

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA MATERIÁLŮ A TECHNOLOGIÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Řízení výrobních procesů v rámci iniciativy Průmyslu

4.0

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Marek OSVALD**
Osobní číslo: **E18B0152P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Téma práce: **Řízení výrobních procesů v rámci iniciativy Průmysl 4.0**
Zadávající katedra: **Katedra materiálů a technologií**

Zásady pro vypracování

1. Popište metody a nástroje využívané k řízení výrobních procesů.
2. Vysvětlete pojem Průmysl 4.0.
3. Vyberte metody a nástroje využitelné k řízení výrobních procesů v rámci iniciativy Průmysl 4.0.
4. Zhodnoťte využitelnost vybraných metod.




Rozsah bakalářské práce: **30 – 40 stran**
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. MAŘÍK, Vladimír. Průmysl 4.0: výzva pro Českou republiku
2. GEORGE, L., M.: Kapesní příručka Lean Six Sigma: rychlý průvodce téměř 100 nástroji na zlepšování kvality procesů, rychlosti a komplexity
3. KERKOVSKÝ, Miroslav a VALSA Ondřej. Moderní přístupy k řízení výroby
4. Elektronické informační zdroje (IEEE, Scencedirect)

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Pavel Štáhl**
Regionální inovační centrum elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **9. října 2020**
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. května 2021**



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



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

V Plzni dne 9. října 2020

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá metodami a nástroji spojenými s iniciativou Průmyslu 4.0, které se využívají pro řízení výrobních procesů. Je zde popsán proces výroby včetně jeho řízení a následně jsou vysvětleny tradiční metody k tomu určené. Práce zahrnuje objasnění pojmu Průmysl 4.0 a jeho charakteristické ideologie a technologie jsou v práci aplikovány na tradiční metody za účelem zlepšení jejich parametrů. Popsány jsou i technologie nebo systémy, které přímo souvisí s Průmyslem 4.0. V poslední části práce jsou charakterizovány výhody, nevýhody, benefity a rizika spojené s implementací metod, nástrojů a technologií do podniku.

Klíčová slova

Proces, řízení výroby, MRP, ERP, Kanban, JIT, Jidoka, Lean Manufacturing, Průmysl 4.0, CPS, IoT, JIT 4.0, Kanban 4.0, Jidoka 4.0, MES, PLM, Digitální vlákno, Digitální dvojče.

Abstract

The bachelor thesis deals with methods and tools related with the Industry 4.0 initiative, which are used for production process management. The production process is described including its management. There are also traditional methods designed for this purpose explained. In the thesis is included clarification of the concept of Industry 4.0 and its characteristic ideologies and technologies are applied to traditional methods to improve their parameters. Technologies or systems which are directly associated with Industry 4.0 are also described. The last part of the thesis characterizes advantages, disadvantages, benefits and risks related to the implementation of methods, tools and technologies in the enterprise.

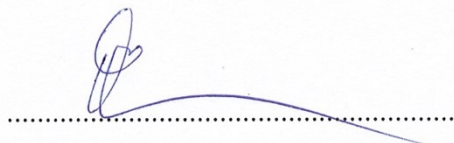
Key words

Process, production management, MRP, ERP, Kanban, JIT, Lean Manufacturing, Industry 4.0, CPS, IoT, JIT, Kanban 4.0, Jidoka 4.0, MES, PLM, Digital Thread, Digital Twin.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.



podpis

V Plzni dne 23.5.2021

Marek Osvald

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce, panu ing. Pavlu Štáhlovi, za ochotu, přínosné rady a pomoc při zpracovávání mé práce.

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	11
1 POPIŠTE METODY A NÁSTROJE VYUŽÍVANÉ K ŘÍZENÍ VÝROBNÍCH PROCESŮ	12
1.1 PROCES.....	12
1.1.1 Členění procesů	12
1.1.2 Výrobní proces.....	13
1.2 ŘÍZENÍ PROCESŮ	15
1.2.1 Řízení výroby.....	15
1.3 MRP – MATERIAL REQUIREMENTS PLANNING.....	16
1.3.1 Vstupy MRP	16
1.3.2 Výstupy MRP.....	17
1.3.3 Přínosy MRP.....	17
1.3.4 Nedostatky MRP	18
1.4 MRP II – MANUFACTURING RESOURCE PLANNING II.....	18
1.4.1 Přínosy MRP II	18
1.4.2 Nedostatky MRP II.....	18
1.5 ERP – ENTERPRISE RESOURCE PLANNING.....	19
1.5.1 Přínos ERP	19
1.5.2 Nedostatky ERP	20
1.6 KANBAN	21
1.7 JIT – JUST IN TIME.....	21
1.7.1 Přínosy JIT.....	22
1.7.2 Nedostatky JIT	23
1.8 JIDOKA	23
1.9 LEAN MANAGEMENT	24
1.10 FIFO – FIRST IN FIRST OUT	25
2 VYSVĚTLETE POJEM PRŮMYSL 4.0	27
2.1 ZMĚNY ZPŮSOBENÉ PRŮMYSEM 4.0.....	28

2.1.1	<i>Digitální transformace</i>	29
2.1.2	<i>Automatizace</i>	30
2.2	CYBER-PHYSICAL SYSTEM (CPS).....	30
2.3	INTERNET OF THINGS (IoT)	31
2.4	CLOUD COMPUTING	33
2.5	SMART FACTORY	33
2.6	PREDIKCE TECHNOLOGIÍ PŘIJATÝCH V PODNICÍCH DO ROKU 2025.....	35
2.7	RIZIKA A NEGATIVA PRŮMYSLU 4.0	36
3	VYBERTE METODY A NÁSTROJE VYUŽITELNÉ K ŘÍZENÍ VÝROBNÍCH PROCESŮ V RÁMCI INICIATIVY PRŮMYSL 4.0.....	38
3.1	JIT 4.0.....	38
3.2	KANBAN 4.0	39
3.3	JIDOKA 4.0.....	41
3.4	LEAN MANAGEMENT 4.0	41
3.5	MES – MANUFACTURING EXECUTION MANAGEMENT	42
3.6	PLM – PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT	45
3.7	DIGITÁLNÍ VLÁKNO	46
3.8	DIGITÁLNÍ DVOJČE	47
4	ZHODNOŤTE VYUŽITELNOST VYBRANÝCH METOD	50
4.1	METODY 4.0	52
4.1.1	<i>Implementace JIT 4.0</i>	53
4.1.2	<i>Implementace Kanban 4.0</i>	54
4.1.3	<i>Implementace Jidoka 4.0</i>	54
4.2	IMPLEMENTACE MES	54
4.3	IMPLEMENTACE PLM	55
4.4	IMPLEMENTACE DIGITÁLNÍHO DVOJČETE	56
	ZÁVĚR.....	57
	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	58
	PŘÍLOHY	1

Úvod

Využívání Průmyslu 4.0 ve výrobních podnicích je aktuální téma. Podniky se snaží podstoupit digitální transformaci, automatizovat nejen výrobu, ale i řídicí nebo podpůrné procesy. K tomu je využíváno IoT, Velká data, senzory a aktivní členy, které měří v reálném čase a množství další technologie typické pro Průmysl 4.0. Díky tomu se zvyšuje efektivita podniku, který tím udržuje svoji konkurenceschopnost. Nedílnou součástí těchto inovací je právě řízení výrobních procesů s využitím Průmyslu 4.0, kterým se tato práce zabývá.

V prvním bodě bakalářské práce je nejdříve obecně popsán proces a výroba včetně jejich charakteristik. Následně jsou popsány konkrétní metody pro řízení výrobních procesů, které nevyužívají prvky Průmyslu 4.0.

V druhém bodě je vysvětlena iniciativa Průmysl 4.0 se svými základními technologiemi. Jsou zmíněny i změny, výhody nebo rizika, které jsou s Průmyslem 4.0 spojovány.

V další části jsou popsány metody pro řízení výrobních procesů obohacené o charakteristické technologie již zmiňovaného Průmyslu 4.0. Zároveň jsou do třetího bodu zařazené i systémy, které fungují na principech Průmyslu 4.0. Jsou zmíněny výhody, které nastávají při vzájemné spolupráci některých systémů a metod v podniku. Současně jsou vysvětleny pojmy jako Digitální vlákno nebo Digitální dvojče, které vedou podnik právě k digitální transformaci.

V poslední části práce je zhodnocení metod, systémů a technologií z třetího bodu. Jsou zde popsány překážky, na které si dát pozor při implementaci, a co musí udělat podnik, aby pro něj bylo zavedení inovací výhodné.

Seznam symbolů a zkratk

MPS.....	Hlavní plán výroby
MRP.....	Plánování potřeby materiálu
BOM.....	Kusovník
MRP II	Plánování potřeby materiálu II
CRP.....	Plánování kapacitních potřeb
ERP.....	Plánování podnikových zdrojů
IS.....	Informační systém
IT	Informační technologie
JIT.....	Just in Time
CPS.....	Kyberfyzikální systémy
IoT	Internet věcí
CD.....	Kompaktní disk
ISA.....	Mezinárodní společnost pro automatizaci
VEO.....	Virtuální inženýrské objekty
M2M.....	Machine-to-machine
RFID	Identifikace na rádiové frekvenci
GPS.....	Globální polohový systém
WSN	Síť bezdrátových senzorů
MES.....	Výrobní informační systém
AGV	Automatizovaná řízená vozidla
AM.....	Aditivní výroba
3D	Trojdímenzionální
VS.....	Virtuální simulace
LM.....	Štíhlá výroba
PLM.....	Řízení životního cyklu výrobku
HR.....	Lidské zdroje

1 Popište metody a nástroje využívané k řízení výrobních procesů

1.1 Proces

Pod pojmem proces je možné si představit soubor logicky návazných strukturovaných činností nebo úloh, kde je jako výstupní bod brán výsledný produkt nebo služba pro daného zákazníka, kterým je osoba nebo organizace. Pro vznik tohoto výsledku je důležitý podíl několika činností, které spolu navzájem souvisí a vzájemně se ovlivňují. [1]

Definice procesu a procesního řízení jsou uvedeny v mnoha knihách a publikacích. Například jedna z prvních publikací, kde se objevily základy procesního řízení od Hammera & Champyho, říká: „*Proces je soubor činností, který vyžaduje jeden nebo více druhů vstupů a tvoří výstup, který má pro zákazníka hodnotu.*“ [2].

Řepa definuje proces jako: „*Souhrn činností, transformující souhrn vstupů do souhrnu výstupů (zboží nebo služeb) pro jiné lidi nebo procesy, používající k tomu lidi nebo nástroje.*“ [3].

V normě ČSN EN ISO 9001:2016 se píše: „*Činnost nebo soubor činností, které využívají zdroje a jsou řízeny za účelem přeměny vstupů na výstupy lze považovat za proces.*“ [4].

Z těchto citací je zřejmé, že definice procesu se v literaturách objevují téměř stejné.

Pro proces je velmi důležitá časová posloupnost. Každá činnost je vykonána v jistém čase. Na časové ose lze tedy jednotlivé činnosti vždy srovnat do jednoznačné posloupnosti. K podnikovému procesu neodmyslitelně patří: cíl, úmysl, objektivní přirozenost postupu a objektivně dané podmínky. Tyto aspekty jsou pro podnikové procesy charakteristické a odlišují je od jiných. [5,6]

1.1.1 Členění procesů

Existuje mnoho způsobů, jak se procesy člení. Ovlivňuje to mnoho různých aspektů a kritérií. Nejčastěji se rozdělují podle důležitosti a účelnosti procesu, díky čemu je možné stanovit způsob jakým by měl být proces řízen a jaké jsou priority při případném

reengineeringu. [7]

Rozdělení procesů podle účelu na tři druhy [6]:

- ***Klíčové procesy***

Jedná se o procesy, které přímo podporují hlavní náplň organizace, a které vedou k uspokojení koncového zákazníka.

- ***Řídící procesy***

Díky těmto procesům je zajištěn rozvoj a řízení výkonu organizace. Zaručují celistvost a fungování organizace za pomoci zajištění správného fungování ostatních procesů.

- ***Podpůrné procesy***

Jejich úkolem je podpora fungování ostatních procesů. Tyto procesy jsou hlavně důležité pro interního zákazníka a může se jednat například o servis, zabezpečení nebo určitou pomoc pro klíčové procesy.

1.1.2 Výrobní proces

Výrobní proces je systém veškerých dílčích podnikových procesů, kde dochází k transformaci surovin a materiálů na výrobky. Může se jednat o procesy pracovní, kde je přímá účast člověka, dále automatické, na kterých se člověk nepodílí, anebo přírodní, kde se projevuje působení přírodních vlivů, jejichž podmínky ale připravil člověk. Výrobní proces zahrnuje čtyři druhy výroby [8]:

- ***Hlavní výrobu***

Její výsledný výrobek tvoří hlavní náplň výroby.

- ***Vedlejší výroba***

Zahrnuje polotovary nebo náhradní díly.

- ***Doplňkovou výrobou***

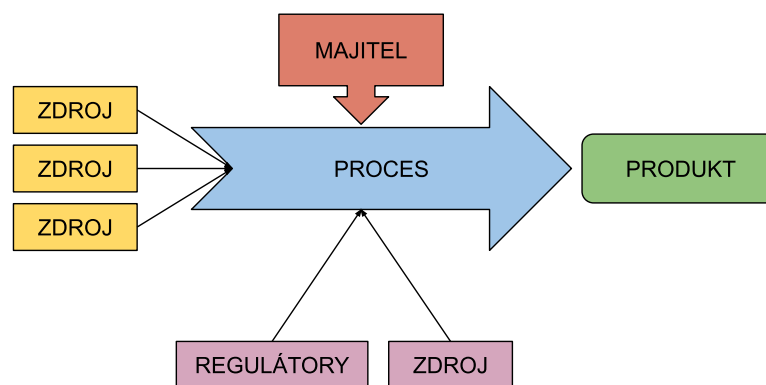
Zpracovává odpad z hlavní a vedlejší výroby.

- ***Přidruženou výrobou***

Liší se od ostatních charakterem výroby.

Lze také říct, že výrobní proces je velmi závislý na transformaci (montáž, demontáž, změny tvaru nebo kvality), kontrole (pro porovnání se standardem), dopravě a skladování (doba, kdy nedochází k žádné z výše uvedených činností).

Na obrázku *Obr. 1* je znázorněn pro představu diagram jednoho velmi jednoduchého výrobního procesu, který se skládá ze 3 zdrojů (v reálné výrobě může být libovolný počet), které jsou na základě výrobního procesu přeměněny na výsledný produkt. Na tento výrobní proces má vliv majitel, tím je myšleno například manažer nebo vedoucí provozu. Dalším aspektem, který zasahuje do procesu, jsou regulátory (regulátor výroby může být například norma nebo směrnice). Další položkou na obrázku je zdroj, který je přiřazen až do průběhu procesu. Ne všechny zdroje jdou hned od počátku. Poslední položkou je produkt, což je výsledek celého procesu.



Obr. 1 - Diagram výrobního procesu

Další možností, jak dělit výrobní procesy, je na základě množství výrobků vyráběných najednou. Rozdělují se čtyři následující typy výroby [9]:

- **Zakázková výroba („custom-order production“)**

Každý produktový kus je unikátní a dle požadavků zákazníka.

- **Pevná hromadná výroba („rigid mass production“)**

Zahrnuje standardizaci materiálu, nástrojů, součástí a výsledného výrobku.

- **Pružná hromadná výroba („flexible mass production“)**

Jedná se o kombinaci dvou výše zmíněných typů.

- ***Proudová výroba („low production“)***

Kontinuální produkce identického výrobku.

1.2 Řízení procesů

Řízení procesu je činnost, která využívá znalosti, schopnosti, metody, nástroje a systémy k tomu, aby identifikovala, popisovala, měřila, hodnotila a zlepšovala procesy se záměrem efektivního pokrytí potřeb zákazníka procesu. Tato činnost zahrnuje několik aktivit [10]:

- ***Definice procesů***
- ***Stanovení jednotlivých rolí, které jsou v procesu zahrnuté a odpovědnosti za jeho výstupy***
- ***Řízení procesních toků***
- ***Hodnocení výkonosti procesů***
- ***Identifikace příležitostí k lokálnímu zlepšování procesů a vlastní implementace změn***

1.2.1 Řízení výroby

V návaznosti na předchozí kapitolu lze konstatovat, že výroba spočívá v přeměně vstupů ve výstupy. Pokud se jedná o řízení výroby, lze se setkat s různými druhy metod, které se tímto tématem zabývají a aplikují ho v praxi. Tyto metody často řeší témata jako operativního řízení výroby, plánování a organizaci výroby nebo produkční portfolio s produktovou strategií. [8]

Metody se hlavně liší logistickým tokem plnění zákaznických požadavků v průběhu jejich realizace. Metody se mohou rozdělit na dva hlavní typy [10]:

- ***Princip tahu (pull system)***

Ve výrobě je prováděno jen to, co je objednáno, takže realizace produktu je prováděna až po inicializaci odběratele. Může se tedy říct, že zákazník kupuje to, co chce. Označení tažný princip se používá, protože táhne materiálové požadavky na komponenty v podobě objednávek od zákazníka k dodavateli.

