

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Katedra zadávající téma diplomové práce

DIPLOMOVÁ PRÁCE
Řízení procesů v kontextu konceptu Průmysl 4.0

Autor práce: **Bc. Marek Osvald**
Vedoucí práce: **doc. Ing. Jiří Tupa, Ph.D.**

2023

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Marek OSVALD**
Osobní číslo: **E21N0024P**
Studijní program: **N0713A060011 Materiály a technologie pro elektrotechniku**
Téma práce: **Řízení procesů v kontextu konceptu Průmysl 4.0**
Zadávající katedra: **Katedra materiálů a technologií**

Zásady pro vypracování

1. S použitím odborné literatury vypracujte přehled současného stavu v oblasti procesního řízení.
2. Zpracujte představení konceptu Průmysl 4.0 a uveďte jeho klíčové prvky ve vybraném elektrotechnickém podniku.
3. Vypracujte případovou studii zaměřenou využití vybraného prvku Průmyslu 4.0 a procesního řízení.
4. Uveďte doporučení pro praxi.

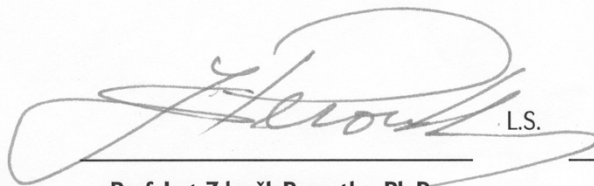
Rozsah diplomové práce: **40 – 60**
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování diplomové práce: **elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. USTUNDAG, Alp a CEVIKCAN, Emre. *Industry 4.0: managing the digital transformation*. ISBN 978-3-319-57869-9 .
2. TOMEK, Gustav a VÁVROVÁ, Věra. *Průmysl 4.0, aneb, Nikdo sám nevyhraje*. ISBN 978-80-906594-4-5 .
3. MAŘÍK, Vladimír a kol. *Průmysl 4.0: výzva pro Českou republiku*. ISBN 978-80-7261-440-0 .
4. Elektronické informační zdroje.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Jiří Tupa, Ph.D.**
Katedra materiálů a technologií

Datum zadání diplomové práce: **7. října 2022**
Termín odevzdání diplomové práce: **26. května 2023**


L.S.

Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan



Prof. Ing. Aleš Hamáček, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 7. října 2022

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá procesním řízením ve spojitosti s technologiemi a principy Průmyslu 4.0. Konkrétně se zaměřuje na metodu Manufacturing Execution System (MES), která se využívá pro řízení, optimalizaci a monitorování výrobního procesu. Byla vytvořena případová studie, která porovnává dvě implementace systému MES ve skutečných výrobních podnicích. Jsou zde popsány a porovnány postupy, zkušenosti, benefity a úskalí obou implementací, které mohou sloužit jako inspirace pro podniky, které o zavedení systému MES uvažují. Zhodnocení obou projektů mohou zúčastněné společnosti využít jako pomoc při dalších implementacích. Dalším záměrem této práce bylo vytvořit vlastní přehled kritérií, které by podniky při implementaci měly dodržet, aby dosáhly úspěšné implementace. Zároveň je práce zaměřena na vlastní návrhy na rozšíření a optimalizaci implementovaných systémů, kterými se mohou obě společnosti v budoucnu inspirovat. Nakonec jsou uvedena doporučení pro praxi, která byla navržena na základě získaných zkušeností při tvorbě případové studie.

Klíčová slova

Řízení procesů, Průmysl 4.0, BPMN, MES, Implementace systému, Porovnání systémů MES, Automatizace, Digitalizace, Optimalizace, Vizualizace, Reporting, OEE číslo, Traceability, Automatická údržba, Kontrola dovedností

Abstract

The diploma thesis deals with process management in connection with technologies and principles of Industry 4.0. Specifically, it focuses on the Manufacturing Execution System (MES) method, which is used to control, optimize and monitor the production process. A case study has been created that compares two MES implementations in real manufacturing companies. The practices, experiences, benefits and challenges of the two implementations are described and compared to serve as inspiration for companies considering MES. The evaluation of both projects can be used by the participating companies to help them in future implementations. Another aim of this work was to create a customized list of criteria that companies should follow during implementation to achieve a successful implementation. At the same time, the thesis focuses on its own suggestions for extending and optimizing the implemented systems, which can be used as an inspiration for both companies in the future. Finally, recommendations for practice are given, which have been proposed based on the experience gained during the development of the case study.

Key words

Process management, Industry 4.0, BPMN, MES, System implementation, Comparison of MES systems, Automation, Digitalization, Optimalization, Visualization, Reporting, OEE number, traceability, Automatic maintenance, Skills check

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce, panu doc. Ing. Jiřímu Tupovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a profesionální vedení práce. Poděkování také patří všem zúčastněným společnostem, díky kterým mohla být případová studie vypracována. Dále bych chtěl poděkovat vedoucím projektů, kteří mi ochotně poskytli všechny potřebné informace.

Obsah

Úvod.....	- 1 -
1 Řízení procesů.....	- 2 -
1.1 Business Process Management	- 2 -
1.2 Modelování procesů.....	- 4 -
1.2.1 BPMN	- 5 -
1.3 Přístupy aplikované pro řízení procesů.....	- 5 -
1.3.1 Just in Time	- 5 -
1.3.2 Kanban	- 8 -
1.3.3 Enterprise Resource Planning	- 9 -
1.3.4 Lean Management.....	- 11 -
1.4 Metody řízení toku materiálů.....	- 12 -
1.4.1 First in First out.....	- 12 -
1.4.2 First Expired First Out	- 14 -
2 Průmysl 4.0 a jeho prvky	- 15 -
2.1 Model RAMI 4.0.....	- 19 -
2.2 Metody pro řízení procesů s prvky Průmyslu 4.0	- 20 -
2.2.1 Manufacturing Execution System	- 20 -
2.2.2 Warehouse Management Systém	- 25 -
2.2.3 JIT 4.0	- 26 -
3 Případová studie.....	- 28 -
3.1 Představení společností.....	- 29 -
3.2 Popis implementací a jejich cílů	- 31 -
3.2.1 Implementace systému MES ve společnosti A	- 31 -
3.2.2 Implementace systému MES ve společnosti B	- 34 -
3.2.3 Cíle implementace společnosti A.....	- 37 -
3.2.4 Cíle implementace ve společnosti B	- 38 -
3.3 Porovnání očekávání a reality u 4 faktorů implementace	- 39 -
3.3.1 Rozpočet.....	- 39 -
3.3.2 Čas.....	- 40 -
3.3.3 Funkčnost a kvalita	- 43 -

3.3.4	Využití zdroje	- 44 -
3.4	Porovnání implementací.....	- 45 -
3.5	Plán pro implementaci a jeho naplnění	- 47 -
3.6	Rozsah implementace v podnicích.....	- 51 -
3.6.1	Dopady projektu ve společnosti A	- 51 -
3.6.2	Zásah projektu ve společnosti B	- 52 -
3.7	Data z výroby díky implementaci MES	- 53 -
3.7.1	Sběr dat ve společnosti A.....	- 53 -
3.7.2	Sběr dat ve společnosti B	- 56 -
3.8	Přijetí nového systému	- 57 -
3.8.1	Práce se zaměstnanci ve společnosti A	- 58 -
3.8.2	Práce se zaměstnanci ve společnosti B	- 59 -
3.9	Problémy při implementaci a zvládnutí implementace	- 60 -
3.9.1	Souhrn vzniklých problémů ve společnosti A	- 60 -
3.9.2	Souhrn vzniklých problémů ve společnosti B.....	- 62 -
3.10	Přínosy implementací a jejich zhodnocení.....	- 63 -
3.10.1	Přínosy a benefity implementací	- 63 -
3.10.2	Zhodnocení zvládnutí implementací	- 65 -
4	Kritéria a návrhy pro implementaci	- 68 -
4.1	Kritéria pro implementaci systému MES do výrobního podniku	- 68 -
4.2	Návrhy na pokračování implementací.....	- 71 -
4.2.1	Vzájemné využití implementovaných funkcionalit.....	- 71 -
4.2.2	BPMN návrh procesu Automatická práce s údržbou pro společnost B	- 73 -
4.2.3	Možnosti rozšíření a optimalizace systému MES ve společnosti A.....	- 74 -
4.2.4	Možnosti rozšíření a optimalizace systému MES ve společnosti B.....	- 77 -
4.2.5	Možnosti rozšíření a optimalizace systému MES pro obě společnosti	- 78 -
5	Doporučení pro praxi	- 80 -
	Zhodnocení a závěr	- 83 -
	Literatura	- 85 -
	Přílohy	- 95 -

Seznam symbolů a zkratk

BPM	Řízení podnikových procesů
JIT	Just in Time
ERP	Plánování podnikových zdrojů
BPMN	Model a notace podnikových procesů
FIFO	První dovnitř, první ven
FEFO	První expiruje, první ven
IoT	Internet věcí
CPS	Kyberfyzikální systémy
AR	Rozšířená realita
OPC	OLE pro řízení procesů
IEC	Mezinárodní elektrotechnická komise
RAMI 4.0	Referenční architektonický model Průmyslu 4.0
MES	Výrobní informační systém
AI	Umělá inteligence
RFID	Identifikace na rádiové frekvenci
OEE	Celková efektivnost zařízení
WMS	System pro řízení skladů
ID	Identifikace ve výpočetní technice
JIT 4.0	Just in Time s Průmyslem 4.0
AGV	Automatizovaná řízená vozidla
SW	Software
HW	Hardware
QMS	System řízení kvality
JIS	Just in Sequence
YMS	Yard Management System
APS	Advanced Planning and Scheduling
XLS	Tabulka aplikace Excel
I/O	Vstup/výstup
HMI	Rozhraní člověk-stroj
QR kód	Kód rychlé reakce
IS	Informační systém
NG	Vadný
SMART	Konkrétní, měřitelný, dosažitelný, realistický, časově omezený
PLC	Programovatelný logický automat
ROI	Návratnost investice

Úvod

Zavádění metod pro řízení procesů s prvky Průmyslu 4.0 je v dnešní době velmi populární téma. Mnoho výrobních podniků zavádí procesní řízení, nebo je optimalizují, digitalizují a automatizují, aby si udržely svou konkurenceschopnost a zvýšily efektivitu vlastních výrob. Na základě toho je v této práci vypracována přehledná a podrobná případová studie, zaměřená na porovnání dvou konkrétních implementací systému nazývanému Manufacturing Execution System (MES), který propojuje výrobní stroje, výrobky, lidi, databáze a informační systémy, díky čemuž řídí, optimalizují a monitorují výrobní procesy.

Práce je rozdělena na literární a praktickou část. První dva body, které reprezentují literární část, uvádějí čtenáře do tématu. Popisují princip procesního řízení, modelování procesů a metody pro řízení procesů, které jsou aktuálně v praxi jedny z nejvyužívanějších. Dále jsou uvedeny principy Průmyslu 4.0 a metody pro řízení procesů, které přímo využívají technologie této iniciativy, jako je například systém MES. Praktická část se skládá ze tří bodů, které zahrnují zmíněnou případovou studii, návrh optimalizace nebo rozšíření implementovaného systému v obou společnostech a doporučení pro praxi.

Vzhledem k tomu, že se nejedná o jednoduchou implementaci, tak práce popisuje rozsah obou projektů, popisuje postup po jednotlivých fázích při zavádění systému do podniku a definuje všechny problémy, se kterými se odběratelské společnosti v průběhu potýkaly. Díky tomu mohou další podniky získat přehledné informace, kterými se mohou inspirovat při zavádění systému MES a zároveň se mohou připravit na jednotlivá rizika a vyvarovat se jim.

Cílem práce je nejen zformovat přehledný popis a porovnání obou reálných implementací, ale i vyhodnotit, jak byly projekty zvládnuty a jaké benefity přinesly. Dalším záměrem je vytvořit vlastní přehled kritérií, které by podniky při implementaci měly dodržet, aby bylo zavedení systému úspěšné. Práce je také zaměřena na vlastní návrhy na rozšíření a optimalizaci implementovaných systémů, kterými se mohou obě společnosti v budoucnu inspirovat.

Práce je zakončena doporučením pro praxi. Na základě získaných zkušeností při tvorbě případové studie jsou zmíněny některé faktory, na které je potřeba dbát při zavádění systému MES do vlastního výrobního podniku.

1 Řízení procesů

Procesní řízení v dnešní době značně nahrazuje funkční řízení. Tato transformace probíhá z důvodu přeměny trhu, poptávky a konkurence. Procesní řízení se zavádí z důvodu nutnosti rychle reagovat na odlišné požadavky zákazníků, zlepšení agility, zaměření na přidanou hodnotu produktu, definování cílů, monitorování, delegování povinností a lepší možnost optimalizace. Funkční řízení oproti procesnímu zavádí specializované oddělení, které poskytuje více odborných znalostí při řešení problémů, což šetří náklady a čas. Ovšem nevýhod funkčního řízení je velké množství, a řadí se mezi ně například důraz na dovednosti jednotlivých pracovníků, špatný přenos mezi jednotlivými činnostmi, velká pravděpodobnost duplicitních činností, špatné definování zodpovědnosti, problém se sdílením informací a mnoho dalších. I přes komplikované zavádění procesního řízení se dnes již velmi často využívá, nebo se v podnicích zavádí. Pro zavedení procesního řízení a následné řízení výrobních procesů se využívají různé metody, a některé z nich jsou popsány a vysvětleny v této práci.

1.1 Business Process Management

Procesní řízení BPM se bere jako myšlenka managementu, která spočívá v řízení, vedení a organizování podniku pomocí definovaných procesů. BPM postupně nahrazuje funkční styl řízení, kde individuální jednotky jednají samostatně, což může vést ke špatné dokumentaci postupů a následně snížení efektivity chodu celé organizace [1].

Samotný proces je chápán jako soubor činností pro přeměnu jednoho nebo více vstupů na výstupy, které mají pro zákazníka určitou hodnotu a samotné činnosti jsou ovlivňovány průběžnými zdroji, regulátory nebo majitelem procesu [2, 3, 4, 5]. Jednotlivé procesy lze rozdělit podle jejich významnosti a účelnosti. V praxi se mohou vyskytovat klíčové, řídicí a podpůrné procesy, kde každý zastává jinou funkci a má jiný účel [6].

BPM zahrnuje metody a techniky, které slouží k objevení a identifikaci podnikových procesů, následně k vytvoření jejich návrhů a nakonec i k jejich sledování, analýze, optimalizaci a automatizaci [7, 8]. Pro správnou a co nejefektivnější implementaci BPM je důležité, aby celá organizační struktura na všech hierarchických úrovních byla v souladu s jeho zavedením a podporovala ho [8]. Neustálé sledování a optimalizování implementovaného procesního řízení včetně jednotlivých procesů je důležité pro co největší

efektivitu, přehlednost, produktivitu, konkurenceschopnost a správné fungování celé organizace. Zároveň BPM podporuje růst a inovaci podniků.

Aby byly podnikové procesy vzájemně propojeny a fungovaly v synergii s organizací, měly by dodržet několik podmínek [9]:

- Správné pochopení procesů.
- Přiřazení vlastníka jednotlivým procesům.
- Vyhodnocení a měření procesů.
- Systematické zlepšování.

Jak je vidět na Obr. 1, v BPM může být rozdělováno šest fází, které se označují jako životní cyklus [10]:

- ***Strategie procesů***

Na základě obchodního modelu dané organizace se definuje úloha, průběh a cíl procesu. Je důležité, aby si všechny zainteresované strany uvědomovaly strategický význam a umístění procesů pro celou společnost.

- ***Modelování procesů***

Při modelování dochází k přehlednému a podrobnému pospání nebo definování daných procesů. V modelu lze dohledat všechny aspekty a kroky, které proces obnáší.

- ***Implementace procesů***

Po strategickém definování a modelování procesů přichází na řadu jejich implementace v organizaci. Je důležité, aby se vytvořily všechny nutné struktury.

- ***Realizace procesů***

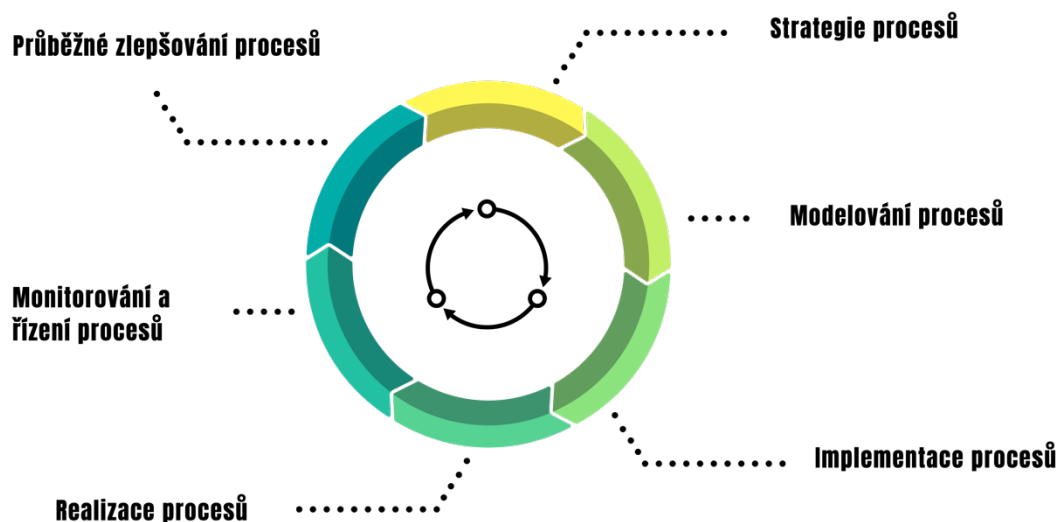
Po úspěšné implementaci dochází k realizaci definovaných procesů, které jsou v souladu se všemi předchozími kroky životního cyklu.

- ***Monitorování a řízení procesů***

Všechny realizované procesy jsou v organizaci sledovány a poskytují různá data, která by měla být zpracována a analyzována pro případné zjištění nedostatků a následnou optimalizaci.

- **Průběžné zlepšování procesů**

Je nezbytné, aby se procesy neustále aktualizovaly a optimalizovaly, protože bez toho by se organizace a procesy nemusely přizpůsobit měnícím se vnějším požadavkům. Zároveň by nemuselo dojít k naplnění požadovaných cílů.



Obr. 1 Životní cyklus BPM (podle zdroje: [10])

1.2 Modelování procesů

V praxi se modelování procesů využívá ke komunikaci a dokumentaci struktury nebo odpovědnosti za celé podnikové procesy [11]. Pro specifikaci procesů se v průběhu let vyvinulo několik jazyků a diagramů. Mohou se mezi ně řadit vývojové diagramy, diagramy aktiv, PERTiho sítě nebo řetězce procesů řízených událostí [12]. Na základě správného modelování má podnik možnost lépe zvládat složité části procesů a dokáže analyzovat, jak proces optimalizovat, aby nedošlo například k prodlevám, prostojům nebo zastavení celého podniku. Modelování procesů v BPM se může rozdělovat na dva hlavní obory [12]:

- **Organizační návrh**

Většinou se v tomto případě proces zobrazuje v podobě grafického zápisu a slouží především pro jeho pochopení v průběhu celé životnosti. Mapuje se proces od počátku komunikace se zainteresovanými stranami až po vyhodnocení a optimalizaci.

- **Vývoj aplikace**

Jedná se o podrobnější model, který zahrnuje všechny technické informace důležité pro implementaci a automatizaci procesu.

1.2.1 BPMN

Asi nejpoužívanějším grafickým jazykem pro modelování procesů je Business Process Model and Notation (BPMN), který používá tzv. grafické prvky pro modelování, specifikaci a vizualizaci procesů [12, 13, 14]. Díky své poměrně jednoduché sémantice jsou procesy tvořené pomocí BPMN dobře pochopitelné.

Jednotlivé prvky BPMN diagramu se dělí do 4 kategorií [12]:

- ***Tokové objekty***

Jedná se o události, které ovlivňují tok řízení procesů. Další možností jsou aktivity, které udávají jednotky práce prováděné během procesů. V neposlední řadě jsou to brány, které zahrnují sekvenční body s možností měnit tok mezi objekty.

- ***Artefakty***

Tato kategorie slouží k dokumentaci o procesech (například textová anotace).

- ***Spojovací objekty***

Do této kategorie lze zahrnout sekvenční tok, který propojuje objekty toku v sekvenčním pořadí v rámci tzv. bazénu. Dále se jedná o tok zpráv nebo asociaci, která propojuje informace s objekty toku.

- ***Plavecké dráhy***

Jedná se o bazén nebo plaveckou dráhu, která je přiřazena každému účastníkovi procesu. Do jednotlivých drah se přiřazují bloky, které danému účastníkovi náleží.

1.3 Přístupy aplikované pro řízení procesů

Existuje mnoho možností a variant, jak řídit procesy ve výrobním podniku. Jedná se o klíčový faktor pro úspěšný provoz a konkurenceschopnost společnosti. Pro zlepšení výkonnosti a efektivity výrobních procesů existuje několik přístupů a metod, které lze aplikovat. Každý z těchto přístupů má své výhody a nevýhody a může být aplikován v závislosti na specifikách konkrétního podniku a jeho cílech. Použití různých přístupů a metod může pomoci podnikům zvýšit efektivitu a výkonnost svých výrobních procesů.

1.3.1 Just in Time

Just in Time (JIT) je metoda pro řízení výrobních procesů, která se zaměřuje na snížení či úplnou eliminaci plýtvání [15, 16, 17]. Principem je dodržet správné množství

surovin v požadované kvalitě, na správném místě a ve stanoveném čase [18][19][20]. Dodržení všech zmíněných aspektů vede ke zvýšení produktivity, kvality, efektivity a snížení nákladů [21].

Metoda JIT vznikla v Japonsku, konkrétně ji začala využívat firma Toyota okolo poloviny 20. století [18, 22]. Celý koncept je založen na objednávce zákazníka [18, 19]. Až na základě tohoto požadavku se začne ve firmě nakupovat nebo vyrábět. Díky tomu nepřibývají nechtěné zásoby. Důležité ale je poskytnout zboží na čas, tak jak bylo stanoveno u objednávky zákazníka. S touto myšlenkou úzce souvisí princip tzv. pull, na kterém je metoda založena [23]. Klasický tradiční výrobní systém využívá právě opačný způsob výroby, tzv. push, kdy je ve velkém množství využíváno skladů a zásob dohromady se skladováním nehotových výrobků [18]. Systém pull, používaný v JIT, spočívá v dodávání materiálu v různých fázích výroby, až když je zadán jeho požadavek [23]. Jedná se o orientaci na zákazníka. Díky tomu, že se nepracuje s nedokončenou výrobou, se výrazně zmenší zásoby uložené po celé firmě. Zároveň systém pull přispívá k minimalizaci průběžné doby výroby, protože se snižuje míra časových prodlev [18].

K tomu, aby metoda JIT dobře fungovala, je důležitá synergie a harmonie mezi třemi složkami, do kterých spadají lidé, závody a systémy [18]. Mezi zmiňované složky lze zahrnout lidské a výrobní zdroje dohromady s nákupní, výrobní, plánovací, organizační strategií a funkcí společnosti. Další podmínkou pro funkční systém JIT je dobrá koordinace a komunikace s dodavatelským řetězcem za účelem toho, aby se nevyskytovaly žádná zpoždění ve výrobním plánu [19]. Metoda také využívá motivaci zaměstnanců k neustálému zlepšování již existujícího systému ve společnosti [18]. Důležité je také vyloučení náhodnosti a udržení návaznosti jednotlivých částí výroby, aby se nikde nehromadily žádné zásoby [24]. Proto je vyžadována dobrá komunikace napříč celým podnikem. V neposlední řadě je vyžadováno co největší čistoty celého závodu, aby žádný odpad nemohl zdržovat výrobu, nebo ji dokonce zastavit.

S metodou JIT se pojí značné množství výhod [18]:

- Zmenšení úrovně zásob.
- Nižší investice do zásob.
- Zvýšení spolehlivosti dodávek.
- Zkrácení dodací lhůty.
- Zvýšení flexibility plánování.

- Zlepšení úrovně kvality.
- Nižší investice do výrobních a skladovacích prostorů.
- Snížení rizika zestárnutí zásob.
- Menší počet výpadků ve výrobě.
- Snížení objemu papírování.
- Spolehlivý plán dodávek.
- Spolehlivá expedice.

Ovšem žádná metoda a systém není bezchybný, proto je důležité zmínit i nedostatky, které se s metodou JIT pojí [18]:

- Chybějící bezpečnostní zásoba jako rezerva materiálu.
- Ztráta autonomie jednotlivce.
- Nutnost přizpůsobit se objednavce zákazníka.
- Poměrně složitá implementace metody.
- Odpor vůči změnám při zavádění nového JIT.

Pro metodu JIT existují 3 hlavní cíle, které jsou zobrazeny na Obr. 2. Těchto cílů by měla společnost dosáhnout po úspěšné implementaci [18, 25]:

- Růst schopnosti konkurovat firmám se stejným nebo podobným zaměřením a udržet si konkurenceschopnost v delším horizontu pomocí tvorby optimálního procesu výroby pro svůj produkt. To napomáhá zavedení progresivního stylu fungování podniku, který se vyznačuje přizpůsobením se změnám prostředí.
- Zvýšení míry efektivnosti ve výrobním procesu, díky čemu se zvyšuje úroveň produktivity při minimalizaci nákladů.
- Snížení úrovně plýtvání, do kterého se řadí zásoby, čekání, přeprava, nadprodukce, čas při manipulaci, nadměrné zpracování nebo zmetkovitost, což snižuje náklady na výrobu.



Obr. 2 – 3 hlavní cíle JIT

Pro popisovanou metodu samozřejmě neplatí jen tyto tři hlavní cíle, ale dále je možné vyjmenovat menší z nich, mezi které patří identifikace a reakce na potřeby spotřebitelů, optimální poměr kvality a nákladů (ideální stav je nulová chybovost), rozvoj spolehlivých vztahů mezi dodavateli (pro efektivnější řízení procesů) a dobrá komunikace napříč organizační strukturou [25].

1.3.2 Kanban

Kanban patří mezi jednu z dalších japonských metod, která se začala využívat v padesátých letech 20. století v japonské společnosti Toyota [26, 27]. Jedná se o metodu, která má za účel zdokonalit organizační modely a procesy tak, aby se docílilo co nejvyšší efektivity a produktivity, zlepšila se flexibilita a zkrátil se výrobní čas. Kanban je navíc úzce spjat s již popsanou metodou JIT.

V překladu z japonštiny slovo Kanban znamená „štítek“ nebo „karta“, což jsou charakteristické prvky, které se v metodě využívají [26, 28, 29]. Jedná se tedy o vizuální metodu řízení procesů, kde je přesně určeno, co a kdy se má přesně udělat. Je dbán důraz na zajištění plynulosti výroby s minimální tvorbou zásob.

Systém Kanban je založen na tažném pull principu, kdy se vyrábí pouze podle poptávky [26][29]. Samotná výroba se může rozdělit na několik úrovní, které mezi sebou fungují jako interní zákazníci a dodavatelé, kteří dodržují standardní pravidla v odpovědnosti za kvalitu dodávky a povinnosti převzít objednávku. Mezi těmito úrovněmi prochází tok informací a materiálu od začátku až do konce [26]. Pro regulaci toku výroby

mezi jednotlivými pracovišti a úrovněmi řídí systém Kanban doplňování materiálu pomocí karet nebo signálů, které udávají kdy a v jakém množství je materiál potřebný [26][28]. První úroveň výrobního řetězce dodá suroviny a poslední úroveň dodá zákazníkovi objednávku. Mezitím se na jednotlivých pracovištích pracuje s polotovarem právě na základě kanbanových karet. Vše co se vyrobí mimo plán je považováno za nadvýrobu, která je v Lean Managementu, do kterého Kanban spadá, brána jako plýtvání [26]. Maximalizace produktivity a efektivity je založena na snižování doby nečinnosti. S tím souvisí prostoje, které se mohou vyskytnout ve všech procesech a jedná se o časové nevyužití nebo ztrátu, která by se měla být analyzována a minimalizována [30].

Hlavními cíli a benefity kterých má být dosaženo za pomoci implementovaného systému kanban je [26]:

- Řízení toku materiálu.
- Udržování standardizovaných procesů.
- Zabránění nadprodukce a plýtvání.
- Vizualizace výroby a úkolů ve všech fázích.
- Kontrola zásob.
- Dobrá komunikace mezi jednotlivými pracovišti.
- Minimalizace množství rozpracovaných výrobků.
- Neustálé zlepšování.
- Eliminace pozdních dodávek a zkrácení doby výroby.
- Snižování doby prostojů a zmetkovitosti.

Pro naplnění cílů a správnou implementaci systému je důležité, aby bylo dodrženo několik kroků nebo zásad. Při zavádění systému Kanban do podniku musí být všechny pracovní týmy i manažerské pozice proškoleny a seznámeny s výhodami, přínosy a riziky celého systému. Dalším poznatkem je, že není nutné zavádět systém od začátku ve všech procesech řetězce. Velmi důležitou pozicí pro Kanban je operátor pro jednotlivé pracoviště nebo úrovně, který dohlíží na část výrobního procesu a může předávat zkušenosti a nápady na zlepšení systému.

1.3.3 Enterprise Resource Planning

Systém plánování podnikových zdrojů (ERP) je informační systém, který je navržený k poskytování podpory strategie, provozu, řízení a rozhodování v podniku, ve kterém je

implementován [31, 32, 33]. Podniky díky součinnosti integrovaných modulů a centrální databáze, které ERP využívá k účinnému řízení zdrojů, mohou dosáhnout automatizace podnikových procesů, sdílení dat a přístupu k získávaným informacím v reálném čase [34]. Systém ERP propojuje své jednotlivé moduly z celého podniku (výrobní, finanční, účetní, lidské zdroje) a vytváří tím jednotný nástroj řízení všech prvků z celé struktury organizace. Zmíněné faktory spojené s ERP umožňují manažerům provádět kvalitní rozhodnutí při řízení jednotlivých procesů a poskytnout informace o nákladech a provozu, které jsou nezbytné k přijímání strategických rozhodnutí týkajících se jejich konkurenční pozice [33].

Firmy zavádějí systém ERP za účelem restrukturalizace podniku pomocí informačních a komunikačních technologií a ke zlepšení několika faktorů [32, 33, 35]:

- Zlepšení toku informací.
- Snížení nákladů.
- Zefektivnění obchodních procesů.
- Navázání spojení s dodavateli a lepší obsluha zákazníků.
- Zkrácení reakční doby.
- Pracování s daty v reálném čase.
- Zlepšení výkonnosti a efektivnosti podniku.

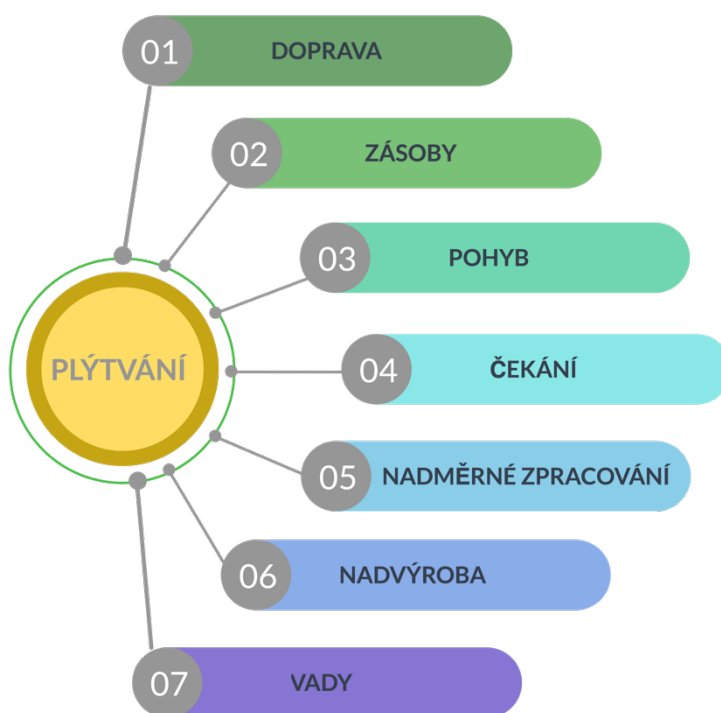
Nicméně zdařilá implementace systému ERP není jednoduchá záležitost. Je zapotřebí součinnosti podniku napříč všemi úrovněmi celé struktury [36]. Proto je důležité, aby byl systém pochopen všemi zaměstnanci a nikdo se nebránil změně v podobě implementace. V případě, že zaměstnanci nebudou chtít s ERP spolupracovat, může se jednat o nepovedenou a ztrátovou implementaci. Náklady na zavedení funkčního ERP do podniku nejsou malé, a proto existuje mnoho případů v praxi, kdy implementace ERP přinesla do podniku velké ztráty a chaos místo popisovaných výhod [37, 38]. Pro úspěšnou implementaci je také nezbytné provést přesný plán zavedení systému a stanovit si jednotlivé fáze, kterých se bude implementace držet [39].

