author identifies the key indicators of the reliability of robot components and compares robots from different manufacturers. Based on the findings, a methodology for evaluating manufacturers of industrial robots is developed with regard to the possibilities of diagnostics. The work resolves disagreements in the company's manufacturing process. The last part of the thesis is devoted to methodology and a case study of reading data from industrial robots.

Keywords: Industrial robot; Technical diagnostics; Reliability; Automation; Data

Obsah

Úvod	11
1 Úvod do technické diagnostiky robotů	12
1.1 Technická diagnostika.....	12
1.2 Spolehlivost.....	13
1.3 Robot a robotika.....	15
1.4 Průmyslový robot.....	16
1.5 Rozdělení robotů podle technických kritérií	22
1.6 Výrobci robotů	23
1.7 Pojmy	25
1.8 Svařování.....	26
1.9 Problémy a trendy	27
2 Charakteristika organizace	28
2.1 Organizační struktura podniku.....	28
2.2 Výroba.....	28
3 Průzkum technické diagnostiky v organizaci	30
3.1 Výrobní zařízení.....	30
3.2 Technická diagnostika v organizaci	32
4 Základní ukazatele spolehlivosti pro komponenty robotů	34
4.1 Postup stanovení ukazatelů spolehlivosti.....	34
4.2 Základní ukazatele spolehlivosti	35
4.3 Porovnání spolehlivosti robotů v organizaci.....	36

4.3.1	Výběr robotů	37
4.3.2	Počet poruch	38
4.3.3	Průměrná doba mezi poruchami	39
4.3.4	Průměrná doba opravy	40
4.3.5	Pravděpodobnost selhání	41
4.3.6	Příčiny poruch.....	41
4.3.7	Celkové zhodnocení spolehlivosti robotů.....	44
5	Metodika hodnocení výrobců průmyslových robotů	45
5.1	Metodika hodnocení výrobců průmyslových robotů v Podniku A	46
5.2	Stanovení ideální úrovně.....	48
6	Neshody	49
6.1	Ishikawův diagram	50
6.2	FMECA analýza.....	50
6.3	Doporučení.....	52
7	Vyčítání dat z různých robotů od různých výrobců.....	54
7.1	Případová studie vyčítání dat v Podniku A	56
8	Závěr.....	58

Seznam obrázků

Obrázek 1: Příklad karteziánského robotu. Autor: Dominik Jireš na základě předlohy FANUC [23]	17
Obrázek 2: Příklad delta robotu. Autor: Dominik Jireš na základě předlohy FANUC [23]	18
Obrázek 3: Příklad SCARA robotu. Autor: Dominik Jireš na základě předlohy FANUC [23]	18
Obrázek 4: Příklad kloubového robotu. Autor: Dominik Jireš na základě předlohy FANUC [23]	19
Obrázek 5: Příklad válcového robotu. Autor: Dominik Jireš na základě předlohy FANUC [23]	20
Obrázek 6: Příklad sférického robotu. Autor: Dominik Jireš na základě předlohy FANUC [23]	20
Obrázek 7: Příklad výpočtu rozptylu poruch robotů ABB. Autor: Dominik Jireš	38
Obrázek 8: Příklad výpočtu mediánu poruch robotů Fanuc. Autor: Dominik Jireš	38
Obrázek 9: Diagram příčin prodlužování oprav robotů z hlediska údržby. Autor: Dominik Jireš.....	50
Obrázek 10: Změna teploty za čas pro jednotlivé osy. Autor: interní informace Podniku A	57

Seznam grafů

Graf 1: Počet poruch robotů podle výrobců za rok 2023. Autor: Dominik Jireš.....	39
Graf 2: Průměr MTBF podle výrobců za rok 2023. Autor: Dominik Jireš	40
Graf 3: MTTR výrobců robotů za rok 2023. Autor: Dominik Jireš	40
Graf 4: Příčiny poruch robotů ABB. Autor: Dominik Jireš.....	42
Graf 5: Příčiny poruch robotů Fanuc. Autor: Dominik Jireš	43
Graf 6: Příčiny poruch robotů KUKA. Autor: Dominik Jireš	43

Seznam zkratek

ABB	Asea Brown Boveri
AWS	Amazon Web Services
AZNP	Automobilové závody, národní podnik
CPU	centrální procesorová jednotka
FMECA	analýza efektů a kritičnosti selhání
IFR	Mezinárodní federace robotiky
IoT	internet věcí
I/O	vstup/výstup
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
IT	informační technologie
JIT	Just-in-Time
KUKA	Keller und Knappich Augsburg
MAD	průměrné administrativní zpoždění
MLD	průměrné logistické zpoždění
MPH	pracovní síla za hodinu
MTBF	střední doba do poruchy
MTTF	střední doba do selhání
MTTR	průměrný čas na opravu
OEE	celková efektivita zařízení
SCADA	dispečerské řízení a sběr dat
SCARA	Selective Compliance Assembly Robot Arm

Úvod

Technická diagnostika robotů představuje klíčový krok směrem k efektivnímu a spolehlivému provozu průmyslových zařízení v kontextu stále se rozvíjejícího Průmyslu 4.0, kde se role robotů stává stěžejním prvkem automatizace a optimalizace výrobních procesů. S narůstající komplexitou výrobních zařízení a neustálými požadavky na efektivitu výroby, snižování nákladů na výrobu a konkurenceschopnost vzniká důležitější potřeba metod technické diagnostiky robotů, aby byla zajištěna spolehlivost, bezproblémový provoz a bezpečnost zařízení a tím pádem celého podniku.

Tato práce se zaměří na úvod do problematiky technické diagnostiky robotů. Vysvětlí pojmy robotiky v souvislosti výroby v průmyslovém podniku, zanalyzuje stav technické diagnostiky ve vybrané organizaci a navrhne racionální opatření.

1 Úvod do technické diagnostiky robotů

Technická diagnostika robotů je oblast, která hraje klíčovou roli v moderní robotice a automatizaci. S rostoucím využitím robotů v průmyslu a dalších odvětvích se stává nezbytným zajistit, že tyto stroje pracují spolehlivě a efektivně. Technická diagnostika robotů je disciplínou, která se zaměřuje na monitorování, identifikaci a řešení potenciálních problémů, které mohou ovlivnit chod robotických systémů.

Tato oblast technické diagnostiky zahrnuje širokou škálu metod, které umožňují provádět pravidelné kontroly stavu robotů a jejich komponent. Tímto způsobem je možné zajistit, že roboty pracují v souladu s definovanými požadavky a jsou schopny provádět své úkoly bez přerušení nebo ztráty výkonnosti.

1.1 Technická diagnostika

Slovo diagnostika vychází z řeckého slova „*diagnosis*“, což se překládá jako „*vyšetření*“. Technická diagnostika představuje obor, zaměřený na metody a prostředky určování technického stavu zařízení. Tento proces může být prováděn pomocí destruktivních nebo nedestruktivních metod. Cílem diagnostiky je získání aktuálních informací o stavu zařízení a jeho spolehlivosti, s důrazem na časné odhalení možných závad a jejich příčin. Kvalita diagnózy je závislá na optimálním výběru senzorů, jejich umístění, zpracování signálů a návrhu diagnostického systému. Analýza diagnostického signálu je často nezbytné pro detekci a lokalizaci rušivých vlivů, způsobených dalšími jevy v zařízení nebo v jeho okolí [1] [2].

Při zkoumání technického stavu diagnostikovaného objektu se rozlišují 3 postupy [1] [2]:

- Diagnóza – je vyhodnocení provozuschopnosti zařízení za daných technických podmínek. Základními úkoly diagnostiky jsou detekce vady nebo poruchy a jejich lokalizace.
- Prognóza – je extrapolace budoucího vývoje technického stavu zařízení. Prognóza stanovuje pravděpodobnost bezporuchovosti zařízení na základě statistiky.
- Geneze – analyzuje možné nebo pravděpodobné příčiny vzniku vady nebo poruchy.

Diagnostickými nástroji se provádí analýza a hodnocení stavu diagnostikovaného zařízení. Tyto nástroje zahrnují technická zařízení a různé pracovní postupy. Diagnostické algoritmy, používané v těchto postupech, se rozdělují na závislé a nezávislé, podle toho, zda vycházejí z předchozích diagnóz. Diagnostické nástroje jsou klasifikovány jako vnitřní, integrované do zařízení, nebo vnější, fungující samostatně. Z pohledu provozního prostředí jsou diagnostické nástroje rozděleny na ON-LINE a OFF-LINE diagnostiku [1] [2].

Podle pozorování různých diagnostických veličin na zařízení se technická diagnostika dělí na několik druhů [2]:

- vibrodiagnostika (zjišťování vibrací zařízení)
- termodiagnostika (měření teploty zařízení)
- tribodiagnostika (diagnostika na základě analýzy olejů ze strojů)
- akustická diagnostika (měření hluku)
- elektro diagnostika (měření velikostí a změn elektrických veličin)
- provozní diagnostika (měření všech dostupných provozních parametrů)
- vizuální diagnostika (kontrola optickými přístroji nebo zrakem)
- kapilární diagnostika (nanášení kapilárního barviva na povrch objektu)
- defektoskopie (sledování změny struktury a rozměrů tělesa)

1.2 Spolehlivost

Spolehlivost Americká společnost pro kvalitu definuje jako: „*pravděpodobnost, že produkt, systém nebo služba bude vykonávat svou zamýšlenou funkci adekvátně po stanovenou dobu nebo bude fungovat v definovaném prostředí bez selhání*“ [3]. Je to komplexní vlastnost, která zahrnuje různé aspekty, jako je pohotovost, bezporuchovost, udržovatelnost, zajištěnost údržby životnost a bezpečnost. Problematiku spolehlivosti je nutné řešit z technického, ekonomického a optimalizačního hlediska výrobních procesů a dosažení konkurenční výhody na trhu [4].

Ukazatelé spolehlivosti jsou souhrnným termínem, který se používá k popisu pohotovosti technického zařízení a faktorů, které ji ovlivňují, jako je bezporuchovost, udržovatelnost a zajištěnost údržby. Spolehlivost ($R(t)$) je možné určit vlastním vzorečkem a ukazateli spolehlivosti [5].

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{MTBF}\right)} \quad (\text{Vzorec 1})$$

Mezi ukazatele spolehlivosti podle publikace [4] patří:

- MTBF – je průměrná doba do poruchy. Vyjadřuje průměrnou dobu, která uplyne mezi dvěma poruchami. MTBF se vypočte jako skutečný výrobní čas zařízení, vydělený počtem poruch zařízení.

$$MTBF = \frac{\text{skutečný celkový výrobní čas}}{\text{počet poruch}} \quad (\text{Vzorec 2})$$

- MTTF – střední doba do poruchy u zařízení, které se neopravují. Udává průměrnou dobu, po kterou zařízení pracuje bez poruchy, než dojde k poruše.
- MTTR – střední doba do obnovy. Vyjadřuje průměrný čas, který je potřebný k opravě zařízení od okamžiku poruchy do jeho opětovného fungování. MTTR se vypočte jako celková doba poruchy zařízení vydělená počtem poruch zařízení.

$$MTTR = \frac{\text{celková doba poruch}}{\text{počet poruch}} \quad (\text{Vzorec 3})$$

- MLD – střední logistické zpoždění. Jde o průměrnou dobu zpoždění, kterou způsobuje logistika při zajišťování údržby zařízení.
- MAD – střední administrativní zpoždění. Vyjadřuje průměrné zpoždění, které vzniká z administrativních důvodů během údržby zařízení.
- λ – intenzita poruch. Ukazuje, jak často dochází k poruchám zařízení v časovém intervalu. Intenzita poruch se vypočte jako převrácená hodnota MTBF.

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \quad (\text{Vzorec 4})$$

- MPH (pracovní síla za hodinu) – pracnost preventivní údržby nebo údržby po poruše, vyjadřuje množství pracovní síly, potřebné k údržbě zařízení za jednotku času.

Mezi další ukazatele se řadí podle jiných zdrojů [5] [6] [7]:

- Pravděpodobnost selhání ($F(t)$) – je pravděpodobnost, že dané zařízení selže v určitém časovém okamžiku. Následující vzorec je založen na exponenciálním rozložení a závisí na předpokladech, že intenzita poruch (λ) je za určitý čas (t) konstantní [6].

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (\text{Vzorec 5})$$

- Dostupnost (A) – je míra, jak často je zařízení k dispozici, aby mohlo být použito k výrobě. Dostupnost se vypočte jako podíl času, po který je zařízení v provozu bez poruchy (MTBF), ve srovnání s celým výrobním cyklem (MTBF + MTTR) [5].
- OEE – je ukazatel celkové efektivity zařízení. Kvantifikuje, jaký je rozdíl mezi aktuálním a ideálním výkonem. Vypočte se jako součin dostupnosti, výkonu a kvality [7].

1.3 Robot a robotika

Podle encyklopedie Britannica je robot: „*jakýkoli automaticky ovládaný stroj, který nahrazuje lidské úsilí, i když se nemusí podobat lidským bytostem vzhledem ani vykonávat funkce lidským způsobem*“ [8]. Technická disciplína, která se věnuje koncepci, konstrukci, výrobě a provozu robotů, se nazývá robotika. Termín robot pochází z češtiny ze slova „robota“ (nucená práce). Poprvé bylo slovo použito ve hře R.U.R Karla Čapka v roce 1920 [9]. V českém jazyce existuje, na rozdíl od anglického jazyka, dvojitá skloňování slova robot. A to podle toho, jestli je stroj podobný člověku (pl. roboti) či nikoli (pl. roboti i roboty) [10]. Slovo robotika je poprvé zmíněno v povídce Runaround Isaaca Asimova z roku 1942. Ve svém díle navrhl tři principy chování robotů, které jsou známy jako Tři zákony robotiky [9]:

1. „Robot nikdy nesmí ublížit lidem.“
2. „Robot se musí řídit pokyny od lidí, aniž by porušil pravidlo 1.“
3. „Robot se musí chránit, aniž by porušoval ostatní pravidla.“

1.4 Průmyslový robot

ISO (Mezinárodní organizace pro normalizaci) pojem průmyslový robot definuje jako: „automaticky řízený přeprogramovatelný víceúčelový manipulátor, programovatelný ve třech nebo více osách, který může být buď pevný na místě, nebo mobilní pro použití v aplikacích průmyslové automatizace“ [11]. Termíny, použité v definici podle IFR (Mezinárodní federace robotiky), znamenají podle publikace [12] následující:

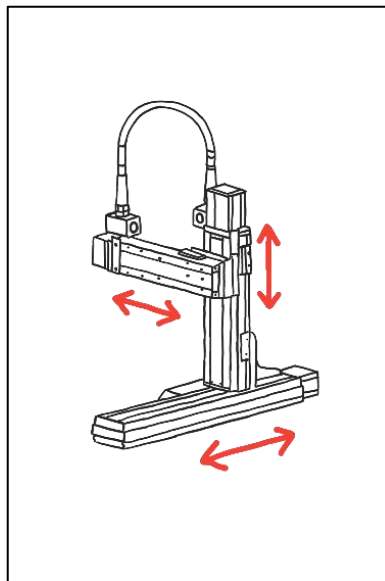
- Přeprogramovatelnost – způsob návrhu robotů, aby bylo možné naprogramované pohyby nebo funkce změnit bez fyzické změny.
- Víceúčelovost – možnost přizpůsobení robotů pro různé aplikace s fyzickou změnou.
- Manipulátor – je mechanismus, sestávající se z vzájemně spojených nebo posuvných segmentů.
- Osa – je směr pohybu robota v lineárním či rotačním režimu.