- ***Princip tlaku (push system)***

Tento princip protlačuje danou zakázku celou výrobou, kde se realizuje produkt podle plánu a nečeká se na iniciativu od odběratele. Předem jsou stanoveny termíny pro objednání materiálu a operace ve výrobě jsou zahajovány v závislosti na zajištění výsledného termínu pro dodávku zboží.

1.3 MRP – Material Requirements Planning

Metoda MRP – Material Requirements Planning se do češtiny překládá jako metoda plánování materiálových požadavků. Joseph Orlický v roce 1975, po studii výrobního programu firmy Toyota, sepsal knihu [11], která MRP metodu popisuje. V následujících letech byla tato metoda studována, rozšiřována a sepsána v několika dalších významných publikacích, jako jsou například tyto knihy [12, 13, 14].

Jedná se o typický tlačicí systém. Tato metoda se může mírně lišit v závislosti na typu výrobku nebo různých potřeb, ale v principu je vždy stejná. Reaguje na zákazníky, kteří požadují dostupnost výrobku v kratším čase, než je jejich doba výroby a z toho vyplývá, že je potřeba zavést ve společnosti určitou úroveň plánování. Je důležité, aby se metoda MRP stala součástí celého systému výroby včetně informačního systému, a tedy bylo kontrolováno a plánováno množství materiálu, komponentů a součástí, které se objednává. Plánovat by se mělo také tak, aby byly uspokojeny současné i budoucí požadavky zákazníků. [15]

1.3.1 Vstupy MRP

Hlavními problémy, kterými se tato metoda zabývá je, jaké materiály jsou požadovány, kolik materiálu je potřeba a zároveň kdy se výrobek má dodat. Na základě toho jsou vytvořeny čtyři vstupy MRP systému [16]:

- **Hlavní výrobní plán (Master Production Schedule – MPS)**

Zde se vkládají předpovědi poptávky i objednávky zákazníků. MPS je plán, který společnost vyvíjí pro výrobu, personální zajištění nebo zásoby. Jedná se o plán budoucí výroby, který zahrnuje množství, která potřebujete k výrobě produktů ve stanoveném časovém období. Zahrnuje také náklady na zásoby, výrobní náklady, informace o zásobách, velikost šarže, dodací lhůtu a vývojovou kapacitu.

- **Předpověď poptávky**

Jedná se o předpověď pravděpodobné poptávky na produkt nebo službu. Zakládá se na historii v účetnictví a na analýze současných trendů.

- ***Evidence zásob***

Součástí jsou materiály, komponenty nebo produkty, které jsou objednané nebo již naskladněné.

- ***Kusovníky materiálů (Bill of Materials – BOM)***

V tomto dokumentu je uváděn detail materiálů a komponentů, které jsou požadovány pro výrobu každého výrobku.

1.3.2 Výstupy MRP

Výstupy metody jsou rozděleny na tři druhy [17]:

- ***Seznamy pro nákup a výrobu***

Seznam obsahuje výpis materiálů a komponentů přesně specifikovaných, včetně harmonogramu nákupu.

- ***Dokumentace pro výrobu***

Jedná se o všechny dokumenty, které jsou zhotovené díky vloženým údajům.

- ***Upozornění***

Zde se objevují nesrovnalosti, které vyjdou najevo při vyhodnocování (nereálné termíny, chybné objednávky, dostupnost zdrojů).

1.3.3 Přínosy MRP

V případě nepoužívání žádné metody pro řízení zásob a výroby v podniku začnou vznikat problémy v podobě zdržení výroby nebo také ztráty finančních prostředků. Proto MRP může být užitečné v jakkoliv velkém podniku. [12]

Hlavními přínosy lze vidět ve využití výrobních kapacit a v nízké úrovni rozpracované výroby. Velkou výhodou je znalost jednotlivých materiálových potřeb, díky které vzniká přesný harmonogram pro plánování nákupu a řízení výroby. Na základě toho se snižují náklady na skladování. MRP se může stát dobrým prostředkem pro odstranění nepotřebných zásob a zároveň vzniká možnost získat průběžnou dobu výroby.

1.3.4 Nedostatky MRP

V případě vzniku jakékoliv chyby s integrováním dat v evidenci zásob, kusovníků a pracovních postupů nebo v jiných parametrech důležitých pro MRP, budou výstupy ze systému chybné, a to může generovat velkou zmetkovost a finanční ztrátu do té doby, než se chyba odhalí. Dodací lhůty mohou navíc zničit MRP. Požadovaná dodací lhůta se může změnit v závislosti na produktu a MRP předpokládá, že dodací lhůta je pro každý produkt vždy stejná, bez ohledu na změny v dodávkách, požadovaném množství nebo možné současné výrobě dalších produktů a vyžaduje velkou, složitou databázi. [16]

1.4 MRP II – Manufacturing Resource Planning II

Metoda MRP II vznikla v roce 1980, kdy Oliver Wighton rozšířil Orlického plánování výrobních požadavků. Toto rozšíření nebo inovace spočívá ve zohlednění aktuálního stavu kapacit. Můžeme tedy říct, že to je klasické MRP s přidáním CRP (Capacity Requirements Planning) v překladu jako kapacitní plánování výroby.

Tato metoda stejně jako MRP, ze kterého vychází, pracuje s informacemi ze zákaznických objednávek. Je zde opět využito kusovníků, sestavuje se plán pro objednávku materiálu pro zajištění včasného zahájení výrobní operace a včasného dodání zákazníkovi. Přidanou hodnotou MRP II je plánování dopředu, které je umožněno zohledněním kapacit zdrojů a zároveň určuje délku realizace výrobní zakázky. [18]

1.4.1 Přínosy MRP II

Mezi hlavní přínosy může být zařazeno propojení výroby s oblastmi řízení podniku. Dále je MRP II velmi užitečné pro plánování materiálových požadavků. Metoda také částečně řeší simulaci předcházejících problémů.

1.4.2 Nedostatky MRP II

Tato metoda nese i různé nedostatky, mezi které se může zařadit velikost odhadovaných časů nakupovaných položek nebo velikost časů přechodu mezi pracovišti. Problémové může také být, že se jedná o sériové, a ne paralelní chody kapacitního plánování vůči materiálovému plánování, a je potřeba mít zaškolené poměrně velké množství pracovníků pro tento systém.

1.5 ERP – Enterprise Resource Planning

Jedním z hlavních faktorů konkurenční výhody je urychlení procesu řetězce dodávání. Díky tomu se začal rozvíjet výzkum v informačních systémech (IS) známých jako systémy plánování podnikových zdrojů – ERP. Implementace systému ERP může být považována jako jeden z nejúčinnějších způsobů sledovatelnosti, protože usnadňuje integraci mezi jednotlivými procesy, správu a analýzu dat z jednotlivých částí procesů. Implementace tohoto systému do firmy není úplně jednoduchá a je potřeba na ni vynaložit velké množství financí. Doba pro zakomponování ERP do společnosti je dlouhá a navíc systém vede ke změnám, které mohou být pro celý podnik rušivé. Povedená implementace znamenala pro spoust firem značné zlepšení, ovšem je i mnoho příkladů, kdy zavádění ERP značně ovlivnilo společnost k horšímu, protože během zakomponování systému vznikly komplikace. [19, 20, 21]

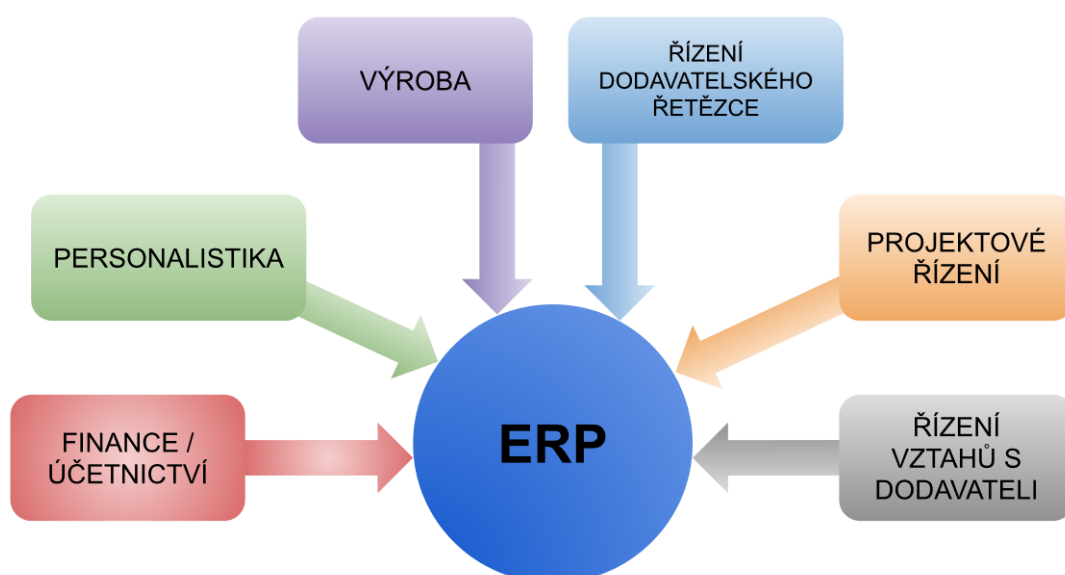
Rosseman definuje ERP jako cenově dostupný standardní aplikační software, který zahrnuje integrované obchodní řešení pro základní procesy (např. plánování a řízení výroby, řízení skladu) a hlavní administrativní funkce (např. účetnictví, řízení lidských zdrojů) podniku. [22]

Gable říká, že ERP je komplexní balíček softwarových řešení, který se snaží integrovat kompletní škálu podnikových procesů a funkcí, aby poskytl holistický pohled na podnikání z jediné informace a IT architektury. [23]

Systémy ERP fungují v podstatě na integraci údajů o zásobách s finančními, prodejními a lidskými údaji, což umožňuje organizacím oceňovat jejich produkty, vytvářet finanční výkazy a efektivně spravovat své zdroje lidí, materiálů a peněz. Dále ERP zahrnuje další funkce, jako je účetnictví a řízení prodeje. Je tedy zjevné, že ERP zahrnuje MRP a MRP II, navíc obohacené o další funkce. [24]

1.5.1 Přínos ERP

Jedním z významných rysů softwaru ERP je, že klíčové podnikové činnosti, jako například výroba, lidské zdroje, finance, řízení dodavatelského řetězce, projektové řízení a řízení vztahů s dodavateli (jak je vidět i na obrázku *Obr. 2*), jsou automatizovány a výrazně zlepšeny začleněním osvědčených postupů, aby se usnadnila větší manažerská kontrola, rychlé rozhodování a obrovské snížení provozních nákladů podniku. Společnost díky ERP dokáže rychle reagovat na konkurenční tlaky a tržní příležitosti, být flexibilnější, snížit zásoby a zvýšit produktivitu. [26]



Obr. 2 - ERP a jeho činnosti (podle zdroje: [25])

1.5.2 Nedostatky ERP

Implementace do společnosti je velmi drahá. Náklady nezávisí pouze na koupi systému a jeho zařazení do provozu, ale nedílnou součástí, která tvoří značnou položku, jsou samotné konzultace, zaškolování na práci se systémem a jeho ovládání. Zároveň samotná implementace systému není snadná a špatné provedení může zásadně ovlivnit chod celé společnosti.

1.6 Kanban

Slovo Kanban v japonštině znamená „štítek“ nebo „kartička“ a tento štítek zahrnuje veškeré informace, které potřebuje dělník, aby byla zajištěna plynulost výroby při optimální výši mezioperačních zásob. Tato metoda byla využita poprvé v praxi v padesátých letech 20. století v japonské firmě Toyota. Po úspěchu v této společnosti se tento systém společně s JIT (Just In Time) rozšířil po celém světě ve výrobních a obchodních firmách. Hlavním zaměřením Kanbanu je přesně určit, co je třeba udělat, a kdy je třeba to udělat. Je to prováděno tak, že se upřednostňují úkoly a definuje se pracovní postup i dodací lhůta. [27]

Kanbanový systém je známý jako „pull“ (tažný) systém. To znamená, že výroba jednoho stupně závisí na poptávce následujících stupňů. Předchozí stupeň musí produkovat pouze přesné množství odebrané následným stupněm výroby. Jednotlivé stupně výrobního procesu se dají vysvětlit jako interní dodavatelé a odběratelé, kdy dodavatel vždy ručí za kvalitu své práce a produktu a odběratel má zase povinnost objednávku vždy převzít. Dodavatel s odběratelem spolu fungují synchronně a nevytvářejí žádné zásoby. Tímto způsobem byl vybudován systém Kanban, který indikuje, co je v každé fázi výroby potřeba a umožňuje různým fázím vzájemně efektivně komunikovat. Na každé stanici je možné najít název produktu, kód, objem a další informace. [28]

Nejllepší využití si metoda Kanban najde ve velkosériové výrobě, kde nejsou časté změny, protože prodej má fixní charakter a produkty nejsou prakticky ovlivňovány podle požadavků zákazníka. Kanban vytváří ve výrobě plynulost provozu a vysokou produktivitu. [29]

Nevýhoda může nastat ve chvílích, kdy dochází k velkým změnám požadavků na konečný výrobek nebo má proces výroby velikou pestrost a není možné zaručit jednosměrný tok materiálu.

1.7 JIT – Just in Time

Principem metody Just in Time (JIT) je úplné odstranění výrobních ztrát využíváním přesného množství surovin a materiálu na správném místě a ve správný čas.

JIT je japonská metoda řízení výroby vyvinutá v 70. letech. Poprvé ji přijaly výrobní závody Toyota od Taiichi Ohno. V té době bylo hlavním zájmem uspokojení požadavků

spotřebitelů. [30] Po prvním zavedení JIT společností Toyota na ni navázalo mnoho dalších. Kolem poloviny 70. let získala širokou podporu a využití v mnoha společnostech.

Metoda JIT může být také brána jako systematický přístup, který minimalizuje zásoby tím, že dodávky do výrobních a distribučních míst dorazí pouze v případě potřeby. [31] Na základě toho se vyrábí jen určité typy výrobků, v žádaném množství a v požadovaném čase, při zajištění nejvyšší kvality tak, aby bylo možné odstranit důvody, pro které musí být udržovány zásoby. [32]

Pro co nejlepší fungování metody JIT je tedy důležitá údržba návaznosti jednotlivých částí výrobního procesu a vyloučení náhodnosti, aby se nikde ve společnosti nehromadily zásoby. Aby tento způsob fungoval, je důležitá dobrá komunikace a spolupráce všech pracovníků napříč společností. Pracoviště musí být kvalitně logisticky zorganizované, aby nedocházelo k prodlevám. [33]

Výše zmíněný Ohno byl přesvědčen, že hlavním prvkem pro úspěch je odstranění veškerého plýtvání. Někdy se tento cíl, odstranit veškeré plýtvání, nazývá „sedm plýtvání“ a zapadá do něj několik faktorů [34]:

- *Nadprodukce*
- *Čekání*
- *Přeprava*
- *Nadměrné zpracování*
- *Zásoby*
- *Čas při manipulaci*
- *Zmetkovost*

I přesto, že ne všechny body lze splnit, alespoň přiblížení se k nim by znamenalo ohromný ekonomický přínos. [32]

1.7.1 Přínosy JIT

Jeden z mnoha přínosů, které metoda JIT obnáší je snížení odpadu. Může se jednat o odpad ze surovin, odpad během výroby nebo procesu a odpad hotových výrobků. Dále se zlepšuje komunikace jak na úrovni interní, tak na úrovni externí, například mezi společnostmi a zákazníky. Samozřejmě se jedná o snížení zásob a zkracuje se doba zpracování a celkovou

dobu výroby, což vede k rychlejšímu dodání produktu finálnímu zákazníkovi. Zavedením JIT se i několikrát zvedne produktivita ve výrobě a tím se i zmenšuje doba prostojů. Z některých již zmíněných přínosů plyne, že se zmenší jak plocha potřebná na výrobu, tak i prostor potřebný pro skladování. V neposlední řadě to sníží celkové výrobní náklady o několik procent. [33]

