



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

## ÚDRŽBA V PRŮMYSLU 4.0

MAINTENANCE IN INDUSTRY 4.0

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Rostislav Černý

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. et Ing. Alena Hájková

BRNO 2025

# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automatizace a informatiky  
Student: **Rostislav Černý**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Aplikovaná informatika a řízení  
Vedoucí práce: **Ing. et Ing. Alena Hájková**  
Akademický rok: 2024/25

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.1111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Údržba v průmyslu 4.0

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Průmysl 4.0 s sebou nese řadu výzev a jelikož je údržba jeho nedílnou součástí, musí odpovídat na jeho rostoucí požadavky. K inovaci údržby existuje celá řada přístupů a nástrojů. Hlavním cílem bakalářské práce je vytvoření důkladné rešerše zaměřené na aktuální přístupy k údržbě, včetně části věnované rizikům při jejich zavádění v technické praxi.

### Cíle bakalářské práce:

- 1) Vypracovat rešerši se zaměřením na údržbu a její vývoj v čase.
- 2) Popsat aktuální přístupy k zajištění údržby v technické praxi.
- 3) Identifikovat možná rizika při zavádění nových metod údržby a navrhnout opatření.
- 4) Formulovat závěry.

### Seznam doporučené literatury:

- [1] ČSN EN 13306. Údržba - Terminologie údržby. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [2] LEGÁT, Václav a kol. Management a inženýrství údržby. 1. vyd. Příbram: Kamil Mařík PBtisk, 2013. 570 s. ISBN 978-80-7431-119-2.
- [3] HELEBRANT, František. Technická diagnostika a spolehlivost, IV. Provoz a údržba strojů. 1. vydání. VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2008. 130 s. ISBN 978-80-248-1690-6.
- [4] JAMES, Ajith Tom, et al. Maintenance 4.0: implementation challenges and its analysis. International Journal of Quality & Reliability Management, 2023, 40.7: 1706-1728.  
<https://doi.org/10.1108/IJQRM-04-2021-0097>

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2024/25

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Zdeněk Hadaš, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zaměřuje na problematiku údržby a analýzu rizik při zavádění prediktivní údržby. Teoreticky je zde popsán historický vývoj údržby, vybrané moderní metody a proces analýzy rizik. Cílem je identifikovat rizika spojená se zaváděním prediktivní údržby, posoudit jejich možné následky a navrhnout vhodná ošetření rizik. Výsledkem práce jsou doporučení, která mohou napomoci efektivnímu a bezpečnému zavádění prediktivní údržby v praxi.

## **ABSTRACT**

The bachelor's thesis focuses on the issue of maintenance and risk analysis in the implementation of predictive maintenance. It provides a theoretical overview of the historical development of maintenance, selected modern methods, and the process of risk analysis. The objective is to identify risks associated with the implementation of predictive maintenance, assess their potential consequences, and propose appropriate risk treatments. The outcome of the thesis is a set of recommendations that can support the effective and safe implementation of predictive maintenance in practice.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Průmyslová údržba, prediktivní údržba, údržba 4.0, rizika, identifikace rizik.

## **KEYWORDS**

Industrial maintenance, predictive maintenance, maintenance 4.0, risks, risk identification.



ÚSTAV AUTOMATIZACE  
A INFORMATIKY



2025

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ČERNÝ, Rostislav. *Údržba v průmyslu 4.0*. Online, bakalářská práce. Alena HÁJKOVÁ (vedoucí práce). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2025. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/165911>.

## **PODĚKOVÁNÍ**

V první řadě bych rád poděkoval vedoucí bakalářské práce Ing. et Ing. Aleně Hájkové, za odborné vedení, trpělivost a ochotu při zpracovávání této bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval rodině a přátelům za podporu nejen při psaní této bakalářské práce, ale i v průběhu celého studia.

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, vypracoval jsem ji samostatně pod vedením vedoucího práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury.

Jako autor uvedené práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následku porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestně právních důsledků.

V Brně dne 22. 5. 2025

.....

Rostislav Černý

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>ÚDRŽBA V PRŮMYSLU .....</b>	<b>11</b>
2.1	Teorie údržby .....	11
2.2	Typy údržby .....	11
2.2.1	Reaktivní údržba (údržba po poruše) .....	13
2.2.2	Preventivní údržba .....	14
2.2.3	Údržba s předem stanovenými intervaly .....	14
2.2.4	Údržba podle stavu .....	14
2.2.5	Prediktivní údržba .....	15
2.3	Historie údržby .....	15
2.3.1	Vývojové etapy údržby .....	16
2.3.2	Údržba v průmyslu 1.0 .....	17
2.3.3	Údržba v průmyslu 2.0 .....	17
2.3.4	Údržba v průmyslu 3.0 .....	18
<b>3</b>	<b>ÚDRŽBA V PRŮMYSLU 4.0 .....</b>	<b>20</b>
3.1	Totálně produktivní údržba (TPM) .....	20
3.2	Údržba zaměřená na bezporuchovost (RCM) .....	21
3.3	Údržba na základě stavu (CBM) .....	22
3.4	Outsourcing údržby .....	23
3.5	Směrování údržby .....	24
<b>4</b>	<b>TEORIE RIZIK.....</b>	<b>26</b>
4.1	Posuzování rizika .....	26
4.1.1	Identifikace rizika .....	26
4.1.2	Analýza rizika .....	27
4.1.3	Hodnocení rizika .....	27
4.2	Ošetřování rizika .....	28
4.3	Matice rizik .....	28
4.4	Inspekce rizik (RBI) .....	29
4.5	Analýza příčin (RCA) .....	30
<b>5</b>	<b>RIZIKA ZAVÁDĚNÍ ÚDRŽBY .....</b>	<b>33</b>
5.1	Rizika v prostředí podniku .....	33
5.1.1	Organizační náročnost .....	33
5.1.2	Finanční náročnost .....	34
5.1.3	Technická zdatnost pracovníků .....	35
5.1.4	Zdraví a bezpečnost pracovníků .....	36
5.2	Rizika spojená s novou infrastrukturou vybavení .....	37
5.2.1	Implementace IoT .....	38

5.2.2	Využití výpočetních center a úschova dat.....	39
5.3	Rizika spojená s novým informačním systémem.....	40
5.3.1	Kybernetická bezpečnost .....	40
5.3.2	Zpracovávání velkého množství dat .....	41
5.4	Spolehlivost a dostupnost řešení .....	43
<b>6</b>	<b>HODNOCENÍ A SROVNÁNÍ RIZIK.....</b>	<b>45</b>
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>50</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>52</b>
	<b>SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ.....</b>	<b>56</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>57</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>58</b>

# 1 ÚVOD

Údržba je neodmyslitelnou součástí průmyslového procesu. Pohled na údržbu se však postupem času měnil. Z dob, kdy údržba byla vnímána pouze jako další velké náklady na provoz, se v současné době dostává ke komplexním metodám údržby. Moderní metody nejsou vnímány jako pouhé náklady, ale jsou vnímány jako investice do budoucího efektivnějšího a spolehlivějšího provozu strojního parku. Dále přináší velký posun v rámci vnímání bezpečnosti pracovníků, ale i životního prostředí. Avšak moderní metody nepřinášejí pouze výhody, ale nesou s sebou i řadu rizik.

Rizika jsou nedílnou součástí každého podnikového prostředí, a proto je nezbytné je včas identifikovat, analyzovat a adekvátně ošetřit, aby se předešlo závažným následkům. V kontextu zavádění moderních metod údržby je správná identifikace rizik klíčová. Bez důkladného prověření nelze zvolit nejvhodnější přístup, který bude efektivně odpovídat specifickým potřebám daného podniku.

Pro efektivní prověření jednotlivých přístupů je nezbytné rizika adekvátně ohodnotit. Hodnocení slouží k vizualizaci míry rizikovosti s ohledem na specifické podmínky podniku. Vzhledem k tomu, že význam a dopad jednotlivých rizik se může v různých podnicích výrazně lišit, nelze uplatnit jednotný návod pro výběr nejvhodnější metody údržby.

Tato bakalářská práce se nejdříve bude zabývat rešerší historického vývoje údržby a moderních metod údržby. V následující části bude provedena identifikace a následné hodnocení rizik v souvislosti se zaváděním moderních metod údržby. Práce si klade za cíl identifikování rizik spojených se zaváděním nových metod údržby a navrhnout k těmto rizikům opatření.

## 2 ÚDRŽBA V PRŮMYSLU

Údržba má v průmyslu dlouhou historii, v průběhu času bylo vyvinuto několik typů údržby. Na těchto typech údržby staví i moderní metody údržby. Typy údržby a historický vývoj bude více popsán v následujících kapitolách.

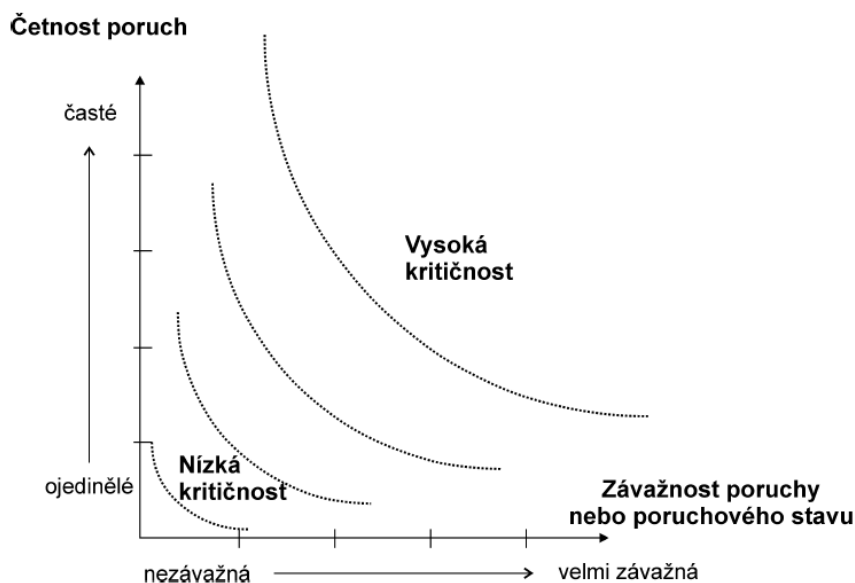
### 2.1 Teorie údržby

Údržba popsána pomocí normy ČSN EN 13306 je „*kombinace všech technických, administrativních a manažerských opatření během životního cyklu objektu zaměřených na jeho udržení ve stavu nebo jeho navrácení do stavu, v němž může vykonávat požadovanou funkci*“.

[1] Technické zásahy údržby zahrnují sledování a analýzy stavu objektu (například inspekci, monitorování, zkoušení, diagnostiku, předpověď) a zásahy aktivní údržby (například opravu, renovaci). [2] Cíle údržby jsou definovány normou jako „*cíle stanovené a přijaté pro činnosti údržby*“, mezi tyto cíle může patřit pohotovost, snížení nákladů, kvalita produktu, bezpečnost pracovníků, ochrana životního prostředí a hodnoty majetku. [2] Cíle určuje management výroby, který dále určuje strategie a odpovědnosti údržby. Ty management uplatňuje takovými prostředky jako je plánování, řízení a kontrola údržby, zlepšování metod v organizaci, včetně ekonomických hledisek. [3] Toho se dosahuje výběrem správné strategie údržby viz obr. 3, což je metoda používaná k dosažení cílů údržby. Plán údržby je soubor úkolů, do něhož jsou zahrnuty činnosti, postupy, zdroje a časové plánování nutné k provádění údržby. Důležitou součástí je i spolehlivost stroje, což je schopnost fungovat, jak je požadováno a kdy je požadováno. S tím souvisí termín požadované funkce, což je funkce nebo kombinace funkcí, které se požadují za nezbytné pro splnění daného požadavku. [1], [2], [3]

### 2.2 Typy údržby

Typů údržby je celá řada, proto je nutné důkladně zvážit výběr toho vhodného pro naše podmínky. Typ údržby je vybírán v závislosti na kritičnosti zařízení, ekonomických nákladech, dalším ukazatelem může být technická diagnostika. Ta nám pomůže zjistit potřebné informace o sledovaných objektech. Jsou monitorovány například změny vibračních charakteristik, teploty, znečištění oleje, netěsnosti a další možné ukazatele poruchy. Je možno tak zjistit symptomy poruch a následně pravděpodobnost vzniku poruchy. Podle takto získaných informací se vybírá nejvhodnější typ údržby. Při volbě strategie údržby se často používá matice kritičnosti viz obr. 1. [4]



Obr. 1: Matice kritičnosti [1]

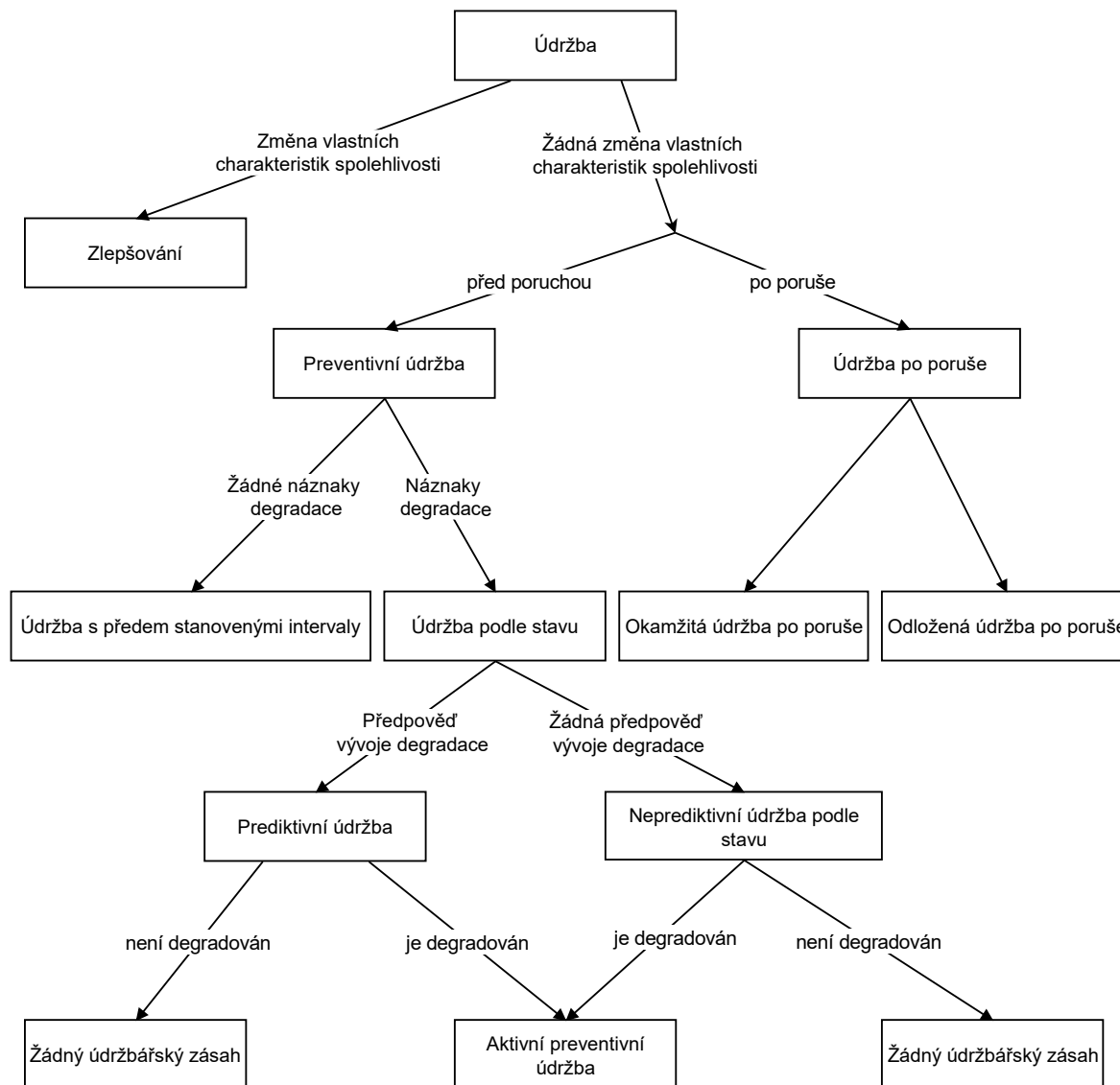
Další variantou, využitelnou pro výběr metody údržby, jsou kritéria jako délka trvání poruchy a frekvence poruch. Stroje jsou zařazeny podle každého kritéria do tří kategorií a následně je sestavena rozhodovací mapa viz obr. 2, kde je pro každou kombinaci doporučena strategie údržby. V této metodě je aplikováno 5 základních strategií údržby, od kterých se dále odvíjí výběr metody vhodné pro danou situaci.

