

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA MATERIÁLŮ A TECHNOLOGIÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Optimalizace výrobních procesů v rámci konceptu
Průmysl 4.0**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Lukáš VEINAR**
Osobní číslo: **E17B0230P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Téma práce: **Optimalizace výrobních procesů v rámci konceptu Průmysl 4.0**
Zadávající katedra: **Katedra materiálů a technologií**

Zásady pro vypracování

1. Popište metody a nástroje využívané k optimalizaci výrobních procesů.
2. Vysvětlete koncept Průmysl 4.0.
3. Vyberte metody a nástroje využitelné k optimalizaci výrobních procesů v rámci iniciativy Průmysl 4.0.
4. Zhodnoťte klady a zápory vybraných nástrojů při využití v Průmyslu 4.0.




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. Praha: Management Press, 2016. ISBN 978-80-7261-440-0
2. GEORGE, L., M.: Kapesní příručka Lean Six Sigma: rychlý průvodce téměř 100 nástroji na zlepšování kvality procesů, rychlosti a komplexity. Brno: SC&C Partner, 2010. ISBN 978-80-904099-2-7
3. IMAI, Masaaki. Kaizen: metoda, jak zavést úspornější a flexibilnější výrobu v podniku. Computer Press, 2004. ISBN 80-251-0461-3
4. Elektronické informační zdroje (IEEE, Sciencedirect)

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. David Fremr**
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

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na popis a užívání základních nástrojů a metod pro optimalizaci výrobních procesů a vysvětluje samotný koncept Průmysl 4.0, jeho historii, technologii a základní nástroje, které se využívají. V práci je zmapován současný stav využívání Průmyslu 4.0 v České republice. Závěrečná část této práce je věnována popisu implementace jednotlivých optimalizačních metod v samotném Průmyslu 4.0 a jsou popsány výhody a nevýhody používaných nástrojů.

Klíčová slova

Průmysl 4.0, proces, technologie, nástroje, optimalizace, Kaizen, Six sigma, Kanban, Just in Time, CPS, IoT, Lean, senzory, internet, zlepšování

Abstract

The presented bachelor thesis is focused on the description of basic tools and methods of process optimization in production processes. The very concept of Industry 4.0, its history and the technologies that occur in it are described. The basic tools of Industry 4.0 that are the current state of use in Czech Republic are presented. The final part of this work is devoted to the description of the implementation of individual optimization methods in Industry 4.0 itself and the advantages and disadvantages of the tools used.

Key words

Industry 4.0, process, technology, tools, optimization, Kaizen, Six sigma, Kanban, Just in Time, CPS, IoT, Lean, sensors, internet, improvement

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 26.5.2021

Lukáš Veinar

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Davidu Fremrovi za cenné profesionální rady, konzultace, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	11
1 METODY A NÁSTROJE PRO OPTIMALIZACI VÝROBNÍCH PROCESŮ	12
1.1 SIX SIGMA	12
1.2 PDCA CYKLUS	13
1.3 METODA DMAIC	14
1.4 TOTAL QUALITY MANAGEMENT	16
1.5 LEAN MANAGEMENT	17
1.6 KAIZEN	18
1.7 VALUE STREAM MAPPING	19
1.8 POKA-YOKE.....	20
1.9 JUST IN TIME.....	21
1.10 KANBAN	22
2 PRŮMYSL 4.0	24
2.1 ÚVOD DO HISTORIE	24
2.1.1 První průmyslová revoluce.....	24
2.1.2 Druhá průmyslová revoluce	24
2.1.3 Třetí průmyslová revoluce	25
2.1.4 Čtvrtá průmyslová revoluce.....	26
2.2 CHARAKTERISTIKA A POPIS PRŮMYSLU 4.0	27
2.2.1 Digitalizace, automatizace a kybernetika.....	27
2.3 TECHNOLOGIE A NÁSTROJE V PRŮMYSLU 4.0	28
2.3.1 Kyber-fyzikální výrobní systémy.....	29
2.3.2 Komunikace stroj-stroj	29
2.3.3 Internet věcí.....	30
2.3.4 Big data	30
2.3.5 Cloudové služby a kyberbezpečnost.....	30
2.3.6 Virtuální realita, simulace a umělá inteligence.....	30
2.4 PŘÍNOSY PRŮMYSLU 4.0	31
2.5 PRŮMYSL 4.0 V ČESKÉ REPUBLICĚ.....	31
3 OPTIMALIZACE PROCESŮ V PRŮMYSLU 4.0	33
3.1 VYUŽITÍ METODY DMAIC V PRŮMYSLU 4.0	33
3.1.1 Definování problému – D	33
3.1.2 Fáze měření dat – M.....	33
3.1.3 Analýza dat – A.....	34
3.1.4 Fáze zlepšování – I.....	35
3.1.5 Sledování zavedených změn a zhodnocení – C	36
3.2 LEAN MANAGEMENT V PRŮMYSLU 4.0 - KANBAN	37
3.2.1 e-Kanban	37
3.2.2 Kdy využívat e-Kanban oproti klasickému Kanbanu	38
3.2.3 e-Kanban v Průmyslu 4.0	39
3.3 APLIKACE METODY JUST IN TIME V PRŮMYSLU 4.0.....	41
3.3.1 Požadavky a předpoklady pro aplikaci.....	41
3.3.2 Používané technologie a nástroje.....	42
3.3.3 Dodávkový CPS systém Just in Time	43
4 SHRUTÍ A ZHODNOCENÍ NÁSTROJŮ V PRŮMYSLU 4.0	45
ZÁVĚR	47

SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....	49
PŘÍLOHY	1

Úvod

Předkládaná bakalářská práce se zabývá základními optimalizačními nástroji a technikami společně s jejich využitím v moderním Průmyslu 4.0. Cílem dnešní průmyslové výroby je snaha využívat moderní technologie, které jednotlivým podnikům umožní snížit náklady, zlepšit výrobní proces, dbát na ekologii a zároveň dosáhnout větších zisků. Právě takové technologie si lze představit pod slovem Průmysl 4.0. Jsou to např. elektronické senzory, roboti nebo výpočetní technika. Představa je taková, že stroje nahradí lidskou práci,lepší se přesnost a rychlost výroby. Vše, co se dá zdigitalizovat, bude zdigitalizováno.

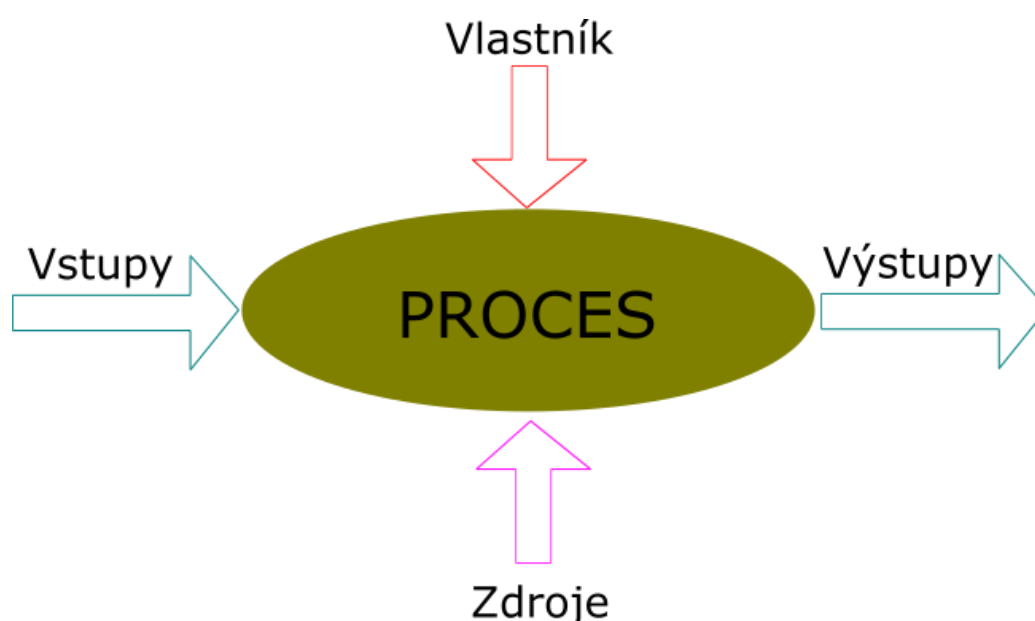
Práce je rozdělena na čtyři základní kapitoly, v první kapitole jsou popsány základní techniky a nástroje pro optimalizaci procesů. Jsou to například Six Sigma, Kaizen, Kanban nebo Just in Time. S pomocí těchto technik lze dosáhnout určitého zlepšení ve výrobě, podmínkou je nástroj či techniku použít správně. Jedině správným použitím lze dosáhnout požadovaného cíle. Druhá kapitola je věnována samotnému Průmyslu 4.0, jeho počátkům a vývoji. Řeší to, co celému konceptu předcházelo a co si pod tímto slovem vlastně představit. Jsou popsány technologie, které se používají, a je uveden i současný stav z pohledu České republiky v Průmyslu 4.0. Třetí kapitola spojuje moderní technologie ze samotného Průmyslu 4.0 se základními optimalizačními metodami. Cílem spojení těchto dvou věcí je snaha zlepšit celý výrobní proces nebo jeho část a zajistit bezproblémový chod. Ve třetí kapitole lze tedy nalézt popis postupného zlepšování výrobního procesu pomocí metody DMAIC s využitím výpočetní techniky, digitální systém Kanban a metodu Just in Time, která má za úkol zajistit přesnou dodávku materiálu s využitím senzorů a výpočetní techniky. Závěr práce se věnuje zhodnocení využívaných technologií, jejich výhodám i nevýhodám.

Seznam symbolů a zkratk

6σ	.....	Six Sigma
CTQ	.....	Critical to Quality Tree
RCA	.....	Root Case Analysis
TQM	.....	Total Quality Management
TPS	.....	Toyota Production System
VSM	.....	Value Stream Mapping
JIT	.....	Just In Time
PLC	.....	Programmable Logic Controller
CPS	.....	Cyber Physical Systems
M2M	.....	Machine to Machine
IoT	.....	Internet of Things
MSA	.....	Measurement system Analysis
AIM	.....	Automatic Optical Inspection
CMM	.....	Coordinate Measuring Machines
ERP	.....	Enterprise Resource Planning
GPS	.....	Global Positioning System
RFID	.....	Radio-Frequency Identification

1 Metody a nástroje pro optimalizaci výrobních procesů

Trendem poslední doby je snaha výrobních společností snižovat své výrobní náklady na minimum, co nejvíce zefektivnit výrobu, a tím optimalizovat výrobní proces. Slovem proces se rozumí soubor činností, kde se vstupy přeměňují na výstupy za pomoci zdrojů. Tyto zdroje mohou být lidské, finanční nebo informační. Každý proces musí mít svého vlastníka, který je za proces zodpovědný. Vstupem se rozumí vše, co je během procesu zcela spotřebováno a výstupem je výsledný produkt procesu. Jednoduchý Obr. 1 představuje základní schéma procesu. [1]



Obr. 1 – Schéma procesu

1.1 Six Sigma

Metoda Six Sigma (značeno 6σ) je metoda optimalizace, která byla vytvořena americkou společností Motorola. Tato metoda se využívá zejména ke snížení chybovosti a zlepšení dalších variabilit. Je velmi rozšířena v téměř každém odvětví dnešního průmyslu, ve službách a dnes je využívána i v komerčních činnostech. V dnešní době je to standardní metoda používaná ve většině společností po celém světě. Vlastní princip této metody je založen na minimalizaci chyb při výrobě produktů, tím firma zvyšuje své zisky a zároveň spokojenost koncového zákazníka, kterému poskytuje bezchybně vyrobený produkt či služby. Jednoduše řečeno, nejprve je nutné nalézt příčinu daného problému a poté najít rychlé a efektivní řešení pro samotné odstranění problémů ve výrobním procesu. [2]

Cílem je, aby se nevyskytovalo více než 3,4 chyby na jeden milion příležitostí, takzvaný DPMO – Defect Per Milion Opportunities. Tato metoda se dělí celkem do šesti úrovní viz. *Tab. 1* podle poměru hodnoty DPMO a efektivity procesu. Lze vidět, že úroveň 6 je efektivnější než úroveň 5. Z toho plyne, že čím vyšší úroveň, tím lepší je efektivita. Hodnota DPMO se vypočítá podle vzorce: [2], [3]

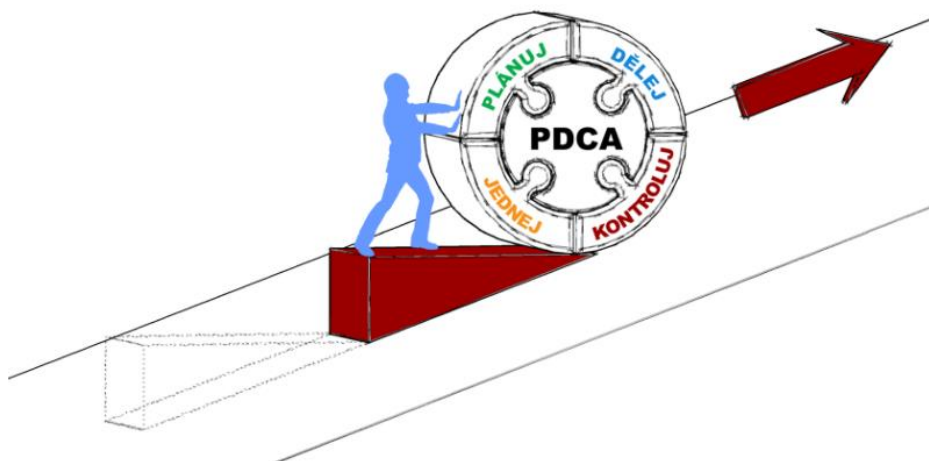
$$DPMO = \frac{\text{celkový počet defektů}}{\text{počet ověřených jednotek} \times \text{počet příležitostí na jednotku}} \times 10^6 \quad (1)$$

Tab. 1 - Úrovně Six Sigma podle hodnoty DPMO a efektivity procesu. [3]

Úroveň Six Sigma	Hodnota DPMO	Efektivita procesu
1	691 462	30,8500 %
2	308 538	69,1460 %
3	66 807	93,3190 %
4	6 210	99,3790 %
5	233	99,9767 %
6	3,4	99,9996 %

1.2 PDCA cyklus

Jeden z mnoha nástrojů postupného zlepšování, který lze využívat při řešení určitých problémů v procesech a zlepšování efektivity, je PDCA cyklus. Cyklus se neustále po sobě opakuje, je to proces, který nikdy nekončí, viz *Obr. 2*. Můžeme jej nazvat také Demingův cyklus, nese název po svém autorovi, kterým je W. Edwards Deming. Jednotlivá písmena z cyklu mají svůj daný význam. P – Plan (plánuj), D – Do (dělej), C – Check (kontroluj), A – Act (jednej). Tento cyklus je široce využitelný při řešení téměř jakéhokoliv problému či při zavádění změn. [4], [5]



Obr. 2 – PDCA cyklus. [5]