1.7.2 Nedostatky JIT

Mezi nedostatky metody JIT patří poměrně složitá implementace metody JIT celým systémem podniku. Velikým rizikem je příliš rychlá a nedostatečně naplánovaná implementace metody s rychlým snižováním zásob. To vede k dostání dodavatelů a pracovníků pod tlak, protože pokud dojde ke zpoždění, je ohrožen celý systém. Mohou tím ve společnosti vznikat zmatky a nejasnosti. Zároveň se nejedná o levnou záležitost. Dalším nedostatkem může být ztráta autonomie týmu. Metoda JIT vede k nižší flexibilitě pracovníků při individuálním řešení problému. Stejně tak může vzniknout nedostatek spolupráce ze strany prodejců ve formě nekonzistentního načasování, nedostatek zdrojů pro investice do přímých vazeb s prodejci a neochota pracovníků k plnění více úkolů. [33]

1.8 Jidoka

Počátky této metody opět sahají do Japonska, kde v roce 1902 Sakichi Toyoda (zakladatel Toyota Motors Company) vytvořil automaticky aktivovaný tkalcovský stroj. Stroj zastavil, jakmile se jedna z nití přetrhla, a nebylo nutné, aby u stroje vždy stála obsluha a hlídala, jestli je vše v pořádku. [35]

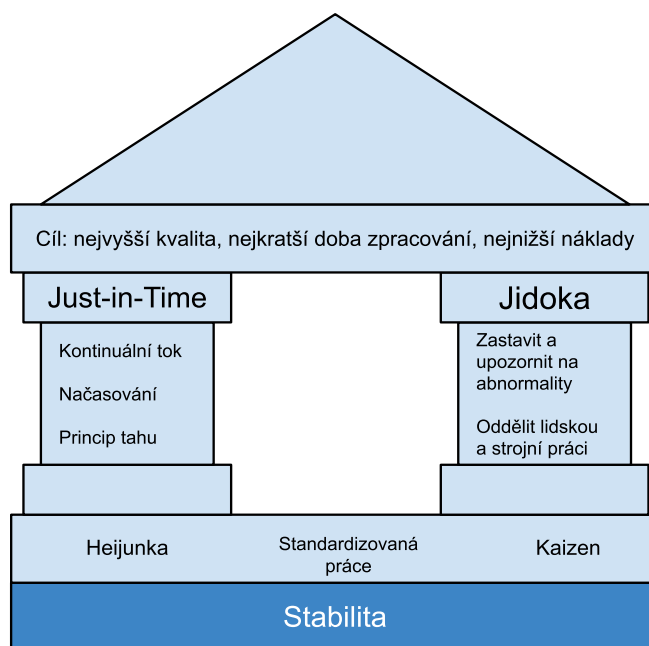
Metoda Jidoka, neboli automatizace s lidskou inteligencí, je často definována jako automatické zastavení výrobního procesu nebo výrobní linky v případě poruchy nebo vady na zařízení. [36] Metoda je převážně zaměřena na zavedení kvality do výrobního procesu, ale také se to týká zvýšení produktivity. Díky tomu, že metoda zahrnuje analýzu vzniklých chyb v reálném čase, umožňuje zjištění základní příčiny závady a následně její eliminování. Dalším faktorem, proč je Jidoka využívána ve výrobních procesech je, že v případě zastavení procesu je vytvářen na pracovníky určitý tlak, který je tlačí k zásadnímu procesnímu zlepšení a odhaluje problémy, které by v případě pokračování procesu bez zastavení zůstaly skryty. Tato přerušování vedou k úplné kontrole všech faktorů, podílejících se na celém procesu. [37]

V případě, že se vyskytne během procesu výroby nějaká chyba a je ve společnosti implementována metoda Jidoka, následují čtyři kroky. Nejdříve se zastaví proces. Buď se linka zastaví sama a automaticky, nebo proces odstaví pracovník. Následně jsou zjišťovány příčiny vzniklé chyby. Po vyšetření a nalezení abnormality se v co nejkratším čase a v co nejlepší kvalitě závada opraví, aby se mohl znovu obnovit provoz. Nakonec jsou příčiny analyzovány a vyhodnoceny pro zavedení trvalého opatření. [34]

Jidoka může být také doprovázená metodou Andon, která spočívá ve světelných ukazatelích. Může se jednat o světelný semafor nebo například světelnou tabuli, která podle toho, jaká barva svítí, ukazuje aktuální stav. Například když je takovýto semafor u výrobní linky a svítí zelená barva, tak ukazuje, že linka běží bez problému. Naopak rozsvícená červená barva na semaforu značí, že nastala chyba a linka stojí. Na semaforu nebo tabuli může mít podnik nastaveny různé barvy, které znázorňují stanovené příčiny. [38]

1.9 Lean Management

Výrobní systém Lean Management se do češtiny může přeložit jako “Štíhlá výroba“ a jedná se o sadu nástrojů, které umožňují rapidně zlepšit kvalitu a efektivitu výrobních procesů. Často je možné se v souvislosti s touto metodou setkat s tzv. modelem chrámu (stejně jako je na obrázku *Obr. 3*). Tento chrám lze považovat za stabilní, pokud jsou stabilní všechny jeho stavební části (základy, pilíře, střecha). Je uváděno mnoho verzí chrámu, ale princip je vždy založený na stejném významu. Chrám má dva pilíře. Oba dva jsou složeny z výše uvedených metod. Jedním z nich je Jidoka, charakterizována zastavením procesu při vzniku chyby. Druhým je JIT, tedy plynulý a dobře načasovaný výrobní proces bez vzniku zásob a jakéhokoliv plýtvání. Základy jsou utvořeny ze základních a standardizovaných výrobních procesů, které udávají co, jak a kdo provádí. Střecha je utvořena z nejnižších nákladů, nejvyšší kvality a nejkratší doby zpracování. Pro úplnost je v chrámu mezi pilíři ještě zakomponován lidský faktor. [37, 38]



Obr. 3 – Model chrámu (podle zdroje: [39])

Z myšlenek Dennise tedy vyplývá že historie štíhlé výroby má podobnou historii jako obě metody z pilířů zmiňovaného chrámu a je evidentní, že zásady a metody štíhlé výroby se skládají hlavně z těchto dvou metod, Jidoka a JIT. [40]

Cílem tohoto systému je stabilní a způsobilý výrobní proces za použití co nejmenších nákladů. Je tedy nutné pochopit zákazníka a jeho požadavky. Dále analyzovat kroky, které přinášejí hodnotu a snížit plýtvání (např. nadprodukce, přeprava, čekání atd.). Výroba by měla probíhat neustálým tokem produktů od surovin k hotovým výrobkům. Dále je důležité nevyrábět pro naskladnění, protože výroba závisí na požadavcích zákazníka. Jako poslední se nesmí zapomenout na neustálé zdokonalování. [42]

1.10 FIFO – First in First out

Metoda First in First out, v překladu První dovnitř První ven, je nástrojem pro definování materiálových a informačních toků. Každý proces má obvykle svůj čas provedení a kvůli tomu musí procesy s kratším časem čekat na procesy s delším časem provedení. Ovšem procesy nemají charakter statický, ale dynamický. To znamená, že občas budou trvat delší nebo kratší dobu, než je běžné, ale i v tomto případě může metoda FIFO zlepšit průtok

a využitelnost systému.

V této metodě se setkáme s tzv. FIFO frontami, které mají dvě zásadní pravidla:

- **Žádný díl nesmí předběhnout jiný**

První díl, který vstoupí, bude i první, který vystoupí. Toto je důležité pro zamezení odlišností v časech průtoku.

- **Musí být jasně definována maximální kapacita**

Musí být stanoven horní limit dílů a v případě jeho dosažení se předchozí procesy musí zastavit (minimální kapacita není stanovena).

Tato pravidla musí být dodržována, aby nedocházelo k nadvýrobě, která vede k plýtvání a může nastat i ucpání výroby. Proto v případě správného používání FIFO front se dosáhne jasně definovaných materiálových toků. Na žádný díl se v procesu nezapomene a bude s největší pravděpodobností dodán včas. Tato metoda pomůže také s vizualizací, jelikož je dobře viditelné, zda je fronta plná nebo ne, a může se poměrně dobře stanovit úzké místo výroby. [43]

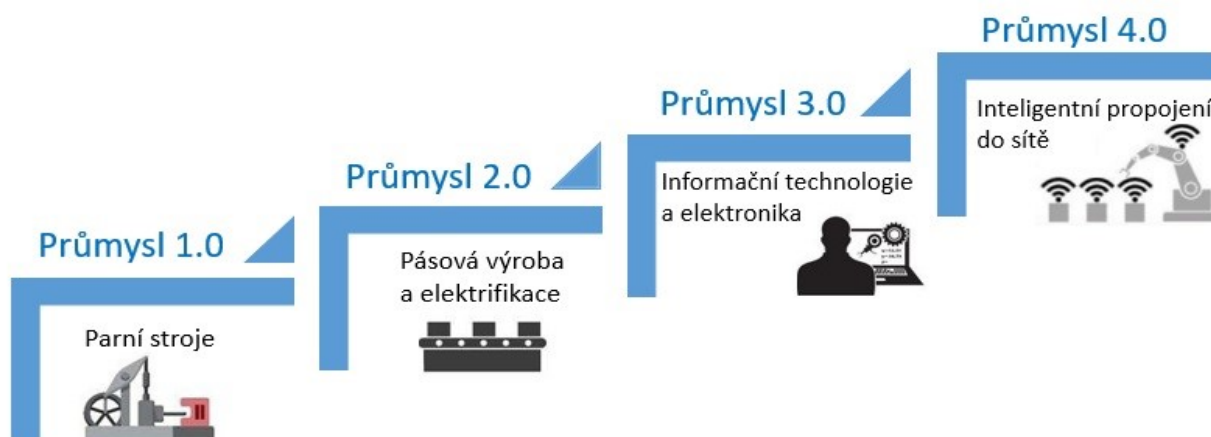
2 Vysvětlete pojem Průmysl 4.0

Termín „Průmysl 4.0“ se dostal do povědomí veřejnosti v roce 2011, kdy sdružení zástupců podnikání, politiky a akademické půdy propagovalo myšlenku ke zlepšení konkurenceschopnosti německého výrobního průmyslu. Od té doby, kdy německá federální vláda zveřejnila projekt Průmysl 4.0 jako jednu z klíčových iniciativ technologické strategie, začal být název projektu znám v mnoha společnostech, na univerzitách a ve výzkumných centrech. [42,43]

Mařík uvádí koncept Průmyslu 4.0 jako přeměnu výroby ze samotných automatizovaných jednotek na plně automatizovaná, integrovaná a průběžně optimalizovaná výrobní střediska. Vzniknou nové celoplošné sítě, funkční na základě sjednocení výrobních zařízení a kyberneticko-fyzických systémů, které budou poté nejdůležitějším prvkem chytrých továren (Smart Factories). Takto zaměřené továrny budou schopné autonomní výměny informací a nezávislé kontroly. [46]

Smit a kol. popisuje Průmysl 4.0 jako organizaci výrobních procesů založených na technologii a zařízeních, které spolu navzájem autonomně komunikují podél hodnotového řetězce ve virtuálních počítačových modelech a umožňují tak řídit proces výroby v reálném čase. [47]

Často bývá Průmysl 4.0 brán jako čtvrtá průmyslová revoluce. Jak je i znázorněno na přiloženém obrázku *Obr. 4*, první průmyslová revoluce byla charakteristická mechanizací a klíčovým vynálezem pro ni byl parní stroj. Druhá průmyslová revoluce byla ve znamení zavedení elektrického proudu, tedy elektrifikace a pásové výroby. Třetí průmyslová revoluce se nesla v duchu rozšíření digitalizace, informační technologie a stěžejním produktem pro ni byl počítač. Aktuálně se jedná o období čtvrté průmyslové přeměny, pro kterou je charakteristická autonomní robotizace, automatizace, kyberfyzikální systém (Cyber-physical system CPS), internet věcí, Velká data a mnoho dalších. Nutné je podotknout, že průmyslové revoluce neměli dopad jen na průmysl, ale i na celý svět včetně i sociální, ekonomické nebo politické stránky a ani s poslední (čtvrtou) revolucí to není jinak. [44]



Obr. 4 - Postup průmyslových revolucí (zdroj: [48])

Pojem Průmysl 4.0 zahrnuje velké množství inovací, které souvisí s automatizací, autonomní komunikací, práci s velkým množstvím dat a dalšími aspekty, které tento pojem utváří. Následující body, které jsou obsaženy a vysvětleny v této kapitole (např. CPS, IoT, Smart Factory atd.), jsou stěžejní části Průmyslu 4.0 a zároveň úzce souvisí s řízením výrobních procesů.

2.1 Změny způsobené Průmyslem 4.0

Mezi důležité změny, které Průmysl 4.0 přináší nebo vyžaduje, se může zařadit zkrácení doby vývoje. Pro velké množství podniků může být rychlá inovační schopnost základním faktorem k úspěchu. Z důvodu zvýšení rychlosti rozhodovacích postupů je také součástí Průmyslu 4.0 decentralizace. Své zastoupení má i efektivnost zdrojů, cílem které je ekonomické a ekologické zvýšení účinnosti. V pracovních procesech se zvyšuje počet používaných technických pomůcek, které nahrazují fyzickou práci. Digitalizace všech výrobních a pomocných přístrojů vede k získávání většího množství údajů a informací, které mohou být užitečné k analýze a kontrole celého výrobního procesu. Nárůst digitalizace může vést až k plně digitalizovanému prostředí, které umožňuje komunikaci strojů mezi sebou, zrychluje výrobu a dokáže vytvářet i různé simulace. V odvětví logistiky, ale i na jiných místech, je velmi důležitá miniaturizace, která vede k praktičtějším využití prostorů a ušetření nákladů. [49]

Změna se také projevuje v opotřebení. Dříve bylo zvykem, že se vše postupem času ničilo a po určité době muselo dojít k opravě nebo k úplné výměně. To v některých případech již neplatí. Digitální informace se používáním neopotřebuje, její kopírování je

téměř zdarma a je velmi těžké rozeznat kopii od originálu. Zároveň jsou zde produkty, které se mohou během chvíle dostat k zákazníkům po celém světě. Příkladem může být hudba nebo film. Dříve se pro přehrávání hudby musely kupovat vinylové desky, kazety, či CD. Dnes se pro poslech hudby využívají internetové platformy nebo aplikace, kde jsou zpřístupněny veškeré žánry. Začíná se tedy pracovat s věcmi, které jsou zadarmo nebo skoro zadarmo a mají mnohem větší obsah než dříve. [50]

Na základě rychlého vývoje, nízkých cen za některé produkty a masovosti se může stát, že lidé používají stejné výrobky. Například nový mobil se stejným softwarem a stejnou funkcionalitou si může koupit skoro každý. To v minulosti nepřipadalo v úvahu. Vypadá to tedy, že se vrstvy vyrovnávají. Jenže budoucnost není o zboží, ale o službách, času a životnímu prostoru. Výrobou produktu, na kterém firma získá velkou marži, to nekončí. Přes produkt si lidé kupují další věci, které firma zprostředkovává a dostává provizi. Nicméně dostat produkt mezi co nejvíce lidí může být klíčové, aby mezi sebou zařízení dobře komunikovala a podporovala doplňkové služby. [50]

Mění se i trh, a to díky individualizaci. Ve středu není prodávající, ale spotřebitel. Dříve byl spotřebitel vnímán jako poptávka a nabídka do budoucna nevěděla, jaké jsou jeho požadavky, takže společnosti pouze odhadovaly, jaká bude vznikat poptávka. Aktuálně je to však jinak. Nabídka zná aktuální i budoucí poptávku. Spotřebitel (zákazník) si může udat svoje požadavky a na základě toho je vyráběno.