Metody údržby:

- OTF – provoz do poruchy.
- FTM – údržba v pevném cyklu.
- SLU – zlepšení zručnosti obsluhy.
- CBM – údržba na základě stavu.
- DOM – změna konstrukce. [4]

		Trvání poruchového stavu		
		Nízké	Střední	Vysoké
Frekvence (Počet poruch za čas)	Nízké	OTF	FTM	CBM
	Střední	FTM	FTM	FTM
	Vysoká	SLU	FTM	DOM

Obr. 2: Rozhodovací mapa [4]



Obr. 3: Rozdělení údržby podle normy ČSN EN 13306 [1]

### 2.2.1 Reaktivní údržba (údržba po poruše)

Je to nejstarší typ údržby, který ovšem i v dnešní době má stále své opodstatněné místo. U strojů, kde při poruše nehrozí ovlivnění kvality výroby, bezpečnosti pracovníků nebo životního prostředí, je možné používat součást v plném období její životnosti. Výhody reaktivní údržby mohou být zároveň i její nevýhody, součástky ve stroji jsou totiž využívány až do poruchy a tím je maximalizovaná provozní doba stroje s originálním dílem a tím jsou sníženy finanční prostředky vynaložené na údržbu stroje v průběhu životnosti součástky. Mohlo by se zdát, že během tohoto období jsou šetřeny finanční prostředky, ne vždy to tak ale musí být. Při poruše může dojít k poškození důležité součástky, a to může vést k poškození přiléhajících součástí. Zároveň je potřeba mít na skladě připravené větší množství náhradních součástí pro provedení oprav. Navíc pokud dojde k poruše stroje, který je součástí hlavní části výroby, může dojít k velkým finančním ztrátám, jelikož je pozastavena výroba. I při této metodě údržby

je však možné dosáhnout určitého plánování, pokud porucha nevyžaduje okamžitý zásah (např. porouchala se součástka, která má minimální vliv na produktivitu a funkčnost stroje). Dále může dojít k částečné poruše, kdy stroj funguje, ale pouze při sníženém výkonu, pak je odstávka a oprava naplánovaná na dobu, kdy není činnost daného stroje požadována. [4], [5]

### 2.2.2 Preventivní údržba

Preventivní údržba, která se dále dělí na údržbu s předem stanovenými intervaly (kapitola 2.2.3) a na údržbu podle stavu (kapitola 2.2.4). Je založená na monitorování charakteristik a parametrů stroje a následných činnostech údržby. Nejstarší a nejjednodušší metody se zakládají na zkušenosti pracovníka. Za pomoci lidských smyslů je zkušený pracovník schopen posoudit technický stav stroje, například podle charakteristického hluku, přehřátí, netěsnosti nebo zhoršení stavu povrchu. Technický pokrok v odvětví snímačů a senzorů nám umožňuje výrazně lépe monitorovat parametry a stav stroje. Zároveň s tím se zlepšila i úroveň zpracovávání a vyhodnocování získaných dat, díky tomu je možné lépe určit objektivní stav zařízení. První způsob je nepřetržitý monitoring parametrů, tato metodu je používána u zařízení, kde se parametr může změnit neočekávaně a u kritických zařízení provozu. Druhý způsob je provádět kontrolu parametrů v předem stanovených intervalech. [4]

### 2.2.3 Údržba s předem stanovenými intervaly

Tento způsob údržby se zakládá na pravidelných kontrolách, ať už v daném termínu, nebo po určitém množství odvedené práce. Využívá se v případě, kdy ke změně parametrů dochází v delším časovém horizontu, nebo u zařízení, které nehrají ve výrobě klíčovou roli. Frekvence kontrol a oprav je velmi náročná na plánování, není-li dostatek dat ze statistického sledování objektů. Frekvence se tak často určuje odhadem, poté může docházet k neočekávanému chování strojů a v jiných případech se může údržba projevit jako zbytečná, jelikož součást byla ještě ve funkčním stavu schopna práce i v následujících pracovních cyklech. Pokud je tento styl údržby opodstatněný korektními daty, musí se hledat optimální balanc mezi náklady na odstávku stroje v rámci údržby a náklady, které vzniknou v důsledku neočekávaného odstavení stroje po poruše. Základní přednost tohoto způsobu údržby je, že k údržbě dochází pouze tehdy, kdy je objektivně potřebná, tím se šetří jak čas, tak finanční prostředky. Metoda však přináší potřebu vysokého stupně plánování, ale je možné snížit náklady v porovnání s údržbou po poruše. Dochází k minimalizování poruchových stavů, získává důležité informace o vlastnostech zařízení, zlepšuje bezpečnost a minimalizuje negativní dopad na životní prostředí. Je ale velmi důležitá správná práce s daty, jak jejich uchování pro dlouhodobé statistiky, tak pro jejich analyzování. Problémem ale může být, pokud jsou časové intervaly mezi opravami nastaveny špatně, pak může docházet ke zbytečně vysokým nákladům a případně způsobit poruchy opakovanou demontáží a montáží zařízení. [4], [5]

### 2.2.4 Údržba podle stavu

Systém údržby, který respektuje skutečný technický stav zařízení. Stroje a zařízení jsou odstaveny pouze tehdy, je-li dosaženo mezního stavu opotřebení, či překročily přípustné tolerance opotřebení. Za pomoci metod technické diagnostiky je detekována porucha,

lokalizováno místo možné poruchy a místo možného následného defektu a jeho druh. Diagnostická měření mohou probíhat formou časových cyklů, na objednávku nebo nepřetržitým monitoringem. Je to systém postaven na principu údržby zařízení podle jejich skutečného technického stavu, který byl zjištěn pomocí diagnostických metod. [5], [6]

### 2.2.5 Prediktivní údržba

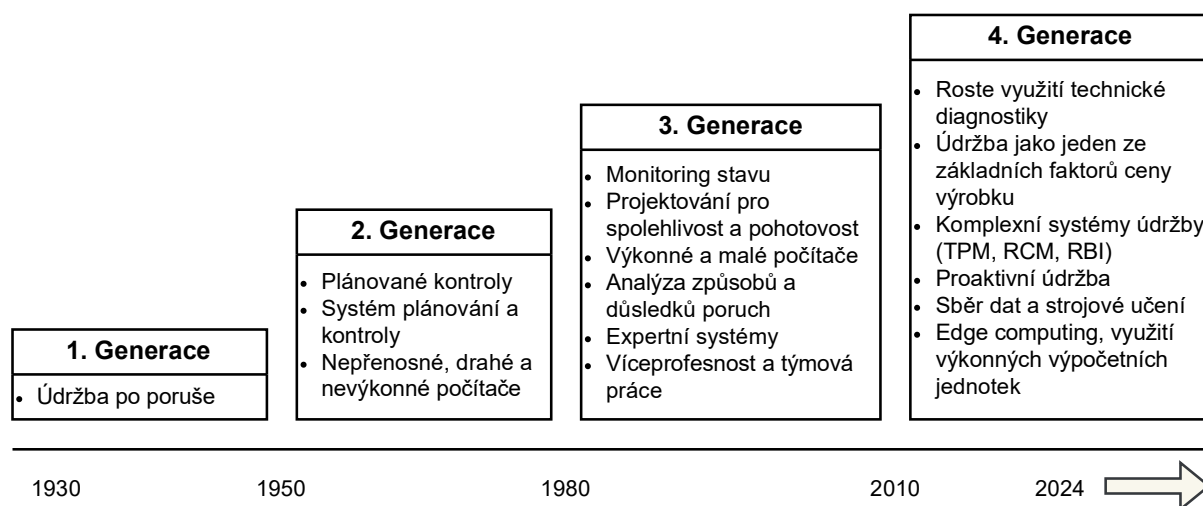
Tato metoda využívá vyhodnocování předem nasbíraných dat a schopnost vyhodnotit získaná data a na jejich základě předvídat budoucí vývoj stavu zařízení a určit tak potřebné kroky k zamezení nepříznivých stavů. Metoda je možná díky zdokonalování a zvýšené dostupnosti potřebné techniky. Využívá také již vyvinuté postupy k vyhodnocování získaných informací a v mnohém může čerpat z metody preventivní údržby. Nejvýznamnějším pomocníkem je technická diagnostika, která má velké množství metod určených ke zjišťování stavů sledovaných objektů. Odhaluje tak příčiny vzniku potenciálních poruch (například změna teploty, znečištění mazacího oleje, změna vibračních charakteristik). [4]

Metodu prediktivní údržby je možno dále rozšířit o proaktivní údržbu. Ta se opírá o již získaná data využívaná k provádění prediktivní údržby. Namísto poruchy se však zabývá důvodem vzniku této poruchy. Monitoruje problémové stavy a snaží se jim předcházet. Slouží proto jako prostředek pro dosažení úspor a zvýšení účinnosti a efektivnosti výroby. Hlavní příčinou poruch je často špína či jiná forma znečištění, která ovlivňuje funkci akčních součástí. Na základě získaných informací o tom, kde vnější vlivy působí největší problémy, by tyto vnější vlivy měly být odstraněny, nebo by měla probíhat jejich častá kontrola. Prvním krokem implementace této metody by tudíž mělo být zavedení kontroly mazacích a hydraulických kapalin a prostředků. [6]

## 2.3 Historie údržby

Vzhledem k rychlosti růstu populace se musel průmysl přizpůsobit požadavkům stále většího počtu odběratelů. S rostoucím počtem továren, strojů a pracovníků bylo třeba zajistit efektivní způsob výroby a s tím souvisí i efektivnější způsob údržby strojů. Přestože některé metody údržby se používají dodnes, došlo k velmi výraznému pokroku. V minulosti nebyl dostatečný počet zkušených osob a nebylo k dispozici tak velké množství metod údržby. Proto se dlouhou dobu a zřídka kdy u nekritických strojů i dodnes používá reaktivní údržba. Reaktivní údržba byla v historii používanější než dnes. Příčinou byla jednodušší konstrukce strojů (byly jednodušší a z toho důvodu byl menší počet součástí, u kterých mohlo dojít k poškození). Navíc bývaly součástky z důvodu větší životnosti a menšího tlaku na nízkou cenu více předimenzované, to mohlo vést k dojmu, že reaktivní údržba je dostačující. Rovněž, na rozdíl od současnosti, nebyly tehdy dostupné tak pokročilé metody údržby.

Údržba se postupem času a s vývojem průmyslu začala dělit do generací dle vývoje a nových požadavků provozovatele. V první generaci byl kladen největší důraz na to, aby pracovníci údržby byli schopni odstranit poruchový stav co nejrychleji, při současně snaze o minimalizaci nákladů. Postupem času byla konstrukce strojů a výrobní technologie na nich provozována složitější. Bylo proto třeba přejít na druhou generaci údržby, kde se kladl důraz na ještě větší rychlost odstranění poruchového stavu, ale také na vyšší životnost samotných součástí. Provozovatelé se rovněž snažili dále snížit náklady na údržbu. Dalším vývojovým krokem byla třetí generace, která se potýká s novým problémem, a to, aby se snižoval škodlivý efekt na životní prostředí a zdraví pracovníků. Krom toho dále probíhá snaha zvyšovat kvalitu a životnost součástí a tím docílit vyšší životnosti stroje a dosáhnout tak větší efektivity nákladů na údržbu. Ve čtvrté generaci je údržba chápána více jako investice než jako pouhý výdaj. Roste využití technické diagnostiky, s tím souvisí sběr velkého množství dat ze strojů. K tomuto sběru dat jsou čím dál častěji využívány technologie IoT. Pro zpracování a vyhodnocení dat se začínají používat různé algoritmy a roste i použití umělé inteligence. Na těchto moderních systémech dále staví nové metody údržby jako jsou TPM (kapitola 3.1), RCM (kapitola 3.2), a CBM (kapitola 3.3). Jednotlivé generace a pro ně klíčové metody a technologie jsou zobrazeny na obr. 4 a budou více rozebrány v následujících kapitolách. [4], [7]



Obr. 4: Generace údržby (převzato a doplněno z [4])

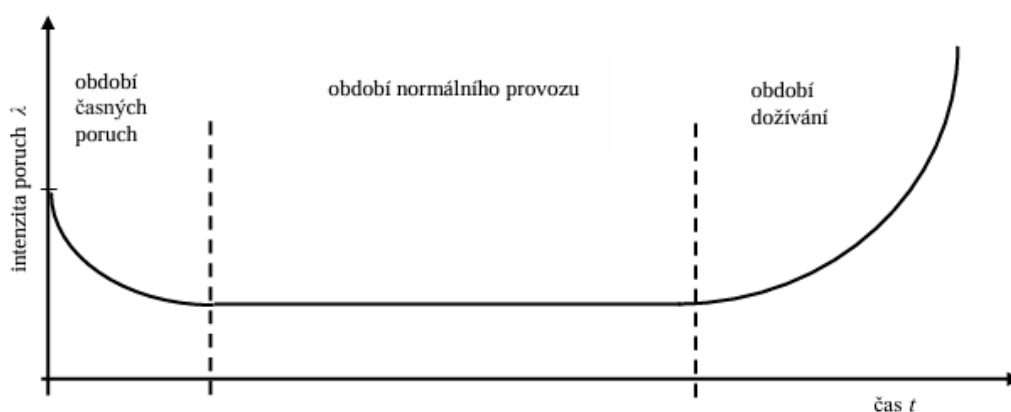
### 2.3.1 Vývojové etapy údržby

Velký vliv na vývoj organizace a strategie údržby měla změna pohledu na vznik poruchy zařízení. V první generaci se charakterizoval časový průběh poruch pomocí křivky úmrtnosti, kde po delším čase s konstantě nízkou intenzitou poruch se jejich intenzita zřetelně zvyšuje.

V druhé generaci byl časový průběh poruch charakterizován vanovou křivkou zobrazenou na obr. 5. Kde se pravděpodobnost poruch po překonání počáteční fáze (fáze záběhu) snižuje a po překonání fáze konstantní četnosti poruch se chová v souladu s křivkou úmrtnosti. [8] Vzhledem k vyšším požadavkům majitelů a provozovatelů na pohotovost, životnost, spolehlivost zařízení, a s lepší znalostí průběhů poruch se rozhodujícím typem

údržby stává preventivní údržba. V řízení údržby byl zaveden systém plánování a následné kontroly prováděných činností. V menší míře se k těmto účelům začaly používat počítače. Výsledky výzkumu v období 70. letech 20. století, který proběhl ve Spojených státech amerických, však tyto tradiční názory a poznání nabouraly. Byly totiž zjištěny další čtyři průběhy intenzity poruch, přičemž ty klasické představovaly jen malou část z nich.

Ve třetí generaci se výrazně rozšířilo množství nástrojů a typů údržby, což bylo umožněno využitím výkonnější výpočetní techniky. S rostoucí poptávkou a zefektivněním výroby se totiž stala dostupnější pro všechny úlohy, které má údržba řešit. Díky lepší výpočetní technice a vzrůstajícím nárokům se při projekci a konstrukci začalo více dbát na spolehlivost, bezpečnost a ochranu zdraví lidí. Začalo se vyvíjet velké množství přístrojů na monitorování stavu zařízení a byly vyvinuty nové metody diagnostiky zařízení. Všechny tyto kroky vedly ke vzniku nových typů údržby: údržba podle stavu a podle předpokládaného stavu (prediktivní). Jednotlivé vývojové etapy údržby budou více rozebrány v následujících kapitolách. [4]



Obr. 5: Vanová křivka [8]

### 2.3.2 Údržba v průmyslu 1.0

Průmysl 1.0 více známý jako průmysl za první průmyslové revoluce, je změna, která probíhala od 18. do 19. století. Největší změnou prošly zemědělské, výrobní a těžební sektory. Začalo se od ruční práce přecházet k manuální a tovární výrobě. Od kusové výroby se díky strojům a efektivnější výrobě začalo přecházet na systém hromadné výroby jednoho produktu. S touto změnou přišly mnohé výzvy i v rámci údržby. Z důvodů vyšších požadavků na množství vyrobených produktů začal růst i požadavek na kvalitu strojů a součástek, ze kterých se skládaly. V této době byla údržba řešena metodou dnes nazývanou „reaktivní údržba“. V normálním provozu docházelo pouze k čištění a mazání stroje, jakmile došlo k poruše, byla součástka vyjmuta a vyměněna. V této fázi mohlo docházet k úpravě konstrukce, aby nedošlo k dalšímu selhání dané součástky. [4], [7]

### 2.3.3 Údržba v průmyslu 2.0

Mezi lety 1870 až 1914 dochází ke změně poptávky a už nestačí, aby podnik vyráběl velké počty jednoho výrobku, ale musí být schopný vyrábět velké množství různých produktů. V počátcích druhé průmyslové revoluce byl největší tlak na to, aby podnik byl schopný vyrábět

velké množství produktů. Toho například Ford dosáhl tím, že produkt vyráběl na výrobní lince. Jelikož však zákazníkům už nestačil pouze jeden typ produktu, musel být vymyšlen nový postup pro naplnění poptávky po různých produktech. Ve společnosti General Motors toho bylo dosaženo tak, že byla vyvinuta divizní struktura podniku, kde každá divize měla na starost jeden model. Nejlepší způsob byl vyvinut firmou Toyota, ta vyvinula systém výrobní linky tak, jak ji známe dodnes. Jednotlivé součástky jsou vyráběny v dílnách, které jsou rozděleny dle prováděných operací. Součástky jsou pak na výrobní lince montovány do finálního produktu, odtud nový název montážní linka.

Rozsáhlé změny v procesu výroby přináší i nové výzvy v oblasti údržby. Nová a jednoduchá metoda údržby se zakládala na tom, že více komplexních finálních produktů mělo velké množství stejných a vzájemně nahraditelných součástek. Bylo tak možné velmi jednoduše provádět údržbu komplexních zařízení. Začaly se také rozvíjet pokročilejší metody. Byl položen základ metod závislých na sběru dat, data poté byly používány k rozeznávání typů poruch mezi očekávanými a neočekávanými. Na základě posbíraných dat se mohla provádět plánovaná kontrola a údržba. Vedené záznamy o poruchách odhalovaly určité intervaly, kdy nejčastěji dochází k poruše a díky tomu mohla proběhnout plánovaná údržba dříve, než došlo k poruše. Jelikož však v této době nebyly k dispozici počítače, výpočty a uchovávání dat probíhaly ručně a zaznamenávaly se na papír. To celý proces zpomalovalo, ale i přes tyto překážky došlo k velkému posunu v rámci údržby. [9], [10], [11]

### 2.3.4 Údržba v průmyslu 3.0

Začátek třetí průmyslové revoluce se datuje do padesátých let 20. století. Byl charakterizován přechodem od mechanických a analogových technologií k digitálním systémům. V tomto období došlo k významnému technologickému pokroku, který vedl k inovacím v průmyslu. Třetí průmyslová revoluce významně ovlivnila průmyslovou výrobu, vedla k automatizaci a umožnila větší využití mikroprocesorů, počítačů a internetu.