1. Plan – plánuj

V první fázi celého cyklu je důležité definovat konkrétní problém, který má být odstraněn. Dále se musí zvolit vhodný postup při řešení samotného problému. V tomto kroku musí být jasně určen tým pracovníků a zároveň je nutné zjistit faktory mající největší vliv na výstup. Vhodné je také stanovit daný cíl, to znamená, čeho se má dosáhnout. [4], [5]

2. Do – dělej

V této části se implementují změny a provádějí se testy, dále se sbírají data, která se budou kontrolovat v dalším kroku. [4], [5]

3. Check – kontroluj

Ve třetí fázi cyklu je zvoleno nejvhodnější řešení, a to se podrobně sleduje. Sesbíraná data a měření podléhají kontrole, která se následně porovnává s hodnotami před implementací. Ověří se, zda je řešení funkční a splňuje cíl z kroku číslo 1. [4], [5]

4. Act – jednej

V poslední části, kdy se problém podařilo úspěšně odstranit, se zavedou veškeré změny do systému, to je tzv. standardizace. Důležité je také to, aby se příslušné změny pravidelně dodržovaly. Pokud se problém odstranit nepodařilo nebo se nedosáhlo definovaného cíle, celý cyklus opakujeme s novým plánem. [5]

1.3 Metoda DMAIC

Metoda je rozdělena do pěti kroků, které jdou postupně za sebou viz *Obr. 3* Z toho vyplývá také název. Každé písmeno v názvu značí jednu přesně danou operaci. D – Define (definuj), M – Measure (měř), A – Analyse (analyzuj), I – Improve (vylepši), C – Control (kontroluj). Jednotlivé kroky jsou popsány níže. Metoda je univerzální a lze ji použít pro jakékoliv zlepšování procesů. Metoda DMAIC je hlavní součástí metody Six Sigma a jedná se vlastně o vylepšený PDCA cyklus, který již nesplňoval vyšší nároky, a proto se vytvořila nová metoda DMAIC. [6], [7], [8]



Obr. 3 – DMAIC cyklus [7]

1. Define – definuj

V prvním kroku daného cyklu je nezbytné označit si problém, jenž bude řešen. Hlavním úkolem je stanovení cíle zlepšení, čeho se má dosáhnout a za jakou cenu. Je plně definovaný tým pracovníků, kteří budou spolupracovat, a také pevně daný plán, který obsahuje jednotlivé kroky. Je nezbytně nutné se po celou dobu těmito kroky řídit, aby byl daný problém efektivně odstraněn, a mimo jiné také proto, aby nedošlo k problémům dalším. [6], [8], [9]

2. Measure – měř

V druhém kroku měření, je nutné získat co nejvíce informací o daném procesu a problému. Nezbytným požadavkem tohoto kroku je zajištění procesní mapy a dostatek změřených dat, kterými jsou např. četnost, chybovost, výstupy, vstupy a další vhodné parametry. V konečné části měření definujeme, jakých hodnot bychom chtěli dosáhnout. [6], [9]

3. Analyse – analyzuj

V tomto kroku se zaměřujeme přímo na samotnou příčinu vzniku problému. Definovaný tým z kroku 1 podrobně analyzuje a snaží se přijít na to, proč problém vznikl. Používá se např. velmi známá metoda 5x Proč, CTQ nebo RCA. Metoda 5x Proč je založena na pokládání si otázky „Proč?“ v cyklu 5x za sebou. Tento způsob vede k objasnění příčiny problému. CTQ znamená v překladu Critical to Quality Tree a jsou to

klíčové charakteristiky procesu, které se dají nějakým způsobem měřit a musejí být splněny, aby koncový zákazník byl spokojen. RCA znamená Root Cause Analysis a je to proces odhalující základní kořenové příčiny, je velmi podobný metodě CTQ. Důležitým krokem není samotná analýza, ale zjištění, že změřená data z předchozího kroku povedou k odstranění příčiny problému a jeho zlepšení. [8], [9]

4. Improve – vylepší

Zde dochází k samotnému řešení problému. Jako první se hledá způsob, jak problém efektivně odstranit. Toto vše zahrnuje kalkulace, plánování, ale také zvažování rizika s tím spojeného. Dále je nutné ověřit, jestli řešení bude funkční, zda bude splňovat definované cíle, a také jaké bude mít přínosy a rizika. Velmi populární metodou pro návrh zlepšení je tzv. brainstorming. Ten funguje na velmi jednoduchém principu. Nejprve je nutné určit moderátora a skupinu jedinců, stačí 2-6, poté už jen každý z nich hledá vhodný způsob řešení a postupně se jednotlivé možnosti posuzují a následně zapisují. Vyberou se takové návrhy, které jsou nejvhodnější pro řešení dané situace. [9]

5. Control – kontroluj

V poslední fázi, pokud se v předchozím kroku podařilo problém úspěšně odstranit, se všechny změny zavedou do procesu a budou se nadále dodržovat. Provádí se pravidelná kontrola, při níž se sledují upravené činnosti a postupy, a zároveň se stanoví časový horizont sledování. Následně se vyhodnotí výsledky a zisk po optimalizaci výrobního procesu. [6]

1.4 Total quality management

První zkušenosti a zmínky o této metodě se objevují v padesátých letech 19. století v USA, nicméně největší využití získala výše jmenovaná metoda v Japonsku a využívají ji světoznámé firmy jako Sony, Suzuki, Toyota atd. Název se většinou doslovně nepřekládá a používá se často pouze zkrácený zápis TQM. Není to přímé řešení, jak odstranit problémy, ale jak je řešit. Tento koncept vznikl ze společné práce několika jednotlivců, kteří studovali a vyvíjeli modely pro zlepšení efektivity a zlepšování. Podíleli se na tom zejména W. Edwards Deming, Stephen Covey, Joseph Juran, Philip Crosby a další. Tato metoda klade velký důraz na řízení kvality ve všech směrech organizace. Účastní se všichni členové organizace a zaměřují se na dlouhodobé úspěchy neustálým zlepšováním interních postupů. Každé slovo z názvu má svůj význam. **Total** – Dosažení úspěchu záleží na

každém pracovníkovi a jsou zapojeni všichni. Tito lidé vytvářejí procesy, které pokryjí potřeby koncových zákazníků s pomocí nejefektivnější strategie a za účelem maximálního zisku. **Quality** – Cílem každé firmy je dosažení největší kvality produktů a služeb. Tyto produkty a služby musí splnit termín, místo a cenu, aby si firma udržela koncové zákazníky a místo na konkurenčním trhu. **Management** – Vrcholový management musí vést organizaci efektivně a snažit se dosáhnout firemních vizí, cílů s pomocí neustálého zlepšování kvality procesů. [10], [11]

1.5 Lean management

Koncept Lean management nebo tzv. „Štíhlá výroba“ je moderním konceptem pro optimalizaci a zlepšování procesů. Uvádí se, že vznikla v Japonsku. V dnešní době je hojně rozšířena v každém průmyslovém odvětví na celém světě. Metoda je založena na systému vytvořeném společností Toyota ve 40. letech 19. století a tento systém nesl název TPS (Toyota Production System). Do výroby bylo zavedeno pět základních principů, při kterých došlo k významnému zlepšení efektivity, produktivity, ke snížení nákladů, a také především vedl ke snížení časové náročnosti. Zároveň se odstranily neefektivní procesy. Těchto pět metod je: 1. Definování hodnoty pro zákazníka 2. Zmapování hodnotového toku 3. Neustálý pracovní postup 4. Systém, na který se zákazníci soustředí 5. Neustálé zlepšování. [12]

Sleduje se především neefektivnost výroby. Cyklus začíná od vstupních hodnot (dodavatelé), dále pokračuje přes vlastní procesy, kde každý proces má svého vlastníka a končí výstupní hodnotou (zákazník). Zákazník je cílový bod, na který se Lean management soustřeďuje. Hlavními cíli je spokojenost zákazníka za jakoukoliv cenu s maximální možnou kvalitou, dále také eliminace jakéhokoliv plýtvání časem a finančními prostředky. Lean management se soustřeďuje především na to, aby byl zákazník spokojený a aby byla z jeho pohledu pevně definovaná hodnota kvality. Je také nutné zaměřit se na nakládání se zbytkovými odpady, které vznikají při výrobním procesu. Další výhodou popisované metody je sdílené vedení a odpovědnost. Každý zaměstnanec přispívá k neustálému zlepšování. Tímto lze dosáhnout úspěšné a kvalitní firmy na trhu, firma tím neustále roste a zdokonaluje se i díky tomu, že úspěšně identifikuje problémy a umí je řešit. [12]

V metodice Lean managementu je nutností znát její důležité pojmy které jsou:

- **Process Lead Time** – Doba trvání procesu od jeho začátku až po jeho konec.
- **Work-In-progress** – Produkt nebo služba, která je momentálně v procesu.
- **Throughput** – Udává propustnost, která znamená, za jaký čas dosáhne proces svého výstupu.
- **Bottleneck** – Krizové místo celého procesu, kde se vytváří velké časové prodlevy. Právě toto místo v procesu je nutné najít a efektivně optimalizovat.
- **Capacity** – Kapacita procesu. Udává, jak velké množství lze vyrobit za určitý čas.

[13]

1.6 Kaizen

Tato metoda se skládá ze tří základních částí. První část je tzv. osobní Kaizen, ten neustále zlepšuje a rozvíjí sám sebe. V druhé části se především klade důraz na důvěru a vzájemnou spolupráci, které jsou nesmírně důležité pro hledání příčin obtíží a zlepšování výrobních postupů. Poslední, tedy třetí částí, je organizace systému, ta obsahuje tři body, a těmi je nutné se řídit. Tyto body jsou: Identifikace problému, jeho podrobné zkoumání a zajištění příčin. Návrhy a další opatření od procesního týmu zabraňující opětovnému výskytu problému. Využívají se workshopy, konzultace a prezentace zabývající se řešením detailnějších problémů, které mohou zvýšit produktivitu a dosažení firemních cílů. [1]

„Vždy, když něco děláš, jednej rozumně a myslí na konec. Včerejší vítězství jsou méně důležitá, než zítřejší plány. Neúspěch je šance udělat to příště líp.“ (H. Ford) [1]

Slovo Kaizen je jedno z nejčastějších slov, které Japonci používají, je to způsob, jakým pracovníci přemýšlejí. Tato filozofie má velice jednoduchý význam a udává, že zítřek bude úspěšnější než dnešek, a to jak z pohledu života profesního, tak i osobního. Pro Japonce je to neustálý proces zlepšování, a dochází zejména ke zlepšování vztahů mezi jednotlivými pracovníky. Název je složený ze dvou slov, kde každé má svůj význam. První část KAI znamená změnu a druhá část ZEN vyjadřuje nějakou změnu k lepšímu. Pokud spojíme dvě části dohromady, a také jejich významy, vznikne nám slovní spojení-změna k lepšímu. To znamená, že jde o neustálé zlepšování výrobního procesu, jenž vede k lepším výsledkům v hospodaření podniku. Týká se také i těch nejmenších detailů, které nejsou na první pohled tak zřetelné. Občas je možné si všimnout, že se o tomto systému zlepšování hovoří ve slovním spojení Gemba Kaizen. Gemba znamená přesné místo, kde

se vykonává nějaká činnost nebo daný proces. Kaizen je velmi detailně zpracovaný a zorganizovaný pracovní systém, jenž používají úspěšné firmy po celém světě. [1]

Nyní můžeme jednoduše definovat, co to vlastně Kaizen je. Jedná se o odstraňování chyb, neustálé hledání nových možností, zároveň se jedná o podporu invenčních postupů, a hlavně je to vzájemná spolupráce pracovníků v organizaci. Lze pozorovat také rozdíly mezi východem a západem. Na západě jsou manažeři podniků pod obrovským tlakem z hlediska výsledků, co se výkonnosti týče. Podniky na východě, hlavně v Japonsku, se především soustředí na své dlouhodobé cíle a výsledky a lze pozorovat, že zodpovědnost zaměstnanců je klíčovým úspěchem. Zatímco v podnicích na západě musí velmi malé množství zaměstnanců vykonat velké množství práce a výkon ovlivňují i méně podstatné věci, které nejsou tak produktivní. Tyto rozdíly jsou popsány viz *Tab. 2*. [1]

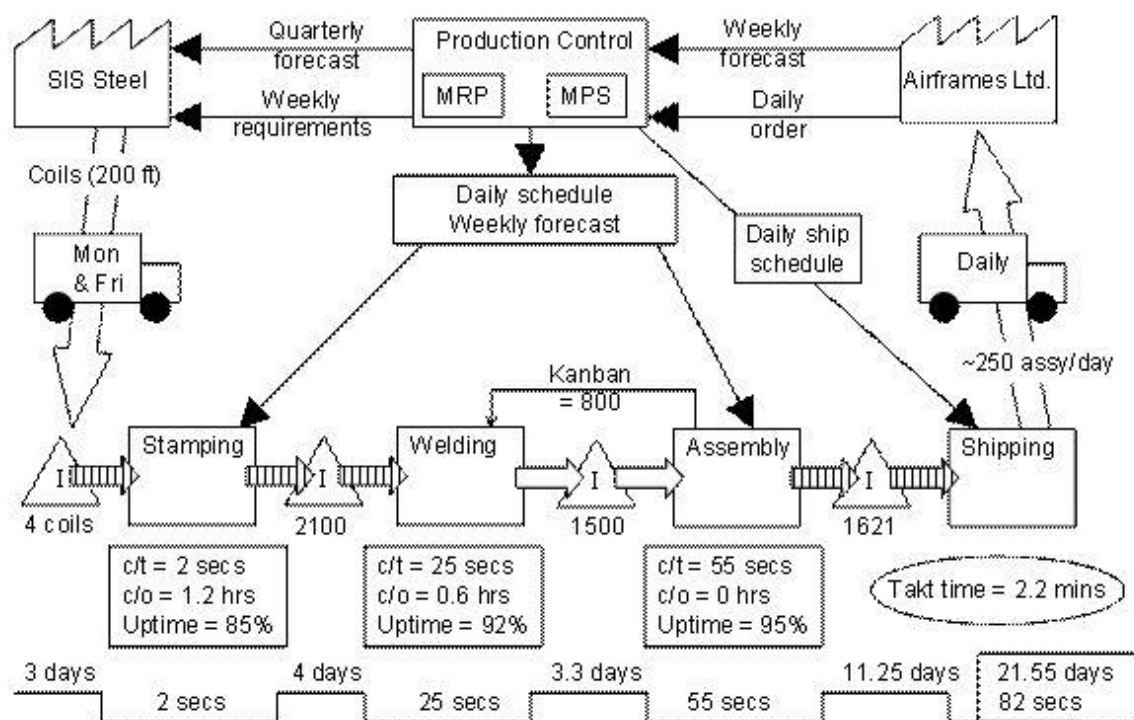
Tab. 2 – Rozdíly mezi západními a východními podniky.[1]

Podniky na západě	Podniky na východě
Racionální a logický svět, využívání lidí.	Úcta, bázeň a strach, mnoho skrytých emocí, adaptace lidí.
Projektové plány a finanční řízení, netrpělivost a orientace na krátkodobé cíle.	Standardy, pravidla, experimenty, zlepšování, trpělivost a dlouhodobá orientace.
Individualismus, spoléhání se na sebe, soutěživost, vítězové a poražení, silné ego.	Komunita, partnerství, spolupráce jako základ přežití, přizpůsobení se skupině.
Orientace na výsledky a konkrétní materiální svět okolo nás, filozofie nedostatku a boje o přežití na úkor druhého.	Orientace na proces, intenzivní vnímání nehmotného světa a způsobu myšlení, který vytváří svět okolo nás, filozofie nadbytku a dostatku pro všechny, zákon firmy.