2.1.1 Digitální transformace

Digitální transformace organizací se v posledních několika letech stává stále více aktuální praxí v obchodních strategiích organizací. Pro společnosti z různých hospodářských odvětví existuje příležitost využít digitální technologii k transformaci svých podniků, produktů a služeb, a tím vybudovat svou konkurenční pozici na znalostech a inovacích. Navzdory četným výzvám, kterým organizace čelí během provádění strategické digitální transformace, rozvíjejí povědomí o důležitosti a roli, kterou tato forma transformace má pro podnikání a fungování. Nová digitální ekonomika, stejně jako ekonomická aktivita plynoucí z online spojení mnoha lidí, podniků, dat, zařízení a procesů, vytváří mimořádné možnosti pro jednotlivce, společnosti a země zlepšit svou konkurenční strategii díky nové technologii. [51]

Jako definice digitální transformace může být brán způsob podnikání, který předpokládá uplatnění strategií, v jejichž rámci se používají moderní digitální technologie, aby se zajistilo efektivnější fungování organizací, vyšší výkon zaměstnanců a úspěšnější vztah s klienty. [52]

S ohledem na četné požadavky, které jsou digitální transformací kladeny na organizaci, je zřejmé, že existence strategie digitální transformace navržené a podporované vedením organizace, hraje při úspěšné realizaci této strategie jednu z klíčových rolí. Často ve společnostech vzniká problém při úplné digitální transformaci určitých segmentů fungování organizace, zatímco ostatní segmenty jejího fungování zůstávají ve staré formě provozu. Navzdory skutečnosti, že tento typ segmentované formy digitální transformace organizace může mít určité výhody, je důležité si uvědomit, že takto organizované obchodní aktivity mohou mít za následek pochybení. Adekvátně provedené změny způsobené digitálními technologiemi v organizaci a jejím okolí vyžadují transformaci klíčových obchodních procesů a zahrnují všechny produkty, procesy i organizační struktury a koncepty řízení. [51]

2.1.2 Automatizace

Automatizace podle ISA (International Society of Automation) je vytvoření technologie a její aplikace pro sledování a řízení výroby a dodávky produktů a služeb. Zjednodušeně se dá říct, že se jedná o proces, který popisuje tvorbu technologie nahrazující funkci člověka ve výrobě a snahu o snížení účasti člověka ve výrobních procesech. Osvobozuje člověka od rutinní fyzické práce, která je nudná, stereotypní a člověk v ní nemůže projevit svou přidanou hodnotu. Automatizace je také brána jako prostředek pro inovaci výrobních procesů a celých průmyslových podniků. Dnes je ale uplatněna téměř ve všech oblastech všedního života. [53, 54]

2.2 Cyber-Physical system (CPS)

CPS jsou systémy průmyslové automatizace, které integrují inovativní funkce pomocí sítí a umožňují propojení operací fyzické reality s výpočetní a komunikační infrastrukturou. CPS se skládá z mikro kontrolérů, které řídí senzory a akční členy. Data a informace se vyměňují mezi vestavěnými počítačovými terminály, bezdrátovými aplikacemi, domy nebo dokonce Cloudy. Komplexní, dynamický a integrovaný CPS spolupracuje při plánování, analýze, modifikaci, návrhu, implementaci a údržbě ve výrobním procesu. Protože CPS

kombinuje informace a materiály, hraje při zlepšování celkové průmyslové výkonnosti důležitou roli decentralizace a samostatnost. CPS jsou schopné zvyšovat produktivitu, podporovat růst, modifikovat výkon pracovních sil a vyrábět kvalitnější zboží s nižšími náklady prostřednictvím sběru a analýzy škodlivých dat. Pokud jde o budoucnost CPS, výzvou pro vědce a odborníky z praxe je, jak implementovat CPS a jak jej zlepšit, aby se staly spolehlivějšími, stabilnějšími a schopnějšími. Dalším směrem výzkumu je dále vyvinout síť VEO (Virtual Engineering Objects), která má širokou použitelnost technických artefaktů integrujících duální počítačové a reálné zastoupení, od jednoduchých samostatných artefaktů až po složité multitaskingové stroje. [55]

Ve spojitosti s CPS je často zmiňován pojem komunikace Machine-to-machine (M2M). M2M odkazuje na komunikaci mezi počítači, vestavěnými procesory, inteligentními senzory, akčními členy a mobilními zařízeními bez nebo s omezeným lidským zásahem. Jedná se o tzv. softwarového agenta, který analyzuje data, přijímá opatření a reportuje data. Komunikace mezi stroji poskytuje řešení registrací a sledování materiálu, palet, nákladních vozidel, což je velmi užitečné pro řízení výrobních procesů. Vzhledem k tomu, že jsou dále vyvíjeny pokročilé řídicí techniky i v rámci Průmyslu 4.0 byl v aplikacích a výzkumu M2M vytvořen CPS jako jeho vývoj. M2M se stal nepostradatelnou součástí sítě nové generace a je široce používán v mnoha nových chytrých aplikacích a službách. Vzhledem k již rozšířené aplikaci technologie CPS v M2M se vyskytuje problém v zabezpečení. Komunikace M2M čelí totiž velkému počtu bezpečnostních hrozeb, kterým je potřeba zabránit. Řešením této problematiky by mola být varianta ochrany pomocí Blockchainů. [56, 57, 58]

2.3 Internet of Things (IoT)

Pojem IoT v překladu do češtiny znamená internet věcí. Zjednodušeně by se mohlo říct, že se jedná o připojení věcí pevně nebo bezdrátově do sítí s účelem vzájemné komunikace mezi sebou i s uživateli. Účelem IoT je získávání a pracování s daty, které dané „věci“ poskytují.

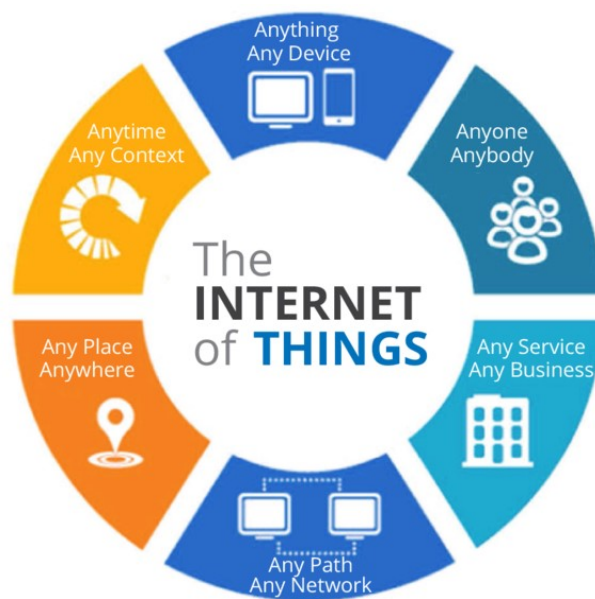
První zmínky o termínu IoT byly spojovány s jednoznačně identifikovatelným interoperabilními propojenými (systémy, stroje, zařízení spolu mohou spolupracovat, společně fungovat nebo si rozumět) objekty používající technologii identifikace na rádiové frekvenci (RFID). Po připojení čtečky RFID k internetu mohou být objekty automaticky

a jednoznačně identifikovány a sledovány. Postupem času začalo být IoT používáno s dalšími novými technologiemi, jako mobilní zařízení propojená přes Wi-Fi, Bluetooth, ale také se senzory, akčními členy nebo globálním pozičním systémem (GPS). RFID a bezdrátové sensorové sítě (WSN) se berou jako nejdůležitější zařízení, díky kterým síť IoT existuje. RFID je využíván v mnoha odvětvích průmyslu jako je doprava, zdravotnictví, doprava pošty, maloobchod, správa materiálů a mnoho dalších. WSN pak používá propojené senzory pro monitorování a snímání a to se může uplatnit v průmyslovém monitorování, monitorování životního prostředí, dopravy, zdravotní péče a další. [59]

IoT může být tedy definováno jako dynamická globální síťová infrastruktura se schopnostmi vlastní konfigurace na základě standardních a interoperabilních komunikačních protokolů, kde fyzické a virtuální „věci“ mají identity, fyzické atributy, virtuální osobnosti, používají inteligentní rozhraní a jsou hladce integrovány do informační sítě. [60]

Jak už bylo zmíněno Průmysl 4.0 je spojen s inteligentní a kognitivní výrobou. To firmám nabízí nové příležitosti analyzovat a používat údaje o designu, výrobě, zdrojích a zásobách. K této modernizaci slouží právě IoT. Aplikuje datovou vědu a analytické modely k analýze dat v reálném čase z více systémů a strojů. Následně z toho dokáže automatizovat výrobu. [59]

Dalo by se tedy říct, že inteligentní zařízení shromažďují informace, poté jsou data přenesena do infrastruktury datové komunikace, kde jsou převáděna na užitečné informace pro lidi nebo lze data použít pro běžnou údržbu i pro řízení obchodních a výrobních procesů nebo jejich vylepšení. Jak znázorňuje i obrázek *Obr. 5*, IoT se může využít ve velkém množství aplikací a okruhů a z těchto míst získá aktuální data. Jednou z hlavních výhod je prediktivní údržba. Díky IoT je možno předvídat poruchy ve strojním zařízení dříve, než k nim skutečně dojde, což umožní rychlou práci při řešení jakýchkoli problémů. Tím se zabrání ztrátě času špatným výrobkům kvůli vadnému stroji. Další výhodou je sledování aktiv. Dodavatelé, výrobci a dokonce i zákazníci nyní mohou pomocí systémů pro správu aktiv sledovat umístění a stav produktů po celou dobu jejich životního cyklu. [61]



Obr. 5 - IoT a jeho využití (zdroj: [61])

2.4 Cloud computing

Cloud computing je doručování výpočetních služeb, včetně serverů, úložišť, databází, sítí, softwaru, analytických nástrojů a inteligentních funkcí, přes internet („Cloud“). Obvykle je placeno jen za cloudové služby, které jsou skutečně využívány, což pomáhá snižovat provozní náklady, efektivněji provozovat infrastrukturu a škálovat s ohledem na měnící se obchodní potřeby. [62]

Technologie Cloud computingu může virtualizovat síť serverů jako obrovský fond zdrojů, aby poskytovala flexibilní úložiště a výpočetní schopnosti. Díky síti s velkou šířkou pásma lze do Cloudu přenášet různé druhy dat z dílenských entit a klientských terminálů a vytvářet průmyslová Velká data. Kromě toho lze vytvořit jednotný datový model, který usnadní získávání dat a jejich analýzu. Proto je Cloud jednou ze základních infrastruktur pro konstrukci inteligentní továrny a Velká data jsou jedním z klíčových faktorů umožňujících produkční inteligenci. [63]

2.5 Smart factory

Díky Průmyslu 4.0 jsou továrny „inteligentnější“, flexibilnější, dynamičtější, a toho je docíleno využitím senzorů, akčních členů a autonomních systémů. Stroje a zařízení dosáhnou vysoké úrovně vlastní optimalizace a automatizace. Kromě toho má výrobní

proces schopnost plnit podle očekávání složitější a kvalifikovanější standardy a požadavky na výrobky. [55]

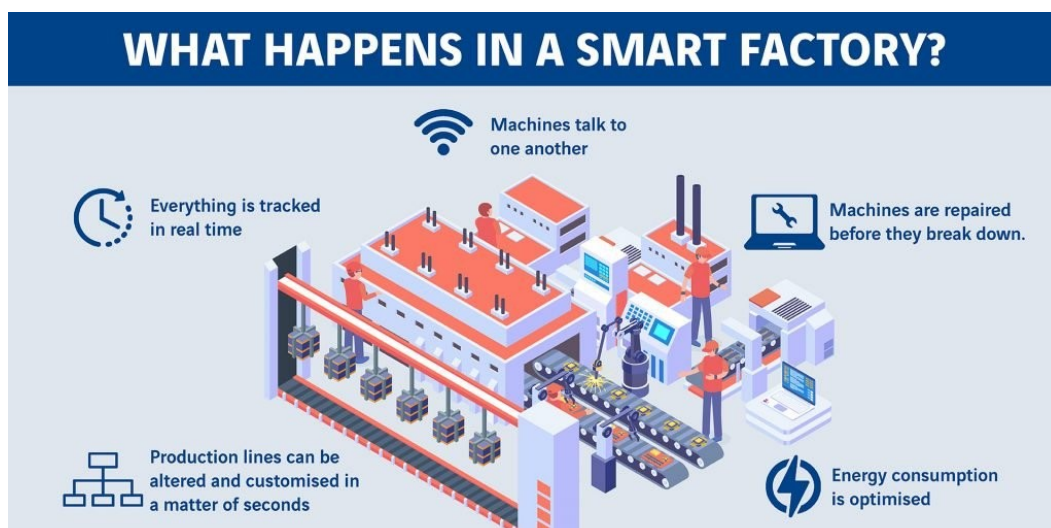
Pojem inteligentní továrna je důležitou vlastností Průmyslu 4.0, která se zaměřuje na vertikální integraci a síťové výrobní systémy pro inteligentní výrobu. Aby mohla být implementována inteligentní továrna, měla by kombinovat inteligentní objekty s analýzou Velkých dat. Inteligentní objekty se mohou dynamicky překonfigurovat, aby dosáhly vysoké flexibility, zatímco analýza Velkých dat může poskytnout globální zpětnou vazbu a koordinaci k dosažení vysoké účinnosti. Proto je inteligentní továrna schopna efektivně a se ziskem vyrábět přizpůsobené a malosériové produkty. [64]

Inteligentní továrna je výrobní CPS, který integruje fyzické objekty, jako jsou stroje, dopravníky a produkty, s informačními systémy, jako jsou MES (Výrobní informační systém) a ERP, k implementaci flexibilní a agilní výroby.

Je sestavena ze čtyř hmatatelných vrstev, a to vrstvy fyzických zdrojů, vrstvy průmyslové sítě, vrstvy Cloudu a kontrolní vrstvy. Fyzické zdroje jsou implementovány jako chytré věci, které spolu komunikují prostřednictvím průmyslové sítě. Integrovaný informační systém existuje v Cloudu, který sbírá masivní data z vrstvy fyzických zdrojů a komunikuje s lidmi prostřednictvím kontrolních terminálů. Hmatatelný rámec tedy umožňuje síťovému světu volně proudit nehmotné informace. Toto vlastně tvoří CPS, kde jsou fyzické objekty a informační entity hluboce integrovány. [64]

Z pohledu řídicího inženýra lze na inteligentní továrnu pohlížet jako na duální systém s uzavřenou smyčkou. Jedna smyčka se skládá z fyzických zdrojů a Cloudu, zatímco druhá smyčka se skládá z kontrolních terminálů a Cloudu. Inteligentní dílenský objekt je autonomní a sociální. Termín autonomní znamená, že inteligentní objekt rozhoduje sám a žádné jiné entity nemohou přímo ovládat jeho chování. Termín sociální znamená, že inteligentní objekty chápou a sdílejí společnou sadu znalostí a vyjednávají podle společné sady pravidel. Společnost inteligentních objektů proto může přinést vysoce flexibilní výrobní systém, tj. samoorganizovaný a rekonfigurovatelný systém, který se zdá být humanoidní nebo chytrý. [64]

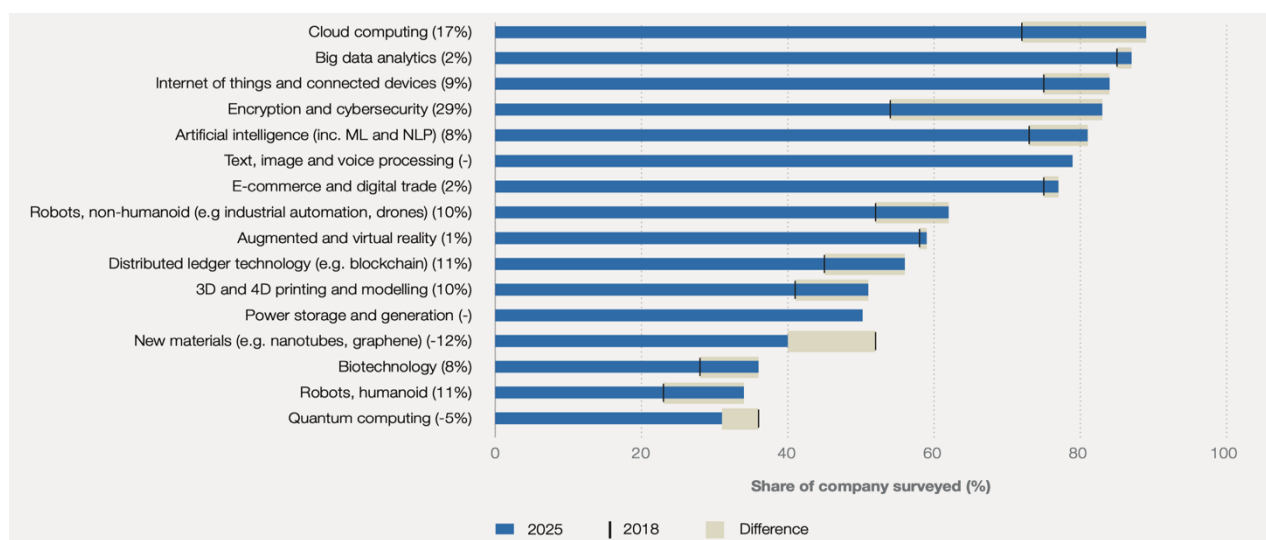
Na obrázku *Obr. 6* je znázorněna chytrá továrna, která přináší výhody na základě analyzování dat, na základě toho se dokáže předcházet poškození strojů a robotů a mohou být včas opraveny. Dále za pomoci senzorů IoT, Velkých dat a dalších technologií je vše sledováno v reálném čase a jednotlivé stroje dokáží komunikovat mezi sebou. Jednotlivé procesy výroby se dají zaměnit a přehodnotit během malé chvíle. V neposlední řadě se v chytré továrně pracuje i s optimalizací spotřeby energie.