Cílem implementace multifunkčního systému ERP do podniku je snížení času a nákladů na procesy v celé organizaci, což vede k dosažení vyšší efektivity, účinnosti a výkonnosti [40, 41]. Dalším cílem je zvýšit konkurenceschopnost a schopnost generovat přesné a korektní informace pro manažerské rozhodování. S tím souvisí i cíl propojení a propisování dat v různých oblastech podniku, jako například to, že objednávka od zákazníka by se měla propsat do plánování výroby, účetnictví, nákupu a logistiky. Všechny tyto cíle

vedou k ušetření peněz, času a eliminaci chyb, které vznikly přepisováním dat v provozu bez ERP.

1.3.4 Lean Management

Štíhlá výroba v překladu jako Lean Management zahrnuje některé ze zmíněných metod (JIT, Kanban), nebo je s nimi úzce spojena. Jedná se o koncept, který byl vyvinut také v Japonsku a zaměřuje se hlavně na minimalizaci a zamezení plýtvání [42, 43, 44]. Díky této praktice se naopak maximalizuje hodnota výrobku a využití zdrojů. Plýtvání v kontextu štíhlé výroby znamenají veškeré vynaložené zdroje, které nepřinášejí přidanou hodnotu konečnému zákazníkovi [45]. Může být využíváno mnoha metod a systémů k docílení štíhlého podniku, mezi které se může řadit mapování toku hodnot, pull systém, vyrovnaní poptávky, vizuální řízení a další [45]. Konkrétně se ve štíhlé výrobě jedná o 7 druhů plýtvání [42], jak je vidět na Obr. 3.



Obr. 3 - 7 druhů plýtvání

Důležité faktory pro správný chod štíhlého podniku jsou disciplína, dobří lídři, kvalitní vedení a dokonalé pochopení zákazníka a jeho požadavků. Na oplátku přináší podniku zlepšení výsledků, konkurenceschopnost, vyšší výkonost v oblasti kvality, méně poruch, nižší úroveň zásob, menší potřebu prostoru a vyšší efektivitu [43, 46]. Štíhlá výroba také může přispět ke zlepšení enviromentální a sociální situace [44]. V neposlední řadě se nabízí

využití moderních technologií a inovací pro zlepšení této koncepce za pomoci později popisovaného Průmyslu 4.0.

1.4 Metody řízení toku materiálů

Pro přehlednost, dobrou organizaci a efektivní řízení procesů je důležité mít ve výrobním podniku stanovenou metodu pro řízení toku materiálu. V případě absence této metody může nejen na pracovišti vzniknout chaos, ale hlavně může dojít k několika typům plýtvání. Pomocí metody FIFO nebo FEFO se kontroluje, aby žádný materiál nezůstal na skladu delší dobu, než by měl a nedošlo dokonce i k možnému vypršení expirace. Zavedením metod podnik získá ještě několik dalších benefitů, které jsou v práci vysvětleny u každé metody zvlášť.

1.4.1 First in First out

Jednou z nejpoužívanějších metod pro řízení zásob a toku materiálu je First in First out (FIFO), což v překladu do češtiny znamená první dovnitř, první ven [47, 48, 49]. Tato metoda se používá hlavně pro zakázky, které podléhají datu spotřeby, protože udržuje zásoby v závislosti na datu přijetí [47, 50]. To znamená, že materiál, který je na skladě nejdéle, bude použit pro výrobu nebo distribuci jako první. Díky tomu se udrží přehledný tok materiálu a zásob (v případě trvanlivosti materiálu se udrží i čerstvost).

Při využívání metody FIFO podnik získává přehlednou evidenci odchozích a příchozích zásob. Pomocí těchto informací podnik ví, kdy má objednat zboží u dodavatelů, aby minimalizoval dobu čekání zákazníka na svoji objednávku [47]. V některých podnicích se evidence zásob provádí stále ručně, což je velmi neefektivní. Moderní podniky mají evidenci digitalizovanou nebo dokonce i automatizovanou prostřednictvím různých softwarových aplikací.

Důležité je mít stanovené množství zásob v podniku, aby se nenarušil výrobní proces, ale zároveň se neplýtvalo a dosáhlo štíhlého provozu.

Řízení toku materiálu podle metody FIFO přináší několik výhod, které jsou přehledně vidět na Obr. 4 [48, 49]:

- ***Ustálený tok materiálu***

Minimalizuje možnost nadprodukce některého z výrobku a zároveň zabraňuje zahlcení a přeplnění systému meziprodukty. Zároveň žádný z materiálů nebo produktů není zapomenut a nemůže zestárnout.

- ***Štíhlý tok materiálu***

Zamezením zahlcení systému se minimalizují všechny druhy plýtvání a zaručí tak štíhlý tok materiálu.

- ***Zlepšená vizuální správa***

Díky metodě FIFO je snadné vyzorovat například úzké místo v toku materiálu, analyzovat ho a optimalizovat proces, tak by bylo eliminováno.

- ***Správa informací o limitech***

Procesy, které na sebe navazují nemusí komunikovat s předcházejícími procesy, a proto je jednodušší správa celého procesu. Musí se ale zajistit používání zásob ve správný čas pro každý dílčí proces.



Obr. 4 – Výhody metody FIFO

Důležitými podmínkami pro správný chod metody FIFO je, že žádný díl nesmí předběhnout jiný [47]. V případě předbíhání by se mohla prodloužit doba čekání na další díly, a to by způsobilo velké časové ztráty. Další vymežující podmínkou je nutnost stanovit maximální zásoby pro každý výrobní proces, což zabraňuje plýtvání v podobě nadvýroby.

Ovšem běžný výrobní provoz by se neobešel bez různých problémů, ať už menších nebo větších rozměrů. Výrobu může dočasně zpomalit a zbrzdit několik faktorů, které narušují plynulý tok výrobků a materiálů [48]. Tato narušení mohou rozhodit celou metodu, ale pokud jsou dodržována pravidla, která zaručují chod metody, se výroba může jednoduše vrátit do správného chodu.

1.4.2 First Expired First Out

Další významnou metodou pro řízení zásob a materiálu je First Expired First Out (FEFO), která v překladu do češtiny znamená první expirující, první ven. U materiálů, na které má velký vliv jejich trvanlivost (například se rychle kazí), je lepší využít metodu FEFO než předchozí uvedenou FIFO [51, 52, 53]. Dle dohledaných studií lze dokonce konstatovat, že v případě materiálu, který nepodléhal trvanlivosti, vyžadovalo řízení zásob pomocí metody FIFO pouhých 32 % času z doby při využívání metody FEFO [54, 55]. Ovšem na druhou stranu, u trvanlivých výrobků snížila metoda FEFO plýtvání o 50 %, oproti metodě FIFO [56, 57].

Pro co nejefektivnější využívání metody FEFO je důležité mít co nejpřesnější data o produktu, který podléhá trvanlivosti. Využívá se proto predikčních modelů, které popisují změny kvality výrobků, vzniklých při manipulaci, přepravě a skladování [52]. Na základě těchto získaných dat lze optimalizovat tok materiálu a zboží, které podléhá krátké trvanlivosti. K získávání dat lze použít nové technologie a metody, které pracují a vyhodnocují v reálném čase a jsou popsány v následující kapitole.

Díky této metodě se minimalizují zbytečné ztráty v celém dodavatelském řetězci, ale i ztráty ekonomické [52]. Metoda také zvyšuje spokojenost zákazníků, protože je větší pravděpodobnost, že svůj produkt dostanou v požadované kvalitě [58]. Úspěch této metody je závislý na ochotě a komunikaci napříč celým řetězcem [51, 52].

2 Průmysl 4.0 a jeho prvky

Pro udržení konkurenceschopnosti, vysoké efektivity a produktivity v organizacích dochází v dnešní době k automatizaci, digitalizaci a využití velkého množství technologií spjatých s iniciativou Průmysl 4.0. Tyto technologie, metody a nástroje se mohou propojit se všemi jednotlivými fázemi životního cyklu BPM. Zároveň implementované technologie vyžadují integraci v celé organizaci, pro jejich maximální využití, což je důležité při strategickém plánování jejich dopadu na všechny procesy v podniku [59].

Mezi hlavní technologie, které Průmysl 4.0 zahrnuje patří [59]:

- ***Internet věcí***

Jedná se o technologii, která vzájemně propojuje technologická zařízení se softwarem [60]. Internet věcí (IoT) je síť fyzických objektů, které spolu komunikují a vzájemně se ovlivňují. Výhodou této technologie je možnost analýzy dat v reálném čase nebo možnost předvídání různých událostí na základě získaných dat [61]. Zvyšuje efektivitu, produktivitu a rychlost.

- ***Analýza velkého množství dat***

V automatizovaných a digitalizovaných podnicích se shromažďuje velké množství dat. Všechny senzory, čidla nebo akční členy získávají data v reálném čase a je zapotřebí, aby docházelo k jejich analýze. Prostřednictvím protokolů dostávají získané informace smysl a mohou být využity pro rozhodování. Není ale možné zpracovávat takto velké množství dat běžnými prostředky [59]. Díky analýze velkých dat se zvyšuje efektivita, výkonnost a lépe se predikuje [62].

- ***Kyberneticko-fyzikální systém***

Jde o systémy, které umožňují propojení operací mezi fyzickým světem a výpočetními nebo i komunikačními jednotkami [63]. Při vhodném zvolení nástrojů a analytických technik pro vytvoření akčního plánu, může být kyberneticko-fyzikální systém (CPS) využit pro výroby i procesy. Cílem pro využívání CPS je zlepšit autonomii, efektivitu, adaptabilitu, spolehlivost nebo použitelnost všech systémů [64].

- ***Autonomní roboti***

Využívání robotů ve výrobě je dnes již velmi zaběhlé. Ovšem roboti se neustále vyvíjejí a zdokonalují, což nabízí nové možnosti. Jejich největšími výhodami oproti lidské práci je snížení chybovosti, zvýšení spolehlivosti nebo rychlosti vykonávání některých úkonů [65]. Naopak jsou například poměrně nákladní na pořízení, složití při nastavování a nejsou kreativní. Pro vyplnění mezery mezi roboty a lidmi vznikly coboti. Jedná se o kolaborativní roboty, kteří spolupracují s lidmi a rozšiřují jejich schopnosti, které navíc analyzují [66].

- ***Simulace a modelovací techniky***

Na základě simulace a modelování se získává vizuální reprezentace výrobku nebo procesu. Díky těmto technikám společnost ušetří náklady a zároveň na základě matematických modelů dokáže předpovědět různé situace [59]. Dále se modelováním mohou plánovat optimalizace, rozvrhovat výroby, projektovat zařízení, plánovat výrobní kapacity nebo analyzovat úzká místa [67]. Modelování jednotlivých procesů se provádí pomocí softwarových balíčků.

- ***Rozšířená realita***

Tato technologie rozšiřuje 3D grafiku a často se používá dohromady s virtuální realitou [68]. Rozšířená realita (AR) je nadstavbou reálného prostředí. Pro zobrazení se využívá například mobilní telefon nebo tablet. Díky AR ve výrobě se zlepšuje přehled o vývoji výrobku, údržbě zařízení, školení pracovníků, toku procesů a zajištění kvality [69]

- ***Ole for Process Control***

Ole for Process Control (OPC) je standardní komunikační protokol, který je určený pro výměnu dat v reálném čase mezi hardwarem pro řízení procesů a softwarem [70]. Je tedy možné začlenit zařízení různých výrobců bez ohledu na jejich komunikační rozhraní. Jedinou podmínkou je existence OPC rozhraní pro obě strany [71]. Odpadá tím tedy potřeba instalace speciálních ovladačů a ovlivnění komunikace. Zákazník pak není ovlivněn při výběru hardwaru a softwaru pro svou aplikaci. Pro chod OPC je potřeba dvou komponent, kterými jsou OPC klient a OPC server [70, 71]. OPC klient získává data ze serveru OPC pro další zpracování a OPC server je program, který poskytuje data klientům. OPC je definováno mezinárodní normou IEC 62541 a je doporučeno průmyslovým modelem RAMI 4.0, který bude v práci vysvětlen [71, 72].

Výše vyjmenované a popsané technologie slouží k inovaci procesů v podnicích, které se snaží být stabilní, flexibilní a schopné přizpůsobovat se změnám [73]. Na základě implementovaných technologií Průmyslu 4.0 se vytváří základ pro několik principů zobrazených také na Obr. 5 [59]:

- ***Modularita***

Pro modularitu je charakteristická schopnost odebírat nebo naopak přidávat různé komponenty systému, což zaručuje agilní výrobní systém [74]. Jedná s o velkou výhodou při výrobě na míru nebo při zavádění nových technologií [75].

- ***Interoperabilita***

Tento pojem znamená propojení jednotlivých digitálních technologií (IoT, velká data, cloud computing a další) s celým podnikem a tím umožnit tím výměnu informací [59].

- ***Decentralizace***

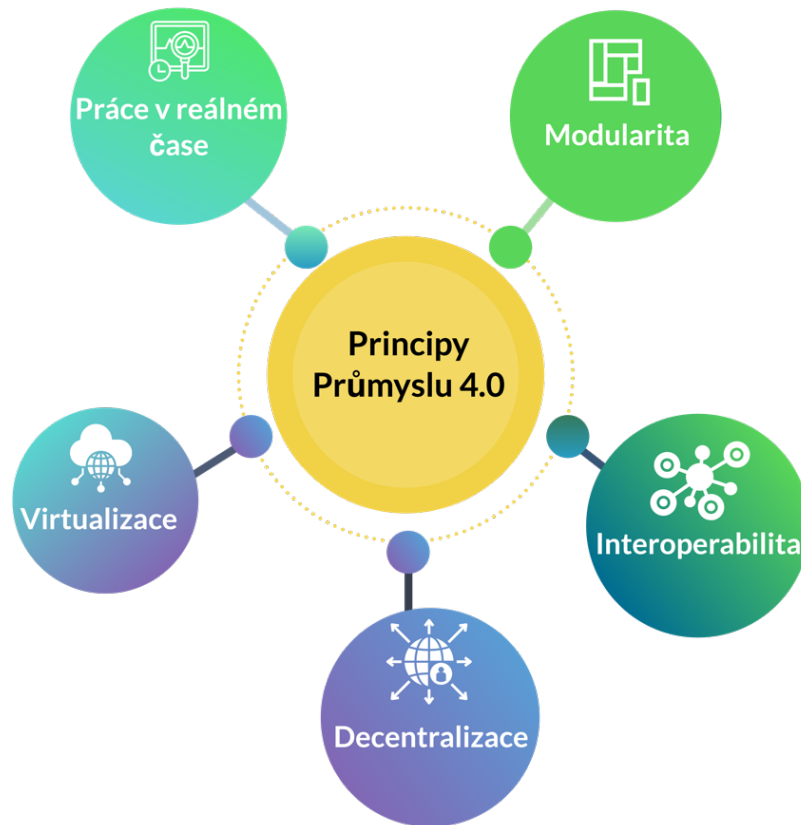
Je to možnost nezávislé operace a autonomního rozhodování za pomoci různých komponentů v systému, místo jednoho centralizovaného, což umožňuje flexibilitu a přizpůsobivost [76]. Hlavními technologiemi, které decentralizaci zprostředkovávají jsou CPS, digitální dvojčata nebo cloud computing [77].

- ***Virtualizace***

Za pomoci digitálních dvojčat v souladu s CPS se v podniku může dosáhnout určité virtualizace [78]. Díky tomu dochází ke snížení provozních nákladů nebo nákladů na údržbu a například je možné identifikovat malá efektivita [79].

- ***Práce v reálném čase***

Jednou z největších chloub iniciativy Průmyslu 4.0 je to, že se sbírají a analyzují data v reálném čase, což vede k vysoké agilitě [59]. Díky tomu podnik může například rychle reagovat na poruchy nebo na různé změny a zároveň identifikovat oblasti s možným zlepšením nebo monitorovat výkonnost obecně [80].



Obr. 5 - Principy Průmyslu 4.0

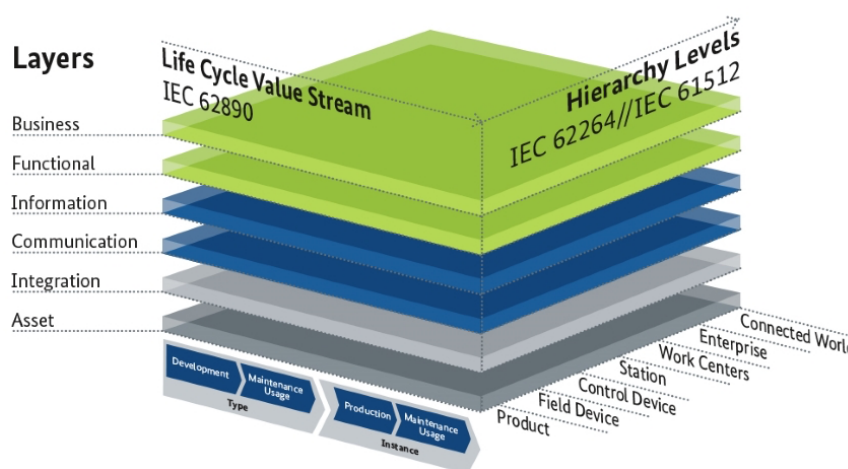
Identifikaci a analýzu procesů mohou ve spojitosti s Průmyslem 4.0 podpořit technologie jako modelování podnikových procesů, digitální dvojče, analýza velkých dat a úzkých míst nebo tzv. process mining [59]. Process mining, v překladu dolování procesů je nástroj, který podporuje digitální transformaci na základě poskytnutí uceleného pohledu na jednotlivé procesy a jejich problémy nebo složitosti [81]. Díky tomu jsou nalezeny neefektivní části.

Pro implementaci procesů v BPM se často využívají technologie v modelování, autonomní roboti, IoT, digitální dvojčata, cloud computing a simulace [59]. Aby byla implementace zdárná, vše musí být pečlivě nastaveno, odzkoušeno a pracovníci musí být dobře zaškoleni. Zároveň by mělo být při provozu vše monitorováno a analyzováno, aby mohlo docházet k optimalizaci a tím si podnik udržel svou pozici na trhu.

Všechny zmíněné technologie nebo principy vedou k chytré továrně, která vyhodnocuje svoje procesy a svoji práci v reálném čase [10]. Všechny výrobní kroky jsou modelovány jako procesní funkce spojené s konkrétními výrobními moduly a díky tomu mohou být procesy upravovány a měněny bez hloubkových technických úprav nebo znalostí.

2.1 Model RAMI 4.0

Model se zkratkou RAMI 4.0 (Reference Architectural Model for Industrie 4.0) je koncepcí vyobrazená do trojrozměrného vrstveného modelu jako je na Obr. 6 [82, 83]. Na základě tohoto modelu je viditelný strukturovaný přístup k Průmyslu 4.0, a jeho jednotlivé funkce jsou rozděleny do několika tříd. Hlavním cílem RAMI 4.0 je zajistit, aby všichni účastníci zapojení do aktivit v oblasti Průmyslu 4.0 měli společný model, který jim umožní vzájemně si porozumět. Rámec RAMI 4.0 má umožnit identifikaci standardů, aby bylo možné určit, zda je třeba standardy doplnit a změnit.



Obr. 6 - Model RAMI 4.0 (převzato z [83])

Pravá vodorovná osa modelu (osa "Úrovně hierarchie") zahrnuje hierarchické vrstvy podle mezinárodní normy IEC 62264 *Integrovaný systém podnikového řízení* [82, 83]. Tyto úrovně hierarchie představují různé funkce v rámci továren nebo zařízení. Funkcionality byly rozšířeny o pracovní díly od výrobku přes kontrolní zařízení až po propojení do internetu věcí.

Levá vodorovná osa modelu (osa "Hodnotový tok životního cyklu") představuje životní cyklus výrobku a zařízení podle normy IEC 62890 *Správa životního cyklu produktů a systémů používaných pro měření, řízení a automatizaci v procesním průmyslu* [82, 83]. Tato osa rozlišuje dvě třídy, kterými jsou typy a instance. Typ se stává instancí v momentě, kdy je dokončený návrh s prototypováním a daný výrobek se vyrábí [83].

Svislá osa představuje 6 vrstev, které popisují rozklad stroje na jeho vlastnosti strukturované do jednotlivých vrstev, což vytváří tzv. virtuální mapování [82, 83].

Díky modelu RAMI 4.0 je možné provést postupnou migraci do prostředí Průmyslu 4.0, i přesto, že se jedná o velmi flexibilní koncepty. To vše je možné na základě mapování všech klíčových aspektů Průmyslu 4.0 pomocí zmíněných 3 os. V neposlední řadě Rami 4.0 přináší společné chápání norem a případů použití.

2.2 Metody pro řízení procesů s prvky Průmyslu 4.0

V současnosti je automatizace, digitalizace a autonomní provoz velmi často skloňované téma ve spojitosti s technologickými a výrobními procesy. Od malých podniků, přes střední, až po velké, se všichni snaží zakomponovat prvky, technologie a systémy Průmyslu 4.0. Cílem této optimalizace a nového způsobu řízení procesů je zvýšení konkurenceschopnosti, udržení svého podniku na trhu, nebo zvýšení produktivity a efektivity práce.

Existuje již mnoho způsobu, jak do podniku implementovat tyto nové inovativní systémy nebo technologie. V nejčastějším případě se jedná o již fungující firmy se zaběhlými procesy, které se snaží postupně v rozdělených fázích implementovat optimalizační prvky, tak aby nebylo příliš zasaženo do chodu podniku a nebyly vykázány příliš velké ztráty. Tato varianta je pro zaběhlé podniky nejefektivnější časově, finančně i personálně, ale i tak se jedná o velice náročný proces.

Zároveň se již nabízí velká škála systémů a technologií, které lze do podniku pro jeho optimalizaci implementovat. Jedním z velmi populárních systémů implementovaných do výrobních procesů je systém MES, a proto bude rozebírán v případové studii.

2.2.1 Manufacturing Execution System

Manufacturing Execution System (MES) je výrobní a informační systém, který propojuje výrobní stroje, výrobky, lidi, databáze a informační systémy, díky čemuž se řídí, optimalizují a monitorují výrobní procesy [84, 85, 86]. Jedná se o propojení řízení výrobních procesů se základními prvky Průmyslu 4.0. Proto umožňuje bezpečné a důvěryhodné propojení kyberneticko-fyzikálních systémů s cílem automatizace procesů v podniku. Jsou tedy využívány technologie jako IoT, umělá inteligence (AI), cloudy a další, na základě kterých se dohromady s funkcionalitou systému MES podnik přibližuje k pojmu Smart Factory [87].

Systém MES přináší řadu benefitů a klíčových funkcí, které jsou přehledně vyobrazeny na Obr. 7 [84]:

- ***Sběr dat***

Klíčovým benefitem a funkcí, který systém MES přináší je sběr dat, která může shromažďovat a ukládat. Následně se informace mohou reprezentovat v grafech a reportech prakticky v reálném čase. Díky tomu lze sledovat například trend výroby, plnění výrobního plánu, opotřebením strojů, výkonost zaměstnanců, efektivitu výroby. K ukládání a sběru dat se využívají právě technologie IoT, Cloud a senzory na bázi RFID [88].

- ***Sledování výroby***

Další výhodnou funkcí MES je sledování výroby a jejího stavu dohromady s možností dohledávat například uložené šarže, zakázky nebo jednotlivá zařízení a pomůcky k výrobním procesům. Díky přehledu v reálném čase a sledování potřebných informací lze procesy zrychlit a tím i zefektivnit.

- ***Vyhodnocování výkonosti***

Jak už bylo zmíněno v předchozím bodě sběru dat, systém MES přináší veliký benefit v možnosti vyhodnocování získané informace v reálném čase. Jedná se o informace o stavu výroby, nebo efektivitě jednotlivých úrovní výroby. K zobrazení těchto dat se využívají online reporty, kde je možné přehledně zobrazit nejdůležitější potřebné informace a díky tomu rychle a přesně vyhodnocovat stav výroby.

- ***Řízení zdrojů***

Tato funkce je důležitá pro dobrou efektivitu provozu, protože může zahrnovat výměnu a analýzu informací o zdrojích, registraci a dostupnost dat nebo přípravu a realizaci výrobních zakázek. Je zapotřebí mít všechny druhy dat, které jsou nezbytné pro výpočet optimálního výrobního plánu a provozu z dostupných zdrojů [89].

- ***Plánování výroby***

Systém MES může shromažďovat potřebné informace pro rozhodování a je možné ho využít pro plánování výroby. Tento benefit je úzce spojený s řízením zdrojů, protože kontroluje zdroje a informuje ostatní systémy o průběhu výroby [90].

- ***Definice výrobku***

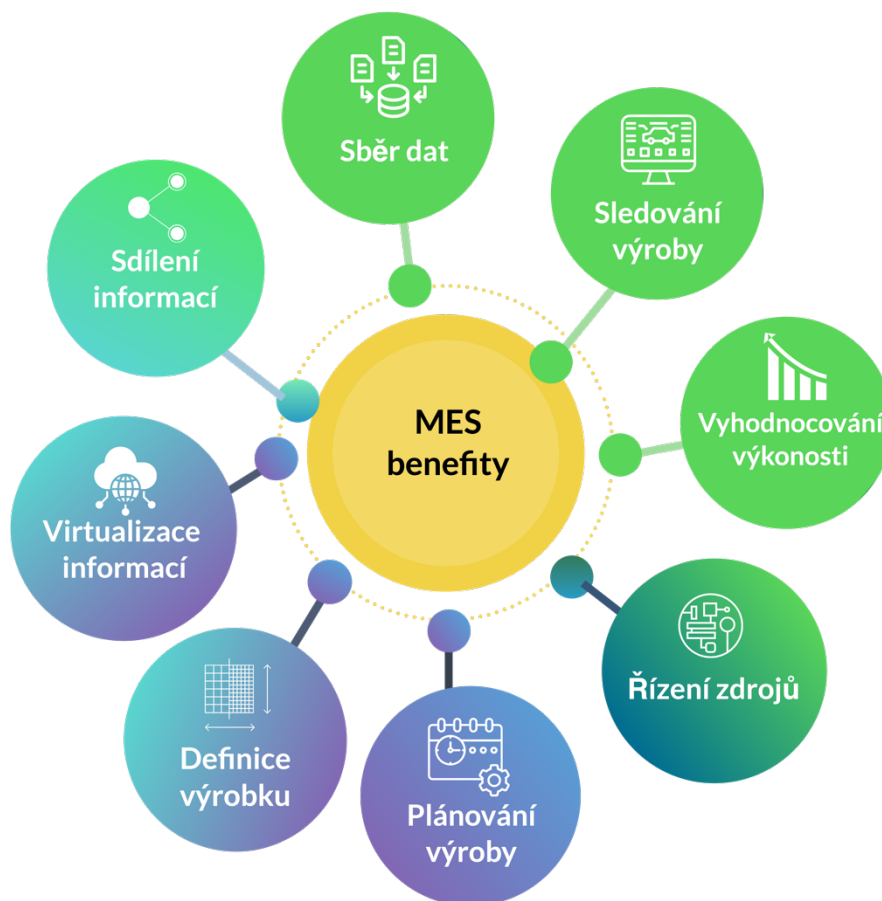
Jedná se o definici výrobku v podobě informací, jak se výrobek vyrábí a pracuje s potřebnými daty pro výrobu. Je využíváno výměny informací s různými kmenovými daty (například kusovníkem, pravidly výroby, receptury).

- **Vizualizace informací**

Pro uživatele je důležité, aby se získaná a vypočítaná data zobrazovala v grafickém rozhraní tak, aby bylo dosaženo co největší přehlednosti. Používají se proto různé druhy reportů, které jsou individuálně přizpůsobeny například pro přehlednost aktuální práce na pracovišti, kde může být vidět procento odvedené práce. Ovšem je možné vytvořit mnoho dalších druhů reportů. Pro zobrazení se využívají různá grafická rozhraní, jako například webové prohlížeče, tablety nebo chytré telefony.

- **Sdílení informací**

Prostřednictvím vertikální integrace je možné vyměňovat informace mezi jednotlivými úrovněmi v podniku. Je tedy možné sdílet informace i mezi různými informačními systémy, bez ohledu na rozdíl v časových horizontech.



Obr. 7 - Benefity systému MES

Na základě výše zmíněných benefítů a klíčových funkcí je evidentní, že Průmysl 4.0 je úzce spojen se systémem MES, a proto dochází v souladu s implementací tohoto systému

k podpoře digitalizace v celém podniku. Dále lze hovořit o zlepšení propojení a komunikace mezi zařízeními, lidmi a jednotlivými systémy. Je zde zajištěn i grafický přehled s možností řešit situace v reálném čase nebo plánovat celou výrobu. Díky MES je možné zjistit úzká místa v procesech a na základě toho provést optimalizace, které například zvýší efektivnost výroby. Dalším přínosem je zvýšení predikční kapacity, která je vytvářena na základě simulací ze získaných dat pomocí systému MES. V neposlední řadě po implementaci MES dochází ke zlepšení adaptability na vznikající situace.

Systém MES získává a předává informace o výkonnosti, prostojích, kvalitě výrobků v reálném čase a poskytuje zpětnou vazbu o výrobě a všech procesech s ní spojených. Proto je běžné, že MES pracuje ve spolupráci s podnikovými informačními systémy, jako je ERP [91]. Tyto dva systémy se navzájem doplňují. Zatímco MES se zabývá konkrétně výrobou jako takovou v reálném čase a jeho zařízení jsou implementována přímo na strojích, tak ERP se zabývá spíše kvantitativní analýzou a plánováním v podobě softwarového nástroje.

Pro splnění požadavků Průmyslu 4.0 by měl systém MES splňovat několik podmínek [92]:

- ***Decentralizace***

Vzhledem k tomu, že v dnešní době se často vyrábí unikátní výrobky a výrobní procesy jsou často předělávány podle požadavků zákazníka, tak by bylo poměrně složité řešit výrobu za pomoci tradičního centralizovaného řešení. Dynamicky měnící se trh neumožňuje vytvořit jednotný model. Proto je důležité, aby výrobek “znal“ svůj aktuální stav a své výrobní kroky, historii nebo cílový konečný stav. Zároveň je podstatné, aby spolu komunikovaly stav zásob, kapacity, aktuální stav procesu, potřebné údržby a další podstatné informace.

- ***Cloud computing***

Protože systém MES disponuje benefitem sdílení a analyzování dat v reálném čase, je výhodné využít technologie cloud computingu pro ukládání velkého množství dat na uložení, o které se například podnik nemusí starat. Z tohoto uložení mohou být hned data využívána.

- ***Konektivita a mobilita***

Pro co největší věrohodnost dat a práci s nimi je velmi důležitá dobrá konektivita mezi senzory, čidly nebo aktivními členy, které snímají aktuální stavy a informují o nich.

- **Lokalizace**

Pro řízení výrobních procesů je podstatné vědět, kde se jaká část výroby nebo samotný využívaný předmět nachází. Jen díky dobré lokalizaci v reálném čase může být čas na přípravu, transport a výrobu co nejkratší. Zavedení online lokalizace do předmětů v podniku, může být bráno jako efektivní optimalizace výrobních procesů. Je s tím spojena i lepší validita informací.

