



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

## SYSTÉM ÚDRŽBY VÝROBNÍHO ZAŘÍZENÍ VE FIREMNÍ PRAXI

MAINTENANCE SYSTEM OF A MANUFACTURING LINE

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jakub Němeček

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Miloš Hammer, CSc.

BRNO 2017



# Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	<b>Bc. Jakub Němeček</b>
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Kvalita, spolehlivost a bezpečnost
Vedoucí práce:	<b>doc. Ing. Miloš Hammer, CSc.</b>
Akademický rok:	2016/17

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

## **Systém údržby výrobního zařízení ve firemní praxi**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Firma ABB s.r.o. se zabývá výrobou výrobků vysokého napětí, konkrétně zapouzdřených vodičů VVN. V souvislosti s tímto v současné době řeší i otázku údržby výrobní linky, začlenění údržby do informačního systému firmy, a to včetně problematiky skladu náhradních dílů a i možnosti řízení nákladů na údržbu.

### **Cíle diplomové práce:**

1. Pojedejte obecně o údržbě ve výrobní praxi.
2. Popište současný stav údržby výrobní linky ve firmě ABB s.r.o, rozeberte databázi poruch a oprav. Soustřeďte se na nevhody současného stavu uvedeného.
3. Navrhněte na základě bodu 2. nový systém údržby a jeho začlenění do informačního systému firmy. Rovněž se soustřeďte na řešení problematiky skladu náhradních dílů.
4. V souvislosti s návrhem nového systému údržby rozeberte i náklady na údržbu a pojednejte o možnosti jejich řízení.

### **Seznam doporučené literatury:**

VORLÍČEK, Zdeněk. Spolehlivost a diagnostika výrobních strojů. 2. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1991. 128 s. ISBN 80-01-00510-0.

KREIDL, Marcel a Radislav ŠMÍD. Technická diagnostika. Senzory - metody - analýza signálu. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006. 408 s. ISBN 80-7300-158-6.

HELEBRANT, František a Jiří ZIEGLER. Technická diagnostika a spolehlivost, II. Vibrodiagnostika. 1. vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2005. 178 s. ISBN 80-248-0650-9.

LEGÁT, Václav a kol. Management a inženýrství údržby. 1. vyd. Příbram: Kamil Mařík PBtisk, 2013. 570 s. ISBN 978-80-7431-119-2.

GREŇČÍK, Juraj a kol. Manažérstvo údržby- Synergia a teorie a praxe. 1. vyd. Košice: Slovenská spoločnosť údržby vo vydavateľstve: BEKI design, s.r.o Košice, 2013. 630 s. ISBN 978-80-89522-03-3.

MYKISKA, Antonín. Bezpečnost a spolehlivost technických systémů. 1. vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2006. 206 s. ISBN 80-01-02868-2.

PAČAIOVÁ, Hana. Riadenie údržby II. Efektivnosť a bezpečnosť v údržbe. 1. vyd. Košice: TU v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2011. 112 s. ISBN 987-80-553-0856-2.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

---

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

---

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

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá návrhem nového systému údržby práškové lakovací linky ve firmě ABB. V teoretické části je popsán historický vývoj údržby, používané metody údržby a typy organizačních struktur. Praktická část popisuje aktuální stav údržby výrobní linky, analýzu tohoto stavu a následně návrh nového systému údržby.

## **ABSTRACT**

This thesis deals with the design of a new maintenance system of a powder coating line at ABB. The theoretical part describes history of maintenance, used maintenance methods, and types of organizational structure. The practical part describes the current state of maintenance of the production line, analysis of the situation, and subsequently design of the new maintenance system.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Metody údržby, preventivní údržba, údržba po poruše, náklady na údržbu

## **KEYWORDS**

Maintenance methods, preventive maintenance, breakdown maintenance, maintenance costs



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

NĚMEČEK, J. Systém údržby výrobního zařízení ve firemní praxi. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 61 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Miloš Hammer, CSc..





## **PODĚKOVÁNÍ**

Chtěl bych tímto poděkovat doc. Ing. Miloši Hammerovi, CSc. za rady a připomínky, poskytnuté při vypracování této diplomové práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Jakubu Votavovi a Bc. Václavu Holečkovi, zaměstnancům firmy ABB, za pomoc při tvorbě práce.



## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Miloše Hammera, CSc. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24.5.2017

.....

Jakub Němeček



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>TEORIE ÚDRŽBY</b> .....	<b>17</b>
2.1	Historický vývoj údržby .....	17
2.2	Základní metody údržby .....	18
2.2.1	Údržba po poruše .....	19
2.2.2	Údržba preventivní .....	19
2.2.3	Údržba podle stavu zařízení .....	19
2.3	Organizace a řízení údržby .....	20
2.3.1	Centralizovaná forma .....	20
2.3.2	Decentralizovaná forma .....	20
2.3.3	Kombinovaná forma .....	20
2.3.4	Outsourcing .....	20
<b>3</b>	<b>MODERNÍ PŘÍSTUPY K ÚDRŽBĚ</b> .....	<b>23</b>
3.1	Reliability Centered maintenance .....	23
3.2	Total Productive Maintenance (TPM) .....	24
<b>4</b>	<b>ABB PGHV BRNO</b> .....	<b>27</b>
4.1	Představení závodu .....	27
4.2	Popis lakovací linky .....	29
<b>5</b>	<b>SOUČASNÝ STAV ÚDRŽBY</b> .....	<b>33</b>
5.1	Rozdělení linky z pohledu údržby .....	33
5.2	Aktuální údržbové plány .....	37
5.3	Databáze poruch a oprav .....	39
5.3.1	Rozdělení poruch .....	39
5.3.2	Analýza databáze .....	40
<b>6</b>	<b>NÁVRH NOVÉHO SYSTÉMU ÚDRŽBY</b> .....	<b>43</b>
6.1	Změny v údržbových plánech .....	43
6.2	Nová podoba checklistu .....	45
6.3	Zavedení do informačního systému .....	48
6.4	Zajištění údržby .....	48
6.5	Sklad kritických náhradních dílů .....	49
<b>7</b>	<b>NÁKLADY NA ÚDRŽBU</b> .....	<b>51</b>
7.1	Bilance nákladů na údržbu .....	51
7.1.1	Zvýšení nákladů na preventivní údržbu .....	51
7.1.2	Snížení ztrát .....	52
7.1.3	Shrnutí .....	52
7.2	Sledování a řízení nákladů na údržbu .....	53
<b>8</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>55</b>
<b>9</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b> .....	<b>57</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>59</b>
<b>11</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>61</b>



# 1 ÚVOD

Problematika údržby je v poslední době velmi aktuální téma. Údržba jako taková byla dříve většinou považována spíše za „nutné zlo“. Nyní se ukazuje, že řízení údržby může přinést velmi výrazné snížení nákladů, zvýšení kvality výrobků, a tím i zvýšení produktivity a vyšší zisky. Je proto velmi důležité věnovat problematice údržby patřičnou pozornost. Důležitým aspektem je také vliv aktuálně prosazované čtvrté průmyslové revoluce, tzv. Industry 4.0. Ta se snaží o digitalizaci a automatizaci všech procesů, tedy i údržby.

Používá se několik různých metod údržby, základní údržbou po poruše počínaje a proaktivní údržbou s využitím technické diagnostiky konče. Vhodně zvoleným přístupem k údržbě lze předejít velkému množství poruch, které by jinak zastavily výrobu na daném zařízení, případně i v celém podniku.

Tato práce pojednává o návrhu nového systému údržby ve firmě ABB., vyrábějící plynem izolované rozvodny velmi vysokého napětí. Konkrétně půjde o údržbu práškové lakovací linky, která je stěžejní částí tamního výrobního procesu. Tato výrobní linka je v České republice poměrně unikátní svou velikostí a složitostí. Nyní má za sebou přibližně tři a půl roku služby, proto je nasnadě přijmout opatření pro zajištění provozu i v dalších letech. Hlavním cílem je zlepšení systému preventivní údržby pro zvýšení spolehlivosti linky a tím zajištění bezporuchového provozu, dále pak i digitalizace údržby v duchu moderních trendů.

V úvodu práce budou rozebrány jednotlivé přístupy k údržbě, jejich principy, výhody i nevýhody. Další částí bude analýza současného stavu údržby výrobní linky ve firmě ABB. Následovat bude popis návrhu nového systému údržby včetně všech jeho částí. Poslední část práce bude věnována nákladům na údržbu a možnostem jejich řízení.





## 2 TEORIE ÚDRŽBY

Údržba je kombinace všech technických, administrativních a manažerských opatření během životního cyklu objektu, zaměřených na jeho udržení ve stavu nebo jeho vrácení do stavu, v němž může vykonávat požadovanou funkci. [1]

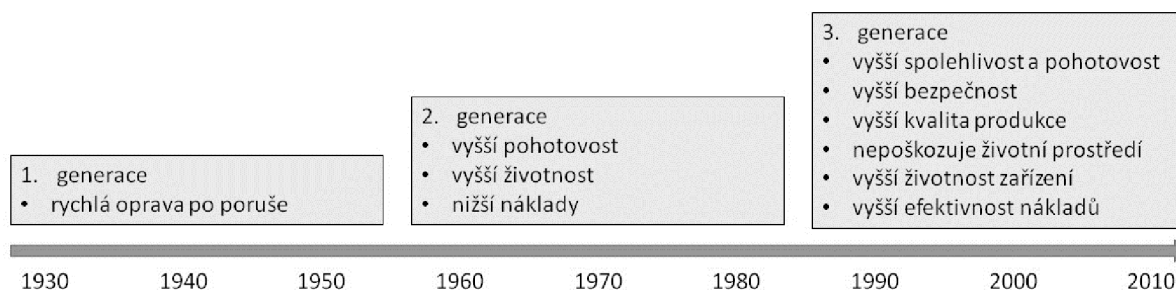
Údržba jako taková existuje již od dob, kdy si lidé začali zhotovovat své první výrobky. Už tehdy byla přirozenou součástí životního cyklu každého výrobku. Postupem času se objevila potřeba tuto údržbu řídit pro dosažení lepších výsledků. Až v dnešní době se začíná ukazovat její skutečný význam pro každou výrobní firmu. Dříve byla údržba považována za finanční a časovou zátěž, dnešní přístup je však zcela odlišný. Firmy zjišťují, že správně nastavený systém managementu údržby dokáže jak ušetřit náklady na provoz výrobních zařízení nebo zkrátit dobu odstávek technologie, tak i zvýšit kvalitu výrobků. To jsou v současnosti jedny z nejdůležitějších ukazatelů každého podniku, vypovídajících o jeho konkurenceschopnosti.

### 2.1 Historický vývoj údržby

Nejstarší důkaz o existenci řízení údržby pochází z doby kolem roku 600 př. n. l., kdy se z dochovaných dokumentů jednoho egyptského kněze dovídáme o přerušení dovozu dřevěných nosníků na opravu posvátné lodi boha AmonRa, způsobeném příliš velkými náklady na tyto „náhradní díly“. Další zmínka je například v dokumentu Římské říše z roku 97 n. l., kde Frontinus, muž zodpovědný za údržbu vodovodního systému Říma, popisuje metody a postupy, které používal při své práci. Lze se dočíst o plánování rozpočtu, plánu preventivní údržby, tvorbě technické dokumentace nebo standardizaci náhradních dílů. [2]

Běžnou údržbu v této době prováděli sami uživatelé, případně výrobci daného výrobku. Jednalo se v drtivé většině případů o tzv. údržbu po poruše. S příchodem průmyslové revoluce na přelomu 18. a 19. století došlo ke značnému rozšíření hromadné velkosériové výroby. Počet strojů a zařízení rapidně rostl, stejně jako jejich složitost. Požadavky kladené na kvalitu výrobních strojů se stále zvyšovaly, což mělo za následek vznik nové profese – údržbář. [2]

Se zvyšováním technické složitosti strojů a zařízení současně rostl i výskyt různých poruch. Proto bylo nutné rozdělit údržbáře podle specializací a začít údržbu těchto strojů organizovat a řídit. John Moubray rozdělil vývoj požadavků na údržbu do 3 základních kategorií, jak je vidět na obrázku 1.

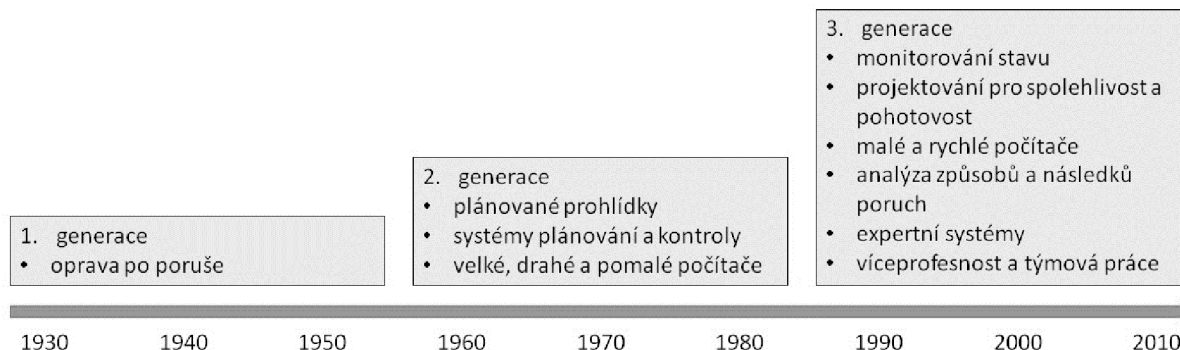


Obr. 1) Vývoj očekávání provozovatele zařízení od údržby [3]

V první generaci je požadováno odstranění poruchového stavu v co možná nejkratším čase a za nejmenší možné náklady. V druhé generaci se požadavek změnil na vyšší spolehlivost zařízení a snížení provozních nákladů. Třetí generace se kromě jiného začíná zabývat

i bezpečností práce a vlivem zařízení na životní prostředí při stále trvající optimalizaci nákladů na údržbu.

V souvislosti s těmito očekáváními se dají rozdělit na tři generace také používané typy a nástroje údržby, jak ukazuje obrázek 2.