Výrobní stroje používané k výrobě v tomto období byly řízeny pomocí integrovaných obvodů. Došlo k nárůstu počtu společností vyrábějících stejné produkty, což vedlo ke zvýšení konkurence. Firmy proto musely konstruovat výrobní stroje a linky tak, aby umožňovaly častější změnu vyráběného sortimentu. Vysoká poptávka nutila podniky k zajištění nepřetržitého provozu strojů a splnění rostoucích výrobních požadavků. Konstrukteři proto kladli stále větší důraz na spolehlivost a kvalitu výrobních zařízení.

Tento technologický pokrok měl zásadní dopad na průmyslovou údržbu, která se vyvíjela směrem k sofistikovanějším metodám, jako je prediktivní údržba či údržba založená na monitorování stavu strojů. Tyto moderní přístupy umožňují využití pokročilých diagnostických technik, jako jsou termokamery či analýza vibrací, což vede k optimalizaci provozu a snížení nákladů na údržbu. Tyto metody dovolují pracovníkům údržby provádět diagnostiku strojů na vyšší úrovni a tím dosahovat vyšší efektivity. Díky tomu byly podniky schopny optimalizovat dostupnost strojů a výrazně snížit náklady na údržbu. [12], [13]

Strategie údržby v tomto období se řadí mezi metody údržby třetí generace. Spolu s rostoucí komplexností a automatizovaností výroby vedly i ke komplexnějším metodám údržby. K provádění těchto metod bylo využíváno výpočetní techniky. V tomto období se

začaly používat metody jako je údržba na základě stavu, údržba zaměřená na bezporuchovost a veškerá údržba byla řízena počítačovým rozhraním. [14]

### 3 ÚDRŽBA V PRŮMYSLU 4.0

Příchod průmyslu 4.0 otevřel nové možnosti k transformaci údržby do údržby čtvrté generace. Nejedná se o revoluční skok, jelikož se užívá stejné podstaty při údržbě. Jedná se spíše o evoluci, kde je údržba podle stejné podstaty, ale s využitím modernějších technologií. Změnou prochází převážně informační systém. Ten umožňuje komplexnější řízení údržby, s cílem zvyšovat produktivitu údržby a zlepšovat pohotovost zařízení při optimálních nákladech na samotnou údržbu. [15]

V 90. letech 20. století, započal vývoj metody inspekce rizik, která nabyla na větší popularitě po roce 2000. Čtvrtá generace údržby je zaměřená hlavně na komplexní metody údržby jako jsou RBI, RCM a CBM. Do roku 2000 byly bezpečnost a údržba vnímány jako oddělené aktivity. V rámci komplexních metod bylo možno tyto dvě aktivity spojit a tím zvýšit efektivitu pracoviště. Obecný cíl údržby je zvýšit výdělečnost výroby a optimalizovat životnost zařízení. Bere velký ohled na to, aby nebyla ohrožena bezpečnost pracovníků ani životního prostředí. Inspekce a plánování údržby na základě analýzy rizik minimalizuje pravděpodobnost poruchy systému a omezuje následné nežádoucí účinky (více v kapitole 3.4). [14]

Technologie v průmyslu 4.0 mají velký vliv na údržbu. Díky monitorování dat o stavu stroje je údržba efektivnější. Přesná a včasná detekce závad nebo poruch předtím, než se plně projeví, je díky moderním metodám a možnostem daleko jednodušší a přinese výhody, jako jsou snížení času odstávek a dobu servisu a s tím spojené výdaje na tyto operace. Implementace inteligentního systému pro prediktivní údržbu přináší výhody jako jsou sledování stavu stroje a predikce času do údržby díky zařízením propojených skrz IoT. Dalším krokem je přímý zásah do provozu stroje, kdy v případě náhlé chyby může být stroj automaticky zastaven tak, aby nedošlo k vážné poruše. Industriální IoT umožňuje propojení fyzických systémů tak, aby zařízení mezi sebou sdílela všechna potřebná data, která jsou nadále sbírána a zpracovávána. Analýza těchto dat přispívá ke zdokonalování algoritmů pro vyhodnocování prediktivní údržby. Je taky přínosná pro řízení logistiky náhradních dílů pro stroje v provozu. [16]

#### 3.1 Totálně produktivní údržba (TPM)

Na základech položených metodou prediktivní údržby se dále staví i u nejmodernějších metod. Příkladem může sloužit systém totálně produktivní údržby (TPM). Metoda se snaží maximalizovat celkovou účinnost a výkonnost zařízení. Je mimo jiné založena na znalostech a dovednostech pracovníků, proto je třeba tyto znalosti a dovednosti dále zlepšovat. Eliminuje tak největší ztráty účinnosti, kterými jsou: poruchy, chod na prázdno, výrobu zmetků, seřizování, snížená výtěžnost a ztráty najížděním. Jelikož k poruše nejčastěji dochází z důvodu, že není včas odstraněna základní příčina problému, klade tato metoda největší důraz na to, aby zařízení pracovala v odpovídajícím prostředí. Dle zdroje [4] zní hlavní moto této metody následně „*Chraň si svůj stroj a starej se o něj vlastníma rukama*“. Podle této myšlenky je obsluha zodpovědná za technický stav stroje, jsou tak právě obsluze přiděleny úkony běžné údržby (čištění, mazání, kontrola a úkony jim podobné). Pokročilejší a náročnější údržbu

provádí již odborník, který se však opírá o poznatky získané operátorem. Operátor, který u stroje stráví nejvíc času, se učí stroji porozumět a pozorovat jeho chování. Následně pak může díky těmto znalostem odhalit problém dříve, než dojde k poruše. TPM takto maže rozdíly mezi pracovníky údržby a výroby a ze dvou týmů v podstatě vytváří jeden sehraný celek, kterému jde v první řadě o maximální efektivitu výroby.

Metoda TPM je postavena na 8 hlavních pilířích:

1. Autonomní údržba – údržbu vykonává obsluha stroje, zajištění normálního chodu stroje, eliminace znečištění stroje, standardy čištění a mazání, organizace a pořádek. Umožňuje specializovaným technikům soustředit se na složitější úlohy údržby.
2. Neustálé zlepšování – klíčovým principem TPM je neustále zlepšování. Požaduje zapojení celého týmu do myšlení a pravidelné spolupráce při zavádění malých, pravidelných zlepšení.
3. Plánovaná údržba – vybudování informačního systému a následný sběr a zpracování dat. Pravidelná obnova opotřebovaných součástí předpovídání a identifikace příznaků poruch. Plánovaný údržbářský program, vedoucí ke zvýšení výkonnosti údržby.
4. Systém pro návrh preventivní údržby a včasný management zařízení – koncept, konstrukce a výroba zařízení. Organizace a řízení údržby, sledování nákladů, projektování a management preventivní údržby.
5. Hodnocení celkové efektivnosti strojů a zařízení – snaha o eliminaci hlavních typů plýtvání ve využití zařízení. Prostoje způsobené změnou výroby, krátkým výpadkem stroje, snížení rychlosti, zmetkovou výrobou a její nápravou.
6. Trénink pro zlepšení zručností pracovníků – základy TPM, jak komunikovat v týmu, metody autonomní a plánované údržby.
7. Ochrana životního prostředí a bezpečnost – bezpečnostní úkoly jsou prováděny operátory zařízení, aby bylo zachováno bezpečné pracovní prostředí.
8. TPM v administrativě – rozšíření výhod TPM za hranice výrobního závodu a aplikaci principů TPM na administrativní funkce, včetně zpracování objednávek, nákupu a plánování. [4], [5], [6]

### 3.2 Údržba zaměřená na bezporuchovost (RCM)

Dle oficiálního překladu údržba zaměřená na bezporuchovost je typ údržby zpravidla pro složitá zařízení a má za cíl zajistit co největší bezporuchovost. Historie vzniku této metody sahá až do 60. let minulého století, kdy začala vznikat nová disciplína, a to inženýrství spolehlivosti. Inženýři v této disciplíně postupně došli k závěru, že většina preventivních zásahů by měla být provedena před nárůstem intenzity poruch. Při těchto zásazích měla být zajištěna výměna téměř všech dílů a tím bylo zařízení uvedeno téměř do nového stavu. Proto se preventivní údržba prováděla formou generálních oprav v čase blízkém nárůstu poruch dle vanové křivky. Avšak po výzkumu provedeném v USA bylo zjištěno, že ne všechny součástky, ale dokonce minimum součástí se chová dle vanové křivky. Naopak bylo zjištěno, že většina součástí po průchodu

oblastí časných poruch se nachází v oblasti s konstantní intenzitou poruch. V této oblasti je však porucha zařízení náhodné povahy. Konstantní intenzita poruch znamená, že ani provedení preventivní údržby nepředěje poruše.

Hlavní snahou této metody je zachování funkce systému, zároveň probíhá důkladný monitoring součástí. Pokud dojde k poruše součásti, jsou zaznamenány veškeré informace o poruše. Informace obsahují: u které funkce došlo k poruše, jakým způsobem došlo k poruše, jaké tato porucha měla následky a jak kritická porucha byla. Na základě těchto informací se sestaví použitelný a efektivní plán preventivních činností. Analýza kritičnosti poruchy se používá jako způsob hodnocení. Hodnocení by mělo být zaznamenáváno v průběhu analýzy RCM a docílit tak přijatelné úrovně rizika. [4], [5]

### 3.3 Údržba na základě stavu (CBM)

Údržba na základě stavu (CBM) je standardní termín, používaný k popisu strategií údržby, zaměřujících se na reálný stav sledovaného objektu, který je monitorován užitím programů na monitorování stavu. Tato metoda umožňuje diagnostikovat hrozící poruchy v reálném čase a predikovat budoucí stav zařízení. Rozhodnutí provést údržbu je zde prováděno na základě monitorování stavu zařízení a jeho součástí a dodatečně i na základě predikce budoucího stavu zařízení. Díky využití údržby na základě stavu zvětšujeme časové okno, kdy je možné sledovat stav zařízení a tím pádem i okno, kdy je možné provést potřebnou údržbu viz obr. 6.

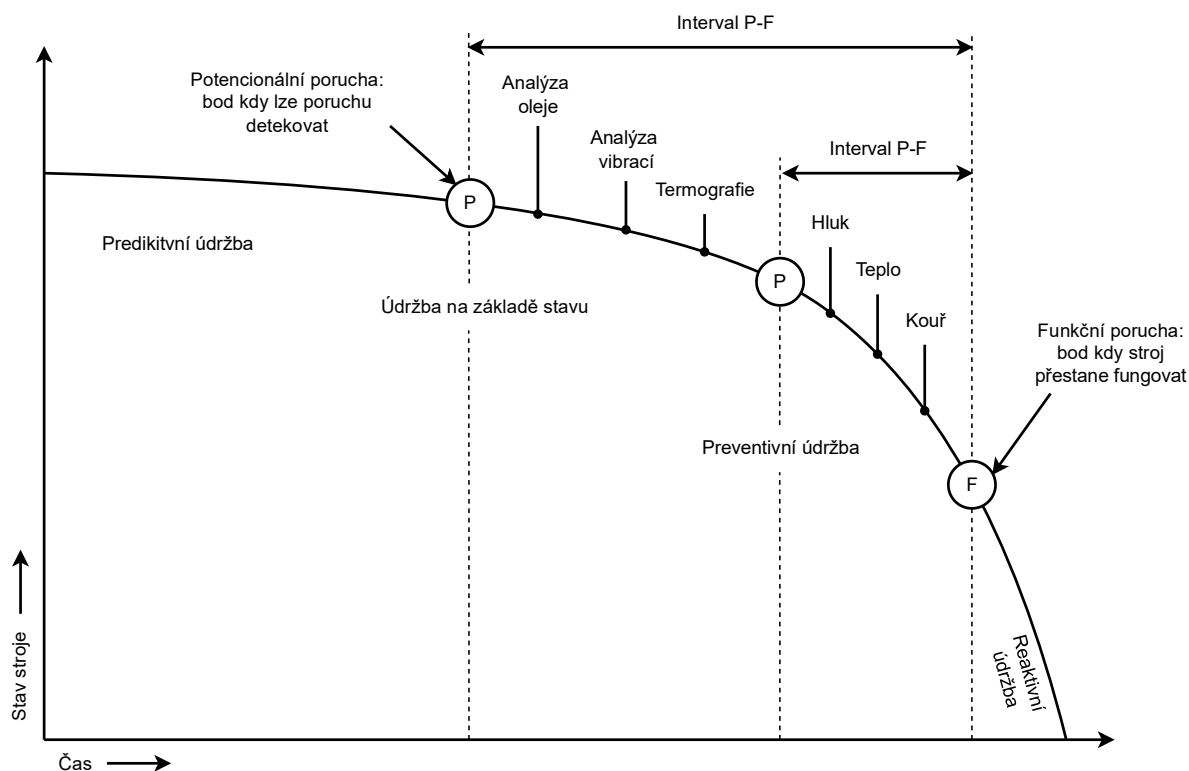
V průmyslové praxi tato metoda zahrnuje zásah údržby vyvolaný analýzou a interpretací dat ze sledovaného objektu, na základě předem stanovených rozhodovacích pravidel, přičemž celý proces tvoří integrovaný systém. Diagnostické a prognostické části metody CBM těží z využití strojové inteligence, která umožňuje propojit naměřená data a parametry s aktuálním i budoucím stavem zařízení.

Díky vývoji nové generace senzorů, které jsou určeny pro online sběr dat v reálném čase a zkoumání získaných dat, je možné odhadovat budoucí stav zařízení. Dalším krokem, který by mohl posunout tuto metodu na úroveň proaktivní údržby je to, aby na základě naměřených dat byla generována upozornění s doporučením akce údržby. U tohoto přístupu je důležité sledovat a vyhodnocovat veškeré poruchy a události. Při správném porozumění těmto chybám mohou být odhady budoucího stavu a rozmezí bezpečných hodnot zpřesněny. Tato metoda by měla vést ke snížení nákladů na údržbu, ale je třeba sledovat, zda zásahy vykonané při údržbě přispěly ke zvýšení efektivity v dlouhodobém měřítku. Případně je nutné postupy upravit a optimalizovat. Při této metodě údržby může docházet ke dvěma typům chyby. Porucha vznikne před dosažením odhadované hranice životnosti. Druhá chyba nastane, když k poruše nedojde ani po překonání odhadované hranice životnosti.

K prediktivnímu způsobu údržby existují tři přístupy:

- Modelově založený přístup: spoléhá na detailní znalost systému, jeho využití je však omezené kvůli vysoké komplexnosti moderních průmyslových systémů.
- Datově řízen přístup: vyžaduje historická data a parametry z monitorovaného systému, vyžaduje techniky strojové inteligence a systému na rozpoznávání opakujících se situací, pro zpracování rozhodnutí o údržbě.

- Hybridní přístup: spojuje přístupy dvou předchozích metod, spojuje detailní informace o stroji s daty ze snímačů. [17], [18], [19]



Obr. 6: Vizualizace intervalu P-F CBM v porovnání s preventivní údržbou [18], [19]

### 3.4 Outsourcing údržby

Outsourcingem údržby se rozumí metoda údržby, kdy je údržba v podniku prováděna externí firmou specializující se na údržbu. Typ údržby, který je v mnohých podnicích možný a populární, díky možnosti nezabývat se procesy údržby a soustředit se pouze na procesy výroby. Vzhledem k tlaku na výkonnost a efektivnost firmy dochází ke snižování vlastní práce na údržbě. Pro velké provozy to ze začátku může znamenat zabezpečení dostatečného počtu pracovníků údržby v období plánovaných odstávek. Jestliže se tato strategie projeví jako efektivní, firma si vytvoří svůj tým údržby, který se bude starat výhradně o objednávání služeb externí firmy. Sniží se tak počet zaměstnanců a tím i výdaje během období kdy nejsou plánované odstávky. Důležité je také srovnání, jakým způsobem je externí partner schopný provádět požadovanou údržbu. Měl by dosahovat stejné nebo lepší kvality, za stejnou nebo nižší cenu, ve stejném či nižším časovém období. Externí firma je zavázána provádět údržbu v rozsahu uvedeném ve smlouvě. Rozsah je vybrán zadavatelem tak, aby co nejlépe splňoval nároky provozu a dosahoval tak nejvyšší efektivity. Spolupráce dvou firem vnáší do procesu i nejistoty a rizika, je třeba proto zvažovat, jak velké množství pravomocí bude firmě uděleno. Pokud bude zadavatel nespokojen s dosahovanými výsledky, dojde k ukončení spolupráce a ke zpětnému převzetí údržby. [4], [6]

### 3.5 Směřování údržby

Údržba je klíčovou funkcí pro implementaci řešení v souladu s konceptem průmyslu 4.0, přičemž prediktivní údržba a její využití pro prognózu stavu strojů patří mezi aktuální témata v této oblasti. Hlavním cílem je zjistit, jak údržba a technická diagnostika mohou využít výhod vznikajících díky postupné digitalizaci výroby. [20]

Údržba využívá široké množství technologií, které z počátku nebyly určeny přímo pro ni, ale byly vyvinuty za jiným účelem. Díky novým volně dostupným technologiím, jako jsou bezdrátové senzory, mikro elektro-mechanické systémy, rozšířené snímání a strojová inteligence, mohou tyto technologie tvořit nedílnou součást modernizace údržby. Bezdrátová komunikace zažívá obrovský růst ve všech odvětvích. Zbavení se potřeby vést kabely až k dané elektronice má spoustu výhod, převážně jednoduchost montáže zařízení a zmenšení rozměrů zařízení. Distribuované bezdrátové monitorování se již dnes stává realitou a nadále se rychle vyvíjí. Výchozím bodem je systémová architektura bezdrátového senzoru, přičemž klíčovým faktorem je konektivita jako součást širšího údržbového systému. Vnitřní výpočetní kapacita senzorů umožňuje provádět základní diagnostické funkce, jako jsou například analýzy trendů, prognózy a rozhodovací procesy. Zároveň umožňuje komunikaci s indikátory stavu zařízení. Software určený pro vzdálené a automatizované monitorování, který by zajistil spolehlivý provoz bez nutnosti lidského zásahu, zůstává klíčovou výzvou pro úspěch těchto systémů. Pro rozšíření těchto nových zařízení do oblasti bezobslužného monitorování budoucích aplikací bude zásadní integrace znalostí a postupů přímo do těchto technologií.

