

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ, PROJEKTOVÁNÍ A
METROLOGIE



DIPLOMOVÁ PRÁCE

NÁVRH AUTOMATICKÉ LINKY PRO KONTROLU KVALITY
AUTOMATED INSPECTION LINE DESIGN

AUTOR: BC. KAMIL MOUDRÝ

STUDIJNÍ PROGRAM: N 2348 PRŮMYSL 4.0

VEDOUCÍ PRÁCE: ING. JIŘÍ KYNCL PH.D.

PRAHA 2020

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Moudrý** Jméno: **Kamil** Osobní číslo: **420461**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav mechaniky, biomechaniky a mechatroniky**
Studijní program: **Průmysl 4.0**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Návrh automatické linky pro kontrolu kvality

Název diplomové práce anglicky:

Automated Inspection Line Design

Pokyny pro vypracování:

1. Rešerše problematiky automatizace zpracovatelských procesů
2. Rešerše problematiky Průmysl 4.0 v žárovzdorném průmyslu
3. Analýza procesu kontroly
4. Návrh variant automatické linky
5. Technicko-ekonomické zhodnocení návrhu

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

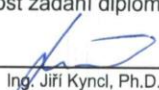
Ing. Jiří Kyncl, Ph.D., 12134


Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **30.04.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **07.08.2020**

Platnost zadání diplomové práce:


Ing. Jiří Kyncl, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

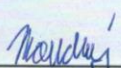

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

30.4.2020
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jiřího Kyncla, Ph.D. a že jsem použil literaturu, která je uvedena v příloženém seznamu na konci mé diplomové práce.

V Praze dne

.....

podpis

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu své diplomové práce Ing. Jiřímu Kynclovi, Ph.D. za odborné vedení, poskytnuté materiály, cenné rady a připomínky, a také za čas, který mi při mé práci věnoval. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Petru Syrovému za konzultační pomoc při tvorbě praktické části mé diplomové práce. Také bych chtěl poděkovat zaměstnancům společnosti P-D Refractories CZ a.s, kteří mi poskytli své zkušenosti z provozu. V neposlední řadě bych rád poděkoval rodině a své přítelkyni, která mi je oporou během celé doby studia.

Anotace

Tato diplomová práce je zaměřena na návrh automatizace kontrolního stanoviště komínových vložek. V úvodu práce je představena společnost P-D Refractories CZ a.s. V další fázi je představen koncept Průmyslu 4.0 a jeho možné implementace do reálného provozu. V další části diplomové práce je popsána problematika automatizace zpracovatelského průmyslu, včetně možností automatizace pomocí robotických manipulátorů. Další část popisuje možnosti automatizace procesu kontroly. V praktické části je provedena analýza současného stavu kontrolního stanoviště. Pomocí získaných informací a předem určených okrajových podmínek jsou navržena řešení pro automatizace tohoto procesu. V závěrečné části diplomové práce je provedeno zhodnocení návrhů z ekonomického a technologického hlediska.

Klíčová slova: Průmysl 4.0; Automatizace; Automatizovaná linka; Průmyslový robot; Kvalita; Průmyslové kamery; Ultrazvuk; Laser scanning; Žárovzdorný průmysl

Annotation

This diploma thesis is focused on the proposal of automatization of control points of chimney inserts. In the introduction the company P - D Refractories is presented. In the next part the concept of Industry 4.0 and its possible implementations into actual operation are introduced. Further the diploma thesis is describing problems of automatization of manufacturing industry, including the possibilities of automatization using robotic manipulators. In the next part, possibilities of automatization of the control process is already described. Practical part carries out the analysis of current state of control points. Using gained information and peripheral conditions specified in advance, the solutions for automatization of this process are proposed. In the final section of this thesis an evaluation of proposals from the economic and technology perspectives is performed.

Keywords: Industry 4.0; Automatization; Automatic line; Industrial robot; Quality; Industrial cameras; Ultrasound; Laser scanning; Refractory industry

Obsah

1	Úvod	9
2	Společnost P-D Refractories CZ a.s.	11
2.1	Historie společnosti P-D Refractories CZ a.s.	11
2.2	Výrobní závody společnosti P-D Refractories CZ a.s.	12
3	Průmysl 4.0.....	14
3.1	Výrobní proces	14
3.2	Charakteristika Průmyslu 4.0	15
3.3	Historie Průmyslu 4.0	16
3.4	Koncept Průmyslu 4.0	17
3.5	Technologie Průmyslu 4.0.....	19
4	Automatizace zpracovatelského průmyslu	27
4.1	Definice a rozdělení automatizace.....	27
4.2	Automatizovaná výrobní linka	32
4.3	Průmyslové roboty a manipulátory.....	35
5	Automatizace procesu kontroly kvality.....	44
5.1	Kvalita.....	44
5.2	Kontrola kvality	47
5.3	Další možnosti kontroly.....	57
6	Keramický průmysl.....	60
6.1	Historie keramického průmyslu	60
6.2	Charakteristika keramického průmyslu	61
6.3	Žárovzdorný průmysl a žárovzdorné materiály.....	63
7	Analýza procesu kontroly v modelové společnosti.....	67
7.1	Výrobní proces komínových vložek.....	67
7.2	Současný stav kontroly kvality komínových vložek.....	69
8	Návrh automatizace procesu kontroly.....	77
8.1	Omezující podmínky automatizace.....	77

8.2	Možnosti automatizace procesů	79
8.3	Varianta automatické kontrolní linky s lidskými pracovníky.....	88
8.4	Varianta automatické kontrolní linky s robotickými manipulátory	92
8.5	Průmysl 4.0 – implementace do výrobního procesu	100
8.6	Celkové zhodnocení navrhovaných variant	104
9	Závěr.....	112
	Citovaná literatura	115
	Seznam obrázků	123
	Seznam tabulek	127
	Seznam použitého software.....	128

1 Úvod

Tato diplomová práce s názvem „Návrh automatické linky pro kontrolu kvality“ se zabývá implementací prvků Průmyslu 4.0 do podniku zabývajícího se výrobou a dodávkou žárovzdorných výrobků a surovin. V úvodní kapitole diplomové práce probíhá seznámení s modelovou společností P-D Refractories CZ a.s. V následující kapitole je rozebrána historie a vývoj průmyslu včetně hlavních průmyslových revolucí. Po seznámení s historickým vývojem je detailněji zpracován pojem Průmysl 4.0. Průmysl 4.0 je v dnešní době velice zajímavé téma a mnoho lidí si ještě nedokáže představit, o co se vlastně jedná. Kapitola popisuje základní prvky a možnosti implementace tohoto směru do výrobních podniků.

V další kapitole je popsána problematika automatizace v průmyslové výrobě. Kapitola se zabývá možnostmi zavádění automatizovaných prostředků do výrobních podniků. V této kapitole jsou zmíněny různé druhy automatizace. Tyto druhy jsou popsány hlavními charakteristickými znaky a porovnány mezi sebou. Součástí kapitoly je popis automatizované výrobní linky včetně hlavních prvků, které se v automatizovaných linkách využívají. Důležitou část tvoří také popis a rozdělení průmyslových robotů a manipulátorů.

Následující kapitola se zabývá problematikou kontroly kvality. V úvodu je definován samotný pojem kvality a jsou zde popsány hlavní koncepce, které kvalitu hodnotí. Další část se již zabývá kontrolou kvality, která je velice důležitou součástí výrobního procesu. Následně je provedeno rozdělení druhů technické kontroly a popis automatické kontroly kvality. V této části je nejvíce popsáno strojové vidění, které v dnešní době zažívá veliký rozvoj a uplatnění. Dalšími popisovanými metodami automatické kontroly jsou laserové snímání a ultrazvuková kontrola.

Poslední rešeršní kapitola se zabývá keramickým průmyslem. Na začátku kapitoly je provedeno seznámení s historií a vývojem keramického průmyslu. Následně je popsána charakteristika keramického průmyslu včetně rozdělení keramických výrobků a popis především žárovzdorných keramických materiálů. Na konci této kapitoly je sepsáno krátké seznámení s komínovými vložkami, pro které bude v praktické části navrhována automatická kontrolní linka.

V první praktické kapitole dochází k seznámení a analýze současného stavu kontrolních operací ve výrobním závodě Svitavy. V úvodu kapitoly je krátce zmíněn celý výrobní cyklus komínové vložky. Po tomto popisu již následuje detailní analýza současného kontrolního

stanoviště, kde probíhá třídění vadných kusů komínových vložek. Při analýze současného procesu byly sepsány okrajové podmínky, které jsou dány prostorovým uspořádáním ve výrobní hale, ale také okrajové podmínky jiného druhu omezující možnosti návrhů automatizované kontroly.

V poslední části diplomové práce je proveden návrh na automatizaci současných kontrolních operací pomocí automatických přístrojů. Jsou zde popsány možnosti nahrazení jak transportních operací pomocí robotických manipulátorů tak i kontrolních operací pomocí automatických zvukových snímačů, inteligentních kamer a laserového skenování. V této kapitole jsou navrženy dvě varianty možné automatizace. Druhá varianta je řešena jako plně automatizovaný proces, který spadá do konceptu Průmyslu 4.0 a využívá nejmodernější technologie. V závěru kapitoly je provedeno celkové zhodnocení navrhovaných variant. Součástí zhodnocení je také výpočet doby návratnosti vysokých investic do nových prostředků.

2 Společnost P-D Refractories CZ a.s.

V následujících kapitolách je představená společnost P-D Refractories CZ a.s., která se zabývá produkcí keramických produktů. Společnost v historii prošla různými stupni vývoje, které jsou v kapitole historie zmíněny. V dnešní době se společnost P-D Refractories CZ a.s. snaží o vývoj ve výrobě a zavádění automatizace do výrobních procesů, které lze automatizovat. Společnost již dříve provedla automatizaci výrobního procesu, který se týká přípravy výrobní směsi pro extruzi trubky pro komínové vložky. Nyní se společnost zabývá zautomatizováním procesu kontroly ve výrobním závodě ve Svitavách. V následujících kapitolách tak bude krátce popsána historie a stručný popis výrobních závodů, které spadají pod společnost P-D Refractories CZ a.s. V praktické části bude tato společnost a konkrétně výrobní závod ve Svitavách použit pro návrh a tvorbu automatické linky pro kontrolu kvality komínových vložek.

2.1 Historie společnosti P-D Refractories CZ a.s.

Historie těžby v oblasti firmy P-D Refractories CZ a.s. je datovaná až do roku 1666, kdy začala probíhat povrchová těžba, která trvala do roku 1852. Roku 1852 začala důlní těžba, na kterou získali právo zakladatelé šamotové továrny ve Velkých Opatovicích. V roce 1892 se firma Gessner a Pohl rozhodla pro výstavbu nové továrny na žárovzdorné výrobky a tím se tak začala psát historie dnešní akciové společnosti, která byla jednu dobu největší výrobcí žárovzdorných materiálů ve střední Evropě. Nově zbudovaná továrna se dělila na tři oddělení – pece, mlýny a cihlovka. Všechna strojní zařízení v továrně byly jednoduché stavby a poháněny byly parním strojem. Roku 1897 došlo k rozšíření firmy a produkce se pohybovala kolem 4000 až 9500 tun za rok. Od roku 1950 mění firma název na Moravské šamotové a lupénkové závody Velké Opatovice (dále jen „MŠLZ“) s dalšími závody Nová ves, Mladějov, Koclířov – Hřebeč, Janůvky, Březina a Roubanina. Po rozšíření v letech 1960 až 1965 se závod ve Velkých Opatovicích stal největším producentem šamotových produktů ve střední Evropě s produkcí až 120 000 tun. V letech 1981–1985 dochází ke stavbě nového výrobního závodu pod názvem Dinas Svitavy, který byl zaměřen na produkci dinasových produktů. Roku 1991 se firma MŠLZ mění na akciovou společnost. Na konci roku 2000 je většinový podíl akcií koupen německou společností P-D Glas und Feurfestwerke wetr GmbH a firma MŠLZ se stává členem skupiny Preiss-Daimler Group a mění svůj název do dnešní podoby na P-D Refractories CZ a.s. [1]

2.2 Výrobní závody společnosti P-D Refractories CZ a.s.

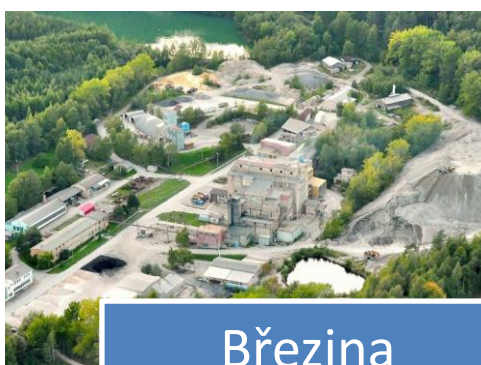
Výrobní závody jsou ve společnosti P-D Refractories CZ a.s. rozděleny na čtyři hlavní místa. Jedná se o Velké Opatovice, Svitavy, Březina a Březinka (viz. Obrázek 1) Praktická část této diplomové práce je zaměřená na výrobní závod ve Svitavách, který byl i osobně navštíven.

Velké Opatovice – zde se nachází hlavní sídlo akciové společnosti. V závodě dochází k výrobě širokého sortimentu pro zákazníky různých průmyslových zaměření. Výroba zahrnuje rozmanitou škálu sortimentu od normovaných tvarů až po velké bloky s tvarovou složitostí na zakázku [1]. **V tomto závodě jsou umístěny následující části:** divize 01 – Stará Šamotka, divize 02 – Nová Šamotka, část divize 04 – Servis, odbor 07 – Obchod, odbor 08 – Řízení jakosti, odbor 11 – Vedení a správa a.s.

Svitavy – závod ve Svitavách, založený roku 1985, je zaměřený na produkci dinasových produktů pro metalurgii, sklářský průmysl a koksárenské pece. Užitím nejmodernějších zařízení je dosahováno vysoké kvality produkovaných výrobků. Snaha o stálé zdokonalování představuje i zavádění nových technologií spojených s konceptem Průmyslu 4.0 do výroby komínových tvarovek. Nová robotická pracoviště zajistí absolutní kontrolu nad výrobky, zvýší efektivnost a sníží náklady na výrobu. Svitavský závod je použit pro praktickou část diplomové práce a zavedení automatické kontroly kvality zde vyráběných komínových vložek [1]. **V tomto závodu se nachází:** divize 03 – Dinaska, divize 04 – Servis, část odboru 07 – Obchod, část odboru 08 – Řízení jakosti

Březina – toto pracoviště je zaměřené na pálení vytěženého žárovzdorného jílu v šachtových pecích. Úprava a zpracování jílu je důležitým faktorem pro další zpracování ve Velkých Opatovicích a Svitavách. Moderní technologie zaručují takovou úpravu substrátů, aby byl výstupní materiál neměnný [1]. **V tomto závodě se nachází:** divize 06 – pálení Anna

Březinka – v tomto dole se začalo těžit již v roce 1961 a roku 2009 byl vytěžen. V této lokalitě však stále probíhá povrchová těžba jílu. Získaný jíl se z Březinky převáží do Březiny k dalšímu zpracování. Součástí areálu Březinka je skládka určená k ukládání odpadu s životností do roku 2030 [1]. **V tomto areálu se nachází:** divize 05 – Skládka, divize 12 – Těžba.



Obrázek 1 Výrobní podniky P-D Refractories CZ a.s. [1]

Závěr

V této kapitole proběhlo seznámení se společností P-D Refractories CZ a.s. Přehled výrobních závodů bude využit v praktické části. Především výrobní závod ve Svitavách bude v praktické části této práce detailněji využit při tvorbě modelu haly a implementaci automatické linky kontroly do stávajícího výrobního podniku. Výrobní závod ve Svitavách byl také navštíven pro získání většího přehledu o výrobním procesu komínových vložek a o prostorovém uspořádání zařízení v hale.

3 Průmysl 4.0

Diplomová práce se zabývá novými inovativními metodami v technologickém světě. Novým směrem popisuje koncept Průmyslu 4.0. V dalších kapitolách bude popsáno, co Průmysl 4.0 znamená a jaké jsou možnosti jeho implementace do výrobních procesů. Proto budou v následujících kapitolách popsány a definovány prvky, které souvisí s konceptem Průmyslu 4.0 a novými možnostmi výrobních procesů. Znalosti získané z následujících kapitol budou využity pro tvorbu praktické části této diplomové práce. Společnost P-D Refractories CZ a.s. se vyvíjí a snaží se zabudovat myšlenky Průmyslu 4.0 do výrobních podniků. V praktické části bude zpracovaná automatizovaná linka kontroly kvality pomocí nejmodernějších technologií a v Průmyslu 4.0. Proto je zapotřebí v následujících kapitolách popsat Průmysl 4.0 a jeho části.

3.1 Výrobní proces

Výrobní proces je definován jako změna vstupu na výstupy. Ve výrobním závodě je definován jako souhrn technologických, manipulačních, kontrolních a řídicích činností. Cílem těchto činností je změna tvaru, rozměrů, složení, jakosti a také spojování výchozího materiálu a polotovarů z hlediska požadovaných technických a ekonomických podmínek výrobku. Vstupy do procesů vznikají z výstupů předešlých procesů a operací, nebo od dodavatelů. Ke vstupům je v průmyslové výrobě přidána určitá hodnota. Rozdíl mezi zdroji a výstupy je ten, že zdroje jsou používány na přeměny vstupů na výstupy. Výstup je výsledek procesu, který je předán zákazníkovi. Výstupy mohou nabývat různé formy, mohou být formou jak výrobku, tak i služby. Při maximální efektivnosti musí být dodržena časová posloupnost kdy výstup z určitého procesu je totožný se vstupem do procesu následujícího. [2] [3]

3.1.1 Řízení výrobního procesu

Hlavním cílem při řízení výrobních procesů je snaha dosáhnout co nejlepšího fungování celého výrobního procesu v závislosti na daných podmínkách. Výrobní systém je souhrn veškerých výrobních procesů. Výrobní systém také obsahuje všechny členy, které zasahují do výrobního procesu, jako jsou vstupní suroviny, polotovary, energie, výrobní prostory, výrobní zařízení, energie, přenos informací, zaměstnanci, produkty, výrobky atd. Při řízení je nejdůležitější sladění časové a prostorové části výrobního procesu. Pro správné nastavení celého

řízení je zapotřebí zabývat se všemi prvky, které vstupují do výrobního procesu, nebo ho ovlivňují. Cílem je všechny tyto prvky dokonale sladit, aby bylo možné při změně výrobních parametrů vyrobit výrobek o jiných parametrech a vlastnostech, bez složitých zásahů do celého procesu. Definice výroby podle zdroje [4] zní takto: „Řízení výroby je zaměřeno na dosažení optimálního fungování výrobních systémů s ohledem na vytyčené cíle.“ [4]

3.2 Charakteristika Průmyslu 4.0

Při uvedení do problematiky konceptu Průmyslu 4.0 je důležité popsat základní rozdíl od stavu průmyslové produkce v dnešní době. V konceptu Průmyslu 4.0 se propojují a navzájem ovlivňují tři hlavní faktory:

1. Digitalizace a integrace jednoduchého výrobně-ekonomického vztahu, ale i digitalizace a integrace složitých řetězců
2. Digitalizace produkce a nabídky služeb
3. Nové obchodní modely

V konceptu Průmyslu 4.0 jsou všechny tyto aktivity inteligentně a sofistikovaně propojené pomocí komunikačních technologií Internetu věcí (IoT), Internetu služeb (IoS) a Internetu lidí (IoP). S dokonalým propojením nastane v prostředí Průmyslu 4.0 komunikace po dobu celého životního cyklu všech entit zapojených do výrobního systému. [5]

Pro úspěšné zavedení konceptu Průmyslu 4.0 je zapotřebí dodržovat tyto základní principy a myšlenky [6] :

1. **Virtualizace** – spojení mezi virtuálními modely simulačních nástrojů a fyzickými systémy ve výrobě. Zavedení virtualizace již v předvýrobních etapách.
2. **Interoperabilita** – vzájemná komunikace lidí, kyberneticko-fyzikálních systémů, výrobků a chytrých továren pomocí IoT, IoS, IoP.
3. **Decentralizace** – přenesení rozhodovacích pravomocí do jednotlivých nižších složek systému.
4. **Práce v reálném čase** – komunikace a sdílení informací v takové rychlosti, aby bylo možné využít řízení systémů v reálném čase.
5. **Modularita a překonfigurování** – schopnost autonomních změn a přestavění modulárních systémů bez zásahu člověka.

3.3 Historie Průmyslu 4.0

Průmysl 4.0 je označení pro současný trend digitalizace a s ní související automatizace výroby a změn na trhu práce. Představení tohoto pojmu proběhlo na veletrhu v Hannoveru v roce 2013. První zmínka tzv. čtvrté průmyslové revoluce se však objevila již v roce 2011. Průmysl 4.0 navazuje na předchozí tři průmyslové revoluce, které budou krátce popsány v následujících kapitolách.