V souladu se systémem MES se často využívá ukazatel Overall Equipment Effectiveness (OEE), který se využívá pro hodnocení efektivity využití všech strojů spojených s výrobními procesy [93]. Tato analýza se také užívá ve spojitosti s optimalizacemi, zlepšováním a zeštíhlováním výrobních procesů. Nejčastěji se používá v automobilovém průmyslu, kde nedochází k tak častým přestavbám a unikátním požadavkům od zákazníka, protože je potřeba stanovit hodnoty standardních časů [93]. OEE se využívá k odкрыtí skrytých kapacit strojů, které mohou podniky využít ke zvýšení efektivity výroby. Jak je vidět na Obr. 8, OEE tvoří dostupnost, výkon a kvalita. Dostupnost se počítá jako podíl skutečného času provozu a plánovaného času provozu. Výkon je definovaný v OEE jako podíl skutečné produkce a plánovaného výstupu a kvalita je brána jako kvalitní produkce podělená skutečnou produkcí.



Obr. 8 - Výpočet OEE (převzato z [94])

Cílem systému MES je zprostředkovat propojení mezi provozem a řízením podniku. Díky tomu může podnik získávat velké úspory v podobě snížení prostojů a poruchovosti strojů. Velkým benefitem je také možnost sledování pracovní doby strojů a nebo zaměstnanců, kteří mohou být například vypláceni na základě obdržných a analyzovaných dat prostřednictvím systému MES. Na základě své podpory k přístupu a analýze informací, lze přehledně graficky data reprezentovat a vyznačit na grafech libovolná data potřebná například k optimalizaci, plánování nebo hodnocení výrobních procesů. Zároveň je implementací MES podporována ideologie štíhlé výroby, která je již v práci popsána.

2.2.2 Warehouse Management System

Ve spojitosti s větší složitostí požadavků zákazníků a jejich objednávek se velké množství podniků zabývá moderním řízením skladů a materiálové logistiky (WMS). Je kladen se důraz na získávání informací v reálném čase a přesnost dat, což propojuje WMS s technologiemi Průmyslu 4.0 [95]. Systém se zabývá detailním řízením logistických procesů ve skladech od příjmu až po expedici. WMS pomáhá přijaté zboží přijmout a uložit na správnou skladovací pozici na základě přiděleného sledovacího ID, které je propojeno s registrem nebo počítačovou databází [96]. V některých případech se může stát, že podnik spolupracuje s velkým množstvím dodavatelů a využívá hodně skladovacích jednotek. Proto je zapotřebí efektivně řídit všechny probíhající procesy tak, aby sklad fungoval dynamicky a byl snadno přístupný [97].

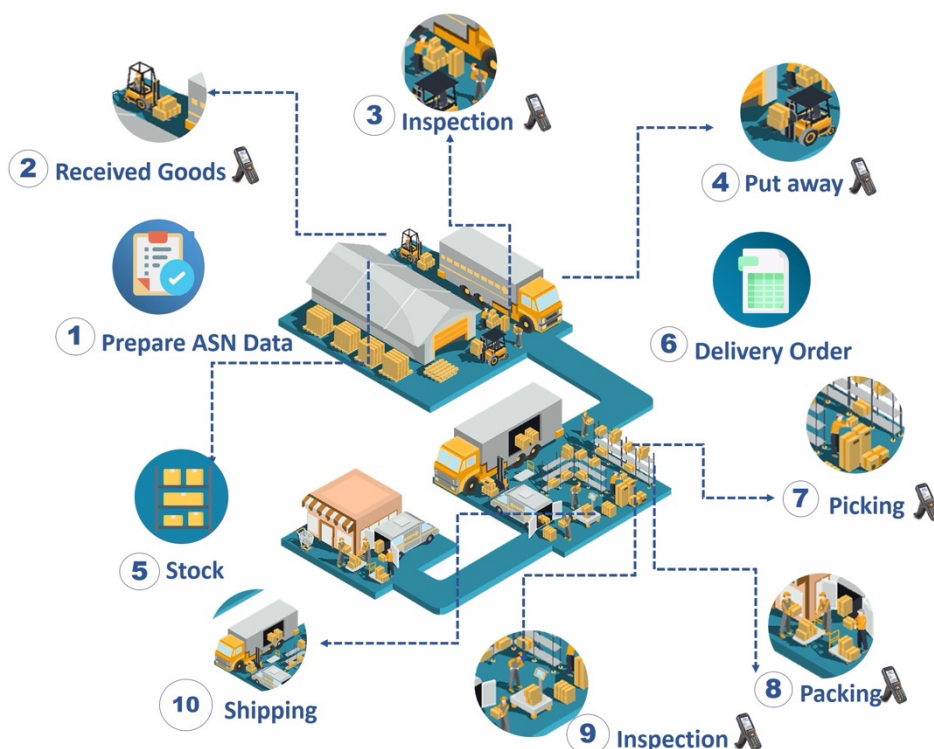
Jednou z technologií Průmyslu 4.0 je IoT, které se může propojit se systémem WMS například při poskytování informací o pracovním místě, tzv. vychystávačů na položkách, což zefektivní proces vychystávání objednávek [95]. Díky IoT vznikla ve skladech možnost minimalizovat proces obsluhy skladu v podobě automatizace. Tím se zabrání i poměrně častým lidským pochybením, čím se zvýší efektivita skladového provozu.

Pro vybudování inteligentního skladového prostoru je zapotřebí implementace technologie CPS, díky které se propojuje spolupráce mezi lidmi, stroji a roboty [95]. Zároveň se sklady propojují s technologií RFID k identifikaci manipulačních jednotek. Dále se využívá síť bezdrátových senzorů a čidel, analýzy velkých dat nebo cloud computingu. CPS je hlavním pomocníkem při získávání a zpracování dat v reálném čase [98]. Na Obr. 9 jsou znázorněny základní funkcionality WMS systému.

Po správné implementaci systému WMS je možné vyvodit několik benefitů [95, 97]:

- Zrychlení skladových procesů a snížení chybovosti.
- Informace v reálném čase.
- Snížení zásob.
- Přesnost expedice.
- Přesné informace pro pracovníky.

Warehouse Management System (WMS)



Obr. 9 – WMS (převzato z [99])

2.2.3 JIT 4.0

Další možností zavedení Průmyslu 4.0 pro řízení výrobních procesů je optimalizace tradičních metod, které jsou již v podniku zavedeny. Jednou z těchto možností je doplnění metody Just in Time technologiemi a principy zmiňovaného Průmyslu 4.0. Metoda JIT je již popsána v jedné z předchozích kapitol a je tedy evidentní, že je založena na výrobě produktů ve správném množství, kvalitě, místě a čase, aby nedocházelo k tvorbě zásob výrobků a výrobním ztrátám.

Pro zdokonalení, zmodernizování a zvýšení efektivity metody JIT se nabízí využívání technologických prvků, které umožní získat veliké množství dat v reálném čase. Díky tomu je možné mnohem lépe plánovat, analyzovat a řídit celou výrobu a vše s ní spojené.

Konkrétně jsou s metodou JIT spojována velká data, cloud, AGV nebo AR [100]. Dohromady tyto technologie zajišťují flexibilitu dodavatelského řetězce a integraci mezi procesy, zařízeními a zúčastněnými stranami. Využití těchto charakteristických zařízení a technologií nese výhodu v práci v reálném čase, kdy různé senzory nebo čidla získávají data a informace, která jsou díky IoT a cloudu zpracována, sdílána a analyzována. Data jsou transformována na užitečné informace pro všechny zúčastněné strany. Pro zákazníky

zvyšuje hodnotu možnost optimalizovat přepravu trasy a celkovou logistickou spolehlivost tak, aby bylo vše včasné dodáno [101]. Při implementaci softwarového zpracování a vyhodnocení sdílených informací z celé výroby lze zjistit špatné využívání skladových prostorů, prostoje strojů nebo nenaplnění požadavků.

Pro minimalizaci lidských chyb a zbytečných cest se využívají AGV, tedy vozidla která mohou automaticky jezdit po podniku a převážet materiál z jednoho bodu do druhého bez zásahu obsluhy [102]. Vozidla jsou osazena mnoha senzory a přijímači, na základě kterých vozidlo pracuje. V JIT 4.0 může být používána identifikace na rádiové frekvenci (RFID), která se využívá ke sledování materiálů nebo produktů v reálném čase a na přesné pozici [102].

V praxi se může jednat jak o nové zavedení celé metody JIT 4.0, nebo lze základní JIT optimalizovat prvky Průmyslu 4.0. Ovšem u obou případů se nejedná o jednoduchý úkol. Implementace nových technologií je poměrně nákladná a pro dokonalou funkčnost systému je potřeba mnoho hodin testování a ladění.

3 Případová studie

Tato práce zaměřená na řízení procesů v kontextu konceptu Průmysl 4.0 se v praktické části zabývá porovnáním dvou implementací systému MES v produktivním provozu. Praktická část je zpracována v podobě případové studie, kde jsou zmíněny dva podniky, do kterých byl systém MES implementován třetí společností.

Případová studie obsahuje porovnání a analýzu implementací systému MES. Jedná se o aktuální téma, protože mnoho podniků poslední dobou strategicky optimalizuje řízení svých procesů a celého chodu společnosti v podobě automatizace a digitalizace. Jak bylo zmíněno v teoretické části práce, systém MES zahrnuje propojení kyberneticko-fyzikálního prostředí a umožňuje sběr dat, sledování výroby a jiných pohybů v procesech, vyhodnocení efektivnosti, plánování výroby, výkazy práce nebo sledování získaných dat. Právě poskytování aktuálních informací z výroby v jakémkoli čase nebo automatické objednávání materiálu pro plynulost chodu podniku jsou jedny ze stěžejních výhod systému. Podniky mohou implementací systému MES také využít výpočet OEE pro analýzu produktivity výroby nebo zjištění detailních informací o prostojích a odhalit tím možná úzká místa, která snižují efektivitu výrobních procesů. Některé podniky dokážou dokonce pomocí systému MES sledovat pracovní doby svých zaměstnanců a na základě toho vypočítat jejich mzdu nebo bonusové ohodnocení.

Implementace systému MES je v případové studii rozebírána hlavně z důvodu velkého zájmu společností z Evropy i celého světa právě o tento typ propojení komunikace mezi stroji, lidmi a počítačem. Nejžádanějším odvětvím systému je automotive, kde systém využívají nejen samotné automobilky, ale i jejich dceřiné firmy nebo smluvní dodavatelé jednotlivých komponent, kde jsou kladeny požadavky na přesný sběr a vyhodnocování dat včetně traceability¹.

Případová studie nabídne porovnání implementací ve dvou podnicích, díky čemuž je vidět, že se nejedná o snadnou záležitost, ale o poměrně náročný proces po technologické i organizační stránce. V práci je provedeno porovnání zmiňovaných dvou implementací, z důvodu možných variací například při stanovování hlavních cílů systému MES. Podniky se

¹ Traceability – zpětná dohledatelnost, která je využívána například při hledání vzniku vady na konkrétním výrobku.

při zavádění systému potýkají s různými riziky a problémy. Zároveň každý podnik implementaci nového systému zvládá jinou rychlostí a plynulostí. Všechny tyto informace jsou v práci vyhodnocovány a porovnávány tak, aby případová studie byla pro podniky co nejvíce užitečná a poučná. Studie na závěr přinese i návrhy nových řešení, které by implementovaný systém MES v jednotlivém podniku mohl rozšířit.

Všechny informace o implementacích byly sbírány z projektových dokumentů, které byly poskytnuty třetí společností, která systém MES zaváděla. Zároveň bylo pracováno s informacemi sdělenými jednotlivými vedoucími projektu z podniků, kde byl systém implementován, a v neposlední řadě od vedoucích projektu a konzultantů z podniku provádějícího implementaci. V práci jsou zpracována jak objektivní data zaznamenaná v průběhu implementací, tak subjektivní názory zainteresovaných členů obou projektů.

3.1 Představení společností

V případové studii vystupují 3 společnosti. Vzhledem k jejich požadavku na anonymitu budou jednotlivé společnosti označeny jako společnost A, společnost B a společnost C. Vztah mezi podniky je vyjádřen na Obr. 10.

Společnost A je jedním z dceřiných podniků jedné velké společnosti. Jedná se o významného dodavatele většiny světových automobilek. Zabývá se zpracováním netkaných textílií a výlisků převážně z recyklovaných materiálů, které nachází své využití v interiérech, zavazadlových prostorech a na dalších místech, kde slouží například k odhlučnění vozu. Podnik spolupracuje už i při vývoji nových modelů automobilů. Ve svém kraji mají všechny závody této společnosti více než 3000 zaměstnanců.

Společnost B je také dceřinou společností, která se zaměřuje na výrobu osvětlovací techniky především do automobilů. Vyrobené kusy předních světlometů dodávají více než 8 světovým automobilovým značkám. Zároveň se jedná o podnik, který patří mezi největší a nejstabilnější zaměstnavatele ve svém kraji. Své výrobky v podniku vyrábí přes 20 let a zaměstnává necelých 1300 zaměstnanců.

Společnost C je podnik nabízející softwarové a technologické řešení pro výrobní a logistické firmy, které zavádějí Průmysl 4.0. Společností vyvinutý SW automatizuje a řídí logistické procesy ve skladě a ve výrobě, sbírá data o stavu a průběhu výroby a umožňuje automatizované skladové technologie. Zároveň nabízí implementaci ERP nebo plánování výroby. Společnost působí na trhu přes 20 let, dodává svůj SW a systémy po celém světě a zaměstnává okolo 250 zaměstnanců.

Konkrétně se společnost C zaměřuje na implementace několika systémů zpracovaných svým SW řešením:

- **ERP**

ERP je klíčová funkcionalita pro automobilový průmysl. Jedná se o pokrytí zásadních procesů v průmyslu automobilových dodavatelů. Podporuje elektronickou výměnu dat s obchodními partnery, plánování výroby a nákupu nebo řízení materiálových toků.

- **MES**

SW produkt detailně ukazuje aktuální stav zakázek ve výrobě, výkazů práce o činnosti pracovníků a výrobních zařízení, včetně dodržování technologických procesů.

- **WMS**

WMS představuje vlastní SW řešení pro řízení logistických procesů ve skladě a ve výrobě od příjmu až po expedici. Přináší informace v reálném čase s využitím automatické identifikace manipulačních jednotek a skladových míst pomocí čárových nebo RFID kódů.

- **QMS**

Společnost disponuje i řešením pro řízení procesů kvality materiálu. Řídí vstupní a výstupní kontroly, monitoring a dohled dodržování stanovených pravidel.

- **JIT/JIS**

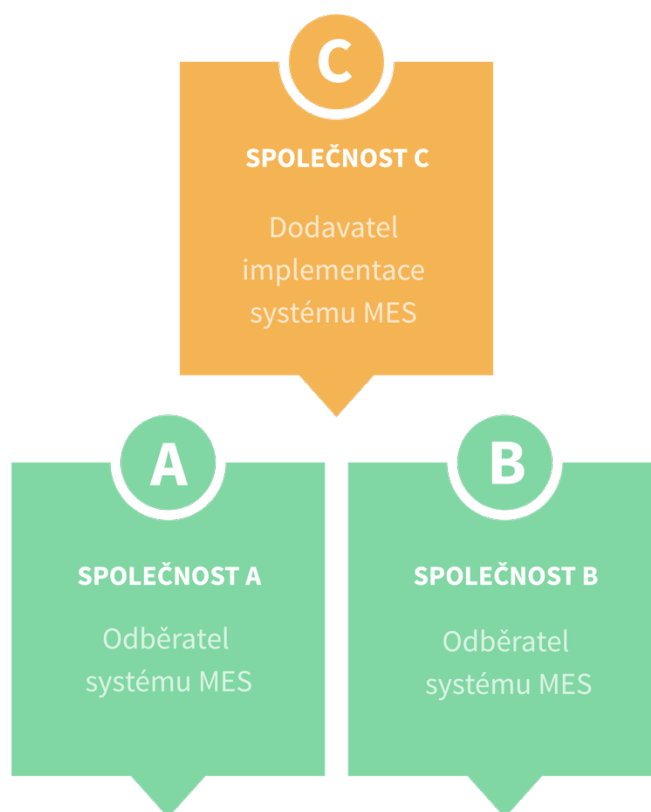
Jedná se o řešení určené pro automatické řízení dodávek Just in Time nebo Just in Sequence. Zajišťuje přesnou expedici výrobků včetně jejich označení, doplněnou o průvodní dokumentaci a elektronické zprávy.

- **YMS**

Tento systém v podání společnosti C pomáhá plánovat čas nakládky a vykládky jednotlivých kamionů pro konkrétní brány skladů. Dodavatelům, zákazníkům nebo dopravcům umožňuje sdílet informace o vytížení bran a vytvořit rezervaci pro příjezd kamionu.

- **APS**

Produkt společnosti C pro plánování výroby vytváří reálný plán výroby a dodává plánovač, který umožňuje pracovat se systémem napojeným na aktuální data.



Obr. 10 – Přehled vystupujících společností v případové studii

3.2 Popis implementací a jejich cílů

Tento bod práce zvlášť popisuje implementace v obou podnicích. Jedná se o obecné vysvětlení, jak výroba v podnicích fungovala před projektem zavádějící systém MES a na základě čeho se společnosti rozhodly pro změnu. Zároveň jsou zde podrobněji popsány části implementace včetně jejich funkcionalit, možností a provedení. Také jsou zde charakterizovány a vyhodnoceny i cíle, které si před začátkem projektu stanovil odběratel s dodavatelem.

3.2.1 Implementace systému MES ve společnosti A

Před implementací systému MES ve společnosti A byl chod v závodech zaznamenáván do papírových systémů. Veškeré informace o jednotlivých směnách byly vedeny v papírové podobě, kde se vyplňovaly směnové zprávy², na základě kterých byly počítány a vypláceny prémie pro zaměstnance. Ovšem v papírovém vypisování směnových

² Směnová zpráva – dokument se všemi potřebnými informacemi o směně, která v dané době pracovala včetně datumu, času, projektu, na kterém pracovali konkrétní zaměstnanci a další informace.

zpráv bylo mnoho chyb, nesrovnalostí a překlepů, které vedly k zavádějícím informacím a nesprávnému vyhodnocení sledovaných ukazatelů. Navíc si dokumenty o směnách dříve vyplňovali zaměstnanci sami, takže mohlo poměrně jednoduše docházet k mystifikacím a úpravám dat ve prospěch samotných pracovníků.

Další nevýhodou nebo časovou ztrátou byla doba zpracování dat při ručním vyplňování formulářů. Data sice bylo možné zpracovat pro následující vyhodnocování, nicméně to zabralo určitý čas a dost lidské práce. Zpracovaná data byla k dispozici až den po jejich zapsání, a ne v reálném čase, tak jak by bylo ideální pro co největší efektivitu a rychlost.

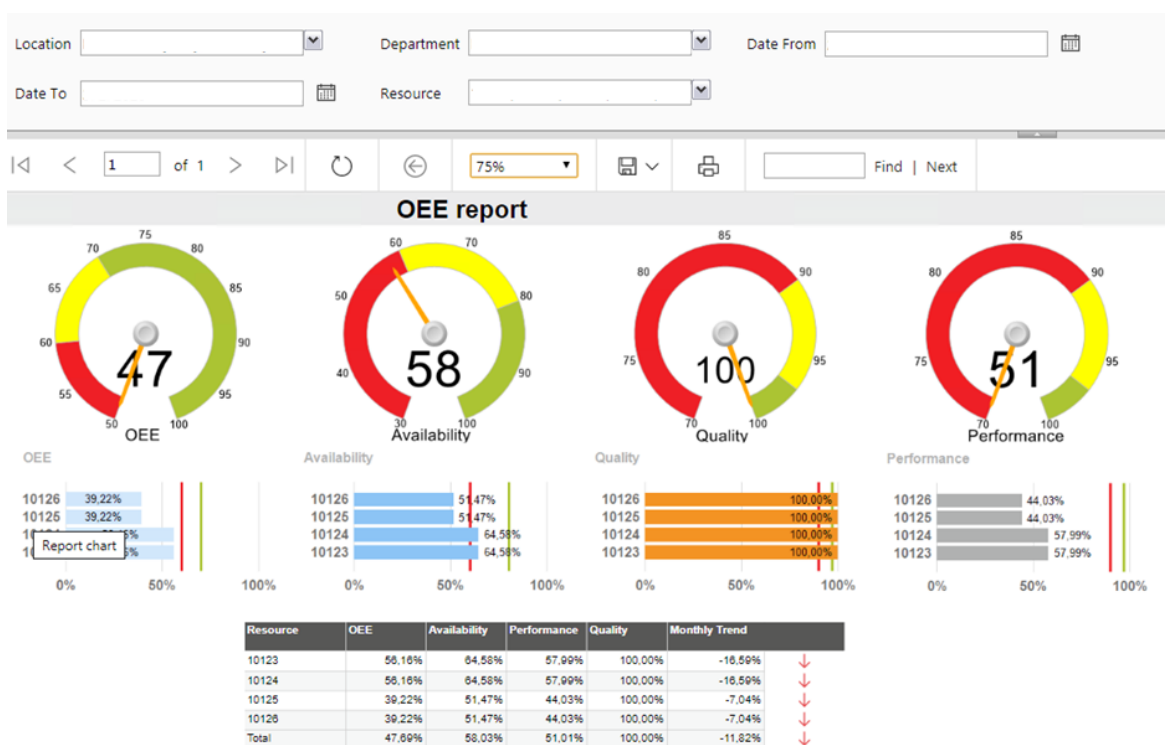
Samotnému spuštění projektu s implementací systému MES ve společnosti A předcházela základní projekt, který taktéž dodávala společnost C. Tento projekt obsahoval import zakázek do vlastního digitálního systému, poskytování dat o výkazech (na základě kterých se počítají bonusy pro zaměstnance) a zavedení základních procesů ve spolupráci s digitálním systémem. Procesy byly integrovány ve spolupráci se zavedeným systémem ERP od jiné společnosti. Jedná se o příjmy zakázek nebo jejich zahajování, kde se kontroluje několik faktorů, jako například kontrola správného počtu přihlášených operátorů u vyrábějící linky nebo kontrola správného nástroje, který má být na stroji pro danou výrobu připnutý. Díky tomuto projektu se začaly na strojích počítat i sjezdy³, které udávají kolikrát byl nástroj použit, díky čemuž se pak určuje údržba. Tento projekt už se dá částečně považovat za základní variantu systému MES, ale v tomto případě byl brán jako pilotní projekt pro přípravu na hlavní zavedení systému MES. Implementace odstartovala na 6 pracovištích a trvala 3 měsíce. Následně si ho společnost C rozšířila do 4 závodů a celkem funguje na 500 pracovištích.

Následně byla po pilotním projektu spuštěna implementace plnohodnotného systému MES. Projekt zahrnuje už instalaci a spuštění OPC komunikace mezi stroji a SW, která slouží ke sběru dat ze strojů a následnému odesílání pro vyhodnocení a zpracování například reportů. Konkrétněji se OPC komunikace ve společnosti A používá při sbírání sjezdů⁴. Dále se ve společnosti A využívá výpočet OEE reportu, který je zobrazený na Obr. 11 a slouží pro kalkulaci efektivity výroby, tak jak je vysvětleno v literární části této práce. Zároveň je

³ Sjezd – pojem který definuje jeden úkon stroje na jednom výrobku

⁴ Sbíráání sjezdů – počítání jednotlivých sjezdů na strojích automatickým zapisováním změn a hodnot do tabulky.

ve společnosti A implementován report, který pomocí barev automaticky zobrazuje, v jakém stavu se konkrétní stroj nachází. Jsou zde využívány barvy pro stavy typu práce, pauza, kritická pauza nebo stav bez výkazu.



Obr. 11 - příklad OEE reportu ve společnosti A

Další funkcionality, které systém MES společnosti přinesl, se týkají dovedností uživatelů tzv. Skill matrix of operators (Dovednostní matice). Jedná se o stanovené dovednosti pro určitá pracoviště, pro které musí být zaměstnanec vyškolený, aby mohl zahájit práci s konkrétním strojem. Tato funkcionality je hlídána po přihlášení uživatele k pracovišti. V případě, že pracovník nemá dostatek dovedností pro práci, tak ho systém nepustí k zahájení práce a zobrazí se upozornění.

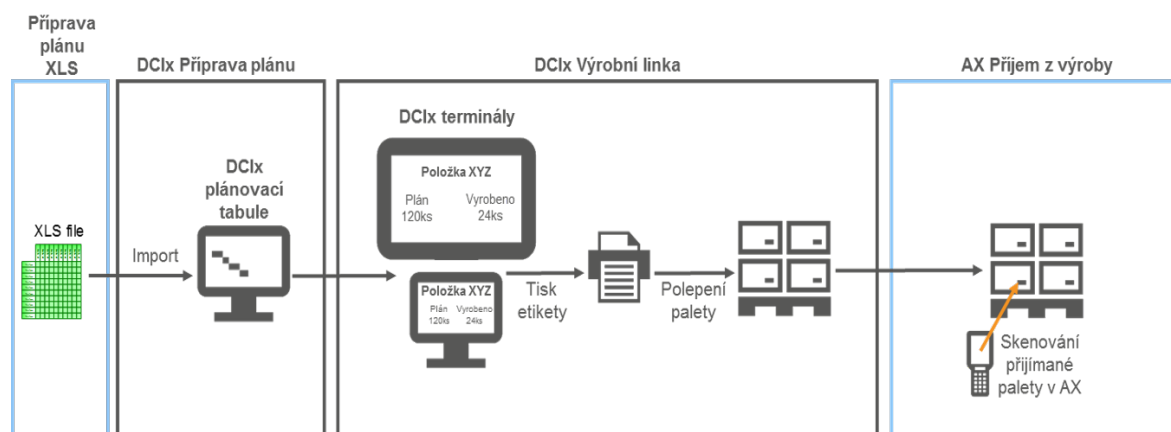
V neposlední řadě se jedná o optimalizaci a automatizaci požadavků na údržbu strojů na výrobních linkách. Vzhledem k tomu, že se počítá množství sjezdů na strojích, tak lze určit, za jak dlouho má dojít k servisu stroje nebo výměně používaného nástroje. Tato funkcionality je samozřejmě spojena se systémem, který dokáže automaticky volat servisní tým. V případě poruchy je po přepnutí stroje do kritického prostoje zadán konkrétní problém, aby opravář věděl, než vyrazí na opravu, o jaký problém se jedná. Opravář si tak může vzít potřebné věci a připravit se na opravu. V tomto případě se využívá tzv. Profylax.

3.2.2 Implementace systému MES ve společnosti B

Ve společnosti B byla před implementací systému MES od společnosti C využívána tradiční metoda Kanban, na základě které byly řízeny procesy ve výrobě. Kanabnové karty, které jsou využívány v této metodě, byly vypisovány ručně. To vedlo k častým nesrovnalostem a překlepům, díky čemuž byly generovány nepřesné informace. Stejně tak vyhodnocování jednotlivých dat bylo zdlouhavé a poměrně obtížné. Zároveň se tím prodlužovala doba na sběr a distribuci kanbanových karet, tedy i zpoždění celé výroby.

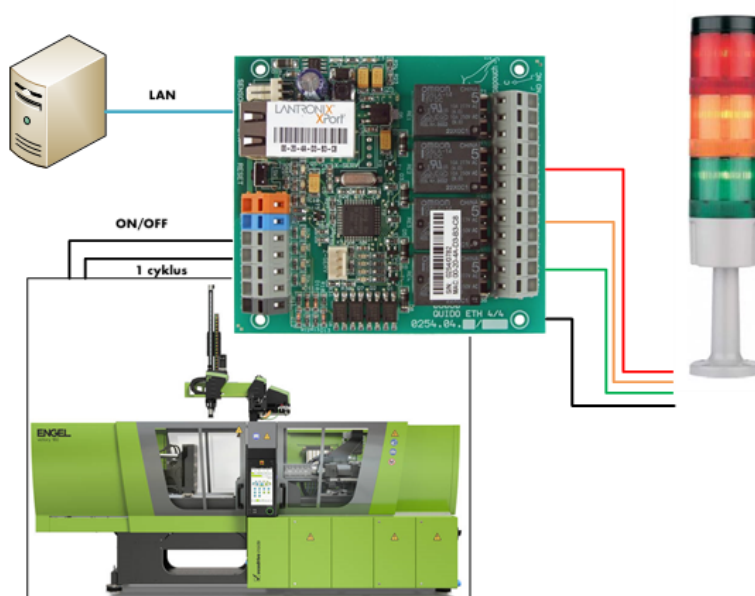
Z těchto uvedených důvodů přišel požadavek od mateřské společnosti na implementaci systému pro automatizaci a digitalizaci výrobních procesů. Vybraní zaměstnanci, kteří byli implementací pověřeni, byli vysláni na exkurzi do zmiňované mateřské společnosti, kde již měli svůj automatický a digitální systém zprovozněný a bylo tedy možné načerpat poznatky a zkušenosti.

Nakonec byl pro implementaci zvolen digitální systém MES od společnosti C, který splňoval požadavky na detailní sledování a evidenci materiálových toků ve výrobě, a sledování stavů zakázek. Nejdříve byly zavedeny automatizované procesy a funkcionality pro zahajování nebo dokončování výroby. Dále díky implementaci začal sběr dat o jednotlivých prostojích a definování jejich důvodů. Umožnila také upravovat výrobní plány. Tato implementace zahrnuje i vytvořené reporty, které společnost B využívá pro své plánování. Jak je vidět na Obr. 12, součástí projektu byla příprava plánu výroby v digitálním systému podle XLS souboru, a na základě tohoto plánu byly zadány požadavky na výrobu, kde se tisknou etikety a polepuje paleta s vyrobenými produkty. Projekt byl nejdříve zprovozněn na jedné lince, a v následujících fázích byla technologie rozšířena do dalších částí výroby, kterou si společnost B provedla již sama.



Obr. 12 - Schéma zavedených funkcionalit v černých rámečcích (převzato od společnosti C)

Po implementaci výše zmíněných funkcionalit přišlo na řadu rozšíření projektu. Jedná se o vylepšení sběru dat tak, aby bylo možné sledovat stav výroby v reálném čase a reagovat rychle na odchylky v plánu výroby. Proto byly v digitálním systému nastaveny automatické procesy pro stroje, kde se jedná o procesy navázané na sběr signálu přímo ze strojů ve výrobě. Signály jsou spouštěny automaticky na základě signálu stroje prostřednictvím I/O převodníku, který v tomto případě realizuje zařízení Papouch Quido⁵. Zařízení udává signál ze stroje, pokud je zapnutý nebo vypnutý. Dále rozlišuje, zda je stroj v ručním módu⁶ nebo automatickém módu⁷. Quido udává i třetí signál, kterým je pracovní cyklus stroje, tedy označení každého vyrobeného kusu. Ovšem v průběhu projektu byly přidány další typy dekodérů zpráv, protože bylo nutné reagovat na odlišnost sbíraných signálů u jiných typů výrobních linek. Zároveň bylo nastaveno automatické zahájení evidence prostoje na stroji, v případě že za nastavenou dobu 5 s nepřišel žádný signál z výrobního stroje. Příklad možného zapojení je naznačen na Obr. 13.



Obr. 13 - Příklad možného zapojení s I/O převodníkem (převzato od společnosti C)

Dále byly rozšířeny procesy pro zahajování zakázek, výkazy zmetků, změny dokumentu kvality, zadávání důvodových kódů prostoje a ukončování zakázek. S tím souvisí nastavení funkcionalit pro odhlašování a přihlašování operátorů nebo jiných pracovníků na HMI

⁵ Papouch Quido – zařízení, které má vstupy a výstupy, a které lze sledovat a ovládat přes počítačovou síť, USB a další možnosti [109].

⁶ Ruční mód – manuální příprava a nastavení stroje nebo příprava zakázky.

⁷ Automatický mód – Stroj se nachází v režimu sériové výroby.

terminálech⁸, které byly doinstalovány k jednotlivým linkám. HMI terminály fungují ve spolupráci s dodávaným digitálním systémem. Na těchto obrazovkách se přihlašují pracovníci, když začínají pracovat a podle role, kterou mají v digitálním systému přiřazenou, se jim zobrazují možnosti práce, které mají přiřazené v rámci své zadané činnosti na konkrétních strojích. Příklad možného zobrazení na HMI terminálu je na Obr. 14. Zároveň byly dodány funkcionality s prací digitálních kanbanů.