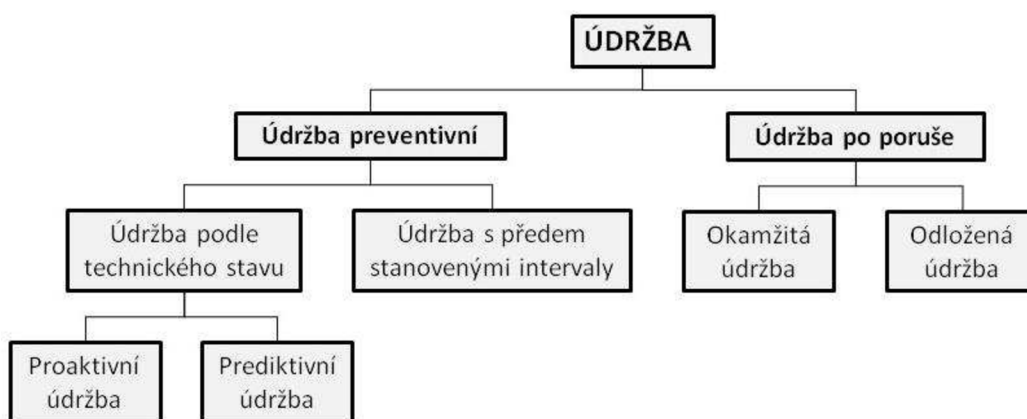
Obr. 2) Vývoj typů a nástrojů údržby [3]

V první generaci převládá údržba po poruše. Druhá generace jde spíše cestou preventivní údržby – snaha zamezit neplánovaným odstávkám stroje a prodloužit jeho životnost. Požadavky třetí generace jsou komplexnější, proto se zavádí monitorování stavu strojů a vyhodnocování získaných dat. Používají se různé formy diagnostiky strojů. Při návrhu nových zařízení se berou v potaz požadavky na bezpečnost a dopad na životní prostředí. Ve snaze snížit plýtvání finančními prostředky při preventivní údržbě vznikly dva nové typy údržby – údržba podle aktuálního stavu a údržba podle předpokládaného stavu.

V současné době se hovoří o generaci čtvrté, tzv. Industry 4.0. To je mezinárodní označení pro čtvrtou průmyslovou revoluci, související s globálním zaváděním automatizace, a s ní související digitalizace. Plánuje se postupný přechod od izolovaných počítačů a strojů k integrovaným systémům, schopným komunikace mezi sebou. Dalším bodem je také propojení virtuálního světa s reálným, kdy bude možné propojit skutečná data s virtuálními simulacemi a modelovat tak různé situace ve výrobních procesech.

## 2.2 Základní metody údržby

V dnešní době je známo několik různých přístupů k údržbě. Níže uvedené schéma zobrazuje jejich rozdělení podle normy ISO 13306.



Obr. 3) Rozdělení údržby podle ISO 13306 [1]

### 2.2.1 Údržba po poruše

Nejzákladnější typ je tzv. údržba po poruše. Při tomto přístupu k údržbě se stroj používá tak dlouho, dokud nenastane porucha. Poté se tato porucha opraví (okamžitá údržba), případně se stroj odstaví a čeká se například na dodání náhradních dílů (odložená údržba). Jde o zdánlivě nejjednodušší a nejlevnější způsob údržby, která se ale může v případě závažnějších poruch velmi vymstít. Poruchy se mohou objevit v nejméně vhodnou chvíli, kdy poté způsobují velmi vysoké finanční ztráty vlivem zastavení výroby a ztráty zisku. Může jít o závažné poruchy, které nejsou opravitelné. Výskyt nebezpečné poruchy může ohrozit také bezpečnost pracovníků, případně mít negativní vliv na životní prostředí. Údržba po poruše se nicméně používá i dnes a bude používat vždy, protože i přes použití jiných efektivnějších metod je výskyt poruchy zařízení stále možný.

### 2.2.2 Údržba preventivní

Dalším typem je údržba preventivní, s předem stanovenými intervaly. V pravidelných intervalech se provedou předem naplánované práce a vymění předem naplánované díly, bez ohledu na jejich skutečný stav. Intervaly jsou většinou dané výrobcem, v některých případech se poté přistupuje k jejich upravení na základě zkušeností z provozu. Délka intervalu může být dána i zákonem, jako je tomu například u vyhrazených technických zařízení. Výhodou této metody je její relativní jednoduchost a přehlednost. Výskyt poruch je výrazně nižší než v případě údržby po poruše. Pravidelné servisy jsou předem jasně naplánované. Termíny je navíc možné upravit tak, aby nekolidovaly s výrobním plánem a nezpůsobovaly tak odstávky technologie při potřebě vyrábět. Nevýhodou tohoto přístupu je možné plýtvání finančními prostředky. Některé díly jsou při servisech měněné za nové, přestože jsou ještě v dobrém stavu. Je proto nutné najít vhodný kompromis – ztráty, způsobené předčasnými výměnami dílů na jedné straně, a ztráty, způsobené případnou poruchou dílů a odstávkou technologie na straně druhé.

### 2.2.3 Údržba podle stavu zařízení

Problém popsáný na konci předchozí kapitoly, řeší údržba podle stavu zařízení – tzv. proaktivní. Ke sledování stavu se kromě subjektivních vjemů (zrak, sluch, hmat a čich) využívají metody technické diagnostiky. Nejčastěji jde o vibrodiagnostiku, termodiagnostiku, elektrodiagnostiku, nebo například tribodiagnostiku. Podle typu daného zařízení se zvolí vhodné parametry (například teplota určité části zařízení, rychlost vibrací u rotačních součástí nebo izolační odpor). Poté se každý parametr měří v pravidelných krátkých intervalech, nebo případně i nepřetržitě při použití tzv. online diagnostiky. Sleduje se trend těchto parametrů a v případě jejich zhoršení se přistupuje k některému z opatření, například údržbě daného zařízení. I přes počáteční zvýšení nákladů na údržbu (pořízení diagnostických systémů) dochází k největší optimalizaci nákladů. Díly se mění až tehdy, kdy je to skutečně potřeba. Výskyt poruch je snížen na nejmenší možnou míru. Online monitoring parametrů umožňuje také odhalit rychle vznikající poruchy, zastavit systém dříve než nastanou a tím minimalizovat následky poruchy.

Další variantou je údržba prediktivní, která kombinuje výhody proaktivní a preventivní údržby. Pomocí diagnostických metod se pravidelně sledují parametry daného zařízení a na základě jejich vyhodnocení se upravuje údržbový plán a stanovují termíny příštího servisu.

## **2.3 Organizace a řízení údržby**

Ve všech firmách s velkým množstvím strojů a zařízení je nutné jejich údržbu řídit. Z hlediska řízení údržby rozlišujeme několik různých typů, a to podle organizační struktury. Každý typ má své výhody i nevýhody. Výběr je proto závislý na podmínkách v daném podniku, jako je například velikost podniku, použité technologie, počet strojů a zařízení atd.

### **2.3.1 Centralizovaná forma**

Centralizovaná organizační forma spočívá v předání zodpovědnosti za veškeré údržbářské činnosti jednomu konkrétnímu útvaru v podniku. Tento útvar zaměstnává několik pracovníků, rozdělených do skupin podle jejich zaměření. Výhodou tohoto použití je velmi vysoká profesionalita zaměstnanců, dostatek správného a kvalitního vybavení a také jednoduchost řízení takového útvaru. Tato forma však má i své nevýhody. Je to například složitější komunikace mezi útvarem údržby a operátory daného zařízení nebo horší znalost aktuálních provozních podmínek. [2]

### **2.3.2 Decentralizovaná forma**

Při použití této organizační formy neexistuje samostatný útvar údržby. Jsou vytvořené skupiny údržbářů, které jsou zařazeny přímo do výrobních oddělení. Lépe proto znají danou technologii a lokální podmínky a mohou spolupracovat a komunikovat přímo s operátory. Každá skupina by měla být sestavena tak, aby byly pokryty všechny profesní specializace nutné na daném úseku. Nevýhodou této formy, na rozdíl od centralizované formy, je nejednotné odborné vedení, složitější komunikace mezi vedením a jednotlivými pracovníky údržby a také složitější využití zdrojů – kvůli velkému množství pracovníků může být omezené množství náradí, strojů i náhradních dílů pro technologii výroby. [2]

### **2.3.3 Kombinovaná forma**

Obě předchozí metody nabízejí určité výhody, ale současně i s nimi spojené nevýhody. Proto se častěji používá kombinace obou zmíněných přístupů, potlačující nevýhody jednotlivých forem. Procesy, u kterých je důležitá znalost aktuálního stavu zařízení, prostředí a podmínek, se provádějí decentralizovanou formou. Pracovníci údržby se zodpovídají centrálnímu vedení údržby, ale jsou často přímou součástí výrobních týmů, kde jsou odpovědní za kontrolu a chod technologie a provádění preventivní údržby. Jde v podstatě o nejnižší úroveň údržby. Naopak procesy, které vyžadují odborníky se specializací, jako jsou například generální opravy zařízení, nákup náhradních dílů, nebo specializovaná řemesla, zůstávají centralizované. Stejně tak i různé dílenské činnosti. [2]

### **2.3.4 Outsourcing**

Outside resourcing, neboli zkráceně outsourcing, je další z možných variant organizace údržby v podniku. V rámci zvýšení produktivity a efektivnosti jsou dnes firmy nucené snižovat stavy zaměstnanců při zachování stejného objemu produkce. Proto je velmi populární outsourcing – danou činnost, například údržbu, provádí externí firma na objednávku. Oddělení údržby ve firmě je poté možno omezit pouze na pracovníka nebo pracovníky, kteří se starají o organizaci a koordinaci údržbářských prací, komunikaci se zajišťujícími firmami, případně o objednávky materiálu a náhradních dílů.

V některých případech je tento přístup k údržbě dán smlouvou – například záruční servis u nových zařízení, který provádí výrobce, nebo jím pověřená osoba. Outsourcing ale má i své zásadní nevýhody – i v případě jednodušších úkonů a oprav je nutné volat externí firmu.

A pokud se objeví náhlá porucha, bránící v provozu zařízení, je nutné odstavit technologii a čekat na příjezd technika externí firmy, což přináší vysoké ztráty z ušlého zisku. Proto některé firmy po nějakém čase přebírají údržbu zpět do svých kompetencí, tzv. insourcing údržby. Případně se kombinují obě metody – drobnou údržbu si obstará firma sama, větší servisní zásahy se zajišťují externě.

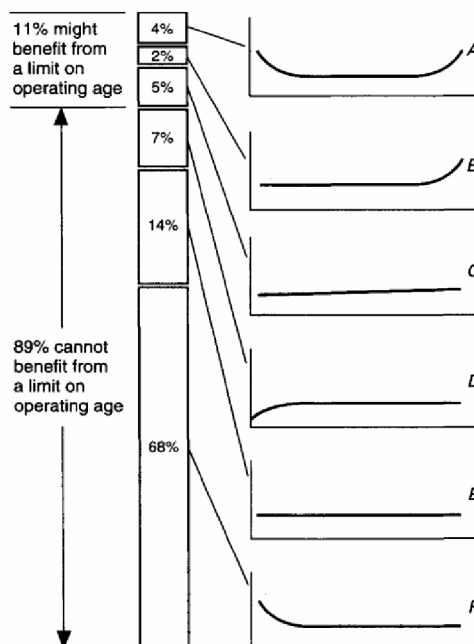


## 3 MODERNÍ PŘÍSTUPY K ÚDRŽBĚ

Technická složitost strojů a zařízení se v poslední době stále zvyšuje. Stroje jsou dokonalejší a vyspělejší, ale současně s tím také někdy méně odolné a náchylnější na poruchy. Je proto v zájmu firmy udržovat je v pokud možno stoprocentním stavu a předcházet tím jak nechtěným odstávkám ve výrobě, tak i nebezpečným poruchám, způsobujícím úrazy pracovníků. Více se hledí také na provozní náklady, ve kterých jsou zahrnuty i náklady na údržbu. To vše generuje poměrně velké nároky na údržbu samotnou, ale i na řízení údržby. Proto vzniklo několik nových komplexních systémů údržby.

### 3.1 Reliability Centered Maintenance

RCM, neboli Údržba zaměřená na bezporuchovost, je program údržby, používaný převážně pro složitější stroje a zařízení. Byl vyvinut v šedesátých letech minulého století v civilním leteckém průmyslu. V té době byl v USA proveden rozsáhlý výzkum poruch různých komponentů civilních letadel. Ukázalo se, že tzv. vanová křivka, kterou se i v dnešní době nejčastěji interpretuje výskyt poruch v závislosti na délce provozu zařízení, odpovídá jen asi 4% komponent. Naopak největší část komponent, konkrétně 68%, sice má období „dětských nemocí“, ale poté se intenzita poruch ustálí a v rámci užitečného života letadel již nedojde k jejímu zvýšení, jak je vidět na obrázku číslo 4. [2]



Obr. 4) Časové průběhy intenzity výskytu poruch prvků letadel United Airlines

Koncept RCM je v zásadě velmi jednoduchý. Jde o systematický přístup k analýze zařízení a návrhu programu údržby. Vyznačuje se čtyřmi hlavními principy:

- Hlavním cílem RCM je zachování funkce systému.
- Identifikace způsobů poruch daných komponent.
- Kategorizace poruch podle logického stromu.
- Použití jednoduchých a efektivních preventivních činností.

V souladu s těmito principy se navrhne efektivní program údržby, což je v podstatě seznam všech údržbářských úkolů, včetně úkolů vycházejících z procesu RCM. Tento program má 4 hlavní cíle:

- Udržení funkce objektu na požadované úrovni spolehlivosti
- Získání informací nutných pro zlepšení návrhu nových zařízení
- Dosažení těchto cílů při minimálních nákladech LCC
- Získání informací nutných pro změny průběžného programu údržby, a jeho zlepšení oproti počátečnímu programu.