3.3.1 Průmyslové revoluce

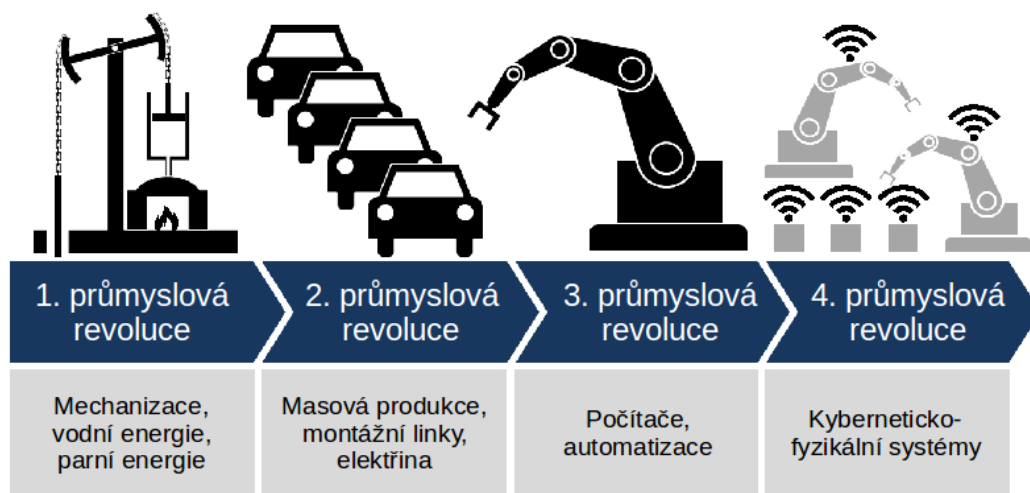
První průmyslová revoluce je označována jako období parních strojů. Její začátek je datován ke konci 18. století. V této době probíhaly největší změny v zemědělství, těžbě, produkci a v hospodářských i průmyslových sektorech. Hlavní symbol tohoto období – parní stroj - byl vynalezen v roce 1795 skotským vynálezcem Jamesem Wattem. Průmyslová revoluce probíhala ještě v 19. století, kdy docházelo k přechodu od ruční výroby v manufakturách k výrobě strojní. [7] [8]

Druhá průmyslová revoluce je spojovaná s elektrifikací a vznikem montážních linek. Začátek této revoluce je připisován roku 1879, kdy vynálezce Thomas Alva Edison vynalezl první žárovku. Elektrická energie se stala symbolem této revoluce a začala být využívána k pohonu strojů, osvětlení i pohonu dopravních prostředků – tramvají. Dalším významným vynálezcem v tomto období byl i Nicola Tesla – konstruktér transformátoru. V Čechách jsou představitelé této revoluce František Křižík, který zkonstruoval obloukovou lampu, a Emil Kolben, zakladatel první elektrotechnické továrny. Velkým přínosem pro průmyslové odvětví bylo sestrojení benzínového motoru v letech 1883-1886. V roce 1896 představil světu první pohyblivou montážní linku a pásovou výrobu americký továrník Henry Ford a postavil s její pomocí první automobil. V České republice byl první automobil sestaven o dva roky později v Kopřivnici. Se začátky automobilového průmyslu v Čechách jsou spojováni vynálezci Laurin a Klement. [7] [8]

Třetí průmyslová revoluce je období automatizace, digitalizace a robotizace. Datace této revoluce se uvádí od roku 1969, kdy byl vyroben první programovatelný logický automat. Od této doby se rozšiřuje využití mikroprocesorů a využití počítačů. Ve výrobních procesech nastává využití elektroniky a sběr dat pro informační služby, které podporují automatizace výroby. V tomto období probíhá vývoj nových výrobních postupů jako je využití aditivních technologií,

3D tisk, reverzní inženýrství a rapid prototyping. Nové možnosti ve strojírenství přináší vývoj progresivních materiálů s vysokou pevností a vynikajícími fyzikálními, mechanickými i chemickými vlastnostmi. Velký význam začíná nabývat využití internetu, který se začíná využívat ke sdílení informací mezi lidmi i k usnadnění výrobního procesu a celé výroby. Tato komunikace je podporována vývojem chytrých zařízení, jako jsou mobilní telefony, tablety a jiné dotykové přístroje. [7] [8]

Čtvrtá průmyslová revoluce označována jako Průmysl 4.0 nebo Industry 4.0 je detailně popsána v dalších kapitolách. Na Obrázek 2 lze vidět postupný vývoj během průmyslových revolucí.



Obrázek 2 Přehled průmyslových revolucí [8]

3.4 Koncept Průmyslu 4.0

Průmysl 4.0 je označení pro současný trend digitalizace a s ní související automatizace výroby a změny na trhu práce. Čtvrtá průmyslová revoluce je založena na myšlence „chytré továrny“ využívající automatizované kyberneticko-fyzikální systémy s decentralizovaným řízením a inteligentním propojením jednotlivých výrobních systémů. Pomocí těchto systémů se továrny budou řídit téměř „samy“. Tyto kroky vyžadují k realizaci vysoce vyvinuté inteligentní kamery, čidla, vysílače a další moderní zařízení. Způsob inteligentní produkce má přinést zvýšenou efektivitu a navýšení produkce ve výrobě. V dnešní době je čtvrtá průmyslová revoluce označována moderním a velice lákavým názvem Průmysl 4.0 nebo Industry 4.0. [7] [8]

Pro popis Průmyslu 4.0 existuje několik definic:

- „Při zmínce o Průmyslu 4.0 většina výkonných manažerů povytáhne obočí. Pokud jste už o něm někdy slyšeli, je pravděpodobné, že jste zmateni v tom, co to je. Pokud jste o něm ještě neslyšeli, je pravděpodobné, že budete skeptičtí ohledně toho, co vidíte jako další kus marketingového humbuku a prázdnou frázi. A přesto při bližším pohledu na to, co to je Průmysl 4.0, jsou patrné některé objevující se mocné směry se silným potenciálem změnit způsob ve fabrikách. Může být příliš nadnesené říkat, že jde o další průmyslovou revoluci. Říkejte tomu, jak chcete a jak se vám líbí. Faktem je, že Průmysl 4.0 nabírá na síle a vedoucí pracovníci by měli pečlivě sledovat přicházející změny a vytvořit strategie, jak nových příležitostí využít“. [9]
- „Průmysl 4.0 je kolektivní výraz pro technologie a koncepty organizace hodnotových řetězců. V rámci modulárních strukturovaných inteligentních továren Průmyslu 4.0, kyberneticko-fyzikální systémy sledují fyzické procesy a vytváří virtuální obraz fyzického světa a přijímá decentralizovaná rozhodnutí. Přesto Internet věcí a kyberneticko-fyzikální systémy komunikují mezi sebou a s lidmi v reálném čase. Prostřednictvím internetu služeb jsou účastníkům hodnotového řetězce nabízeny a využívány jak interní, tak i externí služby.“ [10]
- „Průmysl 4.0 (anglicky Industry 4.0) je označení pro automatizaci výroby a změny na trhu práce, které to s sebou přinese. Průmysl 4.0 je založený na rozmachu digitalizace, robotizace a automatizace. Číslo 4 znamená čtvrtou průmyslovou revoluci, která je charakterizovaná plným prolínáním informačních technologií s produkčními procesy, a to ještě navíc inteligentním způsobem, který je charakteristický pro autonomní stroje. Je tedy z velké části založena na internetu věcí, který přinesl řadu změn do výroby a údržby v průmyslu – od snížení výrobního cyklu až po automatizaci údržby strojů a zařízení.“ [11]

3.4.1 Charakteristika konceptu Průmyslu 4.0

Myšlenka Průmyslu 4.0 vychází z rychlého vývoje v oblasti informačních technologií, které umožňují snadné využívání a sdílení informací, které se v dnešní době vyskytují především v digitální podobě. Podstata konceptu Průmyslu 4.0, podle které by měly vznikat „chytré továrny“, je celkové propojení reálných fyzických objektů (výrobních strojů, zařízení, robotů, polotovarů, výrobků nebo lidí) a virtuálního světa, ve kterém může být každý z těchto fyzických

objektů zobrazen jako virtuální. Ve virtuálním prostředí je možné nasimulovat chování pomocí softwarových modulů. Základním prvkem chytrých továren jsou kyberfyzické systémy (Cyber-Physical Systems = CPS). Pro možnost použití principů Průmyslu 4.0 je důležitá komunikace mezi CPS, které v sobě slučují výpočetní techniku, lidi a všechny části v provozu, které zasahují do výrobního procesu. CPS umožňují autonomní výměnu informací, vyvolání potřebných akcí v závislosti na aktuálních podmínkách a vzájemné nezávislé kontroly. V chytrých továrnách jsou jednotlivé fyzické jednotky propojeny pomocí internetu a každý prvek má svoji konkrétní IP adresu – zde se využívá technologie IoT. Za pomoci tohoto propojení je možné reagovat a analyzovat veškerá potřebná data, která pomohou předvídat chyby nebo poruchy, a díky inteligentnímu řízení v reálném čase provést konfiguraci na změněné podmínky. Nasimulované softwarové moduly ve virtuálním prostředí, které představují fyzické jednotky, společně pracují a ovládají činnost s využitím služeb a díky službě IoS si tak navzájem dokážou poskytnout pomoc. [12]

3.5 Technologie Průmyslu 4.0

V této kapitole budou popsány technologie, které se využívají při realizaci výrobního procesu v myšlenkách Průmyslu 4.0. Průmysl 4.0 je revoluční směr, který využívá ty nejnovější technologie, které jsou na trhu dostupné, a snaží se je implementovat do výrobních procesů, které jsou prováděny běžnými způsoby. Druhy technologií a jejich možnosti implementace do výrobního podniku jsou popsány v následujících kapitolách.

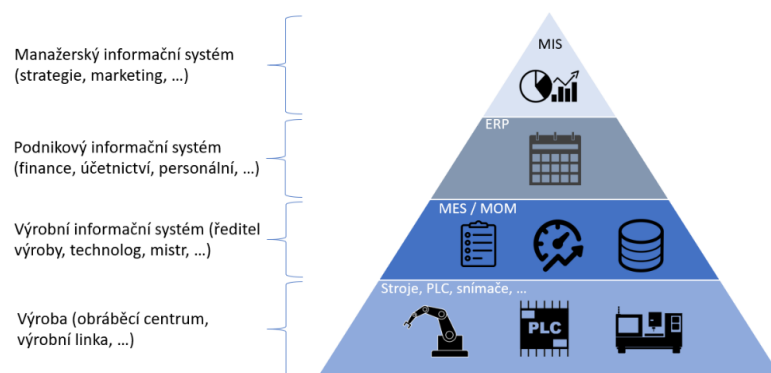
3.5.1 Průmyslová integrace

Průmyslová integrace je základním stavebním kamenem konceptu Průmyslu 4.0. Probíhá pomocí zpracování dat vystupujících z informačních technologií v průběhu reálného času. Průmyslová integrace zahrnuje sdílení informací a kontinuální komunikaci. [13]

Ve spojení s pojmem Průmysl 4.0 má průmyslová integrace tři základní pilíře:

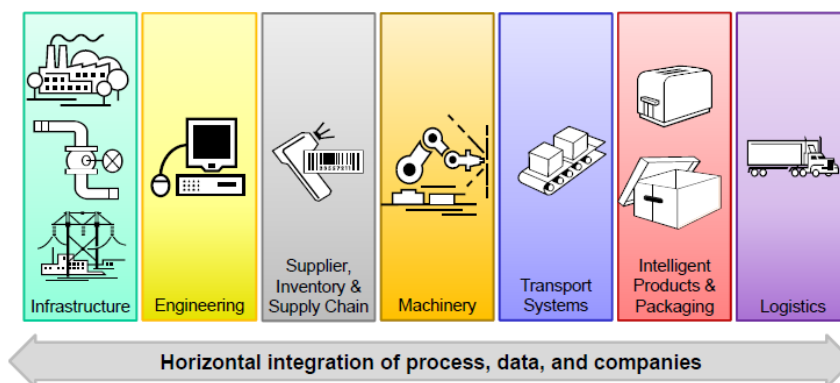
- Vertikální integrace výrobních systémů
- Horizontální integrace
- Integrace inženýrských procesů

Vertikální integrace výrobních systémů musí zajišťovat informační provázání a propojení všech úrovní výrobní a řídicí struktury podniku, viz Obrázek 3. Integrace probíhá primárně na úrovni samotného výrobního podniku. Při vertikální integraci je potřebné zajištění propojení senzorů a aktivátorů skrz všechny nadřazené vrstvy až po úroveň ERP systémů. V této oblasti se protínají znalostní odvětví řídicí techniky a automatizace s odvětvím vývoje informačních systémů. Použití kyberneticko-fyzikálních systémů umožňuje výrobním podnikům pružně reagovat na různé proměnné vstupující do výrobního řetězce, jako jsou proměnlivost poptávky, skladová zásoba, stav strojů, poruchy zařízení a jiné neočekávané situace. [13] [14]



Obrázek 3 Vertikální integrace [15]

Horizontální integrace propojuje všechny subjekty, které vstupují do odběratelského a dodavatelského řetězce. Zahrnuje všechny subjekty ovlivňující koncový hodnotový řetězec od dodavatelů, výrobců, informačních toků, systémů IT ve fázi vývoje produktu a výroby až po logistiku, distribuci k zákazníkovi a následný zákaznický servis. Sdílení dat výrobku v celém jeho cyklu zvyšuje pružnost celého procesu, ovlivňuje skladové zásoby a snižuje výrobní náklady. Jde tedy především o data a jejich využití ve správný čas a na správném místě. Při úplném fungování horizontální integrace je možné dodávat výrobky „just in time“. [13] [16] Popis horizontální integrace je na Obrázek 4.



Obrázek 4 Horizontální integrace [17]

Integrace všech inženýrských procesů je integrací probíhající přímo ve výrobním podniku. Jde o specifický způsob integrace horizontální, při které dochází k integraci všech inženýrských procesů v rámci celého životního cyklu výrobku. Digitálně tak propojuje všechny fáze od zadání, výzkumu, vývoje, plánování výroby, použití technologií, vlastní výrobu až po následný prodej a záruční služby. Při sdílení veškerých dat z každé této fáze a získávání zpětné vazby umožní vykonávat změny a řízení výrobních procesů. Koncový zákazník si pak může nakonfigurovat výrobek podle svých požadavků a pro výrobce nebude těžké takové požadavky splnit.

Všechny tyto procesy mohou fungovat za předpokladu, že data získaná ze všech procesů jsou zpracovaná a vyhodnocená. Tomuto procesu se v konceptu Průmyslu 4.0 říká analýza velkých dat (Big Data) [4] [12] [16].

3.5.2 Digitální svět

Digitální svět a digitalizace je pojem, který je velice spojován s konceptem Průmyslu 4.0. Digitalizace znamená přeměnu fyzických zdrojů na zdroje, které lze zpracovávat počítačovými systémy. Digitalizace v Průmyslu 4.0 probíhá ve všech fázích výrobního systému - od výrobních a technologických návrhů přes data získaná při výrobě až po jednání s cílovým odběratelem. Díky stoupajícím požadavkům cílových odběratelů stoupá i nátlak na výrobní podniky, které musí produkovat rychle a v co největší kvalitě a přesnosti podle požadavků zákazníka.

3.5.3 Big data

Big data a jejich zpracování je jedním ze stavebních kamenů konceptu Průmyslu 4.0. S rostoucími nároky roste i množství dat. V roce 2013 bylo na světě množství vygenerovaných a zkopírovaných dat 4,4 bilionů gigabajtů, zatímco v roce 2020 už je to až 10x tolik. Termín Big data je pojmenování a označení pro soubory, které přenášejí velké a rozsáhlé množství dat, která jsou pro tradiční aplikace náročné na zpracování. Řešení pomocí Big data zahrnuje sběr, ukládání, vyhledávání, přenos, sdílení, vizualizaci a další práci s daty. Pro využití těchto dat je zapotřebí jejich kvalitní analýza odbornými a kvalifikovanými zaměstnanci. Data sbíraná v průběhu celého výrobního procesu se poté využijí k analýze a zjištění chyb a nedostatků ve výrobě. Přesnost v Big data může usnadnit rozhodování a zlepšit tak efektivitu a snížit náklady. [18] [19]

Pojem Big data nalézá své využití u výrobních systémů a procesů, které jsou založeny na konceptu Průmyslu 4.0. U kyberneticko-fyzikálních systémů, které jsou využívány k autonomnímu rozhodování, řízení technologických celků, prediktivní údržbě, strojovému učení apod., jsou ze všech senzorických částí generovány velké objemy dat a jejich zpracování je klíčový prvek pro funkčnost celého konceptu Průmyslu 4.0. Hlavní komponenty zpracování dat jsou popsány následovně: [20] [13]

- Metody a analýzy dat – A/B testy, strojové učení, zpracování přirozeného jazyka
- Technologie zpracování velkých objemů dat – bussines inteligence, cloudová úložiště a rozsáhlé databázové systémy
- Vizualizace dat – schémata, grafy a další metody grafické prezentace Big data

3.5.4 Analýza Big data

S velkým nárůstem generovaných dat z výrobních procesů narůstají i potenciaální objemy v nich obsažených využitelných informací. Možnosti a schopnosti získávání důležitých informací z těchto dat jsou omezené kvůli nedostatku kvalifikovaných odborníků, kteří by dokázali tato data vhodně zpracovávat a využívat. K tomu, aby firma získala užitek z generovaných dat, využívá většinou externí firmu, která jim tento problém na základě jejich požadavků vyřeší. Využívá se technologií jako jsou Big data, IoT, ale i sofistikované analytické metody – machine learning, deep learning nebo natural language processing. Kvalita analytických výstupů závisí na kvalitě, rychlosti, rozsahu a objemu zpracovaných dat. Zpracování Big data můžeme dělit na dvě různé analýzy – popisná analýza a prediktivní analýza [13] [20].

5 kroků pro úspěšné zvládnutí analýzy Big Data [21] (viz Obrázek 5)

1. Kvalitní technické a technologické zařízení, které zajistí, aby systémy dokázaly data shromáždit a v co nejkratším čase zpracovávat, předávat a ukládat. Díky rozvoji technologií vede tento proces k „near real time“ řešení, tedy řešení téměř v reálném čase.
2. Další fáze je dlouhodobé uchování těchto dat, do té doby, kdy z nich lze ještě generovat podstatné informace. Historické záznamy jsou pro kvalitní prediktivní model velice důležitou součástí. V dnešní době již odpadá starost s omezením ukládat data v řádech maximálně jednoho až dvou roků. S příchodem úložišť pro Big data se tento problém

vyřeší a každý podnik tak může svoje data uchovávat a čerpat z nich informace po dlouhou dobu. Jako úložiště se využívají cloudová nebo Hadoop řešení.

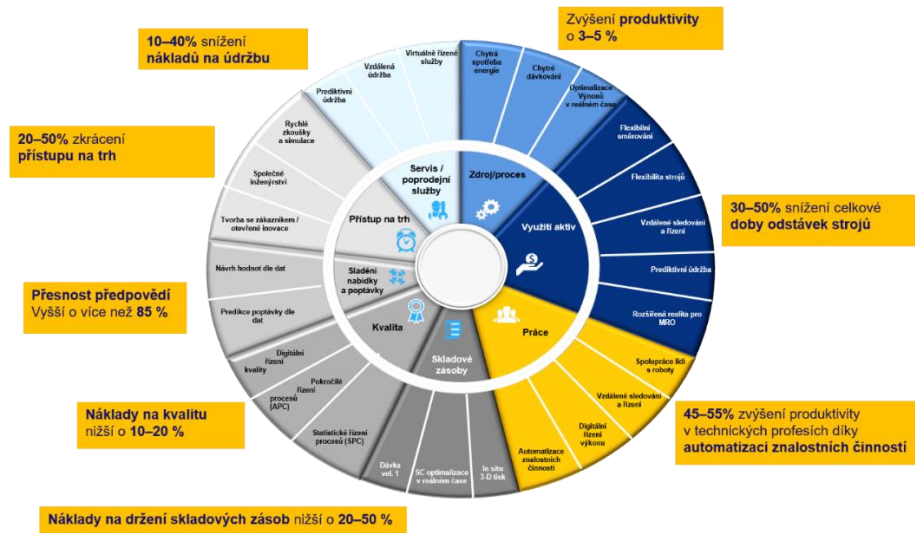
3. I přes dostatečné množství dat pro analýzu výrobního procesu není zajištěno, že podnik získává automaticky konkurenční výhodu proti ostatním. Pro maximální využití je důležité propojení získaných dat mezi výrobními systémy a systémy pro vývoj, prodej, péči o zákazníka atd.
4. V této fázi je zapotřebí nástup odborného pracovníka na práci s Big data. Nastává pokročilá analýza dat a vytváření prediktivních modelů, které dokážou předpovídat vývoj do budoucna a v případě potřeby může dojít k úpravě nějakého procesu.
5. Poslední krok je aplikování kvalitně zpracovaného modelu. Pokud nedojde na jeho základě k vylepšení výrobních systémů a procesů, nelze pak očekávat, že analýza velkých dat bude mít velký význam a prospěch.



Obrázek 5: 5 kroků zpracování Big data [21]

3.5.5 Digitální podnik

Zavedení automatizace a digitalizace v dnešní době ovlivňuje všechny faktory v průmyslové výrobě. Koncept Průmyslu 4.0 představuje mnoho možností, které vedou k zvýšení efektivity, zvýšení produktivity a snížení nákladů na údržbu. V dalších kapitolách bude popsáno, jakým způsobem je možné digitalizovat podnik a dosáhnout tak chytré továrny. Možnosti a výhody chytré továrny jsou vidět na Obrázek 6.