Za první průmyslový robot je považován robot Unimate ve firmě General Motors v New Jersey. Vynalezl jej v roce 1954 G. Devol. Unimate bylo elektronicky řízené hydraulické rameno pro zvedání těžkých prvků, umožňující opakování sekvenčních pohybů. Některé zdroje považují za úplně první průmyslový robot zařízení, podobné jeřábu, poháněné elektromotorem a s 5 osami pohybu, které postavil Griffith „Bill“ P. Taylor ze stavebnice v roce 1937. Významnější rozvoj průmyslových robotů začíná po přelomu 60. a 70. let minulého století, kdy byla vyvinuta pokročilejší elektrická ramena, ovládaná počítačem na Massachusettském technologickém institutu (MIT) a na Stanfordské univerzitě. V. Scheinmanem bylo vyvinuto robotické rameno PUMA (Programmable Universal Machine for Assembly), které bylo rozšířeno v automobilovém průmyslu a následně i napodobováno. V roce 1973 svůj první robot Famulus představil německý výrobce KUKA. V roce 1975 na trh vstoupila firma ASEA (dnes ABB). Motorizaci kloubů poprvé

aplikoval japonský počítačový vědec T. Kanade v roce 1981. V roce 1988 společnost Yaskawa America uvedla na trh řídicí systém, který dokázal řídit až 12 os, časem byl počet řízených os zvýšen až na 27. V roce 1992 představila firma Fanuc svůj první prototyp robota [8] [13]. V tehdejší Československu se průmyslový robot poprvé vyskytl v roce 1974, kdy byly pořízeny průmyslové roboty Versatran P500 pro Vysokou školu technickou v Košicích a pro AZNP (Automobilové závody, národní podnik). V 70. letech začala průmyslové roboty vyvíjet společnost VUKOV Prešov.

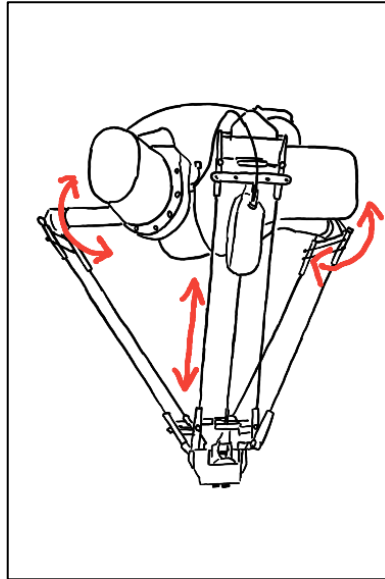
Podle konstrukce se průmyslové roboty dělí na:

- Karteziánské – nazývané také pravoúhlé nebo portálové, jsou roboty, které obsahují pouze lineární pohony pro své tři hlavní osy, a pohyby jsou totožné jako kartézský souřadný systém. Karteziánské roboty se typicky používají pro manipulaci, paletizaci, lisování plastů, montáž a obsluhu strojů. Také se hodí pro svařování a lepení, zvláště u velkých dílů [14] [15].



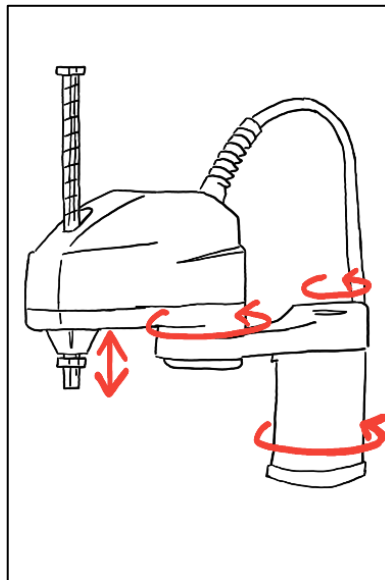
Obrázek 1: Příklad karteziánského robota. Autor: Dominik Jireš na základě předlohy FANUC [23]

- Delta – nazývané také paralelní. Ramena robotů tvoří strukturu s uzavřenou smyčkou, připojenou ke společné základně. Tento přístup snižuje hmotnost v ramenech a zvyšuje akceleraci a rychlost, ale má nízkou nosnost. Jsou schopné jemných a přesných pohybů. Využití je především pro vychystávání na balicích linkách pro potravinářský průmysl nebo montáž [14] [15].



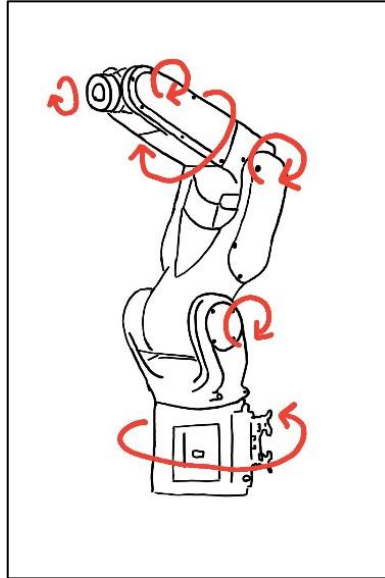
Obrázek 2: Příklad delta robotu.
Autor: Dominik Jireš na základě předlohy FANUC [23]

- SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) – jsou roboty se dvěma paralelními otočnými klouby, které umožňují rychlou a precizní práci ve zvolené rovině. Stroje SCARA jsou obvykle malé, s nosností kolem 2 kg a dosahem 1 m. Využívají se především pro montáž, balení a další aplikace. Použití SCARA robotů je omezeno pouze čtyřmi osami [14] [15].



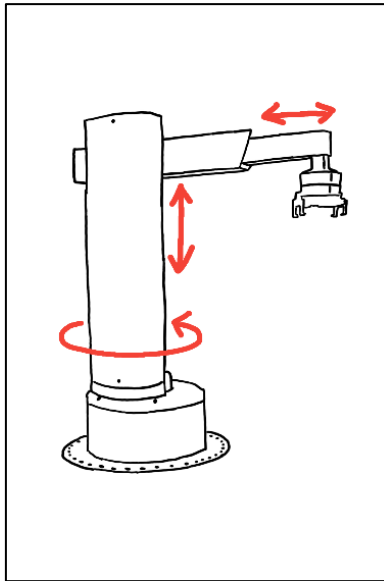
Obrázek 3: Příklad SCARA robotu. Autor: Dominik Jireš na základě předlohy FANUC [23]

- Kloubové – roboty se třemi a více otočnými klouby. Vizuálně připomínají lidskou paži. Především se jedná o šestiosé stroje. Konstrukce má šest kloubů, a každý z nich je připevněn na předchozí kloub. Klouby umožňují pažím široký rozsah pohybu. Každý kloub musí nést váhu všech následujících kloubů [14] [15].



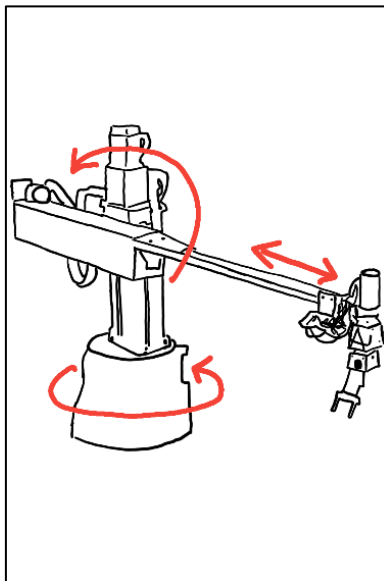
Obrázek 4: Příklad kloubového robotu. Autor: Dominik Jireš na základě předlohy FANUC [23]

- Válcové – robot se skládá z minimálně jednoho otočného kloubu a minimálně jednoho prizmatického kloubu mezi články. Umožňují pohyb vertikálně a horizontálně. Používají se hlavně v elektronickém průmyslu, zejména v aplikacích pro čisté prostory. Pracovní prostor tvoří válec [14] [15].



Obrázek 5: Příklad válcového robotu. Autor: Dominik Jireš na základě předlohy FANUC [23]

- Sférické – roboty s dvěma rotačními osami a jednou lineární osou. Osy tvoří polární souřadnicový systém. Pracovní prostor je ve tvaru koule [14] [15].



Obrázek 6: Příklad sférického robotu. Autor: Dominik Jireš na základě předlohy FANUC [23]

Podle použití se průmyslové roboty dělí především na:

- Svařovací – roboty, zajišťující precizní kvalitu sváru. Jsou schopny provádět vysokorychlostní svařování, sváření elektrickým obloukem a laserové svařování [14] [16].
- Lakovací – roboty, které provádějí lakovací práce především ve stavebnictví a automobilovém průmyslu [14] [16].
- Paletizační – jejich účelem je manipulace s různými materiály. Tyto roboty mají schopnost manipulovat i s velkou hmotností. Používají se především v potravinářském průmyslu [14] [16].

Konstrukce robota je určena kombinací různých typů rotací a lineárních pohybů nebo kloubů. Každý z těchto kloubů umožňuje robotu nebo jeho ramenu pohybovat se a umisťovat se do specifických pozic. Aby robot nebo nástroj na robotu dosáhl na jakékoliv místo a v jakémkoliv úhlu, je třeba mít šest kloubů, což se také nazývá šest stupňů volnosti [15].

Robotický systém se skládá ze tří hlavních částí. Z mechanické části, což je samotné rameno a servomotory na každé ose. Z elektronické části, kde řídicí jednotka s CPU (centrální procesorovou jednotkou), která zajišťuje ovládání servomotorů, senzorů a převodovek. A z počítačové části, která je tvořena specifickým programovacím jazykem a propojuje uživatele s prostředím robotického systému. Počítačová část převádí kódovaná data motoru na kartézské hodnoty [17].

Existují tři metody programování robota:

- Metoda programového učení – robot se programuje vytvářením trajektorií pomocí uložených kartézských souřadnic pro pracovní a průjezdové polohy robota.
- Výpočtová metoda – robot určuje polohu bodů na základě vzorců, odvozených ze znalosti prvního definovaného bodu.
- Off-line programování – kombinuje a modifikuje přístupy prvních dvou metod. Zahrnuje vytvoření a simulaci trajektorií v off-line programovacím softwaru. Pracovní prostředí umožňuje vysokou škálu testů.

Každý průmyslový robot je spárován s programovacím ovladačem. Robotický ovladač interpretuje kód dané aplikace a řídí pohyby ramene. Když je program zadán do ovládacího panelu, řídicí jednotka odešle kódované instrukce do CPU. CPU přijme programovací kód, zpracuje ho a dá robotu pokyn, jak vykonat pohyb [18].

Části robotického systému jsou:

Řídicí jednotka robotu – obsahuje CPU pro zaznamenání programu pro ovládání průmyslového robota a výpočet příkazu pro jeho provoz, I/O (vstupní/výstupní) desku a ovladač pro ovládání manipulátoru a dodávání energie [19].

Programovací ovládací panel – je používán k ovládání průmyslového robota. V programovacím ovládacím panelu je možné nastavit programy, podmínky a kontrolovat provozní stav robotu. Programovací ovládací panel je vybaven spínačem pro nouzové vypnutí [19].

Servomotor – pohybuje manipulátorem na základě pokynů z centrální jednotky robota. Servomotor disponuje enkodérem, který zachycuje rychlost a polohu otáčení a tyto informace jsou následně předávány zpět do řídicího systému robota. Umožňuje to dosáhnout vysoké přesnosti při provádění operací [19].

Převodovka – zpomaluje otáčkovou rychlost robotického ramene a zvyšuje se přenášený točivý moment do manipulátoru. Převodovky, používané v průmyslových robotech, obvykle mají robotickou strukturu [19].

1.5 Rozdělení robotů podle technických kritérií

Průmyslové roboty je možné dělit podle několika kritérií. Rozdělení zahrnuje aspekty jako typ pohybu, konstrukce, způsob řízení a specifické úkoly, které roboty vykonávají.

Rozdělení podle stupňů volnosti [20]:

- Univerzální robot – má 6 stupňů volnosti, pohybuje se v kartézském souřadném systému.
- Redundantní robot – s více než 6 stupni volnosti, využívá určitý způsob obcházení překážek.

- Deficitní robot – s méně než 6 stupni volnosti, jeho pohyb je omezený.

Rozdělení podle typu pohonu [20]:

- Elektrické – roboty jsou poháněny elektromotory a využívají elektrickou energii k pohybu, jsou energeticky efektivní a snadno ovladatelné.
- Hydraulické – využívají kapalinový tlak k pohybu částí robota, jsou schopny generovat velkou sílu, avšak jsou méně přesné a energeticky náročné.
- Pneumatické – roboty, využívající stlačený vzduch k pohybu, jsou často používány v prostředích, kde elektrické pohony mohou být nebezpečné.