1.7 Value stream mapping

Tato metoda je pravděpodobně jedna z nejvíce používaných ve štíhlé výrobě, lze ji také zapsat zkratkou VSM. Vznik je spojován s Japonskem a uplatňoval se ve firmě Toyota. Kombinuje informace o zpracování materiálu stejně jako další velmi důležitá data a informace. Je jednou z nejvíce efektivních metod pro podniky, které chtějí plánovat a neustále vylepšovat svoji štíhlou výrobu. Princip metody je založen na snižování nepodstatných činností v procesu, které nepřidávají žádnou hodnotu, ba naopak zvyšují výrobní čas a náklady. Hlavním úkolem je lokalizovat místa v procesu s přidanou hodnotou a bez přidané hodnoty. Důležité je také nakreslit si aktuální mapu a tato místa si v mapě vyznačit. Velké výhody jsou v tom, že s optimalizací pomocí VSM se zvýší

produktivita, lokalizují se krizová místa, zobrazí se širší obraz od začátku do konce výroby, a také se zobrazí místo, kde v procesu dochází k plýtvání. [14], [15]



Obr. 4 – Příklad VSM mapy [16]

V Obr. 4 lze vidět příklad nakreslené mapy pomocí metody VSM. Jsou zde vidět veškeré operace ve výrobním procesu. Pomocí šipek lze vidět směr toku. U každého je napsaný tzv. Cycle Time – který udává průměrnou dobu operace, četnost, zobrazí se krizová místa, výrobní takt a další důležité informace, které je nutné zohlednit.

1.8 Poka-Yoke

Aby bylo zabráněno vadám před samotnou výrobou produktu, zavedl japonský inženýr Shiego Shingo ve společnosti Toyota metodu Poka-Yoke. Jednoduše řečeno, tato metoda má zvýšit odolnost vůči chybám. V každé fázi výroby produktu existuje mnoho míst, kde může vzniknout chyba. Z chybného nebo vadného produktu je koncový zákazník nespokojený, a to přináší další komplikace. Pro výrobní společnosti je nepřijatelné i velmi malé procento vadných produktů, a proto se tyto chyby snaží eliminovat a dostat se s chybovostí na nulu. To není pro výrobní společnosti výzva, ale nutnost. Velká chybovost zvyšuje náklady a čas. Poka-Yoke má dvě hlavní kategorie, a těmi jsou prevence a detekce. [17]

Zařízení, které je založeno na prevenci, vytváří výrobní proces tak, aby nebylo vůbec možné vyrobit chybný výrobek. Na příkladu lze demonstrovat například tvar finálního produktu. 3,5 disketa je vyrobena tak, aby její finální tvar byl lehce asymetrický, takže do disketové mechaniky ji lze vložit jen ve správné poloze. Z toho lze vyvodit, že zařízení pro prevenci odstraňuje chybu, kterou uživatel výrobku může udělat jako první. [18]

Druhým zařízením je zařízení založené na detekci chyby. Pokud detekční zařízení zjistí, že došlo k chybě, dostane uživatel signál buď ve formě zvukového tónu, nebo barevné signalizace. Podle tohoto upozornění uživatel zjistí, že došlo k chybě, a je schopen tuto chybu velmi rychle odstranit. Například velmi známé zvukové a světelné upozornění nezapnutého bezpečnostního pásu v autě. Pokud uživatel řídí auto bez zapnutého bezpečnostního pásu, tak detekční zařízení pomocí hlasitého pípání společně s kontrolkou na palubní desce signalizuje chybu. [18]

1.9 Just in Time

Další velmi efektivní metodou pro snižování nákladů, a zejména pro zlepšení efektivity, je metoda Just in Time, ve zkratce ji lze zapsat jako JIT. Historie sahá do druhé poloviny 19. století. S prvotní myšlenkou přišel v japonské firmě zakladatel Kiichiro Toyoda. Při cestě do Anglie nestihl vlakový spoj, což byl problém. Tato situace ho přiměla k tomu, že princip začal implementovat na materiál, protože když zásoby materiálu nedorazí včas, je to také problém. To s sebou přináší pauzy, dlouhé čekací doby na dodávku materiálu a podobně. Z tohoto velmi jednoduchého nápadu vznikla metoda JIT. Velké popularity dosáhla mezi 70. – 80. léty 19. století. O zavedení do výroby se zasloužil zaměstnanec firmy Toyota Taiichi Ohno. [19]

Pro bezproblémový chod JIT jsou důležité dvě podmínky. První velmi důležitou podmínkou je, aby materiál dorazil přesně v daný čas a na dané místo, kde je právě potřeba. Jde o to, aby nevznikalo hromadění zásob na jednom místě. To platí jak pro materiál na skladě, tak pro dodávku materiálu, ale platí to i pro materiál, který se momentálně zpracovává. Druhou podmínkou, na kterou se často zapomíná, je, aby materiál odcházel také přesně v čase, kdy je potřeba. Tím by byl ideálně veškerý materiál buďto zpracováván, nebo převážen na potřebné místo, tím by se netvořily žádné zásoby a zabránilo by se hromadění materiálu. [19]

Metoda především snižuje zásoby v podniku, to vede dále i ke snižování nákladů za materiál. Od toho se odvíjí snížený kapitál, menší skladování materiálu a zjednodušená administrativa. Výhodou je rychlejší reakce, a tím se celková doba výroby zakázky snižuje. Podnik je tedy schopen rychleji reagovat na změny. Další výhodou je mnohem větší prostor ve výrobě a menší požadavky na skladování. V reálném životě je zavedení metody JIT do výrobního podniku poměrně obtížné. Neexistuje přesná definice toho, kdy lze podnik nazvat, že už je JIT. [19]

1.10 Kanban

S první myšlenkou o systému Kanban přišel Taiichi Ohno po 2. světové válce v japonské firmě Toyota Motor. Hlavní myšlenkou tohoto systému je snaha aplikovat zásady organizace činností, to znamená, když nějaká věc chybí, v co nejrychlejší čas má být opětovně doplněna. Hlavním cílem v Toyotě bylo především zlepšit její efektivitu výroby a zvýšit výrobní kapacitu. Po implementaci systémem Kanban bylo možné pozorovat obrovské zvýšení efektivitu a snížení nákladů i materiálu na skladě. [20], [21]

Princip systému je založen na používání v tahu tzv. „Pull systém“. Objednávání materiálu je především řízené spotřebou materiálu, který je schopna výroba pojmout. Skladové zásoby jsou permanentně sledovány a je předem definovaný jejich počet. Kanbanový systém je spojen i s Kanbanovou kartičkou, tato kartička nese základní informace o celém procesu. Příklad Kanbanové karty lze vidět na *Obr. 5*. Na této kartičce jsou důležité informace, které popisují daný díl a jeho celkový počet, čárový kód a také koncového zákazníka a dodavatele. Tyto karty velmi efektivně zlepšují plynulost ve výrobě. Je nutné definovat, co znamená Kanbanová smyčka. Jedná se o cyklus, kdy se spotřebuje poslední díl v Kanban systému, následně se odešle Kanbanová karta s informacemi a doplní se zásoby. Tyto zásoby lze opětovně spotřebovat tam, kde jsou právě potřeba, a celý cyklus se nekonečně opakuje. Systém tedy demonstruje jednoduchý proces řízení výroby a materiálu, který funguje na principu řetězení potřebných operací ve výrobě. Materiál se doplňuje právě tehdy, kdy je opravdu potřeba, díky tomu nevzniká hromadění. Z běžného života si lze Kanban představit jako lednici s potravinami. Pokud v lednici dojde jedna položka, opětovně ji doplníme právě tehdy, až ji skutečně potřebujeme. Díky tomu, že stejných položek v lednici nebude nadbytek, lze místo využít pro jiné potraviny. [20], [21]

Nejčastějšími typy Kanbanů jsou: dodavatelské a externí firmy, Kanban transportní a výrobní, Kanban pro doplňování distribučních center a zákaznických dodávek. V tomto systému je řada pozitiv. Myslí se tím mnohem větší dostupnost potřebného materiálu, omezení materiálového skladování, které je lépe optimalizováno. Časy dodávek jsou kratší a zvyšuje se jejich spolehlivost. Kontrola a zlepšení procesů je další výhodou při využívání systému Kanban. [20]

Dodavatel: PU1 Popis: Production Unit 1 #Kanbans: 9	Zákazník: PU2 Umístění: Loc02 Kontejner: Box 1 Množství: 100
Vytvořeno: 10/12/2013 22:33:00 Vytisknuto: 11/12/2013 12:10:11	Popis: Item 012345
 INTEGRATED KANBAN SYSTEM Číslo dílu : 012345	Kanban ID:  1090

Obr. 5 – Kanbanová kartička [20]

2 Průmysl 4.0

Tato kapitola pojednává o historii konceptu Průmyslu 4.0 a o předchozích průmyslových revolucích. Obsahuje popis charakteristických znaků a nástroje, které se zde používají, seznámí s očekávanými výhodami a zhodnotí současný stav průmyslu České republiky.

2.1 Úvod do historie

Slovo Průmysl 4.0 pochází z němčiny, konkrétně ze slova Industrie 4.0, které se v roce 2011 objevilo v německém Hannoveru. Bylo to úplně poprvé, kdy se tento termín představil veřejnosti na veletrhu právě v Hannoveru. Tento celý koncept má za úkol řídit především výrobní aktivity budoucnosti a číslovka 4.0 udává, že je spojován se čtvrtou průmyslovou revolucí, která probíhá právě nyní. [22]

2.1.1 První průmyslová revoluce

Hlavním charakteristickým znakem první průmyslové revoluce je vytvoření mechanické práce s pomocí vodní energie, jedná se zejména o přeměnu vody ze skupenství kapalného na skupenství plynné. Průlomem bylo tedy vytváření páry a její následné využití. Nejčastěji se pro ohřev vody používalo uhlí. Velmi známým strojem byl v této době parní stroj, který je v průmyslu hlavním znakem výše zmíněného 19. století. Odhaduje se, že první průmyslová revoluce začala koncem 18. století v Anglii a trvala až do 70. let 19. století. Výsledkem této revoluce byly zásadní změny v hospodářství, které se kompletně změnilo a udělalo velký krok vpřed. [22], [23]

2.1.2 Druhá průmyslová revoluce

Druhá průmyslová revoluce odstartovala začátkem 70. let 19. století, nejčastěji se spojuje s americkým vynálezcem žárovky T. A. Edisonem. Ve druhé průmyslové revoluci došlo převážně k instalaci a elektrifikaci montážních linek, a také k zahájení masové výroby. Slovo elektrifikace znamená plošné zavedení elektřiny, která nejčastěji slouží pro napájení různorodých strojů a zařízení. První montážní linky se objevily v automobilce Ford Motor Company a přišel s nimi jejich zakladatel Henry Ford. Hlavním přínosem montážních linek bylo především rozdělení práce, kdy se v určitém úseku linky prováděla

pevně stanovená práce a například automobil se nekompletoval na jednom místě tak, jak to bylo dříve. To snížilo především výrobní čas a markantně také výrobní náklady. Toto se uvádí jako typický příklad druhé průmyslové revoluce a nejčastěji ho lze nalézt pod názvem Fordova proudová výroba automobilů. [22], [23], [24]

2.1.3 Třetí průmyslová revoluce

Třetí průmyslová revoluce úzce navazuje na druhou průmyslovou revoluci, kdy byl v roce 1969 vytvořen a zapojen do výroby plně programovatelný logický automat, ve zkratce PLC. V této době bylo velice moderní vytvářet a využívat informační technologie, elektroniku, a především zapojovat do výroby automatizovaná zařízení a roboty. To vedlo k vytváření výrobních operací, do kterých nemusel člověk jako takový zasahovat, protože se opakovaly v cyklech. To měly jako první na starost PLC automaty, které nahradily pevně zapojená relé ve výrobních linkách. Automat je vybaven patřičným hardwarem a softwarem, který se dá uživatelsky programovat a je schopný vykonávat nadefinované funkce. Příklad takového moderního PLC automatu od firmy Siemens lze vidět na *Obr. 6*. [22], [23], [24], [25]

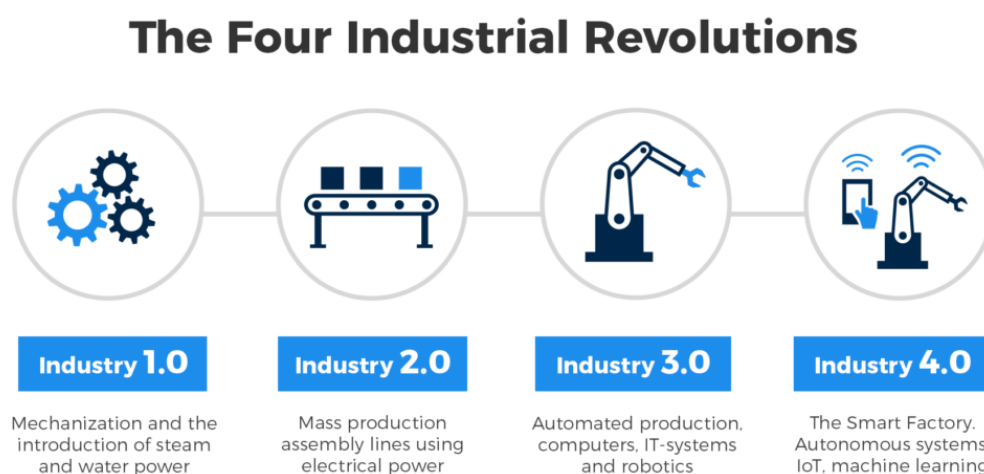


Obr. 6 – PLC automat Siemens SIMATIC S7-300 [26]

2.1.4 Čtvrtá průmyslová revoluce

Nyní se konečně dostáváme k poslední revoluci, která je spojována s Průmyslem 4.0. V této době se nacházíme nyní a podle odhadů bychom v ní měli setrvat ještě další čtvrt století. Hlavním cílem v této revoluci je především efektivní využívání zdrojů, zásady ergonomie a také velmi důležitý je důraz na bezpečnost práce. Cílem je tedy budování inteligentních továren za pomoci nejmodernějších strojů, automatizace, využívání informačních technologií a propojení pomocí internetové sítě. Inteligentní továrny se vyznačují propojením a přenosem dat po síti, dále autonomní výrobou a nejmodernějšími počítačovými technologiemi, které se využívají v celé továrně. Výše zmíněné technologie je možné nazvat jako kyberneticko-fyzikální výrobní systémy. Dá se říci, že tuto revoluci odstartovalo zavedení internetu v 90. letech 20. století. V dnešní době jsou k internetu připojeny miliardy uživatelů po celém světě a jejich počty neustále rostou. [22], [23], [24]

Na velmi jednoduchém a stručném *Obr. 7* lze vidět všechny, to znamená, čtyři průmyslové revoluce, jak šly postupně za sebou. V první průmyslové revoluci byla zavedena mechanizace poháněná vodními, hlavně parními zdroji. Následovalo masové využívání výroby a montážních linek za pomoci elektrické energie, to byl hlavní znak druhé průmyslové revoluce. Třetí průmyslová revoluce byla charakteristická automatizovanými systémy, roboty a informačními technologiemi. Tyto technologie se mnohonásobně zdokonalily a s pomocí internetu a propojením po síti vznikají ve čtvrté průmyslové revoluci inteligentní továrny.