Obrázek 6 Výhody chytré továrny [22]

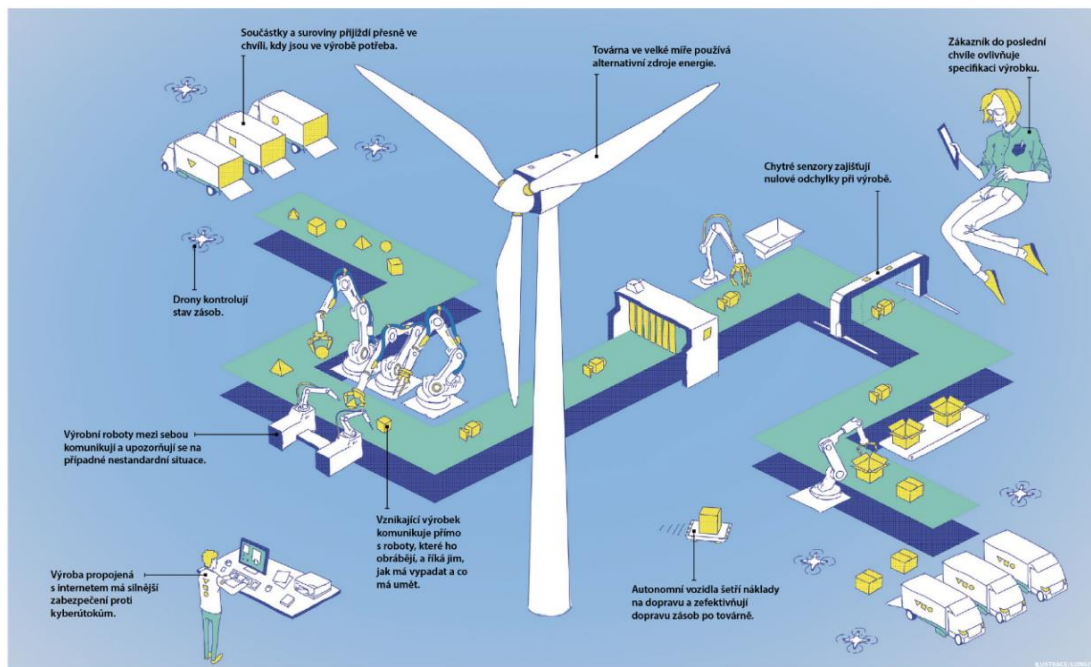
3.5.6 Transformace hodnotového řetězce

V konceptu chytrého podniku dochází k propojení chytré logistiky, inteligentních sítí, chytrých budov a chytré distribuce. Transformace z tradičního hodnotového řetězce tak dospěje ke zcela novému pojetí. V klasickém pojetí pracují jednotlivé části hodnotového řetězce izolovaně a bez větší komunikace s ostatními. V konceptu Průmyslu 4.0 je vše jinak. U všech částí hodnotového řetězce dochází ke kompletnímu propojení a tím dokonalé spolupráci. Úzké spojení vzniká mezi dodavateli, výrobcí i koncovými zákazníky. Propojení a komunikace jsou realizované pomocí komunikačních systému IoT, IoS a IoP. Za použití těchto technologií komunikují jednotlivé entity v konceptu Průmyslu 4.0 mezi sebou v průběhu celého životního cyklu bez omezení hranic podniků a států. Za využití všech potřebných dat lze digitalizovat průmyslovou výrobu a vytvořit tak nové obchodní modely. [23]

3.5.7 Inteligentní továrna

Pojem inteligentní továrna pochází z anglického spojení smart factory a je úzce spojován s konceptem Průmyslu 4.0. V dnešní době se jedná o jedno z hlavních hesel při zavádění digitalizace a automatizace výrobního procesu. Smart řešení zvyšuje efektivitu a produktivitu z důvodů využívání nových přístupů a technologií. Výrobní stroje, výrobky a vstupní polotovary jsou počítačově propojeny a dokážou mezi sebou komunikovat. Každý produkt komunikuje s výrobními zařízeními a všechny procesy jsou řízeny pomocí IT systémů. Cíl tohoto řízení je

zajištění časové efektivity a využití stroje na 100 %, flexibilní změny výrobního procesu, úpravy produktů na přání zákazníka a snížení výskytu vad ve výrobním řetězci. Ke splnění těchto požadavků dochází pomocí oboustranné výměny dat mezi výrobky, které předávají dané požadavky přímo strojním zařízením, a to bez zásahu člověka. Součástí tohoto řetězce může být i lidská práce, ale tam, kde je možné nahradit lidskou práci stroji a snížit tak lidskou chybovost, je vždy snaha o zavedení strojů a robotů do výroby. Lidská činnost je pak maximálně využita tam, kde nelze integrovat strojní zařízení. Cíl celého procesu je optimalizovaný výrobek, který byl snazší na výrobu, měl menší výrobní čas, nižší dopad na životní prostředí a samozřejmě také menší ekonomické náklady. Celý koncept inteligentní továrny generuje z celého výrobního procesu data, která se využívají při plánování dlouhodobé strategie podniku. [24] [25] [26] Celý koncept inteligentní továrny je zakreslen na Obrázek 7.



Obrázek 7 inteligentní továrna [27]

3.5.8 Digitální dvojče

Revoluční technologie při tvoření nových konceptů v Průmyslu 4.0 je pojem digitálního dvojčete. Jde o digitální převedení fyzických zařízení do virtuálních replik. Vzniklý virtuální model je komplexním obrazem celého prostředí, včetně vazeb, které se při výrobním procesu vytváří. Analytici a datoví inženýři tak mohou využít tuto technologii k simulacím a testování čehokoliv ve virtuálním prostředí a doladit tak všechny problémy ještě před tím, než je reálné dvojče

postaveno a zprovozněno. Rozvinuté technologie pro tvorbu digitálních dvojčat v dnešní době zvládají zpracovávat velké projekty, jako jsou celé budovy, továrny, ale i celá města s infrastrukturou. Virtuální dvojče ušetří mnoho času, který by byl stráven dlouhým procesem ladění na reálných fyzických zařízeních, zvyšuje efektivitu a flexibilitu. Hlavní rozvoj nastal v roce 2017, kdy byla technologie digitálního dvojčete označena jako jedna z top 10 strategických technologických trendů. V dalším roce obsadila tato technologie opět místo v top technologických trendech, čímž se potvrdil velký přínos této technologie. [28] [23]

Využití digitálního dvojčete nastává především u velkých a drahých věcí, u kterých se pomocí digitálního testování ušetří velké náklady, ještě než proběhne investice do fyzického procesu. Může se jednat o celé výrobní linky, robotická pracoviště, ale i jednotlivé výrobky jako jsou motory, letadla či vlaky. Použití digitálních dvojčat u údržby a servisu je další možností využití této technologie. Servis a údržba nasimulovaná pomocí digitálního dvojčete ještě před reálnou údržbou by dokázala odhalit efektivnost a funkčnost servisu. [28] [23]

Závěr

V této kapitole je zpracováno seznámení s pojmem Průmysl 4.0. Tento pojem je pro mnoho lidí zatím nový a neznámý, proto tato kapitola popisuje základní prvky a charakteristiky Průmyslu 4.0. Nejmodernější prvky v průmyslové výrobě jsou velkým hnacím motorem pro neustále se zrychlující vývoj. V této kapitole byl popsán také pojem chytrá továrna, která je moderním trendem dnešní doby. V praktické části bude zpracována automatická kontrolní linka právě v této myšlence chytré továrny. S využitím výše zmíněných prvků, které budou využity při praktické práci, je cílem vznik chytré továrny ve výrobním závodě P-D Refractories CZ a.s. Za účelem úplné kontroly nad výrobním procesem bude v praktické části zmíněn i pojem sběr dat a jejich zpracování. Big data tak budou hrát velkou roli při dodržení maximální kvality ve výrobním procesu komínových vložek ve výrobním podniku ve Svitavách.

4 Automatizace zpracovatelského průmyslu

V této kapitole je pospána automatizace zpracovatelských a výrobních procesů ve výrobních zařízeních. Kapitola se zabývá obecným pojmem automatizace a jejím rozdělením. V úvodních podkapitolách je zmíněna definice automatizace a základní prostředky, které se k automatizaci používají. V další podkapitole je popsáno rozdělení tří základních druhů automatizace. Pojem automatizace bude použit i v praktické části této práce, jelikož v praktické části bude řešena problematika automatizace konkrétního problému ve výrobním podniku.

4.1 Definice a rozdělení automatizace

Automatizace je technologie, která se snaží ve výrobních procesech a postupech nahrazovat lidskou činnost za činnost strojů. Hlavní využití automatizace nastává u monotónních a opakujících se činnostech, které jsou pro člověka náročné. Z pohledu vývoje průmyslu jde o navazující krok na předchozí mechanizaci, která lidem poskytuje strojní zařízení a usnadňuje práci. Automatizace však zmenšuje potřebný lidský zásah do procesu, a tak může strojní zařízení vykonávat určitou činnost bez přítomnosti člověka. Automatizace má v dnešní době jedno z nejdůležitějších postavení při snaze o zvýšení produkce, kvality, flexibility a konkurenceschopnosti výrobků na trhu. Na automatizaci se musí pohlížet i z ekonomického hlediska. Vysoké pořizovací náklady na zabudování automatizovaných linek a pracovišť mohou být odrazující od investice do automatizace. Proto je nutné spočítat náklady tak, aby bylo vidět, zda případná změna přinese finanční zvýhodnění. Termín automatizace začal být používán již v roce 1947, kdy Henry Ford zavedl ve své továrně oddělení automatizace. V dnešní době je pojem automatizace blízce spojován s konceptem Průmyslu 4.0, který automatizaci popisuje jako hlavní trend pro vývoj „inteligentní továrny“. [29] [30] [31]

4.1.1 Základní prostředky automatizace

Téměř všechny typy výrobních systémů, u kterých je možnost využití automatizace, jsou strukturálního charakteru a je možné je tak rozdělit na jednotlivé stavebnicové jednotky. Prostředky pro automatizované systémy lze pak rozdělit:

- Prostředky a zařízení hmotného toku (transportní zařízení, dopravníky, tratě, zakladače, zásobníky, manipulátory, roboty, kontrolní zařízení atd.)
- Prostředky a zařízení informačního toku (spínače, senzory, snímače, nosiče dat a informací, měřicí zařízení, dotykové snímače, řídicí systémy atd.)
- Prostředky a zařízení energetického toku (silové systémy, servomechanismy, měniče atd.)
- Ostatní pomocné automatizační prvky (kuličkové šrouby, valivá hnízda atd.)
- Pomocné mechanizačně-automatizační zařízení a prostředky
- Vlastní výrobní zařízení s různou úrovní automatizace [29]

Vývoj techniky je rozdělen do následujících třech stupňů, kdy automatizace představuje nejvyšší stupeň ve vývoji. Stupně vývoje techniky jsou:

1. **Stupeň** – instrumentace – pracovní proces je doplněn o ruční nástroje
2. **Stupeň** – mechanizace – fyzicky namáhavá lidská práce je nahrazena činností strojních zařízení
3. **Stupeň** – automatizace – činností strojů je nahrazena jak fyzická, tak i psychická činnost člověka [29]

4.1.2 Druhy automatizace

V této kapitole jsou popsány základní druhy automatizace. Způsob automatizace je využit v praktické části této práce, která řeší automatizaci procesu kontroly ve výrobním podniku. Automatizace se rozděluje do tří základních skupin: flexibilní (pružná) automatizace, měkká (programovatelná) automatizace a tvrdá (pevná) automatizace.

Tvrdá automatizace se uplatňuje v automatizovaných výrobních zařízeních, ve kterých je jasně dané pořadí operací. Operace v jednotlivých krocích jsou jednoduchého charakteru. Jedná se o obyčejné lineární a rotační pohyby, nebo o jednoduché kombinace těchto dvou pohybů. Pohyby jsou realizovány pomocí vaček, ozubených kol, jednoduchých pojezdů atd. Změna konfigurace u takto realizovaných výrobních systémů je obtížná a tvrdou automatizaci je tak výhodné využívat ve velkoobjemové výrobě jednoho typu výrobku. Typické vlastnosti tvrdé automatizace jsou:

- Vysoká počáteční investice do zařízení a vybavení na míru zákazníkovi
- Vysoká míra produkce stejných výrobků
- Náročná změna konfigurace při přechodu na jiný výrobek

Investiční návratnost tvrdé automatizace je pouze u produktů, které mají vysokou míru poptávky na trhu a mohou být vyráběny ve velkých výrobních rychlostech a objemech. Vysoké počáteční investice do tohoto zařízení se pak rozpočítá do velkého množství produktů a náklady na jeden kus jsou pak nižší než při použití alternativních způsobů. Využití pevné automatizace se vyskytuje u obráběcích linek a automatizovaných montážních strojů. [31] [32] [33]

Měkká automatizace nachází uplatnění u výrobních systémů, které zajišťují nízkou až střední objemovou produkci výrobků. Produkce je tak nižší než u pevné automatizace, jelikož je použité zařízení připraveno na snadnou změnu vyráběných produktů. Jedná se o druh automatizace pro produkci v dávkách. Dávkové množství se pohybuje od desítek kusů až po desítky tisíc kusů v jedné dávce. Po skončení jedné dávky je nutné výrobní zařízení přeprogramovat a změnit na výrobu dávky rozdílné. Tento čas, využívaný pro přestavbu, je označován jako neproduktivní doba ve výrobě. Pracovní dávka je řízena kódovým programem, který je do zařízení nahrán. Do paměti zařízení může být nahráno i více takovýchto programů, které se v době přestavby nastaví a spustí. Využití měkké automatizace představují číslíkové řízené NC obráběcí stroje, průmyslové roboty a manipulátory a programovatelné logické ovladače. Hlavní vlastnosti měkké automatizace jsou:

- Vysoké počáteční investice do univerzálního vybavení
- Nižší objemová produkce než u pevné automatizace
- Možnost flexibilního řešení změn a konfigurace na různé druhy produktů
- Vhodné pro hromadnou výrobu ve výrobních dávkách [33] [29] [32]

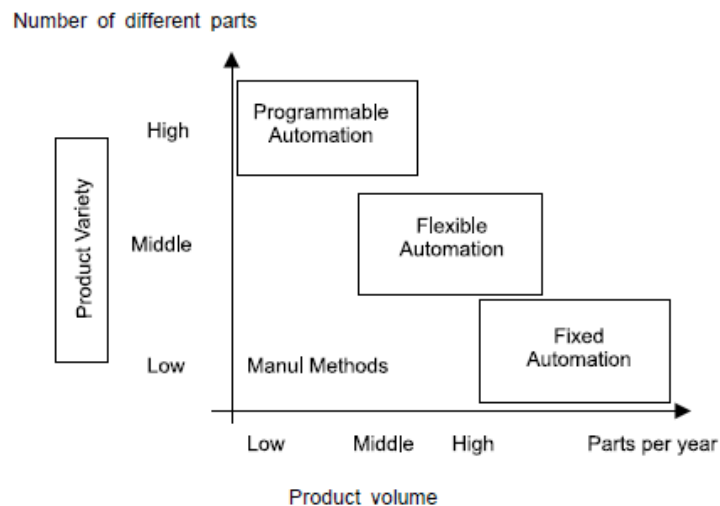
Flexibilní automatizace navazuje na měkkou automatizaci a je tak jejím rozšířením. Flexibilní automatizovaný systém umožňuje výrobu širokého spektra produktů (nebo dílů), aniž by docházelo k časové ztrátě při změně výrobního programu. Při změně programu a změně nastavení fyzických komponent (nástrojů, strojů, příslušenství) tak nenastává ztráta produkčního času. Změna programu a příprava se provádí v off-line režimu a není tak zapotřebí zastavovat výrobní zařízení, na kterém tak může probíhat předchozí výroba. U této automatizace tak není potřeba slučovat produkty do jednotlivých dávek a lze tak vyrábět výrobky jeden po druhém na přání zákazníka. Hlavní vlastnosti flexibilní automatizace jsou:

- Vysoké pořizovací náklady do systémů
- Nepřetržitá produkce variabilních druhů výrobků
- Použití u středního objemu produkce
- Flexibilita a různé varianty

Hlavní rozdíly mezi flexibilní automatizací a měkkou automatizací jsou:

- Možnost změny jednotlivých programů bez ztrát produkčních časů
- Možnost změny fyzických komponent bez ztrát produkčních časů [33] [29] [32]

Celkové porovnání druhů automatizace je vidět na Obrázek 8:



Obrázek 8 Porovnání druhů automatizací [32]

4.1.3 Důvody pro automatizaci

Investování do inovačních projektů v oblasti automatizace výroby a tím nahrazení části výrobního procesu, který je vykonáván lidskou ruční prací, přináší řadu výhod:

1. **Zvýšení produktivity práce** – Proces automatizace výrobních operací zvýší rychlost výroby a tím dojde i k navýšení produktivity. V praxi to znamená, že nastane vyšší pracovní výkon za hodinu práce.
2. **Snížení nákladů na potřebnou pracovní sílu** – při dnešním růstu mzdových nákladů ve společnostech zabývajících se průmyslovou výrobou je otázka snížení nákladů na mzdy pomocí automatizace jistě jedno z velkých témat. Růst mezd se odráží v prodejních cenách vyráběných produktů. Vyšší počáteční investice do automatizace tak může být

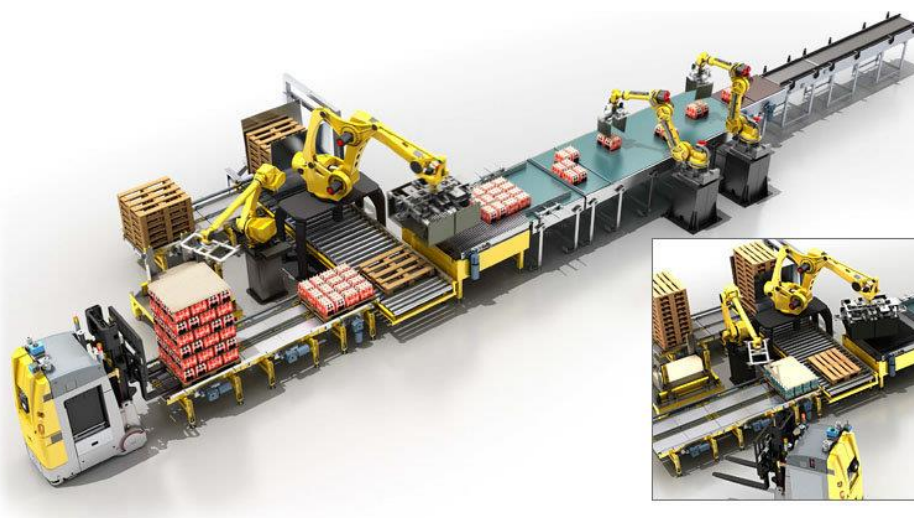
z ekonomického hlediska zcela odůvodněná. Nahrazení lidské práce pomocí strojů ve výsledném vyhodnocení sníží prodejní cenu vyráběných produktů.

3. **Snížení dopadů na absenci pracovní síly** – V ekonomicky a průmyslově vyspělých zemích nastává v posledních letech nouze o zaměstnance, kteří by vykonávali manuální práci na kvalitní úrovni. Rozvoj automatizace však tento nedostatek řeší využitím strojních zařízení.
4. **Snížení a eliminace jednotvárné manuální činnosti** – Při jednotvárné, monotónní a opakující se činnosti nastává u lidských pracovníků rychleji únava, pocit nudy, ale i fyzické a psychické vyčerpání. Automatizace těchto výrobních procesů sníží podíl těchto činností na minimum a zlepší tak úroveň pracovních podmínek.
5. **Zvýšení bezpečnosti na pracovišti** – Automatizace pracovní operace, při které pracovník již nevykonává hlavní činnost, ale pouze dohlíží na správný průběh, snižuje riziko pracovního úrazu a práce se tak stává bezpečnější. Bezpečnost při práci je legislativně uzákoněná pod pojmem bezpečnost a ochrana zdraví při práci (BOZP).
6. **Zvýšení kvality vyráběných produktů** – Zavedením strojní automatizace dochází nejen k vyšší výrobní rychlosti oproti ruční lidské práci, ale i k lepší opakovatelnosti a přesnosti výrobního procesu. Jednou z hlavních výhod automatizace je tak i snížení vadných kusů ve výrobě.
7. **Zkrácení výrobní doby** – Zkrácení času mezi objednávkou od zákazníka a následným dodáním produktu je v dnešní době velmi spojované s konceptem Průmyslu 4.0. Automatizace pomáhá tento čas snižovat a zvyšovat tak konkurenční výhodu automatizovaného podniku. V návaznosti na snížení výrobních časů nastává také snižování rozpracované výroby a skladových zásob.
8. **Provádění mechanizovaných procesů** – U některých výrobních operací je zapotřebí využití strojní pomoci. Tyto operace mají vysoké požadavky na přesnost, kterou nelze zajistit ruční prací. Jedná se o výrobu integrovaných obvodů, procesů rychlého prototypování na modelech počítačové grafiky (CAD), obrábění složitých tvarových ploch atd. Takto složité procesy mohou být úspěšné jen s využitím systémů řízených počítačem.
9. **Zvýšení konkurenční výhody** – Po automatizaci ve výrobních zařízeních vzniká pro společnost velká konkurenční výhoda. Všechny výhody či nevýhody automatizace nelze přesně dopředu předpovídat. Hlavním cílem je však ekonomické zvýhodnění, zvýšená výrobní kvalita, vyšší prodej, rozšíření výrobního portfolia a zvednutí image firmy. [33]

4.2 Automatizovaná výrobní linka

Pojem automatizovaná výrobní linka je nedílnou součástí chytré továrny s propojením konceptu Průmyslu 4.0. V následující podkapitole tak bude popsána výhoda automatické výrobní linky a její využití.

Automatizovaná výrobní linka se skládá z množství pracovních stanic, na kterých se provádí jednotlivé automatické pracovní operace. Tyto stanice jsou propojeny přenosovými systémy, které realizují přesun výrobku. Automatizovaná výrobní linka se využívá především u tvrdé průmyslové automatizace. Výrobní linky jsou naprogramovány na obrovské objemy výrobků a mohou běžet nepřetržitě dlouhou dobu. Jednotlivé výrobní stanice provádí specifickou operaci, na kterou jsou zařízené. Výsledný produkt je konstruován postupně tak, jak prochází celou linkou. Vstupní polotovary vstupuje na jedné straně výrobní linky a na konci vystupuje již hotový produkt. Při standardním provozu je v každé pracovní stanici vyráběná část opracovávaná současně, a tak je hotový výrobek produkován v určitém taktu výrobní linky. Všechny operace, převody, transporty a jiné činnosti probíhající v automatizovaných výrobních linkách musí být dokonale uspořádány a řízeny k docílení maximální efektivity. V moderních automatizovaných linkách je řízení provedeno pomocí programovatelných logických řadičů, které jsou propojené s průmyslovými zařízeními. Programováním těchto řadičů lze upravovat časování i takt k správnému provozu. Automatizované výrobní linky se v dnešní době vyskytují ve velkém množství průmyslových odvětví. Ukázkový případ výskytu automatizovaných linek je zejména v automobilovém průmyslu. [31] [34] Příklad automatizované výrobní linky je na Obrázek 9.