Obr. 6 - Výhody chytré továrny (zdroj: [65])

2.6 Predikce technologií přijatých v podnicích do roku 2025

Obrázek *Obr. 7 a Příloha č.1* zobrazují graf, vyplývající ze studie, která se zabývala (kromě mnoha jiných dat) informacemi spojenými s implementací technologií v podnicích. Studie byla vytvářena v roce 2020, kdy byly získávané informace z podniků působících po celém světě. Jednalo se o podniky s více než 100 zaměstnanci a v součtu všechny podniky měly více jak 7,7 miliónů zaměstnanců. Zaměření podniků bylo napříč všemi odvětvími. [66]



Obr. 7 - Predikce technologií přijatých v podnicích do roku 2025 (zdroj: [66])

Je vidět, že většina technologií, které jsou uvedeny, zapadají do Průmyslu 4.0. V grafu osa x znázorňuje procentuální zastoupení všech podniků. Podle toho lze u každé technologie určit, jak moc bude, nebo byla využívána v podnicích po celém světě. Modrá linie určuje predikci pro rok 2025. Černé čárky v grafu ukazují, jaké zastoupení měla každá technologie v roce 2018 a béžové zvýraznění určuje rozdíl mezi rokem 2018 a 2025.

Graf ukazuje několik zajímavých informací. Například růst šifrování dat a kyberbezpečnosti o 29 %, což je největší růst technologické implementace ze všech uvedených. Další výraznou informací je nárůst Cloud computingu v podnicích o 17 %, a tím se v roce 2025 vyšplhá na nejvyužívanější technologii (ze všech 16 uvedených). Cloud computing by podle predikce mělo využívat necelých 90 % zapojených podniků. V roce 2018 už byly poměrně hodně rozvinuty analýzy Velkých dat a využívání IoT. Proto u těchto stěžejních technologií Průmyslu 4.0 není takový rozvoj.

Na druhou stranu je v grafu vidět i úbytek některých technologií do roku 2025. Konkrétněji od roku 2018 se o 12 % má snížit využívání nových materiálů, jako jsou nanotrubičky a další. O 5 % se také sníží využívání kvantových výpočtů.

2.7 Rizika a negativa Průmyslu 4.0

Samozřejmě se Průmysl 4.0 potýká i s problémy. Největším rizikem je bezpečnost. S každou digitalizací, automatizací a dalšími změnami přichází větší riziko napadení hackerů. Ti mohou nabourat síť, změnit data, prodat data konkurenci nebo je klidně vymazat. [50]

Dalším rizikem může být takzvaný blackout, úplný výpadek elektřiny. Samozřejmě je velké množství záložních zdrojů, ale ty nefungují do nekonečna. Tento výpadek může vytvořit ohromný chaos a velmi poškodit ekonomiku. [50]

Negativní vývoj se objevuje na trhu práce. Mnoho profesí zaniká a zanikat bude. Na opačnou stranu řada pracovních profesí vznikne. Rutinní práce jsou nahrazovány roboty. Nízko kvalifikované práce pravděpodobně pomalu zaniknou. Lidé naopak zůstanou na pozicích, kde bude potřeba přemýšlet kreativně, například programátoři, IT pracovníci, zaměstnanci reklamních agentur a mnoho dalších. Ovšem ne všechny manuální práce budou zanikat. V některých oborech bude vždy vyžadován zákaznický servis, kde je potřeba mít nějaké sociální vlastnosti, které roboti těžko získají. Například kadeřnické služby budou stále vykonávat lidé, nevyplatí se místo nich pořizovat roboty. Velmi důležité pro získání „moderních dělníků“ a kreativních zaměstnanců je podpora školství, které v některých zemích není k Průmyslu 4.0 zdaleka přizpůsobené. [50]

3 Vyberte metody a nástroje využitelné k řízení výrobních procesů v rámci iniciativy Průmysl 4.0

3.1 JIT 4.0

Metoda Just in Time – JIT je již popsána a vysvětlena v jedné z předchozích kapitol této práce. Dá se zkráceně říct, že cílí na absolutní eliminaci výrobních ztrát, tedy zamezení plýtvání. Toho se dosáhne pomocí podrobného sledování a řízení zásob na každé úrovni systému. Pracuje se tedy s velmi přesnou předpovědí budoucího stavu zásob a práce s nimi.

V návaznosti na druhou kapitolu této práce, kde je vysvětlen pojem „Průmysl 4.0“ je evidentní, že některé charakteristické technologie pro tuto „4. průmyslovou revoluci“ se mohou aplikovat v metodě JIT, díky čemu se metoda pro jednotlivé společnosti může stát efektivnější a výhodnější.

Jednou z těchto technologií, která se v „JIT 4.0“ může využít a dokáže přispět k lepší flexibilitě společnosti, jsou Velká data, technika analýzy těchto dat a práce s Cloudem. Na základě zpracování velkého množství dat obdrženého ze všech částí podniku počínaje skladem, kde se zaznamená chybějící, objednaný nebo naskladněný materiál, přes výrobu, kde se může například zaznamenávat vytíženost strojů, až po zákazníky, kde se mohou obdržovat informace o požadavcích na produkt. Díky softwarovému zpracování a vyhodnocení získaných informací se může přijít na špatné využívání skladovacích prostorů, prστοje strojů ve výrobě, nenaplňování všech požadavků zákazníků a spousty dalších problémů, se kterými se společnosti potýkají. Data se mohou získávat pomocí různých senzorů, aktivních členů, chytrých telefonů, tabletů a dalšími způsoby, které následně software zpracuje a vyhodnotí.

Další technologií z odvětví Průmysl 4.0, která může být využívána v metodě JIT je AGV (Automated Guided Vehicles), v překladu do češtiny jako „Automaticky naváděná vozidla“. Tato vozidla mohou po podniku jezdit automaticky a převážet produkt například z bodu A do bodu B. Cílem AGV je nahrazení nejčastějších tras materiálu nebo produktu po podniku, které jsou vykonávány člověkem a zamezit tím lidskému pochybení nebo nevhodnému pohybu. Navíc jak je vidět na obrázku *Obr. 7*, AGV je osazeno nejen mnoha senzory které získávají a odesílají data, ale také přijímači, které data přijímají a na základě

toho se také AGV chová.



Obr. 7 – AGV (zdroj: [67])

Také metoda AM (Additive manufacturing), v překladu do češtiny jako „Aditivní výroba“, může být úzce spojena s JIT. Pomocí AM se například v podobě 3D tisku značně mohou zmenšit náklady na skladování, energii, dopravu a další složky s tím související. [68]

Technologii RFID, lze využít ke sledování materiálu v reálném čase a k přesné lokalizaci objektů. Sledování zásob tímto způsobem může vést k snížení zásob obecně. Zároveň se tato technologie dá dobře využít pro automatizování procesů.

Všechny tyto zmíněné technologie patřící mezi hlavní rysy Průmyslu 4.0, které mohou být využitelné pro metodu JIT, mohou být využitelné pro velké množství firem. JIT 4.0 lze zavést do fungování společnosti jako nový celek nebo jen inovovat zaběhlou metodu JIT novými prvky z oblasti Průmyslu 4.0. Ať se jedná o jednu, nebo druhou variantu, nejedná se o jednoduchou a časově nenáročnou variantu.

3.2 Kanban 4.0

O metodě Kanban, kterou se zabývá kapitola 1.6, se ve zkratce dá říct, že své nejlepší uplatnění má ve společnostech s velkosériovou výrobou, kde je jednosměrný tok materiálu, ustálený prodej a nejsou podávány časté žádosti na změnu vyráběného výrobku. Principem

metody je, že se vyrábí a dopravuje jen to, co je požadováno, udržuje se nepřetržitý tok materiálu a zákazníkem je každý následující proces výroby.

Z názvu této kapitoly Kanban 4.0 je zjevné, že podobně jako v předchozí kapitole JIT 4.0 se budou na metodu aplikovat inovace spojené s Průmyslem 4.0 a tím se metoda modernizuje. Pro tradiční Kanban jsou specifické tzv. karty, které nesou potřebné informace o daném dílu a jsou používány v průběhu výroby. Tyto fyzické karty lze nahradit elektronickou formou za pomoci ukládání dat do softwarového systému a jejich přiřazování k jednotlivým předmětům, ze kterých následně mohou být informace načteny například pomocí senzorů nebo čteček.

Obdobně jako u JIT 4.0 se zde může využít systém Velkých dat a jejich analýza. Nepřetržitý sběr dat z celého výrobního procesu umožňuje vyhodnocovat situace, a tím poskytovat společnosti velmi cenné informace. Vedení společnosti si na základě těchto přesných a aktuálních informací může vyhodnotit, zda plně splňuje cíle (jak krátkodobé, tak dlouhodobé), které si stanovila. V kombinaci virtuálních karet a analýzy aktuálních dat se dají odhalit hluchá místa ve výrobě a rozpoznat prázdná pole. Reakcí na to mohou být příkazy, aby se spustilo automatická doplňování, kontrolovaly se dávky materiálu a sledovaly se změny harmonogramu výroby.

Technologie AGV která je zmíněna v metodě JIT 4.0 zde také najde svoje uplatnění. Automatická vozidla se mohou postarat o nepřetržitou dodávku materiálu, a tím pomůžou k nepřetržitému a plynulému provozu. Zároveň omezí zbytečný pohyb, dodací lhůtu a naskladněný materiál.

Další využitelnou technologií v této metodě je VS (Virtual Simulation), v překladu do češtiny jako „Virtuální simulace“. Jedná se o výpočetní systémové modelování, které podporuje data v reálném čase pro zrcadlení fyzického světa do virtuálního modelu, který zahrnuje stroje, produkty a lidi. Tato simulace poskytuje předběžnou analýzu všech kroků, které tvoří proces a představuje odhady výkonu produkce. V metodě Kanban 4.0 může VS značně pomoci například při identifikaci a aktualizaci inventáře, frekvenci dodání a dalších parametrů. [44]

Inteligentní stroj může obsahovat inteligentní panel, který je založen na RFID. Takové řešení umožňuje detekovat označené karty Kanban v reálném čase. Předpokládá se, že čtení karet umístěných na takovém panelu je obvykle 100%. Tyto panely navíc mohou zabránit

detekci dalších označených karet Kanban, které nejsou umístěny na panelu, ale které jsou v těsné fyzické vzdálenosti od panelu. [69]

3.3 Jidoka 4.0

Metoda Jidoka, jak již je popsáno detailněji v kapitole 1.8, má svojí specifickou funkci v tom, že při jakékoliv poruše nebo vadě v průběhu výroby se linka automaticky zastaví a zároveň je založena na stoprocentní kontrole. Díky těmto vlastnostem jsou odhalovány problémy, které by normálně odhaleny nebyly.

S příchodem Průmyslu 4.0 se do metody Jidoka, která stojí v jednom z pilířů Štíhlé výroby, aplikují různé inovativní technologie. Jednou z těchto technologií, která může metodu zlepšit je tzv. Augmented Operator, do češtiny přeložený jako Rozšířený operátor, který by měl docílit zkrácení času mezi výskytem vzniklé poruchy a oznámením této poruchy. K tomuto zlepšení může pomoci modernizovaná metoda Andon v podobě chytrých hodinek, kde se operátorovi zobrazí signální světlo a tím dostane upozornění na chybu prakticky v reálném čase. Takto rychlá reakce je docílena za pomoci IoT. Stejně tak mohou hodinky udat přesné místo poruchy. Každý takový signál je následně ukládán do databáze a pomůže k hromadné analýze. Kromě toho mohou být poruchy rozpoznány pomocí CPS, které je vybaveno správnými senzory a automaticky tak může zahájit opravu chyb. [69]

Na úrovni kontroly navrhuji využití IoT k zajištění toho, aby správné produkty šly na správné pracovní místo a automaticky přesměrovaly produkty na doporučené místo v případě chyby. Spolu s IoT v metodě Jidoka se objevují analýzy a zpracování Velkých dat, které slouží k identifikaci opakovaných poruch nebo kontrole kvality v reálném čase. Může to vést až k docílení nulových vad, kdy IoT spolupracuje s dalšími digitálními nebo autonomními systémy. Výstup pak poskytne zvýšenou předvídatelnost nejen ve stroji, ale také ve správném použití dat a signálů, které umožní sledovat časový cyklus, odchylky a lokalizovat vady v rané fázi. [70, 71]

3.4 Lean Management 4.0

Jak je popsáno v první části této práce, LM (Lean Management) dává dohromady synchronizované metody a principy, které slouží k řízení výrobních procesů a celých společností. Cílem je dosáhnout co nejkratší doby na vyrobení produktu, ovšem s minimálními náklady a v co největší kvalitě. Do této „Štíhlé výroby“ spadají výše uvedené

metody jako Jidoka, JIT nebo i Kanban. Díky spojení těchto vyjmenovaných metod a Průmyslu 4.0 dostává i samotný LM prvky této iniciativy.

V případě detailnějšího zaměření na prvky, které tvoří kombinaci mezi LM a Průmyslem 4.0, se může jednat o tzv. Smart Operator, kdy v metodách JIT nebo Kanban zaměstnanec dostává informace o zbývajícím době cyklu za pomoci rozšířené reality a v případě Jidoka ve spolupráci s metodou Andon zaměstnanec obdrží prostřednictvím přenosných zařízení informace o chybách v reálném čase. Dalším pojmem je tzv. Smart Product, který obsahuje informace z metody Kanban k realizaci zákazkově orientované výroby. Následně tzv. Smart Machines, které popisuje postup, kdy stroje odesílají informace o poruchách přímo k Smart Operators a volají jiné systémy za účelem opravení chyb. V neposlední řadě tzv. Smart Planner, který zahrnuje IT systémy, které jsou schopny překonfigurovat výrobní linky a aktualizovat procesy. [72]

3.5 MES – Manufacturing Execution Management

Jedním z dalších nástrojů spojených s řízením výrobních procesů a Průmyslem 4.0 jsou výrobní informační systémy MES (Manufacturing Execution Management). Jejich cílem je nahrazení staršího softwaru informačních systémů, systému sběru dat a plánování potřeby materiálu. To může vést k zvýšení konkurenceschopnosti, efektivnosti firmy a optimalizaci její výroby, nicméně se může použít k rozšíření řídicích výrobních procesů.

Přesněji řečeno MES spravuje, monitoruje a synchronizuje provádění fyzických procesů v reálném čase zapojených do výrobních operací. Za tímto účelem koordinují tok pracovních objednávek s plánováním výroby a systémy na podnikové úrovni, jako jsou systémy ERP nebo systémy správy životního cyklu produktu PLM (Product Lifecycle Management). MES pracuje v reálném čase a umožňuje ovládání více prvků výrobního procesu, jako jsou zásoby, personál, stroje a podpůrné služby. [73]

Mezi konkrétní funkce, které MES přináší by se dalo zařadit kapacitní plánování, kdy firmě přinese výhodu ve flexibilním plánování výroby dle aktuálních zakázek. V tomto aspektu se jedná o výhodnější variantu než například u již zmíněné metody MRP, která má pevně dané kapacitní požadavky.

Dalším důležitým přínosem je sběr dat. Jedná se o získávání, shromažďování a zpracování celé produkce včetně strojů, kde pomocí senzorů, čidel a akčních členů jsou data získána. Následně se automaticky odešlou do Cloudu, odkud data čerpá software a zpracovává je. Tato data jsou vzhledem ke své detailnosti pro firmu nesmírně užitečná. Se sběrem dat také úzce souvisí sledování produktu, kdy je díky MES zřejmé, kde se každá položka ve výrobním procesu nachází, a to pomocí jedinečného označení a následné identifikace. To platí pro díly, materiál, ale také personál, který s těmito věcmi manipuluje.

Správa práce a řízení údržby taktéž spadá pod MES. Co se týká správy práce, může se jednat o lidi zapojené do operací, kde se eviduje pracovní doba zaměstnanců, kvalifikace a certifikace personálu, ale také například jakou práci konkrétní zaměstnanec vykonává. Na to navazuje právě zmíněné řízení údržby, které spravuje dokumentaci údržbových činností. Jedná se o informace pro údržbáře, protokoly o jejich činnosti a řízení nákladů, které jsou pro údržbu vynaloženy.