Rozdělení podle kinematické struktury [20]:

- Sériové – tyto roboty mají otevřený kinematický řetězec manipulátoru, jejich články jsou spojeny za sebou jako řetězec, to jim umožňuje dosahovat rozsáhlých pracovních oblastí a jsou vhodné pro různé úkoly, včetně montáže a manipulace.
- Paralelní – paralelní roboty mají uzavřený kinematický řetězec manipulátoru, jejich části manipulátoru jsou spojeny paralelně, což jim umožňuje dosahovat vysoké přesnosti a rychlosti, jsou často využívány v rychlých a precizních aplikacích.
- Hybridní – kombinují oba typy řetězců, což jim umožňuje kombinovat výhody sériových a paralelních robotů.

1.6 Výrobci robotů

Roboty jsou nezbytnou součástí moderního průmyslu. S rostoucími nároky na automatizaci a efektivitu jejich přítomnost v průmyslových podnicích roste. Podle IFR (Mezinárodní federace robotiky) se v průmyslu po celém světě vyskytují až 3 miliony průmyslových robotů. Na trhu se pohybuje velké množství výrobců robotů. Výběr výrobců je především podle geografické lokace průmyslového podniku a podle využití průmyslového robota. Mezi nejvýznamnější výrobce podle periodika Technology Magazine patří [21]:

ABB – je švédsko-švýcarská technologická skupina. Vznikla v roce 1988 sloučením společností ASEA a BBC. Název ABB je zkratkou názvů ASEA a původního názvu společnosti BBC – Asea Brown Boveri. V roce 1978 firma ASEA představila svého prvního průmyslového robota. V roce 1998 ABB uvedla na trh deltového robota. ABB vyrábí kloubové, delta, SCARA a kolaborativní roboty [22].

Fanuc – je japonský výrobce robotů a bezdrátových systémů. Produkty vyrábí od roku 1956. Název Fanuc je akronym z anglického: „*Fuji Automatic Numerical Control*“. První průmyslový robot Robocut pochází z roku 1975. V roce 1983 byl instalován první robot společnosti Fanuc v Evropě. Fanuc se zaměřuje na kloubové, delta, SCARA a kolaborativní roboty [23].

Kawasaki – je japonský výrobce lodí, letadel, motocyklů a průmyslových robotů. Společnost začala výrobu v roce 1978. Prvního průmyslového robota vyrobila Kawasaki v roce 1969. Kawasaki vyrábí kloubové, delta a kolaborativní roboty [24].

KUKA – je německý výrobce robotů a řešení automatizace výroby. Firma byla založena v roce 1898 v Augsburgu. Název KUKA je akronym jmen zakladatelů společnosti a názvu města: „*Keller und Knappich Augsburg*“. Firma se původně zaměřovala na výrobu acetylenového plynu, komunálních vozidel a následně elektrických zařízení pro bodové svařování. V roce 1973 firma představila prvního robotického robota se šesti elektromechanicky poháněnými osami Famulus. V roce 1996 jako první výrobce průmyslových robotů KUKA přešla na řízení robotů pomocí počítače. KUKA dodává kloubové, delta, SCARA a kolaborativní roboty [25].

Mitsubishi Electric – je japonská společnost, vyrábějící elektrická zařízení. Založena byla v roce 1921 vyčleněním elektrické divize z původně lodní společnosti Mitsubishi, založené v roce 1870. V roce 1982 byl vyvinut první robot pro vzdělání a výzkum Movemaster. Mitsubishi Electric vyrábí kloubové, SCARA a kolaborativní roboty [26].

Universal Robots – je dánský výrobce kolaborativních robotů. Společnost byla založena v roce 2005. Kolaborativní roboty dodává od roku 2008 [27].

1.7 Pojmy

Kolaborativní robot – je robot, spolupracující s lidmi a pomáhají s přesnými úkony, jako je svařování, šroubování, míchání barev, odměřování, lepení a umístování předmětů. Tyto roboty pracují nepřetržitě s konzistentní přesností a kvalitou. Umožňují pracovat vedle lidí bez bezpečnostních bariér [12].

Pracovní obálka nebo prostor – je objem, ve kterém robot pracuje. Místo, kde může robot umístit nástroj pod libovolným úhlem. Pracovní obálka je definována strukturou ramene robota, délkami ramene a typem pohybu a rozsahem, kterého lze dosáhnout každým kloubem [15].

Osa robota – je klíčová vlastnost průmyslových robotů. Robotická osa představuje stupeň nezávislého pohybu. Každá osa robota je zodpovědná za určitý pohyb robota. Čím více os má robot, tím více pohybů bude schopen. Pohyb osy zajišťuje kloub robota. V každé ose je motor, který pohání relativní pohyb kloubu. Klouby mohou být lineární nebo otočné. Nejrozšířenější počet os u robotů je 6. Šestiosý robot funkčností připomíná lidskou paži. Roboty mohou mít méně i více os. Další osy mohou zajišťovat např. pohyb robota na pásovém dopravníku [28].

- 1. osa – zajišťuje rotaci základny robota
- 2. osa – umožňuje robotovi prodloužení dolního ramene dopředu a dozadu
- 3. osa – poskytuje robotovi spuštění a zvednutí horní část paže
- 4. osa – otáčí horní paži robota valivým pohybem
- 5. osa – zvedá a spouští zápěstí paže robota
- 6. osa – otáčí zápěstím robota

Robotické stupně volnosti – znamená funkčnost robota, k jak velkému prostoru má robot přístup. Každá osa robota umožňuje určitý stupeň volnosti. S rostoucím počtem os roste i počet stupňů volnosti. Šest stupňů volnosti umožňuje dosáhnout každého úhlu jednotky prostoru [29]:

- pohyb dopředu a dozadu
- pohyb doprava a doleva
- pohyb nahoru a dolů
- otáčení ze strany na stranu
- naklánění dopředu a dozadu
- otáčení doleva a doprava

Prostoj – je stav pracoviště, na kterém se nevyrobí OK díly. Prostoj může být plánovaný, očekávaný z důvodu přestávky, preventivní údržby a úklidu pracoviště, nebo neplánovaný, za který mohou poruchy, chyba zaměstnance nebo materiál [7].

1.8 Svařování

Svařovna je část podniku, kde se vstupní produkty mění na výstupní za pomoci svařování. Svařování je podle ČSN EN 14610 „*pracovní postup, při kterém se spojují kovy působením tepla nebo tlaku/síly nebo obou, a to takovým způsobem, že zůstává zachována podstata spojovaných kovů*“ [30]. K dosažení spojení kovů se používají různé svářecí metody. V dnešní době se ve svařovnách používá především odporové svařování, které je efektivnější než ostatní metody. Princip odporového svařování „*je založen na přítomnosti přechodového odporu svařovaných materiálů, který při průchodu svařovacího proudu vytvoří dostatečné teplo, potřebné k roztavení svařovaného materiálu*“ [31]. Odporové svařování se dělí na bodové a švové [31]. Pro materiály, které není možno svařit odporovým svařováním (hliník a jeho slitiny), se využívá sváření pomocí laseru.

Odporové bodové svařování – při bodovém svařování dvě elektrody přitlačují plech k sobě a v jednom bodě jimi prochází elektrický proud. Po průchodu proudu se v bodě vytvoří pevné spojení, nazývané bodový svár. Svařování jednoho bodu trvá několik desítek milisekund. Ve svařovnách Podniku A je tento typ svařování převládající [32].

Laserové svařování – je technologický proces tavného svařování. Ke spojení materiálů se využívá intenzivní paprsek laseru, zaměřený do mezery mezi spojovanými materiály. Silný laserový paprsek taví materiály v jejich spojích a vytváří pevné spojení. Tato

metoda využívá vysoké koncentrace tepla, což umožňuje rychlé svařování tenkých materiálů. Laserové svařování se dělí na svařování vedením tepla a metodou klíčové dírky. Výhodou je kratší doba zpracování, vysoká přesnost a snížení rizika tepelných deformací [33].

1.9 Problémy a trendy

V dnešní době se průmyslové podniky potýkají s řadou problémů a současně zavádí trendy v oblasti technické diagnostiky. Technická diagnostika se stává nedílnou součástí výroby v průmyslových podnicích. Důraz je kladen na snížení nákladů na výrobu, optimalizaci údržby a zároveň na zvýšení efektivity výroby. Stále využívanější se stává prediktivní údržba a využití umělé inteligence, nebo strojového učení, kdy je analýzou dat snaha zabránit neplánovaným výpadkům technologií. Významným trendem je využívání IoT (internet věcí) a vzdálené sledování diagnostiky, nebo řešení technických problémů.

Problémem číslem 1 je kybernetická bezpečnost. Přesunutí dat na internet, využívání externích firem je hrozbou pro citlivá data o výrobě, což může omezit konkurenční schopnost podniků na trhu, nebo ohrozit obraz společností vůči zákazníkům. Problémem je také vyšší náročnost na odborný personál a školení zaměstnanců. Nedostatek kvalifikovaných zaměstnanců může být problémem při provádění technické diagnostiky. Nevýhodou jsou počáteční náklady při zavádění technické diagnostiky, nebo nových trendů v tomto tématu.

2 Charakteristika organizace

Podnik A je významnou velkou organizací, podnikající ve strojním průmyslu. Podnik A se zaměřuje na výrobu řešení v oblasti mobility a dopravy. Hlavní sídlo organizace, kde se nachází vedení, vývoj a výroba, se nachází v České republice. Právně se jedná o akciovou společnost, která je vlastněna zcela zahraničním kapitálem. Výroba je rozdělena do několika výrobních závodů v České republice i zahraničí, s primárním zaměřením na sériovou výrobu [34].

2.1 Organizační struktura podniku

Organizační struktura podniku je dualistická. Řídícím orgánem je představenstvo společnosti a orgánem kontrolním je dozorčí rada. Celková struktura organizace je rozdělena do sedmi klíčových oblastí, přičemž každou z těchto oblastí řídí odpovídající člen představenstva. Každá oblast je dělena na další organizační jednotky. Společnost je rozdělena na oblasti [34]:

- centrální řízení společnosti
- technický vývoj
- logistika a výroba
- marketing a prodej
- ekonomie a IT (informační technologie)
- řízení lidských zdrojů
- nákup

Z důvodu jediného akcionáře se nekoná valná hromada. Dozorčí rada je devítičlenná. 6 členů je jmenováno akcionářem a 3 členové dozorčí rady jsou voleni zaměstnanci společnosti.

2.2 Výroba

Výrobní proces v podniku je uskutečňován v komplexu s několika halami a linkami. Organizace využívá pro výrobu součástky od externích dodavatelů i součástky vlastní

a snaží se o maximální efektivitu a minimalizaci skladových zásob díky JIT (Just-in-Time) systému, který umožňuje synchronizaci toku materiálů s potřebami výrobního procesu. Průběh výrobního procesu začíná lisováním částí plechů s požadovanými rozměry a tvary pomocí forem. Na svářecí lince jsou tyto plechy za pomoci sváření a rychle tuhajícího lepidla spojeny dohromady. Následně jsou spojené plechy (kostra) nabarveny na lakovací lince. Jako poslední je montážní linka, kde je produkt doplněn o bezpečnostní a vizuální prvky. Poslední fází ve výrobním procesu je testování produktu, kde je každý výrobek podroben sérii kontrol, aby byla zajištěna jeho kvalita a bezpečnost. Po úspěšném absolvování testů jsou produkty připraveny k expedici zákazníkům [34].

3 Průzkum technické diagnostiky v organizaci

Podnik A v závodu provozuje 2 mezi sebou nezávislé svařovny. Každá ze svařoven vyrábí odlišné produkty. Svařovny mají své vlastní vedení, dílny a organizaci údržby. Svařovny mezi sebou sdílejí způsoby výroby a používané technologie. Průběžná doba výroby výrobku ve Svařovně 1 se pohybuje průměrně okolo 5 h. Pro potřeby průzkumu stavu svařovny byla vybrána svařovna, dále označená jako Svařovna 1. Svařovna 1 se skládá ze čtyř vzájemně propojených výrobních hal. Haly vznikaly postupně s rozšiřováním výroby. První hala byla postavena v roce 1987. Výrobní tok svařovny zahrnuje 61 samostatných linek. Na výrobních linkách vznikají postupně ucelené produkty. Některé linky jsou společné pro výrobu několika druhů produktů, některé linky jen pro jeden druh produktu. Linky na sebe přímo navazují, nebo jsou propojeny dopravníkovými systémy. Ve Svařovně 1 je za účelem údržby v provozu klešťová dílna, robotická dílna a dílny na různé úseky linek. Ve Svařovně 1 je zaměstnáno okolo 830 zaměstnanců. Ve výrobě je zaměstnáno 539 (65 %), v logistice 200 (24 %) a v údržbě 91 pracovníků (11 %).

3.1 Výrobní zařízení

Technologie odporového navařování šroubů a matic – se používá na přivaření svorníků na plech. Technologie Tucker se skládá z řídicí skříně a ovládacího panelu, který ovládá sváření, podávání svorníků a monitoruje procesy. Podavač je zásobník svorníků, který podává svorníky svařovací hlavě. Svařovací hlava navařuje svorníky za pomoci silného proudu během krátké doby. Tavením materiálu svorník připevní k plechu. Počet odporově navařených šroubů a matic dosahuje hodnoty až 160 kusů podle typu výrobku.

Zařízení na nanášení plastisolu – plastisol je jednosložkové lepidlo na bázi epoxidu. Po zahřátí tuhne. Při sváření se používá k pevnému spojení více plechů a k těsnění. Zařízení funguje jako pumpa, která ho nanáší na plech. Lepených spojů je na výrobku až 110 m.

Dopravníky – v průmyslovém podniku jsou zařízení, určená k pohybu materiálů, výrobků z jednoho místa na druhé v rámci výrobního procesu. Tato zařízení mají za cíl zlepšit efektivitu a tok materiálu v průmyslovém prostředí a umožňují snížit fyzickou námahu pracovníků a zvýšit produktivitu výroby.