Obr. 7 – Postupný vývoj průmyslových revolucí [27]

2.2 Charakteristika a popis Průmyslu 4.0

V předcházející kapitole byly zmíněny počátky konceptu Průmysl 4.0. Je tedy nutné si celý tento koncept podrobně popsat a zmapovat také jeho charakteristické znaky. To znamená představení technologií, principů řízení a složek, ze kterých se Průmysl 4.0 skládá. V dnešní době je velmi populární digitalizace a automatizace, to je základním kamenem pro vybudování úspěšné chytré továrny. Připojení továrny na síť a následné řízení, ovládání a komunikace je také nesmírně důležitá. [23]

2.2.1 Digitalizace, automatizace a kybernetika

Běžný člověk si pod slovem digitalizace představí převod nějaké věci do digitální podoby. Mnoho lidí si význam tohoto slova představuje rozdílně. Cílem digitalizace v Průmyslu 4.0 je zefektivnění a zlepšení interních procesů podniku, snížení výrobních nákladů za účelem maximálního možného zisku a spokojenost zákazníka. Moderní technologie neustále přibývají a potřeba digitalizace je stále důležitější. Je tedy nutné digitalizaci provést tak, aby byla provedena správně. Musí být aplikována ve všech odvětvích. To se týká marketingu, zákaznického servisu i obchodu a musí být neustále k dispozici. Veškerá data je třeba sbírat, měřit a ukládat a musí být neustále plně dostupná. [23]

Automatizace měla své počátky již ve třetí průmyslové revoluci a v dnešní době už je na velmi pokročilé úrovni. Vyznačuje se především využíváním automatických systémů, které ovládají a řídí stroje i technologické procesy uvnitř podniku. To ulehčuje práci zejména lidem, kteří nemusí být přítomni pro řízení strojů, ale mohou být efektivněji využíváni na jiném místě. V ideálním případě by při zapojení automatizace lidé nebyli vůbec přítomni. Vše by řídily stroje, roboti a řídicí systémy, tudíž člověk by byl ve výrobním procesu naprosto nevyužitelný. Tohoto v současné době bohužel nelze dosáhnout. Momentálně automatizace lidem pomáhá zefektivnit výrobu a zachovat ji bezpečnou. [23]

Další dva klíče k úspěchu jsou kybernetika společně s umělou inteligencí. Umělá inteligence je v dnešní době velmi diskutované téma a podniky se ji snaží co nejvíce zavádět společně s kybernetikou. To usnadňuje flexibilitu systémů různorodého charakteru. Očekáváním jsou zejména efektivnější využívání zdrojů společně se zlepšením

plynulosti výroby a schopnosti okamžité reakce na podnět. Výměna dat je tedy mnohonásobně rychlejší a tato data jsou vždy plně dostupná a jsou nedílnou součástí systému. Změřená data se následně dají vyhodnocovat a upravovat pro další optimalizování procesů. Koncept Průmyslu 4.0 je velmi zajímavé téma, zabírá se všemi odvětvími průmyslu, ale jsou nutné znalosti i z oblasti humanitních věd i ekonomických systémů. Využití nejmodernějších technologií je tedy nutné aplikovat na celý podnik a vyvarovat se použití pouze na konkrétní věc nebo část výroby podniku. [23]

Celý tento koncept je postaven na implementování chytrých systémů, které jsou mezi sebou propojeny v síti. Tyto systémy vyžadují i nové pracovní pozice. Některé pracovní pozice z důsledku nahrazování lidí stroji zaniknou a pracovní síla bude tedy potřeba na dalších pozicích. Díky automatizovaným strojům, které pracují na opakujících se operacích, nebude již potřeba tak velkého množství pracovníků s nižší kvalifikací, to se týká především absolventů učebních oborů zakončených výučním listem nebo absolventů oborů maturitních. Z toho lze vyvodit, že bude mnohem větší poptávka například po pracovnících s vyšším vzděláním, konkrétně se vzděláním vysokoškolským. Tito pracovníci budou mít převážně na starosti administrativní činnosti a vyhodnocování naměřených dat. Bude tedy od nich požadována schopnost pracovat v týmu a velká zodpovědnost. Výše zmíněný proces se odrazí na trhu práce. Digitalizace umožní lidem pracovat na dálku z domova. Stroje a zařízení nahradí fyzicky náročné práce, zlepší se bezpečnost a tím pádem se lidská práce může efektivněji využít jinde. K tomu lze dodat jen známou myšlenku – dřina patří strojům. [28], [29]

2.3 Technologie a nástroje v Průmyslu 4.0

Z důvodu změn v ekonomice a díky konkurenci na trhu se neustále mění požadavky zákazníků. Z tohoto důvodu musely být v Průmyslu 4.0 představeny nové technologie a nástroje, které se v tomto konceptu objevují. Klíčem úspěchu v Průmyslu 4.0 jsou tedy inteligentní systémy, které jsou mezi sebou propojeny. Propojení těchto systémů je vidět na *Obr. 8*.



Obr. 8 – Hlavní technologie a nástroje používané v Průmyslu 4.0 [29]

2.3.1 Kyber-fyzikální výrobní systémy

Systémy, jak již název napovídá, jsou založeny na online síťových zařízeních. V angličtině jej můžeme nalézt pod zkratkou CPS – Cyber-physical production systems. Tato zařízení mají na starosti komunikaci mezi IT technologiemi a elektronickými zařízeními, která jsou připojena na společnou síť. Zařízení sdílejí nepřetržitě aktuální data, to mohou být aktuálně vyrobené díly, zbývající díly, vzniklé problémy, objednávky apod. K těmto datům má uživatel nepřetržitý přístup. Výrobní systém umí včas zareagovat na časové prodlevy. Pokud zařízení zjistí, že dochází k prodloužení času dodávky, dokáže si stroj sám zvýšit výrobní kapacitu a dodávku přesně na čas dodržet. [29]

2.3.2 Komunikace stroj-stroj

Komunikace mezi stroji umožňuje výrobním zařízením mezi sebou komunikovat, ve zkratce M2M – Machine-to-machine communication. Člověk jako takový do operace vůbec zasahovat nemusí a stroje si mezi sebou informaci přes síť předávají. Tento nástroj lze demonstrovat na jednoduchém příkladu. Jsou dva výrobní roboti, kteří kompletují finální součást. Prvnímu robotovi dojde spojovací materiál, který používá také druhý robot. První robot vyšle požadavek druhému robotovi a informuje jej o nedostatku materiálu, druhý

robot informaci přijme a předá potřebný materiál robotu prvnímu. Celý tento proces je na člověku nezávislý a nemusí do něj vstupovat. [29]

2.3.3 Internet věcí

Pokud je požadována komunikace mezi stroji, je nutné zajistit kanál, po kterém budou zařízení komunikovat. Tento sdělovací kanál se nazývá internet věcí, v angličtině ho lze nalézt pod zkratkou IoT – internet of things. Ve skutečnosti se jedná o síťové připojení a výměnu různých dat mezi objekty, do kterých lidský faktor nemusí zasahovat. V dnešní době podniky využívají IoT pro zvyšování výnosů, zlepšení efektivity a také kvůli snižování výrobních nákladů. [29], [30]

2.3.4 Big data

Každý systém, který pracuje, vykazuje různá data. Těchto dat je obrovské množství a obsahují nepočítaně informací. Veškerá data, která se sesbírají, nazýváme big data. Nazýváme je anglickým slovem big – velký, protože tato data jsou tak obrovská, že je nelze zpracovávat pomocí dnešních softwarů. Je to tedy obrovské množství nestrukturovaných dat a informací. Nejčastěji se takto velké množství dat ukládá v datových skladech a data mohou reprezentovat například digitální dokumenty, emaily, transakce apod. Ve chvíli, kdy se množství sesbíraných dat přibližuje k desítkám terabytům, lze již hovořit o big datech. [29], [31]

2.3.5 Cloudové služby a kyberbezpečnost

Vlastní princip cloudových služeb, je ukládání dat a informací na vzdálené úložiště. Vzdálené úložiště nazýváme cloud. Příkladem velmi známého úložiště je například Google drive. K takovýmto datům uloženým na cloudovém úložišti má přístup každý, kdo má internetové připojení a údaje pro vstup na cloud. Internet je plný hackerů a je nutné mít data řádně zabezpečená. O řádně zabezpečená data se stará kyberbezpečnost. [29]

2.3.6 Virtuální realita, simulace a umělá inteligence

Virtuální realita a skutečnost se spojí dohromady prostřednictvím produkce. Virtuální realita bude nedílnou součástí jak designu, tak i samotné výroby. V brzké době se stanou podniky tak digitalizovanými, že bude možno vyrobit produkt s maximální možnou kvalitou vzhledem k požadavkům zákazníka. Co se týká umělé inteligence, tak v poslední

době lze nalézt o tomto tématu mnoho studií. Umělou inteligenci lze jednoduše vysvětlit jako schopnost zařízení logicky uvažovat a učit se novým věcem. S pomocí umělé inteligence mohou stroje zvládat náročnější operace a úkoly. [29]

2.4 Přínosy Průmyslu 4.0

Díky chytrým technologiím a nástrojům využívaným v inteligentních továrnách lze předpokládat vznik zcela nových možností podnikání. Tyto podniky budou klíčem pro budování nových infrastruktur. Implementování moderních technologií bude pro celou společnost přínosné. Efektivita výroby se promítne jako hlavní důsledek zavedení nových nástrojů. Díky sdílené spolupráci M2M nemusí člověk zasahovat do výrobního procesu a s pomocí senzorů, které vyhodnocují data, lze provádět změny. Flexibilita výroby bude mnohem vyšší, bude možné upravovat takt linky, jak bude právě potřeba, a chytré stroje si samostatně zvolí nejoptimálnější nastavení. Zlepšení bude i na straně zákaznického servisu a jejich služeb. Snížení nákladů je věc, o kterou se snaží každý podnik, realizace je ale velmi obtížná. Pro snižování nákladů se použije mnohem lepší využívání materiálu a zdrojů, zvýší se snaha využít zbytkový materiál, zkrátí se časové intervaly mezi výrobními kroky a výroba se celkově zrychlí. Díky automatizaci bude menší chybovost, a tím i vyšší kvalita vyrobených produktů. Všechny tyto změny se odrazí na celkových provozních nákladech, které se sníží. Budou dále také potřeba zcela jiné profese, sníží se počty pracovníků ovládajících stroje, bude větší potřeba pracovníků s vyššími kvalifikacemi. Dojde ke zvýšení zisků, to je cílem každého podniku. [32], [33]

2.5 Průmysl 4.0 v České republice

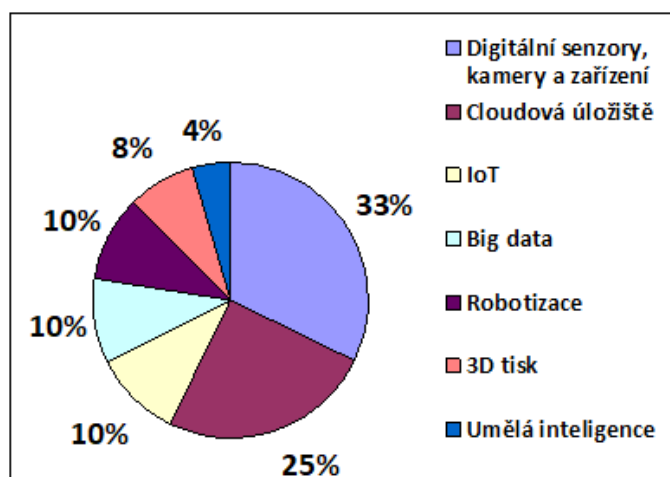
Implementováním moderních technologií a nástrojů Průmyslu 4.0 získávají podniky v České republice velkou výhodu před konkurencí. Poměrně velká část podniků v Čechách i na Moravě ale o Průmyslu 4.0 nemá dostatečné znalosti a bojí se do tohoto konceptu investovat. To je problém zhruba každého čtvrtého podniku v naší zemi. Přibližně polovina firem vidí největší problém v nedostatku kvalifikovaných pracovníků a zhruba další třetina se bojí investičních nákladů a následné návratnosti finančních prostředků. Zatímco podniky, které již do Průmyslu 4.0 investovaly, pozorují, jak produktivita práce roste mnohem rychleji než předtím a zároveň rostou i mzdy řadových zaměstnanců. Takto rozvinuté podniky si umí své zaměstnance udržet mnohem lépe než konkurence. Průměrně každý třetí podnik v Čechách si není jistý, zda na zavádění technologií má dostatečné

finance. Tyto základní překážky jsou na *Obr. 9* kde je možno vidět procentuální odhad problémů, s jakými se podniky potýkají. [34], [35]



Obr. 9 – Problémy z hlediska nepřipravenosti pro Průmysl 4.0 [35]

Z průzkumu dat dle Českého statistického úřadu, která jsou z let 2016–2018, lze na *Obr. 10* vidět, jak velká část z dotazovaných podniků již využívá technologií Průmyslu 4.0. Tato data jsou podrobně zpracována v **Příloha I**. Celkový počet dotazovaných podniků byl 5006. Největší podíl mělo využívání digitálních technologií a senzorů, ty využívala třetina podniků. Naopak nejméně využívanou technologií byla umělá inteligence, se kterou v České republice pracovala zhruba každá dvacátá firma. Oproti sousednímu Německu je Česká republika stále relativně pozadu, co se technologií využívaných v Průmyslu 4.0 týče. Německo se stále pohybuje na předních příčkách evropských zemí, které Průmysl 4.0 využívají, a to díky kvalitnímu strojírenství a výzkumu. [36], [37]



Obr. 10 – Podíl využívaných technologií Průmyslu 4.0 v České republice [36]

3 Optimalizace procesů v Průmyslu 4.0

Tato kapitola bude zaměřena především na využívání nástrojů a technik pro optimalizaci v samotném Průmyslu 4.0. Bude popsáno, jak takové nástroje využívat pro optimalizaci s moderními technologiemi. Jedná se konkrétně o metodu zlepšování DMAIC, Kanban systém a metodu Just in Time.

3.1 Využití metody DMAIC v Průmyslu 4.0

Metoda DMAIC je jedním z nástrojů metodiky Six Sigma pro optimalizaci procesů. Podrobný popis této metody lze nalézt v bodě 1.3. V této části bude podrobně popsáno a vysvětleno, jak ji lze aplikovat v konceptu Průmysl 4.0 pro zlepšení stávajících procesů. Optimalizace bude prováděna z případové studie na dodací lhůty mezi operacemi ve společnosti GKN v leteckém průmyslu.