Zmenšování zařízení a tím i snížení energetických nároků je běžným trendem v mnoha oblastech průmyslu. Spolehlivé elektrické připojení však často závisí na relativně velkých konektorech a kabelech, a to i v případě velmi slabých signálových proudů. Použití bezdrátových zařízení přineslo významný pokrok v oblasti miniaturizace, protože odstranění kabelových spojů výrazně snižuje hmotnost a objem zařízení. Další výzvou je nyní zmenšení velikosti a odstranění připojení u vyměnitelných baterií.

Použití více cenově dostupných senzorů umožňuje získávat vysoce detailní měření na rozsáhlé ploše, přičemž senzory mohou vzájemně lokálně komunikovat. Klíčový pokrok spočívá v miniaturizaci měřicích prvků, které umožňují sledovat fyzikální jevy. Některé MEMS senzory obsahují více měřicích prvků pro různé parametry na stejném substrátu. Další významnou funkcionalitou je lokální zpracování dat, ať už přímo v senzoru nebo v přidružené elektronice, což výrazně zvyšuje schopnosti "chytrého" snímání. Přesto však požadavky na napájení a komunikaci stále představují určitá omezení. [5]

Hluboké učení prokázalo vynikající výkonnost v určitých oblastech, jako je rozpoznávání objektů a klasifikace obrázků. Získalo si také popularitu v oblastech, jako jsou finance, kde hraje důležitou roli analýza časových řad. Prediktivní údržba je dalším oborem, kde se data shromažďují v čase za účelem monitorování stavu zařízení a identifikace vzorců umožňujících predikci poruch. Tento přístup tak může těžit z využití vybraných algoritmů hlubokého učení. Důležitou součástí modelování prediktoru poruch je správný výběr nebo konstrukce relevantních příznaků, tedy výběr existujících prvků z datové sady, nebo vytvoření odvozených příznaků, které jsou nejvhodnější pro řešení konkrétní úlohy strojového učení. Tradičně se

výběr příznaků provádí manuálně na základě zkušeností procesních inženýrů, kteří rozumějí fyzikálním a mechanickým procesům v analyzovaném systému. Tento manuální přístup však trpí různými druhy zkreslení a je velmi časově náročný. Navíc vybrané příznaky bývají specifické pro danou úlohu a nelze je snadno znovu použít v jiném kontextu – například příznaky efektivní pro predikci poruch na jedné výrobní lince nemusí být vhodné pro jinou výrobní linku. [21]

## 4 TEORIE RIZIK

Rizika jsou velmi důležitou tématikou, provází nás v každém odvětví průmyslu i v obyčejném životě. Pro příklad je možné uvést rizika finančního trhu, jaderných elektráren, přírodních katastrof a úniku dat v internetovém prostředí a mnoho dalších. Je proto přirozené, že teorie rizik je studována jak vědci matematiky a přírodních věd, tak i psychology, ekonomy a filozofy. Díky rizikům se otvírají nové možnosti, jak nahlížet na problémy a jak tyto problémy vyšetřovat a strukturovat. Rizika jsou všudypřítomná, proto je třeba vědět, jak s nimi pracovat a jak docílit jejich snížení. Díky strukturám, které byly vytvořeny pro řízení rizik, je možné vyhodnotit i nejisté a neočekávané události a dále se nimi zabývat nejvhodnější metodou. [22]

Analýza rizik je čím dál tím častěji řešena v rámci celého výrobního procesu. Ve výrobním procesu mohou být rizika spojena jak s bezpečností pracovníků, tak s kvalitou produktu a jeho následujícím marketingem. Základ teorie rizik říká, že riziko bude vždy přítomno a závisí na tom, jaká bude provedena reakce na něj zaměřena. Touto reakcí ovlivňujeme jak následky, tak pravděpodobnost výskytu. Mnoho rizik se nyní pojí s implementací moderních metod údržby. [23]

Analýza rizik spojená se zaváděním nových metod je velmi důležitá, jelikož může poskytnout velmi široký nadhled na problematiku a může výrazně pomoci k provedení nejvhodnějšího rozhodnutí. Poskytuje dobrý základ pro úspěšné, zdravé a bezpečné podnikání. Analýza rizik může výrazně navýšit efektivitu podniku a v konečném důsledku povede k dosažení cílů rychleji a efektivněji. [24]

### 4.1 Posuzování rizika

Posuzování rizik je proces spojený z několika kroků, kterými jsou: identifikace rizik, analýza rizik a hodnocení rizik. Posuzování rizik by se mělo provádět systematicky a opakovatelně. Nedílnou součástí by měla být i spolupráce třetích stran, které mohou poskytnout další znalosti a názory k posuzovaným rizikům. Nejdůležitější je využívat nejlepších dostupných informací, popřípadě je doplnit dotazy k upřesnění. [25]

#### 4.1.1 Identifikace rizika

Identifikace rizik slouží k nalezení, rozpoznání a popsání rizik, která by mohla negativně ovlivnit dosažení cílů organizace, ať už pozitivně tak i negativně. Pro identifikaci nejistot, které mohou ovlivnit jeden nebo více cílů, existuje řada technik, které organizace může použít. Následující faktory a vztahy mezi nimi mají být při identifikaci rizik zohledněny:

- Hmotné a nehmotné zdroje rizika.
- Příčiny a události.
- Hrozby a příležitosti.
- Zranitelnosti a způsobilosti.
- Změny externího a interního kontextu.
- Indikátory vznikajících rizik.

- Povaha a hodnota aktiv a zdrojů.
- Následky a jejich dopady na cíl.
- Omezení znalostí a spolehlivost informací.
- Faktory týkající se času.
- Předsudky, předpoklady a přesvědčení těch, kteří jsou zapojeni.

Organizace má identifikovat rizika, i když rizika nemá pod svou kontrolou. Zohledněno musí být i to, že může existovat více než jeden druh výsledku, což může mít za následek různé výsledky. [25]

#### 4.1.2 Analýza rizika

Účelem analýzy rizika je pochopit povahu rizika a jeho charakteristiky. Zahrnuje podrobné posouzení nejistot, zdrojů rizika, následků, pravděpodobnosti jejich výskytu, událostí, scénářů, opatření a jejich efektivnost. Událost může mít více příčin a následků a taktéž může mít vliv na více cílů. Analýzu rizik lze provádět s různou mírou podrobnosti a složitosti, vše záleží na množství dostupných informacích, na tom, jak jsou spolehlivé a na účelu analýzy. Analytické techniky mohou být jak kvalitativní, tak kvantitativní i jejich kombinace v závislosti na okolnostech. Analýza má zvažovat faktory jako jsou:

- Pravděpodobnost výskytu událostí a následků.
- Povahu a závažnost následků.
- Složitost a propojenost.
- Časové faktory a míru kolísání aktiv.
- Efektivitu existujících opatření.
- Úrovně citlivosti a spolehlivosti.

Analýza rizik může být ovlivněna odlišností názorů, vnímáním rizika a úsudkem. Velmi podstatným vlivem je kvalita použitých informací, dále vlivy jako předpoklady a technická omezení. Tyto vlivy by měly být důkladně zváženy, dále zdokumentovány a následně sdělovány osobám, které jsou pověřeny rozhodovací pravomocí. Analýza rizik slouží jako vstup pro hodnocení rizika, pro rozhodování o tom, zda je potřeba riziko ošetřovat a jakým způsobem. Slouží také k výběru nejvhodnější strategie a metody ošetřování rizika. [25]

#### 4.1.3 Hodnocení rizika

Hodnocení rizika zahrnuje porovnání výsledků analýzy rizika se stanovenými kritérii rizika, tak aby bylo možné určit, zda a kde je zapotřebí další opatření. Hodnocení rizik vede k rozhodnutí:

- Nedělat nic.
- Zvážit možnosti ošetřování rizika.
- Provádět další analýzy s cílem lépe porozumět riziku.
- Udržovat existující opatření.
- Přehodnotit cíle.

Rozhodnutí mají brát v úvahu širší kontext, skutečné a vnímané následky pro externí i interní strany. Výsledek by měl být zaznamenán, sdělován a následně potvrzen pověřenými osobami. [25]

## 4.2 Ošetřování rizika

Účelem ošetřování rizika je vybrat a implementovat možnost jeho řešení. Tvoří ho soustavně se opakující proces, který je tvořen těmito kroky:

- Formulování a výběru možnosti ošetřování.
- Plánování a implementování ošetřování.
- Posuzování efektivnosti tohoto ošetřování.
- Rozhodování, zda je zbytkové riziko přijatelné.
- Pokud riziko není přijatelné, přijmutí dalšího ošetřování.

Nejvhodnější možnost pro ošetřování rizika je volena na základě přínosů pro jednotlivé cíle proti vynaloženým nákladům, úsilí nebo nevýhodám implementace. Možnosti ošetřování rizik se nemusí vzájemně vylučovat nebo nejsou za všech okolností vhodné. Možnosti pro ošetřování rizik mohou zahrnovat jednu nebo více z následujících skutečností:

- Vyloučení rizika rozhodnutím nezačínat nebo nepokračovat v činnosti, která riziko způsobuje.
- Přijetí nebo zvyšování rizika na účelem využití příležitosti.
- Odstranění zdroje rizika.
- Změna pravděpodobnosti.
- Změna následků.
- Sdílení rizika mezi více subjektů.
- Zachování rizika kvalifikovaným způsobem.

Ošetřování rizika by nemělo brát v úvahu pouze ekonomickou část, ale i všechny povinnosti organizace a dobrovolné závazky. Výběr možností ošetření rizika by měl být proveden v rámci její politiky a dostupnými zdroji. I velmi pečlivě navrhnuté a implementované ošetření rizika by mělo být nadále monitorováno a přezkoumáváno. Slouží pro ujištění, že různé formy ošetřování se stávají a zůstávají efektivní. [25]

## 4.3 Matice rizik

Matice rizik jsou jedním z nejpoužívanějších nástrojů pro hodnocení a vizualizaci rizik. Informace shromážděné pomocí matice rizik se používají jak ke komunikaci, tak jako podklad pro rozhodování o přijatelnosti rizika. Z těchto dat jsou následně prováděna rozhodnutí o nastavení priorit programu managementu rizik. [26]

Matici rizik nejčastěji tvoří dvě osy, pravděpodobnost a dopad rizika. Matice rizik může mít různou velikost, od 3x3 až po 5x5. Od velikosti matice se určuje velikost hodnot na osách.

Následným vynásobením hodnot na osách dostáváme hodnoty rizika. Podle těchto hodnot následně určujeme prioritu rizika. Na obr. 7 je ilustrace matice 4x4, kde je možno vidět barevné odlišení skupin rizik, podle jejich závažnosti. Úrovně rizika:

- Zanedbatelné (nízké) riziko – nízký dopad i pravděpodobnost, není třeba provádět žádné kroky nebo mají případné kroky nejnižší prioritu. Rizika s nízkou pravděpodobností i s nízkým dopadem.
- Střední riziko – není radno je zanedbávat, ale stále mají nižší závažnost. Rizika s nízkou pravděpodobností nebo s nízkým dopadem.
- Vysoké riziko – rizika s takto vysokou závažností je radno řešit hned, jakmile je to možné. Rizika s vysokou pravděpodobností i dopadem.
- Kritické (katastrofální) riziko – rizika takto hodnocená by měla být řešena okamžitě. [27]



Obr. 7: 4x4 matice rizik [27]

#### 4.4 Inspekce rizik (RBI)

Inspekce rizik je metoda, která užívá rizik jako základ pro řízení priorit a snahy pro program inspekce, aby byly správně využity zdroje. Inspekci se rozumí procedura, která je použita pro zjištění stavu zařízení. Obvykle se provádí v pravidelných intervalech. Ve fungujícím provozu je časté, že největší riziko poruchy je spojeno s menším počtem zařízení. Metoda inspekce rizik dovoluje tato zařízení odhalit a přiřadit jim větší prioritu, zatímco méně rizikovým zařízením dá menší prioritu a efektivněji tak rozvrhne práci údržby. Metoda určuje rizika na základě dvou faktorů: pravděpodobnost poruchy a následek této poruchy.

Posouzení následků poruchy se řídí těmito kroky:

- Scénáře definující, kdy porucha má za následek nežádoucí účinky.
- Odhad fyzického dopadu každého scénáře.
- Následný efekt na pracovníky, stroje, životní prostředí a produktivitu.

Pravděpodobnost poruchy zvažuje kritéria, jako jsou:

- Mechanismy poškození relevantní pro analyzovanou položku.
- Inspekční historie položky.
- Efektivita předchozí inspekce.

Zhodnocení rizik jako výsledek vytvoří matici, která reprezentuje pravděpodobnost poruchy a její následek, a která dohromady vytváří úroveň rizika. Každá součást se nachází v dané matici, aby měla globální reprezentaci svého rizika. Definice úrovní rizika a definice kritérií vhodnosti jsou tvořeny případ od případu podle průmyslové a podnikové praxe. V matici se následně určí hranice, která vyznačuje přijatelnost rizik. Rizika se dělí do několika úrovní:

- Vysoké riziko: je pravděpodobné, že porucha nastane více než jednou před následující inspekcí – tudíž je nutné riziko zmenšit.
- Středně vysoké riziko: je pravděpodobné, že porucha nastane jednou – je potřeba provést opravu.
- Střední riziko: je nepravděpodobné, že nastane porucha – přijatelné riziko.
- Nízké riziko: je velmi nepravděpodobné, že dojde k poruše – není třeba provádět jakékoliv operace.

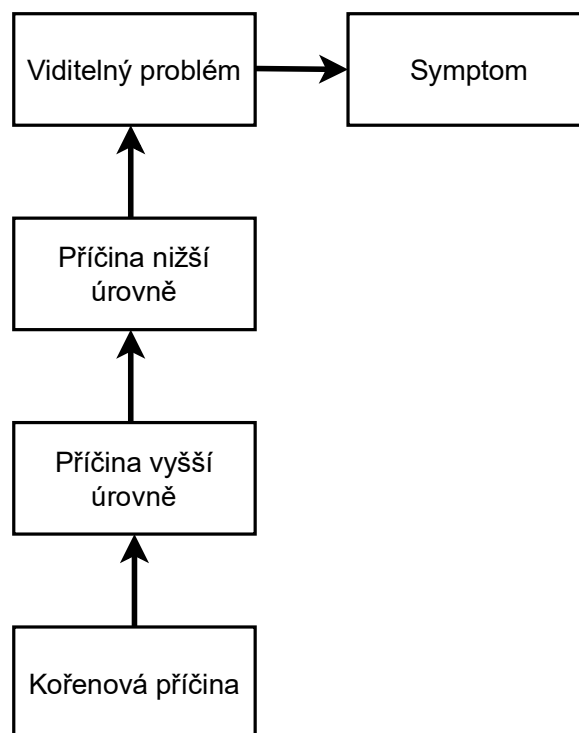
Dále je nutné určit již zmíněnou hranici přijatelnosti rizik. Pro položku ležící v nepřijatelné části matice je nutné provést změny, které povedou ke snížení rizik. Jelikož se riziko skládá ze dvou částí, je nutné zmenšit jednu nebo obě části tvořící riziko. Inspekce pokrývá pouze část pravděpodobnosti rizika. Aby došlo ke snížení následků, musí být prověřen samotný návrh položky a případně musí dojít k úpravám. Tyto následné operace již nespádají do této metody. Metoda inspekce rizik se soustředí na efektivnější tvoření inspekčních programů. [28]

#### 4.5 Analýza příčin (RCA)

Analýza příčin je strukturované vyšetřování, které je zaměřeno na identifikaci skutečné příčiny problému a určení kroků nezbytných k jeho odstranění. Za každým problémem se skrývá jeho příčina, proto při snaze vyřešit problém je nutné postupovat dle následujících kroků. Identifikovat příčinu problému a následně najít způsob, jak se příčin zbavit a tím zabránit vzniku problému. Nejnáročnější částí tohoto procesu je odhalení skutečného původu problému, jeho následné řešení je zpravidla mnohem jednodušší.

Problém je často výsledkem několika příčin na různých úrovních. To v praxi znamená, že některé příčiny mohou mít za následek další příčiny, kde až ty vytvoří pozorovatelný problém. Příčiny lze klasifikovat do následujících úrovní viz obr. 8:

- Symptomy – nejsou přímo příčinou problému, ale jeho viditelnými projevy.
- Příčina nižší úrovně – vede přímo k problému.
- Příčina vyšší úrovně – vede k příčině nižší úrovně.



Obr. 8: Znázornění úrovní příčin [29]

Přestože příčiny vyšší úrovně nezpůsobují přímo problém, nachází se v řetězci, který k problému vede. Na nejvyšší úrovni je příčina zvaná jako kořenová, která způsobuje a spouští všechny následující úrovně.