MES analyzuje také výkon. Definiuje a sleduje klíčové ukazatele výkonu, provádí pokročilou analýzu a poskytuje displeje a datové sady pro monitorování a vykazování výkonu. [73]

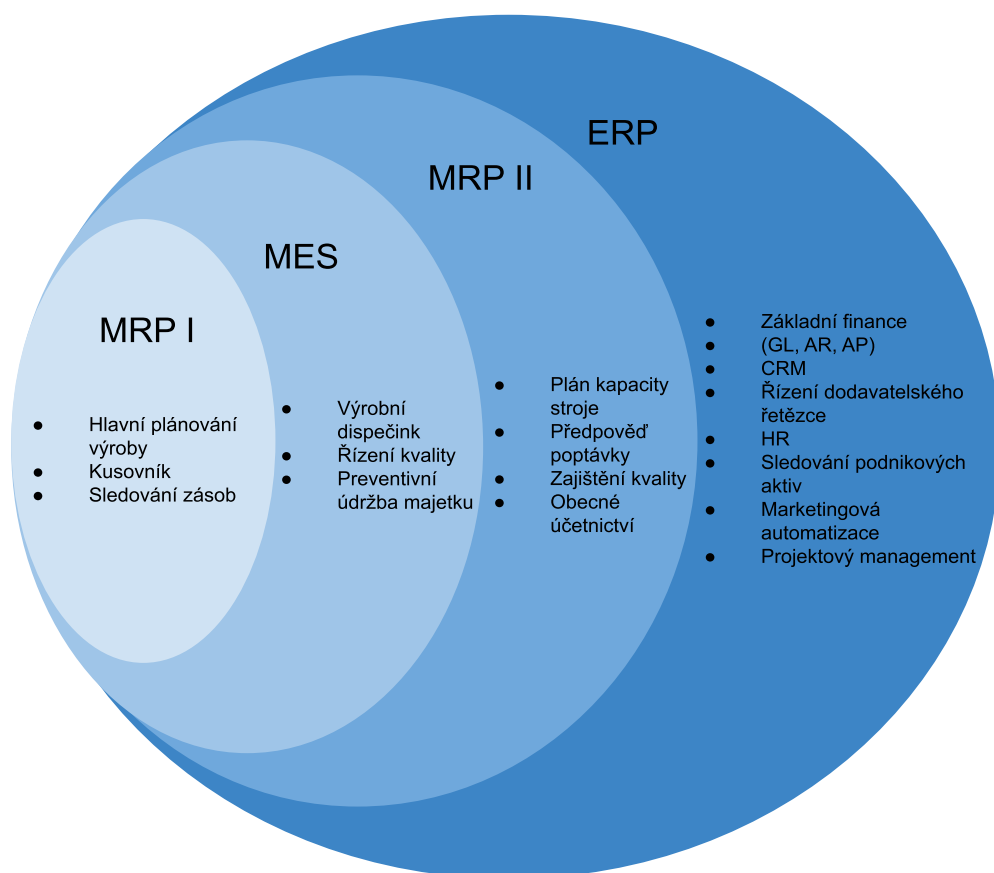
Je možné se setkat ještě s mnoha dalšími aspekty, které MES přináší. Nabídka těchto technologií a metod se liší od každého zprostředkovatele, který nabízí implikaci MES do společnosti.

Velmi důležitým a zásadním faktorem pro tento výrobní informační systém je, že pracuje v reálném čase. Těto výhody je docíleno díky technologiím IoT a CPS, které umožňují velmi rychlou komunikaci a provázanost hardwaru se softwarem. Na základě toho mohou pracovníci přijímat aktuální a závažná rozhodnutí nebo odhalit problém v co nejkratším čase a předejít tak řetězení dalších problémů, se kterými by vznikly následky. V ideálním případě se nemusí ani jednat o pracovníky, kteří situaci vyhodnocují a dělají rozhodnutí. Může se jednat o samotné stroje, které na základě předprogramovaného softwaru situaci na základě aktuálních dat vyhodnotí a provedou opatření.

Zároveň je nutné upozornit, že systém MES tvoří velmi úzkou vazbu s podnikovými informačními systémy, nejčastěji s ERP, který má za úkol operativně řídit výrobu a získávat aktuální data o jejím stavu. Tyto dva systémy se navzájem doplňují. ERP je většinou zaměřen na plánování a kvantitativní analýzu, MES se naopak zabývá skutečným výrobním

procesem v reálném čase. Systémy MES jsou obvykle integrovány přímo do strojů ve výrobě, díky čemu jsou data dodávána okamžitě. Systémy ERP však nejsou integrovány do zařízení. Místo toho je integrován jako software pracující s obchodními aplikacemi a marketingovými nástroji. V praxi se lze setkat s případy, kdy se v procesech využívá výhradně systém MES a někde zase výhradně systém ERP, ale doporučuje se, aby tyto dvě metody fungovaly souladně a vzájemně se doplňovaly. [74]

Ovšem jak lze vidět na obrázku *Obr. 8*, nejde jen o spolupráci s ERP, ale systém MES je možné kombinovat i s technikou MRP. Jak je v této kapitole již zmíněno, MES se zbývá správou, monitoringem, výrobním dispečinkem, řízením kvality a synchronizací prováděných fyzických procesů v reálném čase zapojených do výrobních operací. ERP zpracovává základní finanční a dodavatelské řetězce, marketing, HR, plánování, kvantitativní analýzu, vztahy se zákazníkem, lidské zdroje, marketingovou automatizaci a další funkce celého podniku. MRP se stará o to, aby bylo kontrolováno a plánováno množství materiálu, komponentů a součástí, které se objednává, předpovídá poptávku a zajišťuje kvalitu.



Obr. 8, Diagram ERP-MRP-MES (podle zdroje: [75])

Existují společnosti, které zvolili pro řízení procesů pouze metodu ERP, nebo pouze metodu MRP. Ale pokud jsou ve firmě aplikovány obě metody dohromady a k tomu zakomponovaný i systém MES, měla by být zajištěna úplná viditelnost v každém oddělení, a to by společnosti mělo poskytovat největší návratnost investic.

3.6 PLM – Product Lifecycle Management

PLM, známý jako proces řízení životního cyklu výrobku, je systém, který poskytuje kontrolu nad záznamem produktu ve všech fázích vývoje od konceptu přes design, výrobu, až po samotnou likvidaci. Tento systém byl vyvinut v posledních dvou desetiletích, aby se zlepšila schopnost organizace spravovat svá portfolia produktů v průběhu životního cyklu produktu. Pomocí aplikace systému PLM může společnost řídit produktová data, která mohou zahrnovat soubory produktů, kusovníky, seznamy výrobců. Díky tomuto systému jsou také sledovány změny informací o produktu a tyto změny mohou být komunikovány s dodavatelskými subjekty. PLM se může stát pro společnosti nápomocný při vývoji svého produktu, jeho výrobě a následnému uvedení na trh. Zároveň může přispět k řízení výrobního procesu. [76]

Díky technologiím spojených s Průmyslem 4.0 a automatizovaným prvkům, které jsou zapojeny do procesu výroby, mohou být informace pro PLM získávány v reálném čase a mohou být načteny v kterékoliv části životního cyklu produktu. Získaná data mohou být využívána v různých organizačních strukturách a své uplatnění najdou i pro řízení výrobních procesů. Se systémem PLM by také měly spolupracovat a zároveň na něj navazovat, různé rozhodovací metody, protože pouze získávání dat v řídicích procesech nestačí. Na základě těchto dat jsou rozhodovány změny, řešeny problémy a mnoho dalších výkonů, pro které jsou rozhodovací metody využívány.

Například využívání IoT ve výrobním průmyslu může být spojováno s PLM, protože IoT pro tento systém získává, shromažďuje a řídí získaná data o produktu, procesu a rozhodování v celé fázi vývoje produktu. Produkty v PLM nejsou rozloženy jen na úrovni uvnitř jedné organizace, ale nacházejí se také na úrovni mezi jednotlivými organizacemi, v distribučním, mobilním a spolupracujícím prostředí. Na základě toho je důležité podporovat integraci distribuovaných a heterogenních údajů o produktu pokrývajících různé fáze životního cyklu pomocí konfigurovatelného a flexibilního systému. A proto vzhledem k velkému objemu heterogenních dat a rychle se měnícímu prostředí, kdy mohou být data a

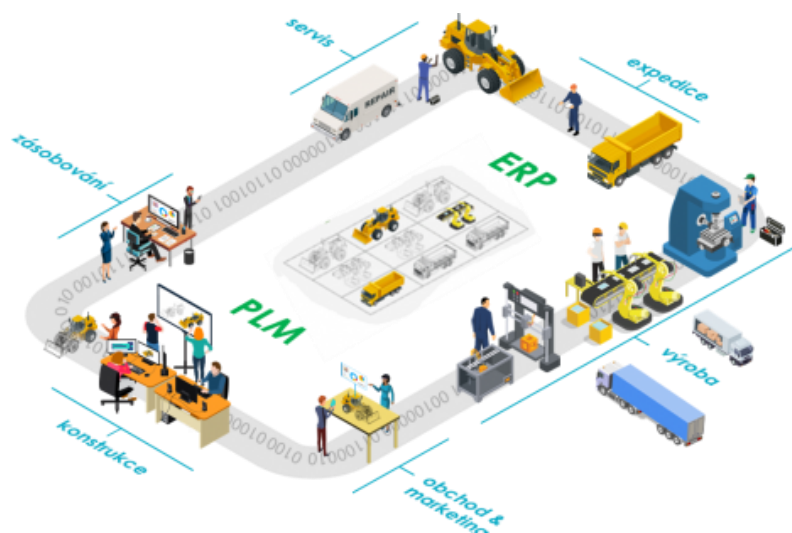
informace komplikované pro účely výměny a sdílení, jsou vytvářeny konfigurovatelné platformy a softwary založené na technologii IoT, aby tento problém ulehčilo a vyřešilo. [59]

System PLM je propojen procesy spojenými s řízením výroby. Například může doplňovat systém ERP. V případě využití těchto dvou systémů ve společnosti, je nezbytná vzájemná komunikace, protože každý z nich zastává jiné obchodní a řídicí potřeby společnosti. Jak je již v této kapitole naznačeno, PLM se zabývá řízením produktu z počáteční dokumentace, která je vydána pro výrobu. ERP i za pomoci dat právě z PLM slouží společnosti k řízení zdrojů, financí a jiných obchodních činností. Spolupráce těchto dvou systémů by měla být pro svojí největší efektivitu v postupném pořadí. Pro organizaci a správu dat by měl být nejdříve využit systém PLM a v případě překonání bodu procesu, kdy by se měl produkt dostat do výroby, by měl přijít na řadu systém ERP, který se integruje do stávajícího systému PLM.

3.7 Digitální vlákno

Spolu s pojmem Smart Factory a s ním propojenou digitalizací v podniku souvisí i pojem Digitální vlákno, přeloženo z anglického výrazu „Digital Thread“. Toto Digitální vlákno spojuje všechny generované a ukládané informace a umožňuje jim plynulý tok. Data mohou být integrována do jedné platformy, díky čemu je umožněn bezproblémový přístup ke všem datům. Některé společnosti odebírají velké množství dílčích komponentů nebo sestav, a to se může stát velmi složité na řízení, jelikož právě výběr dílčích komponentů může ovlivňovat některé změny a konfigurace požadované na vyráběný produkt. Pro řešení tohoto problému a snadné řízení výroby po celý životní cyklus výrobku je efektivní využít Digitální vlákno. Jedná se o nedílnou část digitální transformace ve výrobním podniku. [77]

Digitální vlákno je navíc využitelné právě v kombinaci dvou systémů ERP a PLM. Toto propojení je i znázorněno na obrázku *Obr. 9*. Digitalizace se silně opírá o principy správy životního cyklu dat, které se rozšiřují napříč podnikovými platformami a operacemi. V tomto případě vzájemného využití dvou systémů a Digitálního vlákna je PLM část, kde se definuje vyráběný produkt, jak bude vypadat, jaké jsou požadavky na materiály, a v čem spočívá funkce výsledného výrobku. ERP zase zastává přesné specifikace výroby, jako například kolik kusů se má vyrobit za jaký čas, kdy má proběhnout dodávka a zároveň se zabývá i cenou a placením [78].



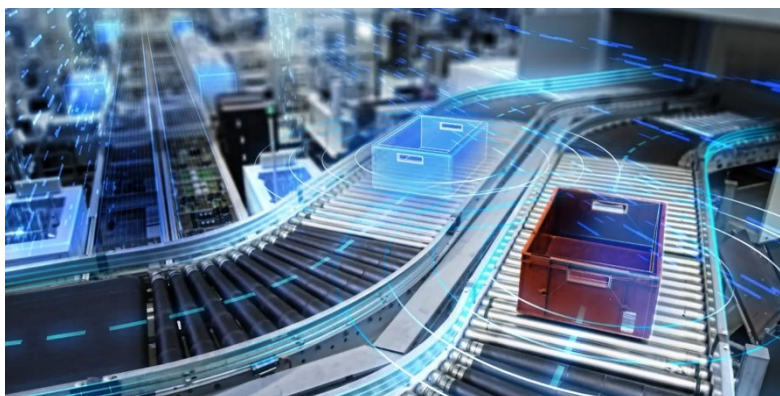
Obr. 9 - Digitální vlákno s využitím PLM a ERP (zdroj: [78])

Často bývá ve společnostech problém, že systémy ERP a PLM byly zaváděny odděleně, kdy plánování výrobku a jeho výroba spolupracovaly jen ve velmi malém měřítku. Proto je zaváděno Digitální vlákno, které umožňuje sběr dat ze všech částí společnosti a jejich propojení, aby každý stroj, robot, člověk nebo systém mohl pro sebe získat užitečná data a využít je. V případě propojení těchto výhod se systémy ERP a PLM lze tak dosáhnout větší efektivity a automatizace. Samozřejmě ne vždy jsou ve společnosti ERP a PLM využívány s rozdělením 50 % na 50 %, ale záleží na obchodním modelu, který firma zastává. V modelu, kdy se vyrábí vše dopředu, nebo dochází jen k malé konfiguraci produktu od zákazníka před úplnou výrobou, je realizace zakázky z větší části v rukou ERP. PLM zde má na starost jen správu dat a správu dokumentů k výrobě produktu. Naopak je to v obchodním modelu, kde je vývoj produktu zcela závislý na specifikaci od zákazníka. Zde nejdříve veškerá příprava probíhá v systému PLM a do ERP přicházejí už jen podklady k samotné výrobě produktu.

3.8 Digitální dvojče

Pro vysvětlení Digitálního vlákna je důležité si vysvětlit i pojem Digitální dvojče, který je přeložen z anglického výrazu „Digital twin“. Jedná se nejen o digitální kopii jednotlivých strojů, ale může se jednat i o náhradu logistiky nebo dokonce celého výrobního procesu. Je možné vytvořit takový digitální model, který vezme v potaz každý detail, a tím i znázorní činnost stroje nebo procesu a vyhodnotí varianty pro jeho řízení nebo optimalizaci. Digitální dvojče je obecně známé jako spojení dat mezi fyzickou entitou a její virtuální reprezentací, které jsou navzájem neustále spojené a automaticky se aktualizují. [79]

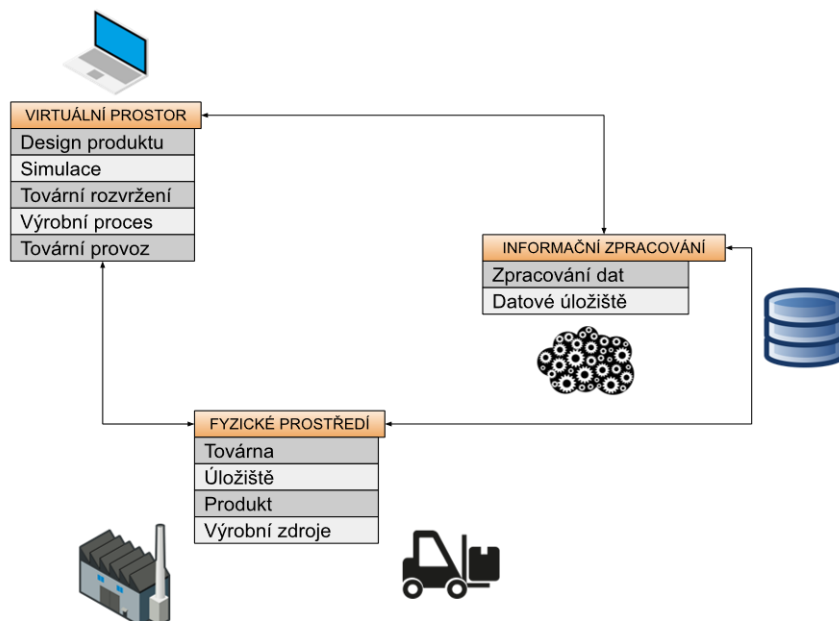
Jak je znázorněno na obrázku *Obr. 10*, Digitální dvojče se může využít například pro výrobní proces ve firmě, kdy je reálná výrobní linka přetransformována do digitální podoby. Nemusí se ale jednat jen o výrobní linku. Tímto způsobem může být transformována logistika, systém skladování a zjištění potřebné skladovací plochy, dokonce se nemusí jednat ani o výrobní společnost, ale svoji využitelnost najde i v modelování chování organizací, distribučních řetězců nebo měst.