Obrázek 9 Automatizovaná výrobní linka [35]

10 základních prvků automatizované výrobní linky je:

- 1. Řídící jednotka** – „automatizovaný mozek výrobní linky“ – je hlavní rozhodovací součást, která řídí koordinaci operací a procesů. Pomocí předem nastaveného pořadí je ovládáno spouštění a vypínání pohonných jednotek, změny rychlosti motorů atd. Mezi hlavní řídicí jednotky v automatizovaných linkách patří programovatelný logický automat (Programmable Logic Controller – PLC) a průmyslové počítače.
- 2. Robot** – „automatizovaný pracovník linky“ – stroj, kterým lze nahradit lidskou činnost, od jednoduchých operací až po složité pohyby. Roboty a manipulátory jsou v konceptu Průmyslu 4.0 velice používaný člen automatických výrobních linek a bude jejich popisu věnována jedna z dalších kapitol.
- 3. Servomotory** – „síla pohánějící automatizované výrobní linky“ – servomotory řídí a ovládají činnosti mechanických komponent v servosystému. Změna rychlosti posunu či točivého momentu je řízena pomocí přijatých elektrických signálů. Hlavní využívané servomotory jsou Asynchronní servomotory (AC) a synchronní servomotory (DC).
- 4. Senzory a snímače** – „automatizovaná dotyková kontrola“ – detekční a snímací zařízení transformují naměřené informace na elektrický signál a předávají jej do řídicího střediska. Pomocí automatické detekce tak lze docílit plně automatického řízení celé automatizované výrobní linky. V dnešní době je zpracování dat ze senzorů jednou z hlavních otázek konceptu Průmyslu 4.0. Množství dat ze senzorů a zpracování Big data může vést k dosažení optimálního stavu a téměř dokonalé kvalitě výrobků.
- 5. Frekvenční měniče** – „automatizace řízení výkonu“ – frekvenční měnič řídí výkon střídavých motorů pomocí změn frekvence. Frekvenční měnič obsahuje zařízení pro změnu střídavého napětí na stejnosměrné, filtrační, brzdící, pohonné jednotky a detekční jednotky. Toto zařízení dokáže ochránit systém před přetížením, přepětím a regulovat potřebné napětí do motorů tak, že dochází k úsporám elektrické energie.
- 6. Elektromagnetický ventil** – „automatizovaný spínač“ – dalším důležitým prvkem v automatizovaných linkách jsou elektromagneticky řízené ventily. Jsou hlavním prvkem pro řízení toku, rychlosti a dalších parametrů kapalin v oběhu. Nejvíce vyskytující se jsou ventily zpětné, pojistné, směrově regulační a rychlostně regulační.
- 7. Průmyslové kamery** – „automatizace strojového vidění“ – instalace průmyslových kamer a detekce získaných signálů je dalším aspektem k zvládnutí automatizace výrobní linky v konceptu Průmyslu 4.0. Průmyslové kamery nahrazují činnost lidského oka. Sledují prováděné operace a přenášejí zachycená data do systémů pro zpracování

získaného obrazu. Z obrazů jsou extrahována potřebná data pro další řízení či změnu na základě dat z průmyslových kamer. Strojové vidění je dále popsáno v samostatné kapitole

- 8. Senzory fyzikálních veličin** – „automatizace kontroly veličin“ – pro správné fungování celé automatizované linky je důležitá kontrola různých fyzikálních veličin, fyzikálních parametrů, složení materiálů atd. Pro tuto detekci se využívají manometry, délkoměry, mikroskopy atd.
- 9. Automatizační software** – „srdce automatizované linky“ – automatizační systém sbírá, monitoruje a následně vyhodnocuje data získaná během celého výrobního procesu. Systém má vysoké nároky na výpočetní techniku, ale dokáže provádět automatické řízení, kontrolu a plánování různých výrobních procesů. Software dokáže zpracovávat Big data a získávat tak cenné informace pro další automatizaci.
- 10. Ovládací box** – „hlavní ovládací systém automatizace“ – každá automatizovaná výrobní linka musí mít hlavní ovládací skříň, do které jsou zapojeny elektrické přívody a všechny důležité jednotky pro řízení celé linky. [36]

Správná rozhodnutí o automatizaci

Správné rozhodnutí pro nejlepší automatizační strategii je velice složitý krok, který by měl být velice dobře naplánován a zpracován. Implementace tohoto procesu může trvat dlouho dobu a nemusí dojít k naplnění požadovaných obchodních cílů. Úspěch celé automatizace závisí na více faktorech. Výrobní podnik si musí nejprve určit, jaké činnosti chce automatizovat a jakou úroveň automatizace použít. Může se jednat o automatizaci pomocí jednoduchých programovatelných logických ovladačů až po automatizaci pomocí složitých a sofistikovaných robotických zařízení s inteligentními senzory.

Zde jsou základní 3 body správného rozhodnutí o automatizaci:

Automatizační strategie musí být v souladu s obchodní a provozní strategií – cílem automatizace je dosažení čtyř klíčových cílů: zlepšení bezpečnosti pracovníků, snížení nákladů, zlepšení kvality a zvýšení flexibility. Automatizační proces může přinést vylepšení ve všech zmíněných oblastech. Rovnovážný stav všech výhod je však silně závislý na použitých technologických přístupech. Správně zvolená rovnováha pro výrobní podnik závisí na celkové obchodní a provozní strategii.

Problematika automatizace musí mít konkrétně definovaný problém – při rozhodování o zautomatizování nějakého procesu musí být jasně popsány důvody, které zdůrazňují, proč je automatizace daného procesu správným řešením. Zpracovaný projekt musí jednoznačně ukazovat, kde a jakým způsobem může automatizace zlepšit výrobní proces. Takovéto zpracování dokáže ukázat vylepšení, které souvisí s celkovou strategií společnosti.

Automatizace musí prokazovat návratnost investic – ekonomické zhodnocení automatizace je nedílnou součástí každého zpracovávaného projektu automatizace. Automatizace musí dokazovat, v jakém časovém horizontu dojde k návratnosti počátečních investic do zautomatizování výrobního procesu. Správný výběr automatizace dokáže naplnit současné i budoucí potřeby výrobního podniku. [37]

4.3 Průmyslové roboty a manipulátory

Koncept Průmyslu 4.0 je postaven na zavádění a využívání průmyslových robotů a manipulátorů (dále jen „PRM“) pro zavádění automatizace do výrobních zařízení. V této kapitole bude probrána tematika průmyslových robotů a manipulátorů a jejich využití pro průmyslové aplikace. Zde jsou vypsány některé definice slova robot:

Robot – „*Stroj řízený prostřednictvím počítače, který slouží k automatickému provádění úloh.*“ [38]

Robot – „*Jakýkoliv automaticky ovládaný stroj, který nahrazuje lidské úsilí, i když se nemusí podobat lidským bytostem ve vzhledu ani provádět vykonávané funkce lidským způsobem.*“ [39]

Robot – „*Je stroj pracující s určitou mírou samostatnosti, vykonávající určené úkoly, a to předepsaným způsobem a při různých mírách potřeby interakce s okolním světem a se zadavatelem.*“ [8]

4.3.1 Historie robotiky

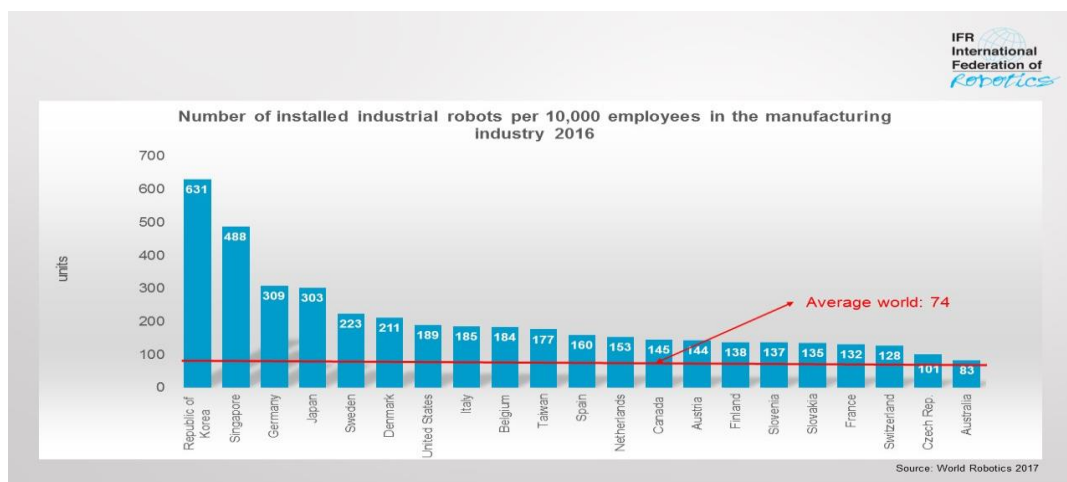
Robotika je považována za jeden z nemladších oborů. Pojem robot se objevil poprvé roku 1920 ve hře R.U.R. od spisovatele Karla Čapka. V roce 1927 byl na světové výstavě v New Yorku představen robot označovaný „Televox“. Rok poté byl na výstavě v Londýně vystaven mluvící robot „Erik“. Ve stejném roce se představil robot vybavený elektropohonem a mechanismy, které

mu umožnily jednoduché pohyby. Mezi léty 1920 až 1945 se pojem robot dostal do širšího povědomí. Hlavní rozvoj robotiky a průmyslových robotů probíhal ve druhé polovině 20. století. Zlom nastal v roce 1956, kdy inženýři Joseph Engelberger a Georg Devol spojili své síly a roku 1959 představili robota pod názvem Unimate 001 (viz Obrázek 10). [40]



Obrázek 10 Robot Unimate 001 [41]

O dva roky později byl již tento robot použit k nahrazení lidské činnosti v továrně General Motors. Robot byl využíván k obsluze lití, jednoduchého transportu a uskladnění odlitých výrobků. Po tomto úspěšném zařazení robota do průmyslové výroby stoupl zájem o robotiku. Největší rozmach nastal v automobilovém průmyslu. S nástupem nových technologií, které využívaly mikropočítače a nové programovací jazyky, rostlo uplatnění a využití průmyslových robotů skrz různá průmyslová odvětví [40]. V roce 2016 byl průměrný počet instalovaných robotů ve světě 74 na 10 000 zaměstnanců (viz Obrázek 11).



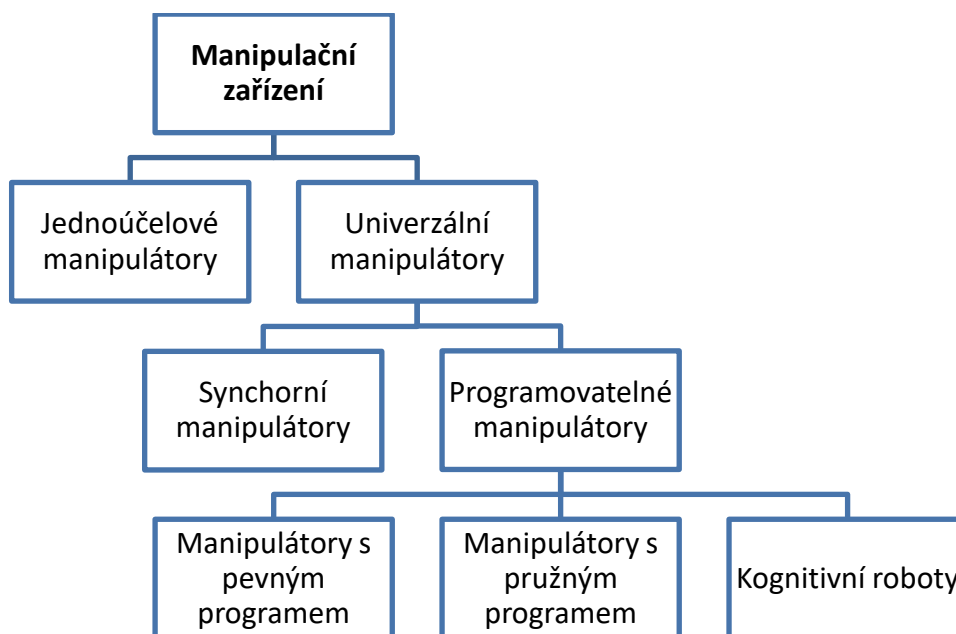
Obrázek 11 Počet robotů na 10 000 zaměstnanců [42]

Rozšíření a vývoj robotů je v celosvětovém měřítku jedním z nejrychleji se rozvíjejícím vědecko-technickým směrem. Hlavním cílem robotizace je nahrazení manuálních zásahů člověka a jeho fyzické účasti ve všech možných technologických operacích ve výrobním procesu. S rostoucími požadavky na zvýšení produkce a kvality výrobků tak roste i zájem o automatizaci výrobních procesů. Prvotním cílem automatizace je nahrazení lidské práce u monotónních operací, či práce v nebezpečném a škodlivém prostředí. Při automatizaci pomocí robotů je důležité i ekonomické zhodnocení celého procesu. Počáteční investice mohou být vysoké, ale při zvýšené kvalitě produkce a osvobození od mzdových nákladů na lidského pracovníka může dojít k rychlé návratnosti investice. [29] [43]

Hlavní výhody zavedení PRM jsou: odstranění namáhavé práce člověka, odstranění monotónní práce člověka, odstranění nebezpečné práce člověka, nárůst rychlosti výroby, nárůst přesnosti výroby či nárůst výkonu produkce. [44]

4.3.2 Rozdělení průmyslových robotů a zařízení

Pro využití robotů a manipulátorů je dobré vědět, k jakým účelům jsou jednotlivé manipulátory vhodné. Základní rozdělení PRM je na Obrázek 12:



Obrázek 12 Rozdělení PRM [44]

Jednoúčelový manipulátor bývá instalován jako součást výrobního stroje. Pohon manipulátoru je odvozen od pohybu pohonného mechanismu stroje. Vyznačuje se menšími

pohybovými rozsahy a menšími manipulačními možnostmi. Hlavními zástupci těchto manipulátorů jsou vestavěné podavače určené pro manipulaci s jedním předmětem. [43] [44]

Univerzální manipulátor má větší rozsahy manipulace. Jeho samotná konstrukce, řízení i pohon nezávisí na typu obsluhovaného stroje nebo manipulované součásti. Pomocí větších rozsahů dílčích pohybů a přesnosti polohování může jeden manipulátor obstarávat i více pracovišť. [43] [44]

Synchronní manipulátor může být též označován jako tele-operátor. Řízení tohoto manipulátoru je realizováno pomocí řídicího operátora, který skrz vysílané signály ovládá jednotlivé pohyby. Operátor s manipulátorem vytváří uzavřenou smyčku. Manipulační zařízení může být samostatně oddělené v rizikovém prostředí pro člověka nebo může být umístěno přímo na tělo operátora. [43] [44]

Programovatelné manipulátory

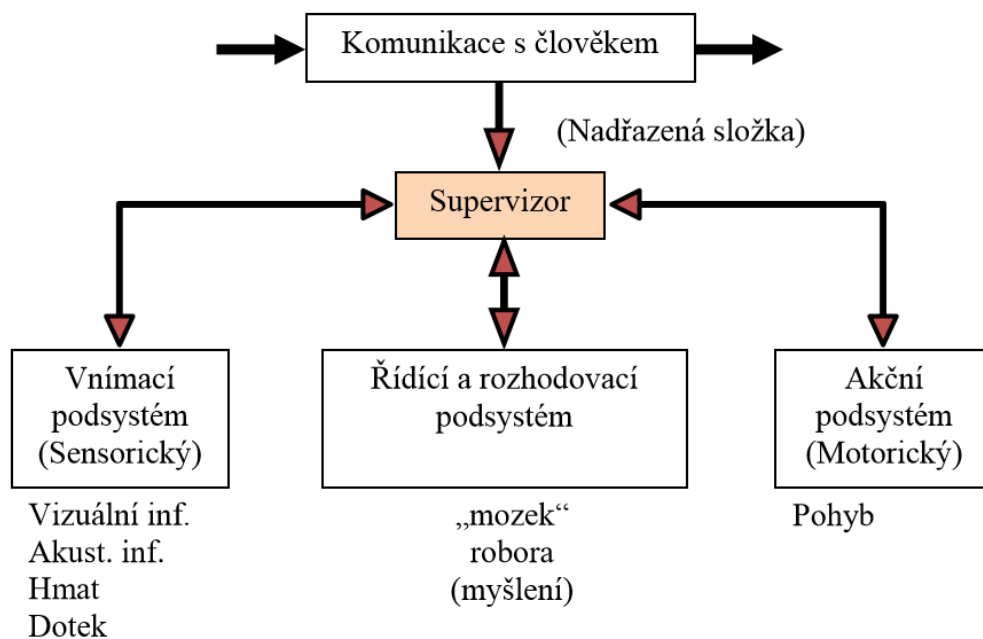
Manipulátor s pevným programem je robot první generace, který má již automatický řídicí systém, který je však nastavený na jeden stálý program a jeho změna je složitá. Manipulátory těchto typů jsou využívány pro jednoduché operace typu „pick and place“. [44] [43]

Manipulátor s pružným programem je představitelem druhé generace robotů. Tyto roboty již umožňují změnu nebo volbu konkrétního programu, většinou v závislosti na okamžité poloze manipulátoru. Obsahují již také vnímací systém, který umožňuje určitou samostatnost v chování. Konstrukční provedení bývá modulové a může se skládat z těchto jednotek: přímočaré jednotky, rotační jednotky, řídicí jednotky a rozvody. [44] [43]

Kognitivní robot reprezentuje třetí a nejspělejší generaci průmyslových robotů. Od manipulátorů se již liší úroveň řízení. Kognitivní robot dokáže na základě aktuálních dat ze snímačů nahraný program automaticky upravit. Od lidského operátora je zadán požadovaný cíl a kognitivní robot si sám vytvoří plán, jak tohoto cíle dosáhnout. Kognitivní systémy jsou nejspělejší a představují nejvyšší vývoj v manipulačních zařízeních. Umělá inteligence v řídicím systému má především tyto úkoly: nalezení optimálních variant, poučení se ze zkušeností, nalézání znaků a míry podobnosti, adaptivnost, přizpůsobení, schopnost učit se, řízení paralelních procesů, predikce atd. [29] Na Obrázek 13 je vidět integrovaný kybernetický systém kognitivního robota.

Kognitivní robot dokáže vykonávat následující operace:

1. Vnímat a rozpoznávat pracovní prostředí.
2. Vytvářet a průběžně rozpoznávat vnitřní modelu prostředí.
3. Na základě získaných informací rozhodovat v souladu se zadaným cílem o vlastní činnosti.
4. Působit na prostředí – manipulovat s předměty a pohybovat se v pracovním prostoru.
5. Vést komunikaci s lidským operátorem.