Vytvoření RCM systému spočívá ve velmi podrobné analýze daného zařízení (například metoda FMEA), na základě které se navrhuje taková opatření, které pomohou zajistit požadovanou pohotovost, bezpečnost a hospodárnost provozu. Tato analýza je stěžejní částí při vytváření systému údržby. Proveďte se rozdělení systému na podsystemy a skupiny, které se dále dělí na jednotlivé prvky. Pro každý prvek je poté specifikována jeho funkce. Následně se zkoumají způsoby poruch těchto prvků a také příčiny těchto poruch. Pro každou poruchu se definují pravděpodobnosti výskytu a scénáře následků. Jde proto o velmi systematický přístup, který zajistí potřebnou spolehlivost zařízení.

Podrobný návod na použití metody RCM při návrhu údržbového programu poskytuje hlavně norma EN 60300-3-11 2010 Management spolehlivosti. Část 3-11: pokyny k použití – Údržba zaměřená na bezporuchovost.

### 3.2 Total Productive Maintenance (TPM)

Total Productive Maintenance, neboli Komplexní produktivní údržba, pochází z Japonska. Za duchovního otce je považován Seichi Nakajima, který se inspiroval programy preventivní údržby v USA a následně v Evropě. TPM se snaží o maximální efektivitu výrobních zařízení. Vyžaduje zapojení zaměstnanců celé firmy na všech úrovních, nejen pracovníků údržby. Základní myšlenka celého konceptu říká, že velké množství závažných poruch se objeví jen díky ignorování zdánlivě nepatrných indikací a odchylek parametrů od stanovené hodnoty.



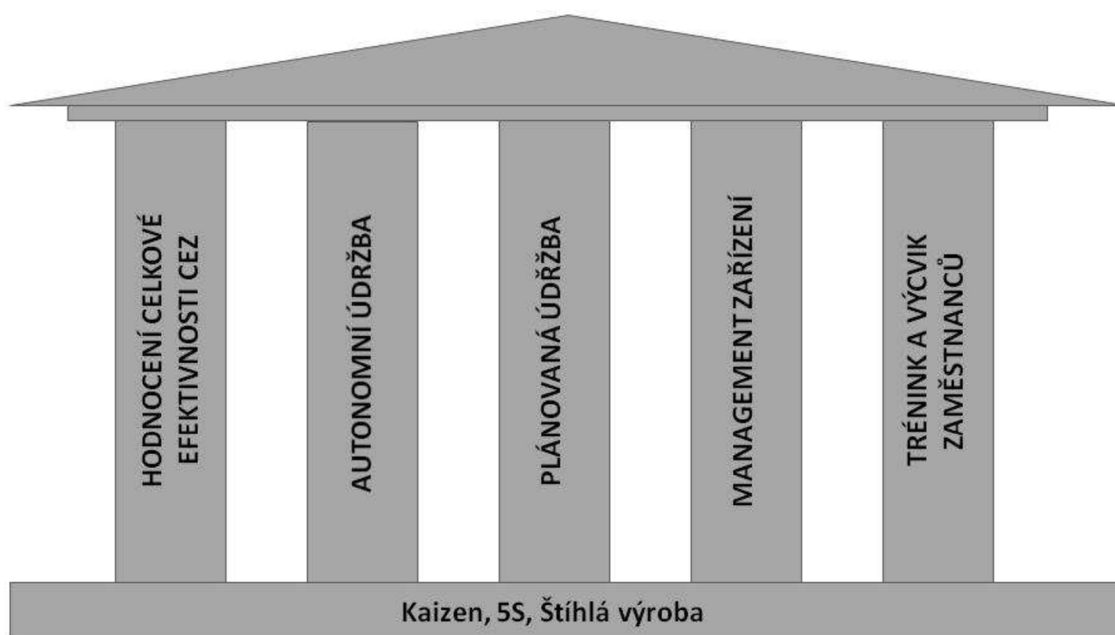
Obr. 5) Obvyklý a TPM přístup k údržbě [4]

Jak je vidět na obrázku 5, při použití TPM mizí rozdíly mezi pracovníky obsluhujícími zařízení a pracovníky udržujícími zařízení. Stejně jako u konceptu neustálého zlepšování platí, že jen pracovník, který je denně v kontaktu se strojem, může detailně znát podmínky provozu. Proto je schopný zachytit různé abnormality a nestandardní chování stroje dříve než pracovník údržby při pravidelné kontrole a předejít tak větším škodám. Jde vlastně o základní smyslovou (zrak, sluch) diagnostiku zařízení. Proto se v rámci tohoto systému i běžná údržba, jako



například mazání, čištění, nebo kontrola dotažení spojů, převádí na operátory výroby. Naopak složitější činnosti jako je diagnostika zařízení, pravidelné inspekce, nebo opravy, jsou zadávány specialistům na údržbu.

System TPM stojí na základních pěti pilířích, jak je vidět na obrázku číslo 6. V některé literatuře je pět základních pilířů rozšířeno na osm. Já se pro jednoduchost a přehlednost přikláním k dělení na pět pilířů, které jsou rozebrané níže.



Obr. 6) Pilíře systému TPM

### Hodnocení celkové efektivity strojů a zařízení

Hodnocením efektivity se snažíme kvantifikovat ztráty, které jsou způsobeny například výrobními prostoji, nízkou kvalitou, poruchami zařízení nebo snížením výkonu. Celková efektivity zařízení (CEZ) se počítá pomocí součinitelů pohotovosti, výkonnosti a kvality.

### Autonomní údržba

Spočívá v přenechání základních údržbářských činností operátorům. Pracovníci údržby se soustředí jen na komplikovanější zásahy, vyžadující odpovídající kvalifikaci. Operátoři mohou využívat svých znalostí z provozu zařízení a odhalit abnormality nebo nepravdivnosti chodu zařízení dříve než nastane porucha bránící provozu. To má za následek kratší výrobní prostoje a úsporu nákladů na údržbu.

### Plánovaná údržba

Do této kategorie spadá například standardní preventivní údržba nebo pravidelné kontroly a revize zařízení. Důležité je ale i vedení dokumentace o poruchách, jejich opravách, a pravidelně provedených zásazích. Dále se lze zabývat sledováním nákladů na údržbu daného zařízení nebo problematikou náhradních dílů a jejich ideální zásoby, případně včasného dodání.

### System pro návrh preventivní údržby a včasný management zařízení

Již při návrhu nového zařízení by se mělo myslet na program jeho údržby a s ním spojené náklady. Stejně tak při provozu zařízení je důležité zaznamenávat nejrůznější podněty spojené s užíváním a údržbou zařízení. Tyto podněty se poté zpravují při návrhu, případně nákupu nového zařízení.

### Trénink pro zlepšení zručnosti pracovníků

V souvislosti se zavedením autonomní údržby je nutné proškolit operátory – důležitá je jak znalost filozofie a metod TPM, tak i znalosti spojené s daným strojem a jeho údržbou. Operátoři by měli být seznámeni například s plánem preventivní údržby, ale také s konstrukcí daného stroje, aby byli schopni identifikovat nejpravděpodobnější příčinu jednodušších poruch.

## 4 ABB PGHV BRNO

Tato práce byla vypracována ve spolupráci s firmou ABB, konkrétně s jednotkou PGHV Brno Slatina. Firma ABB patří se svou více než sto dvacet let trvající historií mezi světové lídry v oblasti energetiky a automatizace. Zaměstnává téměř 150 000 lidí po celém světě, z toho asi 3 500 zaměstnanců je v České republice.



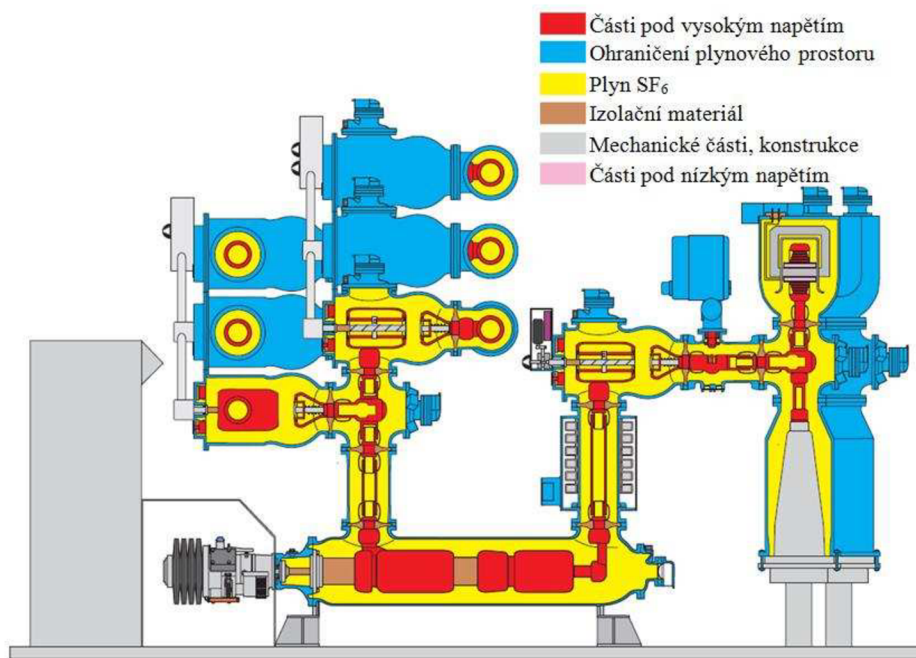
Obr. 7) Sídlo firmy ABB PGHV, Brno Slatina [5]

### 4.1 Představení závodu

Brněnská jednotka PGHV byla založena v roce 2007, ve výrobním areálu ABB na Vídeňské ulici. V roce 2013 se přestěhovala do nově vybudovaných prostor v CT parku ve Slatině. Výrobnímu úseku tak přibyla vlastní svařovna pouzder a moderní prášková lakovna. V současné době zde pracuje téměř 300 zaměstnanců. Firma se zabývá výrobou plynem izolovaných zapouzdřených rozvodů vysokého napětí (GIS). Je certifikována dle norem ISO 9001 (systém řízení kvality), ISO 14001 (management ochrany životního prostředí), a také OHSAS 18001 (systém managementu bezpečnosti a ochrany zdraví při práci).

Současná produkce zahrnuje několik řad výrobků pro napětí 300-550kV a proud až 6300 A, vždy přizpůsobené požadavkům konkrétního zákazníka. Zapouzdřené rozvodny se od těch standardních vzduchem izolovaných liší uzavřením vodičů do pouzder, které jsou napuštěny fluoridem sírovým. Ten působí jako výborný izolant, díky čemuž je tato rozvodna až pětkrát menší než AIS, tedy vzduchem izolovaná. Díky netečnosti a regeneračním schopnostem plynu nabízí také delší servisní intervaly. Odhadovaná životnost těchto rozvodů se pohybuje okolo osmdesáti let. Významnými výhodami jsou také bezpečnost (části VVN jsou chráněny proti okolí) a nízké magnetické pole, díky kterému nejsou rušeny citlivé přístroje například v nemocnicích, nebo na letištích.

Na následujícím obrázku je vidět schematický řez GIS rozvodnou.



Obr. 8) Ukázka části GIS rozvodny [5]

Na níže uvedené fotografii je pohled na největší doposud vyrobenou GIS rozvodnu firmy ABB, namontované ve vodní elektrárně na přehradě Tři soutěsky v Číně.

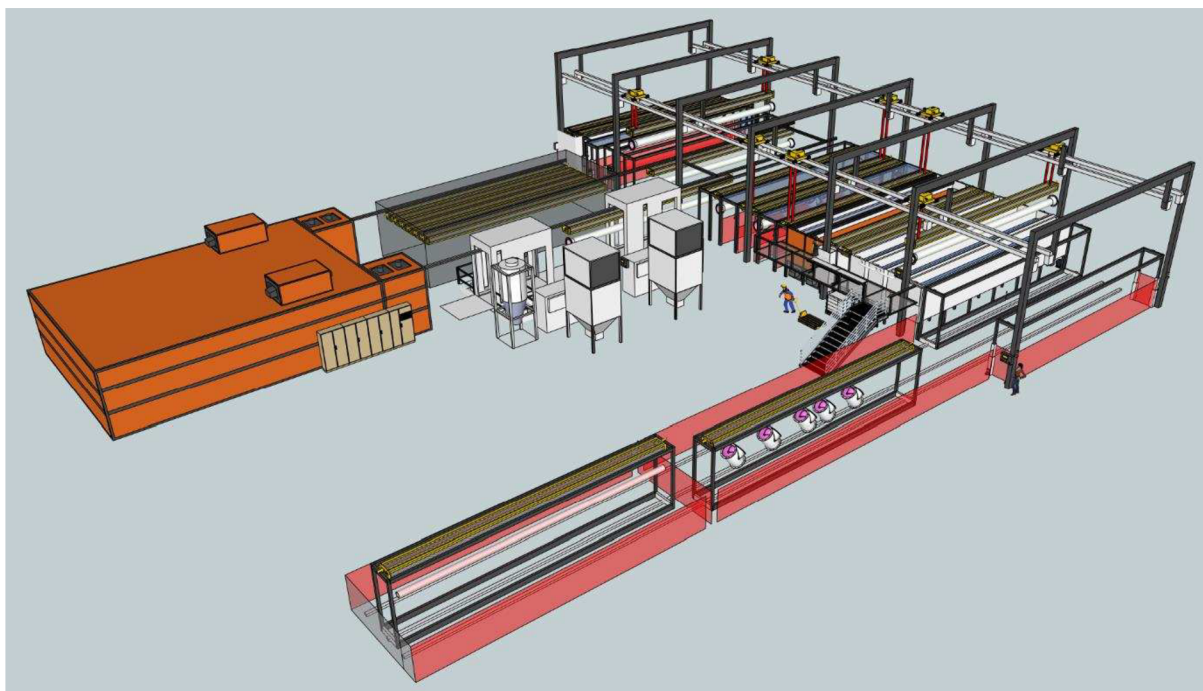


Obr. 9) Rozvodna od firmy ABB na přehradě Tři soutěsky [6]

## 4.2 Popis lakovací linky

Tato práce je zaměřena na analýzu spolehlivosti lakovací linky a následně návrh nového systému údržby této linky. Jedná se o tzv. práškové lakování, které je v posledních letech stále rozšířenější. Tento typ lakování nabízí velmi dobré mechanické vlastnosti nátěru a také lépe vyhovuje ekologickým předpisům, než tradiční „mokré lakování“, kde se používají chemická rozpouštědla.