Obrázek 10 - Digitální dvojče výrobního procesu (zdroj: [67])

Velmi často se Digitální dvojče používá ve výrobě v rámci řízení jeho životního cyklu a dokáže v průběhu predikovat možné problémy nebo minimalizovat hluchá místa a prostoje. Digitální dvojče může být jako cyklus databází mezi třemi komponenty, tj. fyzickým objektem, jeho virtuálním modelem a centrem pro zpracování informací, které propojuje fyzický objekt a jeho virtuální model. Tento koncept může být základ PLM a způsob výroby produktu, který splní požadované konstrukční specifikace. [77]

Jak je znázorněno na obrázku *Obr. 11*, fyzické prostředí je základem pro vývoj digitálního dvojčete, které se nevztahuje pouze na produkt, ale i na prostředí a interakci s ním. Virtuální prostor je digitální model fyzického prostředí a simuluje veškerou činnost v něm. Informační integrace zahrnuje shromážděná data z fyzických zdrojů, které jsou analyzovány a integrovány do digitální podoby.



Obr. 11 – Digitální dvojče a jeho aplikace ve výrobě (podle zdroje: [77])

Využití systému PLM dohromady s Digitálním dvojčetem může přinést lepší procesy pro řízení a správu všech fází životního cyklu produktu, které již vysvětlené PLM zahrnuje. Je možné modelovat mnoho variant a modulací každého procesu a mohou být testovány různé varianty například při plánování konstrukce produktu, ale také v mnoha dalších případech.

Digitální dvojče také může disponovat řídicí funkcionalitou. Toto dvojče s řídicí funkcí nese důležitý předpoklad pro dobře fungující kyberneticko-fyzikální systémy a tedy řízení průmyslových a logistických procesů, jelikož umožňuje funkci vykonávat nějaký úkol. [80]

4 Zhodnot'te využitelnost vybraných metod

Tato kapitola se věnuje zhodnocení výhod a nevýhod vybraných metod nebo nástrojů pro jejich implementaci v podniku. Důležité je, aby si samotný podnik (před zaváděním některé z metod) dobře zanalyzoval stávající metody, které aktuálně používá. V případě nově založeného podniku si musí vyhodnotit, jaká základní metoda pro daný typ výrobního procesu je nejvhodnější. Následně by měl zhodnotit všechny klady a zápory, které daná metoda se svou implementací přináší. V případě, že analýza těchto faktorů vyjde ve výsledné fázi pozitivní a podnik bude z implementace profitovat, je zásadní vytvořit plán, kterého se celý podnik při implementaci nové metody bude držet.

Kromě analýzy stávajících metod v podniku je pro implementaci podstatné znát detailní informace o všech procesech, které v podniku probíhají. Nejedná se jen o klíčové, ale také o řídicí nebo podpůrné procesy. Na základě těchto informací se vymezí, které procesy nová metoda nebo technologie ovlivní a jakým způsobem.

U všech metod je velmi důležitá komunikace se zaměstnanci, protože bez jejich ochoty a zapojení by žádná změna nedosáhla úspěchu. Před započítím zavádění změn řízení podniku by měla proběhnout komunikace ve všech vrstvách podniku. Například je vhodné, aby byl rozsah projektu implementace diskutován a definován se všemi zúčastněnými stranami, mezi které patří mimo jiné i vedoucí výroby, interního IT, kontroly, automatizace a dalších (to záleží na velikosti podniku). Zaměstnancům by měla být vysvětlena změna v takovém měřítku, aby ji pochopili, byli s ní souznění a byli ochotni ji podstoupit. Podstatnou částí zavádění nové metody nebo inovativních technologií je školení zaměstnanců od profesionálů, kteří dokážou pracovníky dobře zaučit a vysvětlit jim všechny nejasnosti. V případě neochoty zaměstnanců může nastat značné opoždění implementace a nová metoda nebude fungovat tak, jak má. To může skončit kolapsem.

V každém podniku je podstatné si uvědomit důležitost digitální transformace, digitalizace, implementace prvků Průmyslu 4.0, a tedy i zavádění již zmíněných nových nebo inovovaných metod a technologií. V případě odmítání této změny může podnik ztratit svoji pozici na trhu, přestane být konkurenceschopný a tím spěje k úpadku. Může se stát, že konkurence využije nové technologie, a tím zvýší svoji efektivitu, kvalitu a rychlost výroby, čím předběhne podnik bránící se zavádění novinek. Další možností je, že podnik prakticky není ohrožen konkurencí, a tím nepocit'uje tlak na implementaci nových technologií nebo

metod. Ovšem přijde nový podnik, který bude uveden do provozu s inovovanými metodami, a díky tomu získá patřičné výhody. Tato společnost pak snadno přebere klientelu podniku, který se implementaci bránil.

Na druhou stranu si podnik musí dobře rozvrhnout, na jak náročnou a rozsáhlou implementaci má finanční a personální prostředky. Popřípadě musí kvalitně na základě analýzy dat předpovědět, za jak dlouho bude z dané změny profitovat.

Aby byly metody využitelné pro podniky, a byly tedy i správně implementované, je ve většině případů nutné sjednat spolupráci s partnerem, který má se zaváděním konkrétní metody nebo technologií zkušenosti a zabývá se tím. Velmi důležité je vybrat toho pravého partnera, který dokáže implementovaný systém přizpůsobit danému podniku přímo na míru. Před začátkem spolupráce by se obě strany měly dohodnout na všech podmínkách a detailech pro zavádění nového systému a měly by být vzájemně sděleny veškeré informace o výrobě, podmínky a úskalí, které mohou nastat v průběhu implementace. V případě úspěšné dohody se následně může ve spolupráci pokračovat.

Při zavádění každé metody je podstatné vytvořit detailní plán celého procesu implementace. Tento plán by měl být vytvořen ve spolupráci se zmiňovaným partnerem, který jednotlivé části implementace bude zavádět a nastavovat je. Měl by obsahovat co nejvíce přesný harmonogram, detailně popsané všechny části a postupy s danou časovou a finanční náročností. Aby se ale tento plán nestal nevýhodou zavádění nových metod, je podstatné se v něm vyhnout nereálným očekáváním a nezaměřovat se v prvotní implementaci na zbytečné a malé detaily, které nejsou nutné k funkčnímu zprovoznění. Tyto detaily mohou celý proces výrazně zdržet a prodražit. Může se tím oslabit i plánování implementace hlavní metody, která je podstatou fungování systému.

Problém se kterým se potýkají všechny implementace, které využívají sdílení velkého množství dat a jejich analýzu, čelí hrozbě kybernetického útoku a ukradení nebo zneužití používaných dat. Jedná se o velmi aktuální riziko a již delší dobu se hledají možnosti jak ho omezit. Konkrétněji může nastat situace, kdy analýzy dat budou ukradeny a vymazány z podnikového úložiště a systému nebo poskytnuty konkurenci. Další variantou je, že se útočníci dostanou prostřednictvím podnikové sítě k řízení systémů nebo celého výrobního procesu a mohou napáchat ohromné škody. Pro zamezení tohoto problému a zabránění značné nevýhody implementace systémů nebo prvků založených na sběru dat se mohou

využít různé šifrovací metody nebo systémy se strukturou bezpečnostních klíčů.

4.1 Metody 4.0

Všechny metody jako JIT 4.0, Kanban 4.0, Jidoka 4.0 a obecně Lean 4.0 disponují podobnými základními výhodami a nevýhodami při své implementaci do podniku. Každá metoda zvlášť se následně liší v některých aspektech, které jsou pro ni unikátní.

Při vydařené implementaci těchto metod do podniku se mezi kladné stránky řadí několik výhod:

- **Zvýšení efektivity**

Výrazně se zlepši efektivita v podobě snadnějšího a kvalitnějšího řízení výrobních procesů

- **Zrychlení procesu**

Proces se urychlí ve všech částech výroby, ale také i v dodavatelské nebo zákaznické části procesu.

- **Snadné inovování**

V případě, že je v podniku již využívána některá z metod bez prvků Průmyslu 4.0, stačí jen postupně a vhodně podle nastaveného plánu nasazovat do procesů technologie, o které je inovovaná metoda vylepšena. V tomto případě je implementace vystavena menšímu riziku, než když se zavádí vše od úplného základu, protože je v případě selhání možné se vrátit k zaběhnuté staré metodě a ztráty nebudou tak vysoké.

- **Postupná implementace**

Jednotlivé technologie se dají implementovat postupně za běhu podniku bez nutnosti zastavení výroby, popřípadě zastavení jen na krátké intervaly. Postupně se s inovacemi zaučují i zaměstnanci a nejedná se tak o veliký skok, který by byl pro pochopení a zavedení příliš složitý.

Na druhou stranu mají metody i záporné stránky:

- **Riziko selhání implementace**

Hlavní nevýhodou je nebezpečí selhání implementace inovací do používané metody

nebo při úplném zakládání podniku. Zavádění nových technologií, systému a metod do podniků je velmi náročná věc, která závisí na mnoha faktorech, které mohou implementaci rychle a snadno zastavit.

- **Náklady**

V případě nepovedené implementace a dlouhého nastavování metody může dojít k vyčerpání prostředků na takto drahou metodu a může dojít k fatálnímu následku a zadlužení. Pokud se podnik zakládá a bude se celková metoda teprve zavádět, riziko je v tomto případě mnohem větší, protože náklady na zavedení metody „od nuly“ jsou v daném čase mnohokrát vyšší. Ovšem k vyčerpání prostředků uvolněných pro zavedení technologií Průmyslu 4.0 může nastat i v běžící metodě.

- **Doba trvání**

Implementace metod 4.0 trvá poměrně dlouho dobu, než se od myšlenky dojde k přesně zavedené a nastavené metodě. Můžou nastat situace, kdy z důvodu špatného a zdlouhavého ladění implementace selže.

V závislosti na předchozích odstavcích je nutné upozornit na to, že inovovat stávající metodu nebo zavádět inovovanou metodu o prvky Průmyslu 4.0 není nic jednoduchého a vyžaduje poměrně hodně finančních nákladů, času, zaučování a trpělivosti. Na druhou stranu může přinést po určitém čase značné benefity a prosperitu.

4.1.1 Implementace JIT 4.0

Při implementaci metody JIT 4.0 by se jako první měl vyvíjet a ladit software, který bude sedět pro daný podnik a výrobní proces, a být tedy synchronní s metodou JIT. Cílem tohoto softwaru je, aby byl schopný zpracovávat a přenášet získaná data například ze senzorů a aktivních členů výroby nebo informace od dodavatelů a mnoho dalších. Měl by být přehledný a snadno ovladatelný. Dalším aspektem by měla být schopnost vytvářet analýzy, které budou pro podnik užitečné například k řízení procesů. Důležité je aby software spolupracoval s Cloudem, kde se Velká data shromažďují, a odkud se uschované informace dají čerpat.

Následně by na řadu mělo přijít postupné osazování senzory, akčními členy a čipy jednotlivých prvků v celém podniku, které se právě postarají o sběr veškerých dat. Lze například pro komunikaci a sledování zboží využít metody RFID. Tyto technologie

v případě JIT výrazně zlepši sledování materiálu i jeho množství pro minimalizaci ztrát. Po zavedení sběračů dat na hlavní prvky, lze pokračovat s přidáváním dalších technologií a doplňovat i bonusy jako je například AGV.

V případě vydařeného zprovoznění popsaných technologií se výrazně zlepši řízení výrobních procesů alespoň tím, že může vzniknout částečně samostatný neboli autonomní systém, který některé části řízení procesů dokáže vyhodnocovat a spravovat samostatně.

4.1.2 Implementace Kanban 4.0

Při zavádění metody Kanban dohromady s prvky Průmyslu 4.0 je postup velmi podobný předchozí metodě JIT 4.0. Liší se jen některými prvky, které jsou pro metodu Kanban typické a charakterizují ji.

Důležitým krokem, aby nenastal problém s implementací a nastavení metody bylo co nejefektivnější, je dobře nastavit software, který převede karty Kanban do elektronické podoby, ve které budou snadno přístupné pro zaměstnance i pro celý systém pomocí chytrých elektronických zařízení, senzorů, čidel a například QR kódu.

Pro spolehlivé a efektivnější řízení výrobních procesů za pomoci tvoření analýz a využívání autonomního prostředí se využívají obdobné praktiky jako u návrhu JIT 4.0.

4.1.3 Implementace Jidoka 4.0

Od předchozích dvou metod JIT 4.0 a Kanban 4.0 se liší implementace metody Jidoka 4.0 jen minimálně. Jedná se například o zavádění automatické metody Andone a komunikace automatických linek v případě vzniku poruchy, která vyvolává zastavení celé výroby. Jsou zde obdobně ve spolupráci software, senzory, čidla, IoT, CPS a další. Výhody a nevýhody implementace prvků Průmyslu 4.0 jsou obdobné jakou u předchozích metod.

4.2 Implementace MES

U takto finančně náročné implementace, jako je zavedení MES do podniku, je velmi důležité, aby vše proběhlo podle plánu. V případě výskytu nějakého problému v průběhu by měl být dopad co nejnižší. V případě zavádění této metody je důležité, aby pro plán implementace byla zvolena správná pilotní a testovací linka nebo jednotka, kde se vše bude nejdříve zkoušet. Zde se mohou doladit případné chyby a zároveň dobře poslouží pro

zaškolení zaměstnanců, se kterými zavedení metody MES souvisí. Na pilotní lince vznikají i důležité analýzy, které jsou užitečné pro další kroky implementace. Po zdárném testování může přijít na řadu úplné zavedení MES.

Jak je již zmíněno v předchozím bodě této práce, MES velmi dobře spolupracuje se systémem ERP, proto je velmi výhodné aby v případě, že ERP v podniku již funguje, s ním MES byl plně synchronní (v případě zakládání podniku je vhodné myslet na benefity této spolupráce). Kromě toho je podstatné zavést dobře fungující komunikaci na bázi IoT a CPS.

4.3 Implementace PLM

Zavedení systému PLM je také velmi účinné v případě spolupráce se systémem ERP. Tato kombinace dokáže díky propojení všech částí podniku zaručit možnost kontroly, řízení a správy efektivním způsobem v případě, že je kvalitně zaveden software přizpůsobený podniku na míru. Jedná se o velmi dobrou pomůcku k digitální transformaci celého podniku, a tím i k vytvoření z obyčejného podniku organizaci nazývanou Smart factory.

K této implementované kombinaci systémů PLM a ERP může napomocet Digitální vlákno, které právě zaručuje plynulost při propojení dat a funkcionalitu těchto dvou systémů. Pro zavádění Digitálního vlákna je důležité vybrat partnera, který dokáže vyladit implementované vlákno do perfektní konfigurace. Pro implementaci je podstatné mít maximální množství dat ze všech procesů, které se v podniku uskutečňují. Jako výhodné se tedy zdá být začít u systému PLM. Následné prostoupení digitálního vlákna do všech možných částí podniku může přinést spousty výhod, jako jsou zvýšená efektivita procesů, lepší produktivita lidí celého podniku a zároveň se mohou zvýšit tržby na úkor většího objemu vyprodukovaných výrobků.

Aby zavedení nového softwaru PLM a k tomu i spojeného digitálního vlákna proběhlo hladce a bylo i dobře využitelné, je vhodné prostudovat stará data ve stávajícím softwaru. Například data starých nebo aktuálních kusovníků. A následně se rozhodnout, která data se budou přesouvat do nového systému, nebo která data mohou zůstat na svém místě. Současně by měla být data pro přesunutí v patřičné kvalitě, ve správném formátu. Tato kontrola a pročištění kusovníku značně zjednoduší průběh implementace a zároveň se na zavedená data do nového systému bude moct podnik spolehnout.

4.4 Implementace Digitálního dvojčete

Zavedení Digitálního dvojčete do podniku pro logistiku, výrobu, inovování produktu nebo další aplikace nese značné množství výhod a využití. Aby dnes zvýšené nároky na vývoj a výrobu byly zvládnutelné, přispívá právě zmiňované dvojče. Umožňuje totiž vytvořit produkt ve virtuálním prostředí, což proces výrazně urychlí. Tím je i ušetřeno mnoho nákladů, které by byly zapotřebí, kdyby bylo nutné provádět vývoj bez virtuálního prostředí. Většina nebo všechny chyby se dají ve virtuální části dvojčete doladit a nedochází k nim poté při fyzickém spuštění. Při využívání Digitálního dvojčete se dají dokonce závady predikovat. To znamená, že se výrazně zvyšuje celková kvalita produktu. Pro řízení výrobních procesů z toho plyne výhoda, že místo vzniku problému je identifikováno s velkou přesností. Díky tomu může být výrobní proces upraven tak, aby k chybovosti nedocházelo.

Další benefit týkající se řízení výrobních procesů je možné získat v případě, že je vytvořeno Digitální dvojče k logistice nebo k sestavení výrobních procesů samotných. Efektivnějším nastavením interního nebo externího pohybu materiálů, produktů a dalších věcí s výrobou spojených, se výrazně ušetří náklady na provoz a zlepší přehlednost.