Důvod prostoje						Uživatel
Položka	Požad./Potvr.	Poslední prostož	Doba trvání	Zmetky	Za zakázku	Za směnu
61702-0H060	60 / 7555	Problem Fingry	00:00:25	29	05:50:46	00:13:59

Volat údržbu Forem

Ruční odvádění

Zahájení zakázky

Zrušit volání údržby Forem

Scrap

Ukončení zakázky

Volat údržbu Lisu

Důvod prostoje

Výrobní plán

←

→

Zpět na výběr role

Odhlásit

Obr. 14 - Příklad zobrazení informací a procesů na HMI terminálu

V neposlední řadě byly spuštěny reporty pro evidenci práce nebo prostoje konkrétních strojů na HMI terminálech. Společnost C dodala také report pro analýzu zmetků nebo detailnější report pro analýzu prostojů. Vytvořené reporty pro aktuální stav výroby na základě plnění stanoveného plánu byly sice vytvořeny také, ale společnost B je dodnes nevyužívá.

⁸ HMI terminál - Rozhraní člověk-stroj je uživatelské rozhraní nebo ovládací panel, který spojuje člověka se strojem, systémem nebo zařízením [110]. Jedná se o prostředek pro zobrazení a předání informace o stavu stroje. Zároveň umožňuje ovládání stroje a zadávání hodnot.

Aktuálně je tato implementace rozšířena již po celé výrobě společnosti B, což znamená zásah u 30 montážních linek, 17 předmontážních linek, 18 linek pro povrchové úpravy a 36 vstříkolisů.

3.2.3 Cíle implementace společnosti A

Hlavním cílem implementace systému MES ve společnosti A bylo zvýšení korektnosti a důvěryhodnosti získávaných dat z výroby. Nejednalo se tedy prvoplánově o zvýšení produktivity nebo snížení zmetkovosti a dalších faktorů, které vedou k přímému zvýšení zisku společnosti z výrobní činnosti. S implementací systému MES šlo především o získávání přesných dat v reálném čase, které povedou k jednoduššímu digitálnímu a automatickému reportingu nebo plánování výroby. Nicméně cílem společnosti A je i snížení výdajů na základě zjednodušení práce s daty a dosažení větší přehlednosti celé výroby. Zároveň společnost může do budoucna lépe analyzovat například prostoje, což může být jedna z možností, jak snížit dobu na jedné zakázce a tím zvýšit i svoji produktivitu.

Dále byl stanoven cíl nahradit ruční vyplňování všech dat a informací o výrobě. S tím souvisí zamezení obtížnému vyhodnocování a zpracování pro dosažení dat potřebných ke kontrole a plánování výroby. Proto vznikl požadavek společnosti A na převedení získávání dat do reálného času. To mělo vést ke zvýšení efektivity právě zmiňovaného zpracování dat. Zároveň jedním ze stanovených cílů bylo rychlejší a efektivnější dohledávání chyb, popřípadě vyvarování se chyb při vypisování dokumentů ručně.

Konkrétní cíle, které byly na začátku projektu stanoveny zahrnují:

- Sběr dat ze strojů pomocí OPC.
- Sběr dat o nástrojích a jejich údržbě.
- Integrace do systému údržby Profylax.
- Dovednostní matice.
- Automatická identifikace prostojů strojů.
- Řízení nástrojů.
- Reporty.

Na základě informací obou stran implementace byly cíle stanovené na začátku projektu dodrženy a plně dosaženy. Aktuálně probíhá spolupráce na doplnění systému MES a jsou neustále přidávány nové prvky. Společnost A je navíc již zaškolená v dodávaném SW

natolik, že si hodně věcí si dokáží upravit bez podpory dodávající společnosti C. Aktuálně obě společnosti spolupracují na dalších projektech pro digitalizaci a automatizaci výroby.

3.2.4 Cíle implementace ve společnosti B

U implementace ve společnosti B bylo mezi hlavní cíle zařazeno několik bodů:

- Zpřesnění dat z výrobních linek.
- Online data pro reporting.
- Prevence před záměnou položek v jednotlivých baleních.
- Redukce administrativních povinností.
- Snížení počtu zaměstnanců pracujících s daty.

K naplnění zmíněných hlavních cílů vedly konkrétní kroky v podobě zavedení online sledování stavu výroby a obecné evidence materiálových toků pomocí implementace digitálního systému MES. Dalším cílem byla eliminace elektronických kanbanových karet, kde se k naplnění využil převod do digitální podoby v digitálním systému, který generuje a tiskne etikety s navolenými parametry a kódy, které jsou načítány pomocí čteček pro práci s materiálem a baleními ve skladech i výrobě. Zároveň implementace systému MES pomohla k naplnění cíle úspory času při odvádění výroby nebo při distribuci a sběru kanbanových karet.

Pro naplnění cíle s požadavkem online data reportingu bylo zavedeno online sledování stavu výroby, navíc s poskytnutím mnoha dalších informací v reálném čase, tak jak je v práci popsáno.

Vzhledem k požadavku na zavedení přehlednosti dat a jednodušší práci byl stanoven i cíl možnosti tisknout etikety⁹ přímo u výrobních linek. Tento požadavek byl bez problému do implementace zahrnut a urychlil tak značně některé procesy ve výrobě.

Zavedený systém MES také pomohl k naplnění cíle rychlé reakce na odchylky od plánu výroby na základě okamžitých dat o stavu výroby, což bylo před implementací velmi zdoluhavé nebo nepřesné, a rozhodně se nejednalo o reakce v reálném čase.

⁹ Etikety – v tomto případě paletové štítky, které se lepí na hotovu paletu a mají n sobě všechny potřebné údaje s názvem balení a položek, množství a dalšími údaji včetně QR kódu pro načtení čtečkou.

Stejně jako u společnosti A obě strany uvedly, že cíle vytyčené před začátkem projektu byly naplněny. Spolupráce dodavatele a zákazníka tímto projektem neskončila a popisovaný projekt je neustále podporován a rozšiřován o nové funkcionality. Zároveň jsou v procesu nové projekty.

3.3 Porovnání očekávání a reality u 4 faktorů implementace

Tento bod práce porovnává, jak si obě společnosti, do kterých byl systém MES implementován, představovaly zavedení nového systému do výroby, a jaký byl reálný proces. Porovnávané informace byly získány na základě konverzace s vedoucími projektu a byly vytyčeny 4 faktory, na které se tento bod zaměřuje:

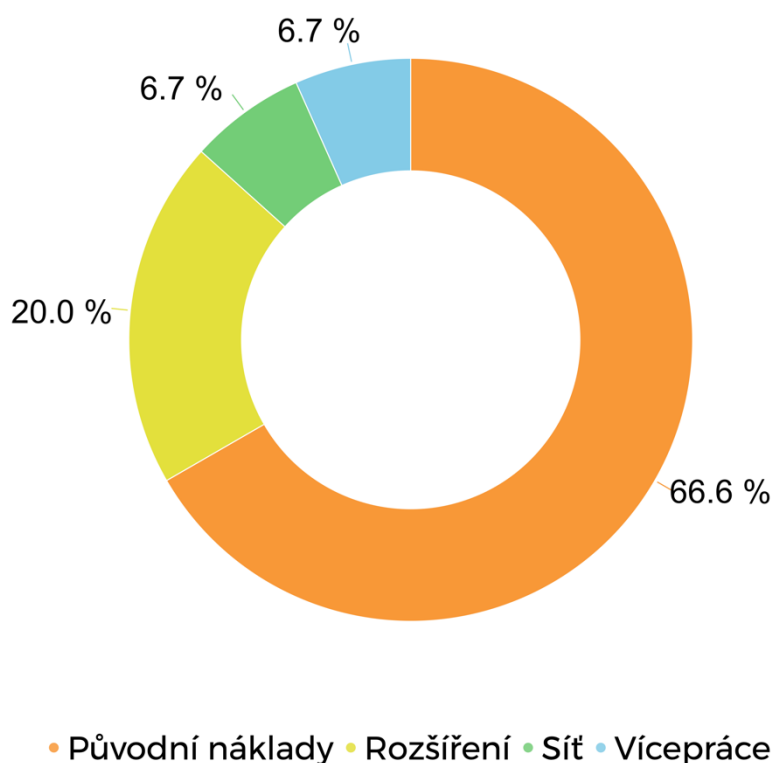
- Rozpočet.
- Čas.
- Funkčnost a kvalita systému.
- Potřebné zdroje.

3.3.1 Rozpočet

Ve společnosti A byl rozpočet definovaný na začátku projektu přibližně totožný s výslednými reálnými náklady, které společnost musela za implementaci uhradit. Důležité bylo, aby definovaný rozpočet byl dodržen a nebyl nad rámec možností, které by si společnost mohla dovolit. Jako velký benefit se ukázalo dobré síťové pokrytí internetu už před započítáním projektu. To ušetřilo mnoho nákladů, času i práce. Náklady nepřesáhly stanovenou hranici také kvůli schopnosti a možnosti si doimplementovat systém MES na většinu výrobních linek bez zavádějící společnosti C, která implementaci provedla jen na prvotních linkách. Další úsporou peněz byl odběr pouze 1/3 dotykových HMI terminálů od společnosti C, protože zbylé potřebné terminály byly zakoupeny od neznámé firmy za nižší cenu se stejnými funkcionalitami. Toto rozhodnutí se dodavateli projektu moc nelíbilo, nicméně na jejich aktuální vzájemné vztahy to vliv nemělo.

Naopak ve společnosti B bylo do projektu investováno více nákladů, než bylo plánováno a chtěno. Celkové náklady na projekt byly přepočítány z důvodu několika faktorů,

kteřé způsobily vícenáklady¹⁰. Jak je patrné z příloženém Grafu 1, původně plánované náklady zahrnovaly pouze 66,6 % z celku. Konkrétně se projekt navýšil o 6,7 % díky vícepracím¹¹. Dalšíh 6,7 % z vícenákladů způsobilo stanovení rozpočtu na projekt, které nezahrnovalo pokrytí sítě pro připojení všech strojů ve výrobě. V neposlední řadě se projevilo navýšení nákladů o 20 % po rozšíření implementace a funkcionalit do dalších částí podniku, nicméně se systém MES zavedl i do částí, kde se dříve výsledky neevidovaly vůbec. Ovšem i přes popsané vícenáklady společnost B projekt nepřerušila nebo nezastavila a náklady uhradila v řádném termínu.



Graf 1 - Náklady na implementaci ve společnosti B

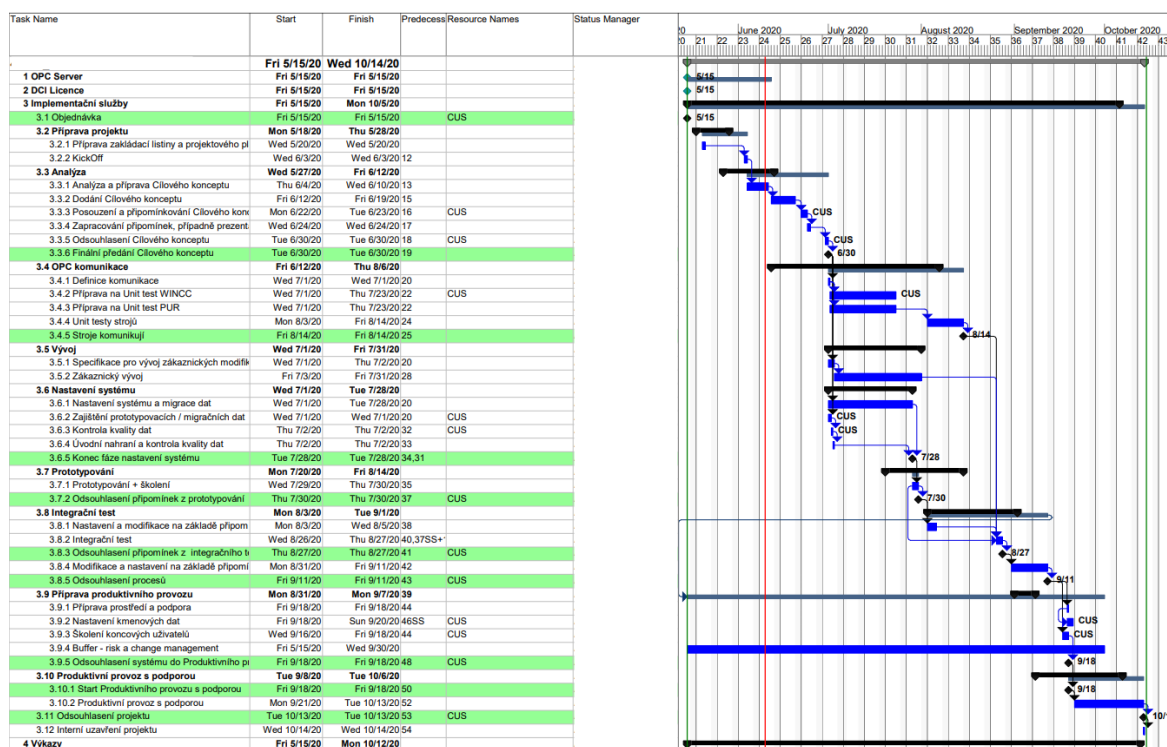
3.3.2 Čas

Již v roce 2017 začala společnost A uvažovat o zavedení systému MES do provozu výroby. Nejprve odstartovala jednání se společností, která jim dodávala systém ERP. Po zkoušce nabízeného řešení byla tato varianta zamítnuta mimo jiné z důvodu chybějící vazby na jednotlivé stroje ve výrobě. O 2 roky později, v březnu 2019, bylo téma systému MES obnoveno. Společnost A tak spustila výběrové řízení pro implementaci popisovaného

¹⁰ Vícenáklady – náklady, které byly vynaloženy za práci se kterou při definici projektu nepočítalo.

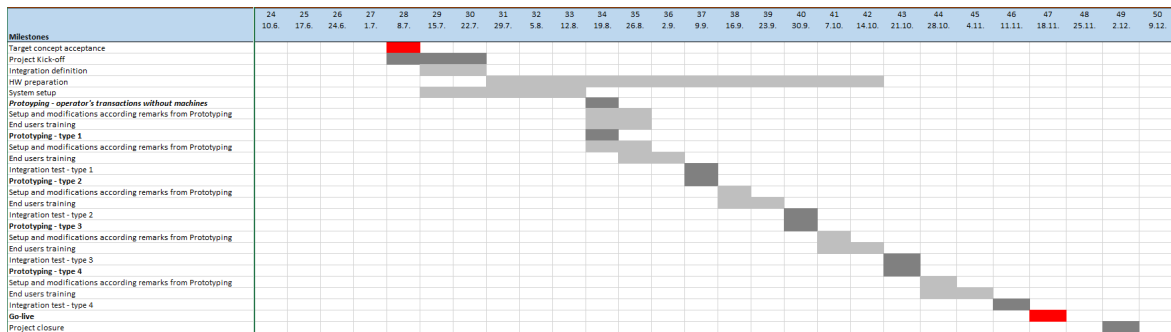
¹¹ Vícepráce – práce na požadavcích, které nebyly stanoveny na začátku projektu.

systému. Výběrové řízení bylo ukončeno v červenci stejného roku, nicméně již v červnu bylo zřejmé, že neadekvátnější řešení nabízí společnost C, a proto rovnou bylo zahájeno vyjednávání o smluvních podmínkách. Na pilotním projektu se začalo pracovat v září roku 2019, a byl rozdělen do několika fází, které budou vysvětleny v další části této práce. Pilotní projekt byl zvládnut přibližně v takovém rozmezí, jak bylo stanoveno na začátku projektu, a byl ukončen v polovině ledna 2020. Nicméně projekt byl zprovozněn na několika prvotních linkách, a společnost A si implementované funkcionality rozšířila na další linky sama. V návaznosti na to započaly práce na již popsaném plnohodnotném systému MES, u kterého byl start odložen až na květen 2020 z důvodu celosvětové pandemie Covid-19. Projekt doprovázely další faktory, které měly vliv na jeho prodloužení, jako například výměna strategických manažerských pozic ve společnosti, kdy novému vedení muselo být vše vysvětlováno a popisováno úplně od začátku. Další vliv na projekt mělo na určitou dobu i uzavření Suezského průplavu. Ovšem hlavním důvodem pro oddalování termínů jednotlivých fází projektů byl vliv mateřské společnosti, která má určitou rozhodovací pravomoc nad popisovanou společností A. Nejprve mateřská společnost nechávala projektu implementace systému MES volnost, nicméně po 1,5 roce, při rozšiřování projektu do dalších částí podniku, začala do implementace vstupovat. Kvůli tomu byly nutné úpravy standardů, což zapříčinilo i zvýšení hodin na vícepracích. Například mateřská společnost přišla s novým standardem, který se týkal používaných kódů na balení. S tím byl ale problém a domluva na řešení trvala přes rok. Od uzavření projektu MES se společností C v polovině října roku 2020 již mateřská společnost nechává na práci se systémem opět volnost a spolupráce na projektech podporujících rozšiřování a vylepšování některých již zavedených funkcionalit funguje neustále. Detailní dokument Projektový plán s časovou osou je přiložen na Obr. 15, který je zároveň zvětšen v Příloze 1 pro lepší přehlednost.

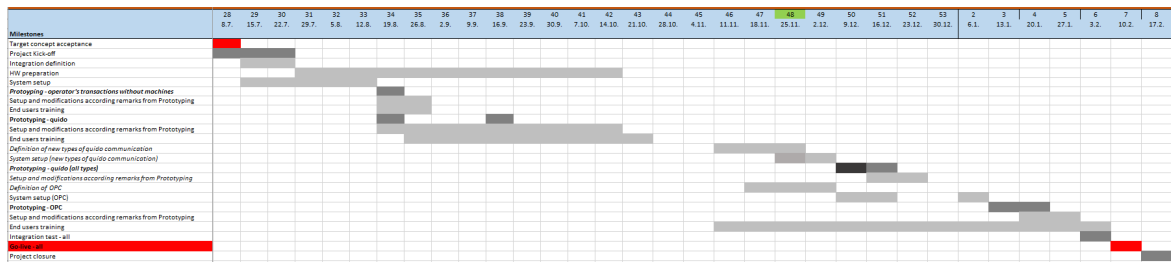


Obr. 15 – Projektový plán ve společnosti A

U společnosti B se první část zavedení základních funkcionalit v projektu implementace systému MES odehrála přibližně ve stanoveném časovém rozmezí. Co se však týkalo druhé části projektu, pro fungování systému MES hlavní, očekávání byla taková, že projekt bude spuštěn do 1 roku. Ovšem projekt se protáhl a byl spuštěn až 2 roky od ukončení první části. Kromě oddálení startu projektu se prodloužil i čas strávený na jeho realizaci. Jednou z příčin prodloužení bylo více prací, které nebyly očekávány. Další příčinou byla doba instalace zakoupeného HW, která zabrala více času, než se očekávalo, z důvodu větší složitosti. Poměrně zásadní podíl na prodloužení projektu měla horší spolupráce s vrcholovým managementem, protože nebyl do implementace pořádně zahrnut a tím vznikaly neshody při komunikaci a docházelo k dlouhému čekání. Nicméně společnost na tento problém zareagovala a stanovila si pravidelné schůzky, díky kterým se projekt rychleji nastartoval a zrychlil aktivitu přibližně o 60 %. Důležité je zmínit, že implementace nebrzdila výrobu jako takovou, takže společnost plnila výrobní plány bez problému. Jak je vidět při porovnání obou obrázků (Obr. 16 a Obr. 17), projekt se prodloužil o necelé 3 měsíce. Největší změny jsou vidět v období nastavování změn po prototypu a zaučování koncových uživatelů, tedy zaměstnanců ve výrobě. Pro lepší přehlednost jsou obrázky zvětšeny v Příloha 2 a v Příloha 3.



Obr. 16 - Naplánovaný Projektový plán ve společnosti B



Obr. 17 - Reálný projektový plán ve společnosti B

3.3.3 Funkčnost a kvalita

Co se týče obecně funkčnosti a kvality dodávaného SW a celkové služby, tak je společnost A spokojená. Vedoucí projektu ze strany odběratele uvedl, že se setkali se situacemi, které jim nepřipadají pro jejich konkrétní výrobu úplně ideální. Například práce se zavedením virtuálních terminálů. U této problematiky bylo složité nastavování, a ne vždy fungovalo dobře s reportingem, kde se vyskytly chyby v době prostoje některého stroje, který virtuální terminál využíval. Nicméně je společnost A velmi spokojena s flexibilitou systému, jelikož je možné přidávat a upravovat mnoho funkcionalit. Zároveň jim vyhovuje možnost namodelovat si jakýkoliv proces ve výrobě, což vede k žádané digitalizaci a automatizaci. Společnost C je také oceňována za umožnění otevřeně pracovat v jejich SW, a není tedy nutné o všechny úpravy žádat. Společnost A navíc kvituje udržování komunity a dobrou komunikaci.

Při porovnání funkčnosti a kvality dodávaného SW a služby, společnost B uvedla, že je také s celkovým přístupem a funkcionalitou spokojena. Ale i tak zmínila některé své zkušenosti, se kterými úplně spokojeni nebyli. Ve výjimečných případech v průběhu nastavování nebo úpravy změn totiž SW zasáhl provozní problém, který byl však dohromady s dodavatelskou společností C vždy vyřešen. Vedoucí projektu z odběratelské společnosti B také podotkl, že své očekávání měl podle exkurze v Japonské mateřské společnosti, ale výsledné funkcionality a SW implementované v popisovaném závodě se mírně liší. Jako příklad byla uvedena možnost spustit více procesů najednou jedním uživatelem, což

společnost C nenabízí. S implementací tohoto projektu se také vázal problém s kvalitou dodaných HMI panelů, který způsobil externí výrobce tohoto HW a vada nebyla zapříčiněna ani jednou z uvedených stran. Panely byly následně vyměněny a tím se problém vyřešil. Zároveň ze strany společnost B byla uvedena poznámka, že by pomohla ukázka dodávaného SW a funkcionalit v některé konkrétní společnosti, kde již vlastní digitální systém od dodavatele funguje. Ulehčilo by to tak vytvořit si představu a připravit se na samotný projekt.

3.3.4 Využité zdroje

Ve společnosti A nebyla vytvořena předběžná analýza na množství potřebného HW, který byl nezbytný pro uvedení projektu do provozu. Nicméně byl vypracován přibližný odhad potřeb, který byl víceméně správný. Pro spuštění projektu bylo ve společnosti A nutné zakoupit 220 terminálů, které jsou rozestavěny různě po výrobě, kde je systém MES implementován. Ohledně využití personálních zdrojů při implementaci měla společnost A již zkušenost ze zaváděním systému SAP. V projektu pro systém MES bylo využito o něco méně zaměstnanců. Ale i přes zkušenosti s implementací systémů se společnost nevyvarovala lehkých komplikací například z důvodu velké fluktuace některých zaměstnanců na pozici klíčových uživatelů¹² pro systém MES. Proto museli být neustále zaučovani noví lidé. Zároveň nebyl stanoven požadavek alespoň 2 klíčových uživatelů na jednu oblast, a tak v případě absence jediného zaměstnance na této pozici vznikaly časové problémy.

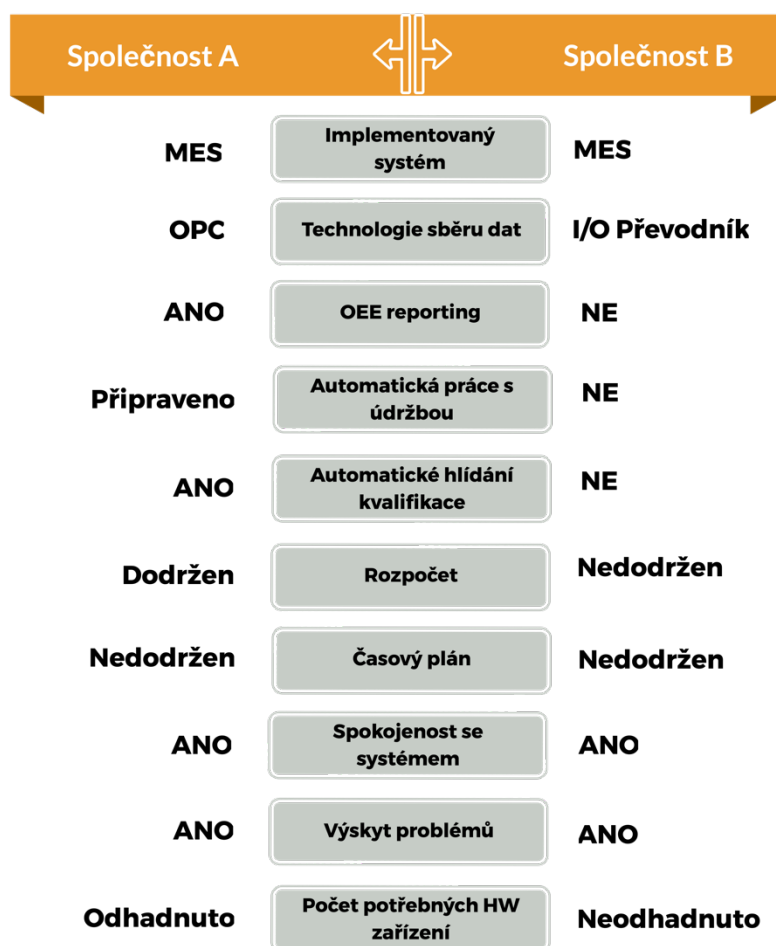
Při řešení HW ve společnosti B bylo zjištěno, že není připraveno všechno technické vybavení, aby mohl být projekt plně funkční. Nad očekávání bylo nutné zakoupit speciální čtečky na QR kódy v hodnotě 100 000 Kč, místo obyčejných čteček v ceně 3 000 Kč. Tato větší investice byla nutná z důvodu QR kódů, které společnost využívá, a které levnější čtečky nedokážou načíst. Nicméně s uvedením dražších čteček do provozu a jejich nastavením nebyl problém, protože společnost již měla zkušenost s těmito čtečkami u některých strojů používaných ve výrobě. Zároveň před začátkem projektu společnost B očekávala, že nebude pro implementaci potřeba tak veliké množství zaměstnanců. Bylo očekáváno o cca 40 % méně lidských zdrojů. Na základě tohoto problému si zaměstnanci

¹² Klíčový uživatel – osoba, která je zaučena s SW přímo od členů projektu dodavatelské společnosti a má za úkol zaučit koncové uživatele (zaměstnance) v podniku odběratele.

museli vyhradit na projekt více času a upravit si své harmonogramy. Nicméně vliv na výrobu a produkci to nemělo.

3.4 Porovnání implementací

Jak již bylo popsáno, jedná se o implementaci stejného systému v obou společnostech, které dodával jeden podnik. Při porovnání by mělo být zmíněno, že obě implementace byly rozděleny na dvě části. Nejdříve se zaváděl pilotní systém MES spolu s vlastním digitálním systémem společnosti C pro automatizaci a digitalizaci procesů spojených s výrobou. Následně byly zaváděny hlavní funkcionality pro MES. Všechny rozdíly obou implementovaných systémů, které jsou popsány v tomto bodě a detailně rozebrány v celé práci, byly přehledně znázorněny na vytvořeném Obr. 18.



Obr. 18 - Přehled rozdílů v obou implementacích

Rozdíl je patrný již u technického zpracování sběru dat ze strojů, kdy společnost A používá modernější a více rozvinutou technologii OPC. Naopak společnost B používá pro sběr dat převodník Papouch Quido, který není tak technologicky vyspělý.

Pro obě společnosti bylo hlavním cílem získání důvěryhodnějších dat, zamezení ručnímu vypisování dokumentů a jejich zpracování, nebo získávat dat z výroby v reálném čase. S tím úzce souvisí i důsledek snížení nákladů na provoz podniku. Zvýšení samotné produktivity nebo efektivity výroby nebyl ani u jedné společnosti přímý cíl, nicméně počítají, že tento trend z implementace systému MES vyplyne, pokud budou správně pracovat se získanými daty. Společnost A na rozdíl od druhého podniku zavedla i online počítání OEE reportingu, který jim pomáhá na základě kvality, dostupnosti a výkonu určovat, jak efektivní je výroba. Zároveň se společnost hodně A zaměřila na práci s údržbou strojů a potřebných nástrojů nebo na automatické hlídání kvalifikace pracovníků k daným výrobním operacím. Oproti tomu se společnost B zabývala hlavně kontrolou přesných údajů na jednotlivých položkách a balení, aby nedocházelo k záměnám. Za cíl považovali redukci zaměstnanců v administrativní činnosti nebo na pozicích, které pracují s daty. S tím jsou spojeny jak náklady na zaměstnance, tak zamezení lidským chybám nebo zkrácení času při práci s daty. Nutné je podotknout, že u obou společností byly cíle naplněny.

Rozdíl v projektech mezi oběma podniky byl v udržení plánovaného nebo stanoveného rozpočtu. Společnost A si definovala rozpočet na implementaci vcelku přesně a nepřesáhla hranici i díky faktorům popsaným v předchozí části práce, na kterých značně ušetřila. Na druhou stranu společnost B musela investovat do implementace náklady navíc, díky kterým se projekt oproti plánu prodražil. Všechny důvody vícenákladů jsou v práci popsány.

Časově obě společnosti první část projektu, která zaváděla základní funkcionality pro systém MES, zvládly přibližně ve stanovených termínech, které si určily se společností C. Nicméně druhou hlavní část projektu byly oba podniky nuceny prodloužit. U společnosti A se jednalo o vliv mateřského podniku a u společnosti B se vyskytl problém s HW a komunikací s vedením podniku.

S funkčností celého dodaného systému jsou oba podniky spokojeny. Samozřejmě se ale v průběhu implementace vyskytly nějaké problémy. Ve společnosti A nastal problém s funkcionalitou virtuálních terminálů. Společnost B uvedla jako problém občasné výpadky, které ovšem byly rychle odstraněny. Zároveň účastníci projektu ve společnosti B byli před implementací na exkurzi v mateřském podniku, kde systém MES již měli zavedený a viděli některé funkcionality, které ovšem společnost C nenabízí, což uvedli jako mírné negativum.

Při zaměření na HW, který byl potřebný pro uvedení celého systému MES do provozu, společnost A odhadovala přibližně stejný počet zařízení, jako ve výsledku pořídila. Společnost B měla odhad také přibližně přesný, jen se vyskytl problém s určitými čtečkami a musela být dokoupena dražší varianta z důvodu potřebných funkcionalit.

3.5 Plán pro implementaci a jeho naplnění

Oba projekty implementace obdržely od společnosti C velmi podobný projektový plán, který obsahuje dohromady 8 fází. Na základě těchto fází, které jsou vidět na obrázku, bylo postupováno v průběhu celé implementace. Každá fáze je pečlivě nadefinována, aby obě strany implementace věděly, jaké úkoly je čekají a mohly se na ně připravit. Zároveň každá fáze, a jednotlivé její části, mají jasně stanovené termíny tak, aby byl projekt zvládnut podle časového cíle. Vzhledem k velkému rozsahu obou projektů se některé fáze projektu časově překrývaly, aby byly plně využity všechny kapacity a nedošlo ke zpoždění projektu.



Obr. 19 - Fáze projektu

Jak je vidět na Obr. 19, projekty procházely 8 fázemi, které mají své specifické charakteristiky:

- ***Příprava projektu a Analýza***

První fáze Příprava projektu slouží k nadefinování celého projektu a seznámení obou stran s rozsahem a způsobem dodávky. Stanoví se odpovědné osoby, které budou na projektu pracovat. Dále se vymezí požadavky odběratele na funkčnost implementovaných procesů a všech technologií. Na základě podpisu smlouvy dochází k zahájení projektu, který je

odstartován vytvořením Zakládací listiny¹³, Projektového plánu¹⁴ a Zahajovací schůzkou¹⁵. Součástí této fáze je i Analýza, při které probíhá definice současného stavu a stanovení cílového stavu projektu. Klíčoví uživatelé zajistí popis stávajícího stavu fyzických procesů ve všech možných variantách a vymezí další okolnosti, které se s procesy pojí. Vedoucí projektu ze strany odběratele zajišťuje součinnosti všech stran například při domluvě pro propojení informačního systému s integrovanými systémy. Na závěr této fáze vzniká Cílový koncept, což je dokument, který specifikuje konečný věcný rozsah dodávky. Dokument obsahuje seznam implementovaných procesů a rozsah projektu včetně všech variant uvedených v nabídce. Zároveň vymezuje konečný popis cílové podoby procesů, osobu byodpovědné za jeho realizaci a nástin akceptačních kritérií.