Lakovací linka je poloautomatická, řízená softwarem HI Vision. Je uzpůsobena pro taktovou výrobu. Schématický nákres linky je vidět na následujícím obrázku.

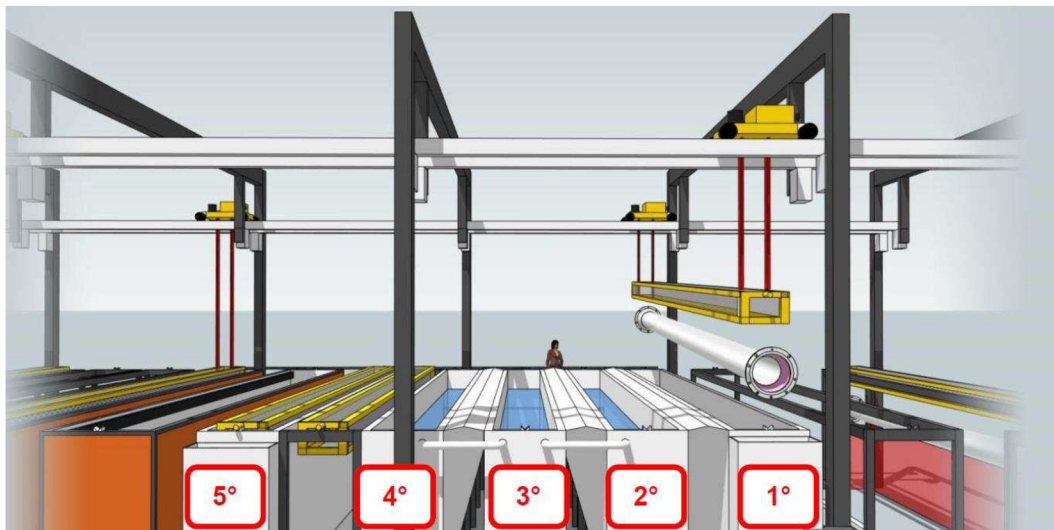


Obr. 10) Schématický nákres lakovací linky [7]

Při práškovém lakování projdou díly nejprve mechanickou přípravou. Je nutné obrousit veškeré špičky, ostré výčnělky, rýhy a jiné nedokonalosti povrchu, které by mohly ovlivnit jak výslednou kvalitu laku, tak i finální test smontované sestavy vysokým napětím. Po vybroušení jsou díly umyty v tlakové myčce a navěšeny na linku, přesněji řečeno na tzv. šíny. K zavěšování se používají různé typy ocelových háků, přizpůsobených tvaru navěšovaného dílu. Linka je postavena pro díly (pouzdra a vodiče) až 10 m dlouhé. Šíny se automaticky pokládají na zavěšovací vozíky, označené jako Trubky, Vodiče, Třafa a Tvarovky, které jsou určeny pro zavěšení daného typu materiálu.

Navěšené díly projdou postupně pěti stupni chemické předúpravy. Každá lázeň má velikost přibližně 15m<sup>3</sup>. První vana slouží ke kyselému odmaštění a dezoxidaci materiálu. Povrch materiálu je zde zbaven zbylých nečistot a mastnoty. Materiál je v lázni 5-10 min, podle aktuálního provozu linky, přičemž se udržuje teplota lázně 50-60 °C. Druhá, třetí a čtvrtá vana slouží k oplachu. Druhá používá vodu z řádu, třetí a čtvrtá lázeň je naplněna tzv. demineralizovanou vodou. Všechny tři oplachy mají teplotu okolního prostředí a dobu expozice asi dvě minuty. Posledním stupněm je tzv. pasivace neboli vytvoření konverzní vrstvy na povrchu materiálu. Ta působí jako antikorozi ochrana materiálu a zvyšuje povrchové napětí

pro lepší přilnavost práškové barvy. Teplota lázně se pohybuje mezi 20-30°C, doba expozice je cca 1-3 min. Postup chemické předúpravy ukazuje obrázek číslo 11.



Obr. 11) Chemická předúprava materiálu [7]

Po vytažení z pasivační lázně putují díly do sušící pece, kde se z povrchu odstraňují zbytky chemie a oplachů. Délka sušení dílů je řízena softwarem linky (přizpůsobuje se taktům). Běžně se ale čas sušení pohybuje okolo 10-15 minut. Linka obsahuje dvě paralelní pece, do kterých se materiál střídavě ukládá pro urychlení provozu. Teplota vzduchu v pecích je přibližně 65°C.

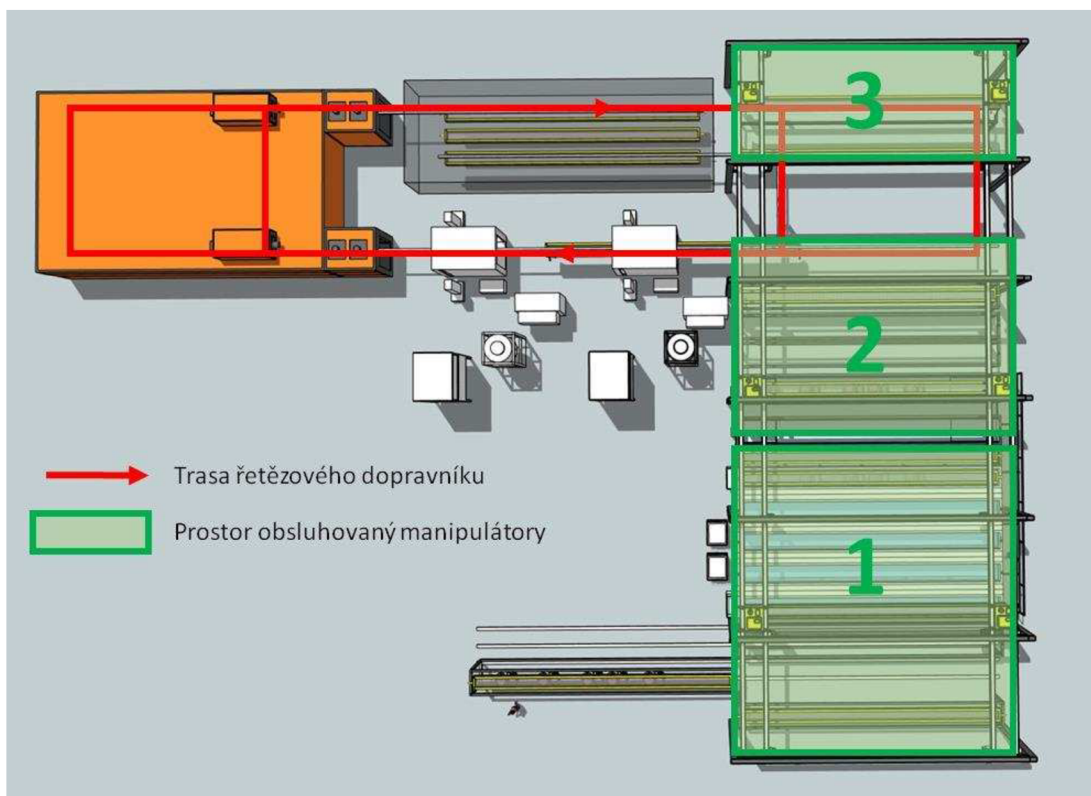


Obr. 12) Pohled na sušící pece a pracoviště maskování [7]

Po vysušení jsou díly dopraveny na pracoviště maskování. Zde se provede kontrola čistoty a vysušení materiálu. Plochy, které nemají být nalakovány, se zamaskují speciálními přípravky, případně maskovacími páskami. Rozmístění technologie je na obrázku 12.

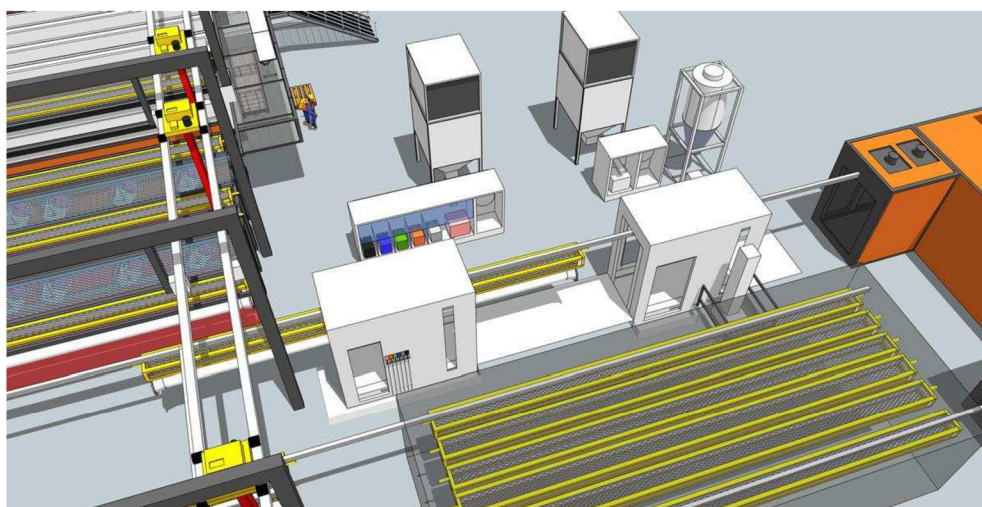
Manipulaci s šínami až dosud zajišťovaly dva automaticky řízené pojezdové manipulátory, číslo 1 a 2. Po zamaskování materiálu předá manipulátor každou šínu řetězovému dopravníku, který vede přes lakování, vypékání barvy, a chlazení materiálu až na pracoviště

svěšování, kde rozdělení šín na jednotlivé svěšovací pozice provádí automatický manipulátor číslo 3.



Obr. 13) Automatické manipulátory a řetězový dopravník [7]

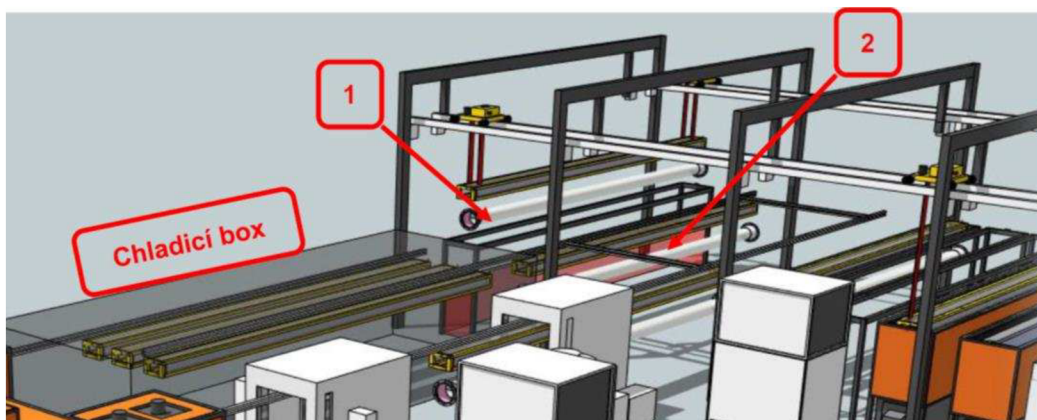
Lakování probíhá pomocí ručních a automatických elektrostatických aplikátorů ve dvou lakovacích kabinách, za kontinuálního pohybu dopravníku. První kabina slouží především k aplikaci vnitřní barvy na vodiče a vnitřní plochy pouzder. Vodiče se lakují automaticky, lakování vnitřních ploch provádí obsluha ručními pistolemi. Druhá kabina se používá pro aplikaci vnější barvy na pouzdra a drobné díly. Nanášení se primárně provádí automaticky, na tvarově složité díly a špatně přístupná místa se barva nanáší za provozu i ručními pistolemi.



Obr. 14) Pohled na lakovací kabiny a práškové centrum [7]

Po nanesení práškové barvy pokračují šiny s materiálem do průchozí horkovzdušné pece, kde se nátěr vytvrdí. Teplota v peci se pomocí plynových hořáků udržuje na hodnotě 200°C (dle technického listu příslušného nátěru). Doba vytvrzení barvy se pohybuje okolo 70 minut. Opět ji určuje automatický řídicí systém linky podle aktuální situace a typu barvy.

Materiál s vytvrzeným nátěrem posune dopravník do chladicího boxu. Zde proudí chladnější vzduch, nasávaný z vnějšku. Dochází k postupnému ochlazení materiálu pro možnost další manipulace s ním. Po ochlazení jsou šiny přebrány dalším párem manipulátorů a doručeny na příslušné svěšovací místo, podle typu materiálu.



Obr. 15) Svěšování (1 – trubky a vodiče, 2 – ostatní díly)

Po svěšení všech dílů si prázdnou šinu postupně předají všechny 3 dvojice manipulátorů a dopraví ji opět na začátek celého procesu, kde se jsou opět navěšeny další díly a celý proces se opakuje.



## 5 SOUČASNÝ STAV ÚDRŽBY

V současné době je na linku aplikován systém preventivní údržby, navržený převážně technologem lakovny, v souladu s pokyny od výrobce linky. Údržba je rozdělena podle následujícího schématu.

- |                     |   |                                      |
|---------------------|---|--------------------------------------|
| • Denní údržba      | } | Pevně dané, opakující se termíny     |
| • Týdenní údržba    |   |                                      |
| • Měsíční údržba    | } | Předem naplánovaná servisní odstávka |
| • Čtvrtletní údržba |   |                                      |
| • Pololetní údržba  |   |                                      |
| • Roční údržba      |   |                                      |

Obr. 16) Aktuální rozdělení údržby linky

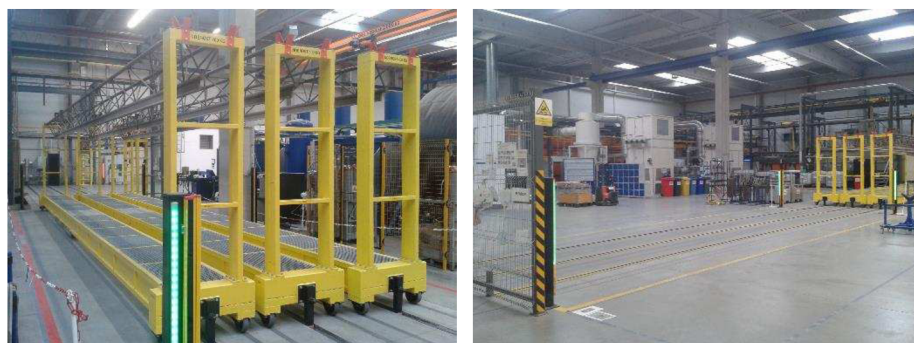
Úkony údržby jsou rozděleny dle příslušných kompetencí. Pravidelné provozní kontroly a čištění některých částí provádí operátoři linky, mistr směny, nebo technik údržby. Důkladnější kontroly technologie, případně seřizování některých částí má za úkol technik údržby lakovny. Pravidelné servisy a zásadnější opravy částí technologie jsou prováděny výrobcem linky v rámci záručního servisu.