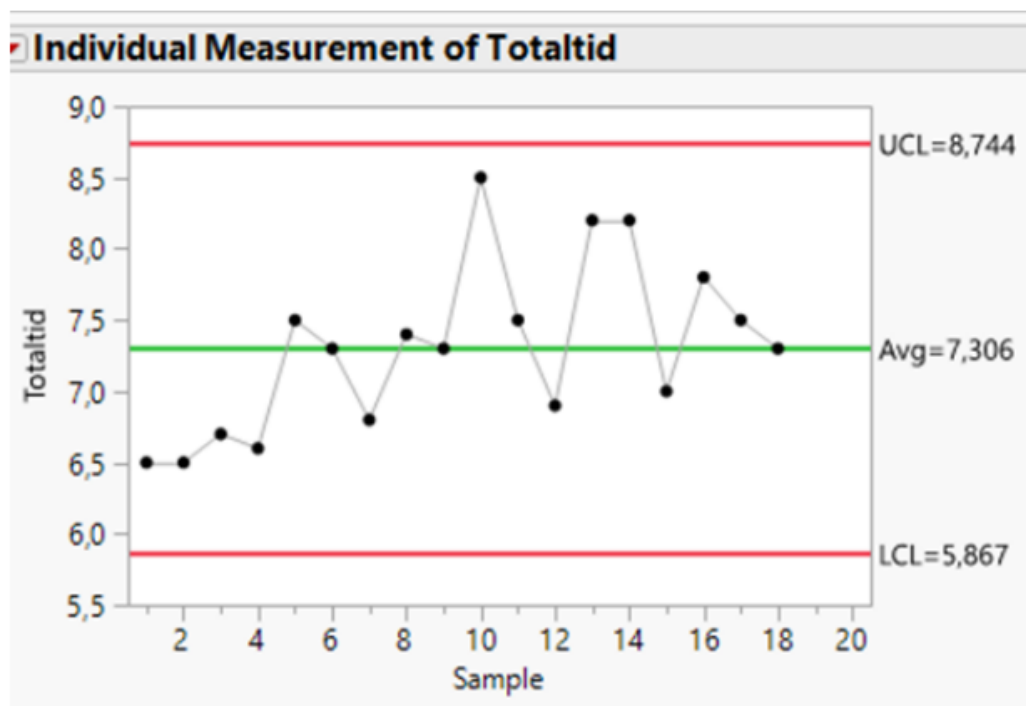
3.1.1 Definování problému – D

V první řadě je nutné definovat přesně danou strukturu, jak se celý problém bude řešit. Jak již název napovídá, tato část má za úkol zejména definovat problém. Společnost chce především zlepšit dodací časy vyrobených dílů, a tím i zkrátit časové intervaly operací. Jako problém se zde uvádí různé časy spouštění operací od více operátorů, kdy každý z nich vykonává stejnou činnost, ale časy operátorů se zásadně liší. Jedná se konkrétně o optimalizaci operace odstraňování otřepů. Tento krok lze považovat za první část – definování problému, to znamená, že je nutné problém najít, pojmenovat a následně jej řešit. [38]

3.1.2 Fáze měření dat – M

Hlavním úkolem je především měření časových intervalů. Operace odstraňování otřepů byla rozdělena do menších kroků a každý krok se měřil samostatně. Rozdělením měřících stanovišť se zvětšila možnost výskytu problému pouze v jedné části. Data se měřila pomocí digitálního softwaru Measurement system analysis, ve zkratce MSA s pomocí moderních senzorů. Naměřené hodnoty se přenesly do spojnicového grafu v *Obr. 11* a software automaticky vypočítal průměrný čas kroku, dále zobrazil největší a nejmenší

časový interval operace. Lze pozorovat tedy značné odchylky v časech a je nutné tento krok optimalizovat. [38]



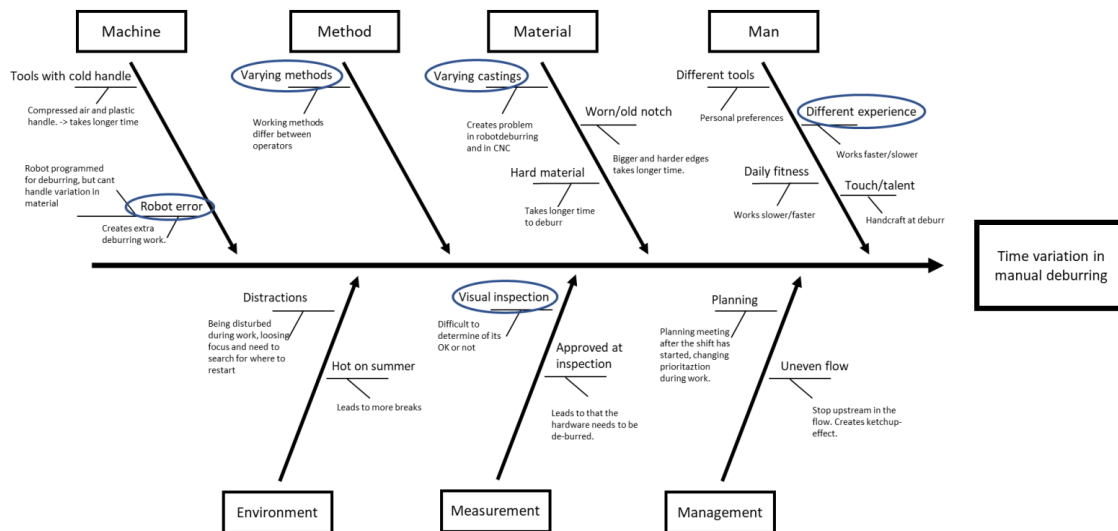
Obr. 11 – Naměřené časové intervaly pomocí MSA softwaru [38]

3.1.3 Analýza dat – A

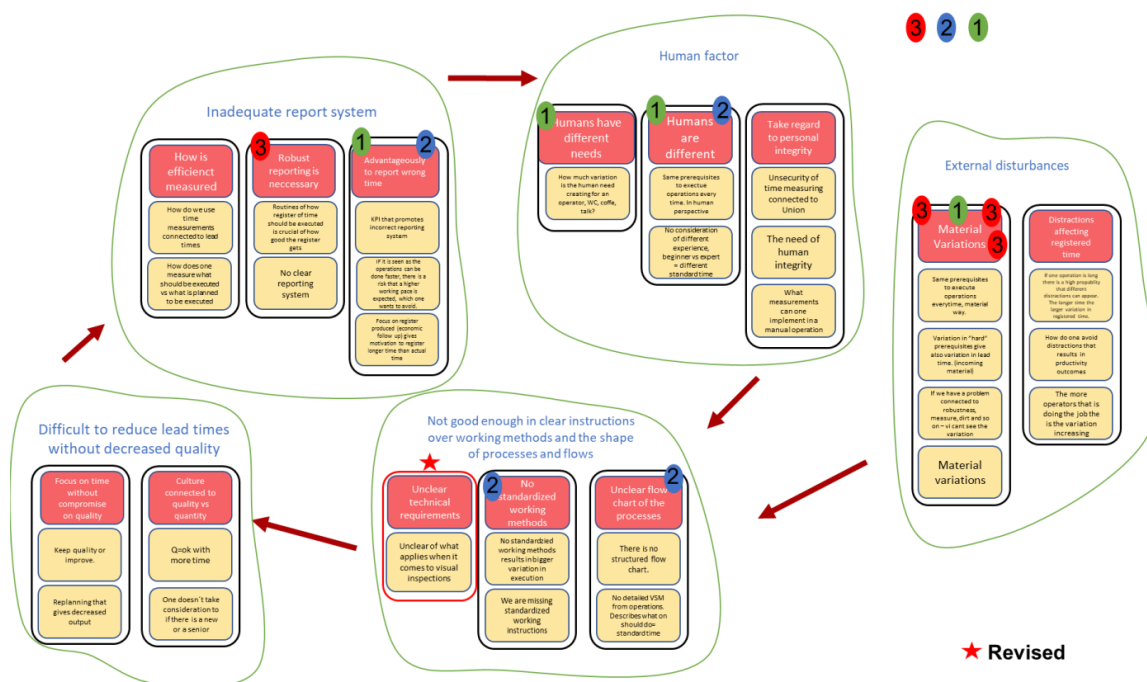
V části analýzy dat byly s pomocí Ishikawova diagramu na Obr. 12 vyhodnoceny možné příčiny, které mají vliv na časové prodlevy. Ishikawův diagram se používá například u brainstormingu, který byl zmíněn v kapitole 1.3. Tento diagram určuje nejpravděpodobnější příčiny problému a při sestavování připomíná rybí kost, od toho se odvíjí i jeho název v angličtině – fishbone diagram. [38]

S pomocí Ishikawova diagramu byly vyvozeny příčiny, ze kterých operátoři usoudili, že mají největší vliv na prodlevy. Tento diagram pak potvrdil, že prodlevy odpovídají faktorům, které vyhodnotil diagram AIM na Obr. 13. Tento diagram má za úkol popsat možné příčiny problému a barevně je označit. Červená reprezentuje největší efekt a zelená ten nejmenší. Jako další alternativní nástroj pro analýzu dat lze použít například SIPOC. Tento systém pracuje na řešení složitých komplexních problémů, má za úkol problému porozumět a podrobně jej analyzovat. Výsledky z Ishikawova diagramu a diagramu AIM se následně porovnaly a bylo zcela zřejmé, že odpovídají. Operátoři vyvodili pět různých faktorů, které mohou způsobovat problém a v Ishikawově diagramu jsou vyznačeny

modře. Byly to především chybové hlášky od robotů, různě zvolené metody operátorů a různý typ výrobku, každý operátor měl jiný přístup, jiné pracovní zkušenosti a lišila se i vizuální kontrola. [38]



Obr. 12 – Ishikawův diagram [38]



Obr. 13 – Vyhodnocené příčiny diagramem AIM [38]

3.1.4 Fáze zlepšování – I

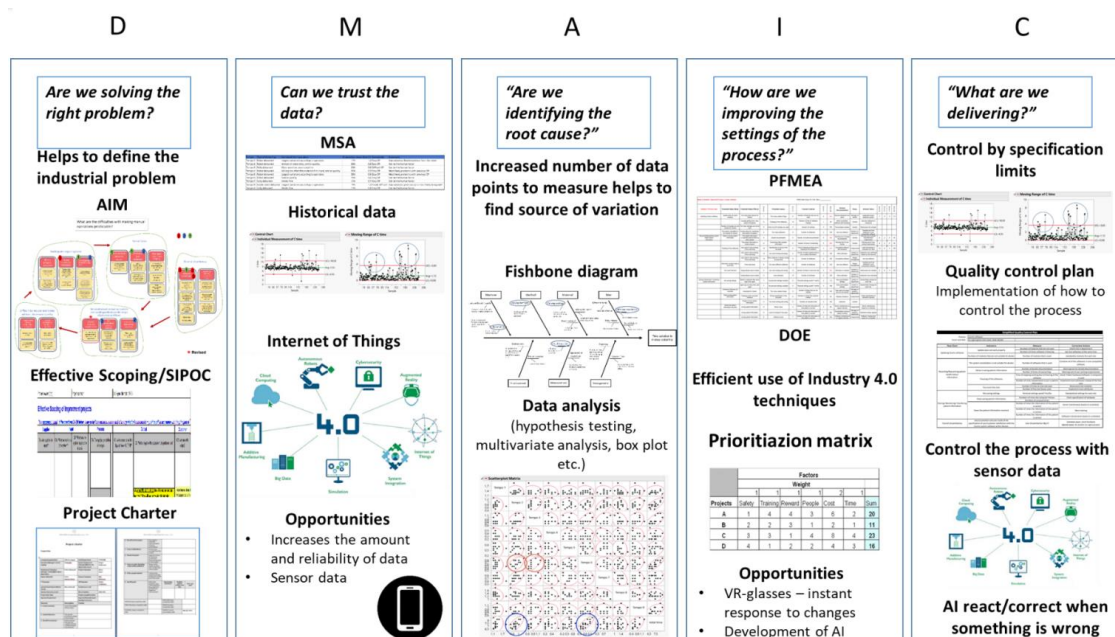
Z konceptu Six Sigma a jeho nástrojů byly navrženy různé alternativní metody a možná aplikace na problémy, které byly v bodě analýzy zjištěny. Pro různé metody

operátorů a jejich různé pracovní zkušenosti by velké zlepšení mohly přinést brýle s virtuální realitou. Tyto brýle by operátorům přesně krok po kroku ukázaly, jak operaci správně provést. S vizuální kontrolou by přínosem bylo zavedení CAD modelů a automatická optická inspekce – AOI. S využitím umělé inteligence by systém rychle a spolehlivě našel příčinu a nedocházelo by k značným časovým prodléváním, kdy operátor opticky kontroluje výrobek. AOI systém pracuje s velmi vysokou rychlostí a přesností, která je mnohonásobně lepší než člověk. Chybové hlášky robotů se dají potlačit například měřeními na více místech nebo v pozdějších krocích se všemi rozměry současně se dá uplatnit také automatické CMM měření. Na různé typy materiálů je předem možné naprogramovat požadovanou dobu obrábění. Například můžeme přidat větší rozměr obrobení, a tím zkrátíme dobu operace. [38]

3.1.5 Sledování zavedených změn a zhodnocení – C

V poslední části je nutné zavedené změny neustále sledovat a vyhodnocovat měřená data. Je možné využívat například moderní senzory, které po síti odesílají a ukládají data. V případě AOI kontroly se výsledek každé optické kontroly ukládá na síť a je možné si výsledek zpětně zobrazit. To vše obstará systém a ve výsledku bude zaznamenáno datum a čas měření, zda měření proběhlo v pořádku a také celková doba měření. Velmi důležité je také to, aby zaměstnanci zavedené změny dodržovali, to se týká používání brýlí pro virtuální realitu, neboť brýle zajistí správné provedení operace. Zaměstnanci se nemusí spoléhat jen na svoji paměť a osvojený výrobní postup. V této části se dá také využít známý control plan, který má na starost správné provedení operace. [38]

Metoda DMAIC je velmi všestranný nástroj. Na *Obr. 14* je velice podrobně popsáno, jakým způsobem je použita na Průmysl 4.0. V každé části kontrolního nástroje je stěžejní otázka, která jasně souvisí s daným krokem. Například ve fázi, kdy je definován problém, je vhodné si položit otázku: „Řešíme opravdu ten správný problém?“ Tímto je možné si ověřit, že nástroj používáme správným způsobem. Metoda DMAIC je velmi univerzální a je tedy možné ji použít i ve spojení s nejmodernějšími technologiemi v Průmyslu 4.0.