Obrázek 13 Integrovaný kybernetický systém robota [44]

Konativní robot je představitelem budoucí generace robotů. V dnešní době nejsou prozatím konativní roboty využívány a jsou tak spíše vizí budoucnosti v dalším vývoji. Vize konativních robotů směřuje k vývoji sociálního chování, kdy se robotovo chování bude blížit chování lidskému. Odpadne tak fáze zadávání cíle robotovi, neboť to si již sám vyhodnotí a naplánuje, co je pro daný pracovní proces zapotřebí vykonat. Řízení vlastní práce robota a plánování pracovního procesu splynou v jedno. Užití a vývoj konativních robotů předpokládá vysokou integraci technologických i netechnologických procesů. [29]

Hlavní pracovní činnosti, které jsou vykonávány pomocí manipulátorů, lze rozdělit do tří skupin:

1. **Manipulační činnost** – přemísťování a manipulace s výrobkem.
2. **Výrobně-technologická** – vykonávání technologických operací, které jinak provádí klasické výrobní zařízení (např. svařování, stříkání, měření atd.).
3. **Manipulačně-technologická** – manipulační část robota je dovybavena nástrojem, který je při manipulaci s výrobkem schopen provést určitý typ technologické operace. [43]

4.3.3 Aspekty pro posuzování robotů

Výběr správného druhu robotických manipulátorů je jedním z nejdůležitějších kroků při implementaci průmyslových robotů do výrobního procesu. Proto je zapotřebí posoudit různé aspekty, které pomohou zvolit ten správný model robota, který bude splňovat požadavky. Aspekty pro posuzování robotů jsou:

- | | |
|----------------------------------|---------------------------------------|
| - Morfologie | - Způsob pohonu |
| - Počet stupňů volnosti | - Druh servopohonu |
| - Vlastní velikost a hmotnost | - Způsob odměřování |
| - Velikost obsluhovaného břemene | - Způsob a rozsah vnímání |
| - Hmotnost břemene | - Způsob řízení a komunikace s okolím |
| - Dosahovaná přesnost | |
| - Rychlost pohybů | - Autonomnost robota [44] |

4.3.4 Kinematická stavba PRM

Kinematická stavba robotů a manipulátorů je složena z akčního systému, který je pohybovým mechanismem robota. Kinematická struktura robotů se skládá z vázaných kinematických dvojic. Každá kinematická dvojice má obvykle 1° volnosti. Pohybový mechanismus se pak skládá z více kinematických dvojic, které určí celkový počet stupňů volnosti robota. Nejčastěji používaný kinematický řetězec je řetězec se 6° volnosti. Základní kinematické dvojice jsou:

- Posuvné kinematické dvojice (translační – T)
- Otočné kinematické dvojice (rotační – R) [44]

Provedení a druhy kinematických dvojic jsou schematicky zobrazeny v Tabulka 1

Tabulka 1 Kinematické dvojice robotů [44]

Kinematické dvojice robotů		
	Typ	Schéma
Kinematické dvojice translační	Suportové provedení	
	Smykadlové provedení	
	Výsuvné provedení	
Kinematické dvojice rotační	Rotační – bez omezení úhlu otáčení s ramenem r	
	Rotační – bez omezení úhlu otáčení kolem vlastní osy	
	Rotační – s omezeným úhlem otáčení (kývání)	

Pracovní a operační prostor PRM

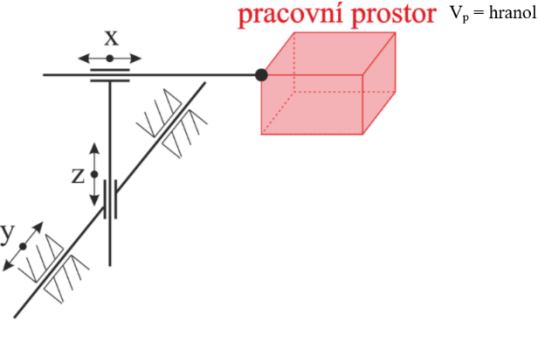
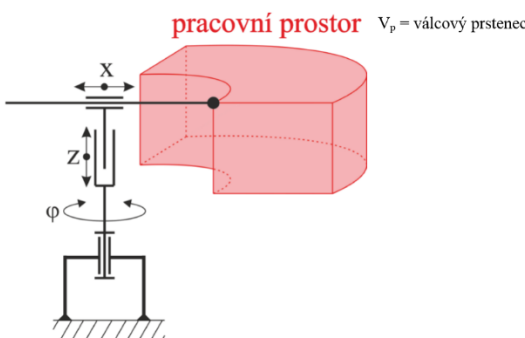
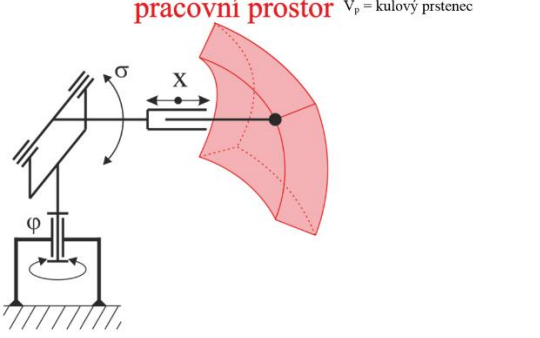
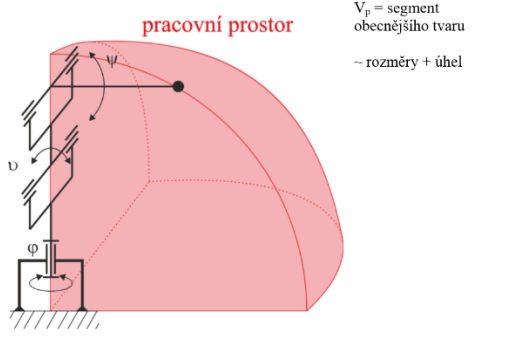
Důležitým faktorem při výběru průmyslových robotů je dosažitelný pracovní a operační prostor průmyslového robota.

Pracovní prostor = prostor, ve kterém se pohybuje koncový bod výstupu robota. Jedná se o prostor, který je schopen robot dosáhnout při využití všech možných kombinací pohyblivých částí konstrukce. [44]

Operační prostor = prostor, který vyplňuje statická i pohyblivá část konstrukce robota v celém pracovním prostoru. [44]

Souřadnicové systémy PRM používané u průmyslových robotů se většinou tvoří třemi základními složkami. Přehled základních souřadnicových systémů je na následujících obrázcích v Tabulka 2.

Tabulka 2 Souřadnicové systémy PRM [44]

<p>Pravoúhlý (kartézský) souřadnicový systém – TYP K</p> <p>pracovní prostor $V_p = \text{hranol}$</p> 	<p>Válcový (cylindrický) souřadnicový systém – TYP C</p> <p>pracovní prostor $V_p = \text{válcový prstavec}$</p> 
<p>Sférický souřadnicový systém – TYP S</p> <p>pracovní prostor $V_p = \text{kulový prstavec}$</p> 	<p>Angulární souřadnicový systém – TYP A</p> <p>pracovní prostor $V_p = \text{segment obecnějšího tvaru}$ ~ rozměry + úhel</p> 

Pracovní hlavice PRM

Důležitou součástí PRM jsou pracovní hlavice. Pracovní hlavice jsou výstupní jednotkou pohybového systému PRM. Určují použití robota a jeho možnosti. Rozdělení pracovních hlavice je následující:

1. Podle aplikace:

- Vkládání a vyjímání objektů
- Mezioperační manipulace
- Technologické operace
- Kontrolní operace

2. Podle typu operací:

- Úchopné hlavice
- Technologické hlavice
- Kontrolní a měřicí hlavice
- Kombinované hlavice
- Speciální hlavice [44]

Závěr

V kapitole 4 je zpracována problematika automatizace výrobních procesů. V úvodní části se kapitola zabývá samostatným pojmem automatizace a jejího rozdělení. Způsoby a možnosti automatizace budou využity v praktické části této práce, jelikož praktická část bude řešit problematiku automatizace stávajícího výrobního procesu, který provádí pouze lidští pracovníci. V praktické části budou získané poznatky využity pro zpracování a návrh automatizované linky na kontrolu kvality komínových vložek ve výrobním závodě P-D Refractories CZ a.s. Z této kapitoly budou použity také získané znalosti o možnostech automatizace ve výrobních linkách a automatizace pomocí průmyslových robotů a manipulátorů. V praktické části bude použití PRM jedním z klíčových faktorů, který bude za pomoci správných koncových efektorů nahrazovat monotónní lidskou činnost při přendávání a paletizaci komínových vložek.

5 Automatizace procesu kontroly kvality

V této kapitole bude zpracována problematika automatizace procesu kontroly kvality. V úvodu bude definován pojem kvalita a také to, co kvalitu definuje. Kvalita bude v podkapitole rozdělena do tří základních oficiálních koncepcí, u kterých bude popsáno využití. V dalších podkapitolách budou popsány možnosti automatické kontroly kvality za využití nejmodernějších zařízení. Popsané typy kontroly kvality budou využity v praktické části diplomové práce, která bude řešit automatizaci procesu kontroly komínových vložek. Hlavní kontrolní operace řešené v praktické části jsou kontrola vnitřních vad, kontrola povrchových vad a rozměrová kontrola.

5.1 Kvalita

Kvalita je pojem, který lze definovat mnoha způsoby. První z definic kvality se objevila již několik století před naším letopočtem a byla pronesena antickým filozofem Platónem. Pohledy na to, co je kvalita, se vyvíjely společně s vývojem lidské civilizace. Zde jsou vypsány čtyři výroky o kvalitě:

- „Kvalita je shoda s požadavky.“ (Crosby)
- „Kvalita je způsobilost k užití.“ (Juran)
- „Kvalita je to, co za ni považuje zákazník.“ (Feigenbaum)
- „Kvalita je minimum ztrát, které výrobek od okamžiku své expedice dále společnosti způsobí.“ (Taguchi)

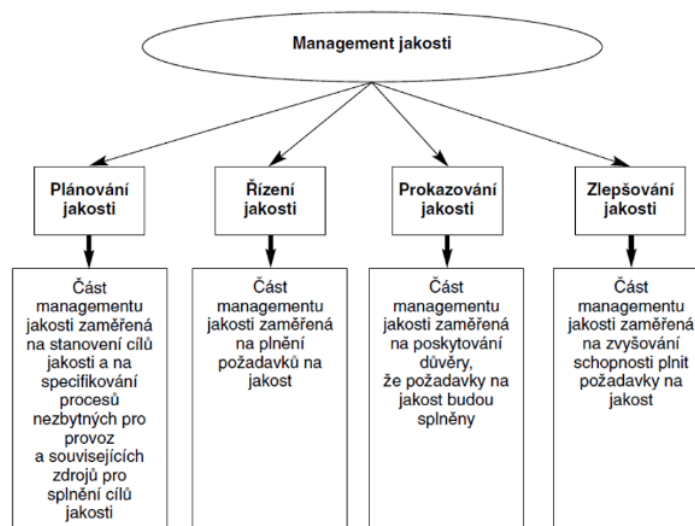
Z těchto čtyř definic je patrné, jak se názory na kvalitu liší. Podle celosvětové platnosti norem ISO, která poprvé přinesla oficiální definici kvality, současná verze normy ČSN EN ISO 9000:2016 popisuje definici kvality následovně: „kvalita je stupeň splnění požadavků souborem inherentních charakteristik objektu“ [45]. Kvalita je tedy velice široký pojem, který popisuje komplexní vlastnost výrobku, materiálu, služby, procesu, systémů, ale i lidí. Výraz jakost je považována za synonymum ke slovu kvalita a lze tak používat k hodnocení a rozlišování produktů.

Základní znaky kvalitního výrobku jsou cena, hospodárnost, trvanlivost, bezpečnost, snadná obsluha, jednoduchost výroby, snadná likvidace a vzhled [46].

5.1.1 Management kvality a jeho systémy

Kvalita je v současné době jedním z klíčových faktorů, které mohou vést k dlouhodobému úspěchu organizací všech druhů i velikostí. Kvalita však nezahrnuje jen samotný produkt. Jde o celý řetězec vstupujících procesů a činností, které musí být kvalitně řízeny. Tyto systémy můžeme popsat jako systémy managementu kvality. Definici pojmu management kvality sepsal roku 1993 Masao Umeda, prezident společnosti Nishishiba Electric Co Ltd. Definice má toto znění: „management kvality je tou částí podnikového řízení, která má garantovat maximální spokojenost a loajalitu zákazníků tím nejefektivnějším způsobem“ [47].

Podle normy ČSN EN ISO 9000:2016 je management kvality definován takto: „jde o koordinované činnosti pro vedení a řízení organizace, pokud se týkají kvality“ [45]. Tyto činnosti lze rozdělit do čtyř skupin (viz. Obrázek 14).



Obrázek 14 Rozdělení managementu kvality [48]

5.1.2 Koncepte a modely managementu kvality

Při neustálém vývoji a snaze převést základní principy managementu kvality do každodenní praxe se ustanovily tři základní koncepte managementu kvality, které popisují a charakterizují různé strategické možnosti v rozvoji a budování systémů managementu kvality. Tři základní koncepte jsou:

- Koncepte ISO
- Koncepte TQM
- Koncepte odvětvových standardů [46]

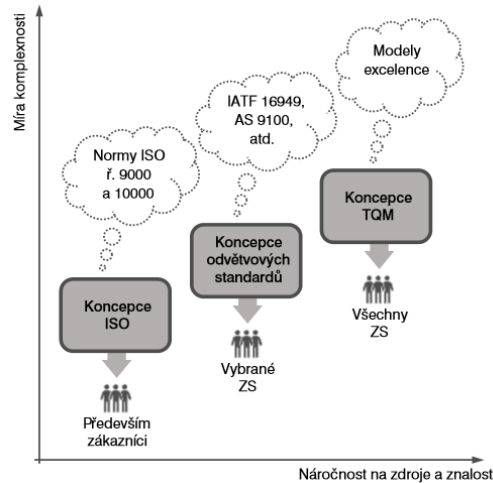
Koncepce ISO je nejméně náročná a ve světě nejrozšířenější. Koncepce norem zabývajících se požadavky na systém management kvality vyšla roku 1987. ISO normy mají universální charakter a lze je tak využívat ve všech výrobních provozech. Normy známé pod označením ISO ř. 9000 jsou převedeny do systému evropských i českých norem (ČSN):

- ČSN EN ISO 9000:2016 – Systémy managementu kvality – Základy a slovník
- ČSN EN ISO 9001:2016 – Systémy managementu kvality – Požadavky
- ČSN EN ISO 9004:2009 – Řízení organizací k udržitelnému úspěchu – přístup managementu kvality
- ČSN EN ISO 19011:2012 – Systémy managementu – Směrnice pro auditování systémů managementu [46]

Koncepce TQM (Total Quality Management) se zrodila v druhé polovině 20. století v Japonsku, následně došlo k rozšíření do USA a Evropy. Jde o nejkompexnější metodu, jelikož není založena na dopředu definovaných požadavcích, ale kvalita záleží na všech vstupech do procesu a týká se všeho, co se v podnicích odehrává. Dnes je již TQM celosvětově rozšířený pojem a pomáhá k určení úrovně organizací. Model TQM popisuje osm základních směrů, kterými by se firma měla dále vyvíjet:

- | | |
|-----------------------------------|---|
| - Zaměření na zákazníka | - Neustálé zlepšování |
| - Vedení a řízení zaměstnanců | - Přístup k rozhodování zakládající se na faktech |
| - Zapojení zaměstnanců | - Vzájemně prospěšné dodavatelské |
| - Procesní přístup | - vztahy [46] |
| - Systémový přístup v managementu | |

Koncept odvětvových standardů je vytvořen tím způsobem, aby popisoval charakter a zvláštnosti jednotlivých odvětví. Koncept vychází z požadavků normy ISO 9001, ale přidává k ní mnohé specifické požadavky v různých odvětvích. I z tohoto důvodu je koncept odvětvových standardů složitější než samostatný koncept ISO [48] [46]. Porovnání všech tří konceptů je na Obrázek 15.



Obrázek 15 Porovnání tří typů koncepce kvality [46]

5.2 Kontrola kvality

V této kapitole jsou popsány možnosti kontroly kvality. Kontrola kvality je jednou z nejdůležitějších částí výroby, která má za cíl produkovat bezchybné výrobky. V konceptu Průmyslu 4.0 je otázka implementace automatické kontroly do výroby, sběru dat, vyhodnocení a následné úpravy parametrů výroby jedním z klíčových aspektů úspěšného fungování. Všechny kvalitní analýzy pomocí Big Data mohou způsobit velké usnadnění při rozhodování řízení a plánování výroby. Znalosti z této kapitoly budou využity při tvorbě praktické části, která se zabývá automatizací kontrolních operací ve výrobním podniku.

5.2.1 Technická kontrola kvality

Technická kontrola kvality může být popsána jako vyhodnocení podobnosti daného kontrolovaného objektu s předepsanými podmínkami určených zákazníkem, normou, výrobním postupem atd. Celý proces technické kontroly je důležitou částí celého procesu managementu jakosti při tvorbě produktu. Při vytváření procesu technické kontroly jsou vytyčeny tyto cíle:

- Objevení neshod v kontrolovaných produktech a zamezení dalších operací s neshodným produktem
- Kontrola a monitorování splnění technologických podmínek výroby
- Identifikace produktů, které nesplňují požadavky
- Vedení záznamů získaných z technické kontroly pro další zpracování a odhalení možných důvodů vedoucích k vzniku vad

Technická kontrola vede k odstranění výrobků, u kterých nejsou splněny předepsané požadavky. Rozsah technické kontroly, využití kontrolní způsoby a další vlastnosti jsou především závislé na komplikovanosti výrobních procesů, předepsané přesnosti a požadavcích na shodu s normami [49]. Rozdělení technické kontroly je v Tabulka 3

Tabulka 3 Rozdělení technické kontroly [49]

Hledisko členění technické kontroly	Druh technické kontroly
Začlenění do procesů realizace produktu	Kontrola – vstupní, operační, výstupní
Objekt kontroly	Kontrola – materiálů, rozpracovaných produktů, hotových produktů, nářadí, náhradních dílů, pomocného materiálu, dokumentace
Rozsah kontroly	Kontrola – stoprocentní, výběrová, namátková
Kontrolovaný znak	Kontrola – měřením, srovnáváním
Rozsah automatizace	Kontrola – ruční, mechanizovaná, automatizovaná
Odpovědnost za kontrolu	Kontrola – zaměstnancem oddělení technické kontroly (OTK), obsluhou pracoviště (samokontrola)
Vliv na další průběh procesu	Kontrola – aktivní, pasivní

Důležitou vlastností technické kontroly je míra ovlivnitelnosti průběhu procesu na základě získaných výsledků. V případě aktivní kontroly je možné ze získaných dat okamžitě změnit výrobní proces a získat tak kvalitnější produkt. Pasivní kontrola je kontrola, která není provedena ihned po skončení výrobního procesu. Kontrola prováděná obsluhou, která se přímo podílí na výrobě, je označovaná jako tzv. samokontrola. Samokontrola ve výrobě přináší tyto výhody:

- Zapojení zaměstnanců do problematiky dodržování kvality
- Umožnění okamžité zpětné vazby do výrobního procesu
- Snížení nákladů na zaměstnance technické kontroly [49]

5.2.2 Automatická kontrola

Tato podkapitola se bude zabývat pojmem automatické kontroly ve výrobních procesech. Zavedení prvků automatické kontroly přináší velké možnosti v rozvoji, vylepšení nebo změnách výrobních postupů. Nasazením inteligentních senzorů a technologicky vyspělých zařízení jako jsou průmyslové kamery, inteligentní snímače, ultrazvukové snímače, rentgenové snímače či

robotické zařízení lze zvýšit kvalitu výrobního procesu a pomocí sběru dat ze všech prvků vstupujících do procesu je tak možné pružně upravovat výrobní podmínky a docílit navýšení kvality. Koncept Průmyslu 4.0 popisuje automatickou kontrolu, sběr dat a vyhodnocení jako jeden z nejdůležitějších prvků k dosažení absolutní kontroly nad výrobou a dosažení prvků „smart factory“.

5.2.3 Strojové vidění

Vývoj zpracování obrazu nastal již v sedmdesátých letech, kdy došlo k rozvoji počítačových systémů a výpočetní technika dokázala pracovat s velkými objemy dat, které přenáší obrazovou informaci. Rychlý rozvoj nových technologií vedl k vzniku nového oboru, který se nazýval počítačové vidění (computer vision). Tento pojem popisuje všechny systémy, které pracují na informacích získaných z obrazového přenosu kamerových systémů. V dnešní době je pro využití počítačového vidění v průmyslové výrobě využíván spíše termín strojové vidění (machine vision). Strojové vidění je nyní úzce propojeno s průmyslovou automatizací a automatickou kontrolou ve výrobě. [50] [51]

Získání, zpracování a následné vyhodnocení pomocí strojového vidění přináší průmyslovým podnikům řadu výhod od snížení zmetkovitosti ve výrobě, vyšší produktivity, optimalizace toku materiálu a sníženého počtu reklamací ze stran zákazníka až po možnosti rozpoznání chyb ve výrobních procesech. V porovnání s lidským operátorem může strojové vidění fungovat 24 hodin 7 dní v týdnu po celý rok. Další výhodou oproti lidské kontrole je stále stejná pozornost na odváděnou práci a možnost zachytit i ty nejmenší chyby se stále stejnou přesností a opakovatelností. Výsledky zpracovaných dat slouží jako vstupní informace pro automatizované rozhodování strojů nebo informačních systémů. Možností využití strojového vidění je široké spektrum. Může být využito ke kontrole kompletnosti výrobků vycházejících z automatické výrobní linky, k navádění robotických zařízení, k bezkontaktnímu měření přesnosti rozměrů či kontrole správnosti barev a tvarů. Systémy průmyslového vidění mají požadavky na robustnost, spolehlivost a stabilitu. Systém strojového vidění funguje na principu digitálních senzorů, které jsou ukryté v průmyslových kamerách. Tyto kamery získají potřebná obrazová data, která jsou pomocí počítačových hardware a software systémů dále zpracovány, analyzovány a použity pro budoucí rozhodování. [52] [53] [54]

System strojového vidění, který je součástí automatického výrobního procesu, zahrnuje tyto části:

- Jedna nebo více průmyslových digitálních kamer s kvalitní optikou pro pořizování snímků
- Senzor, který detekuje součást (optický nebo magnetický) a předá informaci k získávání a zpracování obrazu
- Počítačový program sloužící k zpracování získaných obrazů, detekci, měření a porovnání.
- Hardware pro vstup a výstup.