### 5.1 Rozdělení linky z pohledu údržby

Lakovací linka je velmi rozsáhlá a složitá. Proto je z hlediska údržby nutné rozdělit ji na menší celky. V současné době se tedy používá rozdělení podle technologických částí na 10 různých typů zařízení.

#### 1 – Pojezdové vozíky a jejich dráhy

Tyto tři automaticky řízené vozíky slouží k převozu šín s materiálem mezi pracovištěm navěšování a prostorem obsluhovaným manipulátorem. Prostor pohybu vozíku je monitorován světelnými branami. Při neoprávněném vkročení člověka do dráhy vozíku dojde k nouzovému zastavení.



Obr. 17) Pojezdové vozíky 1-3 a jejich dráhy

## 2 - Spouštěcí rámy na pracovištích navěšování a maskování

Umožňují vertikální posuv šín pro snadnější manipulaci s materiálem při navěšování a svěšování.



Obr. 18) Spouštěcí rámy pro šíny

## 3 – Manipulátory 1-3

Automaticky řízené manipulátory s pojezdem a zdvihacím jeřábovým zařízením umožňují manipulaci s šínami mezi lázněmi chemické předúpravy, sušící pecí a pracovišti maskování a svěšování. Jde vždy o dvojici zařízení, například 1.1 a 1.2, označovaných souhrnně jako manipulátor č. 1.



Obr. 19) Automatické manipulátory

## 4 – Chemická předúprava

Skládá se z pěti samostatných lázní. Každá vana má velikost asi 15m<sup>3</sup>. Manipulaci s materiálem mezi jednotlivými lázněmi zajišťují manipulátory.



Obr. 20) a) celkový pohled na chemickou předúpravu, b) oplachové lázně

### 5 – Plynové pece

Patří sem jak sušící pece 1 a 2 mezi chemickou předúpravou a pracovištěm maskování, tak i velká vypalovací pec a chladicí box.



Obr. 21) a) plynové sušící pece, b) chladicí box

### 6 – Dopravník

Automatický řetězový dopravník slouží k pohybu materiálu v lakovacích kabinách, vypalovací peci a chladicím boxu. Řetěz je v pohybu neustále, pohyb traverz ovládají stopky, které se otevírají a zavírají na pokyn ovládacího SW.



Obr. 22) Řetězový dopravník

### 7 – Lakovací kabiny 1 a 2, včetně zásobníku prášku a hasicí zařízení

Tyto kabiny se používají k nanášení práškové barvy. Kabina 1 pro vnitřní barvu, kabina 2 pro vnější barvu. Součástí každé kabiny jsou aplikační pistole, systém odsávání přebytečného prášku v podlaze, vzduchové ofukovací pistole, a jiné zařízení.



Obr. 23) Zleva: lakovací kabina 2, aplikační pistole, lakovací kabina 1

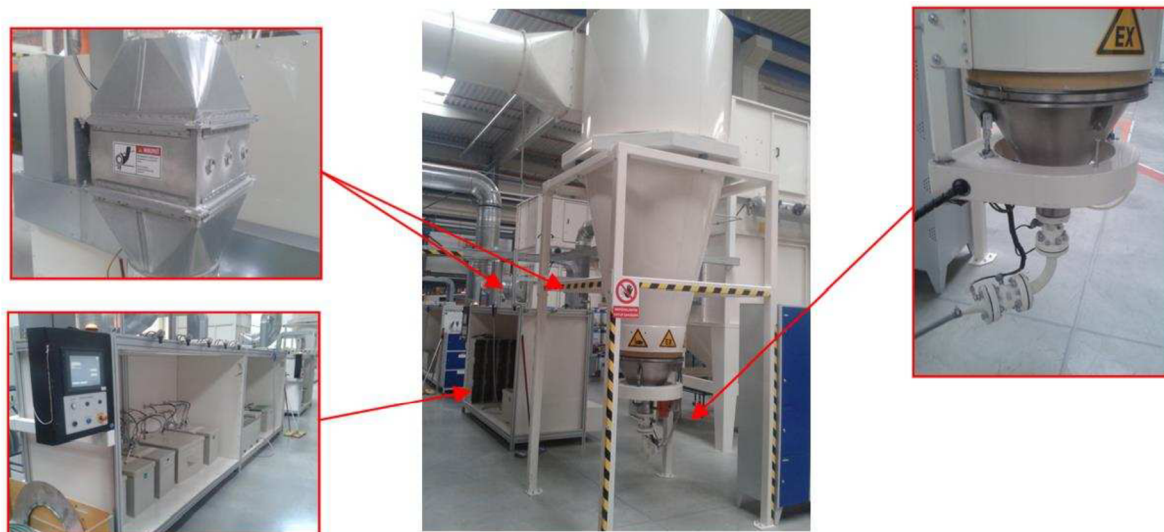
### 8 – Manipulátor lakovací kabiny číslo 2

Používá se pro automatické nanášení vnější barvy u pouzder a tvarově jednoduchých součástí. K detekci materiálu a nastavení správné výšky používá optická čidla.



Obr. 24) Manipulátor lakovací kabiny

## 9 – Podavač prášku a monocyclon



Obr. 25) Práškové centrum, monocyclon

## 10 – Rozvaděč, ovládací elektronika

Skříně obsahující elektroniku potřebnou pro chod linky.



Obr. 26) Rozvaděč lakovací linky

### 5.2 Aktuální údržbové plány

V současné době se údržba linky provádí podle údržbových plánů, daných interní směrnici. Tyto plány, jak již bylo řečeno, byly vytvořeny technologem lakovny ve spolupráci s technikem údržby a výrobcem linky.

Plány jsou rozděleny na denní, týdenní, měsíční, čtvrtletní, pololetní a roční údržbu. Každý úkon má své jedinečné číslo, podle kterého lze sledovat jeho splnění ve formuláři pro zápis údržby. Úkony jsou rozděleny podle technologických úseků linky (předchozí kapitola). Pro každý úkon je definované, kdy se má provést a kdo nese zodpovědnost za splnění.

Ukázka plánu měsíční údržby je na následující straně, obrázek číslo 27. Pro měsíční údržbu je vedoucím lakovny naplánován termín podle aktuální situace, vždy se jedná o jeden celý den. Největší část úkonů v případě měsíční údržby provádí dodavatel linky, firma ITS, zbytek je rozdělen mezi technika údržby a pomocné pracovníky lakovny.



organizační jednotka PPHV BRNO

## Měsíční údržba lakovací linky práškové lakovny

Kontrolovaná část	Číslo kontroly	Popis kontroly	Doba kontroly	Kdo provádí
<i>Dopravník</i>	<b>1M</b>	Kontrola, seřízení třecích spojek	Při pravidelné odstávce	ITS
	<b>2M</b>	Kontrola, seřízení mazací jednotky	Při pravidelné odstávce	ITS
	<b>3M</b>	Kontrola, seřízení pohonných jednotek	Při pravidelné odstávce	ITS
	<b>4M</b>	Kontrola všech částí dopravníku, včetně dopravníkového profilu a stopek	Při pravidelné odstávce	ITS
<i>Manipulátory a spouštěcí rámy</i>	<b>5M</b>	Kontrola šroub. Spojů, pojistných kroužků	Při pravidelné odstávce	Údržbář/ITS
<i>Pojzdové vozíky</i>	<b>6M</b>	Kontrola a vysátí kabelové drážky	Při pravidelné odstávce	Pracovník lakovny
	<b>7M</b>	Kontrola mechanických dílů, kabelu, navijecího bubnu	Při pravidelné odstávce	Údržbář/ITS
<i>Plynové pece</i>	<b>8M</b>	Vysátí prachu uvnitř pecí (sušící 1 a 2, vypalovací, chladič)	Při pravidelné odstávce	Pracovník lakovny
	<b>9M</b>	Čištění vzduchových clon a cirkulátorů	Při pravidelné odstávce	Pracovník lakovny
<i>Chemická předúprava</i>	<b>10M</b>	Čištění trysek	Při odstávce spojenou s čištěním lázni	Pracovník lakovny
	<b>11M</b>	Čištění van a spadlých dílců v úpravě	Při odstávce spojenou s čištěním lázni	Pracovník lakovny
	<b>12M</b>	Kontrola a čištění tepelného výměníku	V případě potřeby při dohodnuté odstávce	Údržbář
<i>Lakovací kabiny</i>	<b>13M</b>	Vyleštění kabiny a kompletní vyčištění	Při pravidelné odstávce	Lakýrník
	<b>14M</b>	Vysypání a vyčištění zásobníků barev	Při pravidelné odstávce	Lakýrník
	<b>15M</b>	Celková kontrola kabin	Při pravidelné odstávce	ITS
<i>Podavače prášku</i>	<b>16M</b>	Kontrola opotřebení hadicových ventilů	Při pravidelné odstávce	ITS
<i>Manipulátor lakovací kabiny 2</i>	<b>17M</b>	Celková kontrola manipulátoru včetně kontroly uložení, pojezdů a mazání pohonných řetězů.	Při pravidelné odstávce	Údržbář/ITS
	<b>18M</b>	Kontrola a seřízení snímačů polohy	Při pravidelné odstávce	ITS
<i>Rozvaděč</i>	<b>19M</b>	Kontrola (výměna) filtru v rozvaděči	Při pravidelné odstávce	Údržbář
	<b>20M</b>	Záloha databáze na flash disk	Při pravidelné odstávce	ITS/Technolog
	<b>21M</b>	Restartovat terminál	Při pravidelné odstávce	Pracovník lakovny/Technolog

Obr. 27) Měsíční plán údržby

## 5.3 Databáze poruch a oprav

Vzhledem k poměrně častému výskytu různých drobných poruch je v lakovně vedena evidence poruch a závad. Díky této evidenci je tedy možné zjistit nejčastější typy poruch, a pokusit se o jejich odstranění.

### 5.3.1 Rozdělení poruch

Abych mohl zapsaná data vyhodnotit, rozdělil jsem si poruchy do osmi kategorií, podle typu poruchy nebo nejpravděpodobnější příčiny:

#### EtherCAT

Jde o poruchu sběrnice systému typu EtherCAT. Nastala chyba komunikace, po které řídicí SW provedl nouzové zastavení linky. Tato chyba byla zaznamenána během necelého půl roku celkem 53 krát, přičemž četnost výskytu se postupně zvyšovala. Tento typ poruchy je dnes již vyřešený. Oprava proběhla dodatečným uzemněním všech elektronických částí technologie (manipulátory, rozvaděče) a výměnou pojistkových odpojovačů technologie.

#### Mechanická porucha

Do této kategorie jsem zařadil běžné typy mechanických poruch, jako je například prasknutí, nebo poškození dílů, opotřebení ložisek, zanesení dílů nečistotami, zaseknutí hnacího řetězu a podobně.

#### Chyba SW

Tvořila 16% všech poruch. Jde například o situace, kdy řídicí SW náhodně hlásil chyby, které se neprokázaly. Velkou část tvořila také špatná koordinace jednotlivých částí linky, která měla za následek vzájemné kolize dvou manipulátorů, případně nosných traverz. To může mít za následek i nebezpečné situace, kdy dochází k pádu materiálu, jako je na obrázku 28.



Obr. 28) Pád šíny v důsledku chyby SW

Tento typ poruch se ukázal jako naprosto nepředvídatelný a náhodně se vyskytující. Přestože je stále v řešení, příčiny tohoto chování jsou podle mého názoru v zásadě dvě hlavní:

- Nedostatečná kvalita řídicího programu – při nouzovém zastavení linky (například vlivem poruchy) neumí SW vrátit pohyblivé části do bezpečných poloh a začít pohyb znovu. Proto v některých případech reaguje špatně a hrozí kolize manipulátorů a traverz na dopravníku.

- Některé pohyblivé části linky nemají kontinuální sledování polohy – příklad: transportní vozík převáží nosnou traverzu mezi dvěma manipulátory. Během pohybu však dojde k nouzovému zastavení linky (ruční, nebo porucha). Po odblokování program neví, v jaké poloze se vozík nachází. V některých situacích se proto zachová špatně, a hrozí riziko kolize s dalšími částmi linky.

### Elektronická porucha

V tomto případě jde o poruchy elektronických částí linky. Jsou to například poruchy čidel a světelných závor, výpadek jističů nebo nefunkční tlačítka na ovládacím panelu. Jsou většinou řešeny restartem systému, případně výměnou nefunkčních dílů.

### Výpadek plynu

Šlo například o detekci úniku plynu, nebo výpadek plynových kotlů, což mělo za následek pokles teplot v pecích a tím zastavení provozu linky.

### Lidská chyba

Jen malá část poruch byla způsobena chybou obsluhy. Jednalo se například o neúmyslné poškození čidel nebo špatné navěšení materiálu, což mělo za následek pád materiálu do lázni a zastavení linky kvůli jeho vylovení. Dalším příkladem byla kolize pohyblivých součástí linky s nevhodně odstaveným regálem nebo vozíkem. Ve všech případech šlo o náhodné, ojedinělé chyby, které neměly zásadní vliv na chod linky.