- ***Instalace a nastavení HW s SW***

Součástí druhé fáze je nastavení HW a SW v rámci podpůrné infrastruktury. Jedná se o instalaci základní podoby informačního systému do prostředí podpůrné infrastruktury. Informační systém se nastavuje podle Cílového konceptu. Příprava a dodání serveru může trvat i několik týdnů, proto je důležité, aby byl odběratel s touto informací seznámen. Dodavatel musí s dostatečným předstihem začít na tomto bodě pracovat, aby dodržel časový harmonogram. V této fázi se zároveň stanovují podmínky provozu systému a vyplňuje se Předávací protokol, který doloží splnění fáze z obou stran.

- ***Nastavení systému***

Třetí fáze je ve znamení nastavování systému pro již specifikované reálné procesy, popřípadě nastavení nově nadefinovaných procesů. Součástí je i nastavení základních dat, aby vše na míru pasovalo odběratelské společnosti. Cílem je nastavit systém dle získaných informací z předchozích fází do funkčního stavu a otestování všech možných scénářů, které mohou nastat. To pomáhá zajistit kvalitu a odhalit nedostatky nastavení dodávaného systému. S tím souvisí i aktualizace dokumentu Projektový report¹⁶, kam je přidán seznam

¹³ Zakládací listina – Specifikuje jednotlivé parametry projektu, standardní podmínky dodání, specifikace smlouvy a upřesňuje způsob dodávání projektu.

¹⁴ Projektový plán – Definuje časový plán pro každou fázi a její jednotlivé části v podobě Ganttova diagramu.

¹⁵ Zahajovací schůzka – Projektový výbor představí realizačnímu týmu cíle, rozsah, parametry, způsob dodávky a řízení projektu.

¹⁶ Projektový report – Dokument obsahující aktualizované základní informace o projektu včetně jeho stavu. Zároveň jsou v reportu vypsány všechny procesy, které mají být implementovány i s daty jejich aktuálního stavu nastavení.

procesů a aktualizovaný stav projektu. Dále se v této fázi zajišťují vzorky dat z reálného provozu, aby byly připraveny a otestovány na fázi prototypování.

- ***Školení klíčových uživatelů, příprava dat***

Jedná se o fázi, ve které jsou školeni klíčoví uživatelé odběratelské strany projektovým týmem dodavatelské strany. Jsou seznámeni s celým systémem a učí se ho ovládat. Důležitým faktorem je sjednocení terminologie obou stran. V případě, že ke sjednocení nedojde, hrozí častá nedorozumění, která vedou k tvorbě chyb a prodloužení projektu. Zároveň by terminologie měla být ujasněna z obou stran, a ne pouze jednostranně. Stejně jako v předchozí fázi dochází k aktualizaci Projektového reportu.

- ***Prototypování a prototypování změn***

Fáze zahrnuje schůzku, kde nejprve dochází k ověření znalostí odběratele v práci se systémem. Následně konzultanti předají implementované procesy klíčovým uživatelům formou školení. Dále se ověřuje funkčnost nastaveného systému ve finální podobě, s reálnými daty. V případě vzniku dalších požadavků dochází k jejich definování a zaznamenání konzultanty ze společnosti dodavatele tak, aby je mohli následně zpracovat. Cílem této fáze je, aby byl klíčový uživatel schopen provést procesy s podporou informačního systému samostatně. V neposlední řadě dochází opět k aktualizaci Projektového reportu a stejně tak se podepisuje Předávací protokol.

- ***Integrační test***

V šesté fázi projektu se připravují data, scénáře integračního testu a akceptační kritéria. Odběrateli se předávají modifikace procesů, které byly ujednány v předchozí fázi prototypování. Hlavním cílem fáze je ověření připravenosti systému na produktivní provoz a dokončení dokumentace projektu pro klíčové uživatele. Proto také dochází k realizaci vazeb, neboli integraci mezi procesy v informačním systému a mezi integrovaným systémem. Opět dochází k aktualizaci projektového reportu, hlavně v podobě doplnění požadavků a podpisem akceptačního protokolu.

- ***Příprava produktivního provozu***

Příprava produktivního provozu znamená ověřit všechny potřebné funkcionality, integrace a data, aby mohl být implementovaný systém naplno spuštěn v produktivním prostředí. Zároveň se doplňují všechny dokumentace pro klíčové a koncové uživatele tak, aby byli připraveni na spuštění nového systému a nebyly na základně některých neznalostí

způsobeny chyby nebo prodlevy. V sedmé fázi je také dobré nadefinovat případné krizové scénáře pro spuštění produktivního provozu, aby v případě jejich výskytu mohly být co nejrychleji vyřešeny nebo odstraněny. Jak je vidět na Obr. 20 a Obr. 21, při projektu společnosti B byly vypracovány tabulky, které sloužily pro přípravu na produktivní provoz.

Úkol	termín	Komentář/dodatečné vysvětlení	poznámka
Nastavení DCIx (uživatelé, role, tiskárny, ...)	05.12.2017 18:00		
Dokončené testování a ověření procesů včetně importu	05.12.2017 18:00		
Výškolení koncových uživatelů DCIx	06.12.2017		
Krizové scénáře a postupy	06.12.2017	Zde doporučujeme vymyslet co nejvíce scénářů, které by v průběhu Go-live mohly nastat. Např. nefunguje import výrobních příkazů -> zakládány ručně v DCIx. Koncoví uživatelé neumí samostatně používat DCIx -> připravit detailní scénář přechodu na provoz dle "starého způsobu" Jde o to, alespoň pro kritické procesy vymyslet náhradní řešení, pokud by něco nefungovalo.	
rozhodnutí go-live	06.12.2017 15:00		
Dokumentace pro koncové uživatele DCIx	07.12.2017	Tímto je myšleno vytvoření příručky pro koncové uživatele, ve kterých budou Vašimi slovy popsány kroky jednotlivých procesů apod. Toto může sloužit jak ve fázi go-live, tak především v pozdějších fázích projektu pro zaškolení nových uživatelů. Tímto návodem není cílový koncept (i když z něj může vycházet), protože by měl být popsán Vaším jazykem, terminologií. Ideální je vytvořit jakousi příručnu pro pracovníky příjmu, pracovníky expedice, ...	Je na zákazníkovi, zda si dokumentaci bude vytvářet. Je to doporučené, nikoliv povinné.
Fukční terminály, tiskárny a TV připravené na místě	07.12.2017		
zvýšená podpora koncových uživatelů	po go-live		
podpora klíčového uživatele	go-live + 1 M		

Obr. 20 - Úkoly pro úspěšné nasazení do provozu

Hodiny	Plánovaný úkon	splněno	poznámka
9:00 - 10:00	Poslední kontrola přípravy. Kmenová data, importy, plánovací tabule, HW, report na TV		
10:00 - 11:00			
11:00 - 12:00	Spuštění ostrého provozu		
12:00 - 13:00	Následná podpora = sledujeme ostrý provoz, popř. řešíme případné problémy.		
13:00 - 14:00			
14:00 - 15:00			
15:00 - 16:00			
16:00 - 17:00			

Obr. 21 - Časový plán spuštění produktivního provozu

- **Produktivní provoz s podporou**

Poslední fází projektu je spuštění systému v produktivním provozu, kdy je následně systém samostatně užíván koncovými uživateli pod dohledem klíčových uživatelů. Fáze také slouží k ověření a případně doladění sjednané výkonnosti informačního systému při plném provozu. Zároveň je možné odstranění případných vad s garantovanou reakční dobou.

Všechny vyjmenované a popsané fáze jsou přehledně vypsány v Projektovém plánu obou projektů implementace systému MES. Jedná se o časový plán a harmonogram, který udává každé fázi konkrétní datum její zahájení a ukončení. Přehledně je zde vidět, které fáze a jejich části na sebe navazují, nebo se dokonce překrývají a je na nich pracováno paralelně. Pro tvorbu projektového plánu u implementace systému do společnosti A vedoucí projektu

dodavatelské společnosti C zvolil program MS Project, ve kterém standardně společnost C tyto dokumenty tvořila a tvoří. Při implementaci systému do společnosti B vedoucí projektu vytvořil projektový plán pro první část projektu také v programu MS Project, nicméně druhou část projektu již zaznamenával do Excel šablony, kterou si dodavatelská společnost sama vytvořila, a na kterou postupně přechází v průběhu dalších projektů. U obou projektů byl Projektový plán aktualizován při každé časové změně, která nastala.

3.6 Rozsah implementace v podnicích

Tento bod práce popisuje, jak velkou část podniků implementace zasáhly. Zároveň zmiňuje počet konkrétních linek a strojů, na které byl systém MES aplikován. Je zde například uveden zásadní faktor, zda musela být výroba kvůli nasazování projektu přerušena.

3.6.1 Dopady projektu ve společnosti A

První a zásadní informací je, že společnost A nemusela zastavovat výrobu během celého trvání implementace projektu MES. Nevznikly žádné problémy, které by výrobu zastavily, a ani nemusela být naplánována řízená odstávka. Zavedení systému proběhlo plynule s výrobní činností podniku. Už před zahájením implementace byl stanoven cíl, aby již zavedený systém MES fungoval paralelně se starým systémem. Tento cíl byl stanoven za účelem možnosti návratu na starý systém v případě výpadku toho nového.

Implementace zasáhla 4 z 5 závodů kterými společnost A v blízkém okolí disponuje. Na jeden závod nemohl být systém MES v této podobě zaveden v důsledku specifické výroby, která funguje na základě odvádění výroby dávkově, což se od ostatních závodů liší.

Systém MES byl zaveden na každé pracoviště, které závody zahrnují. Implementace na jednotlivá pracoviště probíhala postupně, jen v některých výjimkách se realizovala najednou. Dodavatelská společnost C provedla implementace na prvotní stanoviště, která měla rozdílnou funkcionalitu. Následně si společnost A systém nasadila na zbylé linky.

Na všech linkách byly nainstalovány HMI terminály, které slouží k obsluze celého procesu. Podle typů linek a prací, které jsou na pracovišti prováděny, jsou nadefinovány rozdílné funkcionality, které je možné na terminálech zvolit. Ve společnosti A existuje 350 nadefinovaných pracovišť. Ovšem některé jdou v řadě za sebou a nejedná se o oddělené výrobní linky. Některá pracoviště jsou zároveň variabilní. V digitálním systému pro MES od dodavatelské společnosti C bylo zaevidováno celkem 449 pracovišť, kde jsou ale

zahrnuty i sklady, a je tam registrováno 1200 uživatelů. Celkem bylo zakoupeno a nainstalováno 200 HMI terminálů.

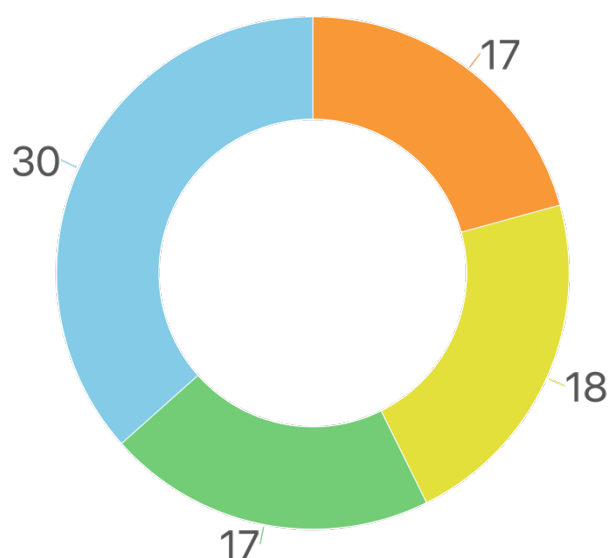
3.6.2 Zásah projektu ve společnosti B

Společnost B, obdobně jako v druhém podniku, nebyla během implementace nucena výrobu zastavit. Pro podnik bylo zásadní, aby se jako první nastavily náhradní procesy, které by bylo možné využít v případě výpadku nasazovaného digitálního systému. I v aktuální době jsou stále připraveny záložní procesy v případě výpadku, aby nedošlo k zastavení hlavních výrobních procesů, což by znamenalo vznik velkých ztrát. Například při poruše HMI terminálu, přes který se spouští jednotlivé procesy na pracovišti, není ohrožen chod výroby. V případě jakéhokoliv výpadku nebo poruchy se vytváří záznam, který je následně zobrazen v reportu po každém hodinovém obnovení. V případě zásadního výpadku týkajícího se digitálního systému, SW nebo HW od dodavatele, který ihned ovlivní chod podniku, je ihned zahájena komunikace se společností C a problém je v co nejkratší době vyřešen.

Zavedení systému MES ve společnosti B zasáhlo celou výrobu. Procesy ve výrobě jsou rozděleny na několik typů:

- Lisovna – platové a polykarbonátové výlisky.
- Povrchové úpravy – nástřiky a metalizace.
- Předmontáže – malé montážní linky.
- Hlavní montážní linky.

V implementovaném systému MES je každý stroj evidován jako jedno pracoviště i v případě, že je jich na lince větší počet. Toto řešení je zavedeno z důvodu získání potřebných dat z výstupu každého stroje pro co nejpřesnější evidenci. Na Graf 2 - Počet linek ve výrobě společnosti B je zároveň vidět procentuální poměr ze 101 linek, kterými společnost B disponuje.



- Lisovna
- Povrchové úpravy
- Předmontáž
- Hlavní montážní linky

Graf 2 - Počet linek ve výrobě společnosti B

3.7 Data z výroby díky implementaci MES

Tento bod konkrétně popisuje, jaká data jsou ve společnostech sbírána, využívána a analyzována pomocí implementace systému MES. Zároveň je uvedeno, jakým způsobem data pomáhají k plánování výroby, nebo jak se využívají automatické záznamy prostojů. Jsou popsány i další funkcionality, které jsou specifické pro obě společnosti zvlášť. Není zde opomenuta ani práce s daty v reálném čase a jednotlivé reporty.

3.7.1 Sběr dat ve společnosti A

Jedním z hlavních cílů implementace systému MES ve společnosti A bylo získávání důvěryhodných dat z výroby, jejich automatické zpracování, zobrazení a analyzování. Zároveň měla společnost A zájem o sběr dat s digitálním SW přímo na pracovištích, která je možné využít pro různé kontroly, vytváření reportů, volání určitých vedlejších požadavků a další funkcionality. Proto byly nasazeny technologie a procesy, které tyto cíle naplňují.

Na jednotlivých pracovištích se pracuje s takty, které udávají čas, za jaký se pracuje s jedním produktem. Jednotlivé automatické stroje mají nastavený svůj takt, za který vytvoří jeden svůj produkt a zároveň pracují s násobností v případě, že stroj dokáže pracovat s více předměty najednou a vydává více produktů ve stejný čas. Stejně tak koncoví uživatelé, kteří operují se stroji a produkty, mají stanovený takt, za který by měli práci s jedním předmětem

zvládnout. Podle dodržovaného času taktu při práci společnost může zjistit, jestli někdo pracuje pomaleji, nebo se vyskytl nějaký jiný problém. Zároveň se eviduje celkový čas práce a stejně tak i prostoje. V případě, že se na pracovišti nepracuje, zaznamenává se doba prostoje s patřičným zadaným důvodem. Dodavatelská společnost nastavila i funkcionalitu automatického prostoje, která po nastavené době, kdy se na pracovišti nebo stroji neprovádí žádná činnost, přepne automaticky stroj do prostoje. Tato funkcionalita byla nastavena hlavně z důvodu co nejpřesnějších dat z výroby a zároveň pro přesné vyplácení zaměstnanců, kteří se stroji pracují. Je tím zabráněno možnosti ponechání stroje v pracovním režimu a tím započítávání odpracovaného času. Toto nastavení zaměstnancům již nedovoluje jeho obcházení, nicméně jsou případy, kdy se to povedlo. Proto společnost A uvádí, že se tento systém musí neustále optimalizovat a vylepšovat.

Další funkcionalitou, která využívá sbíraná data a volání dalších úkonů, je již popsany Profylax, který slouží k automatickému volání opraváře v případě poruchy nebo jiných chyb. Tento systém využívá integraci dat z ERP systému pro návaznost na aktuální stav. Na základě Profylaxu jsou vytvářeny reporty se získanými a analyzovanými informacemi, díky kterým se zrychlila reakční doba na poruchy u jednotlivých pracovišť. Navíc díky dostupnosti, viditelnosti a zaznamenávání všech činností, které jednotlivé pracoviště provádějí, je možné plánovat údržbu strojů.

K předchozímu odstavci se také pojí připravená funkcionalita sběru informací o nástrojích u jednotlivých strojů a pracovišť, která je závislá na počtu evidovaných sjezdů nebo motohodin. Tyto informace je opět možné využít pro provádění preventivní údržby, kdy jsou zadány hodnoty, které jednotlivý nástroj vydrží, a přehledný report zobrazí, v jakém stavu se daný nástroj nachází. To slouží k předcházení nahodilých poruch a odstávkám výroby do doby, než se nástroj vymění nebo opraví. Funkcionalita řízení nástrojů je ovšem zatím připravena a čeká na možnost plného spuštění.

Popisovanou funkci zvanou Dovednostní matice kontroluje zaučení přihlášeného uživatele k terminálu, tedy zda má oprávnění na pracovišti začít pracovat. Funkcionalita čte předepsanou matici dovedností ze systému SAP, která využívá integraci dat s dodaným digitálním systémem od společnosti C. Informace se opět promítají do reportu, který zobrazuje, jaký uživatel má jaké zaškolení. Tato kontrola slouží k omezení vzniku zmetků, z důvodu neznalosti procesu koncového uživatele, který na daném stroji pracuje. Zároveň je tato funkcionalita dobrá pro dodržení bezpečnosti pracovníků.

Obecně se společnost A naučila využívat získávané reporty s online daty na denní bázi. Nicméně vedoucí projektu zmiňuje, že tyto reporty by se daly využívat mnohem více a jejich potenciál zdaleka není naplněn. Je získáváno ohromné množství dat, které se analyzuje jen částečně. Nicméně uznávají, že tím by se mělo zabývat jejich interní oddělení, které se věnuje analýze dat. Údajně chybí pohledy reportů například na zjištění úzkých míst v celé výrobě pro následnou optimalizaci za účelem zvýšení efektivity.

Dále se získávají data pro již popsaný OEE, která udávají procentuální hodnotu efektivity dané linky. Tyto hodnoty mají nastavené určité meze, ve kterých se OEE číslo pohybuje. Jedná se o vyhovující, varující a nevyhovující meze. Na základě toho je zřetelně vidět, zda proces na pracovišti běží dle plánu a v požadovaném taktu, nebo naopak se vyskytl nějaký problém, který efektivitu linky zmenšuje. Pak už je na společnosti A, aby provedla analýzu, proč se tak děje, a zavedla opatření, které OEE číslo vrátí na požadovanou mez.

Při pohledu na hodnoty zmetkovitosti produktů z výroby, která vytváří navýšení peněžních, materiálních a časových ztrát, není vidět příliš velké zlepšení. Od doby zavedení systému MES se snížila zmetkovitost pouze o desetiny procenta. Nicméně se snížil počet reklamací, které společnost A zaznamenala. Je ale nutné podotknout, že přímým cílem nebylo snížení zmetkovitosti, ale hlavně upřesnění dat. Díky tomu, že jsou aktuálně získávána mnohem přesnější data, může se na snižování zmetkovitosti začít pracovat. Členové projektového týmu odběratele ale zmínili, že oddělení, která se analýzou dat zabývají, prozatím data nevyužila tak efektivně, jak by se mohlo a mělo. Proto se zmetkovitost prozatím zmenšila jen velmi nepatrně.

Obdobně je tomu u hodnot výkonnosti výroby, které jdou sice pomalu nahoru, ale pouze zlepšením získávání dat v podobě věrohodnosti. Prozatím se společnost A nezaměřila na přímé zvýšení výkonnosti výroby za pomoci implementovaného systému MES. Nicméně vedení společnosti zvyšuje cíle na výkonnost výroby, protože je díky novému systému možné sledovat velké množství konkrétních detailů z výroby k přesnému datu. Je tedy možné přehledně vidět, kde se nachází úzká místa, která způsobují nižší výkonnost výroby.

Na druhou stranu projektový tým ze strany odběratele poukazuje na fakt, že data jsou díky implementovanému systému MES mnohem přesnější a věrohodnější. Nicméně manuální pracovník si dokáže práci udělat v některých případech podle sebe, a z toho důvodu data nebudou tak přesná. Zároveň je také společností A podotknuto, že je sice dobré vymýšlet nové optimalizace, automatizace a digitalizace procesů v podniku, ale je potřeba

se před implementací logicky zamyslet, zda změna přinese zlepšení. V případě špatné nebo dokonce žádné analýzy na připravovanou změnu se může optimalizace stát protichůdnou a kontraproduktivní pro celý podnik.

3.7.2 Sběr dat ve společnosti B

Jednou z pomůcek pro plánování výroby pomocí implementovaného digitálního SW je vyhodnocení aktuálního Cycle time, který udává čas strávený na jednotlivé položce, nebo čas stroje strávený na jedné položce. Jedná se o nástroj, který slouží k optimalizaci a novým návrhům na zlepšení výrobních procesů. Díky této možnosti lze zjistit, že například některá položka se vyrobí rychleji, než je nastaveno ve standardním procesu. Na základě toho pak může vzniknout optimalizace, která výrobu urychlí.

Dalším nástrojem pro plánování výroby je evidence prostojů, kterou společnost B vyhodnocuje na prvním místě. V případě montážních a předmontážních linek se vyhodnocují prostoje na půlroční bázi. Součástí vyhodnocení je naplnění stanovených cílů a vymezení nových cílů na další období. Linky, které jsou součástí lisoven a povrchových úprav jsou vyhodnocovány na denní bázi, kdy se sleduje historie a trend za posledních 14 dní výroby, a následně se plánuje další týden. Prostojové reporty společnost využívá 1,5 roku, a od prosince minulého roku úplně zrušila manuální zadávání údajů a funguje na automatické bázi. Díky systému MES společnost B eviduje snížení prostojů o přibližně 2 %, což je pro podnik významná hodnota. Hlavně je ale pro ně důležitá evidence konkrétních důvodů s jejich popisem.

Navíc společnost B začala vyhodnocovat i mikroprostoje¹⁷, které evidují ve výkonnosti a musí se vyhodnocovat jiným způsobem, než klasické prostoje. I přes zavedení automatického evidování prostojů společnost B zaznamenává časové úseky v procesech, které nejsou uvedeny jako výrobní čas, ani jako prostoj.

Zároveň se pro plánování a analýzu využívají data, která ukazují počet NG kusů¹⁸, pro které se používají Scrap procesy, které zaznamenávají zmetkovitost výroby. Na základě těchto dat se analyzuje výroba a její efektivita. Jedná se například o Change over time¹⁹, kdy se musí tento čas vypočítat odečtením času výroby od času prostoje od standardního Cycle

¹⁷ Mikroprostoje – Prostoje, které trvají velmi krátkou dobu a implementovaný SW je nedokáže zaznamenat.

¹⁸ NG kusy – Produkty z různých částí výroby, které se vyrobily vadně a musí se buď opravit nebo zlikvidovat.

¹⁹ Change over time – Doba, při které se například mění výrobní produkt a podobně.

time. Po implementaci systému MES společnost B začala využívat možnost sběru aktuálních dat ze Scrap procesů. Tím získala benefit analýzy přesných, detailních a aktuálních dat, která nahradila zpětné zadávání informací o NG a OK kusech s jednodenní prodlevou. Díky tomu se mohou všechny vzniklé problémy, které způsobují zmetkovost, řešit mnohem rychleji, než tomu bylo před zavedením nového systému. Na základě získaných dat a porovnání výsledků před a po implementaci, bylo sníženo množství NG kusů ve výrobě o 0,5 % na hodnotnou 2,5 %. Nejedná se na první pohled o velkou změnu, ale ve výsledných nákladech se jedná o velký rozdíl. Toho bylo docíleno právě získáváním přesných informací a jejich zpracováním.

Jedním z hlavních cílů projektu bylo získávání dat v reálném čase a jejich následné vyhodnocování. Dle vedoucího projektu ze společnosti B byl tento cíl dosažen, ale ve výsledku není úplně podle jejich představ. Aktuálně se využívají televizory ve skladech, na kterých je v reálném čase zobrazován stav jednotlivých balení, která jsou připravena k expedici. Na reportu jsou vidět hodnoty, kde se balení nachází a kam je určené. Tento report se využívá neustále a následně je možné ho uplatnit i pro časové vyhodnocení odvozu z každé linky. To je ovšem připraveno zatím pouze do budoucna. Další report v reálném čase je využíván na televizorech v kancelářích oddělení výroby, kde je zobrazován aktuální stav výroby, produktivita, plnění plánu, počet zmetků a další hodnoty, které jsou zásadními daty pro analýzu a kontrolu celého výrobního procesu ve společnosti. I z důvodu využívání online reportů se aktuálně řeší projekt (mezi společnostmi B a společností C) pro přechod na Datový sklad²⁰, kdy po jeho implementaci bude možné dosáhnout plně cíle využívání reportů v reálném čase. Nicméně je nutné podotknout, že při startování projektu nebylo cílem vytvořit Datový sklad i na základě faktoru, že dodavatelská společnost C v té době nenabízela implementaci Datového skladu. Zavedení zmiňovaného Datového skladu může například značně zrychlit práci při zadávání směnového zápisu na konci směny, kdy jsou zároveň využívány reporty a obecně databáze, na kterou je v tuto dobu veliký nápor.

3.8 Přijetí nového systému

Jedná se o část práce, kde je popsáno a vyhodnoceno přijetí nového digitálního systému MES v jednotlivých podnicích. Hlavními faktory pro plynulé a bezproblémové

²⁰ Datový sklad – specializovaný typ digitálního úložného systému, který slouží k ukládání velkého množství historických a aktuálních dat z různých zdrojů, z celého podniku [111]. Slouží také k vytváření analytických reportů.

přijetí je dobrá komunikace a práce se zaměstnanci. Právě špatná spolupráce všech zaměstnanců a jejich neochota spolupracovat na zavedení nového systému je jednou z nejčastějších příčin neúspěšného nasazení.

3.8.1 Práce se zaměstnanci ve společnosti A

Dle uvedených informací od vedoucího projektu ve společnosti A bylo velmi náročné zaměstnance zaškolit pro práci s novým systémem MES. Hodně zaměstnanců mělo problém s přeucením se na nový způsob práce s již používanými stroji a procesy ve výrobě. Navíc jak již bylo v práci zmíněno, společnost A využívá systém MES i pro vyplácení prémie zaměstnancům, ti ale měli pocit, že se systém zavádí pouze pro jejich kontrolu. Proto byl kladen velký důraz na správnost počítání prémie systémem MES, aby ji měl každý zaměstnanec přesně vypočítanou a vyplacenou.

Problémem při zaškolování s novým systémem byl hlavně ve fluktuaci zaměstnanců na jednotlivých pracovních pozicích, což znamenalo neustálé přeškolení a ztrátu času. Zároveň se v podniku setkali s celkovou nedisciplinovaností při práci s HMI terminály a novým systémem, například při odhlašování z terminálů nebo zapomínání čipů. Nicméně situace se v tomto ohledu zlepšuje.

Zaškolování zaměstnanců má vždy na starost klíčový uživatel a je rozděleno dle dané profese. Například u pozic operátorů ve výrobě společnost A využívá Stromový způsob²¹, ovšem často nastanou situace, kdy nelze postupovat přesně podle plánu z důvodu fluktuace zaměstnanců, změnám směn nebo nepřítomnosti zaměstnanců. Zároveň musí probíhat zaškolování i po již nasazeném a zaškoleném projektu, protože se doplňují nové funkcionality, nebo se optimalizují stávající procesy. Vzhledem k třisměnnému provozu je zaškolování náročné na časové plánování, aby neovlivnilo plynulý chod společnosti. Některé procesy jsou pro výrobu kritické a je nutné je ovládat s co největší přesností. Proto u těchto příkladů zaškolení probíhalo v hodně osobním duchu.

I přes velké zastoupení cizojazyčných zaměstnanců se společnost A rozhodla nevyužít možnosti ovládnutí pracovišť na HMI terminálech v jiném jazyce. Rozhodnutí plynulo z velké náročnosti překladů do mnoha jazyků, které by zabralo hodně času. Navíc by si zaměstnanci při výměně pracovišť museli jazyky neustále přepínat. Proto se jednotlivá pole

²¹ Stromový způsob – Způsob zaškolování zaměstnanců v podniku, kdy na špičce je hlavní klíčový uživatel a podle firemní hierarchie se strom rozvětňuje a znázorňuje úrovně školitelů

na dotykových HMI terminálech podbarvily různými barvami tak, aby si cizojazyční zaměstnanci mohli lépe zapamatovat význam polí a rozlišit je. Ovšem nastává zde problém například při výběru důvodu vyrobeného zmetku. Na základě bylo stanoveno pravidlo, že operátor může kus zadržet kvalitou, ale důvod zadávají až pověření zaměstnanci, jako jsou například předáci²².

3.8.2 Práce se zaměstnanci ve společnosti B

Ve společnosti B, obdobně jako v druhém podniku, nebylo jednoduché zaškolit všechny zaměstnance s novým systémem MES. Vzhledem k tomu, že dodavatelská společnost C se drží jednotné metodiky pro dodávání projektu, bylo stanoveno, že jedním z úkolů zvolených klíčových uživatelů je zaškolit koncové uživatele (zaměstnance ve výrobě).

Konkrétně společnosti B zabralo zaškolování koncových uživatelů dohromady půl roku, kdy klíčoví uživatelé školili průměrně 1 hodinu denně, ve 2 lidech, ve 2 odděleních. Největším problémem bylo navyšování práce operátorů, kdy jim muselo být srozumitelně vysvětleno, proč je dobré, aby si přidávali práci zaučením a v některých procesech “klikali“ navíc. Zároveň se ve společnosti často potýkali s problémem, že někteří zaměstnanci se bojí pracovat s novým systémem, aby něco nepokazili a nezastavili například funkci procesu. V aktuální době je tento problém již potlačen, naopak zaměstnanci samostatně chodí za klíčovými uživateli, jestli by některé procesy v dodaném systému nešly na HMI terminálech upravit, aby se jim lépe pracovalo. Jako příklad je možné uvést nutnost se přihlásit a odhlásit na terminálu na konci směny pro ukončení práce, což bylo zjednodušeno a více zautomatizováno na základě požadavku zaměstnanců.

S novým systémem muselo být zaškoleny dohromady 600 zaměstnanců, z toho 500 pracovníků ve výrobě, 80 vedoucích pozic a 20 administrativních pozic. Zároveň společnost B neočekávala, že bude nutné vynaložit tolik času pro zaškolování. Původně počítali s 1/3 vynaloženého času. Například pro zaškolení administrativních pozic bylo spotřebováno 160 hodin. Aktuální stav jsou 2 klíčoví uživatelé z výroby a 1 vedoucí.

V případě cizojazyčných zaměstnanců bylo nastaveno ovládání HMI terminálů do anglického a ruského jazyka. Nakonec se ale z ruského jazyka pro složité překládání,

²² Předák – Zaměstnanec ve výrobě, který má na starost určité procesy a dohlíží na ně.

náročnou údržbu a nutnost se neustále přehlašovat odstoupilo. Zaměstnanci, kteří tuto funkcionalitu využívali, se museli naučit základní pojmy v českém jazyce. Možnost anglického jazyka ovšem zůstala.

3.9 Problémy při implementaci a zvládnutí implementace

Kapitola popisuje problémy, které vznikly v průběhu celé implementace, ale i po přechodu do produktivního provozu zavedeného nového systému MES. Pro každý podnik jsou uvedeny konkrétní příklady problémů, se kterými se musely vypořádat. Je popsán i rozsah problémů a jejich náročnost.

3.9.1 Souhrn vzniklých problémů ve společnosti A

Jak již bylo v práci zmíněno, společnost A se potýkala v průběhu implementace nového projektu s ovlivňováním mateřskou společností. Podnik měl ze začátku volnost v plánování projektu a připravování všech nových funkcionalit tak, aby byl systém co nejefektivnější. Ovšem nastaly situace, kdy mateřská společnost začala do projektu vstupovat se svými podmínkami. Díky tomu začaly značně narůstat vícepráce, protože muselo docházet k úpravám již připravených funkcionalit, nebo dokonce docházelo k vývoji nových požadavků, se kterými se na začátku projektu nepočítalo. Jako příklad byl již uveden požadavek na nový standard ohledně kódu položek.