Obr. 14 – Využití metody DMAIC v Průmyslu 4.0 [38]

3.2 Lean management v Průmyslu 4.0 - Kanban

Podrobný princip štíhlé výroby lze nalézt v bodě 1.5 a má za úkol sledovat zejména neefektivnost výroby. Tato kapitola bude především zaměřena na využití metody Kanban v konceptu Průmysl 4.0 a na to, jak celkově zlepšit celý chod výroby. Využívání štíhlé výroby v Průmyslu 4.0 lze nalézt pod názvem Lean Automotion. Hlavní myšlenkou Lean Automotion je snaha spojit dohromady automatizovaná zařízení společně s metodikou štíhlé výroby. [39]

3.2.1 e-Kanban

Známý je již po dlouhou řadu let systém e-Kanban. To je digitalizovaný Kanban, který využívá moderní senzory pro rozpoznávání prázdných kontejnerů nebo chytrých produktů. Senzor rozpozná prázdný kontejner a automaticky odešle Kanbanovou kartu v digitální podobě. Tuto kartu zaznamená v systému operátor a materiál doplní. Velkou předností je především rychlá reakce systému a minimální časové prodlevy oproti standardnímu Kanbanu. [39]

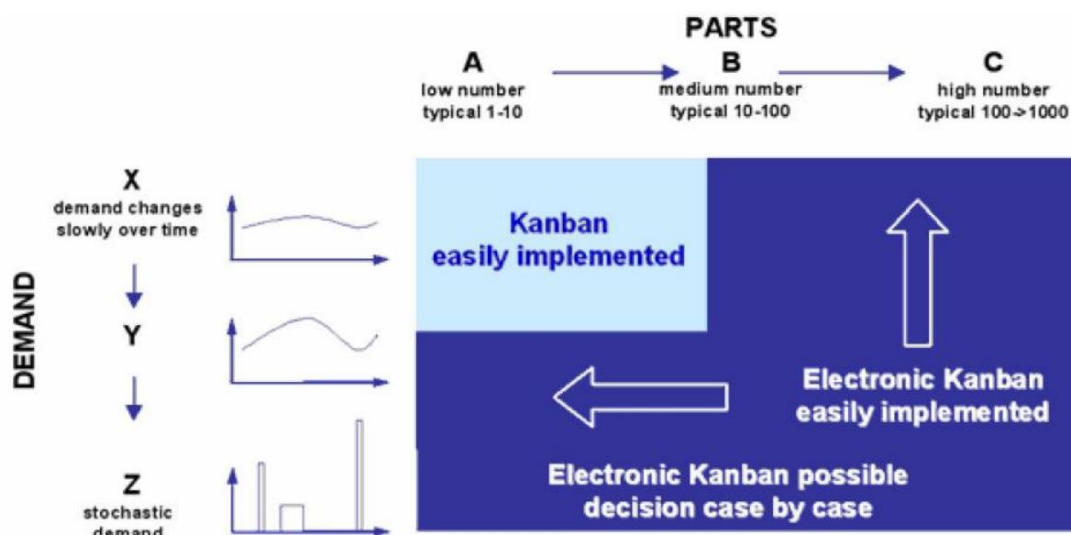
S dnešní rostoucí výrobou roste i počet operací s výrobou spojených. V klasickém Kanbanovém systému vzhledem k počtu operací může dojít také ke ztrátě Kanbanové karty nebo k záměně za jinou kartu. Další nevýhodou je i špatná přizpůsobivost novým změnám

v interních systémech firmy. V tomto případě, pokud jde o firmu s velkým počtem operací, je vhodné nahradit tradiční kanban za e-Kanban. Ve firmách je v dnešní době velmi rozšířené ERP plánování, které má za úkol plánovat především dodávky materiálu mezi zákazníkem a dodavatelem. Druhou výhodou je také zlepšení komunikace a schopnost rychle a efektivně reagovat na změny stavu díky senzorům, které mají na starost rozpoznávání prázdných kontejnerů, tyto senzory pracují ve vysoké rychlosti. Systém ERP pracuje především s reálnými daty a nástroji pro optimalizaci jako jsou konkrétně zmiňovaný e-Kanban, metoda Just in Time nebo Value stream mapping. [39], [40]

Systém e-Kanban by měl zachovat stejný princip klasického Kanbanu, který zajišťuje stabilní produkci ve výrobě a pravidelnou dodávku materiálu včas a s pevně daným množstvím materiálu. Systém musí podporovat neustálé zlepšování v podniku a musí být user friendly, což znamená, aby byl uživatelsky přívětivý a jednoduchý. Jedině takový systém zajistí schopnost jednoduchého ovládní všemi uživateli, bude dostatečně přehledný a uživatel v něm najde veškeré potřebné informace. Dalším požadavkem je schopnost použití systému pro řešení problémů s Kanbanovými kartami, a tím využít časové mezery strojů a zařízení mezi kroky, poruchami nebo údržbou. [40]

3.2.2 Kdy využívat e-Kanban oproti klasickému Kanbanu

Princip obou těchto Kanbanů je defacto stejný, ale využití elektronického Kanbanu je daleko širší. Ten pracuje s daleko většími objemy materiálu a větším množstvím zakázek. Na *Obr. 15* lze pozorovat, že klasický Kanbanový systém je možné používat jen v omezeném množství, co se materiálu týče. Správa klasických karet je pak velmi obtížná a jejich počet je obrovský. Z pohledu elektronického Kanbanu je správa těchto karet daleko snazší díky bezkontaktní formě. Dalším hlediskem je daleko jednodušší využívání elektronické formy, pokud se jedná o větší množství různorodého materiálu v nepravidelných dodávkách. V malých firmách s malým objemem a pravidelnými dodávkami stejného materiálu je možné využívat klasickou formu, pokud ale firma bude mít potenciál rozšiřovat svoji výrobu, je vhodné zainvestovat do elektronické podoby. Počáteční investice je poměrně vysoká, ale dokáže ušetřit spoustu času díky digitální podobě karet, a především díky rychlosti systému. [40]



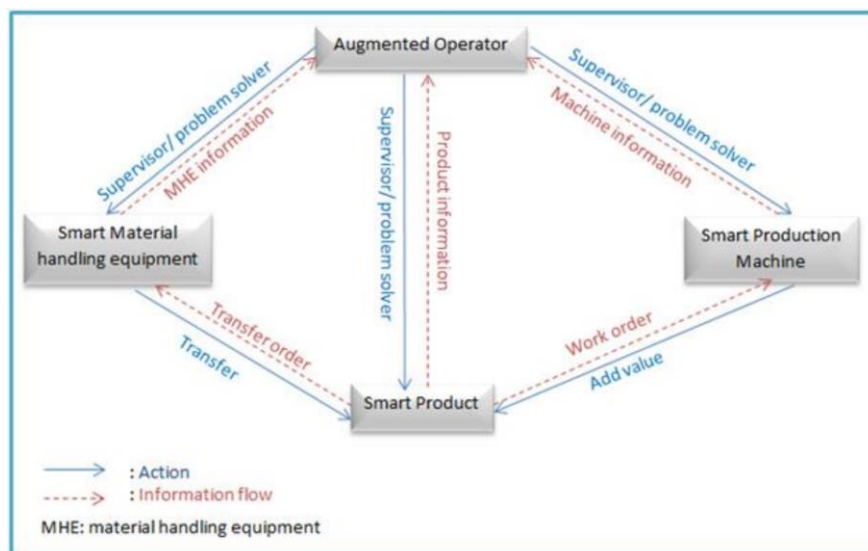
Obr. 15 – Rozsah využití klasického Kanbanu a e-Kanbanu [40]

3.2.3 e-Kanban v Průmyslu 4.0

Systém elektronického Kanbanu je možné použít i v Průmyslu 4.0. Jeho využití je velmi široké a jsou známy dva základní principy, na kterých tento systém pracuje. První případ je využití na chytrých produktech a druhá možnost je využití na chytrých kontejnerech. [41]

Využití s chytrými výrobky

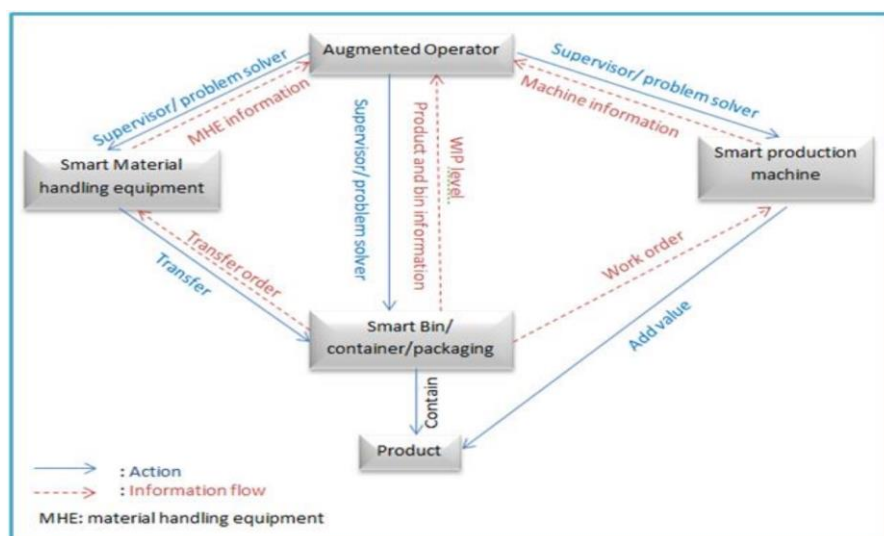
Pokud se jedná o chytrý výrobek, tak přímo samotný výrobek, který je vyráběn, odesílá informace výrobním zařízením. Zařízení zaznamená požadavek od výrobku a samo si nastaví např. požadovaný spojovací materiál nebo potřebný nástroj pro kompletaci. V dalším kroku si automaticky produkt odešle požadavek nástroji pro přesunutí na další místo ve výrobním procesu. Výrobek také průběžně odesílá během procesu data, která může operátor na vzdáleném zařízení kontrolovat. Operátor odpovídá za správný chod a pokud se objeví chyba ve výrobním procesu, musí ji neprodleně odstranit. Na Obr. 16 je velmi jednoduše popsána interakce mezi chytrým výrobkem, výrobním zařízením, nástroji pro přemísťování a operátorem. [41]



Obr. 16 – Princip e-Kanbanu na chytrém produktu [41]

Využití s chytrými kontejnery

V případě, že jsou naistalovány chytré kontejnery, které mají senzory pro rozpoznávání, odesílají informace přímo výrobním zařízením. Tyto senzory mohou být např. optické. Postup je zjednodušeně popsán na Obr. 17. Výrobní zařízení přijme informace od chytrého kontejneru a samo si upraví hodnoty pro výrobní plán. Operátor následně obdrží informace od všech zařízení. Tato zařízení jsou zejména výrobní zařízení, nástroje pro přemísťování a chytrý kontejner. Všechna zařízení mezi sebou komunikují a dostávají potřebné informace. Operátor následně může kontrolovat průběh výroby s reálnými daty, která jsou zobrazována a je schopen tato zařízení případně ovládat. [41]



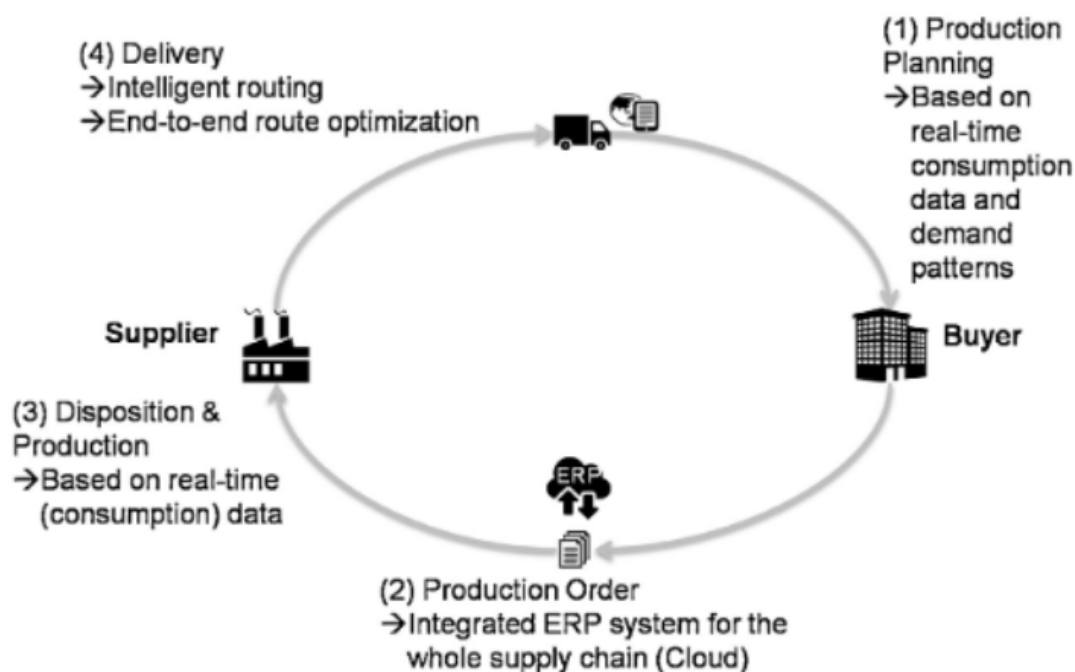
Obr. 17 – Princip e-Kanbanu na chytrém kontejneru [41]

3.3 Aplikace metody Just in Time v Průmyslu 4.0

Dalším z nástrojů štihlé výroby je metoda Just in Time, princip metody lze nalézt v bodě 1.9. Jejím hlavním úkolem je dostat požadovaný materiál na přesně definované místo včas a ve chvíli potřeby. Při správném použití metody se materiál nehromadí a nevznikají zásoby. Metoda se používá zejména v logistice. O jejím efektivním využití v továrnách Průmyslu 4.0 pojednává další část bakalářské práce.

3.3.1 Požadavky a předpoklady pro aplikaci

Pro co nejefektivnější využití v Průmyslu 4.0 je nutné splnit 4 základní body této metody. Nutností je především plánování samotné výroby na základě reálných dat. Druhým bodem je vytvoření výrobní zakázky, která dále navazuje na samotné zhotovení produktu. V posledním bodě je nutné se soustředit na dodávku produktu samotnému zákazníkovi. Aby byla metoda v Průmyslu 4.0 funkční, klade se především důraz na přesně zpracované plánování výroby, na dostatečné množství informací a dat. Důraz je také kladen na logistiku, která musí být co nejlépe vedena bez značných prodlev a chyb. Cyklus těchto čtyř bodů je znázorněn na *Obr. 18*. [42]



Obr. 18 – Cyklus metody Just in Time v Průmyslu 4.0 [42]

V samotném plánování čím dál více roste Auto-ID technologie. To je technologie, kterou je vybaven samotný výrobek nebo materiál a je rozpoznáván s pomocí senzorů.