### Nesouvisí s linkou

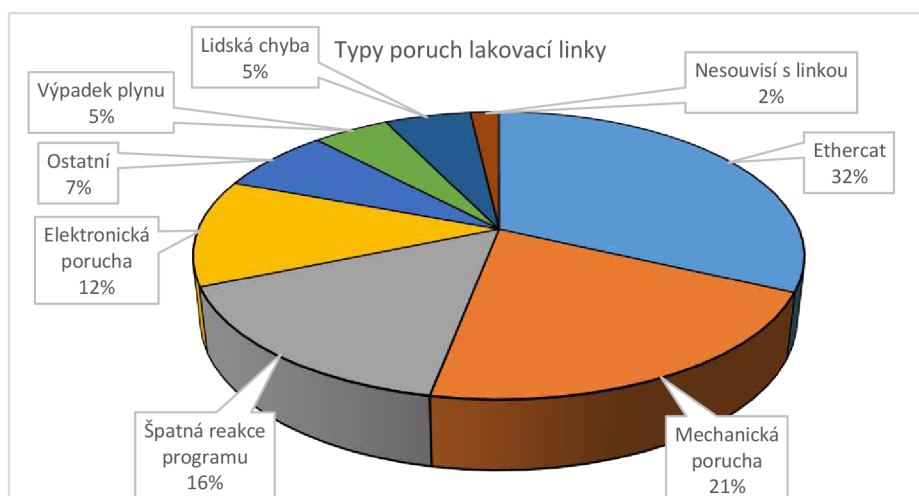
Jsou to poruchy, které se vyskytly na lakovně, ale nesouvisí přímo s lakovací linkou a jejími částmi. Do evidence tedy patří, ale není úkolem této práce se jimi zabývat.

### Ostatní

Poruchy, které nepatří do žádné z předchozích skupin a současně se neopakují, nebudou tedy vyčleněny do samostatné skupiny. Šlo například o nefunkční osvětlení na některých pracovištích, nebo vysoké pH v neutralizační stanici.

## 5.3.2 Analýza databáze

Nejprve jsem všechny zaznamenané poruchy rozdělil do výše zmíněných kategorií. Počet výskytů každého typu poruchy je vidět na následujícím grafu.

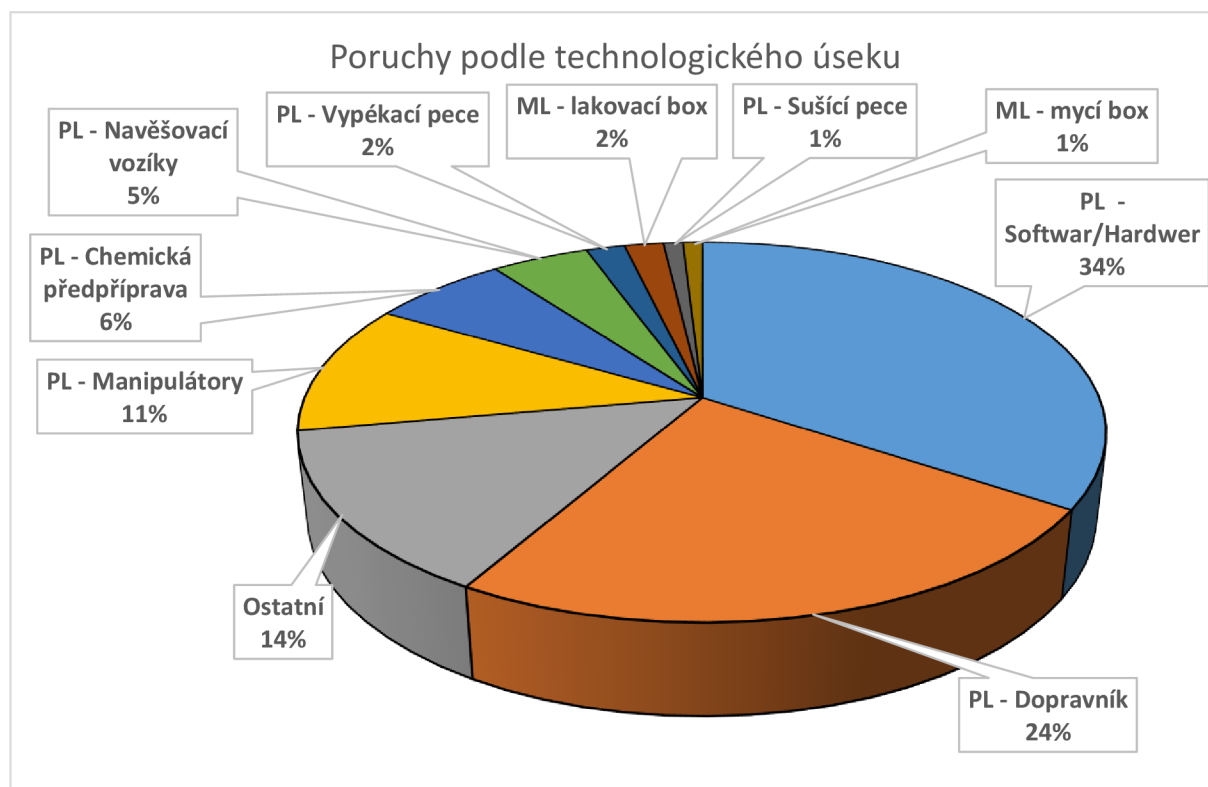


Obr. 29) Rozdělení poruch podle typů



Jak je z grafu vidět, téměř 70% všech zaznamenaných poruch je způsobeno třemi hlavními problémy - EtherCAT, mechanické poruchy a chyby SW. Jak již bylo řečeno, problém EtherCAT je vyřešený a porucha se nyní znovu neobjevuje. Mechanické poruchy tvoří velkou část zaznamenaných poruch, ale vyskytují se náhodně a v různých částech linky, nelze proto přijmout žádné souhrnné opatření, které by umožnilo snížit výskyt těchto poruch. Proto doporučuji zaměřit se na problémový SW. Výskyt těchto chyb bude dle mého názoru větší než uvedených 16%. V mnoha případech taková chyba následovala po výpadku linky z důvodu chyby komunikace EtherCAT, ale v databázi poruch je uvedený jen zmíněný EtherCAT.

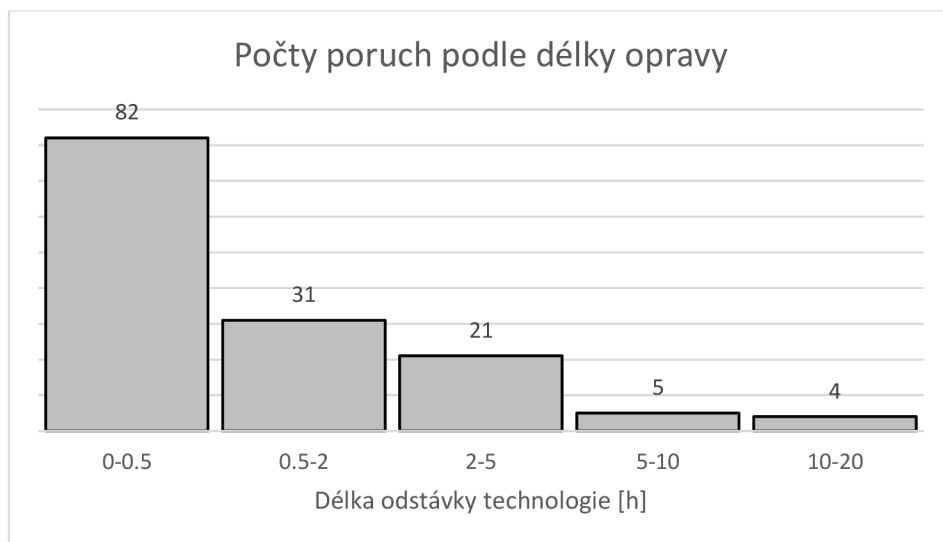
Při zadávání každé poruchy do databáze se vyplňuje také technologická část, na které porucha nastala. Výsledné procentuální rozdělení je vidět na obrázku číslo 29.



Obr. 30) Rozdělení poruch podle úseku

Tímto grafem se prokázalo, že nejproblémovější částí výrobní linky je její SW. Následuje řetězový dopravník, u kterého byl problém s vadnými stopkami. Tento problém se dnes již neobjevuje.

Z hlediska závažnosti poruch lze konstatovat, že téměř 86% všech zaznamenaných poruch bránilo v provozu linky, a tudíž si vynutilo zastavení výroby. Střední doba opravy těchto poruch MTTR dosáhla hodnoty jedné hodiny a dvaceti osmi minut. Celková doba odstávek technologie, způsobených neočekávanými poruchami a následnými opravami po poruše, se za jeden rok (po tuto dobu byla vedena databáze poruch) vyšplhala přes 210 hodin. Znárodnění poruch, rozdělených podle délky oprav jednotlivých poruch je na obrázku číslo 30.



Obr. 31) Doba oprav poruch, bránících v provozu linky

Jak lze z grafu vidět, nejvíce odstávek bylo způsobeno malými, rychle řešitelnými problémy. Z celkového součtu odstávek 210 hodin tvořily tyto poruchy jen asi 15 hodin. Neměly tudíž zásadní vliv na výkonnost linky. Největším problémem jsou odstávky delší, než 2 hodiny. Těch bylo sice výrazně méně, ale dohromady způsobily více, než 150 hodin neplánované odstávky technologie. Velkou část těchto problémů způsobily právě chyby softwaru, kdy se čekalo několik hodin na příjezd servisního technika a následně další hodiny trvalo řešení problému.

## 6 NÁVRH NOVÉHO SYSTÉMU ÚDRŽBY

Cílem této práce je na základě předchozí analýzy navrhnout nový, lepší systém údržby, který zajistí zvýšení pohotovosti a bezporuchovosti zařízení. Snahou je také digitalizace údržby, umožňující její efektivní řízení a sběr dat, v duchu filozofie Industry 4.0 – tzv. čtvrté průmyslové revoluce.

Analýza databáze poruch ukázala, že největším problémem lakovací linky z hlediska spolehlivosti je momentálně její ovládací SW. Tento problém ale nelze vyřešit preventivními opatřeními v rámci údržbových plánů. V současné době proto probíhají reklamační jednání s dodavatelem linky o nápravě. V rámci své práce se zaměřím spíše na drobné úpravy současných údržbových plánů a následně vytvoření komplexního systému údržby.

### 6.1 Změny v údržbových plánech

Prvním a základním krokem bylo vytvoření jednotného seznamu všech údržbářských činností. Ten až do současné doby chyběl, vše bylo vedeno pouze formou konkrétních plánů údržby (denní, týdenní, atd.), viz kapitola 5.2, což je méně přehledné a systematické.

Rozdělení lakovací linky na úseky jsem se rozhodl zachovat. Ideální z pohledu vytváření provozních deníků a zapojení operátorů linky by bylo rozdělení podle pracovišť. Některé části linky ale probíhají přes několik pracovišť, tudíž by se obtížně určovala odpovědnost. Jiné části, jako například manipulátory, pouze obsluhují pohyb linky, ale formálně nenáleží žádnému pracovišti, což by bylo opět problematické.

Při návrhu nového systému údržby by samozřejmě bylo nejlepší využít k analýze linky některou systematickou metodu (například FMEA), kdy by se provedla podrobná analýza jednotlivých zařízení z hlediska způsobů a důsledků poruch, a poté na základě navržených opatření vytvářet údržbový plán. Toto řešení jsem ale zavrhl ze dvou důvodů. Za prvé by vzhledem k technické složitosti linky byla FMEA všech zařízení příliš časově náročná a nad rámec této práce, a za druhé se současné údržbové plány ukázaly v průběhu času jako poměrně dobře nastavené, není proto důvod pro jejich radikální změnu. Záměrem je spíše jejich zlepšení.

Po vytvoření seznamu údržbářských úkonů pro jednotlivé technologické úseky linky podle dosavadních údržbových plánů jsem proto z výše popsanych důvodů provedl jejich revizi. Několik údržbářských úkonů bylo po konzultaci s technologem lakovny a technikem údržby změněno. Změny se týkaly jak samotného popisu úkonu, tak i četnosti provádění a odpovědnosti osob. Některé úkony se v průběhu času ukázaly jako neopodstatněné, případně jsou nyní součástí jiných provozních dokumentů, proto byly z tohoto údržbového plánu zcela vymazány. Naopak bylo přidáno velké množství nových úkonů na základě důkladného prostudování návodů k zařízením od výrobců, a hlavně také na základě zkušeností z provozu linky. Mezi přidané úkony patří především vizuální kontroly, kontroly funkčnosti některých zařízení a čidel (jako prevence opakujících se poruch) nebo také kontroly bezpečnostních systémů (například tlačítka nouzového zastavení nebo automatický hasicí systém lakovacích boxů). Poněkud zanedbávanou částí údržby bylo také pravidelné čištění a mazání pohyblivých částí manipulátorů a spouštěcích rámu, a také doplňování oleje do převodovkových skříní motorů. Tyto úkony byly tedy zařazeny do údržbového plánu, a to vždy v intervalech odpovídajících mazacím plánům v návodech od výrobce daného zařízení.

Dalším důležitým přidaným úkonem je důkladnější čištění a vysávání prostoru vypalovací pece, chladicího boxu, a také čištění všech částí řetězového dopravníku, včetně nosné konstrukce. Již vícekrát se totiž objevily na materiálu zapečené nečistoty v laku, jako například drobné částice a kapky oleje, které spadly na materiál z řetězového dopravníku a které nejsou přípustné z hlediska kvality laku. Tato vada je sice opravitelná (opětovné přelakování materiálu), ale způsobuje značné (a hlavně zbytečné) ztráty. Příklad této vady je na obrázku číslo 32.



Obr. 32) Příklad vady materiálu způsobené nečistotami

Několik změn bylo uskutečněno také v souladu s aktuálně probíhajícím zařazením zdvihacích zařízení výrobní linky mezi vyhrazená technická zařízení. Z tohoto důvodu byly do údržbového plánu přidány denní kontroly zařízení odpovědnými pracovníky a pravidelné prohlídky výrobcem zařízení. Tento úkon byl v jisté míře prováděn i doposud, ale neexistovala definice bodů kontroly a průběhu údržby. Současně byly také zavedeny Deníky zdvihacích zařízení, které slouží pro zápis denních kontrol pracovníky lakovny.