Inteligentní kamery dokážou tyto funkce zpracovávat pomocí jedné jednotky a umožňují tak samostatné řešení pro strojové vidění. [55]

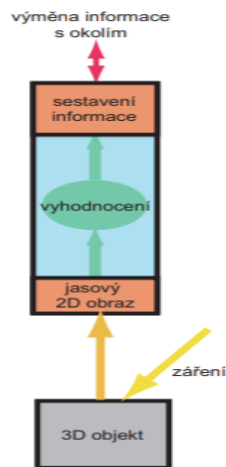
5.2.4 Průmyslová inovace strojovým viděním

I přes to, že výskyt systémů počítačového a strojového vidění se objevuje již od poloviny sedmdesátých let minulého století, největší rozmach tato technologie v průmyslové výrobě zaznamenala až v prvním desetiletí století jednadvacátého. Rozvoj strojového vidění nastal se změnou marketingových strategií výrobních společností. Na přelomu dvacátého a jednadvacátého století dochází u mnoha firem k maximální orientaci na kvalitu a splnění zákaznických požadavků. Hlavním představitel tohoto rozvoje je automobilový průmysl. Pro všechny průmyslové podniky a subdodavatele platí dvě základní marketingové strategie: snižování nákladů a zvyšování kvality. Dodavatelé výrobních podniků tak museli v té době investovat do technických zařízení, která by jim dokázala bezchybně kontrolovat celou produkci. Zvýšená poptávka tak přivedla na trh dostatečně kvalitní čipy pro snímání obrazu. Díky nízké ceně a komerčnímu využití došlo k velkému rozšíření v digitálním světě. Pomocí procesorů nové generace a těchto čipů dostalo strojové vidění hlavní impuls k rozvoji podpořenému kvalitními technickými prostředky. [50]

5.2.5 Princip strojového vidění

Princip strojového vidění lze přiřadit k principům podobným člověku. Tak jak funguje lidské oko, tak i kamera dokáže zaznamenat zkoumaný objekt. Systémy zpracují obraz, za použití předem napsaného algoritmu vyhodnotí obraz a na základě získaných informací provedou

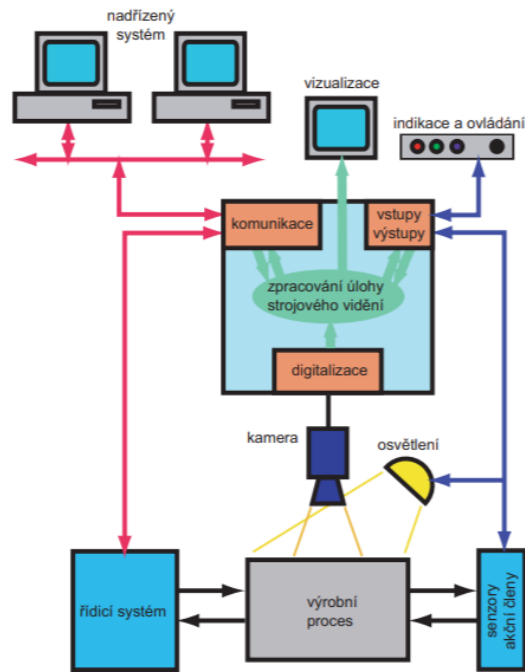
potřebný zásah do systému. [50] Nejjednodušší pohled na strojové vidění je znázorněn na Obrázek 16.



Obrázek 16 Strojové vidění – zjednodušeně [50]

Snímaný 3D objekt ozařovaný zdrojem záření odráží tento paprsek tak, aby bylo možné z odrazu vytvořit 2D obraz. Základním požadavkem je přenos informace, která je na objektu zkoumaná.

Složitější pohled na strojové vidění je na Obrázek 17. Zde je vidět proces přenosu vytvořeného obrazu na měřitelnou hodnotu tak, aby bylo možné identifikovat potřebná data ze sledovaného objektu. Sledovaný objekt je zapotřebí dostatečně osvětlit viditelným světlem z osvětlovače. Dvojměrný obraz vzniká za pomoci kamery a snímacího objektivu. Nejlepším zpracováním veličin, přenášející informaci v datech, je získání digitálního obrazu. Pro práci s daty je zapotřebí převedení analogových dat do digitálního tvaru. Digitální informace jsou pak vybranými algoritmy zpracovány v počítači tak, aby z nich bylo možné získat požadované informace o objektu. Získaná informace je potom dále zpracována a předává se pomocí digitálních výstupů nebo digitálního komunikačního rozhraní do okolí. Komunikační rozhraní bývá většinou spojeno se zařízením, ve kterém je možné nastavovat systémové změny a označuje se MMI (Man-Machine-Interface). MMI je většinou počítač, který obsahuje i monitor pro nepřetržitou vizualizaci pozorovaného předmětu. Výměna informací s okolím je u strojového vidění základem k zpětnovazebnímu řízení celého výrobního procesu. Systém, který získává během procesu množství důležitých dat, umožňuje vykonávat akční zásahy do výrobního procesu jako je identifikace nebo odstranění zmetkového kusu. Akční zásahy mohou být prováděny přímo digitálními výstupy systému strojového vidění, nebo dochází k předání informace do systému řízení, který akční zásah provede. [50]



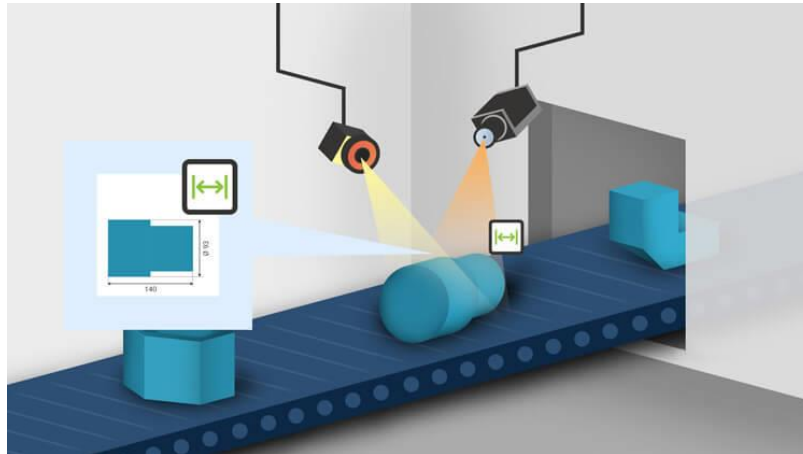
Obrázek 17 Schéma strojového vidění [50]

5.2.6 Využití strojového vidění

Strojové vidění lze použít pro mnoho různých účelů, ty nejdůležitější z nich budou představeny v této podkapitole.

Kontrola rozměrů: Využití kamerových systémů pro bezkontaktní měření rozměrů je možné využít téměř v každém druhu průmyslové výroby. Za účelem zachování vysoké kvality a nízkých provozních nákladů je automatická kontrola celé produkce klíčovým faktorem. Jedním z nejdůležitějších parametrů je dodržení rozměrových tolerancí výrobku. Bezdotykové měření umožňuje měřit velké objemy součástek i jednotlivé kusy. Využití nastává v průmyslových zařízeních, ve kterých je kladen důraz na přesnost a kvalitu výroby, ale nelze v nich využít dotykové metody. Strojové vidění má své využití i v automatických výrobních linkách, kde dochází k průběžné kontrole výrobku postupně procházejícím operacemi. Obrázek 18 zobrazuje kontrolu rozměrů na automatické pásové lince. Použití kamerových systémů pro kontrolu má tyto výhody:

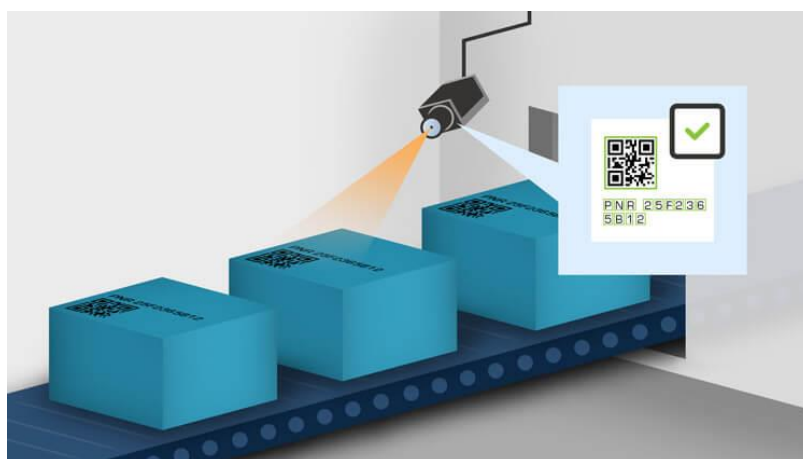
- Každý rozměr, který lze vidět může být kontrolován
- V jedné operaci je možné zkontrolovat více rozměrů
- Během měření lze kontrolovat i jiné kontrolní operace než jen rozměrové
- Měření je možné využít pro různé druhy součástí [56] [57]



Obrázek 18 Kontrola rozměrů strojovým viděním [58]

Kontrola robotických pracovišť: Optická kontrola robotických pracovišť umožňuje pružnou změnu předem naprogramovaného programu robota. Systém strojového vidění identifikuje přesné umístění objektu, předá informaci do robota a ten provede změnu programu. Tato možnost zrychluje proces a zvětšuje flexibilitu díky získávání dat a zpětné vazbě ze systémů strojového vidění, především v procesech „pick and place“ [56] [59]

Identifikace výrobků: Identifikace výrobku pomocí čárového nebo matrix kódu je velice rozšířená aplikace strojového vidění. Kamera strojového vidění umožňuje identifikaci kódu bez ohledu na jeho velikost, kvalitu, natočení či povrchu, na kterém je kód nanesen. Identifikační systémy umožňují in-line kontrolu výroby, čitelnosti kódu či ověření kódu s normami [57]. Na Obrázek 19 lze vidět identifikaci výrobků pomocí kamery strojového vidění.



Obrázek 19 Identifikace výrobků [58]

Kontrola povrchových vad: Další možností využití strojového vidění je pro kontrolu povrchu a povrchových vad. Při kontrole kamerovým systémem je možné odhalit mechanická

nebo jiná povrchová poškození výrobku, jako jsou škrábance, trhliny, díry, bubliny a nečistoty s přesností až 0,01 mm. Kontrolovat lze všechny možné materiály a lze také zajistit kontrolu ze všech stran (360° kontrola). Optická kontrola povrchu je důležitým prvkem automatizovaných kontrolních linek. Jelikož optická kontrola a vyhodnocení je otázkou krátkého času, je možné kontrolovat velké objemy výrobků při vysokém taktu automatické linky. [57] [60]

Další aplikace strojového vidění

- Měření rovinnosti – možnost měření rovinnosti vyráběného produktu. Možnost kontroly odchylky od předepsané normy.
- Kontrola opracování – možnost kontroly předepsaného opracování dílu.
- Rozpoznávání dílů před kompletací – možnost kontroly a identifikace správných dílů na automatických kompletačních linkách
- Kompletace výrobků – možnost kontroly a zajištění správné kompletace produktu
- Balení, úplnost kompletace a počítání kusů – možnost kontroly správného počtu v balení, množství tekutiny nebo správnost obalu
- Barevné rozlišení – možnost rozlišování barevnosti a kontrola správných barev
- Rozpoznávání aut dle RZ – možnost automatického čtení registračních značek automobilů
- Rozpoznávání textu – možnost identifikace tištěných informací na štítcích výrobků [53] [61]

Z tohoto přehledu je patrné, že strojové vidění je moderní a rozšiřující se trend průmyslové kontroly různých druhů.

5.2.7 Úspěšné zavedení strojového vidění

Úspěšné zavedení strojového vidění do výrobního procesu zahrnuje mnoho faktorů. Integrace kamerových systémů bývá řešená většinou na míru zákazníka a jeho potřeb. Studie zjišťující efektivnost lidského výkonu při kontrolní práci odhalila přesnost pouze na 80 %. Lidská mysl neudrží 100% pozornost během stále se opakujících a únavných typů kontroly. Proto je zavedení strojového vidění pro tyto aplikace spolehlivější, výhodnější a efektivnější.

K zavedení strojového vidění vedou následující kroky:

1. **Určení cílů kontroly** – při prvních úvahách o zavedení automatizovaného systému strojového vidění je prvním úkolem propočítání nákladů a představení přínosů aplikace. Cílem je, aby se nový systém ekonomicky vyplatil a jeho návratnost byla v co nejkratším časovém horizontu. Další cíl je získání takového systému, který bude snadno ovladatelný a nenáročný na údržbu.
2. **Stanovení doby kontroly** – rychlost kontroly je důležitým faktorem při výběru systému strojového vidění. Složitě snímání a práce s daty může trvat dlouhou dobu, a proto je dobré vědět, jaký čas může kontrola ve výrobním procesu zabrat, aby nezdržovala takt výrobní linky.
3. **Identifikace závad** – pro zavedení strojového vidění je zapotřebí předem definovat závadu na výrobku. Rozlišení, co je vada a co je správná část, je tak důležitý krok k úspěšnému fungování strojového vidění.
4. **Výběr osvětlení a manipulační techniky** – kvalita kontroly je velice závislá na správném osvětlení kontrolovaného objektu. Při správném nasvícení dochází ke zvýraznění požadovaných vlastností pro lepší identifikaci vad.
5. **Výběr optiky** – důležitým prvkem strojového vidění jsou kvalitní optické přístroje. Čím lepší rozlišení optika má, tím detailnější může detekovat chyby a vady. Dalším faktorem je pracovní vzdálenost tedy vzdálenost objektivu od snímaného objektu. Výběr objektivu by tak měl zhodnotit tato data pro získání dokonalého snímku.
6. **Přístroje pro získání obrazu** – výběr kamery pro strojové vidění záleží na druhu využití a požadované přesnosti.
7. **Vývoj strategie** – využití kamerových snímků nepředstavuje pouhé prohlížení získaných obrazů. Pomocí inteligentních software systémů lze provádět se získanými daty mnoho experimentů. Proto je dobré vyvíjet strategii, která získá z dat co nejvíce důležitých informací a zpracuje je.
8. **Integrace a řízení pohybu** – pro umístění kamer do výrobní linky jsou důležité senzory, které identifikují objekt v zorném poli kamery a předají informaci k spuštění kamery a snímání obrazu.
9. **Kalibrace a testování** – předposledním krokem je samotné otestování a úprava celého systému strojového vidění. Pokud je cílem 100% kontrola, je nutné odzkoušet systém na více výrobních cyklech.
10. **Vytvoření návodu pro operátora kontroly** – zahrnuje popis možností kalibrace, nastavení systému a možnosti přenastavení systému na detekci jiných vad. [62]

5.2.8 Kamery pro strojové vidění

Kamery používané v systémech strojového vidění musí splňovat mnoho požadavků. Výdrž těchto kamer musí být i několik let při nepřetržitém provozu. Stavba kamer je proto robustní, odolná proti mechanickému poškození, prachu, nečistotě a má schopnost pracovat při velkém teplotním rozsahu. Pro splnění těchto požadavků se používají kamery s ochrannými kryty. Kamery pro strojové vidění lze rozdělit do několika skupin:

Podle tvaru snímače:

- Digitální nebo analogové s maticovým senzorem – využívají klasický CCD nebo CMOS snímač, který využívají klasické fotoaparáty. Většinou se využívají monochromatické kamery nebo barevné kamery s Bayerovou maskou
- Řádkové kamery – fungují na podobném principu jako skener, obsahují jen jeden řádek pixelů. Celkový obraz se vytváří synchronizovaným pohybem kamerového zařízení nebo snímaného objektu

Podle spektra a technologie snímače:

- UV kamery – klasická CCD kamera, která má upravený povrch snímače a umožňuje zachytávat vlnové délky v rozsahu od 200 nm do 1000 nm
- Kamery pro viditelné spektrum – všechny kamery CCD a CMOS. Barevné kamery zachycují vlnovou délku, která je vidět lidským okem (cca 400 – 700 nm). Kamery černobílé zobrazují blízké infračervené záření až do 1000 nm.

Podle způsobu zpracování obrazu:

- Běžné kamery bez vnitřní inteligence – obraz z těchto kamer se převádí pomocí komunikačních linek (ethernet, USB, Camera Link) do řídicího systému, který získaná obrazová data zpracovává.
- Inteligentní kamery – inteligentní kamery mají v sobě zabudovaný procesor, který slouží k zpracování získaného obrazu podle zadaného algoritmu. Využívají se v aplikacích s jednoduchými výstupy jako například test prošel/neprošel, vyhovuje/nevyhovuje. Obraz se již dál nepřenáší [53].

5 předností kamerových systémů pro bezkontaktní měření:

Rychlost	<ul style="list-style-type: none">•přizpůsobení kamerových systémů taktu linky•možnost snímání až stovek snímků za sekundu
Bezkontaktnost	<ul style="list-style-type: none">•nedochází k ovlivnění výrobku•možnost měření výrobků, kterých se nelze dotýkat
Přesnost	<ul style="list-style-type: none">•výhodný kompromis mezi použitelností a přesností•vysoké dosahované přesnosti měření pomocí kamer
Stabilita	<ul style="list-style-type: none">•narozdíl od lidských operátorů nedochází k únavě při měření•stabilní přesnost měření
Flexibilita	<ul style="list-style-type: none">•možnost rychlých změn na kontrolu jiných výrobků•možnost jednoduché integrace do výrobních linek

Obrázek 20 5 předností kamerových systémů [63]

5.3 Další možnosti kontroly

Kromě kontroly pomocí strojového vidění existují ještě další možnosti, jak kontrolu výroby provádět. Vybrané metody používané pro kontrolu budou jmenovány a popsány v této podkapitole.

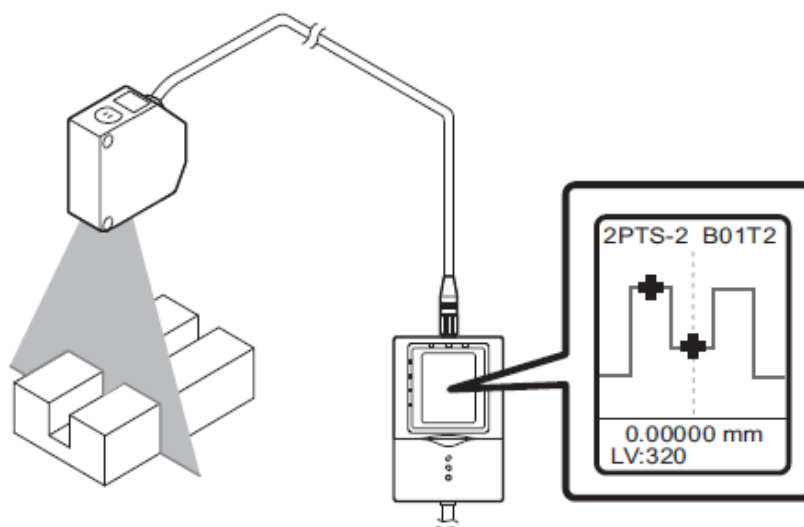
5.3.1 Ultrazvuková kontrola

Historie ultrazvukové metody začíná roku 1940, kdy američtí vědci představují metodu ultrazvukového testování. Ultrazvukové testování je druhem metody nedestruktivní kontroly materiálu. Využívá princip průchodu ultrazvukového vlnění skrz testovaný objekt. Při nárazu vlnění na přechod mezi dvěma prostředí (vzduch-materiál) dojde k odrazu a lomu vlnění. Ultrazvukové snímání funguje na principu odrazu nebo útlumu. U odrazového měření provádí jedno zařízení jak vyslání, tak i příjem pulzních vln. Odrazy vznikají právě na rozhraní dvou prostředí, nebo na zadní stěně objektu. Při vyhodnocení ukazuje přístroj signál s amplitudou, která ukazuje intenzitu odrazu a čas, ze kterého lze zjistit vzdálenost odrazového místa. Druhá možnost je měření pomocí útlumu. Při této metodě je vysílačem vyslán ultrazvukový signál, který

je na samostatném přijímači detekován. Přijímač zachycuje množství ultrazvukového signálu, který projde skrz jeden povrch. Vady a nedokonalosti mezi vysílačem a přijímačem snižují množství přenášeného ultrazvukového signálu a tím zjišťují jejich přítomnost v objektu. Zkouška ultrazvukem se používá k detekci plošných vad typu trhlin, studených spojů, a dalších objemových vad v materiálu. [8] [64]

5.3.2 Laserové snímače

Slovo laser je zkratka vzniklá spojením anglických slov Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation což v překladu znamená zesílení světla stimulovanou emisí záření. Skládá se z aktivního prostředí, odrazového zrcadla a polopropustného zrcadla. Snímání laserovým snímačem je druhem nedestruktivního testování rozměrů a tvarů. Laser dokáže bezkontaktně a s přesností na mikrometry odměřovat rozměry, plochy a vzdálenosti objektu. V dnešní době se laserové snímání vyskytuje v řadě moderních aplikací, kde je zapotřebí přesného, bezdotykového a rychlého měření rozměrů, tvarů, převýšení, přesnosti, velikosti mezer, měření úhlů nebo rozměrů ploch. Profilové snímače jsou typem snímačů, kterým lze měřit různé aplikace s vysokou přesností. Pracují na principu skenování objektu z více směrů najednou. Pomocí laserového paprsku je snímán celý profil objektu. Laserový paprsek se odráží v závislosti na výšce skenovaného objektu. Na přijímači se pak vytvoří 2D obraz profilu objektu. Při vhodném pohybu senzorů nebo skenovaného objektu je možné naskenovat celý povrch a vytvořit tak 3D obraz. Princip funkce profilového snímače je způsob odměřování vzdáleností a rozměrů pomocí úhlu odrazu světla od proměřovaného objektu. Tato metoda se nazývá triangulační metoda měření vzdálenosti. Měření pomocí triangulace je v současné době jednou z nejvíce rozšířenou metodou bezkontaktního optického měření v průmyslové výrobě. Metoda aktivní triangulace je metoda spočívající ve fotogrammetrické rekonstrukci snímaného objektu. Povrch snímaného objektu je ozářen zdrojem světla a v současné chvíli probíhá snímání světla odraženého pomocí senzoru. [65] [66] Schéma laserové detekce rozměrů je na Obrázek 21.



Obrázek 21 Laserová detekce rozměrů [65]

Závěr

V kapitole 5 je zpracováno téma, které se zabývá problematikou automatizace a možností kontroly různých druhů kvalit výrobku. V kapitolách proběhlo seznámení s pojmem kvalita a možnosti její kontroly. Kvalita je jedním z nejdůležitějších hodnotících prvků společnosti, při dodržení vysoké kvality výrobku se dobré jméno firmy jen zlepšuje. V praktické části diplomové práce budou využity poznatky z této kapitoly pro řešení automatizované linky pro kontrolu kvality. Bude se jednat o nahrazení lidské činnosti při kontrolních operacích automatickými přístroji, které dokážou odvádět nepřetržitě 100% požadovaný výkon, a tak bezpečně zaručit téměř 100% kvalitu výstupních produktů z výrobního podniku.