Tímto způsobem je možné sledovat veškeré pohyby ve výrobě v přesně daném čase, a tím efektivněji využít plánování. Objednávky je možné spouštět také automaticky díky sledované spotřebě materiálu. To znamená, jakmile je spotřebován materiál pro výrobu prvního kusu, systém automaticky spustí další objednávku v pořadí pro výrobu kusu následujícího. Transparentnost skrze dodavatele by mohla být využívána s pomocí cloudových ERP systémů, které by zahrnovaly veškeré informace a data. Díky těmto informacím z cloudového ERP systému by samotní dodavatelé mohli řídit lépe svoji dodávku materiálu. Především s pomocí aktuálních informací o stavu a samotné spotřebě materiálu. V samotné dodávce hotového výrobku by dopravci mohli být vybaveni inteligentními systémy, které používají ke své činnosti. Jedná se například o aktuální informace o počasí nebo dopravě a s pomocí GPS systémů by dopravci sami upravili trasu pro co nejrychlejší dodávku materiálu na místo určení. [42]

3.3.2 Používané technologie a nástroje

Pro zajištění včasných dodávek a dosažení maximální možné efektivity optimalizace pracuje metoda Just in Time s pěti základními technologiemi Průmyslu 4.0. S pomocí těchto technologií lze lépe dosáhnout stanoveného cíle a vyvarovat se problémům v podniku. Těchto pět základních nástrojů je znázorněno na *Obr. 19* a jsou to big data, automatizovaná zařízení, cloudové úložiště, aditivní technologie a rozšířená realita. [43]

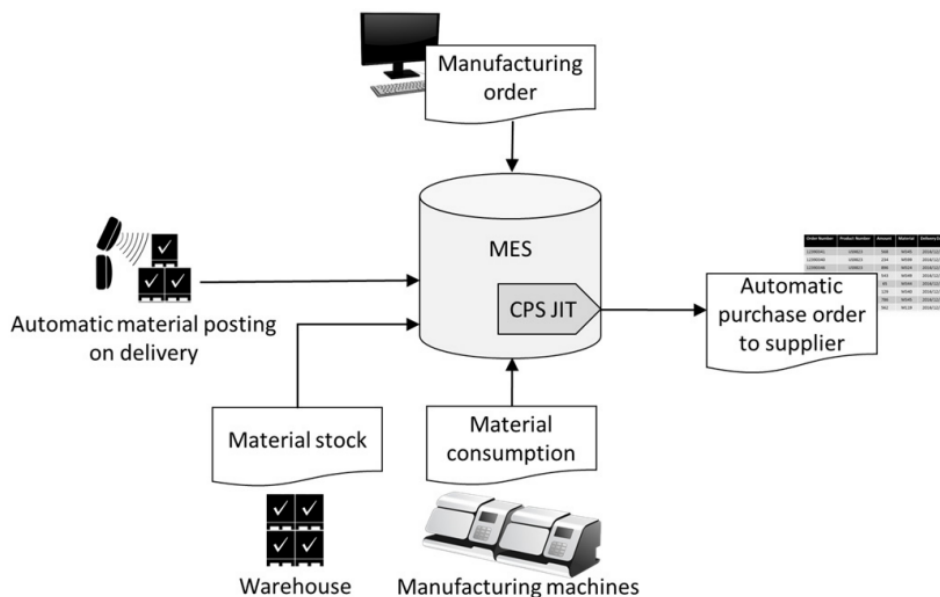


Obr. 19 – Používané nástroje Průmyslu 4.0 v Just in Time [43]

Spojením těchto pěti nástrojů dohromady vzniká velmi stabilní systém s velkou flexibilitou mezi dodavatelem a výrobním podnikem. Na cloudové úložiště se ukládají data, která přijímají a vyhodnocují senzory z automatizovaných zařízení. K těmto datům je neustálý přístup a je jich obrovské množství, že je lze nazvat big data. K úložišti má přístup prakticky každý operátor z výroby a tato data jsou počítačově zpracována pomocí rozšířené reality do zařízení. To má za úkol především stanovit rychlé a efektivní rozhodnutí, které následně operátor provede. Hlavním úkolem automatizovaných systémů je přeprava výrobku nebo jakéhokoliv jiného materiálu bez zásahu člověka. To především zkracuje celkový čas, protože zařízení pracují ve vysoké rychlosti a snižují riziko možné chyby člověkem na nulu. Pod takovýmto zařízením si lze představit např. automatizovaný paletový zakladač. S pomocí Auto-ID technologií, pod kterou si lze představit např. RFID je možné sledovat celou výrobní cestu, časy jednotlivých úseků apod. Velkou výhodou je také rozpoznávání chybných součástí, které mohou být velmi rychle odstraněny. [43], [44]

3.3.3 Dodávkový CPS systém Just in Time

S pomocí kyberneticko-fyzikálních systémů je možné vytvořit spolehlivý dodávkový systém s principem Just in Time. Systém využívá především reálná data společně s technologiemi Průmyslu 4.0 a má za úkol optimalizovat dodávky v čase. Takovýto systém je možné použít jako náhradu za standartní Kanbanové karty s pomocí komunikace mezi zařízeními M2M, kde si samotná zařízení mezi sebou posílají informace a data. Koncept dodávkového systému CPS je znázorněn na *Obr. 20*. [45]



Obr. 20 – Systém pro dodávku materiálu s pomocí CPS technologií [45]

Princip systému je založen na výměně informací a dat od samotné výrobní zakázky přes distribuci materiálu až po samotnou finální spotřebu materiálu. Systém také pracuje s automatickým objednáváním materiálu u dodavatele. Všechny operace jsou spojeny přes systém MES, který také obsahuje samotný nástroj Just in Time. Materiál je dodáván přímo dodavatelem a je také ihned zpracováván, takže nevzniká zbytečné hromadění na skladě. Veškerý pohyb materiálu je s pomocí Auto-ID nebo RFID technologií monitorován nejmodernějšími senzory a odeslán prostřednictvím sítě na cloud do takzvaných big dat. Aktuálně spotřebovaný materiál se automaticky porovnává pomocí počítačových technologií a automaticky se upravují dodávky zásob. To znamená, že pokud zásoby materiálu klesnou pod nejnižší možné množství, systém automaticky zareaguje a odešle dodavateli další objednávku materiálu. Materiál, který se pomocí systému objedná a dorazí do podniku, je prostřednictvím RFID technologie zaznamenán do databáze a zásoby jsou automaticky upraveny. Tento systém se používá zejména v logistice a je velmi spolehlivý. Velkou výhodou je zejména vysoká sledovanost pohybu materiálu a spolehlivost díky výpočetním systémům. Člověk je tedy z objednávání materiálu téměř vyřazen a má za úkol jen sledovat funkčnost systému. Díky tomuto systému je využít veškerý možný čas pro další kroky a skladové prostory jsou co nejvíce zmenšeny. [45]

4 Shrnutí a zhodnocení nástrojů v Průmyslu 4.0

Průmysl 4.0 je téma, o kterém se hovoří už několik let. Jeho hlavním úkolem je především zlepšování výrobních operací, zajištění větší flexibility apod. Tento koncept má spoustu výhod, ale také určité nevýhody. Díky novým technologiím lze vyrábět zcela nové produkty a nabízet i nové služby, a to díky zajištění lepší kvality a bezpečnosti finálních výrobků. Nové technologie zajistí vytvoření nových pracovních míst a rovněž nové nabídky na trhu práce. Zlepší se celkový způsob života, podniky budou vyrábět ekologičtěji a snížení nákladů se projeví i v jejich ziscích. Zaměstnanci budou pracovat za větší mzdy a ekonomika bude celkově růst. [46]

Hlavní nevýhodou, kterou Průmysl 4.0 má, je jeho cena. Nelze přesně určit, jaká musí být výše investice do samotného konceptu. Cena se odvíjí dle využívaných technologií, ale také podle znalostí a samotného know-how. Je to vlastně také jedna z hlavních věcí, proč podniky nechtějí přecházet na moderní Průmysl 4.0. Dalším rizikovým bodem je vysoká šance neúspěchu. Podniky si jasně stanoví své cíle, kterých chtějí dosáhnout, ale cestu k cíli, která není příliš jednoduchá, už nezvládnou. To může být díky nedostatku kvalifikovaného personálu, na který jsou kladeny zcela jiné nároky než doposud nebo také kvůli špatně zvolené strategii. Systémy pracují na kyberneticko-fyzikálních systémech a jsou připojeny do sítě. To jsou především příležitosti pro hackery, kterým se otevírá cesta, jak se dostat k důležitým datům a informacím. Je tedy nutné mít data co nejlépe zabezpečená. Díky příchodu Průmyslu 4.0 se celkově naruší trh, méně schopné podniky díky převaze moderních technologií na trhu neuspějí a zaniknou. [46]

Samotné nástroje, které Průmysl 4.0 využívá, jsou popsány v kapitole 2.3. Nástroje jako takové mají jisté přínosy, ale nesou s sebou i možná rizika či nevýhody. Samotné CPS systémy pracují s nejmodernějšími technologiemi a výpočetní technikou. To přináší velmi spolehlivé operace s minimální možnou chybovostí a s vysokou přesností. Takové systémy jsou připojené na síť a dají se ovládat vzdáleně. Vyhodnocují mnoho dat s velmi rychlou přesností, ale nevýhodou je značná složitost implementace do procesu a jejich cena. K tomu je nutné mít dostatečně kvalifikované pracovníky, kteří takovéto systémy znají a umí s nimi pracovat.

IoT systémy zajišťují jednoduchý a pohodlný přístup k potřebným informacím z jakéhokoliv zařízení, které podporuje připojení k internetu. Internet v dnešní době pracuje s velkou rychlostí, a díky tomu je IoT velmi rychlé. S pomocí tohoto systému je možné řídit čas mnohem efektivněji než doposud. Výhodou je také možnost přizpůsobení novým věcem s pomocí aktualizací. Vše, co je připojené k internetu, nese rizika spojená s únikem dat, která mohou hackeři zneužít. Druhou nevýhodou je každodenní využívání internetu a s tím i spojená závislost. Takovéto systémy jsou poměrně složité, a pokud se v takovém systému vyskytne chyba, je velmi těžké ji odstranit.

Co se týče big dat a cloudových úložišť, tak tyto dvě věci spolu úzce souvisí. Ohromné množství dat, která nazýváme big daty je velmi efektivně ukládáno na cloudová úložiště. K datům má poté přístup jen takový člověk, který zná heslo nebo má povolení do takového úložiště nahlížet. K takovému úložišti je přístup prakticky odkudkoliv a nese riziko úniku dat. Proto je nutné mít takový systém dostatečně zabezpečený. Big dat je ohromné množství a je velmi těžké taková data zpracovávat. Výhodou je ale dostatek detailních informací, které moderní systémy využívají.

S pomocí virtuální reality je možné nasimulovat prakticky cokoli. Výhodou je možnost uložení a pozdější úpravy. Je vyžadována značná znalost programování a výpočetní techniky. Systémy využívající virtuální realitu jsou poměrně finančně nákladné. Oproti tomu se takové systémy dají jednoduše využívat, protože nejsou uživatelsky náročné.

Ve třetí kapitole pracuje Průmysl 4.0 se třemi známými metodami, které jsou DMAIC, Kanban a Just In Time. Metoda DMAIC je široce využitelná a lze ji uplatnit téměř na jakýkoliv problém, proto je vhodná i pro použití v Průmyslu 4.0 například společně s počítačovými systémy. Systém elektronického Kanbanu je moderní technologie pracující s digitálními kartami, chytrými výrobky nebo kontejnery. Zavedení přispívá zejména k lepší plynulosti a spolehlivosti dodávky. Rychlost systému je mnohonásobně větší než tradiční Kanban a jeho zavedení značně zlepší chod ve výrobním systému. Co se týká metody Just in Time, je její zavedení značně nákladné z pohledu financí. Pokud je ale metoda zavedena a pracuje správně, lze očekávat obrovský pokrok v logistice. Výše zmíněné metody jsou tedy vhodné i pro použití v Průmyslu 4.0, zlepšení lze očekávat pouze při správném použití dané metody.

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo seznámit se se základními optimalizačními nástroji a metodami, které jsou využitelné v Průmyslu 4.0. V této práci je zahrnuto deset nejčastěji využívaných metod a jsou vysvětleny jejich funkční principy a také popsány cíle, kterých se má dosáhnout. V druhé kapitole je představen samotný Průmysl 4.0, to je označení pro současný trend digitalizace, ve kterém se momentálně nacházíme. Této digitalizaci předcházely tři průmyslové revoluce. V první průmyslové revoluci došlo k využití parní energie, následovalo zavedení elektřiny až po spouštění prvních výrobních linek s využíváním automatických zařízení. Samotný Průmysl 4.0 řadíme do čtvrté průmyslové revoluce, která má za úkol zdigitalizovat vše, co zdigitalizovat jde a využívat nejmodernější technologie k podpoře výroby a bezproblémového chodu podniku. Jedním z cílů bylo seznámení s nástroji jako jsou CPS systémy, IoT nebo cloud a byl vysvětlen jejich princip fungování a hlavní úkoly. Česká republika je s využíváním moderních technologií oproti evropským státům dost pozadu, a to převážně z nedostatku kvalifikovaného personálu.

Závěr práce je věnován zejména využívání technologií z Průmyslu 4.0 v praxi. Je popsán princip zlepšení výroby pomocí metody DMAIC s využíváním výpočetní techniky a moderní techniky. Dále je využit známý Kanbanový systém s využitím senzorů a elektronických Kanbanových karet. Takový systém pracuje s elektronickými kartami, takže nedochází k hromadění a možné ztrátě karty. Tento systém lze provozovat například s chytrými kontejnery, kdy automatická čtečka rozezná kontejner a stroje si automaticky vyměňují informace. Druhá verze pracuje s chytrými výrobky, kde čtečka rozpozná chytrý výrobek a následuje stejný princip jako u chytrých kontejnerů. Výrobní stroje si opět vymění informace a následuje výroba bez zásahu člověka. Třetí metodou je zavedení Just in Time dodávky materiálu s využíváním ERP plánování výroby a automatických výpočetních systémů. Tento systém má za úkol zajistit zejména dodávku přesně a včas, aby nedocházelo k časovým mezerám a automaticky odesílat potřebná data po síti jako je např. aktuální stav zásob nebo počet kusů právě ve výrobě. Tato data jsou vyhodnocována pomocí RFID nebo Auto-ID technologií. V poslední kapitole jsou shrnuty veškeré používané nástroje z Průmyslu 4.0 a popsány jejich výhody a nevýhody. Hlavní nevýhodou je zejména kyberbezpečnost. Zařízení jsou mezi sebou propojena přes síť, a je tedy nutné

mít dostatečně zabezpečená veškerá důležitá data a údaje, aby nedošlo k případným útokům hackerů, kteří mohou tato data odcizit.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] *Kaizen - osvědčená praxe českých a slovenských podniků - Ján Košturiak, Jozef Krišťák, Ludovít Boledovič, Miroslav Marek - Knihy Google* [online]. [vid. 2021-04-03]. Dostupné z: https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=wSK2DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=kaizen&ots=cN2_uFgC8Z&sig=u_uH_9ryFEB8IfUfdiHh1iJMsal&redir_esc=y#v=onepage&q=kaizen&f=false
- [2] *Six Sigma – Lean Six Sigma* [online]. [vid. 2021-03-20]. Dostupné z: <https://lean6sigma.cz/six-sigma/>
- [3] TRUSCOTT, William. *Six Sigma. 2003* [online]. 2003 [vid. 2021-03-20]. Dostupné z: https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=pbMABAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=six+sigma&ots=W14RFuCMni&sig=3VyGXNqfPuCB92zaZa9WoUnBzRk&redir_esc=y#v=onepage&q=six sigma&f=false
- [4] *PDCA cyklus* [online]. [vid. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://www.svetproduktivity.cz/slovník/PDCA-cyklus.htm>
- [5] *Výkladový slovník - PDCA cyklus* [online]. [vid. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://elssc.eu/dictionary/pdca-cyklus>
- [6] *DMAIC metoda / Vlastní cesta* [online]. [vid. 2021-03-29]. Dostupné z: <https://www.vlastnicesta.cz/metody/dmaic-metoda-1/>
- [7] *DMAIC - cyklus zlepšování (Improvement Cycle) - ManagementMania.com* [online]. [vid. 2021-03-29]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/cyklus-zlepsovani>
- [8] *LEAN SIX SIGMA - Six Sigma* [online]. [vid. 2021-03-29]. Dostupné z: <https://elssc.eu/mobile-information/mobile-articles/3-lean-six-sigma-six-sigma>
- [9] *DMAIC - Proces zlepšování podle SixSigma* [online]. [vid. 2021-03-29]. Dostupné z: <http://ww.pdqm.cz/Standards/Business-Excellence/DMAIC.html>
- [10] *Total Quality Management (TQM) - ManagementMania.com* [online]. [vid. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/total-quality-management>
- [11] *Total Quality Management (TQM): A Model for the Sustainability of Projects ... - John N. Morfaw - Knihy Google* [online]. [vid. 2021-03-30]. Dostupné z: https://books.google.cz/books?id=ibPS3pctM4YC&printsec=frontcover&dq=total+quality+management&hl=cs&sa=X&ved=2ahUKEwj6_Z2f19jvAhVCx4UKHRWJC3oQ6AEwAnoECAIQAg#v=onepage&q=total quality management&f=false
- [12] HELMOLD, Marc. *Basics in Lean Management*. In: [online]. B.m.: Springer, Cham, 2020 [vid. 2021-03-31], s. 1–14. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-030-46981-8_1
- [13] *Lean – Lean Six Sigma* [online]. [vid. 2021-03-31]. Dostupné z: <https://lean6sigma.cz/lean/>