Důrazně se doporučuje řešit problém od jeho kořenové příčiny. Jiné přístupy mohou poskytnout dočasnou úlevu od problému, ale nikdy nevytvoří dlouho-trvající řešení:

- Pokud je odstraněn pouze symptom, situace se paradoxně může ještě zhoršit. Problém bude totiž nadále přetrvávat, ale už nebude možné ho jednoduše monitorovat.
- Pokud je odstraněna příčina na nižší nebo vyšší úrovni. Vytvoří se dočasné řešení, ale problém se může časem objevit znovu v jiné podobě.

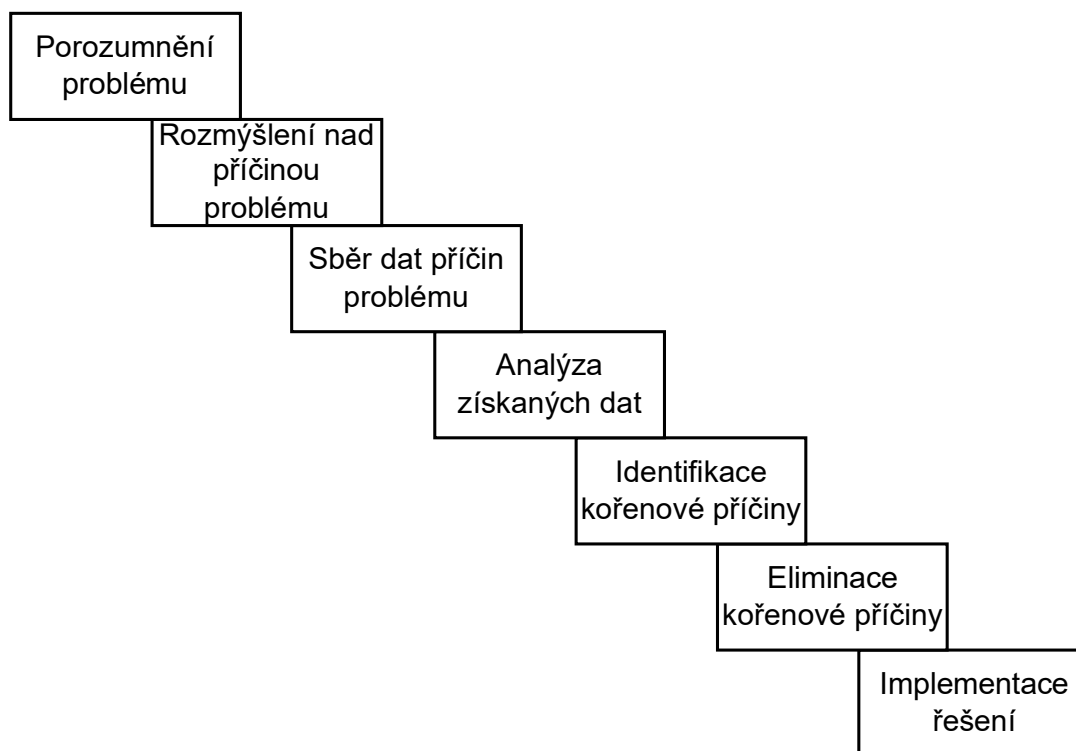
Pokud se povede odstranit kořenová příčina, je nutno nadále sledovat symptomy, aby byla zajištěna jistota, že se problém znovu neobjeví.

Postup pro řešení problému je následující:

- Nejprve je nutno odhalit, že k problému dochází, symptomy musí být zpozorovány a nesmí být ignorovány.
- Dále je nutné dát problému jeho pravé jméno, které ho vystihuje.
- Nejdůležitější činností je důkladně problému porozumět, což je nutné i pro jeho následné řešení.
- Nalézt kořenovou příčinu.
- Eliminovat kořenovou příčinu a zabránit znovu objevení problému.
- Monitorovat symptomy, které by ukazovaly na přítomnost problému.

Následující skupiny nástrojů jsou svým způsobem přínosné pro analýzu viz obr. 9. Je dobré je využívat postupně, avšak některé se dají použít během různých situací:

- Porozumění problému – jsou to metody, které pomáhají se soustředit na porozumění problému.
- Rozmýšlení nad příčinou problému – nástroje, které mohou být využity v různých fázích analýzy. Pomáhají vytvářet postupy možných řešení.
- Sběr dat příčin problému – techniky užívané k systematickému a efektivnímu sběru dat spojených s problémem.
- Analýza získaných dat – nástroje používané ke zkoumání dat z různého úhlu pohledu. Je důležité mít několik analyzátorů dat, jelikož nemusí vždy odhalit vše potřebné.
- Identifikace kořenové příčiny – po odhalení je následně možné použít další nástroje pro hlubší analýzu příčiny.
- Eliminace kořenové příčiny – vytvoření řešení, které odstraní kořenovou příčinu a problém samotný.
- Implementace řešení. [29]



Obr. 9: Ilustrace skupin nástrojů pro analýzu [29]

## 5 RIZIKA ZAVÁDĚNÍ ÚDRŽBY

Se zaváděním moderních metod se pojí velké množství rizik. Tato rizika se nacházejí v různých vrstvách podniku a je třeba na ně brát ohled a vyhodnocovat je. Následující kapitoly pojednávají o jednotlivých rizicích, jaké mají následky a jak jim předcházet.

### 5.1 Rizika v prostředí podniku

Pojem „digitální transformace“ je nově zavedeným termínem, který se stále častěji objevuje v prostředí poradenských společností, jež svým klientům nabízejí strategie a postupy pro zavádění technologií éry průmyslu 4.0. Přesto však existuje značné množství podniků, které se nacházejí na počáteční úrovni digitální transformace a mají o této problematice jen omezené povědomí. Studie z roku 2018 ukázala, že pouze 17 % oslovených podniků mělo plně rozpracovanou strategii implementace konceptu údržby 4.0. Nedostatek pokroku byl přičítán zejména absenci firemní kultury založené na rozhodování podloženém daty a důkazy, což je klíčové pro efektivní zavádění technologií průmyslu 4.0. Další výzkum ukázal, že mnohé podniky si nejsou vědomy potenciálu, který průmysl 4.0 nabízí, a zároveň nejsou schopny identifikovat možné finanční přínosy spojené s jeho implementací. [16], [30], [31]

#### 5.1.1 Organizační náročnost

Mezi zásadní organizační překážky implementace údržby 4.0 patří nutnost integrace všech relevantních zúčastněných stran, jako jsou výrobci originálního vybavení (OEM), koncoví uživatelé, poskytovatelé technologické podpory a další servisní partneři. Tyto překážky lze rozdělit do čtyř hlavních oblastí spojených s řízením podnikových zdrojů. Ty zahrnují organizační restrukturalizaci pracovníků údržby, plánování zdrojů (např. náhradních dílů, materiálu, nástrojů), efektivní správu informací a znalostí a řízení různorodých, často složitě provázaných organizačních struktur. Rizika spojená s organizační náročností budou popsána v tab. 1. [16], [30], [31]

Tab. 1: Organizační náročnost, rizika, následky a návrh opatření

Organizační náročnost			
č.	Riziko	Následky	Ošetření rizika
1	Odpor pracovníků vůči modernizaci	Zpomalení implementace systému údržby	Motivovat pracovníky, zajistit školení a aktivně je zapojit do změn
2	Nízká akceptace nové struktury údržby	Prodlouží dobu implementace	Včasné informování a zapojení pracovníků do změnového procesu
3	Nedostatek náhradních dílů	Dlouhá odstávka v případě poruchy	Zavedení systému plánování zásob a včasné objednávky
4	Neefektivní správa informací	Ztráta důležitých informací	Nasazení vhodného systému pro správu informací a školení uživatelů

Organizační náročnost			
č.	Riziko	Následky	Ošetření rizika
5	Nevhodný výběr implementačního partnera	Nefunkční nebo neefektivní integrace systému	Důkladný výběrový proces a posouzení reference partnera
6	Slabé servisní pokrytí ze strany partnera	Prodloužené prostoje a narušení kontinuity provozu	Výběr partnera s prokazatelně kvalitním a dostupným servisem
7	Odolnost vůči změnám a organizační setrvačnost	Překážky v úspěšné implementaci systému	Posílení role vedení, podpora managementu, jasná komunikace a profesionální řízení změn

### 5.1.2 Finanční náročnost

Další velkou výzvou je cenová náročnost spojená se zaváděním nových metod. Pro využití nových metod průmyslu 4.0 je zapotřebí značných investic ze strany firem – a to jak do potřebného vybavení a softwaru, tak i do kvalifikované pracovní síly. Existuje nejistota ohledně návratnosti vysokých počátečních investic do digitální transformace. Dále panuje nejistota ohledně celkových nákladů na vlastnictví moderních systémů, zařízení a dalšího vybavení pořizovaného pro modernizaci infrastruktury. Tyto nejistoty odrazují mnoho podniků od investování do této oblasti. Průmyslové podniky v současnosti často přistupují k úpravám stávajících strojů, aby je přizpůsobily technologiím průmyslu 4.0. Nicméně náklady na modernizaci starších zařízení v souladu s technologickými a bezpečnostními standardy průmyslu 4.0 mohou být velmi vysoké. Rizika spojená s finanční náročností budou popsána v tab. 2. [16], [30], [32]

Tab. 2: Finanční náročnost, rizika, následky a návrh opatření

Finanční náročnost			
č.	Riziko	Následky	Ošetření rizika
1	Nízká návratnost počáteční investice	Možná finanční ztráta a ohrožení stability podniku	Rozdělení investice a modernizace do několika etap s průběžným vyhodnocováním přínosů
2	Vysoké náklady na provoz moderních systémů	Zvýšené výdaje na provoz, omezení ostatních aktivit podniku	Pořídít pouze nezbytné a spolehlivé systémy s co nejnižšími provozními náklady
3	Vysoké náklady na modernizaci stávajících zařízení	Finanční zatížení podniku, zpomalení celého procesu modernizace	Provést důkladnou analýzu nákladů a přínosů, upřednostnit modernizaci klíčových zařízení s nejvyšší návratností
4	Zvýšené náklady na školení zaměstnanců	Nedostatečná připravenost pracovníků a další finanční zatížení podniku	Zvolit kvalitní školicí firmu (ideálně poskytovatele systému údržby), zajistit efektivní a prakticky přínosná školení pro maximální využití investovaných prostředků

Finanční náročnost			
č.	Riziko	Následky	Ošetření rizika
5	Nedostatečné finanční plánování při implementaci technologií průmyslu 4.0	Překročení rozpočtu, nutnost omezit jiné investice	Vytvořit detailní finanční plán včetně rezervy a pravidelně ho aktualizovat
6	Investice do nevhodného softwaru nebo vybavení	Nízká návratnost investic, neefektivní využití	Provést důkladnou analýzu potřeb a porovnání dostupných řešení před nákupem
7	Nekompatibilita nových technologií se starými zařízeními	Neefektivní vynaložení prostředků, narušení výrobního procesu	Zhodnotit alternativy – např. částečné retrofity, outsourcing nebo leasing moderních zařízení
8	Nízká efektivita využití pořízených technologií	Dlouhá doba návratnosti investic, zklamání z výsledků digitalizace	Věnovat dostatečný čas na zaškolení a podporu pracovníků, sledovat KPI a optimalizovat využití systémů

### 5.1.3 Technická zdatnost pracovníků

Implementace technologií průmyslu 4.0 přinesla revoluční změny ve výrobních systémech, což má za následek zvýšení nároků na pracovníky. Techničtí pracovníci a operátoři potřebují specifické vlastnosti a dovednosti, aby byli schopni efektivně působit v podnicích. Konvenční pojetí údržby spoléhalo zejména na zkušenosti zručných pracovníků údržby. Ovšem s nástupem technologií průmyslu 4.0 byly vyvinuty asistenční systémy, které pomáhají zručným pracovníkům údržby. Tyto poznatky ukazují na to, že údržbu není možné kompletně automatizovat a bude stále potřeba kvalitních a zkušených pracovníků. Stávající dovednosti pracovníků však nejsou dostatečné pro zvládnutí technologií průmyslu 4.0, což představuje vážnou překážku při implementaci údržby 4.0. Potencionální výzva pro zkušeného technika údržby je schopnost zpracovávat velké množství dat, včetně jejich zpracování v reálném čase. Správné vnímání a vyhodnocování těchto dat bez chyb je však vzhledem ke složitosti systémů pro techniky značně náročné. Dovednostní úroveň techniků musí být zvýšena natolik, aby byli schopni provádět rozhodnutí založená na datech a zároveň zastávat roli datových analytiků. To vyžaduje od techniků, aby měli více oborové znalosti. Těmito znalostmi se rozumí znalosti v oblasti informačních technologií, struktury internetové sítě, práce s kyberneticko-fyzikálním systémem a jeho komponentami a následné propojení s výrobním informačním systémem. Dále by měli mít znalosti elektrotechniky, mechaniky, síťových technologií a přenosových technologií. Tyto znalosti jsou potřebné pro interpretaci živých obrazů stroje a jejich vyhodnocení při diagnostice závad a odstraňování poruch pomocí nových asistenčních systémů, jako jsou senzorové technologie a akční členy. Další výzvou je nedostatek techniků, kteří mají dostatečnou úroveň znalostí pro práci s asistenčními systémy. Rizika spojená s technickou zdatností pracovníků budou popsána v tab. 3. [16]

Tab. 3: Technická zdatnost pracovníků, rizika, následky a návrh opatření

Technická zdatnost pracovníků			
č.	Riziko	Následky	Ošetření rizika
1	Nízká kvalifikovanost pracovníků pro práci s technologiemi průmyslu 4.0	Nízká efektivita implementace, nutnost externí pomoci	Zavedení cíleného vzdělávání, rekvalifikace a programy celoživotního vzdělávání
2	Nedostatek pracovníků se znalostí digitálních nástrojů a asistenčních systémů	Chyby při údržbě, závislost na externích firmách	Zavedení školení a posílení digitální gramotnosti techniků
3	Nedostatečná kompetence zpracování a vyhodnocování dat	Nesprávná rozhodnutí v údržbě, snížená efektivita prediktivních metod	Školení v oblasti datové analytiky a práce s informačními systémy
4	Nedostatek multidisciplinárních znalostí (IT, síťová infrastruktura, CPS)	Problémy při zavádění a provozu nových systémů	Zavedení mezioborového vzdělávání a spolupráce s odborníky z jiných oborů
5	Nedostatečná schopnost rozhodovat se na základě dat	Neefektivní údržba, ztráta konkurenceschopnosti	Rozvoj analytického myšlení prostřednictvím praktického školení
6	Nezájem o odborný růst ze strany zaměstnanců	Brzdění inovací a nízké využití potenciálu technologií	Vytvoření motivačních programů, kariérních plánů a benefitů
7	Generační rozdíly mezi pracovníky	Nedostatečná spolupráce, zhoršení týmové dynamiky	Mezigenerační mentoring, kombinace zkušeností a nových přístupů

#### 5.1.4 Zdraví a bezpečnost pracovníků

Aktivity v průmyslu 4.0 se stávají čím dál tím více komplexními a údržba není výjimkou. Nastává nárůst ve variaci úkolů, jejich délce trvání a jejich náročnosti. Dochází ke zvýšené potřebě přesčasové práce a urgentních zakázek. Díky tomu se mohou vyskytnout nebezpečí na pracovišti počínaje psychologickým efektem, způsobeným náročnější prací, strachem ze ztráty zaměstnání a dalšími nejistotami.

Velký důraz se klade na postupný přechod na nové metody, aby nedošlo k úrazu v rámci neznalosti nového nástroje. Odmítnutí nových metod a bezpečnostních opatření ze strany zaměstnanců také tvoří značné riziko. Při vývoji nových systémů by se mělo dbát na ergonomičnost pracoviště a na lidský faktor v rámci systému.

Nebezpečí pro pracovníky může tvořit systém rozšířené reality. Rozšířená realita se často využívá k zobrazení struktur, které nejsou viditelné pouhým okem. Ovšem při běžném používání přináší i řadu nevýhod. Zařízení jsou často těžká nebo ne příliš ergonomická a tím přidávají zátěž pracovníkovi. Dále také daleko rychleji unavují oči a můžou zastínit výhled pracovníkovi, což může vést k dalším problémům.

Některá z chytrých zařízení, používaných v systému údržby, nepodporují technologii „hands-free“, to znamená, že pracovník při práci s tímto zařízením nemá volné ruce. To může následně ovlivnit bezpečnost daného pracovníka. Tyto všechny informace by tak měly nabídat podniky k tomu, aby nové systémy byly co nejvíce uživatelsky pohodlné. Rizika spojená se zdravím a bezpečností pracovníků budou popsána v tab. 4. [16]

Tab. 4: Zdraví a bezpečnost pracovníků, rizika, následky a návrh opatření

Zdraví a bezpečnost pracovníků			
č.	Riziko	Následky	Ošetření rizika
1	Zvýšená komplexnost a rozmanitost úkolů	Vyšší psychická i fyzická zátěž pracovníků	Optimalizace pracovních postupů, střídání typů úkolů, automatizace rutinních činností
2	Zvýšená potřeba přesčasové práce a urgentních zakázek	Únava, vyhoření, vyšší chybovost	Lepší plánování lidských zdrojů, vyrovnaní pracovní zátěže, podpora „well-beingu“
3	Psychologický stres (z náročnosti práce a nejistoty zaměstnání)	Snížení pracovní motivace, fluktuace, pokles výkonu	Psychologická podpora, otevřená komunikace změn, zapojení zaměstnanců do rozhodování
4	Neznalost nových nástrojů a metod	Zvýšené riziko úrazů, odpor k novým technologiím	Postupný přechod, školení a praktické seznámení s novými nástroji
5	Odmítání bezpečnostních opatření a technologií	Zvýšení rizika pracovních úrazů	Vzdělávání a zapojení zaměstnanců do tvorby opatření, motivace k dodržování pravidel
6	Nevhodná ergonomie nově vyvíjených systémů	Nepohodlí, zdravotní problémy (bolesti, únava)	Design zaměřený na uživatele, ergonomické testování před nasazením
7	Rizika spojená s rozšířenou realitou (AR) – váha, ergonomie, únava očí	Zdravotní komplikace, zhoršená bezpečnost práce	Výběr ergonomických zařízení, omezená doba používání, testování v reálných podmínkách
8	Používání zařízení bez podpory „hands-free“ režimu	Ztráta ovladatelnosti, zhoršená bezpečnost při manipulaci	Preferovat hands-free řešení, redesign pracovních postupů
9	Nedostatečné zohlednění lidského faktoru v systému	Snížená efektivita a bezpečnost	Integrovat lidský faktor do návrhu systémů, zapojení uživatelů do vývoje

## 5.2 Rizika spojená s novou infrastrukturou vybavení

Se zaváděním moderních metod údržby se pojí i implementace moderního vybavení. Jako moderní vybavení jsou chápány nové senzorické vybavení, jejich moderní konstrukce a nové technologie měření. Řadí se sem i dnes velmi moderní využití cloudových serverů a služeb pro efektivní práci s daty. S tímto vybavením se však pojí i velké množství rizik, od samotné implementace až k jejich využitelnosti a efektivnosti.