Kromě popisovaného problému s vlivem mateřské společnosti, nebyla jednoduchá ani vzájemná komunikace, která zapříčinila časovou náročnost na vyjednávání. Složitá nebyla jen komunikace mezi mateřskou společností a samotným podnikem, ale i lokálním managementem ve společnosti A a všech závodech k ní náležících. Je velmi důležité, aby při implementaci nového projektu fungovala dobrá součinnost napříč celými závody a jejich managementem. V případě, že se jsou zaměstnanci, kteří nový projekt nechtějí nebo mu nerozumí, mohou při implementaci nastat velké potíže. Jak již z textu vyplývá, tyto problémy vyvstaly ve všech závodech společnosti A.

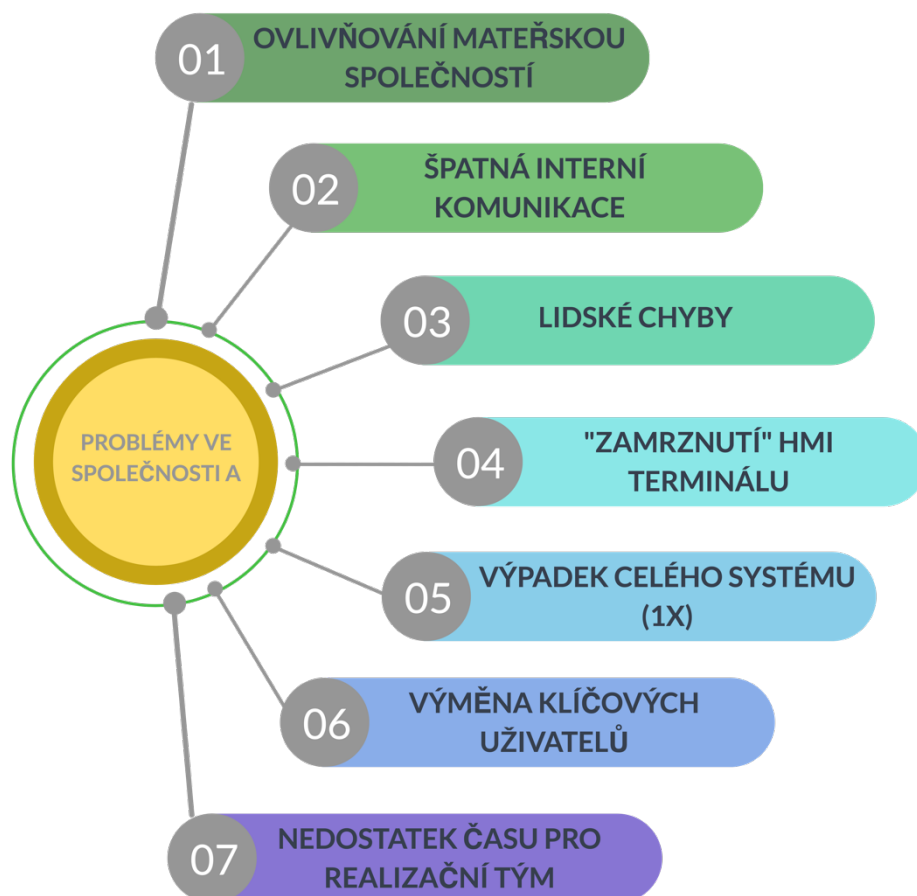
Často ve společnosti A dochází k chybám v datech vycházejících z nově implementovaného digitálního systému MES. Ovšem jedná se o lidské chyby, a jejich četnost je spíše v nižších desítkách incidentů každý měsíc. Tyto chyby mohou být například v podobě špatného přihlášení, nebo započtení odpracovaných hodin zaměstnanci, i když nebyl daný den v práci, a další. Na některé chyby tohoto druhu se může přijít až po delší době a to už je obtížné situaci řešit.

Při získávání dat pro tuto případovou studii se ve stejnou dobu řešil problém, který způsoboval nečekaný nefunkční stav HMI terminálu v podobě “zamrznutí“. Byla provedena definice a analýza tohoto problému, kde bylo zjištěno, že typ internetového připojení nemá na tento problém vliv, a proto se s největší pravděpodobností jednalo o SW problém. Požadavek na řešení těchto incidentů byl následně zadán na dodavatelskou společnost C, která navrhne možnosti řešení problému.

Největší problém může nastat v případě výpadku celého dodávaného digitálního systému. S tímto případem má společnost A jednu zkušenost, kdy zaznamenali velký výpadek SW. Nicméně dodavatelská společnost celý incident vyřešila velmi rychle a chyba byla opravena. Jednalo se o situaci, kdy centrála z mateřské společnosti vytvořila úpravu, která ovlivnila i závody Společnosti A, a to vytvořilo neočekávaný problém s integrací dat mezi využívaným ERP systémem a digitálním SW pro MES.

Od projektového týmu ze společnosti A bylo zmíněno, že projekt se potýkal (nebo stále potýká) s problémy, na které je třeba se připravit při implementaci nových systémů nebo jiných projektů. Jako příklad byla uvedena výměna klíčových uživatelů, na kterých systém v odběratelském podniku stojí. Dále byla zmíněna podpora managementu, kdy je zapotřebí, aby měl projekt patřičnou podporu, a komunikace byla na dobré úrovni. Jeden z kritických faktorů pro dobré zvládnutí projektu je uvolnění času zaměstnanců, kteří jsou s projektem spojeni, aby na něm mohli pracovat. Projektový tým odběratele navíc bere jako špatné rozhodnutí to, že na začátku projektu začali pracovat s virtuálními terminály ve výrobě, které jim přinesly značné množství problémů. Všechny problémy zmíněné v této kapitole jsou vyjmenovány na Obr. 22.

Nicméně projektový tým společnosti A vyznamenal pochvalou konzultanta z dodavatelské společnosti za dobrou spolupráci, komunikaci a schopnost řešit požadavky a vzniklé problémy.



Obr. 22 - Problémy při implementaci ve společnosti A

3.9.2 Souhrn vzniklých problémů ve společnosti B

Při analýze problémů ve společnosti B spojených s implementací nového systému MES bylo zjištěno, že dochází k HW problémům. Nejčastější poruchou je HW chyba HMI terminálu, nebo jeho manuální poškození. S tím se pojí i problém popsany na začátku případové studie, kdy byla dodána jedna vadná šarže HMI terminálu, která musela být vyměněna za nové kusy. Oprava tohoto typu problému probíhá nejčastěji do jedné hodiny v podobě výměny kusu za kus. To znamená, že společnost B drží dostatek náhradních terminálů pro možnou výměnu. Zároveň jsou zaměstnanci proškoleni na způsob práce v případě, že se jim terminál porouchá, a probíhá jeho výměna. V předchozí kapitole zabývající se zásahem projektu do chodu podniku je popsána situace výpadku HMI terminálu a reakce na ni.

Výpadky SW aktuálně ve společnosti B nastávají přibližně jednou za rok. Po provedení fáze přechodu do produktivního provozu nastávaly chyby s SW častěji, přibližně jednou za 14 dní. Tyto problémy ovšem byly eliminovány a chod SW je téměř stabilní. Nicméně aktuálně se společnost B potýká s problémem zpomalení chodu SW a možným

výpadkem z důvodu velkého množství dat v databázích a složitých dotazů, které zahrnují využívaný SQL server²³. Proto momentálně v řešení (s dodavatelskou společností C) přechod na datový sklad.

Obecně společnost B očekávala častější výpadky SW, než reálně nastaly. Zároveň bylo zmíněno, že všechny problémy se podařilo vyřešit poměrně rychle. Například byl uveden jeden výpadek systému, který vznikl na základě duplicity dat, kterou ovšem způsobila společnost B. Nicméně informace pro výrobu tato chyba neohrozila, vyskytl se ale problém s informacemi pro uživatele. Ovšem společnost očekávala rychlejší řešení dodatečných požadavků. To je však způsobeno nastavením dodávání dodatečných požadavků společností C, která rozděluje požadavky dle zadané priority do 3 kategorií. V případě, že by společnost B chtěla požadavek vyřešit v rychlejším čase, musel by si připlatit za vyšší prioritu.

Dále byl uveden příklad s požadavkem společnosti B na úpravu v jejich dodaném systému, který ovšem nebylo možné zpracovat a uvést do provozu ihned z důvodu potřeby vývoje programátory. Nicméně s následným malým povýšením verze dodávaného systému byl požadavek dodán. Ohledně spolupráce s řešením problémů je společnost B spokojena a uvádí, že je na dobré úrovni.

3.10 Přínosy implementací a jejich zhodnocení

Jednotlivé implementace přinesly do obou společností značné přínosy a benefity. Tento bod práce jasně vyjmenovává a popisuje jednotlivé výhody obou projektů. Dále je uvedeno, zda oba podniky zavedení systému MES zvládly, a v neposlední řadě jsou popsána některá doporučení, která by mohla společností pomoci při dalších implementacích.

3.10.1 Přínosy a benefity implementací

Vzhledem k naplnění stanovených cílů na začátku projektu přinesly obě implementace kýžené přínosy a benefity. Společným přínosem obou společností bylo automatické získávání věrohodnějších a přesnějších dat z výroby. Dále společnosti dosáhly nahrazení ručního vyplňování dat o výrobě nebo o jednotlivých směnách. Díky tomu vznikl benefit v podobě ušetření výdajů na administrativní pracovníky a zároveň byl ušetřen šetřit čas při práci s daty. Získali větší přehlednost v datech a možnost kontroly v reálném čase. Oběma

²³ SQL server – relační databázový systém, který je určen pro správu a uložení velkého množství dat. Je založen na jazyce SQL (Structured Query Language), který slouží k manipulování s daty v databázi [112].

společnostem bylo umožněno vyhodnocovat a analyzovat data v reálném čase, a ta mohou být využívána pro reporting.

Oběma společnostem systém MES přinesl benefit automatického zaznamenávání prostojů ve výrobě a obecně zaznamenávání aktuálního stavu výroby. Díky tomu podniky mohou lépe plánovat, kontrolovat nebo optimalizovat efektivnost výroby. Zároveň přibyla funkcionality zadávání důvodů jednotlivých prostojů, která přinesla do analýzy a plánování nový vhled a konkrétnost. To je důležité pro případnou optimalizaci.

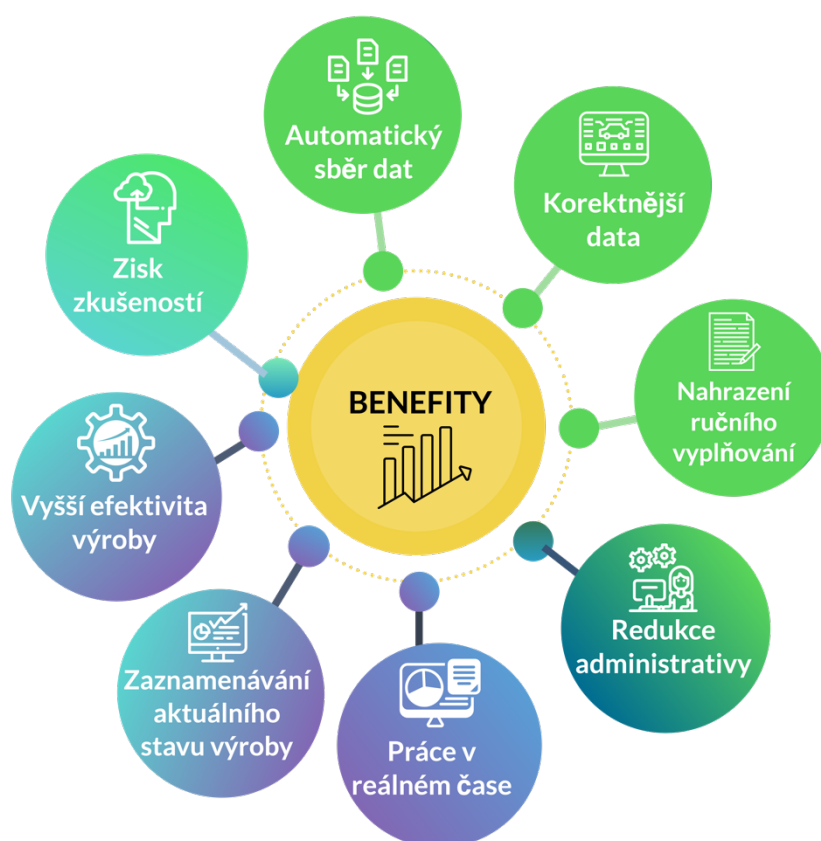
Společnost A navíc získala přínosy implementace při zavedení funkcionality Dovednostní matice, kdy díky kontrole vyškolení operátorů ve výrobě předchází vyrábění vadných kusů, úrazům, nebo poškození výrobní techniky. Dále obdržela benefit při automatické komunikaci implementovaného SW se systémem údržby Profylax, kdy se snížila doba na opravu linek, a zároveň se předešlo nečekaným poruchám. V případě, že podnik začne využívat připravenou funkcionality v podobě sběru dat o nástrojích a jejich řízení, bude se jednat o další přínos spojený s popisovaným projektem. Zavedení měření efektivnosti výroby ve společnosti A v podobě měření OEE přineslo jasný a srozumitelný pohled na efektivitu práce na jednotlivých linkách nebo strojích. Podle stanovených mezí kompetentní zaměstnanci z oddělení plánování výroby, kvality nebo i strategičtí manažeři vidí, jakým trendem se výroba ubírá, a mohou velmi rychle reagovat. Vedoucí projektu společnosti A dále uvedl, že díky zavedení systému MES se začali zaměstnanci ve výrobě více snažit, protože nastavení systému je velmi přesné a vyplácené prémie vyhodnocované na základě dodaného SW si musí opravdu odpracovat.

Pro společnost B přinesla implementace benefit v podobě redukce administrativních pracovních pozic ze 6 na 3, protože se nemusí ručně přepisovat jednotlivá data o výrobě a směnách, ale vše se vyplňuje automaticky z databáze. S tím souvisí možnost zavést datový sklad (aktuálně projekt rozpracován), který urychlí práci s databází a vytváření reportů. Zároveň společnost B využívá například online reporting ve skladu na televizorech, který přináší zrychlení celého procesu vyskladňování a zároveň zvýší efektivitu práce na pracovišti. Dalším přínosem je prevence záměny položek v jednotlivých baleních, kdy je jasně v systému evidováno, co se kde vyrábí nebo nachází. Je využíván tisk etiket přímo z dodaného systému.

Obě společnosti zároveň již zaznamenaly mírné snížení produkce zmetků, zvýšení efektivnosti a produktivity výroby. Ačkoliv se nejednalo o přímý cíl těchto projektů, do

budoucná mohou společnosti začít pracovat na zlepšení těchto faktorů. Právě díky automatickému sbírání velkého množství dat a jeho analyzování se v podnicích mohou zaměřit na optimalizaci a zlepšování stávajících procesů.

Nesmí se ale zapomenout ani na přínosy a benefity v podobě získání zkušeností s implementací takového velkého systému se zásahem do výroby, administrativy a dalších částí podniku. Podniky získaly zkušenost jak se spoluprací a vedením projektu s externí dodavatelskou společností, tak například s integracemi dat mezi jednotlivými využívanými systémy. Dále společnosti získaly zkušenosti s novými technologiemi. Všechny společné benefity jsou vyjmenovány na Obr. 23.



Obr. 23 - Společné benefity získané implementací systému MES

3.10.2 Zhodnocení zvládnutí implementací

I přes velkou náročnost zavedení systému MES oba odběratelské podniky dovedly společně s dodavatelskou společností C implementaci do zdárného konce a naplnily stanovené cíle. Od doby zavedení společností systém nepřetržitě a stabilně využívají. Na základě toho lze říct, že projekty zavedení systému MES byly zvládnuty úspěšně.

Nejedná se o jednoduchý proces a v průběhu zavádění je zapotřebí splnit velké množství kritérií a fází, na kterých by jinak projekt mohl selhat. Zároveň implementace zasahuje hlavně do výrobních procesů, řízení výroby, ale pracuje i s daty napříč jinými zavedenými systémy. Proto lez definovat implementaci systému MES do podniku jako velmi náročný proces, protože zde hrozí rizika i v podobě zastavení celého podniku, což je nejztrátovější problém, který společnost může postihnout. Je proto nutné dbát na opatrnost, přesnost a důslednost v každé fázi projektu.

Implementace u obou společností postupovala přesně podle popsanych fází, a díky vedení ze strany projektového týmu dodavatele byly všechny dílčí úkoly a požadavky dodrženy. Zároveň během vyjednávání v průběhu obou projektů (ani po zavedení systému) nevznikly mezi odběrateli a dodavatelem žádné spory a jsou nadále udržované dobré vztahy, což je také jedním z důležitých faktorů úspěšného zvládnutí implementace.

Zaměstnanci ve společnostech se už s dodaným SW a HW naučili pracovat do takové míry, že si zvládnou sami upravit některá kmenová data a doladit systém k vlastnímu obrazu bez založení požadavku na dodavatelskou a následně podporující společnost C. Nicméně větší požadavky na optimalizace a úpravy jsou projednávány a zadávány na společnost C, která se těmto úkolům věnuje na základně podporující smlouvy. V některých případech s nabídkou úprav přijde sama společnost C, ale ve většině případů je to právě naopak. Dokonce v jednom případě společnost A přišla s požadavkem, který dodavatelská společnost nedodávala. Nicméně společně vytvořili vývoj nové optimalizace, který požadavek řešil a společnost C díky tomu mohla nově vyvinutou funkcionalitu nabízet pro další své klienty.

Ovšem obě implementace se potýkaly s určitými problémy, které jsou již v této práci popsány. Tyto problémy a nedokonalosti přinesly jednotlivým společnostem nepříjemnosti v podobě navýšení nákladů a doby trvání celé implementace.

Obě společnosti se v určitých fázích projektu potýkaly s problémy spojenými s komunikací uvnitř vlastních podnikových struktur. Konkrétně společnost A řešila problém v podobě ovlivňování projektu mateřskou společností. Proto by se při dalších implementacích nových systémů a optimalizací měla zaměřit na lepší komunikaci a vyjednat lepší podmínky, pokud je to možné. Současně obě odběratelské společnosti postihl problém při komunikaci mezi projektovým týmem a vedením podniku. Z toho vyplývá, že pokud se

společnosti do budoucna zaměří na lepší komunikaci, ušetří značné množství času stráveného na projektu, zmenší se náklady například na vícepráce a omezí se chaos.

Dalším důležitým faktorem, který způsobil prodloužení projektu a nejasnosti v organizaci, byla fluktuace klíčových uživatelů, nebo dokonce využití menšího množství těchto zaměstnanců, než bylo potřeba. Tito klíčoví uživatelé mají zásadní úkoly, kterými jsou pověřeni. V případě, že jejich úkol není splněn, je opět projekt prodloužen a prodražen. Proto by měl být kladen důraz na stabilní a dostatečné množství klíčových uživatelů.

Při plánování časových kapacit členů projektového týmu je zapotřebí správně odhadnout nezbytný čas a vymezit si ho. V případě, že podnik nepočítá s ubráním kapacit na jiných interních úkolech, a neposkytne projektovému týmu dostatek času na implementaci nového systému, tak je téměř jisté, že se projekt časově prodlouží. To úzce souvisí s komunikací zmíněnou v předchozích odstavcích.

Společnost B se během implementace potýkala s problémem vícenákladů, kdy musela zavádět lepší síťovou infrastrukturu v podniku, dokupovat kvalitnější čtecí zařízení, nebo byla nucena navýšit rozpočet o vícepráce, které zahrnovaly předem nedefinované funkcionality. Proto je dobré, aby si společnost celý projekt nejprve co nejlépe nadefinovala, zjistila potřebné požadavky a kritéria, a na základě toho si stanovila objektivní rozpočet, který nebude nutné navyšovat.

Samořejmě není možné předvídat všechny faktory, které mohou nečekaně ovlivnit výši nákladů nebo dobu trvání implementace, ale je potřeba, aby podniky počítaly se všemi variantami a byly na ně řádně připraveny.

4 Kritéria a návrhy pro implementaci

Tento bod práce obsahuje vlastní navržená kritéria pro implementaci nového systému do podniku, která byla vytvořena na základě provedených analýz obou implementací popsaných v předchozí kapitole. Tyto kritéria mohou sloužit pro další podniky, které uvažují o zavedení nového systému, aby se mohly na implementaci dostatečně přichystat, a nic je nepřekvapilo. Součástí kapitoly je i vytvořený Obr. 24, který všechny kritéria přehledně zobrazuje.

Dalším bodem kapitoly je vlastní návrh na pokračování nebo rozšíření popisovaných implementací systému MES v obou společnostech. Jsou zde popsány možnosti vzájemného využití již implementovaných funkcionalit v jednom nebo druhém podniku. Jsou zde rozebírány i možnosti, jak projekty rozšířit například o zpětnou sledovatelnost, plánování výroby, visuální reporting a další možnosti. Je zde i navržen celý proces s využitím nové funkcionality pomocí BPMN diagramu (Obr. 25). Všechny možné optimalizace nebo rozšíření by oběma podnikům přinesly značné benefity a příležitosti.

4.1 Kritéria pro implementaci systému MES do výrobního podniku

V případě, že výrobní podnik uvažuje o zavedení systému MES, je důležité, aby byl na implementaci řádně připravený. Proto byl vytvořen Obr. 24, který má přehledně zobrazit vypsaná kritéria pro úspěšné zavedení systému. Kritéria jsou rozdělena do několika tříd:

- **Základní**

Jedná se o výčet kritérií, která jsou pro implementování nového systému základní a nezbytná. Každý projekt by měl najít svého dodavatele, stanovit majitele a další zodpovědné osoby, které budou součástí strategie, řízení a realizace implementace. Ideálně by měly být stanoveny SMART cíle²⁴, aby je bylo možné co nejlépe naplnit. Dále je kladen důraz na dobrou podnikovou komunikaci, stanovení reálného harmonogramu, který bude pro jednotlivé fáze stěžejním bodem, a zároveň by měl odběratelský podnik aktivně spolupracovat a jednat.

²⁴ SMART cíle – Jedná se o cíle, které splňují parametry Specific (konkrétní), Measurable (měřitelný), Achievable (dosazitelný), Realistic (realistický), Time-bound (časově ohraničený)

- **Technické**

Jedná se o kritéria zahrnující práci s HW a SW. Zároveň je zavedení systému podmíněné dobrou znalostí podnikových procesů, které mají systém ovlivňovat. Je nutné rozumět datům, která je potřeba integrovat a sdílet mezi různými systémy. Pro dodavatele je nezbytné, aby měl vzdálený přístup na podnikový server, který splňuje patřičné požadavky. Konkrétně pro systém MES musí být výrobní stroje a linky připraveny pro komunikaci s implementovaným systémem. V neposlední řadě je velmi důležité nainstalovat dodatečnou síťovou infrastrukturu v celém podniku, aby nikde nedocházelo k žádným výpadkům.

- **Dokumentační**

V průběhu celého projektu je nutná součinnost obou stran na práci s dokumenty. Nejedná se pouze o uzavření smlouvy o provedení implementace systému MES, ale během jednotlivých fází projektu se vytváří další dokumenty, které jsou nezbytné pro dobrou organizaci, plnění milníků ve stanovených časech a pro přehlednost odvedené práce. Kromě Projektového plánu s harmonogramem a Cílového konceptu s přehledem všech implementovaných procesů se téměř v každé fázi aktualizuje Projektový report, kde jsou jednotlivé procesy a úkoly přiděleny konkrétní zodpovědné osobě, která zaručuje, že do stanoveného data bude proces nastaven. Odběratel si sám vytváří uživatelské manuály, které jsou následně předány koncovým uživatelům pro porozumění novému systému a jeho ovládání.

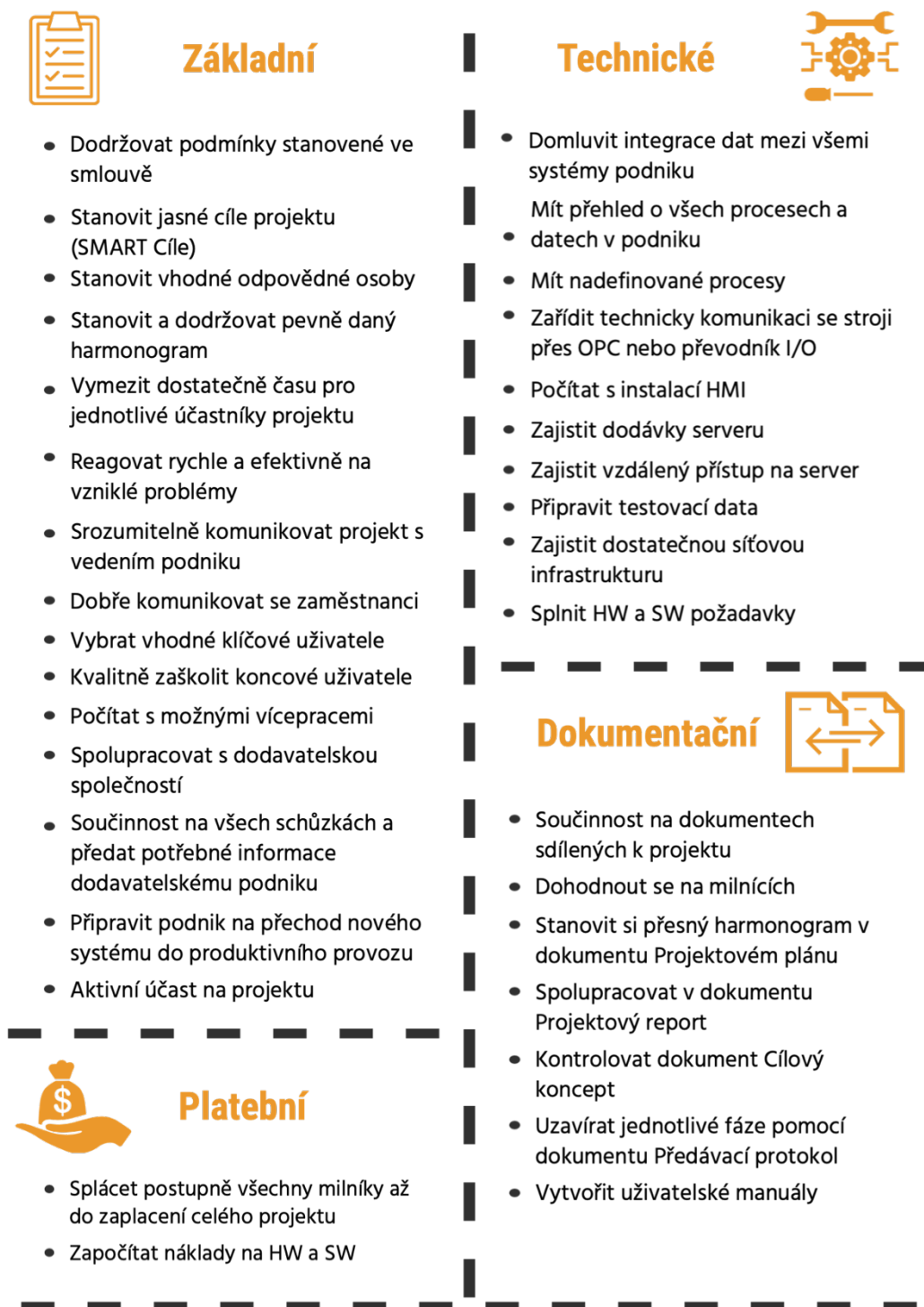
- **Platební**

Nezbytnou součástí kritérií jakéhokoliv projektu je platba za odvedenou práci. Zde se jedná o naplnění jednotlivých fází implementace a zároveň zavedení celého systému MES do produktivního provozu. Podnik při plánování nesmí opomenout možné výdaje za položky, které je potřeba dokoupit navíc k uvedení systému do provozu. Tím může být například dokoupení HW nebo náklady na zajištění dostatečné síťové infrastruktury. Může se také stát, že na projektu vzniknou určité vícepráce (například z důvodu zákaznického vývoje), které je nutné doplatit.

Pokud podnik implementující systém MES dodrží všechna kritéria, je velmi pravděpodobné, že budou splněny všechny stanovené cíle. Dále bude dodržen časový harmonogram a podnik nový systém přijme bez problému, což podpoří plynulý přechod do produktivního provozu. Ovšem v případě, že některá z vypsanych kritérií nebudou dodržena,

je velmi pravděpodobné, že se podnik při implementaci setká s problémy a nejasnostmi různého druhu.

Kritéria pro implementaci systému MES



Obr. 24 - Kritéria pro implementaci systému MES

I na Obr. 24 je vidět, kolik kritérií celé zavedení systému MES ovlivňuje, a na čem je implementace závislá. Zároveň je zřejmé, že se nejedná o jednoduchou implementaci. Podstatné je, aby podniky byly připraveny a některá z kritérií je nezaskočila.

4.2 Návrhy na pokračování implementací

Po úspěšném zavedení systému MES do podniků by bylo neefektivní, kdyby odběratelské a dodavatelské společnosti ukončily spolupráci po uvedení do produktivního provozu. Nabízí se, aby podniky neustále systém vylepšovaly a optimalizovaly. Tím docílí co nejefektivnějšího využití nového systému.

Proto jsou v této části práce navrženy konkrétní možnosti vzájemného využití implementovaných funkcionalit mezi společnostmi A a společnostmi B. Dále je zde doporučen BPMN diagram pro nový možný proces ve společnosti B. Nechybí ani samostatné možnosti rozšíření obou projektů o další nové funkcionality, které ještě v případové studii nezazněly.

4.2.1 Vzájemné využití implementovaných funkcionalit

Projekt implementace systému MES ve společnosti A disponuje větším množstvím zavedených funkcionalit, než je tomu v druhém podniku. Proto inspiraci na rozšíření dle vypracované případové studie může získat spíše společnost B. Konkrétně byly vybrány tři zaměření, o která by společnost B mohla svůj zavedený systém MES rozšířit:

- ***OEE reporting***

Na základě zkušenosti ze společnosti A by zavedení počítání procentuální efektivity celé výroby nebo dokonce jednotlivých linek a strojů zvlášť vneslo jasný a daty podložený přehled o výrobních procesech. Vzhledem k tomu, že se jedná o data, která jsou zaznamenávána automaticky přes PLC (Programovatelný Logický Automat) a komunikována přes OPC nebo I/O převodníky, zamezí se lidskému faktoru a tvorbě nahodilých chyb. Společnost B má navíc rozplánovanou svoji výrobu na 3 směny, kdy výpočet OEE může jasně ukázat, jestli se práce například na noční směně v něčem liší. V návaznosti na propojený systém MES s OEE reportem je pak zřetelné, na jaké konkrétní lince, v jaký čas a s jakým operátorem došlo ke komplikaci, která vytvořila špatnou efektivitu výroby. Jak již bylo popsáno v teoretické části, výpočet OEE započítává dostupnost, výkon a kvalitu. Společnost B by tím mohla vyhodnocovat další velké množství dat, díky čemuž by získala větší znalost a povědomí o efektivitě ve vlastní výrobě a podle toho by následně mohla lépe řídit a optimalizovat stávající procesy. Aby bylo možné spustit

počítání OEE reportu, je nutné nastavit určitá data v systému od společnosti C. Jedná se o data, která slouží jako definice a podklady pro vypočtení přesných hodnot. Konkrétně je potřeba přesně definovat časové rozmezí jednotlivých směn, pauz a přestávek, které jsou ve výrobním plánu dopředu stanoveny. Dále je nutné nastavit kalendáře zdrojů, které definují výrobní čas směny pro dané pracoviště. Následně je vyžadováno stanovit konkrétní důvodové kódy pro prostoje. V neposlední řadě je podstatné v systému nastavit samotné stroje, kde se definuje Cycle time a jeho násobnost v případě výroby více produktů najednou na jednom stroji.