Průmyslové roboty – k dosažení vysokého stupně automatizace používají svařovny Podniku A průmyslové roboty. Roboty se používají především ke svařování, manipulaci a lepení. V menší míře se používají ke kontrole produktů laserem, kartáčování nebo lemování. Některé roboty mohou výrobní nástroje měnit. Celkový počet robotů v linkách k datu vypracování této práce byl 998. Nástroje, používané roboty ve výrobě, jsou:

Robotické bodovací kleště – jsou používány na odporové bodové svařování dvou a více plechů k sobě. Bodové svaření funguje na principu sepnutí kleští, následném průchodu silového elektrického proudu, chlazení vodou a uvolnění kleští. Podle typu pohonu se dělí na pneumatické, pohybované pomocí stlačeného vzduchu a elektrické. Pohyb pneumatických kleští ovládá servobox, elektrické mají svůj motor s převodovkou. Řízení sváru ovládá technologie od společnosti Harms-Wende. Kleště jsou osazeny na robotu, nebo jsou stacionární. Ve svařovně Podniku A jsou robotické bodovací kleště od výrobců Düring a Nimak. Na většině linek jsou osazeny pneumatické kleště, na nově vybudovaných linkách jsou kleště elektrické. Kleští se v podniku nachází přes 580. Při výrobě výrobku je aplikováno až 5000 bodových svárů podle typu výrobku.

Greifer – funguje jako zařízení k uchopování jednotlivých dílů. Jsou to zařízení, která umožňují uchopení, manipulaci nebo uspořádání dílů. Greifery jsou umístěny na robotech. Ve výrobě se využívají především vakuové greifery a s upínacími aparáty. Vakuové greifery obsahují přísavky a díl je uchopen na základě podtlaku. Díl je následně zabezpečen mechanickými upínkami.

Brousící hlava – je nástroj na broušení laserového sváru. Hlava je vybavena brusnými kotouči.

Měřicí hlava – je zařízení, umístěné na robotovi, určené k měření a kontrole kvality vyrobených dílů. Měřicí hlava je vybavena senzory a laserovými zařízeními, které získávají údaje o tvaru jednotlivých dílů.

Svařovna 1 využívá roboty čtyř výrobců a to ABB, Fanuc, KUKA a Universal Robots. Přesný typ robotu a výrobce je vybírán ve výběrovém řízení. Roboty nedodává výrobce, ale technologická firma, jež se účastní řízení na výstavbu a dodávku technologií do linky. Podnik A definuje počet a použití robotů, stavební firmy vyberou na základě těchto informací vhodného výrobce a typ robotů. Výrobce musí být „uvolněný“, to znamená, že

technologie musí být předem schválena mateřskou firmou a musí především splňovat podmínky na funkcionalitu, kompatibilitu technologií a bezpečnost. Technologie jsou vybírány podle nejnižší ceny. Pokud v Podniku A převládá spokojenost s některým z výrobců, může být jeho výběr upřednostněn. Ve většině linek jsou pouze roboty jednoho výrobce. Existují i linky s roboty více výrobců. Při zavádění výroby nových produktů, nebo zavádění nových výrobních postupů jsou linky a pozice, nebo počet robotů upravovány. Svařovna 1 disponuje, mimo robotů určených přímo do výroby, i roboty náhradními. Pokud je porucha robotu menší, oprava se řeší přímo v lince. Pokud je porucha většího rozsahu, je robot ihned vyměněn za robota stejného typu. Roboty jednotlivých výrobců se mírně liší ovládáním nebo programováním. Každý z výrobců má odlišný přístup k diagnostice.

- Roboty ABB – ve Svařovně 1 je 55 kusů. Počet typů je 4. Roboty jsou ve Svařovně 1 od roku 2019. Roboty ABB jsou ve třech výrobních linkách. Roboty ABB mají výrobcem vyvinutou diagnostiku, avšak její použití je výrobcem omezeno z důvodů vlastnictví dat.
- Roboty Fanuc – jsou ve Svařovně 1 od roku 2011. Počet robotů je 293. Počet typů je 10. Roboty Fanuc jsou ve 20 výrobních linkách. Roboty Fanuc mají výrobcem vyvinutou diagnostiku.
- Roboty KUKA – jsou ve Svařovně 1 ze všech robotů nejdéle. Nejstarší robot byl ve svařovně spuštěn v roce 2005. Celkový počet robotů KUKA ve Svařovně 1 je k roku 2024 649 kusů a 18 typů robotů. Roboty KUKA jsou ve 35 výrobních linkách. Roboty KUKA nemají výrobcem vyvinutou diagnostiku.
- Robot Universal Robots – Svařovna 1 vlastní jednoho kolaborativního robota v jedné výrobní lince. Kolaborativní robot slouží od roku 2018. Robot se využívá na podávání jednotlivých součástek. Diagnostika robotu se ve Svařovně 1 nevyužívá.

3.2 Technická diagnostika v organizaci

Svařovna 1 Podniku A využívá k rychlému přístupu k datům technické diagnostiky řešení systému od externí firmy. Tento systém slouží jako centrální místo pro sběr dat z výrobních systémů a senzorů. Součástí technické diagnostiky jsou:

- monitoring sítí Profinet
- monitoring chybových hlášení a stavu napájení ventilových terminálů
- monitoring spotřebované elektrické energie pohonů výrobních strojů
- monitoring napětí a teplot
- monitoring prohnutí a odchylek výrobních zařízení

Podnik A využívá technickou diagnostiku u vybraných robotů výrobce Fanuc, která je integrovaná do systému od externí firmy. Technická diagnostika neustále monitoruje několik veličin pro každou osu robotu. Při překročení přijatelné meze u některé z veličin spustí systém alarm u příslušného robotu. Alarm je ihned viditelný v seznamu robotů a v plánu linek. Měřené veličiny u os robotů Fanuc jsou:

- maximální distribuovaný točivý moment
- maximální točivý moment
- minimální distribuovaný točivý moment
- hodnota nadproudu
- točivý moment

Podnik A může pro docílení přesnější diagnostiky aplikovat další měřené veličiny:

- provozní teplota, teplota motorů
- vibrace jednotlivých os
- rychlost pohybu os
- stavová hlášení

4 Základní ukazatele spolehlivosti pro komponenty robotů

Spolehlivost je jedním z klíčových faktorů při hodnocení výkonnosti a efektivity průmyslových robotů. Pro zajištění plynulého a bezpečného provozu robotických systémů je nezbytné pečlivě analyzovat a zhodnocovat ukazatele spolehlivosti jednotlivých komponentů robotů. Ukazatelé spolehlivosti jsou kvantitativní míry, které slouží k posouzení spolehlivosti zařízení, nebo komponent. Tyto ukazatelé poskytují informace o pravděpodobnosti, zda dané zařízení či komponenta bude fungovat požadovaným způsobem po určitou dobu za určitých podmínek.

4.1 Postup stanovení ukazatelů spolehlivosti

Při stanovení klíčových znaků spolehlivosti byla provedena podrobná rešerše informací o výrobě, údržbě, používaných technologiích a diagnostických funkcích, používaných ve Svařovně 1 Podniku A, s důrazem na výrobce robotů ABB, Fanuc a KUKA. Na základně této analýzy byly identifikovány klíčové oblasti, které je třeba zohlednit při stanovení ukazatelů spolehlivosti. V Podniku A je každý průmyslový robot rozdělen na dvě základní komponenty, které jsou rozlišovány. Jednou z komponent je samotný robotický systém, druhou z komponent jsou periferní nástroje (svářeční kleště, greifer). Stanovení ukazatelů spolehlivosti a následné porovnání bylo vztaženo na robotický systém. Dalším krokem bylo stanovení cílů spolehlivosti, které odpovídají specifickým potřebám, technologiím a požadavkům na výrobu ve Svařovně 1 Podniku A. Tyto cíle byly vybrány s ohledem na dosažení optimálního provozu a efektivity výroby. Mezi cíle spolehlivosti patří snaha o co nejdelší provoz robotu bez poruchy, minimalizace celkových nákladů na údržbu a opravy, snížení počtu poruch a prostojů, rychlá reakce při potřebě opravy, vysoká přesnost výroby a komptabilita s ostatními zařízeními.

V rámci identifikace potenciálních rizikových situací byla provedena analýza možných hrozeb, které by mohly ohrozit spolehlivost průmyslových robotů v organizaci. Tyto hrozby zahrnují možný softwarový nebo mechanický problém, problémy související s bezpečností zaměstnanců, dat a nedostatečným školením personálu a údržbou. Ve Svařovně 1 byla provedena diskuse se zaměstnanci údržby, kteří jsou odpovědní za provoz a údržbu robotů ve výrobním prostředí. Prodiskutovány byly oblasti, které jsou klíčové pro dosažení co nejvyšší spolehlivosti. Nakonec byl vypracován seznam

základních ukazatelů spolehlivosti, podle kterých je možné se řídit při hodnocení spolehlivosti průmyslových robotů v organizaci.

4.2 Základní ukazatele spolehlivosti

Na základě stanovených očekávání Podniku A od spolehlivosti a seznamu neshod (kapitola 6) byl vypracován seznam základních ukazatelů spolehlivosti průmyslových robotů:

- MTBF – udává očekávanou dobu, po kterou může zařízení pracovat bez poruchy. Vyšší hodnota MTBF znamená vyšší spolehlivost, méně časté poruchy a méně přerušovaný výrobní proces.
 - jednotky: h
 - cílová hodnota: 4000 h., v ideálním případě stejná jako doba provozu
- MTTR – je průměrný čas, který je potřeba k opravě poruchy a obnovení zařízení do provozního stavu. MTTR ovlivňuje dostupnost zařízení a produktivitu výrobního procesu.
 - jednotky: min, h.
 - cílová hodnota: 0-5 min
- Pravděpodobnost selhání – vyjadřuje pravděpodobnost, že komponenta selže v určitém časovém intervalu. Snížení pravděpodobnosti selhání je zásadní pro zajištění nepřerušovaného provozu zařízení.
 - jednotky: procenta
 - cílová hodnota: 0-0,1 %
- Doba provozu – je metrika, udávající dobu provozu, po kterou je zařízení v provozu bez přerušení. Poskytuje přehled o kontinuitě a stabilitě výrobního procesu. Delší doba signalizuje vyšší spolehlivost zařízení.
 - jednotky: h
 - cílová hodnota: až 4000 h. za rok, rozdílné podle typu linky

- Dostupnost servisu – je klíčovým faktorem, ovlivňuje schopnost rychle obnovit provoz po přerušení výroby.
 - jednotky: procenta
 - cílová hodnota: 99 %
- Rychlost servisu – Rychlá reakce servisního týmu je klíčová pro minimalizaci času, po který je zařízení mimo provoz.
 - jednotky: min, h.
 - cílová hodnota: do 24 h.
- Dostupnost diagnostických funkcí – je schopnost zařízení detekovat, diagnostikovat a signalizovat potenciální problémy nebo poruchy v reálném čase. Vyšší dostupnost diagnostických funkcí přispívá k rychlému a efektivnímu řešení problémů, pokud zařízení disponuje diagnostickými funkcemi.
 - jednotky: procento času
 - cílová hodnota: 95 %

4.3 Porovnání spolehlivosti robotů v organizaci

Pro porovnání spolehlivosti robotů ve Svařovně 1 v Podniku A bylo vybráno 93 kloubových 6osých robotů od 3 výrobců ABB, Fanuc a KUKA. Čtvrtý výrobce v Podniku A nebyl do porovnání zahrnut, jelikož ve svařovně je jen jeden kus a jedná se o robota kolaborativního. Porovnání spolehlivosti bylo vytvořeno na základě dat ze Svařovny 1 v Podniku A z roku 2023 [34]. Jedná se o data o době provozu, počtu prostojů, typu prostoje a délce prostoje. Data jsou získána přímo z robotů, nebo linek, nebo byla zpracována zaměstnancem Podniku A. V datech byly rozlišovány organizační prostoje (zaviněné plánováním výroby a výrobou mimo svařovnu) a technické prostoje (zaviněné zařízením). Pro účely porovnání byly zahrnuty pouze technické prostoje. Pro výpočet spolehlivosti robotů byly zařazeny pouze prostoje, způsobené robotem, nebo robotovou skříní.

4.3.1 Výběr robotů

Pro účel porovnání byl vybrán statistický vzorek 93 robotů, a to 31 robotů výrobce ABB, 31 robotů výrobce Fanuc a 31 robotů výrobce KUKA. Z důvodů zastoupení několika typů robotů ve výrobě s rozdílnou nosností a dosahem byly vytvořeny čtyři kategorie výběru robotů: kategorie s nosností 240-260 kg, dále kategorie s nosností 280-300 kg, kategorie s nosností 340-350 kg a kategorie s nosností nad 400 kg. Od každého výrobce byly vybrány roboty těchto typů a v následujících kategoriích nosností:

- 16 robotů výrobce ABB typu IRB 6700-245/3.00 v kategorii nosnosti 240-260 kg
- 5 robotů výrobce ABB typu IRB 6700-300/2.70 v kategorii nosnosti 280-300 kg
- 8 robotů výrobce ABB typu IRB 7600-340/2.8 v kategorii nosnosti 340-360 kg
- 2 roboty výrobce ABB typu IRB 7600-500/2.55 v kategorii nosnosti nad 400 kg
- 16 robotů výrobce Fanuc typu R-2000IB/250F v kategorii nosnosti 240-260 kg
- 5 robotů výrobce Fanuc typu M-900IB/280L v kategorii nosnosti 280-300 kg
- 8 robotů výrobce Fanuc typu M-900IA/350_IC v kategorii nosnosti 340-360 kg
- 2 roboty výrobce Fanuc typu M-900IB/400L v kategorii nosnosti nad 400 kg
- 16 robotů výrobce KUKA typu KR240R2700 PRIME C4 FLR v kategorii nosnosti 240-260 kg
- 5 robotů výrobce KUKA typu KR300R2700_2 C4 FLR v kategorii nosnosti 280-300 kg
- 8 robotů výrobce KUKA typu KR340R3330 C4 FLR v kategorii nosnosti 340-360 kg
- 2 roboty výrobce KUKA typu KR500R2830 v kategorii nosnosti nad 400 kg

Jednotlivé roboty byly vybrány tak, aby byly typově a účelem funkce co nejvíce shodné, a aby sledovaný vzorek robotů poměrově vystihoval zastoupení typů a nosností robotů ve Svařovně 1 Podniku A. Při porovnání robotů je potřeba brát v potaz nasazení jednotlivých

robotů ve výrobě. Použité typy robotů mohou mít vliv na výslednou spolehlivost. Roboty na jednom druhu linky, nebo s jedním použitým nástrojem, mohou mít výrazně odlišnou dobu provozu a tím ovlivněný počet poruch než roboty na jiné lince nebo s jiným použitým nástrojem.