6 Keramický průmysl

V následujících kapitolách proběhne seznámení a rozbor keramického průmyslu. Bude zde krátce popsána historie, vývoj a rozdělení keramického a žárovzdorného průmyslu. Společnost P-D Refractories CZ a.s. je jedním z hlavních představitelů keramického průmyslu v České republice. Proto bude v této kapitole popsáno, čím se společnost zabývá a jaké použití mají výrobky vyráběné touto společností.

6.1 Historie keramického průmyslu

Historie keramických výrobků sahá až do roku $10\,370 \pm 870$ let př.n.l. V této době vznikaly první formy keramických předmětů, které byly vytvořeny z přírodní zeminy. Nádoby nalezené v jižní Číně byly ručně tvarované a vypalované při teplotě $700\text{--}960^\circ\text{C}$. Dalším oborem keramické výroby bylo cihlářství, které se začalo rozvíjet již v 5. tisíciletí př.n.l. Na území České republiky probíhal vývoj odlišně oproti světu, viz Tabulka 4

Tabulka 4 Vývoj keramických produktů [67]

Období	úseky vývoje a významné mezníky
5500 - 4300 př.n.l.	V období mladší doby kamenné (pozdního neolitu) vzniká na našem území <i>kultura s lineární (volutovou) keramikou</i> , jejímiž nositeli byli vůbec první zemědělci na území Čech. Na Moravě postupně vzniká <i>lengyelská kultura</i> , která vznikla smíšením vlivů jihovýchodní Evropy s kulturou moravské malované keramiky a <i>kulturou s vypíchanou keramikou</i> .
4000–2300 př.n.l.	Zejména v severních Čechách se během pozdní doby kamenné (eneolitu) rozvíjí <i>kultura nálevkovitých pohárů</i> , typická keramickými poháry s nálevkovitým hrdlem a bohatým zdobením.
1900-1500 př.n.l.	V závěru eneolitu až starší doby bronzové vzniká konsolidací místních kultur a vlivů z jihovýchodní Evropy <i>únětická kultura</i> , typická kvalitně vypálenou, málo zdobenou, tmavě šedě až černě potaženou keramikou.
300 n.l.	Keltové znali tzv. rychlý hrnčířský kruh.
od 375 n.l.	V důsledku stěhování národů dochází k dlouhodobému přerušení vývoje keramických i dalších výrobních technologií.
5.století	Příchod Slovanů na naše území – jejich nádoby byly maximálně 30 cm vysoké s širokým hrdlem, baňatým tělem a okrajem ve tvaru písmene „S“.
8.století	Počátky výroby slovanské grafitové keramiky na jižní Moravě.
9.století	Používání tzv. pomalého hrnčířského kruhu; spolu s šířením křesťanství proniká na naše území znalost cihlářské technologie.
14.století	Používání tzv. rychlého hrnčířského kruhu; prudký rozmach cihlářské výroby.
16.století	Výroba polokameniny v Dolním Slezsku (dnešním Polsku), jednalo se o tzv. boleslavské zboží (nazváno podle města Boleslawiec).

16-17.století	Na jihovýchodní Moravě a západním Slovensku vzniká a rozvíjí se tzv. habánská keramika (fajáns), pojmenovaná podle skupiny novokřtěnců (anabaptistů), usazované od první poloviny 16. století v oblasti Mikulova a Dambořic a v roce 1622 vypovězené do Uher.
18.století	V roce 1740 se začal na Karlovarsku těžit surový kaolín; roku 1783 vzniká v Hranicích na Moravě první továrna na bělninu (v roce 1791 pak i v Praze); vznik první porcelánky v Horním Slavkově (1792); na Karlovarsku se začíná primitivně plavit kaolín (1793); vznik druhé porcelánky na našem území (Kláštevec n. Ohří – 1793).
19.století	Vznik porcelánky v Dubí u Teplic (1865); zahájení těžby kaolínu v Chlumčanech (1873); založení keramické továrny v Rakovníku (1880) a Horní Bříže (1882); zahájení výroby pórovinových obkládaček v Rakovníku (1883); zahájení provozu v keramickém závodě v Podbořanech (1894); zahájení výroby elektrotechnického porcelánu v Merklíně u Karlových Varů (1897); zahájení těžby na ložisku Borovany – Ledenice (1898).
20.století	Vznik Dobřanských kaolinových a šamotových závodů (1912); zahájení výroby šamotových výrobků v Chlumčanech a výroby tepelně izolačních materiálů v Calofrigu Borovany (obojí 1913); zahájení provozu továrny na výrobu obkládaček a dlaždic v Chlumčanech (1914).

6.2 Charakteristika keramického průmyslu

Pojem keramika označuje materiály, které jsou soudržné a prakticky nerozpustitelné ve vodě. Keramická struktura je převážně krystalická. Jde o polykrystalické látky, získané z anorganických nekovových surovin, které někdy obsahují určitý podíl skelné fáze. Keramické materiály se zpracovávají do požadovaných tvarů a vypalují v žáru. Při výpalu proběhne slinování a zpevnění. Vytvoří se nová mikrostruktura a získají se požadované fyzikální i mechanické vlastnosti. Základní vlastnosti keramiky jsou vysoká tvrdost, křehkost, žárovzdornost a korozivzdornost. Keramika může být využívána jako tepelný nebo elektrický izolant. [68] Použití keramiky je vidět na Obrázek 22:



Obrázek 22 Možnosti použití keramiky [68]

Důležitou vlastností keramiky je křehkost. Křehkost keramiky je způsobená iontovými nebo kovalentními vazbami mezi atomy polykrystalické složky. Křehkost je také ovlivněna množstvím pórů a nehomogenit keramických materiálů. V moderních a automatizovaných závodech je cílem pomocí nových výrobních technologií snížení pórovitosti. Průmysl 4.0 a sběr dat z výrobních procesů umožňuje výrobní procesy detailně monitorovat a získávat potřebné informace, které se použijí k vylepšení celého procesu, a tak i k výrazně lepším mechanickým vlastnostem materiálu. U keramiky lze počítat modul pružnosti E . Modul pružnosti je vyšší než u kovů, ale obsah pórů v materiálu toto číslo výrazně snižuje. Modul pružnosti keramických materiálů v závislosti na pórovitosti P lze vyjádřit rovnicí 1.

$$E = E_0(1 - 1,9P + 0,9P^2)$$

Kde: E ...modul pružnosti v závislosti na pórovitosti

E_0 ...modul pružnosti při nulové pórovitosti

P ...pórovitost

Z tohoto vzorce je patrné, že při pórovitosti 5 % klesne modul pružnosti o cca 10 %.

Pevnost keramických materiálů je závislá na pórovitosti podle rovnice 2

$$R_m = (R_{m0}) \cdot e^{-nP}$$

Kde: R_m ...pevnost keramických materiálů v závislosti na pórovitosti

R_{m0} ...pevnost keramických materiálů při nulové pórovitosti

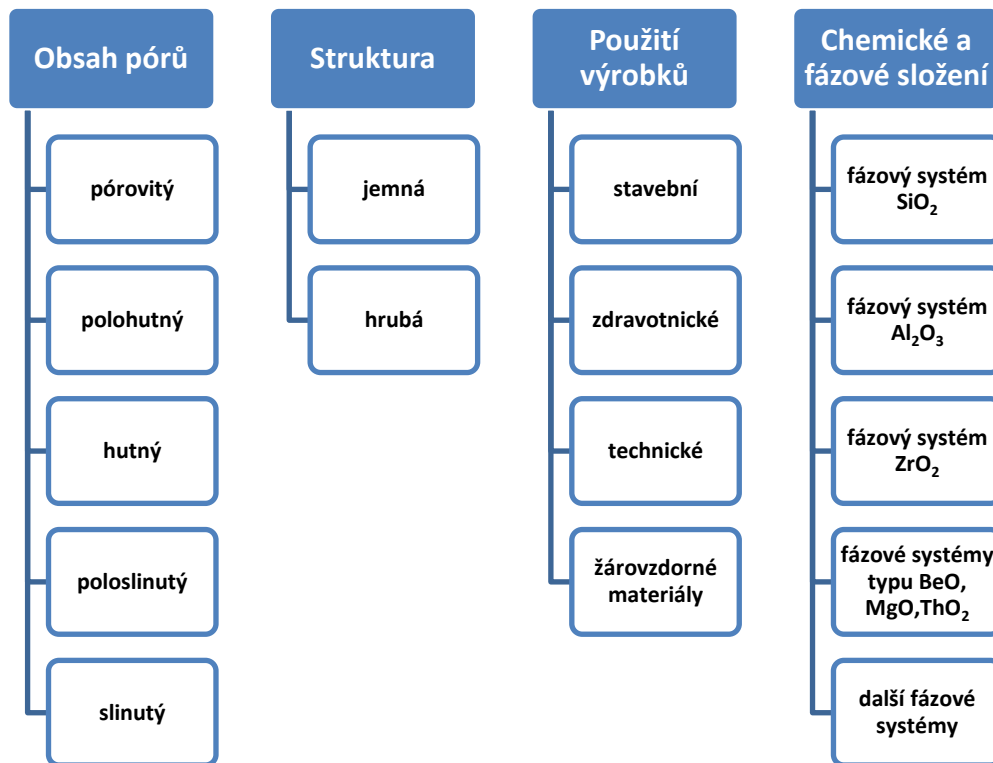
n ...konstanta

P ...pórovitost

Při pórovitosti 5 % tak klesá pevnost keramického materiálu na cca 78 % původní hodnoty pevnosti materiálu bez pórů. [68]

6.2.1 Rozdělení keramických výrobků

Rozdělení keramických výrobků lze provést podle několika různých způsobů. Základní rozdělení je na Obrázek 23:



Obrázek 23 Rozdělení keramických výrobků [67]

Další kapitola se bude zaměřovat především na žárovzdorné materiály, které se používají ve výrobním podniku P-D Refractories CZ a.s.

6.3 Žárovzdorný průmysl a žárovzdorné materiály

Praktická část diplomové práce je realizovaná ve výrobním podniku, který se zabývá zpracováním žárovzdorných materiálů. V této kapitole tak bude tento materiál a způsob zpracování popsán podrobněji.

Mezi žárovzdorné materiály patří materiály, které jsou používány při vysokých teplotách přesahujících 1500°C . Dělení žárovzdorných výrobků je pak podle vstupních surovin a vlastností. Největší využití žárovzdorných materiálů je při metalurgické výrobě železa a oceli. Žárovzdorné materiály musí splňovat mechanickou i tepelnou odolnost, odolnost musí materiály vykazovat i při zatížení v žáru. Žárovzdorná keramika je charakterizovaná hrubozrnnou strukturou ostřiva spojeného jemnou mezihmotou. Používá se pro spalovny, pece na výrobu cementu, reaktory nebo v leteckém průmyslu [69]. Rozdělení žárovzdorných výrobků podle normy je v Tabulka 5:

Tabulka 5 Rozdělení žárovzdorných výrobků [69]

Výrobek	Obsah hlavní složky	Kritéria pro podskupiny a obecné poznámky
Vysocehlinité výrobky – skupina 1	$Al_2O_3 > 56\%$	Úplné označení těchto výrobků má zahrnovat označení o původu surovin nebo mineralogické složení
Vysocehlinité výrobky – skupina 2	$45\% \leq Al_2O_3 < 56\%$	
Šamotové výrobky	$30\% \leq Al_2O_3 < 45\%$	
Křemičitošamotové výrobky	$45\% \leq Al_2O_3 < 56\%$ $SiO_2 < 85\%$	
Křemičité výrobky	$85\% \leq SiO_2 < 93\%$	
Dinasové výrobky	$SiO_2 \leq 93\%$	Specifikace jakosti odpovídá účelu použití
Zásadité výrobky		Rozdělení podle hlavních surovin
Speciální výrobky		Výrobky na bázi: uhlíku, grafitu, zirkonu, siliciumkarbidu, karbidů

Rozdělení žárovzdorných výrobků lze provádět podle různých vlastností:

a) Podle chemického charakteru:

- kyselé – šamot, dinas
- zásadité – magnezit, dolomit
- neutrální – uhlíkové, chromitové výrobky

b) Podle žárovzdornosti:

- obyčejné – do 1770 °C
- velmi žárovzdorné – do 2000 °C
- vysoko žárovzdorné – nad 2000 °C

c) Podle tepelného zpracování:

- nepálené výrobky – vypálení proběhne až po zabudování do tepelného zařízení
- pálené výrobky
- tavené výrobky
- výrobky lisované za tepla [70]

Použití žárovzdorných výrobků je na Obrázek 24:

Sklářský průmysl	•tavící vany, regenerátory a rekuperátory, pánvové pece, distributory
Průmysl cementu a vápna	•předehřivače, rozdělení oblastí v rotačních pecích, poklopy pecí, chladiče, vzduchová vedení
Keramický průmysl	•kruhové pece, vozokomorové pece, tunelové pece, tunelové pecní vozy, hořáky a hořákové komory
Hliníkárenský průmysl	•vany elektrolýzy, tavící a udržovací pece, anodové pece
Chemický průmysl	•refinerní vybavení, spalovací pece, Clausovy pece, generátory sazí, tepelné výměníky, spalovací komory
Spalovny	•speciální spalovací pece, tavící komory, hořáky
Ocelářský průmysl	•koksárenské pece, vysoké pece, ohřivače větru, systémy horkého vzduchu, keramické hořáky, licí pánve na ocel, obloukové pece
Elektrárny a teplárny	•lignitové kotle, kotle na černé uhlí, olejové a plynové kotle, fluidní kotle, komíny, rekuperátory
Krby a kamna	•kamnářský šamot speciálně pro krby, kachlová kamna
Komínová keramika	•komínové vložky

Obrázek 24 Použití žárovzdorných výrobků [1]

6.3.1 Komínové vložky

Praktická část diplomové práce se zabývá automatizací kontroly kvality u komínových vložek. V následující kapitole bude krátce popsány hlavní vlastnosti komínových vložek a jejich použití.

Keramické komínové vložky jsou používány pro odvod spalin z krbů a kotlů v domácích provozech. Komínové vložky svojí kvalitou vyhovují všem druhům paliv. Klasické keramické jsou označovány jako plastické. Jsou používány pro provoz zařízení na tuhá paliva, jako jsou krbová a kachlová kamna a kotle na tuhá paliva. Komínové vložky mají využití i v průmyslových provozech, kde se používají při spalování odpadů, spalování dřevěné štěpky, v kotelnách atd.

Hlavní charakteristiky komínových vložek jsou:

- odolnost proti teplotám a teplotním změnám
- téměř neomezená životnost
- odolnost proti spalinám hoření
- odolnost proti kyselým kondenzátům
- nízká plynová propustnost
- nízká vodopropustnost
- vysoká rozměrová přesnost
- tenká stěna garantující vysokou kvalitu a nízkou hmotnost [1]

Komínová vložka společnosti P-D Refractories CZ a.s., která bude použita pro automatizaci procesu kontroly v praktické části, je na Obrázek 25. Komínová vložka se vyrábí v různých průměrech a v délce 330 mm.



Obrázek 25 Základní komínová vložka [1]

Závěr

Tato kapitola se zaměřuje na keramický průmysl. V kapitole je popsáno rozdělení a zpracování keramických produktů. V kapitole proběhlo také seznámení s výrobním portfoliem společnosti P-D Refractories CZ a.s., která se zpracováním a produkcí keramických výrobků zabývá. Zvláštní kapitola je pak věnována komínovým keramickým vložkám. Kapitola popisuje keramické vložky a jejich vlastnosti. Získané vlastnosti budou využity v praktické části, a to především jejich tvar a rozměr, který bude určující pro volbu robotických zařízení a použitých koncových efektorů. Dále budou rozměry udávat omezující faktory při volbě kontrolních stanovišť, které budou zabudovány v automatické kontrolní lince ve výrobním podniku P-D Refractories CZ a.s.

7 Analýza procesu kontroly v modelové společnosti

Následující kapitola se zabývá možnostmi automatizace kontroly kvality ve výrobním podniku společnosti P-D Refractories CZ a.s. V první fázi je rozebrán a popsán současný stav kontroly kvality komínových vložek. Následně pak budou zpracovány možnosti zautomatizování tohoto procesu pomocí prvků Průmyslu 4.0. Celý proces bude zaměřen na výrobní závod Svitavy, který se zabývá především produkcí komínových vložek od samotného počátku. Provádí se zde namíchání směsi extruze komínových trubek, výpal a následná kontrola vad. Na komínových vložkách jsou prováděny tyto typy kontroly: akustická kontrola, vizuální kontrola a kontrola rozměrů.

7.1 Výrobní proces komínových vložek

Před popisem samostatných kontrolních operací bude stručně popsán výrobní proces komínových vložek. Výrobní proces bude popsán na těch komínových vložkách, které se v podniku vyrábí v největším množství. Pracovní stanoviště je pro tyto komínové vložky již plně automatizováno a robotizováno.

Výroba komínových vložek a jiných žárovzdorných výrobků začíná již těžbou surovin, které jsou potřebné jako vstupní suroviny do přípravy výrobní směsi. Pro výrobu komínových vložek se používají kameninové a žárovzdorné jíly. Všechny tyto vstupní materiály musí splňovat přísné podmínky jako jsou vysoká pevnost, vysoká teplotní odolnost a minimální vzduchová propustnost. Komínové vložky jsou využívány především k odvodu spalín od kotlů a krbů, a proto je zapotřebí zajistit kvalitní proces výroby, aby nenastal nežádoucí únik do okolí.

7.1.1 Výrobní proces na robotizovaném pracovišti

Po získání potřebných surovin následuje převoz do výrobního areálu ve Svitavách, kde proběhne uskladnění. Do výrobní haly se získaná směs dostává pomocí pásových dopravníků, které rozvádí potřebné množství směsi na všechna pracoviště. Pásový dopravník je umístěn u střechy haly a nezabírá tak žádný prostor. Dopravník sype směs do velkého zakladače, který může mít kapacitu až 65 tun. V dalším kroku následuje úprava surovin na pracovištích. Již tento proces má velký vliv na kvalitu výsledných výrobků. Kvalita směsi, správná vlhkost a jiné další

faktory ovlivňují konečnou kvalitu komínových vložek. Po nadrcení směsi dochází pomocí vynášecího dopravníku k dopravení nadrcené směsi do předlisu. Zde dochází ke kontrole správné vlhkosti směsi. Směs musí mít vlhkost mezi 13.5 % - 15 %. Tento faktor je v podniku měřen pomocí senzorů, nebo na základě zatížení motoru. Při menší vlhkosti směsi dochází k většímu zatěžování lisu a pohonů a je nutné směs dodatečně vlhčit. Poté směs prochází přes síto do vakuové komory, kde je podtlak 0.924 fyzikálních atmosfér. Připravená směs je pomocí šnekového lisu extrudována na požadovaný rozměr. Při extruzi dochází k nepřetržitému vytlačování směsi v nekonečnou trubku. Vytlačovaná trubka je na dělicím stanovišti řezána na požadovaný rozměr. Na dalším pracovišti dochází k opracování komínových vložek a vytvoření drážek pro jejich spojování. V další fázi dochází k zahlazení drážek a začištění řezu. V posledním kroku probíhá kontrola pomocí laser scanningu. Tato kontrola dokáže odhalit rozměrové vady již při prvovýrobě a omezit tak odeslání vadných kusů do procesu výpalu. Na tomto stanovišti se provádí měření kruhovitosti, délky a kolmosti u komínových vložek. Vadné kusy jsou vyklopeny do připraveného kontejneru a vrací se rozdrčené zpět do zakladače. Kusy, které splňují podmínky výstupní kontroly, jsou pomocí robotického manipulátoru vyrovnány na pecní kroužek, který přijede na pásovém dopravníku, v počtu 4 až 5 kusů. Po vyrovnání tohoto počtu dojde k přemístění celého sloupce komínových vložek, včetně pecního kroužku, pomocí druhého robotického manipulátoru na připravený pecní vůz.

7.1.2 Sušení a výpal komínových vložek

Po vyrovnání pecního vozu putují komínové vložky do sušících pecí. V sušících pecích již začíná proces tepelné úpravy komínových vložek. Proces sušení probíhá při nižších teplotách a slouží jako přípravný proces materiálu na vypálení. Sušení komínových vložek probíhá na 3% vlhkost, jelikož do vypalovacích pecí nesmí přijít komínová vložka s větší vlhkostí než 6 %. Pro sušení je využíváno přebytečné teplo z pecí. Po správném vysušení nastává již nejdelší proces, a to vypálení výrobků v tunelových pálicích pecích. V tomto procesu jsou výrobky vystaveny vysokým teplotám přesahujícím 1000°C. Po vypálení se komínové vložky dostávají do vychladací části pece. Celá vypalovací pec má délku 200 metrů a pojme až 67 vozů. Pec je nejdůležitějším článkem z hlediska veškerého řízení provozu, jelikož její provoz je nejnákladnější, a proto je snahou mít stále maximální vytíženost pece. Po vypálení a zchlazení nastává proces kontroly komínových vložek. Po zkontrolování dochází k vyrovnání výrobků na paletu a následnému uskladnění. Téměř všechny operace výrobního procesu komínových vložek jsou již ve výrobním podniku plně, nebo částečně automatizované. Jediný proces, který není automatizován, je

proces kontroly kvality. V dnešní době je prováděn pouze lidskou manuální prací. Cílem této práce je i tento proces plně automatizovat. Výrobní cyklus komínové vložky je na Obrázek 26.



Obrázek 26 Výrobní proces komínové vložky

7.2 Současný stav kontroly kvality komínových vložek

V současné době je proces kontroly kvality komínových vložek realizován na kontrolním stanovišti, kde se všechny kontrolní operace provádí lidskými pracovníky. Při kontrolních operacích se tak spoléhá pouze na znalost a zkušenost lidí pracujících v kontrolním oddělení. Celý proces kontroly kvality je tak velice ovlivněn lidským faktorem. Další nevýhodou tohoto procesu je téměř žádné získávání dat, která by se mohla využít k úpravě předchozích procesů a snížení počtu vadných kusů již ve výrobní fázi komínových vložek.