### 5.2.1 Implementace IoT

Technologie IoT je momentálně na vzestupu, jakožto moderní pojetí přenosu informací mezi všemi snímači a zařízeními. Ovšem pro potřeby digitalizace údržby je třeba stále vybavit tuto technologii dalšími funkcemi. Potřebná komunikace stroj-stroj, je problémem v rámci implementace nového vybavení do starých strojů, nebo vytváří nutnost pořízení nového vybavení. Velkou výzvou je samotná komunikace a komunikační protokoly této implementace. Nejdůležitější na implementaci nových snímačů je nutnost umístit snímače na strategicky vhodná místa na zařízení. Design a umístění snímače zároveň musí odpovídat sledovanému parametru. Další velká výzva, která vzniká, je následné zpracování dat, úzce závislé na čase. Je tedy nutné je zpracovat a analyzovat velmi rychle. IoT je nutné podpořit „data science“, aby byla zajištěna lepší komunikace mezi člověkem a strojem a bylo zajištěno větší porozumění výrobě. Program, který je využíván pro interpretaci dat získaných ze senzorů, je nutné zjednodušit natolik, aby byl lehce srozumitelný pro pracovníky výroby i pro pracovníky údržby. Tento systém je pak vhodné využít pro pracovníky logistiky a manažerů skladů, pro zajištění maximální efektivity a nebylo třeba využití externích pracovníků nebo manažerů údržby. Rizika spojená s implementací IoT budou popsána v tab. 5. [16], [30], [32]

Tab. 5: Implementace IoT, rizika, následky a návrh opatření

Implementace IoT			
č.	Riziko	Následky	Ošetření rizika
1	Obtížná integrace IoT technologií do starších zařízení	Nutnost vysokých investic, zpoždění modernizace	Důkladná analýza možností retrofitů, postupná modernizace klíčových zařízení
2	Nedostatečná kvalita a kompatibilita komunikačních protokolů	Ztráty dat, chybná komunikace mezi systémy	Zavedení standardizovaných protokolů a testování kompatibility před implementací
3	Nevhodné umístění senzorů na zařízeních	Nesprávné nebo neúplné měření dat	Strategický návrh rozmístění senzorů dle sledovaných parametrů a prostředí
4	Pomalé zpracování dat ze senzorů	Zpoždění v rozhodovacích procesech, snížení efektivity	Zavedení rychlých edge computing technologií a optimalizace datových toků
5	Nízká úroveň komunikace mezi stroji (M2M) a mezi strojem a člověkem	Nedostatečné propojení systémů, ztráta informací	Rozvoj technologií M2M komunikace a rozhraní pro snadnou interakci člověka se strojem
6	Složitost interpretace datových výstupů	Chyby při analýze a rozhodování pracovníků	Vývoj jednoduchých a srozumitelných vizualizačních nástrojů pro data
7	Závislost na externích odbornících pro správu dat a zařízení	Vyšší náklady, ztráta flexibility	Vzdělávání vlastních zaměstnanců, školení v oblasti správy dat a údržby IoT systémů

Implementace IoT			
č.	Riziko	Následky	Ošetření rizika
8	Nevhodný výběr senzorů	Snímání nerelevantních dat	Důkladná rešerše dostupných senzorických systémů pro zaručení správného výběru pro požadovanou aplikaci

### 5.2.2 Využití výpočetních center a úschova dat

Nedostatek soukromí je největší výzva týkající se zpracování a ukládání dat na vzdálených serverech. Je to způsobeno tím, že většinou tyto služby poskytují externí firmy. Firmy hledají způsob, jak pomocí technologií získávat informace přímo ze stroje, provádět výpočty v reálném čase a následně vidět výsledky datových analýz a případné sdílení těchto dat s jinými pobočkami jedné organizace. Výpočty na vzdálených serverech (cloud computing) sice umožňují vysoký výpočetní výkon, ale nemusí být vždy efektivní, proto se čím dál častěji nasazuje edge computing, kde zpracování dat probíhá blíž k uživateli a na cloud server se posílají již zpracovaná data. Edge computing zvyšuje efektivitu zpracování a uchovávání dat tím, že uchovává pouze relevantní data, zároveň tím šetří využití a kapacitu spojení. Následně výpočty velkých dat zabírají velké množství času a s rostoucím výpočetním výkonem roste i spotřeba energie a tím i cena těchto technologií. Rizika spojená s využitím výpočetních center budou popsána v tab. 6. [16], [31]

Tab. 6: Výpočetní centra a úschova dat, rizika, následky a návrh opatření

Výpočetní centra a úschova dat			
č.	Riziko	Následky	Ošetření rizika
1	Nedostatek soukromí při ukládání a zpracování dat na vzdálených serverech	Riziko úniku citlivých dat, ztráta důvěryhodnosti	Zavedení interních serverů, šifrování dat, výběr důvěryhodných poskytovatelů služeb
2	Nedostatečná kapacita a rychlost vzdálených serverů	Zpomalení analýzy dat, nižší efektivita údržby a rozhodování	Investice do edge computingu (lokální zpracování dat) a optimalizace datových toků
3	Dlouhá doba výpočtů při analýze velkých dat	Zpoždění rozhodovacích procesů, snížení efektivity prediktivní údržby	Zavedení hybridních řešení kombinujících cloud a lokální servery, paralelizace výpočtů
4	Rostoucí spotřeba energie a náklady na provoz serverů	Zvyšování provozních nákladů, dopad na environmentální cíle firmy	Efektivnější správa dat, implementace úspornějších výpočetních technologií
5	Závislost na externích poskytovatelích datových služeb	Ztráta kontroly nad kritickými daty, možné výpadky služeb	Budování vlastní IT infrastruktury nebo vícezdrojová strategie poskytovatelů
6	Neefektivní správa obrovského množství nashromážděných dat	Nepřehlednost, problémy při analýze, vyšší nároky na údržbu	Zavedení politiky "smart data management" – sbírat pouze relevantní data

Výpočetní centra a úschova dat			
č.	Riziko	Následky	Ošetření rizika
7	Nízká interoperabilita mezi vlastními a externími systémy	Problémy s kompatibilitou dat a jejich zpracováním	Zavedení standardizovaných protokolů a formátů dat
8	Přetížení IT infrastruktury kvůli velkým objemům dat (datová jezera)	Zpomalení systémů, ztráta dat, zvýšené náklady na správu	Škálování infrastruktury, optimalizace datových toků, zavedení cloudových řešení

### 5.3 Rizika spojená s novým informačním systémem

S moderními metodami údržby se zároveň pojí i nutnost implementace nových informačních a operačních systémů. Nové systémy nabízejí efektivnější správu dat a zároveň efektivnější řízení údržby. Ovšem i se systémy se pojí řada rizik počínaje kybernetickou bezpečností. Moderní technologie a systémy úzce souvisí s internetovým nebo jiným druhem připojení. Je proto velmi důležité zabezpečit tato připojení. Rizika také souvisí i se samotným zpracováním dat, aby byla možnost data efektivně prezentovat, je nutné nejdříve tato data zpracovat. Pro kvalitní zpracování dat je v první řadě nutné mít dostatečně kvalitní data. Ke zpracování dat se používají moderní metody umělé inteligence, algoritmů a neuronových sítí.

#### 5.3.1 Kybernetická bezpečnost

Dvě možné vize v rámci údržby jsou, datově orientovaná údržba (CBM viz kapitola 3.3) a člověkem orientovaná údržba (TPM viz kapitola 3.1). První vize otevírá spoustu nových možností, jak pracovat s daty, jak zvýšit znalosti systému a otevřít nové perspektivy pro náhled na údržbu. To vše je možné díky analýze „big data“, což zároveň představuje výzvu pro IT oddělení při správě velkých objemů dat (tzv. datových jezer). Největší nevýhoda této metody je vysoká cena, tato nevýhoda se ale velmi často pojí se všemi moderními technologiemi, stejně tak je obtížné najít odborníky s potřebnými analytickými a IT dovednostmi. Největší riziko spojeno s datově orientovanou údržbou, je následné zabezpečení dat proti případným kybernetickým útokům. Velké riziko je také ztráta kontaktu s fyzickým zařízením. Co se týče člověkem orientované údržby, zde se zakládá na lidské zkušenosti, na fyzické přítomnosti člověka a na jeho schopnosti adaptovat se na změny. Zde největší riziko tvoří lidská chyba a odpor ke změně. [20]

Díky IoT a díky tomu, že jednotlivá zařízení komunikují nejen s obsluhou, ale i mezi sebou, dochází k přenosu dat velkých rozměrů. Tyto přenosy dat vzbuzují další riziko v rámci kybernetické bezpečnosti, jelikož to dává možnost útočníkům získat citlivá data a využít je pro vlastní účely, nebo nám zabránit v přístupu k těmto datům. V mnoha provozech dochází k užívání zařízení bez užití antivirové ochrany, nebo bez pravidelných aktualizací, což ještě usnadňuje práci útočníkům. Velkým rizikem jsou osobní počítače a USB datová úložiště, která jsou vynášena do a z prostor firmy. S tím souvisí i rizikové používání neznámých USB datových úložišť na firemních zařízeních, firma se pak lehce může stát obětí útoku hackera pomocí škodlivých programů a virů. Otázka bezpečnosti a soukromí ovlivňuje všechny firmy

zabývající se ukládáním a zpracováním velkých datových objemů. To přináší obrovskou výzvu, jak zajistit zachování dynamičnosti celého systému a neohrozit jeho bezpečnost. Proto je nutné zavést dostatečně robustní systém kybernetické bezpečnosti pro údržbu kritických systémů. Spousta podniků je vůči implementaci údržby 4.0 skeptická právě z důvodu nedůvěry v systémy kybernetické bezpečnosti na ochranu dat. Rizika spojená s kybernetickou bezpečností budou popsána v tab. 7. [16], [30]

Tab. 7: Kybernetická bezpečnost, rizika, následky a návrh opatření

Kybernetická bezpečnost			
č.	Riziko	Následky	Ošetření rizika
1	Vysoké náklady na datově orientovanou údržbu	Omezené možnosti zavedení moderních technologií	Důkladná analýza návratnosti investice (ROI), postupné zavádění dle priorit
2	Nedostatek odborníků s IT a analytickými dovednostmi	Nízká efektivita analýzy dat, nevyužitý potenciál	Vzdělávání stávajících pracovníků, spolupráce s externími specialisty
3	Kybernetické útoky na data z údržby	Ztráta, odcizení nebo zneužití citlivých dat	Zavedení robustního systému kybernetické bezpečnosti, pravidelné aktualizace a školení zaměstnanců
4	Ztráta kontaktu s fyzickým zařízením při datově orientované údržbě	Chyby v údržbě, pozdní odhalení problémů	Kombinace datové analýzy s pravidelnými fyzickými kontrolami zařízení
5	Lidská chyba v člověkem orientované údržbě	Selhání zařízení, bezpečnostní incidenty	Školení, postupy kontroly práce, standardizace procesů
6	Nezabezpečené přenosy dat mezi zařízeními (IoT)	Únik citlivých informací, narušení výroby	Šifrování komunikace, pravidelný monitoring sítí a zařízení
7	Používání nezabezpečených zařízení (PC, USB)	Zavlečení škodlivého softwaru do systémů	Přísná pravidla pro používání externích zařízení, kontrola antivirovou ochranou
8	Nedostatečné školení v oblasti kybernetické bezpečnosti	Laxní přístup zaměstnanců k bezpečnostním opatřením	Pravidelná školení a testování kybernetické gramotnosti zaměstnanců
9	Nejednotné standardy a protokoly mezi zařízeními IoT	Bezpečnostní díry, problémy s interoperabilitou	Zavedení jednotných bezpečnostních standardů a pravidel kompatibility

### 5.3.2 Zpracovávání velkého množství dat

Častá mylná představa u prediktivní údržby je, že čím více dat mám, tím lepší bude výsledek. Opak je ale často pravdou, jelikož úschova velkého objemu dat může v rámci získávání úschovy a následné analýzy stát velké množství peněz. Navíc získávání cenných dat je velmi obtížné, zejména reálných dat, která se skládají z dat z normálního provozu i z chybového stavu. Tato data je těžké získat zejména proto, že stroje často nejsou vybaveny potřebnými snímači pro jejich měření. Nedostatek těchto reálných dat vede ke komplikacím v rámci aplikace algoritmů

prediktivní údržby. V rámci těchto problémů existuje dvoucestné propojení mezi velkými daty a IoT systémy, kde IoT systémy produkují data, zatímco analýza těchto dat zlepšuje přesnost služeb a procesů IoT. Díky tomu vznikají nové problémy v rámci analýzy dat. Výzvy spojené s využitím velkých objemů dat se skrývají převážně v samotném objemu dat, ve vysoké rychlosti toku a sběru dat, jejich rozmanitost a typy, nejistoty ohledně přesnosti a rychlost rozhodování na základě těchto dat.

Samotná kvalita dat a jejich reprezentativnost má pak velký vliv na využití systémů založených na umělé inteligenci. Zde panuje velký důraz na využití zkušených pracovníků, zabývajících se datovou analýzou, ale velká výzva spočívá v nedostatku těchto odborníků. Technologie hlubokého učení je velmi efektivní při využití ve spojení s IoT systémy a s velkými objemy dat. Velký objem dat je totiž potřebný pro správné fungování této technologie. Ovšem hodně dat z údržby je nepřesných, nekompletních a neuspořádaných, obsahuje chybějící hodnoty a postrádá anotace, což přináší „šum“ a komplikuje nasazení algoritmů hlubokého učení. Vytváření takových algoritmů je ale velmi drahé, převážně z důvodu velkého množství dat, které ani nejsou relevantní pro údržbu vybraného stroje.

Následně zpracování a vizualizace takto velkých dat je velmi náročná, protože standardní systémy nejsou stavěné na tak velký objem dat. Dále i v prostředí vzdálených výpočtů narážíme na problémy s nízkou rychlostí zpracování dat při vysokém objemu informací. Proto je potřeba vyvíjet nové druhy systémů a nástrojů pro analýzu velkých dat určené speciálně pro oblast údržby. Rizika spojená se zpracováním velkého množství dat budou popsána v tab. 8. [16], [32], [33]

Tab. 8: Zpracování velkého množství dat, rizika, následky a návrh opatření

Zpracování velkého množství dat			
č.	Riziko	Následky	Ošetření rizika
1	Neaktuální nebo nesprávná data v systémech	Špatná rozhodnutí při údržbě, vyšší riziko selhání zařízení	Zavedení pravidelné kontroly a čištění dat
2	Nedostatek reálných dat ze strojů	Omezená efektivita prediktivní údržby, nemožnost správného trénování modelů	Instalace snímačů na klíčová místa, sběr provozních i chybových dat
3	Přebytek nerelevantních dat	Zvyšování nákladů na analýzu a skladování dat	Definování kritických parametrů sledování a filtrace dat již při sběru
4	Nízká kvalita dat (chybějící hodnoty, šum, absence anotací)	Zhoršená přesnost modelů hlubokého učení	Zavedení předzpracování dat: čištění, doplňování chybějících hodnot, anotace
5	Nedostatek kvalifikovaných datových analytiků	Mylné vyhodnocení dat a implementace opatření	Investice do školení, nábor specialistů, spolupráce s univerzitami
6	Nízká rychlost zpracování dat ve vzdálených výpočtech	Zpožděné rozhodování, snížení efektivity údržby	Optimalizace datových toků, využití rychlejších cloudových řešení

Zpracování velkého množství dat			
č.	Riziko	Následky	Ošetření rizika
7	Nemožnost vizualizace velkých objemů dat	Ztráta přehledu nad stavem zařízení, horší reporting	Zavedení moderních nástrojů pro big data vizualizaci a analytiku
8	Vysoké náklady na skladování a správu dat	Finanční neudržitelnost rozsáhlých prediktivních systémů	Zavedení politiky datové archivace a mazání irelevantních dat

#### 5.4 Spolehlivost a dostupnost řešení

Spolehlivost a dostupnost zařízení a systémů jsou velmi důležité a ve velké míře ovlivňují údržbu, stejně tak i celkovou bezpečnost podniku. Obavy o spolehlivost vznikají zejména u moderních systémů, jako jsou sítě, kolaborativní roboti, kyberneticko-fyzikální systémy, umělá inteligence a simulační modely. Dále také přesnost těchto simulačních modelů pro jejich následnou implementaci v údržbě a bezpečnosti. Další riziko spolehlivosti a dostupnosti se může objevit u systémů virtuální a rozšířené reality. Další roli ve spolehlivosti hraje samotný lidský faktor. [16], [31]