4.3.2 Počet poruch

Celkový počet poruch pro každého výrobce se vypočte jako součet jednotlivých prostojů robotů. Celkový počet poruch, sledovaných robotů, pro období leden až prosinec 2023 je 609. Celkový počet poruch robotů výrobce ABB je 294. U 18 robotů výrobce ABB je zaznamenán počet poruch do výše 5 poruch na robota. 4 roboty výrobce ABB mají celkový počet poruch nad 20. Vypočítán byl rozptyl a medián poruch.

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [x_i - E(X)]^2 \quad (\text{Vzorec 6})$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{31} \sum_{i=1}^n [x_i - 9,48]^2 = \frac{1}{31} \cdot 6567,7419 = 211,86$$

Obrázek 7: Příklad výpočtu rozptylu poruch robotů ABB. Autor: Dominik Jireš

$$\text{med}(x) = x_{(n+1)/2} \quad (\text{Vzorec 7})$$

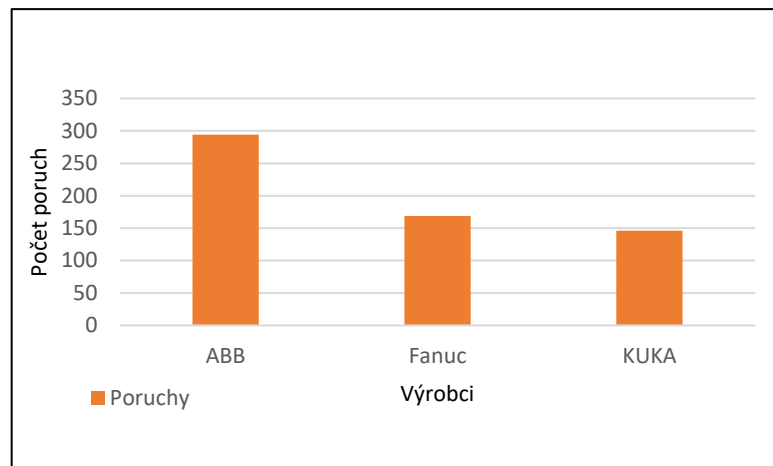
$$x = 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 4, 4, 4, 4, 5, 5, 6, 7, 7, 9, 13, 15, 16, 19, 30$$

$$\text{med}(x) = x_{16} = 3$$

Obrázek 8: Příklad výpočtu mediánu poruch robotů Fanuc. Autor: Dominik Jireš

Roboty ABB mají medián 4 poruchy a rozptyl 211,8. Celkový počet poruch robotů výrobce Fanuc je 169. U 21 robotů výrobce Fanuc je zaznamenán celkový počet poruch do výše 5 poruch na robota. 1 robot výrobce Fanuc má celkový počet poruch nad 20. 3 roboty výrobce Fanuc nemají zaznamenanou žádnou poruchu za sledované období. Medián poruch Fanuc je 3 poruchy a rozptyl 43,8. Celkový počet poruch robotů KUKA je 146. U 21 robotů výrobce KUKA je zaznamenán celkový počet poruch do výše 5 poruch na robota. Žádný robot výrobce KUKA nemá celkový počet poruch nad 20. 3 roboty výrobce KUKA nemají zaregistrovanou žádnou poruchu za sledované období. Roboty KUKA mají medián 4 poruchy a rozptyl 19,3. Celkový součet prostojů robotů

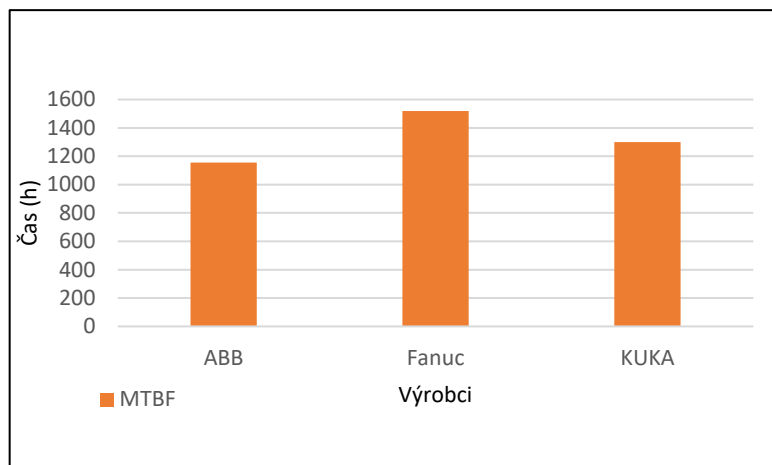
výrobce ABB za sledované období je 2776 min, medián doby prostojů je 45 min a rozptyl 17791. Prostoj robotů Fanuc činí 1411 min, medián činí 20 min a rozptyl 3011. Celková délka poruch robotů KUKA dosahuje 1052 min s mediánem 18 min a rozptylem 1650. V počtu poruch a jejich délce se jednotliví výrobci liší. Roboty výrobce ABB mají nejvyšší počet poruch, medián počtu poruch mají téměř shodný s ostatními výrobci, ale rozptyl poruch je nejvyšší, což značí určitou míru variability mezi jednotlivými roboty. Roboty výrobců KUKA a Fanuc mají počet poruch téměř srovnatelný. U robotů výrobce KUKA je variabilita poruch nejnižší.



Graf 1: Počet poruch robotů podle výrobců za rok 2023. Autor: Dominik Jireš

4.3.3 Průměrná doba mezi poruchami

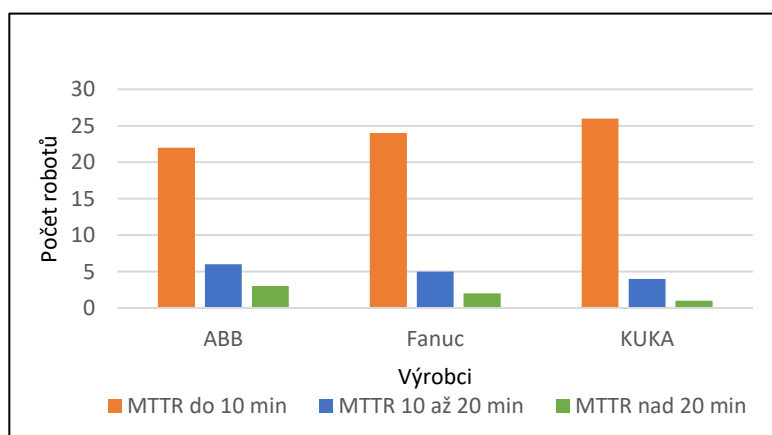
Pro určení spolehlivosti byl zvolen výpočet střední doby mezi poruchami (MTBF). Výpočtem MTBF bylo zjištěno, že průměr MTBF robotů výrobce ABB dosahuje hodnoty 1155,57 h. U 19 robotů ABB byl zjištěn MTBF pod 1000 h. MTBF nad 2000 h. je u výrobce ABB u 5 robotů. Průměr MTBF robotů výrobce Fanuc je 1519,53 h. Průměr MTBF výrobce KUKA 1300,39 h. Nejnižší MTBF bylo zjištěno u výrobce ABB, nejvyšší u výrobce Fanuc.



Graf 2: Průměr MTBF podle výrobců za rok 2023. Autor: Dominik Jireš

4.3.4 Průměrná doba opravy

Jako další ukazatel spolehlivosti byla zvolena střední doba do opravy (MTTR). Byl proveden výpočet, zjištěny byly následující informace: průměr MTTR robotů výrobce ABB dosahuje hodnoty 15,28 min. 22 robotů výrobce ABB má MTTR do 10 min. U 2 robotů výrobce ABB je zjištěno MTTR nad 20 min. Průměr MTTR robotů výrobce Fanuc má hodnotu 9,27 min. 24 robotů výrobce Fanuc má MTTR do 10 min. MTTR u 1 robotu výrobce Fanuc dosahuje hodnoty nad 20 min. Průměr MTTR u výrobce KUKA je 6,17 min. U 27 robotů výrobce dosahuje MTTR do 10 min. 1 robot výrobce KUKA má MTTR přes 20 min. Z toho plyne, že roboty Fanuc a KUKA jsou spolehlivější než roboty ABB. Roboty ABB vykazují častější poruchy s dobou opravy více než 10 min, což naznačuje, že mohou mít výraznější nedostatky z hlediska poruch, nebo nekvalifikovaného personálu na opravu těchto robotů a následný prostoj stojí podnik více finančních prostředků.



Graf 3: MTTR výrobců robotů za rok 2023. Autor: Dominik Jireš

4.3.5 Pravděpodobnost selhání

U výrobců robotů byl vypočten průměr pravděpodobnosti selhání všech vybraných robotů za 1 h. U robotů výrobce ABB je hodnota pravděpodobnosti selhání 0,00086 (0,08 %), čili pravděpodobnost, že robot bude fungovat je 99,92 %. Roboty výrobce Fanuc mají pravděpodobnost selhání 0,00066 (0,06 %), pravděpodobnost, že roboty budou fungovat je 99,94 %. U robotů výrobce KUKA vychází pravděpodobnost selhání 0,00077 (0,07 %), pravděpodobnost, že roboty KUKA neselžou za hodinu činí 99,93 %. Z vypočtených údajů vyplývá, že pravděpodobnost selhání je u všech výrobců nízká. Rozdíly mezi výrobci jsou téměř zanedbatelné.

4.3.6 Příčiny poruch

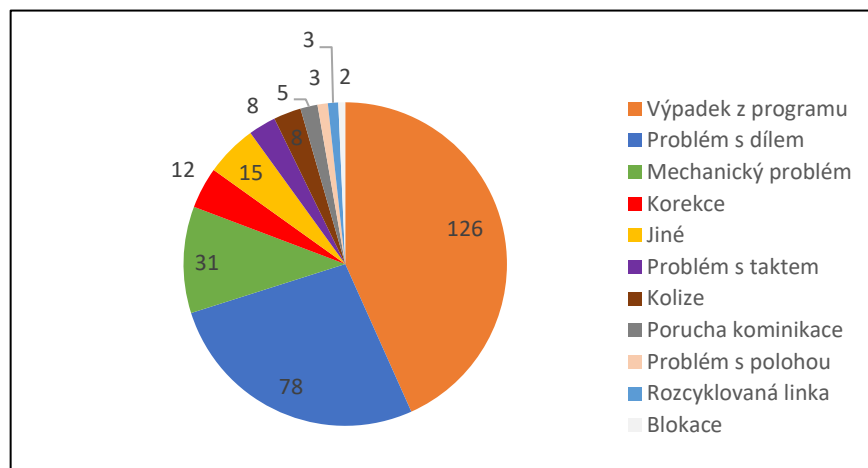
V rámci analýzy počtu a délky poruch byly zjišťovány příčiny jednotlivých poruch robotů. Zjištěné poruchy zahrnují následující příčiny:

- Blokace – robot není schopen pohybu z důvodu softwarové překážky, nejčastěji jiného robotu, další pohyb by způsobil kolizi.
- Jiné – zahrnuje poruchy, u kterých nebyla v datech popsána příčina, anebo příčina nesouvisí s poruchou robota.
- Kolize – je náraz robotu do jiného předmětu, většinou jiného robotu, a zablokování jeho pohybu.
- Korekce – znamená manuální úprava programu, bodů pohybu, nebo snímačů.
- Mechanický problém – je porucha, spojená s fyzickou částí robota. Zahrnuje poruchy jednotlivých dílů, pokles tlaku vzduchu a zamotání robotu do kabelu.
- Porucha komunikace – zahrnuje omezení výměny informací mezi robotem, robotovou skříní, nebo ostatními zařízeními.
- Problém s dílem – je špatně nabraný, položený díl, nebo porucha přítomnosti dílu z důvodu chyby robotu.
- Problém s polohou – znamená, že robot není schopen udržovat svou polohu podle programu.

- Problém s taktom – robot není schopen provádět své úkony v souladu s taktom (časovým intervalem) ostatních zařízení a linkou.
- Rozcyklovaná linka – zařízení v lince, včetně robotů, nepracují v souladu s očekávaným cyklem v lince.
- Výpadek z programu – robot není schopen provádět své úkony z důvodu chyby v programu.

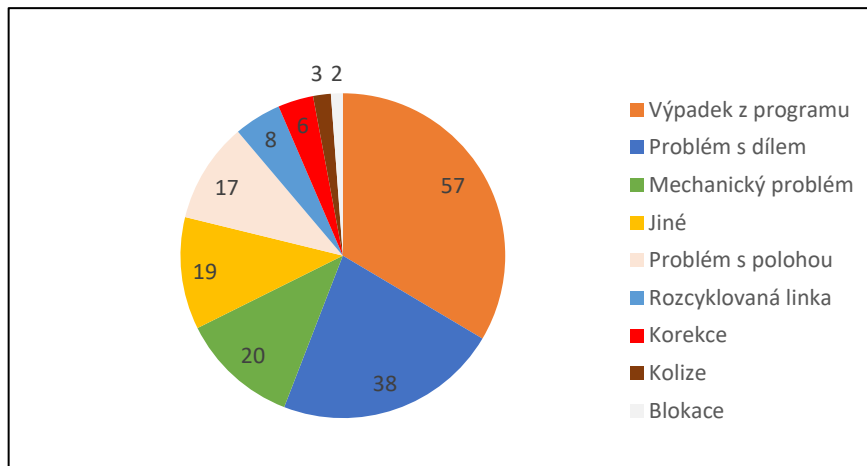
Zjišťovány byly příčiny poruch jednotlivých výrobců robotů:

Z 294 poruch robotů výrobce ABB jich nejvíce připadá na výpadek z programu, a to 126, 78 poruch má příčinu problém s dílem, 31 poruch způsobil mechanický problém, 12 poruch je kvůli korekci, 15 poruch zapříčinily jiné okolnosti. 8 poruch je kvůli problému s taktom a kolizi, 5 poruch způsobil porucha komunikace a 3 poruchy mají příčinu blokaci a rozcyklovanou linku.