Zároveň je kromě urychlení inovace a dodání nového produktu na trh i prostor na větší kreativitu, a tím je možné lépe uspokojit zákazníka.

Nevýhoda, která může nastat, je adaptovat se na software, který bude využíván pro uplatnění Digitálního dvojčete a zaškolení zaměstnanců, aby byli schopni s ním pracovat. Při využívání dvojčete nastává riziko ztráty nebo poškození dat, protože se jedná o ohromné množství informací, se kterými pracuje. Proto je lepší začínat se shromažďováním dat a implementací Digitálního dvojčete v místech výroby, kde je největší chybovost nebo kde vznikají největší náklady při odstavení provozu. Další nevýhodou jsou samozřejmě investice s implementací spojené.

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo vytvořit rešerši metod a technologií pro řízení výrobních procesů s využitím prvků Průmyslu 4.0. Následně bylo záměrem vybrané metody zhodnotit a objasnit, jaké výhody, nevýhody a překážky nastanou při zavádění metod a technologií do provozu.

V prvním bodě práce jsem popsal, co je to samotný proces, jak se člení a jakým způsobem se řídí. Vysvětlil jsem obecně charakteristiku řízení výroby a popsal několik tradičních metod pro řízení výrobních procesů (například MRP, ERP, JIT, Kanban, Jidoka a další).

V druhém bodě jsem objasnil, co je Průmysl 4.0, co ho charakterizuje a jaké jsou jeho hlavní prvky a technologie. Vysvětlil jsem například co je to IoT, CPS, Smart Factory. Popsal jsem, jaké důsledky nese příchod Průmyslu 4.0 včetně výhod, nevýhod, rizik nebo změn. Do tohoto bodu jsem zahrnul i predikci využitelnosti technologií Průmyslu 4.0 v podnicích po celém světě.

Ve třetím bodě bakalářské práce jsem k některým metodám z druhého bodu přiřadil technologie spojené s Průmyslem 4.0 a popsal fungování těchto inovovaných metod. Tradiční metody díky tomuto spojení disponují novými výhodami. Dále jsem do třetího bodu zahrnul systémy a metody, které fungují na technologiích Průmyslu 4.0 a přinášejí veliké výhody při spolupráci s jinými metodami nebo systémy. Jedná se o MES a PLM. Ke konci třetího bodu jsem vysvětlil možnosti využití spolupráce metod s Digitálním vláknem a Digitálním dvojčtem. Díky implementaci těchto metod a technologií se podnik stává efektivnějším a konkurenceschopným, navíc se přibližuje pojmu Smart Factory, který je popsán v druhém bodě.

Ve čtvrtém bodě jsem se zaměřil na důležité faktory spojené s využitelností a implementací metod nebo technologií ze třetího bodu. Obecně jsem popsal, co podnik při zavádění čeká a zdůvodnil jsem, proč nemusí implementace vyjít podle představ. Zároveň jsem vysvětlil, proč je důležité udělat si dobrý plán a připravit se na různá rizika, protože v případě zdárné implementace podnik může velmi dobře profitovat. V tomto posledním bodě jsem u každé konkrétní metody nebo systému zhodnotil, jaké jsou jejich výhody, nevýhody, co by měl podnik udělat, aby pro něj metoda byla využitelná a jaké benefity podniku přinese.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] A. Svozilová, *Zlepšování podnikových procesů*. Praha: Grada, 2011.
- [2] M. Hammer a J. Champy, „Reengineering the corporation: A manifesto for business revolution“, *Business Horizons*. New York, 1993, doi: 10.1016/S0007-6813(05)80064-3.
- [3] V. Řepa, *Podnikové procesy: Procesní řízení a modelování*. Praha: Grada, 2006.
- [4] ÚNMZ; ISO, „Čsn En Iso 9001:2016“, *Technické Normy*, 2016. <http://www.agentura-cas.cz/> (viděno zář. 02, 2020).
- [5] V. Řepa, *Procesně řízená organizace*. Praha: Grada, 2012.
- [6] M. Grasseová, R. Dubec, a R. Horák, *Procesní řízení ve veřejném sektoru: teoretická východiska a praktické příklady*. Brno: Computer Press, 2008.
- [7] F. Šmída, *Zavádění a rozvoj procesního řízení ve firmě*. Praha: Grada, 2007.
- [8] M. Synek, *Podniková ekonomika, 4. přeprac.* Praha: C. H. Beck, 2006.
- [9] P. F. Drucker, *Innovation and entrepreneurship: Practice and principles*. New York: Harper & Row, 1985.
- [10] J. Počta, *Řízení výrobních procesů*. VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2012.
- [11] J. Orlicky, *Material Requirements Planning: The New Way of Life in Production and Inventory Management*. McGraw-Hill, 1975.
- [12] J. Orlicky, *Orlicky's Material Requirements Planning*. New York: McGraw Hill Professional, 1994.
- [13] C. A. Ptak a C. Smith, *Orlicky's Material Requirements Planning, Third Edition*. McGraw-Hill Education, 2011.
- [14] T. Lunn a S. A. Neff, *MRP: Integrating Material Requirements Planning and Modern Business*. Business One Irwin, 1992.
- [15] Z. Čujan a Z. Málek, *Výrobní a obchodní logistika*. Zlín: UTB, 2008.
- [16] „Not Just for Manufacturing, Material Requirements Planning (MRP) Is Indispensable for Any Business“, *Smartsheet*. <https://www.smartsheet.com/guide-to-material-requirements-planning> (viděno zář. 04, 2020).
- [17] X. Lukoszová, *Nákup a jeho řízení*. Brno: Computer Press, 2004.
- [18] J. Basl a R. Blažíček, *Podnikové informační systémy*. Praha : Grada Publishing, 2007.
- [19] R. Gumaer, „Beyond ERP and MRP II“, *IIE Solut.*, 1996.
- [20] A. Rizzi a R. Zamboni, „Efficiency improvement in manual warehouses through ERP systems implementation and redesign of the logistics processes“, *Logist. Inf. Manag.*,

- 1999, doi: 10.1108/09576059910295805.
- [21] C. Soh, S. S. Kien, a J. Tay-Yap, „Cultural fits and misfits: Is ERP a universal solution?“, *Commun. ACM*, 2000, doi: 10.1145/332051.332070.
- [22] M. Rosseman, „ERP-software-characteristics and consequences, Proceeding of the 7th European Conference on Information Systems“, 1999.
- [23] G. G. Gable, J. E. Scott, a T. D. Davenport, „Cooperative ERP Life-cycle Knowledge Management“, *Ninth Aust. Conf. Inf. Syst.*, 1998.
- [24] M. Markus, C. Tanis, a P. Fenema, „Multisite ERP implementation. Communications of the ACM 43“, 2000.
- [25] „ERP systém“, *KEIL*. <https://www.vaclavkeil.cz/erp-system/> (viděno zář. 15, 2020).
- [26] C. P. Holland a B. Light, „Critical success factors model for ERP implementation“, *IEEE Softw.*, 1999, doi: 10.1109/52.765784.
- [27] D. J. Anderson, *Kanban: successful evolutionary change in your technology business*. Sequim, Washington : Blue Hole Press, 2010.
- [28] 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.
- [29] J. Sixta a M. Žižka, *Logistika, Metody používané pro řešení logistických projektů 1. vyd.* Brno: Computer Press, a. s., 2009.
- [30] T. C. Cheng a S. Podolsky, *Just-in-Time Manufacturing: An introduction*. Springer Netherland, 1996.
- [31] D. M. Wellan a H. Lee, „Vendor Survey Plan: A Selection Strategy for JIT/TQM Suppliers“, *Ind. Manag. Data Syst.*, roč. 93, č. 6, s. 8–13, led. 1993, doi: 10.1108/02635579310040915.
- [32] M. Gregor a J. Kosšturiak, *Just-in-time: výrobná filozofia pre dobrý management*. Bratislava: Elita, 1994.
- [33] G. Singh a I. Ahuja, „Just-in-time manufacturing: literature review and directions“, *Int. J. Bus. Contin. Risk Manag.*, roč. 3, s. 57–98, led. 2012, doi: 10.1504/IJBCRM.2012.045519.
- [34] T. Ohno, *Toyota Production System*. Taylor & Francis Ltd, 1988.
- [35] M. H. A. Soliman, „Jidoka – The Missing Pillar!“, https://www.researchgate.net/publication/332170097_Jidoka_-_The_Missing_Pillar, 2016. .
- [36] M. Baudin, „Working with Machines:The Nuts and Bolts of Lean Operations with Jidoka“, Productivity Press, 2007.

- [37] S. Shingo, *A study of the toyota production system: From an industrial engineering viewpoint*. 2019.
- [38] E. Mohamad, M. Abd Rahman, T. Ito, a A. A. Abdul Rahman, *Framework of Andon Support System in Lean Cyber-Physical System Production Environment*. 2019.
- [39] B. Roseke, „What to Learn from the Toyota Production System“, *Project Engineer*, 2019. <https://www.projectengineer.net/what-to-learn-from-the-toyota-production-system/> (viděno řij. 02, 2020).
- [40] P. Dennis, *Lean Production Simplified, Second Edition, A Plain-Language Guide to the World's Most Powerful Production System*. New York: Productivity Press, 2005.
- [41] M. Kurdve, M. Zackrisson, M. Wiktorsson, a U. Harlin, „Lean and green integration into production system models – experiences from Swedish industry“, *J. Clean. Prod.*, roč. 85, s. 180–190, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.04.013>.
- [42] T. Schulte, *Logistika*. Victoria Publishing, a.s., 1994.
- [43] C. Roser, „Theory and Practice on FiFo Lanes – How Does FiFo Work in Lean Manufacturing?“, 2014. .
- [44] M. A. K. Bahrin, M. F. Othman, N. H. N. Azli, a M. F. Talib, „Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic“, *Jurnal Teknologi*. 2016, doi: 10.11113/jt.v78.9285.
- [45] M. Hermann, T. Pentek, a B. Otto, „Design principles for industrie 4.0 scenarios“, 2016, doi: 10.1109/HICSS.2016.488.
- [46] V. Mařík, *Průmysl 4.0: výzva pro Českou republiku*. Praha: Management Press, 2016.
- [47] J. Smit, S. Kreutzer, C. Moeller, a M. Carlberg, „Industry 4.0 - Study for the ITRE Committee“, *Eur. Parliam.*, 2016.
- [48] „Nová průmyslová revoluce – Průmysl 4.0“, *DATAMIX*, 2017. <https://www.datamix.eu/blog/nova-prumyslova-revoluce-prumysl-4-0/> (viděno lis. 04, 2020).
- [49] 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.
- [50] V. Pikora, „Průmysl 4.0 a jeho vliv na ekonomiku“, 2016.
- [51] A. Lazić a M. Jović, „Strategic digital transformation of organisations“, 2020, doi: 10.2991/senet-19.2019.29.
- [52] M. Cortet, T. Rijks, a S. Nijland, „PSD2 : The digital transformation accelerator for banks“, *J. Payments Strateg. Syst.*, 2016.
- [53] „ISA: International Society of Automation“. <https://www.isa.org/about-isa/what-is->

- automation/ (viděno lis. 12, 2020).
- [54] I. ŠVARC, M. ŠEDA, a M. VÍTEČKOVÁ, *Automatické řízení*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007.
- [55] Y. Lu, „Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues“, *Journal of Industrial Information Integration*. 2017, doi: 10.1016/j.jii.2017.04.005.
- [56] M. Chen, J. Wan, a F. Li, *Machine-to-Machine Communications: Architectures, Standards and Applications*. KSII Transactions on Internet and Information Systems, 2012.
- [57] M. Weyrich, J.-P. Schmidt, a C. Ebert, „Machine-to-Machine Communication“, *Software, IEEE*, roč. 31, s. 19–23, čvc. 2014, doi: 10.1109/MS.2014.87.
- [58] S. Yin, J. Bao, Y. Zhang, a X. Huang, „M2M Security Technology of CPS Based on Blockchains“, *Symmetry (Basel)*., roč. 9, č. 9, 2017, doi: 10.3390/sym9090193.
- [59] L. Da Xu, E. L. Xu, a L. Li, „Industry 4.0: State of the art and future trends“, *Int. J. Prod. Res.*, 2018, doi: 10.1080/00207543.2018.1444806.
- [60] R. Van Kranenburg, *The Internet of Things A critique of ambient technology and the all-seeing network of RFID*. 2008.
- [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 lis. 25, 2020).
- [62] „Microsoft Azure“. <https://azure.microsoft.com/cs-cz/overview/what-is-cloud-computing/> (viděno pro. 08, 2020).
- [63] S. Wang, C. Zhang, C. Liu, D. Li, a H. Tang, „Cloud-assisted interaction and negotiation of industrial robots for the smart factory“, *Comput. Electr. Eng.*, 2017, doi: 10.1016/j.compeleceng.2017.05.025.
- [64] S. Wang, J. Wan, D. Zhang, D. Li, a C. Zhang, „Towards smart factory for industry 4.0: A self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination“, *Comput. Networks*, 2016, doi: 10.1016/j.comnet.2015.12.017.
- [65] „What happens in a Smart Factory?“, *VINCI Energies*. <https://www.vinci-energies.co.uk/en/inside-smart-factory/> (viděno pro. 11, 2020).
- [66] „The Future of Jobs Report 2020“, *World Economic Forum*, 2020. <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2020> (viděno dub. 22, 2021).
- [67] „Siemens presents solution for the digital transformation of the intralogistics sector“,

- Ertico*, 2019. <https://erticonetwork.com/siemens-presents-solutions-for-the-digital-transformation-of-the-intralogistics-sector/> (viděno led. 25, 2021).
- [68] J.-C. André, *From Additive Manufacturing to 3D/4D Printing 1*. Wiley-ISTE, 2017.
- [69] B. Mrugalska a M. Wyrwicka, „Towards Lean Production in Industry 4.0”, *Procedia Eng.*, roč. 182, s. 466–473, pro. 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.03.135.
- [70] F. Rosin, P. Forget, S. Lamouri, a R. Pellerin, „Impacts of Industry 4.0 technologies on Lean principles”, *Int. J. Prod. Res.*, roč. 58, č. 6, s. 1644–1661, bře. 2020, doi: 10.1080/00207543.2019.1672902.
- [71] R. J. Eleftheriadis a O. Myklebust, „A Quality Pathway to Digitalization in Manufacturing thru Zero Defect Manufacturing Practices BT - 6th International Workshop of Advanced Manufacturing and Automation”, lis. 2016, s. 187–191, doi: <https://doi.org/10.2991/iwama-16.2016.35>.
- [72] D. Kolberg a D. Zühlke, „Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies”, *IFAC-PapersOnLine*, roč. 48, č. 3, s. 1870–1875, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.359>.
- [73] Tulip, „Manufacturing Execution Systems”, 2019. <https://tulip.co/resources/mes-ultimate-guide/#Introduction>.
- [74] S. Pyramid, „3 Major Differences between an MES and ERP Systems”. <https://pyramidsolutions.com/intelligent-manufacturing/3-differences-between-mes-and-erp/> (viděno led. 28, 2021).
- [75] „Manufacturing Maintenance: How Does an MES Help?”, *SOFTWARE ADVICE*, 2016. <https://www.softwareadvice.com/resources/how-does-an-mes-help-manufacturing-maintenance/> (viděno bře. 20, 2021).
- [76] J. Stark, *Product Lifecycle Management (Volume 3): The Executive Summary*. Springer International Publishing, 2018.
- [77] T. Y. Pang, J. D. Pelaez Restrepo, C. T. Cheng, A. Yasin, H. Lim, a M. Miletic, „Developing a digital twin and digital thread framework for an ‘industry 4.0’ shipyard”, *Appl. Sci.*, roč. 11, č. 3, s. 1–23, 2021, doi: 10.3390/app11031097.
- [78] „Jak naladit Digitální vlákno ve vašem podniku?”, *AV ENGINEERING, a.s.* <https://www.aveng.cz/spolecnost/novinky/jak-naladit-digitalni-vlakno-ve-vasem-podniku> (viděno úno. 05, 2021).
- [79] P. Toman, „Digitální dvojčata mění plánování výroby, skladů i dodavatelských řetězců. Do dvou let je nasadí polovina průmyslových koncernů”, *Logistika*, 2019. <https://logistika.ihned.cz/c1-66607370-digitalni-dvojcata-meni-planovani> (viděno

úno. 11, 2021).

- [80] P. Bílik, „Digitální dvojče: Vůdčí technologie inteligentního průmyslu“, 2019.
<https://www.vseoprmyslu.cz/digitalizace/digitalni-prototypovani/digitalni-dvojce-vudci-technologie-inteligentniho-prumyslu.html> (viděno úno. 11, 2021).

Přílohy

Příloha č.1 - Predikce technologií přijatých v podnicích do roku 2025