Podstatnou změnou je také vytvoření jednotlivých úrovní údržby. Pro větší přehlednost jsem všechny údržbářské úkony rozdělil do 3 základních úrovní:

- Level 1
- Level 2
- Level 3

První úroveň obsahuje úkony běžné provozní údržby, vykonávané na denní, týdenní a z části i měsíční bázi. Jde například o pravidelné čištění lakovacích pistolí a celého systému, včetně zásobníku barev nebo pravidelné chemické analýzy oplachových lázní. Dále jsou to například kontroly průchodnosti hadic u lakovacích boxů, kontrola dopravního tlaku nebo kontrola plnicích čerpadel chemické předúpravy. Všechny zmíněné úkony patří do denní údržby. Z týdenní je to například kontrola trysek u 3. oplachové vany nebo čištění cyklonu a potrubí. Měsíční úkony sem patří pouze tři, jde v podstatě o kompletní vyčištění lakovacích kabin a celého lakovacího systému, které se provádí při pravidelné měsíční odstávce. Odpovědnost za tyto úkony je rozdělena mezi mistra směny a jeho zástupce. Pro záznam o provedení údržby této úrovně bude vytvořen checklist v papírové formě.

Druhá úroveň zahrnuje všechny úkony, vykonávané technikem údržby lakovny. Jak běžné provozní kontroly, tak i složitější a náročnější údržbářské úkony, které vyžadují odstávku technologie a jsou proto prováděny v rámci měsíčních, čtvrtletních a ročních servisů. Patří sem

například podrobnější kontroly jednotlivých zařízení a systémů, promazání pohyblivých částí (ložiska, vodící lišty, převodovky pohonů a jiné), kontroly šroubových spojů, a podobné. Další součástí této úrovně je i pravidelný úklid, vykonávaný pracovníky lakovny pod dozorem mistra. Jde mimo jiné o čištění a vysávání důležitých částí technologie (dopravníkový profil, drážky pojezdových vozíků, případně vany chemické předúpravy). Dříve bylo provedení těchto úkonů zaznamenáno v papírových checklistech. Nyní bude tato úroveň nahrána do informačního systému firmy, který bude automaticky a s dostatečným předstihem rozesílat odpovědným osobám upozornění a následně hlídat splnění všech úkolů.

Součástí úrovně číslo 3 jsou generální servisy, komplexní kontroly všech zařízení, pravidelné revize a veškeré další činnosti, které jsou zajišťovány v rámci outsourcingu externími firmami. Ať už se jedná přímo o výrobce zařízení, nebo jen pověřeného servisního / revizního technika. Tato úroveň bude rovněž nahrána do informačního systému. Ten poté bude automaticky generovat objednávky servisních zásahů pro externí firmy.

## 6.2 Nová podoba checklistu

Jak již bylo výše uvedeno, snahou této práce je převést údržbu a veškerou s ní spojenou dokumentaci do digitální podoby. Přesto jsem se pro záznamy o údržbě na základní první úrovni rozhodl ponechat formu papírového formuláře. Jelikož jde o velké množství úkonů na primárně denní bázi, znamenalo by vyplňování checklistu na počítači značnou administrativní zátěž. Navíc by bylo nutné obstarat zástupcům mistra směny přístup k počítači (doposud nebylo třeba), případně všechnu zodpovědnost za jejich úkony předat mistrům, což by opět zvýšilo jejich časovou zátěž.

Dosavadní formuláře pro záznam byly rozdělené podle typu údržby (denní, týdenní, ...). Vždy byl na jednom listu plán údržby, na druhém formulář pro záznam splnění jednotlivých úkonů, což mi přijde jako poněkud nepřehledné řešení. Nyní bude checklist pouze pro jednu úroveň údržby, čímž se značně sníží počet úkonů. V zájmu zachování maximální přehlednosti tedy bylo mou snahou „vejít se“ na jeden list papíru, i za cenu toho, že půjde o list formátu A3.

Právě pro zachování jednoduchosti (vše na jednom listu) jsem zvolil týdenní formu záznamu. Checklist proto bude obsahovat seznam úkonů, jejich rozdělení na denní, týdenní a měsíční četnost, časové zařazení úkonu (například „V pátek na odpolední směně“) a odpovědnost za provedení daného úkonu. Na druhé půlce listu budou políčka pro vyplnění při splnění úkonu. Náhled současné podoby formuláře je na obrázku číslo 33. Mnou navržená nová podoba je na obrázku 34 na následující dvoustraně.

Pracoviště: Prášková lakovna  
Powder coating shop

organizační jednotka PPHV BRNO

Rok (Year): .....

TÝDENNÍ ZÁZNAM O PROVEDENÉ ÚDRŽBĚ (Weekly record of maintenance)							
Číslo kontroly (Number of control)	Měsíc Month	Týden Week					Poznámka Note
		KT	KT	KT	KT	KT	
1T	Datum(Date):						
	Podpis(Signature):						
2T	Datum(Date):						
	Podpis(Signature):						
3T	Datum(Date):						
	Podpis(Signature):						
4T	Datum(Date):						
	Podpis(Signature):						
5T	Datum(Date):						
	Podpis(Signature):						

Obr. 33) Současná podoba formulářů pro záznam o provedené údržbě

## Záznam o údržbě práškové lakovací linky, Level 1

Úsek linky		Popis činnosti	Kdy	Kdo
Denní	Spouštěcí rámy	1 Vizualní kontrola nosných popruhů (otěr, otřepy, nařiznutí)	V průběhu ranní směny	Mistr na směně
	Manipulátory + převážecí vozík	2 Vizualní kontrola nosných popruhů (otěr, otřepy, nařiznutí)	V průběhu ranní směny	Mistr na směně
	Chemická předúprava	3 Chemická analýza lázni	V průběhu odpolední směny	Mistr na směně
		4 Kontrola funkčnosti plnicích čerpadel	V průběhu každé směny	Mistr na směně
		5 Kontrola těsnosti van předúpravy	V průběhu odpolední směny	Mistr na směně
	Plynové pece	6 Kontrola dle provozního řádu	V průběhu ranní směny	Mistr na směně
	Lakovací kabiny	7 Vizualní kontrola stavu	Na konci každé směny	Zástupce mistra
		8 Vyčištění pistolí a celého systému včetně zásobníku	Na konci každé směny	Zástupce mistra
		9 Kontrola desky a síta	Na konci každé směny	Zástupce mistra
		10 Kontrola znečištění cyklonu	Na konci každé směny	Zástupce mistra
	Manipulátor lakovací kabiny	11 Vizualní kontrola stavu a funkce	Na konci odpolední směny	Zástupce mistra
	Podavač prášku, monocyklon	12 Kontrola tlaku ventilů (2-3 bar)	Na konci odpolední směny	Zástupce mistra
		13 Kontrola dopravního tlaku	Na konci odpolední směny	Zástupce mistra
		14 Kontrola gumového spoje pod cyklonem	Na konci odpolední směny	Zástupce mistra
		15 Kontrola průchodnosti hadic a ventilů	Na konci odpolední směny	Zástupce mistra
		16 Kontrola funkčnosti filtru	Na konci odpolední směny	Zástupce mistra
Týdenní	Chemická předúprava	17 Kontrola trysek - pohybu hladiny u 3. oplachové vany	V pátek během odpolední směny	Zástupce mistra
	Lakovací kabiny	18 Kontrola průchodnosti ventilů a hadic, čištění hadic	V pátek během odpolední směny	Zástupce mistra
	Podavač prášku, monocyklon	19 Kontrola hadice mezi cyklonem a zásobníkem (neporušení, těsnost, průchodnost)	V pátek na konci odpolední směny	Zástupce mistra
		20 Kontrola a čištění cyklonu a potrubí - čepičky / abrazivo dle potřeby	V pátek na konci odpolední směny	Zástupce mistra
Měsíční	Lakovací kabiny	21 Vyčištění a vyleštění kabiny	Při pravidelné odstávce	Zástupce mistra
		22 Vysypání a vyčištění zásobníků barev	Při pravidelné odstávce	Zástupce mistra
		23 Kontrola a čištění světel (kabina + práškové centrum)	Při pravidelné odstávce	Zástupce mistra

Obr. 34) Nová podoba checklistu



otoka PGHV Brno

Kalendářní týden č.:

Měsíc:

Rok:

Po	Út	St	Čt	Pá	So

Přílohou checklistu bude dokument s vizuální podobou každého úkonu, který zpřesní jeho zadání. Sníží se tím riziko špatně odvedené, případně neodvedené práce z důvodu neznalosti. Přínosem bude také snadnější a rychlejší zaučení nových pracovníků. Příklad je na obrázku 35.

<p><b>1. Spouštěcí rámy - Vizuální kontrola nosných popruhů</b></p> <p>Kontrola popruhů na všech spouštěcích rámech (navěšování i svěšování).</p> <p>Hledají se viditelné známky otěrů, otřepů, nebo naříznutí popruhů.</p> <p>V případě nalezení takovéto vady ihned zastavit provoz zařízení a informovat vedoucího.</p>	
--	--

Obr. 35) Příklad přílohy checklistu

### 6.3 Zavedení do informačního systému

Stěžejní částí práce bylo zavedení systému údržby do informačního systému firmy. Firma ABB používá všeobecně systém SAP, údržbový systém proto bude fungovat na bázi nastavyby SAPu. Existují sice i specializované softwary pro údržbu a diagnostiku, jejich použití ale není v tomto případě vhodné. Diagnostický modul není u této výrobní linky nyní nutný, rozšíření systému SAP je jednodušší a také méně finančně nákladné než zavedení úplně nového typu softwaru.

Vytvoření kompletního údržbového systému v SAPu je složitý proces. Mým úkolem v rámci této práce bylo připravit veškeré podklady, na základě kterých bude možné toto uskutečnit. Základním stavebním kamenem bude již zmíněný seznam všech údržbářských úkonů, včetně jejich požadované četnosti a odpovědných osob. Ten umožní kontrolu splnění všech úkolů, plánování servisů a také včasné upozornění na úkony, které je třeba vykonat s předstihem. Tento soubor již byl vytvořen a je popsán v kapitole 6.1. Další částí bude seznam náhradních dílů, které je vhodné držet skladem pro zajištění chodu výrobní linky. Použití každého dílu se zaznamená do systému. Ten poté automaticky zajistí objednání nového kusu.

Hlavními výhodami tohoto přístupu jsou lepší přehlednost o splnění jednotlivých úkonů a jednodušší objednávky zboží nebo služeb. Velkým přínosem bude také mnohem jednodušší možnost zpětné analýzy dat a její využití pro lepší řízení údržbového procesu.

### 6.4 Zajištění údržby

Až do současné doby byla většina servisů zajišťována v rámci outsourcingu dodavatelem linky. Interní technik údržby měl za úkol spíše běžné provozní úkony a kontroly. V rámci nového systému bylo cílem převést část údržby na ABB pro snížení nákladů. Bylo proto rozhodnuto, že měsíční servis bude mít za úkol technik údržby ABB a náročnější servisy (čtvrtletní, pololetní a roční) prozatím zůstanou zajištěny externě.



Současně však došlo i ke změně a rozšíření údržbového plánu o některé chybějící části (popsáno v kapitole 6.1), v důsledku čehož bylo zjištěno, že navrhovanou podobu měsíčních servisů není možné zajistit pouze jedním technikem údržby. Měsíční servis je vždy plánován na jeden den, tedy cca 7-10 hodin práce. Časová náročnost všech úkonů v rámci této údržby ale podle nového návrhu dosahuje téměř 15 hodin. Možná řešení jsou dvě – prodloužení servisu na dva dny, nebo zapojení dalšího pracovníka. Protože je většina servisů prováděna v sobotu, mimo běžný provoz výrobní linky, byla jako optimálnější řešení zvolena výpomoc druhého pracovníka údržby. Tento pracovník je nezbytný pouze na provedení servisu, bude tedy zajišťován externě.

## 6.5 Sklad kritických náhradních dílů

Důležitou součástí správného systému údržby je vhodně nastavený sklad náhradních dílů. Je nutné identifikovat ty díly linky, které mohou při poruše ohrozit její chod a současně mají dlouhou dodací dobu. Při výpadku takového dílu by tedy bylo nutné linku zastavit, objednat díl a následně čekat někdy i několik týdnů na dodání dílů, což je nepřijatelné. Nejlepším preventivním řešením pro tuto situaci je držet všechny tyto díly neustále skladem v potřebném množství, což ale znamená pro firmu značnou finanční zátěž. Je proto důležité správně optimalizovat množství náhradních dílů. Jednou z možností, jak snížit tyto náklady, může být i smlouva s dodavatelem dílu, na základě které drží díly skladem dodavatel a zaručí tím v případě potřeby jejich včasné dodání. Ne vždy ale na takové podmínky přistoupí.

Prvním krokem v mém případě byla analýza linky. Na základě doporučení od výrobců jednotlivých zařízení a také zkušeností z provozu byl sestaven seznam všech náhradních dílů, které je vhodné mít v určitém počtu neustále skladem. Jedná se pouze o díly na údržbu po poruše, jelikož pravidelné servisy, spojené s výměnou dílů jsou zajišťovány outsourcingem. Byly vybrány pouze ty díly, které jsou opravdu nezbytné a nelze je v případě výskytu poruchy nebo vady zakoupit běžným způsobem (jako například standardní ložiska apod.).

Následně byla provedena inventura všech stávajících náhradních dílů, souvisejících s lakovací linkou. Pokud některý díl chyběl ve výše zmíněném seznamu, byl do něj doplněn. Díly byly rozděleny podle jednotlivých zařízení výrobní linky. U každého dílu bude kromě názvu a objednávacího kódu zjištěna také jeho cena a předpokládaná dodací doba. Tím vznikne komplexní a přehledný seznam. Tento soubor bude také součástí SAPového systému údržby. Použití každého dílu zadá technik údržby do systému a ten následně zajistí automatické objednání nového dílu.



## 7 NÁKLADY NA ÚDRŽBU

Jedním z nejdůležitějších ukazatelů výkonnosti údržby jsou náklady na ni vynaložené. Ukazují na efektivitu řízení údržby a schopnosti vedoucích pracovníků. Celkové náklady závisí na velkém množství různých faktorů – použitá výrobní technologie, její technická složitost, množství výrobků, ale také zvolený systém údržby, počet stálých údržbových techniků, použití technické diagnostiky, outsourcing údržby, a podobně.