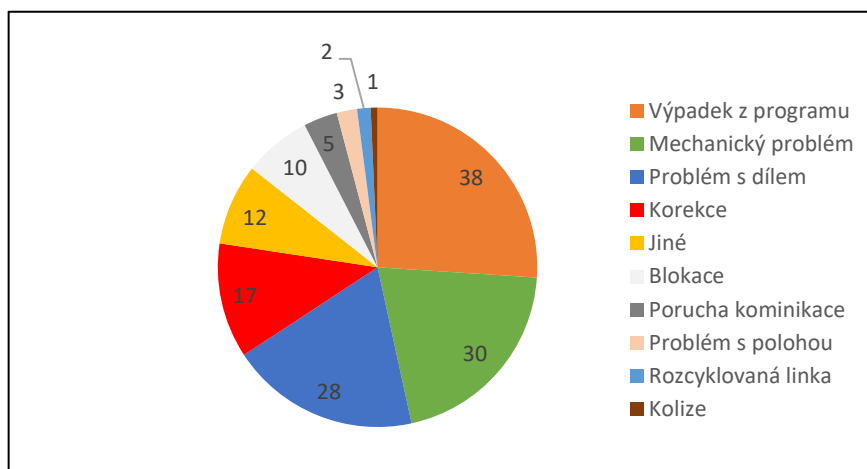
Graf 4: Příčiny poruch robotů ABB. Autor: Dominik Jireš

Roboty výrobce Fanuc mají celkový počet poruch 169. Výpadek z programu způsobil 57 poruch. 38 poruch má příčinu problém s dílem. 20 poruch je kvůli mechanickému problému. 19 poruch způsobil jiné okolnosti. 17 poruch je kvůli problému s polohou robotu. Rozcyklovaná linka způsobil 8 poruch, korekce 6 poruch, kolize 3 poruchy a blokace 2 poruchy.



Graf 5: Příčiny poruch robotů Fanuc. Autor: Dominik Jireš

Poruch robotů výrobce KUKA je 146. Nejčastější porucha je výpadek z programu s počtem 38 poruch. 30 poruch způsobil mechanický problém, 28 poruch problém s dílem, 17 poruch korekce robota, 12 poruch jiné okolnosti, 10 poruch blokace, 5 poruch komunikace, 3 poruchy problém s polohou robota, 2 poruchy rozcyklovaná linka a 1 poruchu kolize robotů.



Graf 6: Příčiny poruch robotů KUKA. Autor: Dominik Jireš

U všech výrobců robotů je nejvyskytovanější porucha výpadek z programu. U robotů ABB tvoří výpadek z programu největší podíl (téměř 43 %) všech poruch výrobce ABB a v celkovém součtu i nejvíce ze všech výrobců, což naznačuje nedostatky v softwaru robotů. U robotů ABB a Fanuc je druhá nejčastější porucha problém s dílem, což znamená, že jsou nevhodně nastavené senzory na určení přítomnosti dílů. Roboty KUKA mají na druhém místě a roboty ABB na třetím místě mechanický problém, tj. problém nebo opotřebení jednotlivých prvků. Roboty Fanuc mají významnější počet poruch polohy. Ostatní poruchy se vyskytují v menších počtech.

4.3.7 Celkové zhodnocení spolehlivosti robotů

Na základě analýzy dat bylo provedeno porovnání spolehlivosti jednotlivých výrobců robotů ve Svařovně 1 Podniku A. Získaná data odhalují, že v některých veličinách se výrobci výrazně liší, ale v některých veličinách jsou výrobci srovnatelní. Ve sledovaném období se ukázalo, že největší prostoj mají roboty výrobce ABB, zatímco roboty výrobce KUKA se vyznačují nejmenším celkovým prostojem. Roboty ABB vykazují největší rozptyl a nejvyšší medián celkového prostoje. Naopak roboty Fanuc a KUKA mají srovnatelný medián času prostojů. Největší počet i rozptyl poruch mají roboty ABB. Roboty Fanuc a KUKA mají srovnatelný celkový počet poruch. Medián počtu poruch všech výrobců je identický. Nejvyšší MTTR bylo zjištěno u robotů výrobce ABB, nejnižší u robotů výrobce KUKA. Nejlepší MTBF je u robotů výrobce Fanuc, zatímco u výrobců ABB a KUKA je srovnatelný.

Z pozorování vyšlo, že z hlediska počtu a délky poruch jsou nejspolehlivější roboty výrobce KUKA. Roboty výrobce Fanuc mají oproti robotům výrobce KUKA mírně vyšší počet poruch a dobu prostojů a byl u nich zjištěn vyšší rozptyl dat, ale ze všech výrobců mají nejlepší MTBF a nejnižší pravděpodobnost selhání. Spolehlivost robotů Fanuc je téměř srovnatelná se spolehlivostí robotů KUKA. U robotů ABB byla mezi výrobci zjištěna nejmenší spolehlivost, u počtu poruch a doby prostojů vyšel největší rozptyl dat ze všech výrobců čili u tohoto výrobce se vyskytují roboty, které mají výrazně vyšší počet poruch a celkovou dobu prostoje, než je zbytek robotů. V závěru srovnání lze konstatovat, že roboty všech výrobců jsou celkově velmi spolehlivá zařízení. Ve srovnání s ostatními výrobními zařízeními v linkách (svářecké kleště, greifery) jsou roboty výrazně spolehlivější a jejich poruchy mají menší dopad na výrobní proces.

5 Metodika hodnocení výrobců průmyslových robotů

S ohledem na získané informace z průzkumu stavu a srovnání spolehlivosti robotů ve Svařovně 1 vytvořil autor metodiku hodnocení výrobců průmyslových robotů. Tento soubor postupů a kritérií slouží k posouzení a porovnání výrobců průmyslových robotů z hlediska jejich schopnosti plnit výrobní nasazení. Hlavním záměrem této metodiky je získat relevantní data týkající se spolehlivosti robotů, provést komplexní srovnání výrobců průmyslových robotů a vybrat optimálního výrobce, což by mělo vést ke zvýšení efektivity a spolehlivosti výroby v průmyslovém podniku.

Prvním krokem je definice cílů a účelu hodnocení. Je nezbytné určit, jaký přínos bude mít hodnocení pro podnik. Hlavním cílem hodnocení by mělo být zhodnocení výrobců průmyslových robotů z hlediska jejich schopnosti plnit výrobní požadavky a očekávání podniku. Účelem hodnocení je identifikace klíčových faktorů a parametrů, ovlivňujících kvalitu výroby a poskytnutí objektivního základu pro výběr vhodného výrobce.

Druhým krokem je stanovení kritérií hodnocení a cílů hodnocení. Je potřeba identifikovat potřeby a požadavky na výrobu a efektivitu. Je nutné určit konkrétní hodnoty, které se od hodnocení očekávají, identifikovat klíčové oblasti zlepšení a strategické cíle podniku a určit časový úsek, na který se hodnocení zaměří.

Třetím krokem je vytvoření hodnotícího systému. Pro každé stanovené kritérium je potřeba určit váhu. Kvalitativní a spolehlivostní kritéria robotu mohou mít vyšší váhu než ekonomické podmínky.

Čtvrtým krokem je sběr dat, který by měl být prováděn se systematickým přístupem. Podnik by se měl především zaměřit na data, týkající se jednotlivých stanovených kritérií za definovaný časový úsek. Mezi tato data by měly patřit technické specifikace zařízení, doba běhu robotu, délka prostoje a příčiny prostoje. Je nutné předejít zkreslení dat různými aplikacemi robotů ve výrobním procesu (použití jiných výrobních technologií, rozdílné doby provozu robotů, odlišné externí faktory) a zajistit správnost záznamů, aby byla analýza co nejpřesnější (zápis důvodů prostoje zaměstnanci).

Dalším krokem je analýza a interpretace dat na základě definovaných kritérií a hodnotícího systému. Podnik by se měl zaměřit, zda se data některého z výrobců

výrazně neodlišují od ostatních výrobců a zda některý z výrobců nemá vyšší výskyt některé z poruch.

Pátým krokem jsou hodnocení a závěry, které jsou založeny na výsledcích analýzy a interpretaci dat. Podnik použije hodnotící systém k přidělení skóre každému výrobcí robotů na základě sesbíraných a zanalyzovaných dat. Na základě těchto hodnocení bude provedeno srovnání výrobců průmyslových robotů z hlediska spolehlivosti. Díky tomu bude podnik schopen identifikovat možné hrozby a příležitosti a přizpůsobit svou strategii podle výsledků.

Posledním krokem je korekční opatření a kontinuální zlepšování. V rámci hodnocení by měly být identifikované nedostatky a problémy. Podnik na základě těchto zjištění může aktualizovat svou metodiku hodnocení výrobců průmyslových robotů, posílit kontrolu kvality výroby a implementovat novou metodiku a postupy.

5.1 Metodika hodnocení výrobců průmyslových robotů v Podniku A

Pro Svařovnu 1 Podniku A byla vytvořena aplikace metodiky hodnocení výrobců průmyslových robotů. Metodika byla vypracována bez ohledu na ekonomické aspekty, pro stanovení ideální úrovně spolehlivosti robotů.

1. Hodnocení spolehlivosti výrobců by mělo splňovat požadavky výrobního procesu svařovny, použitých technologií. Výsledkem by měla být identifikace nejvhodnějšího výrobce pro zvýšení efektivity a spolehlivosti výroby.
2. Autor se zaměřil na kritéria: průměrný čas mezi poruchami (MTBF), průměrný čas na opravu (MTTR), průměrný počet poruch na robota, pravděpodobnost selhání, procento plánovaných zásahů údržby, dostupnost a rychlost servisu, dostupnost diagnostických funkcí.
3. Pro účely hodnocení spolehlivosti robotů v Podniku A byl vytvořen následující hodnotící systém se šesti kritérii:

Tabulka 1: Hodnotící tabulka spolehlivosti robotů. Autor: Dominik Jireš

Kritérium	Váha	Hodnocení
Průměrný čas mezi poruchami (MTBF)	20 %	5 – Výrobce má MTBF nad 1500 h.
		3 – MTBF je mezi 1200 a 1500 h.
		1 – MTBF je pod 1200 h.
Průměrný čas na opravu (MTTR)	20 %	5 – Výrobce má MTTR pod 10 min
		3 – MTTR je mezi 10 a 15 min
		1 – MTTR je nad 15 min
Pravděpodobnost selhání za hodinu	15 %	5 – Pravděpodobnost je nižší než 0,001
		3 – Pravděpodobnost je mezi 0,001 a 0,01
		1 – Pravděpodobnost je nad 0,01
Průměrný počet poruch na robota	15 %	5 – Průměrný počet poruch je pod 5
		3 – Průměrný počet poruch je 5 až 10
		1 – Průměrný počet poruch je víc než 10
Dostupnost a rychlost servisu	15 %	5 – Výrobce dosahuje nejvyšší dostupnost a nejkratší rychlosti servisu
		3 – Dostupnost a rychlost servisu jsou průměrné
		1 – Dostupnost a rychlost servisu jsou nízké
Dostupnost diagnostických funkcí	15 %	5 – Výrobce poskytuje nejvyšší dostupnost diagnostických funkcí
		3 – Dostupnost diagnostických funkcí je omezená
		1 – Výrobce neposkytuje diagnostické funkce

4. Sběr dat byl proveden za leden až prosinec 2023 u statistického vzorku 93 robotů od výrobců ABB, Fanuc a KUKA. Od každého výrobce bylo vybráno 31 srovnatelných robotů.

5. V rámci analýzy dat byla použita data z porovnání spolehlivosti robotů a znaků, jako jsou: MTBF, MTTR, pravděpodobnost selhání, počet poruch, délky a důvody prostojů.
6. Na základě sběru dat a jejich analýze bylo provedeno hodnocení podle vytvořeného hodnotícího systému. Vyhodnocení bylo zpracováno do tabulky níže. Po součtu bodů a váhy jednotlivých kritérií vyšlo, že výrobce ABB získal 2,2 bodů, výrobce Fanuc 4,7 bodů a KUKA 4,0 body. Což znamená, že roboty výrobce Fanuc vyšly v tomto hodnocení nejlépe ze všech výrobců robotů.

Tabulka 2: Tabulka zhodnocení výrobců robotů v Podniku A. Autor: Dominik Jireš

	Roboty ABB	Roboty Fanuc	Roboty KUKA
MTBF	1155,57 h. (1 bod)	1519,53 h. (5 bodů)	1300,39 h. (3 body)
MTTR	15,28 min (1 bod)	9,28 min (5 bodů)	6,17 min (5 bodů)
Pravděpodobnost selhání	0,086 % (5 bodů)	0,066 % (5 bodů)	0,077 % (5 bodů)
Průměrný počet poruch na robota	9,48 (3 body)	5,45 (3 body)	4,68 (5 bodů)
Dostupnost servisu	nízká (1 bod)	vysoká (5 bodů)	vysoká (5 bodů)
Dostupnost diagnostických funkcí	omezená (3 body)	vysoká (5 bodů)	není (1 bod)
Celkem	2,2 bodů	4,7 bodů	4 body

5.2 Stanovení ideální úrovně

Podnik A požaduje od výrobních zařízení především neustálou výrobu bez prostojů. Kdyby se organizace nemusela ohlížet ve spolehlivosti zařízení na žádné ekonomické aspekty, tak by v ideální úrovni provedla duplikaci výrobních linek. To by znamenalo více identických zařízení, která by mohla převzít výrobu v případě selhání některé z nich, aniž by došlo k přerušení výroby. Údržba zařízení by probíhala bez zastavení výroby. Duplikace výrobních linek by mohla znamenat jednodušší zavádění nových inovativních technologií do výroby a testovat je bez nutnosti většího prostoje.