V poslední době se čím dál tím více nahlíží směrem k algoritmům hlubokého učení, což urychluje jejich uplatnění v oblasti údržby a servisu. V oblasti prediktivní údržby se ukázalo, že tyto algoritmy mají svou hodnotu při diagnostice poruch. Při testování, tyto algoritmy dosahují dobrých výsledků při detekci i klasifikaci poruch. Nicméně, pokud aktuální stav nekoresponduje s historickými daty, tyto metody nejsou schopny predikovat budoucí stavy a poruchy. Tento problém je běžný a zároveň představuje velkou výzvu, protože v mnoha případech nemusí být k dispozici data z poruchových stavů – některé stroje mohou fungovat i několik let bez jakékoli poruchy. Přesto mohou existovat potenciální skryté poruchy, které se mohou jednoho dne projevit a v takovém případě způsobit závažné ekonomické škody i ohrožení osobní bezpečnosti. Rizika spojená se spolehlivostí a dostupností řešení budou popsána v tab. 9. [21]

Tab. 9: Spolehlivost a dostupnost řešení, rizika, následky a návrh opatření

Spolehlivost a dostupnost řešení			
č.	Riziko	Následky	Ošetření rizika
1	Nízká spolehlivost moderních systémů (sítě, kolaborativní roboti, CPS, AI)	Výpadky zařízení, ohrožení bezpečnosti a plynulosti výroby	Důkladné testování systémů, zavedení záložních mechanismů a pravidelné aktualizace
2	Nepřesnost simulačních modelů	Chybné predikce údržby, zvýšené riziko poruch	Validace modelů na základě reálných dat, pravidelné aktualizace modelů
3	Poruchovost systémů virtuální a rozšířené reality	Snížení efektivity práce, zvýšené riziko úrazů	Výběr spolehlivých zařízení, pravidelná údržba a testování AR/VR systémů

Spolehlivost a dostupnost řešení			
č.	Riziko	Následky	Ošetření rizika
4	Lidský faktor (chyby obsluhy, nesprávná interpretace dat)	Ohrožení bezpečnosti, snížení spolehlivosti celého systému	Školení zaměřená na nové technologie, trénink na práci s AR/VR a simulačními nástroji
5	Cenová dostupnost systémů virtuální a rozšířené reality	Zdražení implementace	Důkladná rešerše dostupných systémů pro zaručení správného výběru pro požadovanou aplikaci
6	Nedostatek dat z poruchových stavů pro trénink algoritmů hlubokého učení	Nemožnost naučit modely rozpoznávat potenciální poruchy, vyšší riziko neodhalených chyb	Vytváření simulovaných datových sad, rozšíření datasetů o syntetické poruchové scénáře
7	Neschopnost algoritmů hlubokého učení zasahovat mimo historická data	Špatná predikce nových a neznámých poruch, riziko vážných havárií a bezpečnostních incidentů	Kombinace tradiční diagnostiky, expertní znalosti a pokročilých metod strojového učení schopných generalizace

## 6 HODNOCENÍ A SROVNÁNÍ RIZIK

V této kapitole bude provedeno hodnocení a následné srovnání rizik, k hodnocení byla použita matice rizik, z kapitoly 4.3., která využívá čtyřbodovou hodnotící stupnici. Rizika jsou hodnocena na základě pravděpodobnosti (P), následku (N) a jejich součin tvoří celkovou hodnotu rizika (H). Získané hodnocení bylo zapsáno do tabulky a výsledné hodnoty byly barevně zvýrazněny pro snadnější rozlišitelnost. Díky této grafické úpravě jde i lépe vidět rozdíly v jednotlivých metodách a tím dochází i k jejich srovnání. Rizika jsou více popsána v kapitole 5. Tato rizika jsou v následující kapitole reprezentována čísly, ty korespondují s číslováním v tabulkách v kapitole 5.

Tab. 10: Srovnání rizik týkající se organizační náročnosti

Organizační náročnost												
Metoda	TPM			CBM			RBI			RCM		
Hodnocení	P	N	H	P	N	H	P	N	H	P	N	H
Riziko 1	4	3	12	2	3	6	2	2	4	3	3	9
Riziko 2	4	3	12	3	2	6	2	2	4	3	3	9
Riziko 3	2	3	6	3	4	12	4	4	16	4	4	16
Riziko 4	3	3	9	3	4	12	3	3	9	2	3	6
Riziko 5	3	4	12	3	3	9	4	4	16	2	3	6
Riziko 6	2	3	6	4	4	16	3	4	12	3	4	12
Riziko 7	4	4	16	3	3	9	2	2	4	3	3	9

V tabulce 10 lze vidět, že metoda TPM je velmi riziková z pohledu organizace lidských zdrojů, zatímco metody CBM a RBI jsou rizikovější z pohledu organizace hmotných zdrojů. U metody RCM je riziko menší, jelikož po zavedení údržbového plánu, který zpracuje předurčený tým, probíhá údržba výhradně na jeho základě.

Tab. 11: Srovnání rizik týkající se finanční náročnosti

Finanční náročnost												
Metoda	TPM			CBM			RBI			RCM		
Hodnocení	P	N	H	P	N	H	P	N	H	P	N	H
Riziko 1	3	4	12	2	4	8	2	3	6	3	4	12
Riziko 2	4	3	12	3	2	6	2	2	4	2	2	4
Riziko 3	3	3	9	3	2	6	2	3	6	4	4	16
Riziko 4	4	2	8	2	1	2	2	3	6	3	3	9
Riziko 5	3	4	12	2	3	6	2	2	4	3	3	9
Riziko 6	2	3	6	2	3	6	2	2	4	2	4	8
Riziko 7	3	3	9	3	2	6	3	3	9	3	4	12
Riziko 8	4	3	12	3	3	9	2	2	4	3	3	9

V rámci finanční náročnosti (viz tab. 11) lze vidět, že metoda TPM je velmi závislá na počátečních investicích do vzdělávání zaměstnanců a systémů. Metoda RBI vzhledem k financím je nejméně riziková, protože není třeba provádět velké investice do systémů. Metoda CBM je velmi rozšířená, je proto jednodušší najít správné a cenově dostupné nástroje. U metody RCM je velké riziko v počátečních investicích. Na začátku zavádění je potřeba použít velké množství zdrojů pro vytvoření plánu údržby, následně finanční nároky klesají.

Tab. 12: Srovnání rizik týkající se technické zdatnosti pracovníků

Technická zdatnost pracovníků												
Metoda	TPM			CBM			RBI			RCM		
Hodnocení	P	N	H	P	N	H	P	N	H	P	N	H
Riziko 1	4	4	16	3	3	9	2	3	6	3	4	12
Riziko 2	4	3	12	3	3	9	2	2	4	3	3	9
Riziko 3	3	3	9	3	2	6	4	3	12	3	4	12
Riziko 4	3	3	9	2	3	6	3	3	9	2	3	6
Riziko 5	3	3	9	3	3	9	2	3	6	3	3	9
Riziko 6	4	3	12	2	2	4	2	2	4	2	3	6
Riziko 7	3	2	6	1	1	1	1	1	1	2	2	4

Z tabulky 12 vyplývá, že metoda CBM není téměř závislá na technické zdatnosti pracovníků, jelikož o rozhodovací procesy se většinou stará algoritmus k tomu určený. Kdežto ostatní metody jsou závislé na činnosti samotných pracovníků, proto jsou z pohledu technické zdatnosti rizikovější.

Tab. 13: Srovnání rizik týkající se zdraví a bezpečnosti pracovníků

Zdraví a bezpečnost pracovníků												
Metoda	TPM			CBM			RBI			RCM		
Hodnocení	P	N	H	P	N	H	P	N	H	P	N	H
Riziko 1	3	3	9	2	2	4	2	2	4	3	3	9
Riziko 2	4	3	12	2	2	4	1	2	2	3	4	12
Riziko 3	3	3	9	1	1	1	1	2	2	2	2	4
Riziko 4	3	4	12	2	3	6	2	3	6	3	4	12
Riziko 5	3	4	12	2	2	4	2	2	4	2	4	8
Riziko 6	3	3	9	2	2	4	1	2	2	3	3	9
Riziko 7	2	3	6	1	2	2	1	2	2	2	3	6
Riziko 8	3	3	9	2	2	4	2	2	4	2	3	6
Riziko 9	4	4	16	2	2	4	2	2	4	3	4	12

V tabulce 13 lze vidět, že metody, které jsou závislé na lidské činnosti jako TPM a RCM jsou rizikovější v rámci bezpečnosti zaměstnanců. Zatímco metody CBM a RBI jsou méně rizikové, protože člověk není tak velkou součástí údržby.

Tab. 14: Srovnání rizik týkající se implementace IoT

Implementace IoT												
Metoda	TPM			CBM			RBI			RCM		
Hodnocení	P	N	H	P	N	H	P	N	H	P	N	H
Riziko 1	2	2	4	3	3	9	3	3	9	3	4	12
Riziko 2	2	2	4	3	3	9	3	3	9	3	3	9
Riziko 3	2	2	4	3	4	12	2	3	6	3	3	9
Riziko 4	2	2	4	3	4	12	2	3	6	2	3	6
Riziko 5	2	2	4	3	3	9	2	2	4	3	3	9
Riziko 6	3	3	9	2	3	6	1	2	2	2	4	8
Riziko 7	2	2	4	2	2	4	1	2	2	2	3	6
Riziko 8	2	2	4	3	4	12	2	2	4	3	3	9

V tabulce 14 lze vidět, kde metoda TPM nabírá na síle. Jelikož je více závislá na samotných pracovnících a jejich zkušenostech, je odolnější vůči rizikům spojených s implementací IoT technologií. Kdežto metoda CBM, která je velmi závislá na získaných datech, zde při špatné implementaci může výrazně tratit. Metoda RBI je sice také založena na datech, ale opět zde nespornou roli hraje i lidská činnost, a to pomáhá snížit rizikovost. Metoda RCM je nejrizikovější v rámci integrace nových technologií do starých strojů, jelikož pro vytvoření údržbového plánu je potřeba monitorovat veškeré strojní vybavení podniku.

Tab. 15: Srovnání rizik týkající se využití výpočetních center a úschovy dat

Využití výpočetních center a úschova dat												
Metoda	TPM			CBM			RBI			RCM		
Hodnocení	P	N	H	P	N	H	P	N	H	P	N	H
Riziko 1	3	4	12	3	4	12	4	4	16	3	4	12
Riziko 2	3	2	6	3	4	12	3	3	9	3	3	9
Riziko 3	2	3	6	3	4	12	3	3	9	2	3	6
Riziko 4	2	2	4	2	3	6	3	2	6	2	3	6
Riziko 5	3	3	9	3	4	12	3	3	9	3	4	12
Riziko 6	2	3	6	3	4	12	3	2	6	3	3	9
Riziko 7	2	3	6	2	3	6	2	3	6	2	3	6
Riziko 8	2	2	4	3	3	9	3	3	9	3	3	9

Z tabulky 15 vyplývá, že v rámci technologií týkající se práce s daty je nejrizikovější metoda CBM, jelikož je nejvíce založená na datech. Co se týče rizika bezpečnosti v rámci využívání výpočetních center, jsou všechny metody stejně rizikové. Jediná metoda, která vyčnívá nad ostatní je RBI, jelikož pracujeme s daty, které pojednávají o rizicích ovlivňující bezpečnost společnosti.

Tab. 16: Srovnání rizik týkající se kybernetické bezpečnosti

Kybernetická bezpečnost												
Metoda	TPM			CBM			RBI			RCM		
Hodnocení	P	N	H	P	N	H	P	N	H	P	N	H
Riziko 1	2	2	4	3	3	9	2	3	6	2	3	6
Riziko 2	3	3	9	3	3	9	2	2	4	3	3	9
Riziko 3	4	3	12	4	4	16	4	4	16	4	4	16
Riziko 4	2	2	4	4	3	12	2	3	6	2	2	4
Riziko 5	3	4	12	3	3	9	3	4	12	3	4	12
Riziko 6	4	4	16	4	4	16	4	4	16	4	4	16
Riziko 7	4	3	12	4	4	16	4	4	16	3	4	12
Riziko 8	3	4	12	3	3	9	3	4	12	3	4	12
Riziko 9	3	3	9	3	4	12	3	3	9	3	4	12

Tabulka 16 zobrazující hodnoty rizik týkající se kybernetické bezpečnosti jasně ukazuje, že kybernetickou bezpečnost je radno nepodceňovat. V dnešní době je riziko hackerského útoku velmi velké a nevyhne se žádné z metod údržby, jelikož neohrozí pouze proces údržby ale celou společnost.

Tab. 17: Srovnání rizik týkající se zpracování velkého množství dat

Zpracování velkého množství dat												
Metoda	TPM			CBM			RBI			RCM		
Hodnocení	P	N	H	P	N	H	P	N	H	P	N	H
Riziko 1	2	3	6	3	4	12	3	4	12	3	4	12
Riziko 2	2	3	6	3	4	12	3	4	12	3	4	12
Riziko 3	2	2	4	3	4	12	3	3	9	3	4	12
Riziko 4	2	2	4	3	4	12	3	3	9	3	4	12
Riziko 5	3	2	6	3	3	9	2	3	6	3	4	12
Riziko 6	3	2	6	3	3	9	3	2	6	2	2	4
Riziko 7	2	2	4	3	3	9	2	2	4	2	2	4
Riziko 8	2	2	4	3	3	9	3	2	6	3	3	9

V tabulce 17 lze vidět podobné výsledky jako v tabulce 15, kde jsou opět výrazně rizikovější metody závislé na datech, jejich kvalitě a úplnosti. Zatímco metoda TPM více zakládá i na lidských schopnostech. Ostatní metody potřebují k efektivnímu fungování data. Metoda RCM je zde nejrizikovější, jelikož pro vytvoření kvalitního údržbového plánu je třeba kvalitních dat.

Tab. 18: Srovnání rizik týkající se spolehlivosti a dostupnosti řešení

Spolehlivost a dostupnost řešení												
Metoda	TPM			CBM			RBI			RCM		
Hodnocení	P	N	H	P	N	H	P	N	H	P	N	H
Riziko 1	3	3	9	3	4	12	3	3	9	4	4	16
Riziko 2	2	3	6	3	4	12	3	3	9	3	4	12
Riziko 3	3	2	6	3	3	9	3	3	9	3	2	6
Riziko 4	4	4	16	3	2	6	3	4	12	3	4	12
Riziko 5	2	2	4	2	1	2	2	2	4	2	1	2
Riziko 6	2	1	2	3	4	12	3	3	9	3	4	12
Riziko 7	2	1	2	3	4	12	3	4	12	3	4	12

V tabulce 18 lze vidět rozdíl metod, které používají moderní systémy. Metody CBM a RBI, mohou ve velkém měřítku využívat různých algoritmů a umělé inteligence pro efektivnější práci s daty. Mezitím metoda TPM založena převážně na lidech je nejrizikovější právě v lidském faktoru. Metoda RCM je nejrizikovější, protože staví jak na datech, z kterých se plán údržby vytváří, tak na lidech, kteří samotný plán vytváří.

Tab. 19: Kompletní srovnání rizik

Metoda	TPM	CBM	RBI	RCM
Hodnocení	h. rizik	h. rizik	h. rizik	h. rizik
Organizační náročnost	73	70	65	67
Finanční náročnost	80	49	43	79
Technická zdatnost pracovníků	73	44	42	58
Zdraví a bezpečnost pracovníků	94	33	30	78
Implementace IoT	37	73	42	68
Využití výpočetních center a úschova dat	53	81	70	69
Kybernetická bezpečnost	90	108	97	99
Zpracování velkého množství dat	40	84	64	77
Spolehlivost a dostupnost řešení	45	65	64	72
Suma rizik	585	607	517	667

V tabulce 19 dochází k zobrazení součtu hodnot rizik z jednotlivých skupin a celkovému součtu. Díky tomuto součtu dochází ke srovnání jednotlivých metod napříč všemi skupinami a k celkovému srovnání. Jedná se pouze o ilustrativní srovnání metod, hodnota rizik se takto jednoduše sčítat nedá. Při takovémto zhodnocení zaleží na hodnotiteli a na tom, která kritéria jsou pro něj důležitá. Nejlépe z tohoto srovnání vychází metoda RBI. Pravděpodobně je to způsobeno tím, že není extrémně závislá na lidské pracovní síle, ani na moderních technologiích, jako spíše na manažerských zkušenostech. Nejhůře z tohoto srovnání vychází metoda RCM. Které staví jak na lidských schopnostech, tak i na moderních systémech a datech. Metody TPM a CBM vychází ze srovnání podobně, to může být zapříčiněno tím, že jedna metoda primárně staví na lidských schopnostech a druhá primárně na technologiích.

## 7 ZÁVĚR

Cílem práce bylo vypracovat rešerši zaměřenou na údržbu a její historický vývoj, popsání aktuálních přístupů k údržbě a popis jednotlivých metod údržby. Práce si kladla za cíl identifikování rizik spojených se zaváděním nových metod údržby a navrhnout k těmto rizikům opatření.

Druhá kapitola byla věnována teoretickému úvodu k údržbě. Následně zde byly popsány jednotlivé typy údržby a bylo provedeno seznámení s historickým vývojem údržby, počínaje první průmyslovou revolucí.

Kapitola 3 byla zaměřena na údržbu v průmyslu 4.0. Nejdříve došlo k seznámení se samotnou myšlenkou průmyslu 4.0, následně byly probrány moderní metody a přístupy k údržbě. Jedna kapitola zde byla věnována i případnému budoucímu směřování údržby.