- ***Automatické práce údržby***

Vznik technického problému na běžících výrobních linkách způsobuje velké časové ztráty, které jsou způsobeny dobou přivolání opravářského týmu, analyzováním a řešením problému a znovuuvvedení linky do provozu. Aby se tento ztrátový čas minimalizoval, jsou zaváděny automatické práce s údržbou. Společnost B se může u druhého podniku inspirovat prací ohledně údržby s dodávaným systémem společnosti C a již popisovaným Profylaxem. Je potřeba, aby byly nadefinovány procesy spojené se zadáváním důvodu údržby, voláním údržbového týmu, evidováním času stroje v prostoji způsobeným údržbou a dokončením údržbového požadavku. Pak může například operátor ve výrobě zadat požadavek, v případě že zaznamenal technický problém nebo jiný jev pro údržbu. Zároveň je možné na strojích nastavit časovou dobu kritického prostoje, po kterém stroj automaticky vytváří požadavek na údržbu a je přivolán opravářský tým. Při zadávání důvodů problémů již při vytváření požadavku na údržbu je ušetřen čas opraváře při analýze, protože se na daný problém může dopředu připravit a přinést si potřebné náčiní. Automatická práce s údržbou může být rozšířena o řízení výrobních nástrojů, kdy je podle evidence počtu odvedených taktů na stroji zaznamenáváno opotřebení konkrétního nástroje. Se znalostí výdrže nástrojů může tato funkcionality předejít prostojům vzniklým technickým problémům a ušetří čas při včasné výměně.

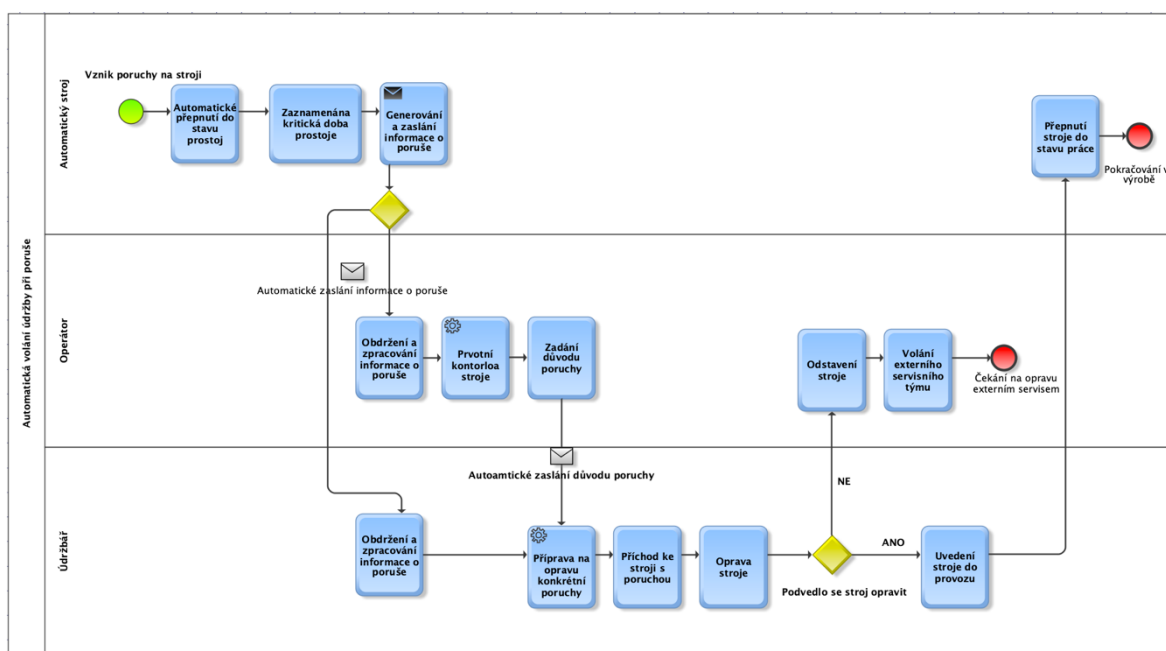
- ***Kontrola dovednostní pracovníků***

Společnost A zavedla ve svých výrobních procesech kontrolu dovedností pracovníků, která u každého pracoviště kontroluje, zda má přihlašovaný operátor dostatek dovedností a oprávnění pro práci na daném stroji. Jedná se o kontrolu, která předchází zraněním a technickým problémům vzniklým neznalostí daného stroje a procesu operátorem. Každý uživatel má ve svém profilu evidovaná všechna školení, která podstoupil, a díky kterým

získal potřebná oprávnění. Kontrola je nastavena po přihlášení uživatele na HMI terminál spojený s pracovištěm. V případě, že zaměstnanec nedisponuje žádanou certifikací, je mu odepřena možnost spustit proces na pracovišti. V opačném případě, kdy operátor vlastní oprávnění, může začít pracovat. V některých případech je kontrola dovednosti pouze formou varování, kdy Předák může pracovníka zaškolit individuálně a umožnit mu přístup ke spuštění procesů výroby. Jedná se o velmi výhodnou a efektivní funkcionalitu, kterou by mohla společnost B využít. V jednom z dalších bodů této práce budou rozebírána i možná rozšíření kontroly dovedností pracovníků.

4.2.2 BPMN návrh procesu Automatická práce s údržbou pro společnost B

V této kapitole byl navržen proces Automatická práce s údržbou pomocí modelovacího jazyka BPMN, který je popásán a vysvětlen v teoretické části práce. K vytvoření modelu byl použit software Aris Express [103], který nabízí mnoho typů modelace procesů včetně BPMN. Obr. 25 - Automatická práce s údržbou BPMN, který je zároveň pro lepší přehlednost vložen i do Příloha 4, reprezentuje postup při poruše automatického stroje v případě implementované zmiňované funkcionality.



Obr. 25 - Automatická práce s údržbou BPMN

Jsou zde namodelovány 3 plavecké dráhy, které reprezentují jednotlivé účastníky procesu a vykonávají určitou činnost. Jedná se o údržbáře, operátora výroby a automatický stroj (činnosti vykonává automaticky). Jak je vidět na obrázku, proces začíná poruchou automatického stroje, který se následně přepne ve výkazu práce do stavu prostož.

Implementovaný systém je nastaven na kritickou dobu prostoje, která se volí individuálně, a po jejím vypršení, když se stroj opět neuvede do stavu práce, generuje a zasílá informaci o poruše operátorovi ve výrobě a údržbáři. Oba účastníci procesu informaci obdrží. V dalším kroku operátor provede prvotní kontrolu stroje, zda se nejedná jen o malou závadu, kvůli které by nemusela být volána údržba, a po analýze vybere právě jeden důvod poruchy. Zvolený důvod se zaznamená a odešle údržbáři, který se na základě této informace může na opravu připravit a nemusí se pro potřebné nářadí vracet. Opravář se po přípravě dostaví ke stroji, který začne opravovat. V případě, že oprava bude nad jeho schopnosti, operátor uvede stroj do odstávky a zavolá externí servisní tým. Druhou možností je, že se stroj opraváři podaří uvést opět do provozu, a tím pádem se přepne opět do stavu práce a pokračuje ve své činnosti na rozdělané zakázce.

4.2.3 Možnosti rozšíření a optimalizace systému MES ve společnosti A

Vzhledem k trendu analyzování a optimalizování všechny podnikové procesy, funkcionality a systémy, tak i ve společnosti A se neustále plánují možnosti rozšíření implementovaného systému MES. Hlavním cílem vedení společnosti A je co nejvíce ulehčit práci operátorům ve výrobě, a zároveň se vyvarovat lidským chybám. Proto se všechny optimalizace, spojené s výrobními procesy, ubírají trendem získávat co nejvíce dat a informací přímo ze strojů bez zásahu operátora. Pro společnost A se nabízí několik možností, jak tohoto cíle dosáhnout:

- Traceability – zpětná sledovatelnost.
- Unikátní značení jednotlivých dílů.
- Plánování výroby.
- Vizualizace a reporting.
- Automatické čtení co nejvíce parametrů ze strojů.
- Spojení automatických kontrol se systémem MES.

Jedním z možných rozšíření systému MES pro naplnění zmíněných cílů je Traceability. Do češtiny se tento pojem překládá jako zpětná sledovatelnost. Jedná se o digitální způsob zpětného vysledování původu zboží, materiálu nebo dílu [104]. Mezi hlavní výhody zpětné sledovatelnosti patří digitální zobrazení reálného stavu logistiky a výroby [105]. Dále je velmi výhodná možnost zpětně dohledávat sériová čísla na úrovni zakázky, výrobní dávky, šarže, palety, boxu nebo i konkrétního materiálu. Díky tomu je jednoduše

dohledatelná příčina vady na výrobku nebo sérii produktů. Tento faktor je velmi často vyžadován v automobilovém průmyslu, protože v případě poruchy nebo vady na díle je potřeba dohledat příčinu na jakékoli úrovni od všech dodavatelů [106].

Ve společnosti A se terminály, které by mohly zaznamenávat část údajů pro zpětnou sledovatelnost, nachází pouze na konci pracovišť a výrobních linek. Není tedy podchycen začátek procesu, což je pro zpětnou sledovatelnost podstatné. Díky doplnění skenerů a terminálů na začátek pracovišť je možné kontrolovat, jaký materiál nebo díl vstupuje do procesu. Tento materiál se zaeviduje na začátku a na konci procesu, kde se produkt označí, a díky tomu na sobě ponese informaci o jeho zpracování. Proto je velmi důležité ve společnosti A zavést unikátní značení výrobků. To znamená rozdělit daný produkt nebo materiál od palety na které leží, aby bylo zřejmé, kdy byl konkrétní díl vyroben, z jakého materiálu, v jakém množství a odkud byl vzat. Tím se docílí plné zpětné sledovatelnosti.

Jako příklad využití zpětné sledovatelnosti lze uvést část výroby ve společnosti A, kde se vyrábí polotovary, ze kterých se následně dotváří celé díly. V případě, že je zaznamenána vada na hotovém dílu, která byla způsobena špatnou výrobou jedné šarže polotovaru, je možné po naskenování čárového kódu na dílu zpětně dohledat, kde mohla vada vzniknout. Zároveň je možné analyzovat, kolik výrobků tato vada zasáhla a dohledat je.

I přesto, že se jedná o velmi náročný proces implementace nové funkcionality, kdy je zapotřebí připravit SW, HW, podnikovou síť a mnoho dalších prvků, v aktuální době se jedná o jeden ze základních požadavků automobilek pro všechny dodavatele. Díky tomu mohou kontrolovat a identifikovat všechny neshody a vady.

Dohromady s funkcionalitami systému MES a Traceability úzce souvisí plánování výroby. Konkrétně se jedná o automatické řízení požadavků na materiál k jednotlivým linkám a pracovištím podle jejich potřeb a požadavku. K tomu připojuje využití řízení materiálového toku podle strategií FIFO nebo FEFO, které jsou vysvětleny v literární části této práce. Cílem myšlenky plánování výroby je vyrobení požadovaného produktu v co nejkratším časovém úseku od příjmu objednávky. Systém MES a zpětná sledovatelnost dokáže shromáždit potřebná data a automaticky analyzovat nezbytné vstupy do výroby tak, aby byl výsledný produkt vyroben co nejrychleji a nejefektivněji. Jednotlivými vstupy jsou myšleny faktory jako informace, zda bude stroj ve funkčním stavu, zda na něm není prováděna oprava, nejsou plánovány údržby či jiné mimořádné akce. Dále se jedná o analýzu zásob materiálu, zda je ho pro výrobu dostatek, a není například připraven pro jinou výrobu.

Lidské zdroje jsou dalším podstatným faktorem, velkou roli hraje dostatek zaměstnanců, bez kterých by se výroba neobešla.

Do plánování výroby ovšem vstupuje problémový faktor četnosti a množství zakázek. V případě společnosti A je potřeba udržovat podporu vyrobených produktů v podobě náhradních dílů, která se musí udržovat po dobu několika let. Jde pouze o kusovou záležitost a do výroby vstupuje jednou za určitý čas, dle požadavků zákazníka. Tato podpora narušuje běžné plánování výroby a pro její zakomponování je potřeba složitého nastavování a výpočtů.

U většiny pracovišť společnost A využívá Poka Yoke²⁵ stanice, které slouží k elektronické kontrole kvality výroby a etiket. S implementovaným systémem MES se nabízí jeho propojení s těmito stanicemi. Spolupráce systémů může využívat automatickou kontrolu výrobků pomocí Poka Yoke dohromady s funkcionalitou automatického odvedení výrobku v systému MES. V případě, že je produkt v pořádku, automaticky se v systému vygeneruje a uloží jeho unikátní kód. Podle toho je s ním pracováno dál. Pokud výrobek neprošel kontrolou, dochází k automatickému odvedení vadného kusu, kdy jde na kontrolu operátorem, který rozhodne, zda bude výrobek využitý jako produkt s menší kvalitou, nebo bude celý přepracován.

Kromě zavádění nových funkcionalit by bylo ve společnosti A možné optimalizovat již zavedený systém Dovednostní matice, který na pracovištích kontroluje dovednosti zaměstnanců. Rozšíření by mohlo přinést nové možnosti v podobě ověřování dohledu na konkrétních pracovištích, kde je tato kontrola potřebná. Další možností by bylo digitální proškolení pracovníka na daném pracovišti tak, aby bylo co nejefektivnější, zamezilo se papírování a přítomnosti školitele a propsalo se automaticky do systému MES a ERP, aby měl zaměstnanec školení elektronicky zaevidované v databázi. S tím souvisí umožnění zobrazení školících dokumentů v digitální podobě přímo na pracovišti na HMI terminálu.

Žádná z těchto popisovaných funkcionalit, které by bylo možné ve společnostech A doimplementovat, není jednoduchá na zavedení. Jde o náročné přípravy zahrnující analýzy a nastavování, které stojí velké množství peněz a času. Na druhou stranu je evidentní, že výrobní procesy by byly mnohem efektivnější a výroba by se mohla lépe řídit a plánovat.

²⁵ Poka Yoke – Jedná se o japonskou metodu, která má za cíl zabránit lidským chybám a problémům v průběhu výrobního procesu [113]. Úkolem metody není detekovat a opravovat chyby, ale předejít a zabránit jim.

Zároveň je důležité, aby nové funkcionality byly plně kompatibilní se stávajícími systémy a dobře s nimi spolupracovaly.

4.2.4 Možnosti rozšíření a optimalizace systému MES ve společnosti B

Kromě tří funkcionalit z předchozí kapitoly o vzájemném využití implementací, by společnost B mohla využít další možnosti spojené se systémem MES. Vzhledem ke snaze dojít k co největší digitalizaci a automatizaci podniku se nabízí zavedení elektronické dokumentace při zaškolování zaměstnanců. Dle informace od vedoucího projektu ze společnosti B je tzv. e-Learning²⁶ v plánu pro zavedení. V případě, že by podnik zavedl digitální technologii vzdělávání, mohl by se zcela oprostít od papírové verze, která je neekonomická a neefektivní. Značně usnadní zaškolování nových zaměstnanců nebo práci s novými procesy a technologiemi. Velkou výhodou je flexibilita této technologie, kdy je možné zaškolit zaměstnance přímo u výrobní linky interaktivní a digitální formou například na tabletu. Proškolení pracovníka se následně propisuje i do podnikové databáze, ze které se jednoduše lze analyzovat, kteří zaměstnanci školením prošli, kdy školení dělali a mnoho dalších informací. Díky tomu bude také přehlednější, zda jsou dodrženy všechny vyhlášky a normy se školením spojené. Dalším benefitem je možnost aktualizace dokumentů na základě změny procesu téměř ihned, a plošné rozeslání nové verze na všechna pracoviště, které úprava zasáhla. Pro školení mohou být také využita videa a jiné interakce, které jsou pro zaškolení a vysvětlení procesu mnohem účinnější a efektivnější než školení papírovou formou. S tím souvisí i možnost některá školení převést do virtuální reality, kdy se pomocí speciálních brýlí zaměstnanci vyobrazí virtuální prostředí, které je totožné s reálným a krok po kroku ho naučí pracovat v tomto prostoru.

Pro společnost B by bylo výhodné, kdyby s implementovaným systémem MES propojili další fungující systémy, které v podniku využívají. Například se jedná o systém WMS, který je popsán v teoretické části této práce. Aktuálně společnost B využívá skladový systém společně od dodavatele ERP systému. Proto je aktuálně potřeba pracovat s integrací velkého množství dat mezi systémy a nejsou naplno využity všechny možné funkcionality. V případě, že by podnik využíval WMS i MES systém od společnosti C,

²⁶ E-Learning - zkratka pro elektronické učení. Jedná se o vzdělávací metodu, která využívá digitální technologie a internet k poskytování vzdělávacího obsahu a interakce [114].

všechna data a informace by byla na jednom místě, v jednom systému. Dosáhlo by se nových možností pro zobrazování dat, větší přehlednosti a usnadnění práce. Naskytla by se možnost lépe plánovat výrobu na základě skladových zásob a automatizovat některé procesy spojené mezi skladem a výrobou. To by zároveň pomohlo lepší zpětné dohledatelnosti, kterou podnik musí na základě norem vést, ale také ji nemá se systémem MES spojenou. Spojení Traceability a systému MES je popsáno u návrhů rozšíření systému ve společnosti A.

4.2.5 Možnosti rozšíření a optimalizace systému MES pro obě společnosti

Obě společnosti aktuálně pracují s vizualizacemi dat pomocí různých systémů a SW. Jednou z možností, kterou dodavatelská společnost C nabízí v souvislosti se systémem MES, je SW Power BI [107]. Jedná se o sadu aplikací a služeb, které umožňují vizualizaci, analýzu a sdílení datových informací. Power BI umožňuje vytváření interaktivních reportů a vizualizace, které usnadňují porozumění a interpretaci dat. Oběma odběratelským společnostem není tento nástroj cizí a využívají ho aktuálně pro zobrazení plnění různých plánů v podniku, vizualizaci prostoje nebo Scrap procesů. Ani jedna společnost ovšem tento nástroj nevyužívá společně se systémem MES. Spojení těchto technologií by podnikům mohlo přinést spoustu nových informací, na základě kterých by mohly podrobněji analyzovat a plánovat výrobní procesy. Velkou výhodou je, že obě společnosti mají zavedený nebo zavádějí datový skald, který je pro samotné PowerBI velkou výhodou. Příložený Obr. 26 ukazuje možnosti zobrazení dat sbírané pomocí systému MES, které společnost C poskytuje k implementaci. Pro přehlednější zobrazení je obrázek vložen i jako Příloha 5 - OEE report v Power BI od společnosti C.

Při pohledu na příložený obrázek je evidentní, že Power BI umožňuje přehledně zobrazovat OEE číslo za vymezené období. Zároveň poskytuje grafické zobrazení hodnot dílčích faktorů, ze kterých se OEE číslo počítá. Nejedná se pouze o hodnotu z celkové výroby, ale lze si interaktivně rozkliknout i OEE číslo pro jednotlivé linky nebo stroje. Dále je možné sledovat aktivitu jednotlivých strojů, jejich dobu ve stavu práce nebo prostoje. Nechybí ani zobrazení výkonnosti strojů, jejich dostupnost nebo kvalita. Výroba samozřejmě nemusí být sledována jen podle strojů a linek, ale v reportu se mohou filtrovat grafy a data podle jednotlivých položek, se kterými se ve výrobě pracuje. Dále by report v Power BI mohl zobrazovat jednotlivé zakázky včetně jejich naplnění nebo jejich plánu na výměnu. Na obrázku jsou jednotlivé názvy strojů, linek, produktů a dalších konkrétních prvků.



Obr. 26 - OEE report v Power BI od společnosti C

5 Doporučení pro praxi

Na základě vypracované případové studie o zavedení systému MES do dvou výrobních podniků je evidentní, že se jedná o poměrně pracnou, nákladnou a časově náročnou implementaci. V kapitole Kritéria a návrhy pro implementaci byl vytvořen přehled kritérií, která jsou zásadní pro zdárnou a kvalitní implementaci. Kdyby podniky při zavádění systému MES do své výroby tato kritéria nedodržely, dostaly by se do značných časových, peněžních i personálních problémů, které by v nejhorsím případě celou implementaci mohly předčasně zastavit a ukončit. Dále je podstatné, aby si dodavatelské i odběratelské podniky mezi sebou nastavily kvalitní komunikaci a celý projekt jasně, konkrétně a detailně nadefinovaly. Důležité je stanovení přesných cílů, které budou pro projekt stěžejní a budou se jich obě společnosti pevně držet. S tím souvisí i plánování reálného harmonogramu všech fází, kterými projekt bude procházet tak, aby nenastaly situace, které by nebylo reálné splnit.

Vzhledem k tomu, že implementace systému MES stojí podniky mnoho peněz a je očekávána návratnost s následujícím ušetřením různých nákladů, je potřeba se na projekt dívat jako na investici. U zavádění systému MES je vyhodnocení investice náročnější, protože implementované funkcionality napřímo nezvyšují produkci, nesnižují zmetkovost nebo nezrychlují procesy, ale jejich hlavní podstatou je sběr důvěryhodných dat. To následně vede k analýze a k lepšímu řízení výrobních procesů, které směřují k přímému zvýšení efektivity výroby. Jedná se však až o další návazné kroky po implementaci. Že se nejedná o jednoduché plánování investice dokazuje i konkrétní příklad z vypracované případové studie, kdy společnost B musela vynaložit 150 % původních nákladů.

Kromě hlavních cílů implementace systému MES o sběru dat, jejich analýze a dalších záměrů, je nejpodstatnější návratnost projektu a následný profit. K výpočtu návratnosti se může například využít ukazatel Return on investment (ROI), kde jsou porovnávány náklady vynaložené na implementaci s přínosy získanými po zavedení systému [108]. Do vyhodnocování návratnosti implementace systému MES zasahuje několik hledisek, která nesou různá kritéria. Pro dosažení cílené návratnosti a výnosnosti je potřeba tyto kritéria dodržet. Ukazatel ROI tedy zohledňuje ekonomické faktory, které zahrnují samotné náklady na celý projekt. Dále bere v potaz úspory a výnosy, které přinese zavedení systému MES. Je potřeba zohlednit i faktory týkající se technického hlediska, kdy je zapotřebí brát v úvahu nastavování, funkčnost, zálohu, úložiště, podporu a údržbu implementovaného systému. V neposlední řadě je potřeba brát v úvahu i personální hledisko, aby měl podnik dostatek

zaměstnanců schopných se naučit s novým systémem pracovat a ovládat ho. Konkrétní náklady a přínosy implementace systému MES jsou detailně rozepsány ve vytvořené případové studii. Je ale velmi důležité, aby si každý podnik, který uvažuje o implementaci nového systému do podniku, před zahájením udělal analýzu zahrnující ukazatel ROI. Jen díky tomu společnost dokáže dopředu určit, zda se jim implementace vyplatí.

Dalším doporučením pro podniky plánující implementaci systému MES je mít dobře zanalyzované výrobní procesy v celém podniku. Využívání grafických diagramů, jako je například v této práci používaný BPMN diagram, je velmi užitečné pro přehlednost. Nastavování systému MES je mnohem efektivnější, pokud jsou v podniku procesy graficky překreslené. Zároveň to ulehčuje možnost optimalizace procesů a zpětnou dohledatelnost jednotlivých funkcí. Grafické zobrazení procesů lze také využít v podniku při změnách pozic zaměstnanců, kteří mohou daný proces rychleji pochopit.

V případové studii byla navržena možnost pracovat s grafickými reporty pro zobrazení dat nasbíraných z výroby. Jako příklad byl uveden program Power BI, který byl využit pro zobrazení například hodnot OEE. Grafické reporty jsou v dnešní době velmi populární a přinášejí mnoho výhod. Je ovšem důležité, aby podniky neskončily u přehledného zobrazení. Získaná data je zapotřebí následně vyhodnocovat a využívat je pro řízení, plánování a optimalizaci výroby. Tento faktor souvisí i s popisovaným ukazatelem ROI, který by nemohl vyjít pozitivně, pokud by podniky získaná data ze systému MES nevyhodnocovaly a nevyužívaly pro optimalizaci výroby. Často se podniky zaměří pouze na hlavní získané informace, ale nevyužijí celý systém MES, tak jak by mohly. Je proto důležité, aby si společnosti přesně stanovily, jaká data chtějí analyzovat a využily, vše co jim nový implementovaný systém nabízí. Analýza a vyhodnocení dat jsou stěžejními faktory pro řízení a optimalizaci procesů.

Pro celou implementaci systému MES je velmi důležitá dobrá komunikace mezi dodavatelem a odběratelem, ale neméně významná je komunikace interní mezi vedením podniku a realizačním týmem projektu. Zároveň je podstatná komunikace směrem k zaměstnancům, které zavedený systém ovlivní. V případové studii této práce se obě společnosti setkali s problémovou komunikací mezi realizačním týmem a mateřskou společností nebo vedením celého podniku. Tyto komplikace vyústily v časové prodlevy, které opozdily oba projekty. Zároveň tím vznikly nepříjemné situace. Proto je v této kapitole Doporučení pro praxi vhodné zmínit, že kvalitně nastavená komunikace na všech úrovních

od počátku až do konce projektu je velmi důležitá, a zamezí tak časovému skluzu a nepříjemnostem.

Je ale důležité zmínit, že i přes to, že se u obou implementací systému MES objevily faktory, které byly mimo projektový plán, proběhla nasazení systému úspěšně. Obě společnosti systém stabilně využívají a jsou s ním spokojeny. Zároveň neustále systém ve svých podnicích optimalizují a rozšiřují o nové funkcionality.

Zhodnocení a závěr

Cílem této diplomové práce bylo vytvořit případovou studii zaměřenou na porovnání dvou implementací systémů MES, který se používá pro řízení procesů a využívá technologie Průmyslu 4.0. Zároveň byla přehledně vypsána kritéria, která by se měla být dodržena pro zdárné zavedení tohoto systému do výrobního podniku. Dalším přínosem práce jsou vlastní návrhy na optimalizaci nebo rozšíření implementovaného systému MES v obou společnostech. Práce je zakončena doporučením pro praxi, díky kterému se mohou podniky vyvarovat chybám při zavádění systému MES do vlastních výrobních procesů.

V prvním bodě této práce jsem vysvětlil a pospal, co je to procesní řízení v podniku. Zaměřil jsem se na jednotlivé fáze procesního řízení, které jsou charakterizovány jako životní cyklus. Dále jsem objasnil, proč je užitečné využívat modelování procesů a konkrétně jsem se zaměřil na grafický jazyk BPMN, který jsem následně využil v praktické části. Do prvního bodu práce jsem také zahrnul popis několika přístupů pro řízení procesů, které se v současnosti používají nejvíce. Vysvětlil jsem tedy přístupy JIT, Kanban, ERP a Lean Management. Nechybí zde ani metody pro řízení toku materiálů v podniku, které s řízením procesů úzce souvisí.

V druhém bodě diplomové práce jsem objasnil téma Průmysl 4.0 a jeho charakteristické znaky a technologie s ním spojované. Zaměřil jsem se například na technologie IoT, analýzu velkého množství dat, kyberneticko-fyzikální systém, OPC a další. Rozvedl jsem principy Průmyslu 4.0 a vysvětlil, co je model RAMI 4.0. Do druhého bodu jsem také zahrnul metody pro řízení procesů s prvky Průmyslu 4.0, kde jsem detailně popsal systém MES, který je stěžejním prvkem pro praktickou část této práce. Objasnil jsem i další metody jako WMS nebo JIT 4.0.

Ve třetím bodě začíná praktická část této práce. Jedná se o případovou studii, ve které jsem podrobně porovnal dvě implementace systému MES. Obě implementace byly zaváděny jedním dodavatelem do dvou typově podobných společností. Nejprve jsem čtenáře seznámil se všemi vystupujícími stranami a následně jsem vysvětlil, v čem spočívaly obě implementace. Následně jsem vyjmenoval a popsal cíle projektů, kterých chtěly podniky dosáhnout. V další části jsem rozvedl porovnání očekávání oproti realitě, kde jsem se zaměřil na 4 faktory, kterými jsou rozpočet, čas, kvalita zavedeného systému a potřebné zdroje pro realizaci projektů. Na základě toho jsem obě implementace porovnal a vysvětlil, v čem se liší. Dále jsem rozpracoval jednotlivé fáze, kterými si projekty prošly. Popsal jsem data a

informace, které se v podnicích sbírají díky implementovanému systému MES. Objasnil jsem, jak byl nový systém v podniku přijat a samozřejmě jsem zmínil problémy, které oba projekty provázely v porovnání s přínosy a benefity. Poslední část tohoto bodu slouží jako vyhodnocení zvládnutí obou implementací. Podniky na základě tohoto bodu mohou získat přehledné a podrobné informace o tom, jak implementaci zvládly a co jim přinesla. Zároveň díky tomu mohou načerpat zkušenosti pro budoucí optimalizace procesů a získat poznatky a porovnání implementace podobného systému v jiném podniku. Velkým přínosem může pro společnosti být poučení se z problémů, které spolu s implementací nastaly.

Ve čtvrtém bodě jsem vytvořil vlastní návrh kritérií, která je nezbytné dodržet při zavádění nového systému MES do výrobního podniku. V případě, že společnosti tato kritéria dodrží, je velmi pravděpodobné, že implementace bude úspěšná. Tato část může sloužit pro další podniky, které uvažují o zavedení tohoto systému. Druhou částí čtvrtého bodu jsou vlastní návrhy na pokračování obou implementací. Jsou zde navržena vzájemná využití zavedených funkcionalit mezi oběma podniky, jako je například OEE reporting, automatická práce s údržbou nebo kontrola dovedností pracovníků. Pro návrh procesu Automatická práce s údržbou pro společnost B jsem vytvořil BPMN diagram. Zároveň jsem přidal i nové možnosti rozšíření a optimalizace zavedených systémů, které zahrnují například vizualizaci a reporting v programu Power BI, zpětnou sledovatelnost, plánování výroby, automatické čtení co nejvíce parametrů ze strojů, připojení k systému WMS a další.

V posledním bodě práce jsem sepsal doporučení pro praxi, aby bylo jasné, že se nejedná o jednoduchou implementaci. Zmínil jsem, že se na implementaci musí nahlížet jako na investici. Na základě zkušeností získaných při práci na případové studii jsem vyzdvihl některé faktory, které dělaly problémy při zavádění systému MES. Díky tomu si další podniky mohou na tyto faktory dát pozor a vyvarovat se jim. Nakonec jsem vysvětlil, že i přes problémy, se kterými se podniky potýkaly, oběma společnostem systém přinesl nespočet benefitů, ze kterých těží každý den.