6 Neshody

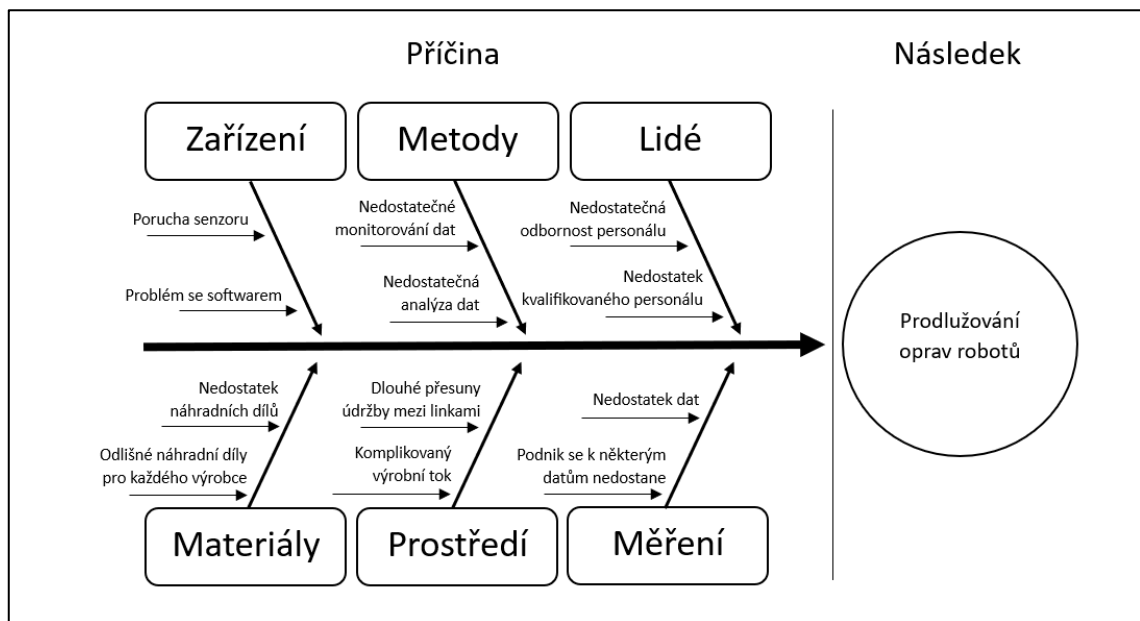
Na základě prohlídky Podniku A, průzkumu výrobních technologií a výrobního toku, interních dokumentů podniku a rozhovoru s pracovníky byl vytvořen popis neshod Svařovny 1 Podniku A. Neshody byly zpracovány 6M metodou a byly zaznamenány za rok 2023.

- Podnik A využívá technologie 3 výrobců robotů (respektive 4 včetně kolaborativního robotu Universal Robots). Vznikají tím požadavky na častější školení zaměstnanců a skladování více náhradních součástí.
- Roboty každého z výrobců mají odlišné ovládání a programování.
- Roboty výrobce KUKA nemají výrobcem vyvinutou technickou diagnostiku. Podnik má k dispozici jen omezená data, nebo je nucen instalovat vlastní snímače.
- Výrobce ABB zpřístupňuje diagnostiku robotů jen za dodatečné finanční náklady. Vlastníkem dat o stavu robotů není Podnik A, ale firma ABB. Z tohoto důvodu se diagnostika u robotů ABB vyžívá omezeně nebo vůbec.
- Náhradní díly robotů jednotlivých výrobců jsou zcela odlišné. Podnik musí vynakládat vyšší finanční náklady na zajištění okamžité dostupnosti náhradních dílů a tím pádem i vyšší nároky na místo při skladování náhradních dílů.
- Některé náhradní díly jsou ihned nedostupné, nebo jen dostupné s delší časovou prodlevou. Zaměstnanci opravují porouchané díly v podniku a do skladu náhradních dílů se občas dostávají i díly ne zcela opravené.
- Diagnostika některých částí robota je moc složitá nebo nemožná, nepoužívá se.
- Vstup do systému technické diagnostiky je dostupný jen s licencí pro každého zaměstnance. Licence je dostupná za vyšší cenu. Data se z technické diagnostiky přepisují do excelových tabulek.
- Komplikovaný je výrobní tok (daný historickým vývojem hal a výroby) s na sebe nenavazujícími linkami a produkt musí mezi linkami přejíždět z jedné strany haly na druhou po dopravníkových systémech, nebo musí být díl převezen vysokozdvíhým vozíkem. Způsobuje to vyšší finanční náročnost na výrobu a použité technologie a může občas způsobit rizikové situace.
- Velký výrobní prostor. Způsobuje prodlužování oprav a delší přesuny mezi pracovišti. Přesuny údržby mezi linkami bývají velmi často až přes 500 m.

- Vyšší počet druhů a výrobců některých zařízení. Podnik má vyšší náklady na náhradní díly i odbornost personálu.
- Občasná chybějící znalost angličtiny u některých zaměstnanců, kteří se setkají s anglickými texty (např. návody).

6.1 Ishikawův diagram

Pro odhalení a vizualizaci kořenových příčin prodlužování oprav robotů byl sestaven Ishikawův diagram. Diagram znázorňuje možné příčiny vzniku neshody.



Obrázek 9: Diagram příčin prodlužování oprav robotů z hlediska údržby. Autor: Dominik Jireš

Z Ishikawova diagramu byly určeny 3 nejvýznamnější příčiny, které by se měly eliminovat. Jsou jimi:

1. Vyšší počet výrobců robotů, což vyžaduje vyšší kvalifikaci personálu, požadavky na více náhradních dílů a odlišné přístupy ke zpracování a analýze dat.
2. Nedostupnost relevantních dat k technické diagnostice ztěžuje identifikaci a předcházení problémům.
3. Komplikovaný výrobní tok a dlouhé přesuny mezi linkami zvyšují část, potřebný k opravám a údržbě.

6.2 FMECA analýza

Metodou FMECA (analýza efektů a kritičnosti selhání) byla identifikována a hodnocena možná selhání a jejich dopad na výrobu a údržbu v organizaci.

1. Vymezení zkoumaného předmětu – cílem analýzy je identifikovat a hodnotit potenciální neshody a nedostatky, spojené s technickou diagnostikou průmyslových robotů ve Svařovně 1 Podniku A.
2. Identifikace možných selhání – na základě popsaných neshod byla vybrána možná selhání v souvislosti s provozem průmyslových robotů. Identifikována byla následující selhání:
 - odlišné ovládání a náhradní díly
 - nedostatek technické diagnostiky
 - omezený přístup k technické diagnostice
 - nedostupnost nebo zpoždění náhradních dílů
 - složitý výrobní tok
 - vyšší počet druhů zařízení
 - chybějící kvalifikace zaměstnanců
3. Vyhodnocení pravděpodobnosti, možnosti opatření a následků selhání – pro účel ohodnocení selhání byla vytvořena hodnotící tabulka se škálou hodnocení 1 až 10 bodů. Ohodnocení ke každému selhání bylo přiřazeno na základě průzkumu stavu technické diagnostiky a výrobního toku ve svařovně Podniku A, a na základě diskuse se zaměstnanci podniku.

Tabulka 3: Tabulka hodnocení FMECA, zdroj: [35]

Pravděpodobnost selhání	Následky	Opatření
Nepravděpodobná 1	Zanedbatelné 1	Velmi podstatná 1
Nízká 2-3	Malé 2-3	Významná 2-5
Střední 4-6	Významné 4-6	Malá 6-8
Vysoká 7-8	Velice závažné 7-8	Nepatrná 9
Velmi vysoká 9-10	Katastrofické 9-10	Žádná 10

4. Vypočtení rizikového čísla (RPN) – rizikové číslo se vypočte součinem ohodnocení pravděpodobnosti selhání, následků a opatření.

$$RPN = \text{pravděpodobnost selhání} \cdot \text{následky} \cdot \text{opatření} \quad (\text{Vzorec 8})$$
5. Vyhodnocení získaného rizikového čísla – ohodnocením a výpočtem rizikového čísla byla získána následující data:

Tabulka 4: Výsledky FMECA analýzy, autor: Dominik Jireš

Selhání	Pravděpodobnost	Následky	Opatření	RPN
Odlíšné ovládání a náhradní díly	4	4	5	80
Nedostatek technické diagnostiky	5	3	7	105
Omezený přístup k technické diagnostice	7	5	6	210
Nedostupnost nebo zpoždění náhradních dílů	8	8	5	320
Složité výrobní tok	7	4	3	84
Vyšší počet druhů zařízení	6	3	3	54
Chybějící kvalifikace zaměstnanců	7	8	8	448

Z výsledků analýzy vyplývá, že číslo RPN vyšlo v intervalu 54 až 448. Některé neshody (RPN 210-448) způsobují výrazně vyšší počet problémů než ostatní. Vysoké riziko má kvalifikace zaměstnanců, nedostupnost náhradních dílů a omezený přístup k diagnostice. Opatřením je zlepšení přístupu k datům technické diagnostiky, které může být řešeno vytvořením nových softwarových nástrojů pro správu diagnostiky, nákupem licencí pro aktuálně používané softwarové nástroje nebo diskusí s firmami (vyrábějící roboty, SW nástroje) ohledně zpřístupnění dat. Investice do moderních diagnostických zařízení a technologií, standardizace zařízení z hlediska potřeby náhradních dílů a zvyšování odbornosti současných zaměstnanců, nebo vytvoření nových odborných pozic. Možná selhání s nižším RPN (54-105) je vhodné řešit následně, některá v delším časovém horizontu (zefektivnění výrobního toku, snížení počtu výrobců zařízení).

6.3 Doporučení

Organizaci bylo na základě analýzy neshod doporučeno:

- Standardizace dodavatelů robotů – Podnik A může zvážit snížení počtu výrobců robotů ze 3 na 2 (respektive ze 4 na 3) a snížit tím náklady na školení zaměstnanců, požadavky na odbornost zaměstnanců a usnadnit správu náhradních dílů.
- Optimalizace výrobního toku – Podnik A může v dlouhodobějším výhledu na základě plánovaných investičních akcí zvážit lepší rozložení výroby, zefektivnění výrobního toku a snížit nároky na počet technologií a přesuny údržby.

- Centralizovaný systém technické diagnostiky – Podnik A může zvážit vytvoření centralizovaného systému technické diagnostiky, která umožní sledování stavu všech robotů nezávisle na výrobcích.
- Diskutovat s výrobcí ABB a KUKA využití technické diagnostiky – podnik svou velikostí a počtem používaných robotů může s výrobcem KUKA diskutovat o vývoji technické diagnostiky výrobcem KUKA a s výrobcem ABB může diskutovat možné zpřístupnění dat.

7 Vyčítání dat z různých robotů od různých výrobců

Na základě průzkumu stavu diagnostiky a zařízení vytvořil autor metodiku vyčítání dat od různých výrobců a na základě této metodiky byla vytvořena případová studie vyčítání dat ve Svařovně 1 Podniku A. Autor navrhuje metodiku, složenou ze sedmi kroků, které jsou nutné pro efektivní a bezproblémovou implementaci vyčítání dat.

Prvním krokem je identifikace klíčových údajů a parametrů, potřebných pro sběr a analýzu dat z robotických systémů. Těmito údaji mohou být provozní charakteristiky, jako je takt a odbyt, nebo technické informace, například stav spuštění programu či data o stavu samotného robota. Mezi klíčové technické informace se řadí data o napětí, proudu, teplotě, poloze robota, nebo vibracích. Tyto údaje jsou nezbytné pro sledování a analýzu stavu robota v rámci technické diagnostiky.

Druhým krokem je analýza dostupných komunikačních rozhraní s jednotlivými typy robotů. Různí výrobci robotů často používají vlastní operační systémy, které mohou být založeny na vlastních technologiích. V rámci této analýzy je klíčové identifikovat, jaké konkrétní komunikační protokoly a sběrnice jsou podporovány jednotlivými typy robotů. Komunikační protokoly mohou zahrnovat různé standardy jako Ethernet/IP, Modbus, Profibus a další.

Na základě identifikovaných klíčových údajů a komunikačních rozhraní je třetím krokem výběr vhodného softwarového nástroje pro sběr dat. To může zahrnovat volbu mezi existujícími SCADA (dispečerské řízení a sběr dat) systémy, průmyslovými IoT platformami nebo vlastním vývojem softwaru. Výstupy by měly ukazovat stavové informace a hlásit poruchové stavy. Data by měla být uložena na cloudovém úložišti. Vybraný nástroj musí podporovat potřebné komunikační protokoly. Typicky jsou preferovány formáty jako csv, xml a json, které jsou snadno čitelné a zpracovatelné pomocí běžných softwarových nástrojů.

Čtvrtý krok je implementace a testování softwarového řešení. Zahrnuje vytvoření softwarového systému pro sběr dat a jejich zpracování v souladu s vybranou metodikou. Na základě zvolených parametrů a údajů je potřeba vyvinout komplexní algoritmus a definovat prahové hodnoty, který určí na základě dat, zda zařízení vykazuje poruchový stav, či nikoliv. Algoritmus musí reagovat na odlišné typy robotů a jejich aplikaci ve

výrobě. Nutné je testovat komunikaci s různými typy robotů od různých výrobců, aby byla zajištěna správná funkčnost a kompatibilita. Důležité je provádění optimalizace a ladění výkonu pro nejlepší výsledky. Testování by mělo probíhat minimálně po dobu půl roku na vybraném vzorku robotů.

Pátým krokem je nasazení systému do výroby, zahrnuje instalaci veškeré potřebné softwarové a hardwarové infrastruktury, konfiguraci systému a jeho propojení s existujícími průmyslovými zařízeními a systémy. Průběžná údržba a aktualizace systému je klíčová pro udržení optimálního provozu systému v průběhu času a pro zajištění jeho schopnosti reagovat na změny a nové požadavky v průmyslovém prostředí. Součástí nasazení je školení personálu, které je nezbytné pro používání a správu nového systému. To zahrnuje školení operátorů, údržby a vedení, kteří budou pracovat s novým systémem. Posledním krokem je zajištění průběžné údržby a aktualizací systému.

Důležitým aspektem při vyčítání dat je bezpečnost dat. Nezašifrovaná komunikace při vyčítání dat a potenciální neoprávněný přístup k citlivým údajům může podniku způsobit vážné škody v konkurenčním prostředí a ve vztahu k zákazníkům. Hrozbu představují odlišné stavy zařízení ve výrobním procesu. Algoritmy pro výpočet technické diagnostiky a definice prahových hodnot pro veličiny nemusejí mít stejnou vypovídající hodnotu i pro roboty v rámci jednoho výrobce. Nesprávně zvolený algoritmus a prahová hodnota může vést k chybným indikacím poruch, což může ohrozit samotný průběh výroby. Je nutné provádět testování řešení delší časovou dobou, jelikož data mohou být ze začátku zkreslená. Problémem může být kompatibilita některých protokolů, kdy vyčítání dat od několika výrobců může způsobit potíže s komunikací. Komunikace může být i odlišná na robotech s jiným datem výroby v rámci jednoho výrobce.