- [14] NARKE, Mahadeo M. a C. T. JAYADEVA. Value Stream Mapping: Effective Lean Tool for SMEs. In: *Materials Today: Proceedings* [online]. B.m.: Elsevier Ltd, 2020, s. 1263–1272. ISSN 22147853. Dostupné z: doi:10.1016/j.matpr.2020.04.441
- [15] *Value Stream Mapping - an Introduction* [online]. [vid. 2021-04-09]. Dostupné z: <http://faculty.washington.edu/apurva/502/Readings/Lean/value-stream-mapping--an-introduction-lean.pdf>
- [16] *Value Stream Map – Lean Manufacturing and Six Sigma Definitions* [online]. [vid. 2021-04-16]. Dostupné z: <https://www.leansixsigmadefinition.com/glossary/value-stream-map/>
- [17] DUDEK-BURLIKOWSKA, M a D SZEWIECZEK. *96 Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. nedatováno.
- [18] ROBINSON, Harry. *Using Poka-Yoke Techniques for Early Defect Detection*. nedatováno.
- [19] *Just in Time: Co to vlastně je? | Průmyslové Inženýrství.cz* [online]. [vid. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://www.prumysloveinzenyrstvi.cz/just-in-time-co-to-vlastne-je/>
- [20] *Kanban Systém a kontrola Tahem - základní definice a princip* [online]. [vid. 2021-04-12]. Dostupné z: <https://www.kanban-system.com/cs/kanbanovy-system-a-kontrola-tahem/>
- [21] *Kanban | Logistika v praxi* [online]. [vid. 2021-04-12]. Dostupné z: <https://www.dlprofi.cz/log/onb/33/kanban-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EpW525SCOIv7ILk4sL-P3IA/>
- [22] TOMEK, Gustav a Věra VÁVROVÁ. *Průmysl 4.0 aneb Nikdo sám nevyhraje*. 2017.
- [23] *Průmysl 4.0, Vzdělávání 4.0, Práce 4.0 a Společnost 4.0 Kolektiv autorů Učební text*. 2017. ISBN 9788086809236.
- [24] *Průmyslová revoluce – Od Průmyslu 1.0 k Průmyslu 4.0 - Desoutter Industrial Tools* [online]. [vid. 2021-04-16]. Dostupné z: <https://www.desouttertools.cz/prumysl-4-0/novinky/563/prumyslova-revoluce-od-prumyslu-1-0-k-prumyslu-4-0>
- [25] *Co je PLC neboli programovatelný logický automat | DREAMlandPLC* [online]. [vid. 2021-04-16]. Dostupné z: <https://dreamland-plc.cz/plc-programovatelný-logický-automat/>
- [26] *Siemens SIMATIC S7-300* [online]. [vid. 2021-04-16]. Dostupné z: <https://www.quicktimeonline.com/6es7314-6ch04-0ab0>
- [27] *Industry 4.0 and how smart sensors make the difference* [online]. [vid. 2021-04-17]. Dostupné z: <https://www.spectralengines.com/articles/industry-4-0-and-how-smart-sensors-make-the-difference>

- [28] *Průmysl 4.0 - úvod do problematiky - Znalostní systém prevence rizik v BOZP* [online]. [vid. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://zsbozp.vubp.cz/pracovni-prostredi/odvetvi/prumysl-4-0/464-prumysl-4-0-uvod-do-problematiky>
- [29] *INDUSTRY 4.0 CONCEPTION.*: EBSCOhost [online]. [vid. 2021-04-17]. Dostupné z: <http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=22ddea87-9d37-4107-9fdd-dee9c6985b94%40sdc-v-sessmgr01>
- [30] *What is IoT? Defining the Internet of Things (IoT) | Aeris* [online]. [vid. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://www.aeris.com/in/what-is-iot/>
- [31] *Co jsou big data a k čemu jsou dobrá? | Objevit.cz* [online]. [vid. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://www.objevit.cz/co-jsou-big-data-a-k-cemu-jsou-dobra-t157688>
- [32] MOHAMED, Mamad. Challenges and Benefits of Industry 4.0: An overview. *International Journal of Supply and Operations Management* [online]. 2018, 5(3), 256–265 [vid. 2021-04-20]. ISSN 2383-2525. Dostupné z: www.ijson.com
- [33] *Benefits of Industry 4.0 – SL Controls* [online]. [vid. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://slcontrols.com/benefits-of-industry-4-0/>
- [34] *SP ČR: Firmy, které zavedly technologie Průmysl 4.0, jsou produktivnější | Předpisy, normy, vzory a příklady z oblasti kvality, ISO a strojních zařízení.* [online]. [vid. 2021-04-22]. Dostupné z: https://www.qmprofi.cz/33/sp-cr-firmy-ktere-zavedly-technologie-prumysl-4-0-jsou-produktivnejsi-uniqueidgOkE4NvrWuOKaQDKuox_ZwpDzvi5DBaEyS-8ZYRKejY/
- [35] *České firmy by se měly v oblasti Průmyslu 4.0 inspirovat v zahraničí - Vědavýzkum.cz* [online]. [vid. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://vedavyzkum.cz/politika-vyzkumu-a-vyvoje/politika-vyzkumu-a-vyvoje/ceske-firmy-by-se-mely-v-oblasti-prumyslu-4-0-inspirovat-v-zahranici>
- [36] *TAB 18A Podniky s inovačními aktivitami s 10 a více zaměstnanci v Česku, které v roce 2018 použily vybrané technologie spojené s průmyslem 4.0 a digitalizací podnikových procesů* [online]. [vid. 2021-04-28]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/122363224/2130032018a.pdf/d9151b4c-9870-4d2c-a10e-a27950802bd8?version=1.1>
- [37] *Počátek čtvrté průmyslové revoluce drží pevně v rukách Němci. Američané se zdráhají k investicím | Hospodářské noviny (iHNed.cz)* [online]. [vid. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://archiv.ihned.cz/c1-65320820-nemecke-firmy-jsou-v-digitalizaci-vyroby-rychlejsi-nez-americke>
- [38] *How Lean Six Sigma can improve predictability in an Industry 4.0 perspective A case study of lead times in manual operations at GKN Aerospace* [online]. nedatováno [vid. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://sfk.se/wp-content/uploads/Final-Christoffer-Johansson.pdf>
- [39] KOLBERG, Dennis a Detlef ZÜHLKE. Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies. In: *IFAC-PapersOnLine* [online]. B.m.: Elsevier, 2015, s. 1870–1875 [vid. 2021-04-28]. ISSN 24058963. Dostupné z: [doi:10.1016/j.ifacol.2015.06.359](https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.359)

- [40] EL ABBADI, Laila, Mariam HOUTI, Laila El ABBADI, El MANTI a Samah ELRHANIMI. Kanban System for Industry 4.0 Environment. *Article in International Journal of Engineering and Technology* [online]. 2018, **7**(4), 60–65 [vid. 2021-04-26]. Dostupné z: doi:10.14419/ijet.v7i4.16.21780
- [41] *Kanban System for Industry 4.0 Environment* [online]. [vid. 2021-04-29]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/332415123_Kanban_System_for_Industry_40_Environment
- [42] HOFMANN, Erik a Marco RÜSCH. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry* [online]. 2017, **89**, 23–34. ISSN 01663615. Dostupné z: doi:10.1016/j.compind.2017.04.002
- [43] VALAMEDE, Luana Sposito, Alessandra CRISTINA a Santos AKKARI. Lean 4.0: A New Holistic Approach for the Integration of Lean Manufacturing Tools and Digital Technologies. *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences* [online]. 2020, **5**(5), 851–868 [vid. 2021-04-29]. Dostupné z: doi:10.33889/IJMEMS.2020.5.5.066
- [44] MAYR, A., M. WEIGELT, A. KÜHL, S. GRIMM, A. ERLI, M. POTZEL a J. FRANKE. Lean 4.0-A conceptual conjunction of lean management and Industry 4.0. In: *Procedia CIRP* [online]. B.m.: Elsevier B.V., 2018, s. 622–628. ISSN 22128271. Dostupné z: doi:10.1016/j.procir.2018.03.292
- [45] WAGNER, Tobias, Christoph HERRMANN a Sebastian THIEDE. Industry 4.0 Impacts on Lean Production Systems. *Procedia CIRP* [online]. 2017, **63**, 125–131 [vid. 2021-04-29]. ISSN 22128271. Dostupné z: doi:10.1016/j.procir.2017.02.041
- [46] *Industry 4.0 Advantages and Disadvantages* [online]. [vid. 2021-05-05]. Dostupné z: <https://www.machinemetrics.com/blog/industry-4-0-advantages-and-disadvantages>

Přílohy

Příloha I – Tabulka podniků využívající nástroje Průmyslu 4.0

TAB 18A Podniky s inovačními aktivitami s 10 a více zaměstnanci v Česku, které v roce 2018 použily vybrané technologie spojené s průmyslem 4.0 a digitalizací podnikových procesů

Ukazatel	Sběr dat pomocí digitálních senzorů, kamer, GPS apod. zařízení		Služby cloud computingu		Zavádění a rozvoj zařízení s konektivitou pro Internet věcí		Analýza a práce s velkými daty		Průmyslové nebo servisní roboty		3D tisk		Využití prvku umělé inteligence	
	Počet	% [1]	Počet	% [1]	Počet	% [1]	Počet	% [1]	Počet	% [1]	Počet	% [1]	Počet	% [1]
PODNIKY CELKEM	5 006	44,1%	3 858	34,0%	1 608	14,2%	1 518	13,4%	1 578	13,9%	1 247	11,0%	674	5,9%
Vlastnickví podniků:														
domácí podniky	3 412	41,3%	2 459	29,8%	944	11,4%	866	10,5%	895	10,8%	797	9,7%	401	4,9%
podniky pod zahraniční kontrolou	1 594	51,4%	1 399	45,1%	664	21,4%	653	21,1%	682	22,0%	449	14,5%	273	8,9%
Velikostí podniků:														
malé podniky /10-49 zaměstnaných osob/	2 523	34,1%	2 359	31,9%	852	11,5%	810	10,9%	598	8,1%	510	6,9%	362	4,9%
střední podniky /50-249 zaměstnaných osob/	1 752	58,3%	1 042	34,7%	520	17,3%	395	13,1%	554	18,4%	460	15,3%	222	7,4%
velké podniky /250 a více zaměstnaných osob/	731	78,9%	457	48,0%	236	24,8%	314	33,0%	425	44,7%	277	29,1%	90	9,5%
Odvětví (sektory, oddíl CZ-NACE):														
Těžba a dobývání – B /5-9/	15	43,0%	4	12,2%	4	11,9%	4	12,0%	-	-	-	-	-	-
Zpracovatelský průmysl – C /10-33/	3 019	48,6%	1 582	25,5%	784	12,6%	656	10,6%	1 337	21,5%	821	13,2%	254	4,1%
Výroba a rozvod elektřiny, plynu, tepla a vzduchu – D /35/	49	44,0%	53	47,6%	22	19,8%	27	23,8%	-	-	-	-	-	-
Zásobování vodou; činn. související s odpady – E /36-39/	80	57,7%	44	31,7%	27	19,3%	10	7,2%	-	-	-	-	-	-
Velkoobchod, kromě motor. vozidel – G /46/	713	32,8%	863	39,7%	263	12,1%	340	15,6%	120	5,5%	162	7,5%	134	6,2%
Doprava a skladování – H /49-53/	431	59,6%	187	25,9%	98	13,5%	48	6,8%	7	1,0%	5	0,7%	25	3,4%
Informační a komunikační činnosti – J /58-63/	361	34,6%	703	67,3%	278	26,6%	305	29,2%	60	5,7%	122	11,7%	199	19,0%
Peněžnictví a pojišťovnictví – K /64-66/	42	19,6%	108	50,3%	13	6,1%	45	20,9%	6	2,8%	3	1,4%	23	10,9%
Vědecké a technické činnosti – M /71-73/	296	41,9%	314	44,4%	119	16,8%	85	12,1%	44	6,2%	131	18,5%	34	4,9%
Region soudržnosti (CZ-NUTS2):														
Praha	943	36,6%	1 169	45,4%	344	13,4%	428	16,6%	172	6,7%	274	10,6%	197	7,7%
Střední Čechy	701	49,6%	472	33,5%	212	15,0%	253	17,9%	316	22,4%	191	13,5%	74	5,3%
Jihozápad	533	47,8%	345	30,9%	153	13,8%	110	9,9%	158	14,2%	77	6,9%	37	3,3%
Severozápad	288	41,5%	165	23,8%	102	14,6%	47	6,9%	97	13,9%	82	11,8%	15	2,2%
Severovýchod	707	48,8%	408	28,2%	202	14,0%	126	8,7%	194	13,4%	152	10,5%	76	5,3%
Jihovýchod	670	42,7%	512	32,7%	208	13,3%	139	8,9%	195	12,5%	196	12,5%	78	5,0%
Střední Morava	515	43,8%	281	23,9%	149	12,7%	191	16,2%	195	16,6%	131	11,1%	33	2,9%
Moravskoslezsko	649	47,3%	506	36,8%	237	17,3%	225	16,4%	250	18,2%	143	10,4%	163	11,9%

[1] podíl na celkovém počtu podniků s inovačními aktivitami v dané skupině (řádku)