*„Každá koruna vložená do údržby přináší firmě její násobky formou stabilizovaných a vyšších tržeb“ [8]*

Nový systém údržby, navržený v rámci této práce, je na první pohled rozsáhlejší a tím pádem i finančně náročnější. Množství údržbářských úkonů se zvýšilo a vyžaduje více času. Na měsíční údržbu bude kvůli tomu dokonce nutné zvát (a platit) externího pracovníka, čemuž byla původně snaha se vyhnout, bohužel to není možné. Větší důraz bude kladen také na použití správného materiálu, jako je například odpovídající mazivo nebo čisticí prostředky. Některé přidané úkony vyžadují speciální pomocné vybavení (například zdvihací pracovní plošiny pro práci ve výškách). To jsou všechno faktory, které zvyšují finanční náročnost údržby. Významnou, i když pouze jednorázovou položkou v rozpočtu je také vytvoření skladu kritických náhradních dílů – řada z nich je velmi drahá, přitom do okamžiku potřeby nepřináší žádný reálný užitek.

Na druhé straně je ovšem nutné brát v úvahu, že všechny tyto náklady by měly v budoucnu přinést výrazné úspory. Dokonalejší systém údržby má za cíl zvýšení spolehlivosti výrobní linky, především snížení množství nežádoucích výpadků a odstávek. Jak již bylo uvedeno, tyto neplánované poruchové odstávky v celkovém součtu za minulý rok přesáhly 200 hodin a způsobily tak značné ztráty – jak náklady na odstranění závady, tak i ušlý zisk v důsledku zastavení výroby. Dalším efektem by mělo být také zvýšení kvality výrobků, například díky pravidelnému a důkladnému čištění řetězového dopravníku a všech jeho částí.

### 7.1 Bilance nákladů na údržbu

Následuje příklad výpočtu zvýšení nákladů a vzniklých úspor v souvislosti se změnami v údržbovém plánu práškové lakovací linky. Hodnoty uváděné při výpočtu jsou orientační, nejedná se proto o přesné vyčíslení.

#### 7.1.1 Zvýšení nákladů na preventivní údržbu

Náklady na pravidelnou údržbu se kvůli provedeným změnám zvýší. Lze je vyjádřit v závislosti na úrovni (levelu) preventivní údržby.

- Level 1

Do denní preventivní údržby byly přidány celkem 4 nové úkony. Jejich provedení bude trvat asi 10 minut, tedy jednu šestinu hodiny. Hodinová práce lakovny stojí přibližně 840,- Kč. Úkony budou provedeny celkem 250x za rok.

$$N_1 = \frac{1}{6} \cdot 840 \cdot 250 = 35\,000 \text{ Kč}$$

- Level 2

Měsíční servisy měl zajišťovat technik údržby ABB. Kvůli zvýšení počtu úkonů a jejich náročnosti bude na každý servis nutné zavolat jednoho externího technika. Jeho práce bude trvat přibližně 8 hodin. Zajištění tohoto technika tedy bude stát 5000,- Kč. Tento servis se bude opakovat 8x ročně.

$$N_2 = 8 \cdot 5000 = 40\,000 \text{ Kč}$$

- Level 3

Tato úroveň údržby zůstává beze změn.

$$N_3 = 0 \text{ Kč}$$

Celkové zvýšení nákladů na preventivní údržbu:

$$N = N_1 + N_2 + N_3 = 75\,000 \text{ Kč}$$

### 7.1.2 Snížení ztrát

Hlavním cílem všech změn údržbových plánů je snížení doby neplánovaných odstávek výrobní linky. V loňském roce dosáhla tato doba celkem 210 hodin. Novým systémem se snažíme tuto hodnotu snížit alespoň o jednu třetinu, tedy o 70 hodin. V letošním roce by tedy mělo být možné vyrábět o 70 hodin déle, než minulý rok, čímž se ztráty v důsledku odstávek sníží o:

- Práce lakovny

Hodina práce lakovny stojí 840,- Kč. Vyčíslovaná práce bude 70 hodin.

$$S_1 = 840 \cdot 70 = 58\,800 \text{ Kč}$$

- Ušlý zisk

Jedna směna vyprodukuje v průměru 12 kompletních výrobků. Výroba funguje v třísměnném provozu. Za 70 hodin je tedy možné vyrobit 108 výrobků. Jeden výrobek stojí v průměru 125 000 Kč. Ušlý zisk lze vyjádřit jako 6% z ceny výrobku.

$$S_2 = 108 \cdot 125\,000 \cdot 0,06 = 810\,000 \text{ Kč}$$

Celková úspora dosažená novým systémem údržby:

$$S = S_1 + S_2 = 868\,800 \text{ Kč}$$

### 7.1.3 Shrnutí

Úprava údržbových plánů způsobila zvýšení nákladů na preventivní údržbu o 75 000 Kč. Pokud se tím ale povede snížit dobu neplánovaných odstávek technologie alespoň o jednu třetinu, dojde ke snížení ztrát proti loňskému roku o téměř 870 000 Kč. Celková úspora se tedy pohybuje okolo 800 000 Kč. Z toho je jasně vidět, že se úprava plánů z dlouhodobého hlediska vyplatí.

Do takového výpočtu ovšem v reálném světě vstupují ještě další parametry, je proto nutné ho brát pouze jako orientační. Jeho myšlenka ale zůstává stejná.

## 7.2 Sledování a řízení nákladů na údržbu

Jak se prokázalo v minulé kapitole, lze správným řízením údržbového procesu dosáhnout významných finančních úspor. Je proto důležité průběžně vyhodnocovat efektivitu a výkonnost údržby, a to i pomocí nákladů na údržbu.

Do budoucna by tedy bylo vhodné sledovat tyto náklady pro lepší možnost řízení procesu údržby. Navrhují dělit celkové náklady na údržbu do několika základních kategorií dle níže uvedeného rozdělení, což umožní přehlednější a systematičtější sledování a následné vyhodnocení údajů:

- Preventivní údržba
  - Náklady na personál
  - Náklady na náhradní díly a použitý materiál
  - Náklady na externí zajištění údržby
  - Náklady na používané vybavení
- Údržba po poruše
  - Ztráta z ušlého zisku
  - Ztráty z poruchami způsobené produkce nekvalitních výrobků
  - Náklady na odstranění poruchy (použitý materiál, náhradní díly, práce interního / externího pracovníka)

Vzhledem k tomu, že preventivní údržba jako taková je nutná pro zajištění požadované spolehlivosti výrobní linky, lze jedinou možnou úsporou hledat ve snížení cen od dodavatelů, ať už jde o nákup náhradních dílů nebo outsourcing údržby. Důležitější je ale z mého pohledu co nejpřesnější analýza nákladů na údržbu po poruše a následné návrhy opatření pro jejich minimalizaci. Ztráty, způsobené neplánovaným zastavením výroby, budou totiž vždy jedny z nejvyšších v celém výrobním procesu.



## 8 ZÁVĚR

Tato práce byla zaměřena na analýzu spolehlivosti a návrh nového systému údržby pro práškovou lakovací linku ve firmě ABB, se kterou jsem spolupracoval. Údržba je v dnešní době velmi důležité téma pro většinu úspěšných firem, protože je jedním z ukazatelů konkurenceschopnosti dané firmy.

V zadání práce byly definovány čtyři hlavní cíle. Prvním je obecné pojednání o údržbě ve výrobní praxi. Druhým popis současného stavu údržby výrobní linky ve firmě ABB, analýza databáze poruch a oprav a identifikace možných zlepšení. Třetím cílem bylo na základě této analýzy navrhnout nový, moderní systém údržby, který bude následně začleněn do informačního systému firmy v duchu filozofie Industry 4.0. Součástí bylo i vytvoření skladu náhradních dílů. Čtvrtým a posledním cílem bylo pojednání o nákladech na údržbu a možnosti jejích řízení.

V druhé kapitole je tedy stručně popsána obecná historie údržby a její řízení, od prvních náznaků až po současnou dobu. Rovněž jsou uvedeny základní generace údržby a jejich nástroje. Následuje popis jednotlivých metod údržby dle normy ISO 13 306. Jsou popsány výhody a nevýhody jednotlivých přístupů. Zmíněny jsou i různé formy organizačních struktur údržby ve firmách.

Třetí kapitola se věnuje moderním, dokonalejším přístupům k údržbě. Konkrétně jde o metody RCM – Údržba zaměřená na bezporuchovost a TPM – Komplexní produktivní údržba. U obou metod jsou popsány jejich hlavní znaky a principy.

Obsahem čtvrté kapitoly je popis firmy ABB, přesněji jednotky PGHV Brno Slatina. Jde o firmu s přibližně 300 zaměstnanci, vyrábějící plynem izolované, zapouzdřené rozvodny vysokého napětí. Výrobní závod obsahuje vlastní svařovnu, práškovou lakovnu a montáž. Produkuje výrobky pro napětí 300-500kV.

Pátá kapitola popisuje aktuální stav údržby práškové lakovací linky v této firmě. Jsou popsány aktuální údržbové plány. Dále je rozebrána a analyzována databáze poruch a následných oprav této linky.

Výstup z předchozí analýzy posloužil jako základ pro návrh nového systému, o kterém pojednává kapitola číslo šest. Byla provedena revize dosavadních údržbových plánů. Následovalo vytvoření komplexního a systematického plánu údržby, který bude základním stavebním kamenem při nahrávání údržbového systému do informačního systému firmy. Na základě toho se řešilo i zajištění údržby a jednotlivých servisů. Byla zvolena kombinace interní údržby a outsourcingu. Poslední částí bylo vytvoření skladu kritických náhradních dílů.

Sedmá kapitola se věnuje analýze a řízení nákladů na údržbu. Obsahem je základní pojednání o nákladech na údržbu, a dále přibližný výpočet úspor, vzniklých v důsledku úpravy údržbového systému. Součástí je i návrh na sledování a řízení těchto nákladů v budoucnu.

Cíle práce tedy byly splněny. Mnou navržený nový systém údržby by měl zvýšit spolehlivost výrobní linky, což umožní vyšší produktivitu a také kvalitu výrobků. Předložená analýza nákladů rovněž potvrdila, že navrhované změny umožní poměrně zásadně snížit ztráty vzniklé poruchami. Zavedení efektivního systému řízení údržby by proto mělo být standardem každé úspěšné firmy.





## 9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ČSN EN 13306. *Terminologie údržby*. Praha: Český normalizační institut, 2002.
- [2] LEGÁT, Václav. *Management a inženýrství údržby*. 1. vyd. Praha: Professional Publishing, 2013. ISBN 978-80-7431-119-2.
- [3] MOUBRAY, John. *Reliability-centred maintenance*. 2nd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2007. ISBN 07-506-3358-1.
- [4] Total Productive Maintenance. Axiom and Adal [online]. b.r. [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: <http://www.axiom-adal.com/maintenance.html#.WKbbGE2QydI>
- [5] NĚMEČEK, Jakub. *Metody Toyota Production System ve výrobě rozvaděčů*. Brno, 2015. Bakalářská práce. Vysoké učení technické, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Luboš Kotek, Ph.D.
- [6] ABB helps secure Hungary's power supply. ABB in the United States [online]. 2009 [cit. 2017-04-04].
- [7] HOLEČEK, Václav. *2GPH000044: Prásková lakovna*. Brno, 2015.
- [8] HAMMER, M. *Management spolehlivosti a kvality v údržbě*. Brno, 2017. Prezentace. FSI, VUT v Brně.



## 10 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1)	Vývoj očekávání provozovatele zařízení od údržby [3] .....	17
Obr. 2)	Vývoj typů a nástrojů údržby [3].....	18
Obr. 3)	Rozdělení údržby podle ISO 13306 [1] .....	18
Obr. 4)	Časové průběhy intenzity výskytu poruch prvků letadel United Airlines..	23
Obr. 5)	Obvyklý a TPM přístup k údržbě [4].....	24
Obr. 6)	Pilíře systému TPM .....	25
Obr. 7)	Sídlo firmy ABB PGHV, Brno Slatina [5] .....	27
Obr. 8)	Ukázka části GIS rozvodny .....	28
Obr. 9)	Rozvodna od firmy ABB na přehradě Tři soutěsky [6].....	28
Obr. 10)	Schematický nákres lakovací linky [7].....	29
Obr. 11)	Chemická předúprava materiálu [7] .....	30
Obr. 12)	Pohled na sušící pece a pracoviště maskování [7].....	30
Obr. 13)	Automatické manipulátory a řetězový dopravník [7].....	31
Obr. 14)	Pohled na lakovací kabiny a práškové centrum [7].....	31
Obr. 15)	Svěšování (1 – trubky a vodiče, 2 – ostatní díly) .....	32
Obr. 16)	Aktuální rozdělení údržby linky .....	33
Obr. 17)	Pojezdové vozíky 1-3 a jejich dráhy .....	33
Obr. 18)	Spouštěcí rámy pro šíny .....	34
Obr. 19)	Automatické manipulátory .....	34
Obr. 20)	a) celkový pohled na chemickou předúpravu, b) oplachové lázně.....	35
Obr. 21)	a) plynové sušící pece, b) chladicí box .....	35
Obr. 22)	Řetězový dopravník .....	36
Obr. 23)	Zleva: lakovací kabina 2, aplikační pistole, lakovací kabina 1 .....	36
Obr. 24)	Manipulátor lakovací kabiny .....	36
Obr. 25)	Práškové centrum, monocyklon .....	37
Obr. 26)	Rozvaděč lakovací linky .....	37
Obr. 27)	Měsíční plán údržby .....	38
Obr. 28)	Pád šíny v důsledku chyby SW .....	39
Obr. 29)	Rozdělení poruch podle typů .....	40
Obr. 30)	Rozdělení poruch podle úseku.....	41
Obr. 31)	Doba oprav poruch, bránících v provozu linky .....	42
Obr. 32)	Příklad vady materiálu způsobené nečistotami .....	44
Obr. 33)	Současná podoba formulářů pro záznam o provedené údržbě .....	45
Obr. 34)	Nová podoba checklistu.....	46
Obr. 35)	Příklad přílohy checklistu .....	48



# 11 SEZNAM PŘÍLOH

CD