Literatura

- [1] H. A. Reijers, „Business Process Management: The evolution of a discipline“, *Comput. Ind.*, roč. 126, s. 103404, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103404>.
- [2] V. Řepa, *Podnikové procesy: Procesní řízení a modelování*. Praha: Grada, 2006.
- [3] M. Hammer a J. Champy, „Reengineering the corporation: A manifesto for business revolution“, *Business Horizons*. 1993, doi: 10.1016/S0007-6813(05)80064-3.
- [4] A. Svozilová, *Zlepšování podnikových procesů*. Praha: Grada, 2011.
- [5] ÚNMZ; ISO, „Čsn En Iso 9001:2016“, *Technické Normy*, 2016. <http://www.agentura-cas.cz/> (viděno zář. 02, 2020).
- [6] M. Grasseová, R. Dubec, a R. Horák, *Procesní řízení ve veřejném sektoru: teoretická východiska a praktické příklady*. Brno: Computer Press, 2008.
- [7] D. Paschek, C. T. Luminosu, a A. Draghici, *Automated business process management—In times of digital transformation using machine learning or artificial intelligence*. MATEC Web Conf., 2017.
- [8] T. Ahmad a A. Van Looy, „Business Process Management and Digital Innovations: A Systematic Literature Review“, *Sustainability*, roč. 12, č. 17, s. 6827, srp. 2020, doi: 10.3390/su12176827.
- [9] I. Stravinskiene a D. Serafinas, „The Link between Business Process Management and Quality Management“, *J. Risk Financ. Manag.*, roč. 13, č. 10, s. 225, zář. 2020, doi: 10.3390/jrfm13100225.
- [10] J.-R. Rehse, S. Dadashnia, a P. Fettke, „Business process management for Industry 4.0 – Three application cases in the DFKI-Smart-Lego-Factory“, *it - Inf. Technol.*, roč. 60, č. 3, s. 133–141, čvc. 2018, doi: 10.1515/itit-2018-0006.
- [11] M. Indulska, M. Z. Muehlen, a J. C. Recker, „Measuring method complexity: The case of the business process modeling notation. bpm center report bpm-09-03“, *Bus. Process Manag. Cent.*, 2009.
- [12] P. Bocciarelli, A. D’Ambrogio, A. Giglio, a E. Paglia, „BPMN-Based Business Process Modeling and Simulation“, in *2019 Winter Simulation Conference (WSC)*, pro. 2019, s. 1439–1453, doi: 10.1109/WSC40007.2019.9004960.
- [13] D. Kozma, P. Varga, a F. Larrinaga, „Data-driven Workflow Management by utilising BPMN and CPN in IIoT Systems with the Arrowhead Framework“, in *2019 24th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*

- (*ETFA*), zář. 2019, s. 385–392, doi: 10.1109/ETFA.2019.8869501.
- [14] I. Abouzid a R. Saidi, „Proposal of BPMN extensions for modelling manufacturing processes“, in *2019 5th International Conference on Optimization and Applications (ICOA)*, dub. 2019, s. 1–6, doi: 10.1109/ICOA.2019.8727651.
- [15] S. Jinhui Wu, S. A. Melnyk, a M. Swink, „An empirical investigation of the combinatorial nature of operational practices and operational capabilities“, *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, roč. 32, č. 2, s. 121–155, led. 2012, doi: 10.1108/01443571211208605.
- [16] G. L. Frazier, R. E. Spekman, a C. R. O’Neal, „Just-In-Time Exchange Relationships in Industrial Markets“, *J. Mark.*, roč. 52, č. 4, s. 52–67, říj. 1988, doi: 10.1177/002224298805200406.
- [17] A. Banerjee a S. Kim, „An integrated JIT inventory model“, *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, roč. 15, č. 9, s. 237–244, led. 1995, doi: 10.1108/01443579510099760.
- [18] A. Javadian Kootanaee, K. N. Babu, a H. F. Talari, „Just-In-Time Manufacturing System: From Introduction to Implement“, *SSRN Electron. J.*, 2013, doi: 10.2139/ssrn.2253243.
- [19] H. Lee a D. M. Wellan, „Vendor Survey Plan: A Selection Strategy for JIT/TQM Suppliers“, *Ind. Manag. Data Syst.*, roč. 93, č. 6, s. 8–13, čer. 1993, doi: 10.1108/02635579310040915.
- [20] H. Wang a Hsu-Pin (Ben) Wang, „Optimum number of kanbans between two adjacent workstations in a JIT system“, *Int. J. Prod. Econ.*, roč. 22, č. 3, s. 179–188, 1991, doi: [https://doi.org/10.1016/0925-5273\(91\)90093-9](https://doi.org/10.1016/0925-5273(91)90093-9).
- [21] K. W. Green, R. A. Inman, L. M. Birou, a D. Whitten, „Total JIT (T-JIT) and its impact on supply chain competency and organizational performance“, *Int. J. Prod. Econ.*, roč. 147, s. 125–135, led. 2014, doi: 10.1016/j.ijpe.2013.08.026.
- [22] S. Aghazadeh, „JIT inventory and competition in the global environment: a comparative study of American and Japanese values in auto endustry“, *Cross Cult. Manag. An Int. J.*, roč. 10, č. 4, s. 29–42, led. 2003, doi: 10.1108/13527600310797676.
- [23] R. Ehrhardt, „A Model of JIT Make-to-Stock Inventory with Stochastic Demand“, *J. Oper. Res. Soc.*, roč. 48, č. 10, s. 1013, říj. 1997, doi: 10.2307/3010121.
- [24] G. Singh a I. S. Ahuja, „Just-in-time manufacturing: literature review and directions“, *Int. J. Bus. Contin. Risk Manag.*, roč. 3, č. 1, s. 57, 2012, doi: 10.1504/IJBCRM.2012.045519.

- [25] S. Phogat, „INTRODUCTION TO JIT: A REVIEW", *Int. J. Latest Res. Sci. Technol.*, roč. 2, čvc. 2013.
- [26] L. Castellano Lendínez, „Kanban. Metodología para aumentar la eficiencia de los procesos", *3C Tecnol. innovación Apl. a la pyme*, roč. 29, č. 1, s. 30–41, bře. 2019, doi: 10.17993/3ctecno/2019.v8n1e29/30-41.
- [27] D. J. Anderson, *Kanban: successful evolutionary change in your technology business*. Sequim, Washington : Blue Hole Press, 2010.
- [28] R. Piplani a A. W. H. Ang, „Performance comparison of multiple product kanban control systems", *Int. J. Prod. Res.*, roč. 56, č. 3, s. 1299–1312, úno. 2018, doi: 10.1080/00207543.2017.1332436.
- [29] C.-C. Huang a A. Kusiak, „Overview of Kanban systems", *Int. J. Comput. Integr. Manuf.*, roč. 9, č. 3, s. 169–189, led. 1996, doi: 10.1080/095119296131643.
- [30] R. B. Wakode, L. P. Raut, a P. Talmale, „Overview on kanban methodology and its implementation", *IJSRD-International J. Sci. Res. Dev.*, roč. 3, č. 02, s. 613–2321, 2015.
- [31] S. Matende a P. Ogao, „Enterprise Resource Planning (ERP) System Implementation: A Case for User Participation", *Procedia Technol.*, roč. 9, s. 518–526, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.12.058>.
- [32] F. Mahmood, A. Khan, a R. Bokhari, „ERP issues and challenges: a research synthesis", *Kybernetes*, roč. ahead-of-p, pro. 2019, doi: 10.1108/K-12-2018-0699.
- [33] H. M. Beheshti, „What managers should know about ERP/ERP II: MRN", *Manag. Res. News*, roč. 29, č. 4, s. 184–193, 2006, doi: <https://doi.org/10.1108/01409170610665040>.
- [34] K. C. Laudon a J. P. Laudon, *Management information systems: Managing the digital firm*. Pearson Educación, 2004.
- [35] J.-H. Wu a Y.-M. Wang, „Measuring ERP success: The key-users' viewpoint of the ERP to produce a viable IS in the organization", *Comput. Human Behav.*, roč. 23, č. 3, s. 1582–1596, 2007.
- [36] V. Botta-Genoulaz a P.-A. Millet, „An investigation into the use of ERP systems in the service sector", *Int. J. Prod. Econ.*, roč. 99, č. 1–2, s. 202–221, 2006.
- [37] Y. Xue, H. Liang, W. R. Boulton, a C. A. Snyder, „ERP implementation failures in China: Case studies with implications for ERP vendors", *Int. J. Prod. Econ.*, roč. 97, č. 3, s. 279–295, 2005.
- [38] K. Amoako-Gyampah, „Perceived usefulness, user involvement and behavioral

- intention: an empirical study of ERP implementation", *Comput. Human Behav.*, roč. 23, č. 3, s. 1232–1248, 2007.
- [39] S. Rajgopal, M. Venkatachalam, a S. Kotha, „Managerial Actions, Stock Returns, and Earnings: The Case of Business-to-Business Internet Firms", *J. Account. Res.*, roč. 40, č. 2, s. 529–556, kvě. 2002, doi: 10.1111/1475-679X.00060.
- [40] J. K. Nwankpa, „ERP systems benefit realization and the role of ERP-enabled application integration", in *Advanced methodologies and technologies in business operations and management*, IGI Global, 2019, s. 802–815.
- [41] S. Subramoniam, M. Tounsi, a K. V Krishnankutty, „The role of BPR in the implementation of ERP systems", *Bus. Process Manag. J.*, roč. 15, č. 5, s. 653–668, led. 2009, doi: 10.1108/14637150910987892.
- [42] R. Sundar, A. N. Balaji, a R. M. S. Kumar, „A Review on Lean Manufacturing Implementation Techniques", *Procedia Eng.*, roč. 97, s. 1875–1885, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.341>.
- [43] J. Kadarova a M. Demecko, „New Approaches in Lean Management", *Procedia Econ. Financ.*, roč. 39, s. 11–16, 2016, doi: [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(16\)30234-9](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(16)30234-9).
- [44] P. J. Martínez-Jurado a J. Moyano-Fuentes, „Lean Management, Supply Chain Management and Sustainability: A Literature Review", *J. Clean. Prod.*, roč. 85, s. 134–150, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.09.042>.
- [45] D. K. Sobek a M. Lang, „Lean healthcare: Current state and future directions", in *Proceedings of the 2010 industrial engineering research conference*, 2010, roč. 5.
- [46] J. Moyano-Fuentes a M. Sacristán-Díaz, „Emerald Article: Learning on lean: a review of thinking and research".
- [47] A. C. Sembiring, J. Tampubolon, D. Sitanggang, M. Turnip, a Subash, „Improvement of Inventory System Using First In First Out (FIFO) Method", *J. Phys. Conf. Ser.*, roč. 1361, č. 1, s. 012070, lis. 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1361/1/012070.
- [48] „FIRST IN, FIRST OUT (FIFO)", *Isixsigma*. <https://www.isixsigma.com/dictionary/first-in-first-out-fifo/> (viděno říj. 08, 2022).
- [49] S. Ramdasi a D. K. Shinde, „Effect of FIFO Strategy Implementation on Warehouse Inventory Management in The Furniture Manufacturing Industry".
- [50] R. Budiawan, J. Simanjuntak, a E. Rosely, *Inventory Management Application of Drug using FIFO Method*. 2019.
- [51] D. Bogataj, M. Bogataj, a D. Hudoklin, „Mitigating risks of perishable products in

- the cyber-physical systems based on the extended MRP model", *Int. J. Prod. Econ.*, roč. 193, s. 51–62, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.06.028>.
- [52] M. L. Hertog, I. Uysal, U. McCarthy, B. M. Verlinden, a B. M. Nicolaï, „Shelf life modelling for first-expired-first-out warehouse management", *Philos. Trans. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.*, roč. 372, č. 2017, s. 20130306, 2014.
- [53] P. Espinoza-Camino, I. Macassi-Jaurequi, C. Raymundo-Ibañez, a F. Mateos, „Warehouse management model using FEFO, 5s, and chaotic storage to improve product loading times in small- and medium-sized non-metallic mining companies", *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, roč. 796, s. 12012, dub. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/796/1/012012.
- [54] J. Wagenaar, „Consumption order formulations for lot-sizing problems", 2010.
- [55] A. Ilic, T. Staake, a E. Fleisch, „Using Sensor Information to Reduce the Carbon Footprint of Perishable Goods", *IEEE Pervasive Comput.*, roč. 8, č. 1, s. 22–29, led. 2009, doi: 10.1109/MPRV.2009.20.
- [56] M. Bertolini, E. Bottani, A. Rizzi, A. Volpi, a P. Renzi, „Shrinkage reduction in perishable food supply chain by means of an RFID-based FIFO management policy", *Int. J. RF Technol. Res. Appl.*, roč. 5, s. 123–136, pro. 2013, doi: 10.3233/RFT-130052.
- [57] J. Van der Vorst, O. Kooten, W. J. Marcelis, P. Luning, a A. Beulens, „Quality controlled logistics in food supply chain networks: integrated decision-making on quality and logistics to meet advanced customer demands", led. 2007.
- [58] J. Blackburn a G. Scudder, „Supply Chain Strategies for Perishable Products: The Case of Fresh Produce", *Prod. Oper. Manag.*, roč. 18, č. 2, s. 129–137, bře. 2009, doi: 10.1111/j.1937-5956.2009.01016.x.
- [59] J. Butt, „A Conceptual Framework to Support Digital Transformation in Manufacturing Using an Integrated Business Process Management Approach", *Designs*, roč. 4, č. 3, s. 17, čer. 2020, doi: 10.3390/designs4030017.
- [60] K. Tucker, J. Bulim, G. Koch, a M. North, „Internet Industry: A Perspective Review through Internet of Things and Internet of Everything", dub. 2018.
- [61] P. S. Matthews, „How Industrial IoT Will Change Every Business", *IoT Central*, 2019. <https://www.iotcentral.io/blog/how-industrial-iot-will-change-every-business> (viděno dub. 01, 2022).
- [62] R. F. Babiceanu a R. Seker, „Big Data and virtualization for manufacturing cyber-physical systems: A survey of the current status and future outlook", *Comput. Ind.*,

- roč. 81, s. 128–137, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.02.004>.
- [63] Y. Lu, „Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues", *J. Ind. Inf. Integr.*, roč. 6, s. 1–10, čer. 2017, doi: 10.1016/j.jii.2017.04.005.
- [64] E. A. Lee, „Cyber Physical Systems: Design Challenges", in *2008 11th IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC)*, kvě. 2008, s. 363–369, doi: 10.1109/ISORC.2008.25.
- [65] B. Esmailian, S. Behdad, a B. Wang, „The evolution and future of manufacturing: A review", *J. Manuf. Syst.*, roč. 39, s. 79–100, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2016.03.001>.
- [66] A. M. Djuric, R. J. Urbanic, a J. L. Rickli, „A Framework for Collaborative Robot (CoBot) Integration in Advanced Manufacturing Systems", *SAE Int. J. Mater. Manuf.*, roč. 9, č. 2, s. 457–464, dub. 2016, [Online]. Dostupné z: <http://www.jstor.org/stable/26267460>.
- [67] C. Acheson *et al.*, „Using design of experiments to define factory simulations for manufacturing investment decisions", in *Proceedings of the 34th International Manufacturing Conference, Sligo, Ireland, 2017*, s. 30–31.
- [68] F. Bonetti, G. Warnaby, a L. Quinn, „Augmented reality and virtual reality in physical and online retailing: A review, synthesis and research agenda", *Augment. Real. virtual Real.*, s. 119–132, 2018.
- [69] M. Akçayır a G. Akçayır, „Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature", *Educ. Res. Rev.*, roč. 20, s. 1–11, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002>.
- [70] S.-Y. Lee a M. Sung, „OPC-UA Agent for Legacy Programmable Logic Controllers", *Appl. Sci.*, roč. 12, č. 17, s. 8859, zář. 2022, doi: 10.3390/app12178859.
- [71] A. Martins, J. Lucas, H. Costelha, a C. Neves, „Developing an OPC UA Server for CNC Machines", *Procedia Comput. Sci.*, roč. 180, s. 561–570, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.276>.
- [72] „IEC 62541-5:2020 - OPC Unified Architecture - Part 5: Information Model", *IEC*, 2020. .
- [73] Y. Kok *et al.*, „Anisotropy and heterogeneity of microstructure and mechanical properties in metal additive manufacturing: A critical review", *Mater. Des.*, roč. 139, s. 565–586, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.11.021>.
- [74] M. Ghobakhloo a A. Azar, „Business excellence via advanced manufacturing technology and lean-agile manufacturing", *J. Manuf. Technol. Manag.*, 2017.

- [75] P. Gupta, „Modularity enablers: a tool for Industry 4.0“, *Life Cycle Reliab. Saf. Eng.*, roč. 8, č. 2, s. 157–163, čer. 2019, doi: 10.1007/s41872-018-0067-3.
- [76] A. Gilchrist, *Industry 4.0: the industrial internet of things*. Springer, 2016.
- [77] H. Lasi, P. Fettke, H. G. Kemper, T. Feld, a M. Hoffmann, „Industry 4.0“, *Bus. Inf. Syst. Eng.*, 2014, doi: 10.1007/s12599-014-0334-4.
- [78] A. Moreno, G. Velez, A. Ardanza, I. Barandiaran, Á. R. de Infante, a R. Chopitea, „Virtualisation process of a sheet metal punching machine within the Industry 4.0 vision“, *Int. J. Interact. Des. Manuf.*, roč. 11, č. 2, s. 365–373, kvě. 2017, doi: 10.1007/s12008-016-0319-2.
- [79] B. Schleich, N. Anwer, L. Mathieu, a S. Wartzack, „Shaping the digital twin for design and production engineering“, *CIRP Ann.*, roč. 66, č. 1, s. 141–144, 2017, doi: 10.1016/j.cirp.2017.04.040.
- [80] E. Hofmann a M. Rüsç, „Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics“, *Comput. Ind.*, roč. 89, s. 23–34, srp. 2017, doi: 10.1016/j.compind.2017.04.002.
- [81] Feng Zhou, H. B.-L. Duh, a M. Billinghurst, „Trends in augmented reality tracking, interaction and display: A review of ten years of ISMAR“, in *2008 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, zář. 2008, s. 193–202, doi: 10.1109/ISMAR.2008.4637362.
- [82] M. Hankel a B. Rexroth, „The Reference Architectural Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0)“, *ZVEI*, 2015.
- [83] B. Lydon, „RAMI 4.0 Reference Architectural Model for Industrie 4.0“, *InTech*. <https://www.isa.org/intech-home/2019/march-april/features/rami-4-0-reference-architectural-model-for-industr> (viděno lis. 18, 2022).
- [84] S. Jaskó, A. Skrop, T. Holczinger, T. Chován, a J. Abonyi, „Development of manufacturing execution systems in accordance with Industry 4.0 requirements: A review of standard- and ontology-based methodologies and tools“, *Comput. Ind.*, roč. 123, s. 103300, pro. 2020, doi: 10.1016/j.compind.2020.103300.
- [85] H. Meyer, *Manufacturing execution systems: optimal design, planning, and deployment*. McGraw-Hill Education, 2009.
- [86] L. Mayer, N. Mehdiyev, a P. Fettke, „Manufacturing execution systems driven process analytics: A case study from individual manufacturing“, *Procedia CIRP*, roč. 97, s. 284–289, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.239>.
- [87] M. Hermann, T. Pentek, a B. Otto, „Design principles for industrie 4.0 scenarios“,

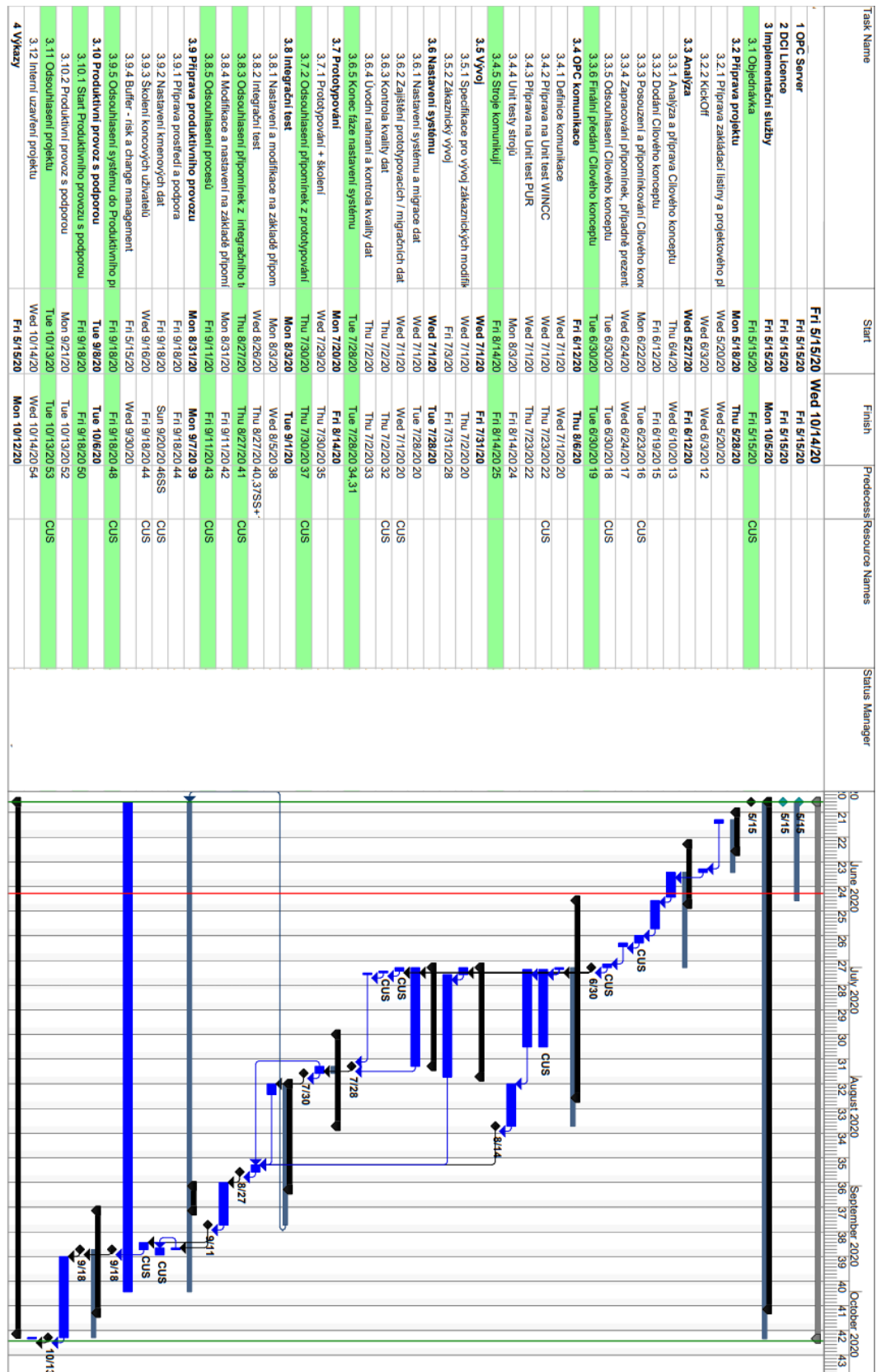
- 2016, doi: 10.1109/HICSS.2016.488.
- [88] C. Wang, X. Chen, A.-H. A. Soliman, a Z. Zhu, „RFID based manufacturing process of cloud MES", *Futur. Internet*, roč. 10, č. 11, s. 104, 2018.
- [89] S. Mantravadi, L. I. Chen, a C. Møller, „Multi-agent Manufacturing Execution System (MES): Concept, architecture & ML algorithm for a smart factory case", in *21st International Conference on Enterprise Information Systems, ICEIS 2019*, 2019, s. 477–482.
- [90] S. Mantravadi a C. Møller, „An overview of next-generation manufacturing execution systems: How important is MES for industry 4.0?", *Procedia Manuf.*, roč. 30, s. 588–595, 2019.
- [91] J. W. Wang, F. Gao, a W. H. Ip, „Measurement of resilience and its application to enterprise information systems", *Enterp. Inf. Syst.*, roč. 4, č. 2, s. 215–223, 2010.
- [92] F. Almada-Lobo, „The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES)", *J. Innov. Manag.*, roč. 3, č. 4, s. 16–21, 2015.
- [93] B. Zwolińska, A. A. Tubis, N. Chamier-Gliszczyński, a M. Kostrzewski, „Personalization of the MES System to the Needs of Highly Variable Production", *Sensors*, roč. 20, č. 22, s. 6484, lis. 2020, doi: 10.3390/s20226484.
- [94] M. Kutil, „Nejspravedlivější ukazatel výkonnosti: OEE ukáže vaši výrobu takovou, jaká doopravdy je", 20121. <https://www.plantyst.cz/vypocet-oee-spravne/> (viděno lis. 22, 2022).
- [95] C. K. M. Lee, Y. Lv, K. K. H. Ng, W. Ho, a K. L. Choy, „Design and application of Internet of things-based warehouse management system for smart logistics", *Int. J. Prod. Res.*, roč. 56, č. 8, s. 2753–2768, dub. 2018, doi: 10.1080/00207543.2017.1394592.
- [96] M. G. Khan, N. U. Huda, a U. K. U. Zaman, „Smart Warehouse Management System: Architecture, Real-Time Implementation and Prototype Design", *Machines*, roč. 10, č. 2, s. 150, úno. 2022, doi: 10.3390/machines10020150.
- [97] M. Torabizadeh, N. M. Yusof, A. Ma'aram, a A. M. Shaharoun, „Identifying sustainable warehouse management system indicators and proposing new weighting method", *J. Clean. Prod.*, roč. 248, s. 119190, bře. 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119190.
- [98] P. J. Reaidy, A. Gunasekaran, a A. Spalanzani, „Bottom-up approach based on Internet of Things for order fulfillment in a collaborative warehousing environment", *Int. J. Prod. Econ.*, roč. 159, s. 29–40, led. 2015, doi: 10.1016/j.ijpe.2014.02.017.

- [99] Hitachi, „Warehouse Management System“, [Online]. Dostupné z: <https://www.hitachi-tstv.com/en/wms>.
- [100] L. S. Valamede a A. C. S. Akkari, „Lean 4.0: A New Holistic Approach for the Integration of Lean Manufacturing Tools and Digital Technologies“, *Int. J. Math. Eng. Manag. Sci.*, roč. 5, č. 5, s. 851–868, říj. 2020, doi: 10.33889/IJMEMS.2020.5.5.066.
- [101] A. Sanders, C. Elangeswaran, a J. Wulfsberg, „Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing“, *J. Ind. Eng. Manag.*, roč. 9, č. 3, s. 811, zář. 2016, doi: 10.3926/jiem.1940.
- [102] A. Mayr *et al.*, „Lean 4.0 - A conceptual conjunction of lean management and Industry 4.0“, *Procedia CIRP*, roč. 72, s. 622–628, 2018, doi: 10.1016/j.procir.2018.03.292.
- [103] „ARIS Community“. <https://ariscommunity.com> (viděno dub. 20, 2023).
- [104] R. Schuitemaker a X. Xu, „Product traceability in manufacturing: A technical review“, *Procedia CIRP*, roč. 93, s. 700–705, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.04.078>.
- [105] M. J. Beliatis, K. Jensen, L. Ellegaard, A. Aagaard, a M. Presser, „Next generation industrial IoT digitalization for traceability in metal manufacturing industry: A case study of industry 4.0“, *Electronics*, roč. 10, č. 5, s. 628, 2021.
- [106] A. Corallo, M. E. Latino, M. Menegoli, a P. Pontrandolfo, „A systematic literature review to explore traceability and lifecycle relationship“, *Int. J. Prod. Res.*, roč. 58, č. 15, s. 4789–4807, 2020.
- [107] Microsoft, „PowerBI“. <https://powerbi.microsoft.com/cs-cz/> (viděno kvě. 06, 2023).
- [108] R. Myšková, „HODNOCENÍ NÁVRATNOSTI INFORMAČNÍHO SYSTÉMU V PODNIKU“, *Univerzita Pardubice*, 2007. https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/35590/MyskovaR_HodnoceniNavratnosti_SP_FES_2007.pdf?sequence=1 (viděno kvě. 08, 2023).
- [109] „I/O moduly Quido“, *Papouch store*. <https://papouch.com/io-moduly/quido/> (viděno bře. 11, 2023).
- [110] „What is HMI?“, *Inductive automation*, 2018. <https://www.inductiveautomation.com/resources/article/what-is-hmi> (viděno bře. 12, 2023).
- [111] G. Garani, A. Chernov, I. Savvas, a M. Butakova, „A Data Warehouse Approach for

- Business Intelligence", in *2019 IEEE 28th International Conference on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises (WETICE)*, 2019, s. 70–75, doi: 10.1109/WETICE.2019.00022.
- [112] H. Choi, S. Lee, a D. Jeong, „Forensic Recovery of SQL Server Database: Practical Approach", *IEEE Access*, roč. 9, s. 14564–14575, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3052505.
- [113] N. K. Shimbun, *Poka-yoke: Improving product quality by preventing defects*. Crc Press, 1989.
- [114] S. Wheeler, „e-Learning and Digital Learning", in *Encyclopedia of the Sciences of Learning*, N. M. Seel, Ed. Boston, MA: Springer US, 2012, s. 1109–1111.

Přílohy

Příloha 1 - Projektový plán ve společnosti A



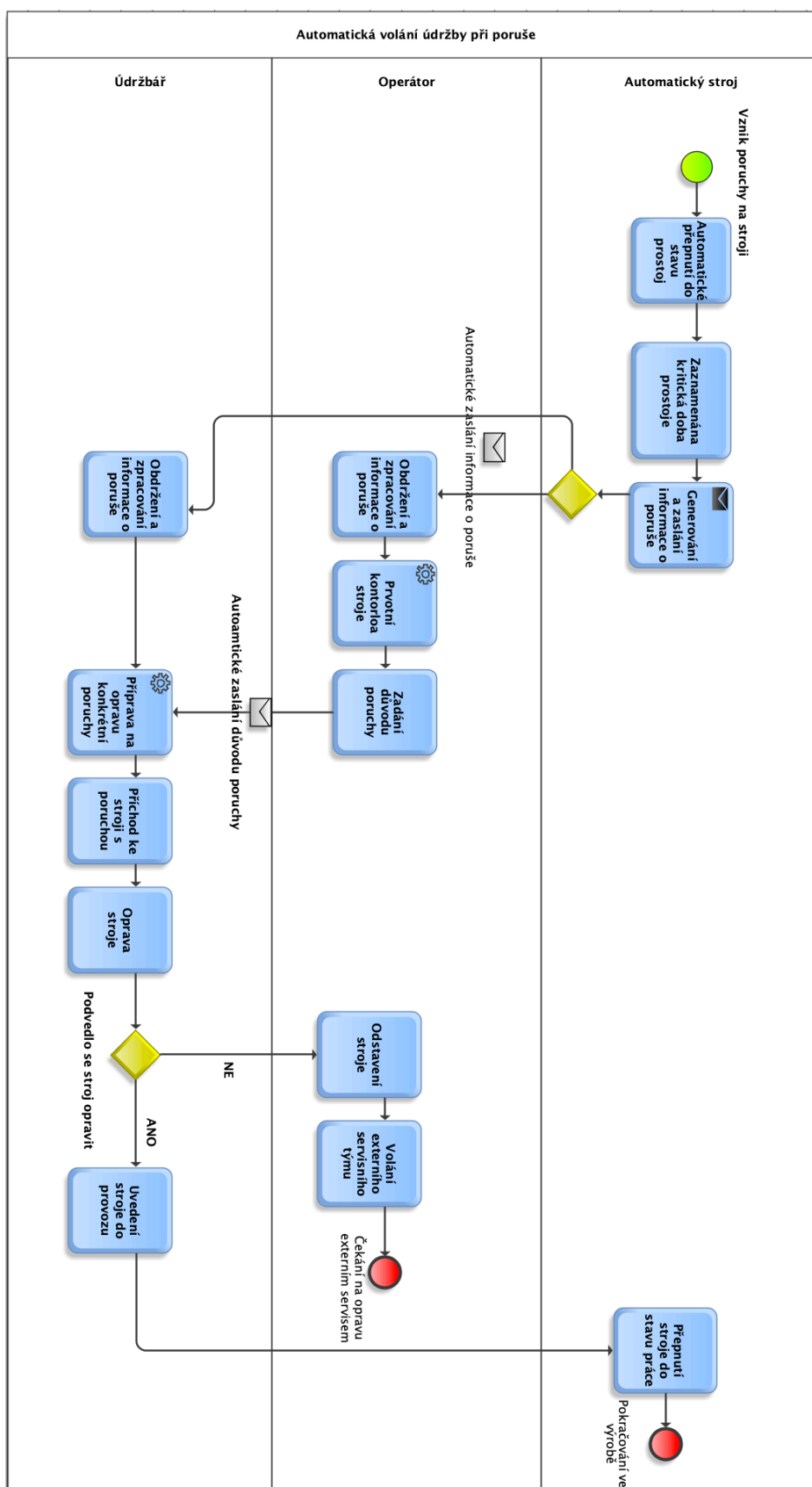
Príloha 2 – Plánovaný Projektový plán ve spoločnosti B

Milestones	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Target concept acceptance																											
Project kick-off																											
Integration definition																											
HW preparation																											
System setup																											
Prototyping - operator's transactions without machines																											
Setup and modifications according remarks from Prototyping																											
End users training																											
Prototyping - type 1																											
Setup and modifications according remarks from Prototyping																											
End users training																											
Integration test - type 1																											
Prototyping - type 2																											
Setup and modifications according remarks from Prototyping																											
End users training																											
Integration test - type 2																											
Prototyping - type 3																											
Setup and modifications according remarks from Prototyping																											
End users training																											
Integration test - type 3																											
Prototyping - type 4																											
Setup and modifications according remarks from Prototyping																											
End users training																											
Integration test - type 4																											
Go-live																											
Project closure																											

Příloha 3 – Reálný Projektový plán ve společnosti B

Milestones	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	2	3	4	5	6	7	8	
Target concept acceptance																																		
Project Kick-off																																		
Integration definition																																		
H/W preparation																																		
System setup																																		
Prototyping - operator's transactions without machines																																		
Setup and modifications according remarks from Prototyping																																		
End user training																																		
Prototyping - quido																																		
Setup and modifications according remarks from Prototyping																																		
End user training																																		
Integration test - all																																		
Go live - all																																		
Project closure																																		

Příloha 4 - Automatická práce s údržbou BPMN



Příloha 5 - OEE report v Power BI od společnosti C