Seznámení s riziky byla věnována kapitola 4. Je zde popsána teorie rizik a následná práce s riziky, od identifikace, přes analýzu a hodnocení až k ošetřování rizika. Je zde provedeno seznámení s maticí rizik, pro účely této práce byla zvolena matice 4x4. Došlo i k seznámení s metodami údržby, které úzce souvisí s riziky.

Kapitola 5 byla zaměřena na tematiku rizika zavádění prediktivní údržby. Nejdříve byly identifikovány skupiny rizik (například: rizika v prostředí podniku, rizika spojená s novým informačním systémem a další), které následně byly rozděleny do dalších podskupin (například: organizační náročnost, finanční náročnost, zdraví a bezpečnost pracovníků a další). Poté proběhla identifikace rizik a jejich následků, zároveň byla navržena i opatření pro zmíněná rizika. Celkem bylo identifikováno devět skupin rizik a pro ně byly vytvořeny tabulky. Množství identifikovaných rizik pro jednotlivé skupiny se pohybovalo od sedmi do devíti. V těchto devíti tabulkách bylo dohromady identifikováno 71 rizik, pro která byla rovnou navrhována ošetření.

V následující kapitole dochází ke srovnání jednotlivých metod údržby s využitím již zmíněné matice rizik v závislosti na identifikovaných rizicích. Zvolené metody jsou, totálně produktivní údržba (TPM), údržba na základě stavu (CBM), inspekce rizik (RBI) a údržba zaměřená na bezporuchovost (RCM). Nejprve proběhlo postupné srovnání metod pro jednotlivá rizika v každé ze skupin. Bylo tedy vytvořeno devět tabulek, ve kterých je číselně zaznačena vždy pravděpodobnost rizika a následek rizika pro danou metodu, zároveň s využitím matice rizik byla do tabulky zanesena hodnota rizika, která byla číselně i graficky (barevně) znázorněna. Následně bylo provedeno ilustrační srovnání jednotlivých metod, kde byly sečteny hodnoty jednotlivých rizik ve všech devíti skupinách. Tyto hodnoty poté byly sečteny a byly barevně označeny vždy nejméně rizikové metody pro jednotlivou skupinu rizik a následně i celkově. Z tohoto srovnání vychází nejlépe metoda inspekce rizik (RBI), což je pravděpodobně způsobeno tím, že není moc závislá na lidské činnosti, ani na samotných technologiích. Další méně rizikové metody jsou totálně produktivní údržba (TPM) a údržba na základě stavu (CBM), které jsou ve srovnání velmi vyrovnané, to je pravděpodobně způsobeno tím, že jedna metoda staví primárně na lidských schopnostech a druhá primárně na

technologiích. Nejhůře ze srovnání, vychází údržba zaměřená na bezporuchovost (RCM), je to pravděpodobně tím, že metoda staví jak na lidských schopnostech, tak na technologiích.

Tato bakalářská práce může posloužit jako užitečný podklad či inspirace při zavádění moderního systému údržby v podniku. Přináší ucelený přehled klíčových aspektů a praktických výzev souvisejících s implementací konceptu údržby 4.0 a nabízí základní orientaci pro případné rozhodování. Přestože práce přináší řadu cenných poznatků, pro ještě hlubší podporu při výběru konkrétní strategie by byla vhodná detailnější analýza rizik. Tato oblast by mohla být předmětem dalšího zkoumání v navazujících pracích.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ČSN EN 13306 (010660) *Terminologie údržby*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [2] ČSN EN 13306 (010660) *Terminologie údržby*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [3] ČSN EN 13306 (010660) *Terminologie údržby*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2002.
- [4] LEGÁT, Václav. *Management a inženýrství údržby*. Druhé doplněné vydání. [Praha]: Kamil Mařík - Professional Publishing, 2016. ISBN 978-80-7431-163-5.
- [5] STARR, Andrew; AL-NAJJAR, Basim; HOLMBERG, Kenneth; JANTUNEN, Erkki; BELLEW, Jim et al. Maintenance Today and Future Trends. Online. In: HOLMBERG, Kenneth; ADGAR, Adam; ARNAIZ, Aitor; JANTUNEN, Erkki; MASCOLO, Julien et al. (ed.). *E-maintenance*. London: Springer London, 2010, s. 5-37. ISBN 978-1-84996-204-9. Dostupné z: [https://doi.org/10.1007/978-1-84996-205-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-84996-205-6_2). [cit. 2025-03-01].
- [6] HELEBRANT, František. *Technická diagnostika a spolehlivost. IV., Provoz a údržba strojů*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1690-6.
- [7] POOR, P.; BASL, J. a ZENISEK, D. Predictive Maintenance 4.0 as next evolution step in industrial maintenance development. Online. In: *2019 International Research Conference on Smart Computing and Systems Engineering (SCSE)*. Colombo, Sri Lanka: IEEE, 2019, s. 245-253. ISBN 978-955-704-121-6. ISSN 2613-8662. Dostupné z: <https://doi.org/10.23919/SCSE.2019.8842659>. [cit. 2025-02-22].
- [8] VROŽINA, Milan a DAVID, Jiří. *Spolehlivost a diagnostika*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2595-3. Dostupné také z: <http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/SD/index.htm>.
- [9] YIN, Yong; STECKE, Kathryn E. a LI, Dongni. The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0. Online. *International Journal of Production Research*. 2017, roč. 56, č. 1-2, s. 848-861. ISSN 0020-7543. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1403664>. [cit. 2025-02-22].
- [10] COLOSIMO, Bianca M.; JONES-FARMER, L. Allison; MEGAHED, Fadel M.; PAYNABAR, Kamran; RANJAN, Chitta et al. Statistical Process Monitoring from Industry 2.0 to Industry 4.0: Insights into Research and Practice. Online. *Technometrics*. 2024, roč. 66, č. 4, s. 507-530. ISSN 0040-1706. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/00401706.2024.2327341>. [cit. 2025-02-22].
- [11] MOKYR, Joel a STROTZ, Robert H. *The Second Industrial Revolution , 1870-1914*. 2000. Dostupné také z: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:16047909>.

- [12] ADEYERI, Michael. From Industry 3.0 to Industry 4.0: Smart Predictive Maintenance System as Platform for Leveraging. *Arctic Journal*. 2018, č. 71(11), s. 64-81. ISSN 0004-0843. Dostupné také z: [https://www.researchgate.net/publication/330834178\\_From\\_Industry\\_30\\_to\\_Industry\\_40\\_Smart\\_Predictive\\_Maintenance\\_System\\_as\\_Platform\\_for\\_Leveraging?enrichId=rgreq-2634fdd8b29d7b37f40e876f754b99db-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMzMzMDgzNDE3ODtBUzo4NDE4MDAyODk4OTQ0MDVAMTU3NzcxMjIzNzYwNA%3D%3D&el=1\\_x\\_2](https://www.researchgate.net/publication/330834178_From_Industry_30_to_Industry_40_Smart_Predictive_Maintenance_System_as_Platform_for_Leveraging?enrichId=rgreq-2634fdd8b29d7b37f40e876f754b99db-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMzMzMDgzNDE3ODtBUzo4NDE4MDAyODk4OTQ0MDVAMTU3NzcxMjIzNzYwNA%3D%3D&el=1_x_2).
- [13] MOHAJAN, Haradhan. Third Industrial Revolution Brings Global Development. *Journal of Social Sciences and Humanities*. 2021, roč. (6 December 2021), č. 7, 4, s. 239-251. Dostupné také z: <https://mpr.ub.uni-muenchen.de/110972/>.
- [14] ARUNRAJ, N.S. a MAITI, J. Risk-based maintenance—Techniques and applications. Online. *Journal of Hazardous Materials*. 2007, roč. 142, č. 3, s. 653-661. ISSN 03043894. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.06.069>. [cit. 2025-03-29].
- [15] *Zajištěnost údržby v koncepci Průmysl 4.0: materiály ze 72. semináře Odborné skupiny pro spolehlivost, konaného dne 11.9.2018 v Praze*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2018. ISBN 978-80-02-02819-2.
- [16] JAMES, Ajith Tom; KUMAR, Girish; KHAN, Adnan Qayyum a ASJAD, Mohammad. Maintenance 4.0: implementation challenges and its analysis. Online. *International Journal of Quality & Reliability Management*. 2022, roč. 40, č. 7, s. 1706-1728. ISSN 0265-671X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1108/IJQRM-04-2021-0097>. [cit. 2025-04-21].
- [17] TURNER, C. J.; EMMANOUILIDIS, C.; TOMIYAMA, T.; TIWARI, A. a ROY, R. Intelligent decision support for maintenance: an overview and future trends. Online. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. 2019, roč. 32, č. 10, s. 936-959. ISSN 0951-192X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/0951192X.2019.1667033>. [cit. 2025-03-15].
- [18] BRINTON, B. *Condition-Based Maintenance*. Online. Limble CMMS. 2025. Dostupné z: <https://limblecmms.com/strategies/condition-based-maintenance/>. [cit. 2025-05-10].
- [19] *Condition-Based Maintenance: a comprehensive guide*. Online. Innius. Dostupné z: <https://innius.com/condition-based-maintenance-cbm/>. [cit. 2025-05-10].
- [20] RODA, Irene; MACCHI, Marco a FUMAGALLI, Luca. The Future of Maintenance Within Industry 4.0: An Empirical Research in Manufacturing. Online. In: MOON, Ilkyeong; LEE, Gyu M.; PARK, Jinwoo; KIRITSIS, Dimitris a VON CIEMINSKI, Gregor (ed.). *Advances in Production Management Systems. Smart Manufacturing for Industry 4.0*. IFIP Advances in Information and Communication Technology. Cham: Springer International Publishing, 2018, s. 39-46. ISBN 978-3-319-99706-3. Dostupné z: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-99707-0\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-99707-0_6). [cit. 2025-03-01].

- [21] WANG, Kesheng a WANG, Yi. How AI Affects the Future Predictive Maintenance: A Primer of Deep Learning. Online. In: WANG, Kesheng; WANG, Yi; STRANDHAGEN, Jan Ola a YU, Tao (ed.). *Advanced Manufacturing and Automation VII*. Lecture Notes in Electrical Engineering. Singapore: Springer Singapore, 2018, s. 1-9. ISBN 978-981-10-5767-0. Dostupné z: [https://doi.org/10.1007/978-981-10-5768-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-981-10-5768-7_1). [cit. 2025-03-02].
- [22] ROESER, Sabine; HILLERBRAND, Rafaela; SANDIN, Per a PETERSON, Martin. Introduction to Risk Theory. Online. In: ROESER, Sabine; HILLERBRAND, Rafaela; SANDIN, Per a PETERSON, Martin (ed.). *Handbook of Risk Theory*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2012, s. 1-23. ISBN 978-94-007-1432-8. Dostupné z: [https://doi.org/10.1007/978-94-007-1433-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-94-007-1433-5_1). [cit. 2025-04-21].
- [23] HAJKOVA, Alena a HAMMER, Milos. Application of Modern Approaches to Solving Diagnostic Tasks in Industry. Online. In: *2024 21st International Conference on Mechatronics - Mechatronika (ME)*. IEEE, 2024, s. 1-7. ISBN 979-8-3503-9490-0. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/ME61309.2024.10789654>. [cit. 2025-04-21].
- [24] FLORENCE YEAN YNG LING AND DR CARLOS FORMOSO, Dr; WIJERATNE, W.M.P.U.; PERERA, B.A.K.S. a DE SILVA, L. Identification and assessment risks in maintenance operations. Online. *Built Environment Project and Asset Management*. 2014, roč. 4, č. 4, s. 384-405. ISSN 2044-124X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1108/BEPAM-09-2013-0041>. [cit. 2025-04-21].
- [25] ČSN ISO 31000 (010351) Management rizik - Směrnice. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [26] ŠENOVSKEÝ, Pavel. Matice rizik - zajímavosti, problémy a jak je minimalizovat. *Spektrum*. 2021, roč. 21, č. 2, s. str. 36-41. ISSN 1804-1639. Dostupné také z: [https://www.researchgate.net/publication/356854702\\_Matice\\_rizik\\_-\\_zajimavosti\\_problemy\\_a\\_jak\\_je\\_minimalizovat](https://www.researchgate.net/publication/356854702_Matice_rizik_-_zajimavosti_problemy_a_jak_je_minimalizovat).
- [27] *Aptien*. Online. 2025. Dostupné z: <https://aptien.com/cs/kb/articles/what-is-risk-matrix>. [cit. 2025-05-02].
- [28] DROŽYNER, P a VEITH, E. Risk based inspection methodology overview. *Diagnostyka*. 2002, č. 27, s. 82-88. ISSN 1641-6414.
- [29] ANDERSEN, Bjørn a FAGERHAUG, Tom. *Root cause analysis: simplified tools and techniques*. Second edition. Milwaukee, Wisconsin: ASQ Quality Press, 2006. ISBN 13: 978-0-87389-692-4. Dostupné také z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/natl-ebooks/detail.action?docID=1884171>.
- [30] ACHOUCHE, Mounia; DIMITROVA, Mariya; ZIANE, Khaled; SATTARPANAH KARGANROUDI, Sasan; DHOUIB, Rizck et al. On Predictive Maintenance in Industry 4.0: Overview, Models, and Challenges. Online. *Applied Sciences*. 2022, roč. 12, č. 16. ISSN 2076-3417. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/app12168081>. [cit. 2025-05-11].

- [31] YAMASHITA, Aiko. Modernization from a Maintenance Process Perspective: Challenges and Lessons Learned. Online. *Journal of Advances in Information Technology*. 2017, roč. 8, č. 2, s. 107-113. ISSN 17982340. Dostupné z: <https://doi.org/10.12720/jait.8.2.107-113>. [cit. 2025-05-11].
- [32] JANTUNEN, Erkki; EMMANOUILIDIS, Christos; ARNAIZ, Aitor a GILABERT, Eduardo. E-Maintenance: trends, challenges and opportunities for modern industry. Online. *IFAC Proceedings Volumes*. 2011, roč. 44, č. 1, s. 453-458. ISSN 14746670. Dostupné z: <https://doi.org/10.3182/20110828-6-IT-1002.02824>. [cit. 2025-05-11].
- [33] CHEN, Qianyi; CAO, Jiannong a ZHU, Songye. Data-Driven Monitoring and Predictive Maintenance for Engineering Structures: Technologies, Implementation Challenges, and Future Directions. Online. *IEEE Internet of Things Journal*. 2023, roč. 10, č. 16, s. 14527-14551. ISSN 2327-4662. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/JIOT.2023.3272535>. [cit. 2025-05-11].

## SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

TPM	Total productive maintenance Totálně produktivní údržba
CBM	Condition based maintenance Údržba na základě stavu
RCM	Reliability centered maintenance Údržba zaměřená na bezporuchovost
RBI	Risk based inspection Inspekce rizik
RCA	Root cause analysis Analýza příčin
IoT	Internet of things Internet věcí
AR	Augmented reality Rozšířená realita
VR	Virtual reality Virtuální realita
M2M	Machine-to-machine Stroj – stroj
ROI	Return of investment Návratnost investice
KPI	Key performance indicator Klíčové ukazatele výkonnosti
OEM	Original equipment manufacturer Originální výrobce zařízení
MEMS	Micro electro mechanical systems Mikro elektro-mechanické systémy
CPS	Cyber-physical systems Kyberneticko-fyzikální systémy
AI	Artificial intelligence Umělá inteligence
IT	Information technology Informační technologie
P	Pravděpodobnost
N	Následek
H	Hodnota

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Matice kritičnosti .....	12
Obr. 2: Rozhodovací mapa .....	12
Obr. 3: Rozdělení údržby podle normy ČSN EN 13306 .....	13
Obr. 4: Generace údržby .....	16
Obr. 5: Vanová křivka .....	17
Obr. 6: Vizualizace intervalu P-F CBM v porovnání s preventivní údržbou .....	23
Obr. 7: 4x4 matice rizik .....	29
Obr. 8: Znázornění úrovní příčin .....	31
Obr. 9: Ilustrace skupin nástrojů pro analýzu .....	32

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Organizační náročnost, rizika, následky a návrh opatření.....	33
Tab. 2: Finanční náročnost, rizika, následky a návrh opatření .....	34
Tab. 3: Technická zdatnost pracovníků, rizika, následky a návrh opatření.....	36
Tab. 4: Zdraví a bezpečnost pracovníků, rizika, následky a návrh opatření.....	37
Tab. 5: Implementace IoT, rizika, následky a návrh opatření .....	38
Tab. 6: Výpočetní centra a úschova dat, rizika, následky a návrh opatření.....	39
Tab. 7: Kybernetická bezpečnost, rizika, následky a návrh opatření .....	41
Tab. 8: Zpracování velkého množství dat, rizika, následky a návrh opatření .....	42
Tab. 9: Spolehlivost a dostupnost řešení, rizika, následky a návrh opatření .....	43
Tab. 10: Srovnání rizik týkající se organizační náročnosti.....	45
Tab. 11: Srovnání rizik týkající se finanční náročnosti .....	45
Tab. 12: Srovnání rizik týkající se technické zdatnosti pracovníků .....	46
Tab. 13: Srovnání rizik týkající se zdraví a bezpečnosti pracovníků .....	46
Tab. 14: Srovnání rizik týkající se implementace IoT .....	47
Tab. 15: Srovnání rizik týkající se využití výpočetních center a úschovy dat.....	47
Tab. 16: Srovnání rizik týkající se kybernetické bezpečnosti .....	48
Tab. 17: Srovnání rizik týkající se zpracování velkého množství dat .....	48
Tab. 18: Srovnání rizik týkající se spolehlivosti a dostupnosti řešení.....	49
Tab. 19: Kompletní srovnání rizik .....	49