Ideálním stavem by bylo, kdyby Podnik A disponoval systémem schopným detekovat anomálie a možné poruchy s důrazem na bezpečnost výroby. Využitím strojového učení a umělé inteligence by byly vytvořeny plány prediktivní údržby, což by významně minimalizovalo výrobní výpadky. Diagnostika by probíhala vzdáleně. Tím by se minimalizovaly rušivé faktory a maximalizovala efektivita procesu.

7.1 Případová studie vyčítání dat v Podniku A

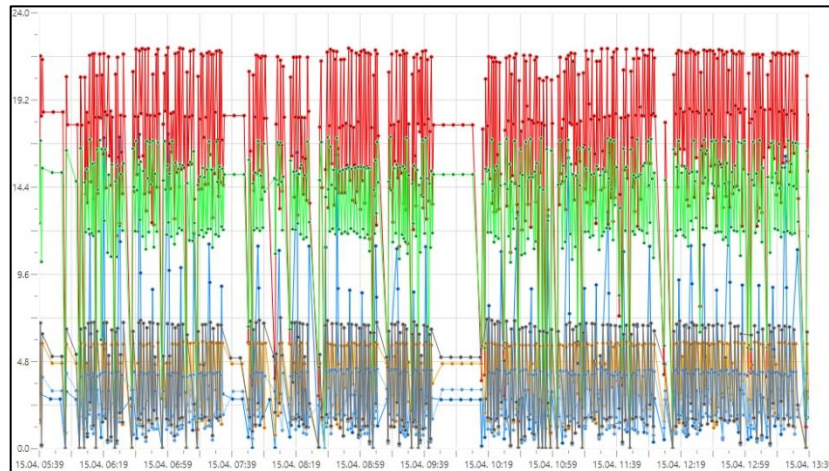
Ve Svařovně 1 Podniku A je cíl sledovat stav a spolehlivost průmyslových robotů, aby se zvýšila efektivita výroby a zamezilo se potenciálním poruchám. Autor navrhuje vytvořit programové zpracování výstupu diagnostiky. Roboty jsou již vybaveny senzory teploty motorů, senzory měřícími kroutící momenty na jednotlivých osách a senzory měřícími vibrace. Z řídicího systému je možné získat data o proudu a stavová hlášení. Data jsou k dispozici v reálném čase a jsou spolehlivá.

Vyčítání dat z řídicích systémů je možné pomocí komunikačních protokolů jednotlivých výrobců. Roboty výrobce Fanuc využívají protokol Fanuc FOCAS. Roboty KUKA využívají běžné protokoly, založené na ethernetu (např. PROFINET, Modbus). Pro vyčítání dat ze senzorů je využíván protokol Modbus. Výrobci ABB a Fanuc využívají vlastní operační systém, založený na Unixu. Robotické systémy výrobce KUKA běží na embedded verzi Windows 95, novější na Windows XP a Windows 7.

Pro centralizaci dat je nutné zvolit centrální uložení pro ukládání a správu dat. Použít se může některá z již fungujících platforem, zaměřující se na průmysl jako např. ThingWorx, nebo jiná platforma, jako např. Azure IoT Hub, AWS (Amazon Web Services) IoT Core, nebo Google Cloud IoT. Pro Podnik A je nejvýhodnější použití platformy ThingWorx, jelikož její aplikaci již údržba ve výrobě využívá. Proveďte se nastavení správných protokolů a API rozhraní pro komunikaci mezi systémem a uložštěm dat. Proces sběru dat je nutné monitorovat pro zajištění správného a bezchybného přenosu dat. Důležitým aspektem je šifrování dat a pravidelná kontrola integrity dat a zálohování.

V centrálním uložšti je v reálném čase pomocí algoritmů monitorován stav zařízení. Pokud se zjistí odchylka od běžného provozu, systém automaticky vygeneruje výstrahu. Pro každého robota a pro každý údaj je nutná vlastní definice prahové hodnoty poruchového stavu. Centrální uložště musí poskytovat centrální dashboard s monitorováním všech výstrah. Svařovna 1 Podniku A požaduje webové zpracování výstupů a výstrah. Pro přístup se využívají různá přístupová práva. Administrátorská

práva se využívají pro plný přístup ke všem funkcím systému. Běžná práva jsou využitelná pouze pro zobrazení informací.



Obrázek 10: Změna teploty za čas pro jednotlivé osy. Autor: interní informace Podniku A

Implementované řešení je potřeba otestovat na určitém vzorku průmyslových robotů. Testuje se funkcionality datového přenosu a centrálního úložiště, ověřuje se, zda jsou data správně uložena pro další zpracování. Testuje se bezpečnost systému, zda jsou přenosy a data ochráněna proti neoprávněnému přístupu a zneužití, testuje se autentizace uživatelů. Po úspěšném dokončení všech testů je systém připraven k schválení k ostrému provozu a nasazení v reálném prostředí výroby.

Podle plánu se provede nasazení systému do ostrého provozu. Pro zajištění ostrého provozu se provede školení pro zaměstnance, jak používat systém, monitorování dat, jak reagovat na výstrahy. Velmi důležité jsou pravidelné revize a aktualizace systému.

8 Závěr

Tato práce se zabývá problematikou technické diagnostiky a její aplikací v průmyslovém podniku se zaměřením na průmyslové roboty. Cílem bakalářské práce bylo vytvořit úvod do této problematiky, prozkoumat technickou diagnostiku v průmyslovém podniku, srovnat průmyslové roboty z hlediska spolehlivosti a zabývat se neshodami a vyčítáním dat. Nejprve byla vytvořena rešerše v tématech technická diagnostika, spolehlivost a robotika. V další části bylo zkoumáno několik klíčových aspektů, týkajících se struktury a činností vybrané organizace, v této práci anonymizované jako Podnik A. V další kapitole byl popsán výrobní proces a zařízení svařovny, v práci označené jako Svařovna 1. Autor prozkoumal celý výrobní tok a zaměřil se na využití metod technické diagnostiky v organizaci a aplikaci průmyslových robotů do výroby. Organizace využívá průmyslovou diagnostiku ve svařovně jen v omezeném rozsahu. Na základě průzkumu stavu ve výrobě byly určeny základní ukazatele spolehlivosti pro komponenty robotů a bylo vybráno 93 robotů pro srovnání. Podle ukazatelů spolehlivosti (MTBF, MTTR, pravděpodobnost selhání, doba provozu) byly srovnány roboty 3 výrobců – ABB, Fanuc a KUKA. Ze srovnání vyšly nejspolehlivější roboty výrobce KUKA, následované výrobcem Fanuc a ABB. Následně byla vytvořena metodika hodnocení výrobců průmyslových robotů v průmyslovém podniku a zpracována aplikace této metodiky na již srovnávané roboty. Nejvíce bodů v hodnocení získaly roboty výrobce Fanuc, poté KUKA a nejméně bodů roboty výrobce ABB. V rámci této práce byly zdokumentovány neshody ve Svařovně 1 Podniku A. Zanalyzovány byly pomocí metod, jako je Ishikawa diagramu a FMECA analýza a na základě této analýzy byla navržena doporučení: standardizace výrobních zařízení, vytvoření centrálního systému technické diagnostiky, jeho zpřístupnění zaměstnancům a zpřístupnění dat z robotů. Poslední kapitola se věnuje metodice a případové studii vyčítání dat z průmyslových robotů v rámci prostředí svařovny organizace. Případová studie popisuje aplikaci metodiky a nasazení programového systému do výrobního procesu organizace.

Použitá literatura

1. **KREJDL, M. a ŠMÍD, R.** *Technická diagnostika*. Praha : BEN - technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-158-6.
2. **TOMEH, E.** *Technická diagnostika*. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2015. ISBN 978-80-7494-174-0.
3. **ASQ.** What is reliability? [Online] [Citace: 9. Únor 2024.] <https://asq.org/quality-resources/reliability>.
4. **LEGÁT, V.** Spolehlivost a preventivní údržba. *Česká společnost pro jakost*. [Online] Prosinec 2006. [Citace: 9. Únor 2024.] https://www.csq.cz/fileadmin/user_upload/Clenstvi/Centra/Sborniky_spolehlivost/25_Spolehlivost_preventivni_udrzba.pdf.
5. **AUTOŘI EAST-GATE.** Klíčové ukazatele výkonnosti. *KPIs v systému údržby*. [Online] [Citace: 19. Březen 2024.] <https://www.east-gate.eu/cs/maintenance/kpi>.
6. **SIEMENS.** MTBF values. *Mean Time between Failure (MTBF)*. [Online] Listopad 2019. [Citace: 19. Březen 2024.] https://cache.industry.siemens.com/dl/files/490/16818490/att_838360/v3/16818490_mtbf_en.pdf.
7. **PATERMANN, J.** *LEAN Dilenské řízení*. Praha : Grada Publishing a.s., 2022. ISBN 978-80-271-3534-9.
8. **AUTOŘI BRITANNICA.** Robot. *Britannica*. [Online] 24. Říjen 2023. [Citace: 10. Listopad 2023.] <https://www.britannica.com/technology/robot-technology>.
9. **YASAR, K.** Robotics. *TechTarget*. [Online] Červenec 2023. [Citace: 2023. Listopad 7.] <https://www.techtarget.com/whatis/definition/robotics>.
10. **ÚSTAV PRO JAZYK ČESKÝ AKADEMIE VĚD ČESKÉ REPUBLIKY.** Robot. *Internetová jazyková příručka*. [Online] [Citace: 8. Listopad 2023.] <https://prirucka.ujc.cas.cz/?id=robot>.
11. **INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION.** About ISO/TC 299 Robotics. *ISO*. [Online] [Citace: 9. Listopad 2023.] <https://committee.iso.org/home/tc299>.
12. **INTERNATIONAL FEDERATION OF ROBOTICS.** Industrial Robots. [Online] [Citace: 3. Listopad 2023.] <https://ifr.org/industrial-robots>.

13. **AUTOŘI ROBOTS DONE RIGHT.** History of the Industrial Robot. [Online] [Citace: 12. Listopad 2023.] <https://robotsdoneright.com/Articles/history-of-the-industrial-robot.html>.
14. **AUTOŘI FACTORY AUTOMATION.** Průmyslové roboty: jaké jsou jejich druhy? [Online] 16. Březen 2018. [Citace: 10. Listopad 2023.] <https://factoryautomation.cz/prumyslove-roboty-2/>.
15. **WILSON, M.** *Implementation of Robot Systems: An introduction to robotics, automation, and successful systems integration in manufacturing.* Oxford : Butterworth-Heinemann, 2015. ISBN 978-0-12-404733-4.
16. **FAIRCHILD, M.** Types of Industrial Robots and Their Different Uses. *How To Robot.* [Online] 21. Srpen 2021. [Citace: 1. Prosinec 2023.] <https://howtorobot.com/expert-insight/industrial-robot-types-and-their-different-uses>.
17. **KUKA.** Robot: Jak funguje? [Online] [Citace: 1. Prosinec 2023.] <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%c5%beby/robotick%c3%a9-syst%c3%a9my/robot-clanek>.
18. **AUTOŘI ROBOTS DONE RIGHT.** Robotic Controller. [Online] [Citace: 1. Prosinec 2023.] <https://robotsdoneright.com/Articles/robotic-controller.html>.
19. **YASKAWA.** Type and Structure of Industrial Robots. [Online] [Citace: 1. Prosinec 2023.] <https://www.yaskawa-global.com/product/robotics/type>.
20. **SKAŘUPA, J.** Průmyslové roboty a manipulátory. [Online] 2007. [Citace: 10. Listopad 2023.] http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PRM/Text/Skripta_PRaM.pdf. ISBN 978-80-248-1522-0.
21. **LAW, M.** Top 10 industrial robotics companies in the world in 2023. *Technology Magazine.* [Online] 10. Únor 2023. [Citace: 24. Listopad 2023.] <https://technologymagazine.com/top10/top-10-industrial-robotics-companies-in-the-world-in-2023>.
22. **ABB.** Historie ABB Group. [Online] [Citace: 20. Listopad 2023.] <https://new.abb.com/cz/o-nas/historie-abb-group>.
23. **FANUC.** Kdo jsme. [Online] [Citace: 20. Listopad 2023.] <https://www.fanuc.eu/cz/cs/kdo-jsme>.
24. **KAWASAKI ROBOTICS.** About. [Online] [Citace: 24. Listopad 2023.] <https://kawasakirobotics.com/company/>.
25. **KUKA.** O společnosti KUKA. [Online] [Citace: 20. Listopad 2023.] <https://www.kuka.com/cs-cz/firma/o-spole%c4%8dnosti-kuka>.

26. **mitsubishi electric**. 100 years of Innovation. [Online] [Citace: 24. Listopad 2023.]
<https://www.mitsubishielectric.com/fa/business/history/innovation/index.html>.
27. **universal robots**. Naše historie. [Online] [Citace: 20. Listopad 2023.]
<https://www.universal-robots.com/cs/o-universal-robots/na%C5%A1e-historie/>.
28. **robotsoneright**. What are Robotic Axes? [Online] [Citace: 10. Listopad 2023.]
<https://robotsoneright.com/Articles/what-are-robotic-axes.html>.
29. —. Robotic Degrees of Freedom. [Online] [Citace: 10. Listopad 2023.]
<https://robotsoneright.com/Articles/robotic-degrees-of-freedom.html>.
30. **ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT**. ČSN EN 14610 (050007) - Svařování a příbuzné procesy. 2005.
31. **schinkmann**. Odporové svařování. [Online] [Citace: 10. Listopad 2023.]
<https://www.schinkmann.cz/odporove-bodove-svarovani>.
32. —. Bodové svařování. [Online] [Citace: 10. Listopad 2023.]
<https://www.schinkmann.cz/bodove-svarovani>.
33. **ESAB**. Co je laserové svařování a jak tato technika funguje? [Online] [Citace: 24. Listopad 2023.]
https://esab.com/cz/eur_cs/esab-university/blogs/what-is-laser-welding-and-how-does-the-technique-work/.
34. **PODNIK A**. *Interní a veřejné publikace podniku z roků 2023 - 2024*.
35. **robotsoneright**. Metoda FMEA a FMECA. *robotsoneright*. [Online] 2022. [Citace: 3. Duben 2024.]
<https://www.robotsoneright.cz/metoda-fmea-a-fmeca/>.
36. **schinkmann**. Švové svařování. [Online] [Citace: 10. Listopad 2023.]
<https://www.schinkmann.cz/svove-svarovani>.