Popis současného stavu kontroly

Pecní vozy s vypálenými komínovými vložkami jsou po skončení teplotní úpravy odvezeny do stanoviště kontroly. Stanoviště kontroly se nachází na rampě ve výšce cca 0,75 metru, která je v úrovni výšky pecních vozů. Rampa, na které je stanoviště kontroly, lze vidět na Obrázek 27.



Obrázek 27 Pecní vozy s komínovými vložkami na stanovišti kontroly

Na tuto rampu přichází po 5 schodech pracovníci kontrolních operací. Každý pracovník má vlastní přístroje pro měření a kontrolování vad. Jedná se o malé kladivo, metr, a kalibr pro kontrolu kruhovitosti. Každý pracovník má také u sebe zásobu prokladových fólií, které se připraví před začátkem směny. Poslední výbava pracovníka kontroly jsou papíry, které pracovník vyplňuje při třídění komínových vložek a při označování již vyskládané palety. Pracoviště a výbava pracovníka kontrolních operací je na Obrázek 28.



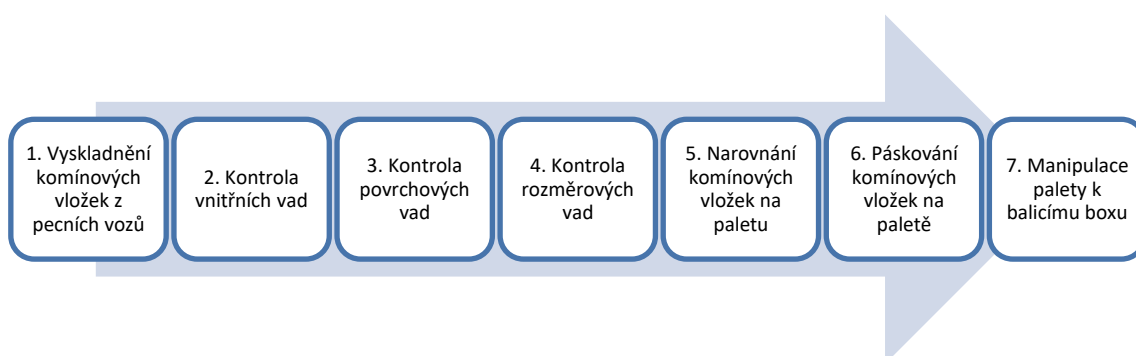
Obrázek 28 Výbava pracovníka kontroly

Při kontrole provede pracovník zvukovou kontrolu pomocí malého kladiva. Tato kontrola se provádí poklepem na vrchní vrstvu komínových vložek. Pracovník tak poklepe komínové vložky stojící na pecních vozech a poslouchá, zda nějaká komínová vložka nevydá zvuk, který by znamenal vnitřní vadu. Při dalším poklepu na tuto komínovou vložku dochází většinou k prasknutí komínové vložky. Po zvukové kontrole vrchní řady musí pracovník provést kontrolu kruhovitosti pomocí železného kalibru. Pracovník vloží kalibr do všech zvukově otestovaných komínových vložek. Kruhové rozměry jsou u komínových vložek velice důležité, jelikož zajišťují správné napojování komínových vložek mezi sebou. Při splnění rozměrových podmínek pak dochází k nejnáročnější fázi kontroly. Pracovník musí každou komínovou vložku vzít do ruky a otestovat jí kalibrem i z druhé strany. Při této fázi dochází také ke kontrole na povrchové vady. Při manipulaci s komínovou vložkou pracovník zkontroluje na základě vlastních zkušeností povrchové vady zvenku i zevnitř komínové vložky. Při této kontrole musí být odhaleny všechny povrchové nedostatky a vady, které by mohly ovlivňovat správnou funkčnost. Při nedodržení podmínek v jakékoliv kontrolní operaci musí pracovník odnést komínovou vložku do kontejneru, který se po naplnění odváží k recyklaci a opětovnému použití materiálu. Po provedení všech kontrolních operací a splnění všech podmínek přenáší pracovník komínovou vložku na připravenou paletu a vyrovnává jí podle daných požadavků. Na paletu je nejprve položena spodní fólie, která je vidět na Obrázek 28. Na tuto fólii již může pracovník kontroly pokládat komínové vložky. Při narovnání celé řady provede pracovník položení slabé děrované fólie, která zajišťuje odtok vody, která by se případně dostala do obalu komínových vložek. Další fází je položení pěnové fólie, která má za účel chránit komínové vložky od vzájemného poškození. Na proložené fólie pokládá pracovník další komínové vložky, které splnily požadavky. Většinou dochází k zatížení rohů, aby došlo k dostatečnému vypnutí obou fólií. Poté již pracovník skládá komínové vložky tímto způsobem až do naplnění celé palety. Komínové vložky jsou vyskládány na paletu o rozměru 120x80 cm v počtu 3x5 kusů v jedné řadě. Na každé paletě je vyskládáno 5 řad komínových vložek základního typu. Po naplnění celé palety provede pracovník, obsluhující vysokozdvíhový vozík, odvoz palety na stanoviště expedice. Na tomto stanovišti pracovník potvrdí výstupní vizuální kontrolu komínových vložek. Poté provede zapáskování komínových vložek na dvou místech po obvodu. Horizontální zapáskování komínových vložek je na Obrázek 29.



Obrázek 29 Komínové vložky na stanovišti expedice













Následně dojde k nasazení ochranných rohů na vrchní komínové vložky a dojde z vertikálnímu zapáskování k paletě na čtyřech místech. Na horizontální pásy je poté přichycen paletový list s čárovým kódem a veškerými dostupnými informacemi o komínových vložkách na paletě. Takto označená a zapáskovaná paleta je pomocí vysokozdvizného vozíku převezena na balicí box, kde je zabalena a odvezena do skladu. Současný proces je zjednodušeně schematicky znázorněn na Obrázek 30.



Obrázek 30 Současný proces kontroly komínových vložek

Všechny kontrolní operace jsou v současné době prováděny na základě zkušeností operátorů. Kontrolní operace jsou tak velice ovlivňovány lidským faktorem, který může mít

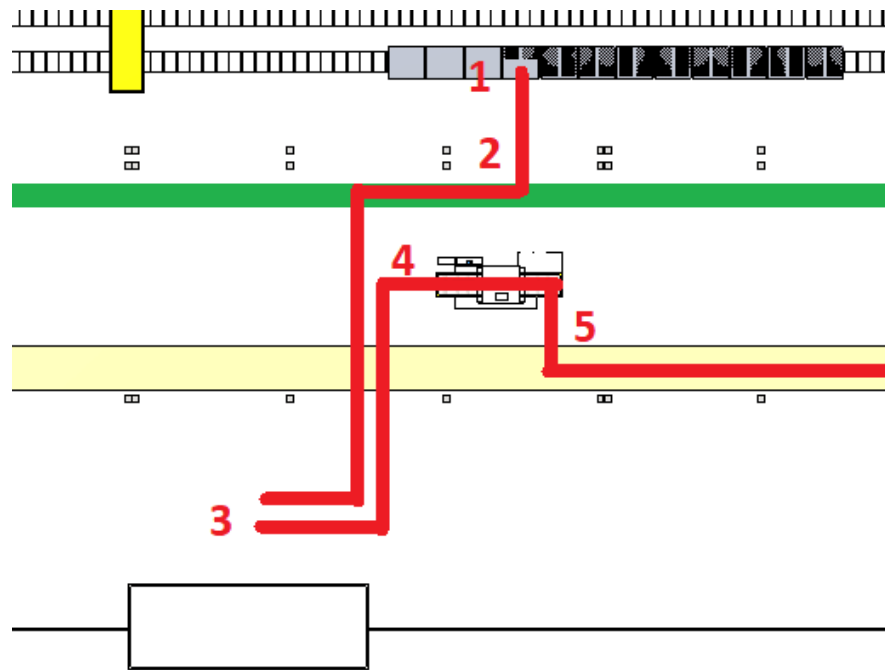
proměnlivý charakter v závislosti na soustředěnosti, náladě, únavě a mnoha dalších. Žádný lidský pracovník se nedokáže koncentrovat a podávat 100% výkon po celou dobu směny. Každý pracovník také provádí kontrolu podle vlastní úvahy a může tak docházet k prohození kroků kontrolních operací. Z celého procesu také nejsou generovány žádná data, která by šla použít pro úpravu předchozích procesů. Způsob současného provedení je pro přehlednost znázorněn na Obrázek 31.

Operace	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Způsob provedení							
Použitý nástroj							

Obrázek 31 Grafické zobrazení současného stavu

Tok materiálu při současném stavu kontroly komínových vložek lze vidět na Obrázek 32. Tok materiálu je označen zelenou barvou a jednotlivé body označují místa:

1. Místo pro kontrolu kvality.
2. Vyzvednutí palety plné vytříděných komínových vložek a odvezení na místo expedice vysokozdvížným vozíkem.
3. Místo expedice – provedení výstupní kontroly, zapáskování komínových vložek a označení palety výstupním razítkem a štítkem.
4. Transport schválené a zapáskované palety pomocí vysokozdvížného vozíku k baličímu boxu.
5. Vyzvednutí zabalené palety komínových vložek z baličího boxu vysokozdvížným vozíkem a transport do skladových prostor mimo výrobní halu.



Obrázek 32 Tok materiálu v současném stavu

Ekonomické zhodnocení současného stavu

Náročnost na pracovní sílu celkového procesu:

- 10 pracovníků, kteří provádí kontrolní operace
- 1 pracovník provádějící odstraňování odpadu
- 1 pracovník logistických operací
- 1 pracovník provádějící páskovací operace

Roční mzdové náklady na současný stav při finančních požadavcích 500 000 Kč na jednoho pracovníka jsou v Tabulka 6

Tabulka 6 Roční mzdové náklady – současný stav

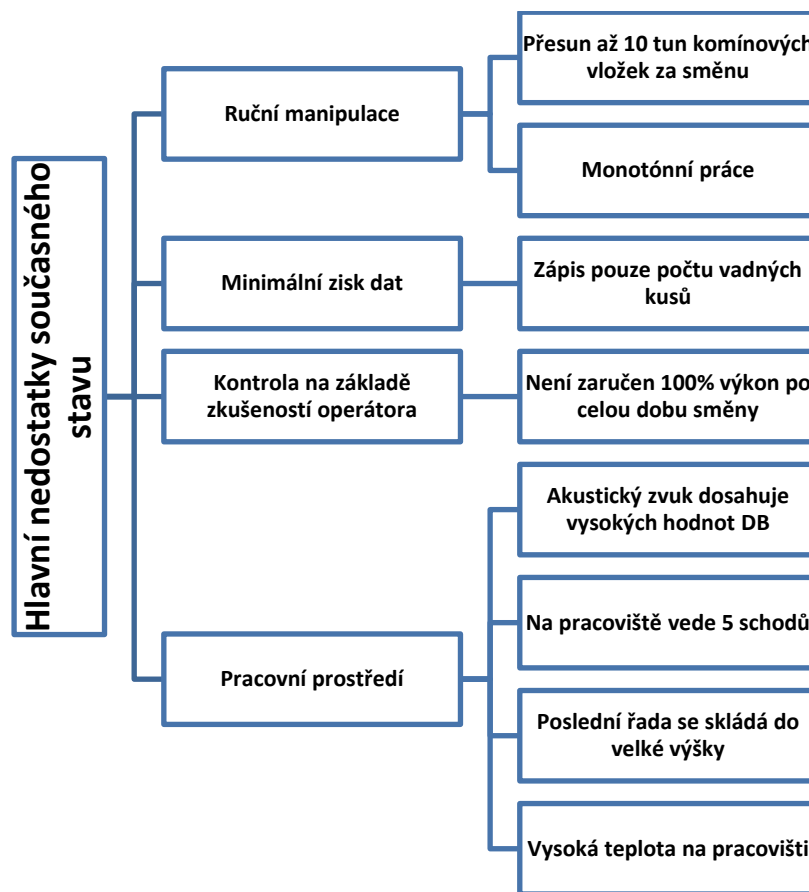
Druh práce	Počet pracovníků	Roční mzdové náklady
Kontrola kvality	10	5 000 000 Kč
Odstraňování odpadu	1	500 000 Kč
Logistické operace	1	500 000 Kč
Páskovací operace	1	500 000 Kč
Celkové náklady		6 500 000 Kč

Současný stav zatěžuje výrobní podnik na mzdových nákladech ve výši 6 500 000 Kč ročně. Další nevýhodou současného stavu je neschopnost dodržení 100% opakovatelnosti při lidské

kontrole. Kontrolní operace jsou v současné době prováděny výhradně ručním způsobem. Jedná se tak o práci fyzicky náročnou při přenášení komínových vložek, které váží 8,5 kilogramů. Pracovníci také provádí za celou směnu monotónní práci.

Hlavní nedostatky současného stavu

V přehledu na Obrázek 33 jsou graficky zobrazeny hlavní nevýhody, které jsou poté detailněji popsány.



Obrázek 33 Nevýhody současného stavu

- Ruční manipulační činnost s 8,5 kilogramů vážící komínovou vložkou – z hlediska ergonomie je současný stav pro pracovníky velice náročný na fyzickou práci. Dochází při ní k opakovanému namáhání svalů a kloubů v různých polohách a při práci s břemenem. Pracovníci automatické kontroly musí vystoupat na pecní vůz po schůdkách. Takto opakující se činnost může znamenat veliký nápor především na klouby dolních končetin.
- Pracovníci zapisují pouze počet vadných kusů na pecním vozu. Tato data však nelze využít pro úpravu předcházejících procesů ve výrobě ale pouze k statistickým přehledům o vadných kusech.

- Pracovníci kontrolního stanoviště provádí kontrolu pouze na základě vlastních zkušeností, ale již neprovádí podrobnou analýzu příčin vzniku vad.
- Monotónní lidská práce po celou dobu směny. Za směnu musí pracovník provést a přeskládat až 10 tun komínových vložek. Za jednu směnu tak pracovník vezme do ruky až 1000 kusů komínových vložek.
- Lidští operátoři nejsou schopni zajišťovat po celou dobu směny provedení bezchybné kontrolní operace.
- Akustický zvuk dosahuje při zvukové kontrole pomocí poklepu kladiva vysoké úrovně decibelů. Pracovníci nemohou při této kontrole nosit ochranné prostředky. Zvuk, který komínové vložky vydávají při poklepu, lze slyšet téměř přes půl haly výrobního podniku.
- Vyhození vadných kusů do připravených kontejnerů provádí pracovník s velkou silou, aby došlo k rozbití komínových vložek. Tento způsob však způsobuje také hluk a může dojít i k odletu keramických střepů.
- Při zpracování prokladových fólií musí pracovník sejít 5 schodů z rampy a dojít na řezačku ručně nařezat nové kusy fólie.
- Při vyrovnávání poslední vrstvy musí pracovník zvedat komínovou vložku do výšky. Celá vyrovnaná paleta měří 180 cm na výšku. Při kontrole jiného typu může dojít k vyrovnání až do 220 cm. Na tuto výšku musí pracovník využít schůdky, po kterých vynáší komínové vložky a vyrovnává poslední řadu.
- Pracovník musí po vytřídění celého pecního vozu tento vůz manuálně uklidit od prachu a zbytků komínových vložek.

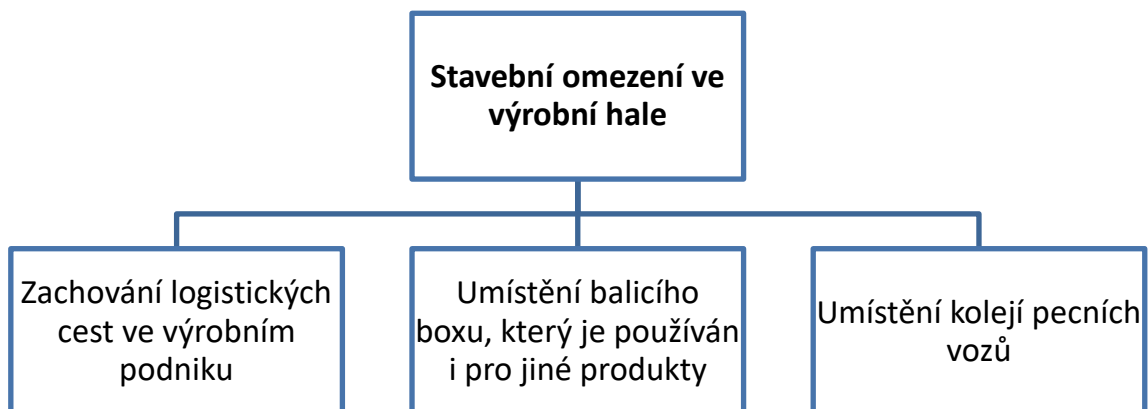
Cílem praktické části této diplomové práce je tak nalezení vhodného řešení pro automatizaci kontrolních operací a také přesunu komínových vložek. Jelikož se jedná o práci a kontrolu výrobků, které jsou stejných rozměrů a mají dosahovat stejných vlastností, je zde otázka automatizace procesu zcela na místě. Při úspěšném provedení automatizace výše zmíněného procesu kontroly může dojít k úplnému odstranění monotónní lidské činnosti a zvýší se také přesnost kontrolních operací. Při úspěšném propojení veškerých systémů a snímačů dat může docházet také ke sběru dat a následnému vyhodnocení. Ze získaných výsledků bude možné provádět úpravu předchozích výrobních procesů a tím tak snížit počet vadných kusů pomocí nastavení správných parametrů v prvovýrobě. V dnešní době probíhá třídění komínových vložek ve dvousměnném provozu včetně sobot. Kontrola komínových vložek je prováděna většinou 9 měsíců v roce z důvodu zamrznání jílu v zimních měsících. V případě nutnosti lze však pomocí přídavků produkovat komínové vložky celoročně.

8 Návrh automatizace procesu kontroly

Automatizace výrobního procesu může přinést výrobnímu podniku veliké výhody ve výrobě. Důležitým faktorem jsou však správná rozhodnutí o automatizaci a také dostatečné zhodnocení návrhů z technického i ekonomického hlediska. Otázka návratnosti vysokých počátečních investic je jednou ze základních při rozhodování o zavedení automatizace. Automatizace současného stavu je však již při prvním zamyšlení velice perspektivní. Jedná se o práci s komínovou vložkou, která má stálý rozměr a tvar. Automatizace procesu kontroly může vést k velkému ušetření pracovní síly a také zvýšení efektivity celého procesu.

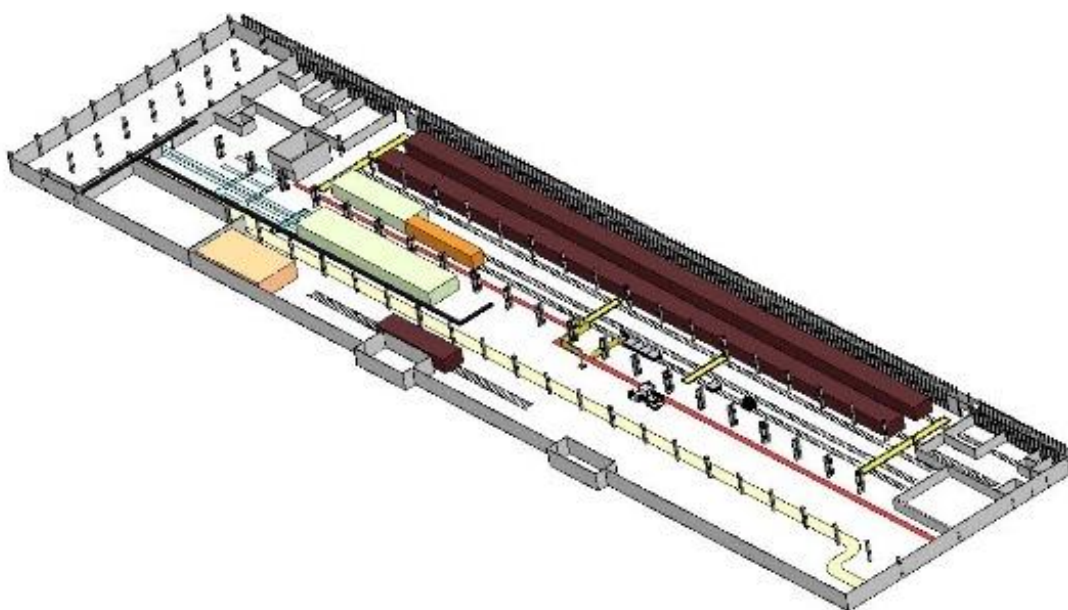
8.1 Omezující podmínky automatizace

Při zavádění automatizace je při tvorbě návrhů důležité přihlídnout k okrajovým a omezujícím podmínkám, které omezují možnosti. Jelikož se jedná o automatizaci procesu, který probíhá již ve vystavěné továrně, jsou zde omezení stavební (sloupy, cesty, ostatní pracoviště, elektrická vedení, vodovodní rozvody atd.), ale také omezení, které kladou podmínky na umístění a rychlost kontroly. Ve výrobní hale komínových vložek ve Svitavách jsou následující stavební omezení zobrazené na Obrázek 34



Obrázek 34 Stavební omezení ve výrobní hale

Půdorys haly výrobního závodu zobrazuje omezující faktory pro vytváření automatizované linky kontroly. Na Obrázek 35 je červenou barvou vyznačená logistická cesta ve výrobním podniku, která musí být zachována. Dalším omezením jsou stávající koleje, které přiváží pecní vozy s komínovými vložkami na kontrolu.



Obrázek 35 Vizualizace výrobní haly Svitavy

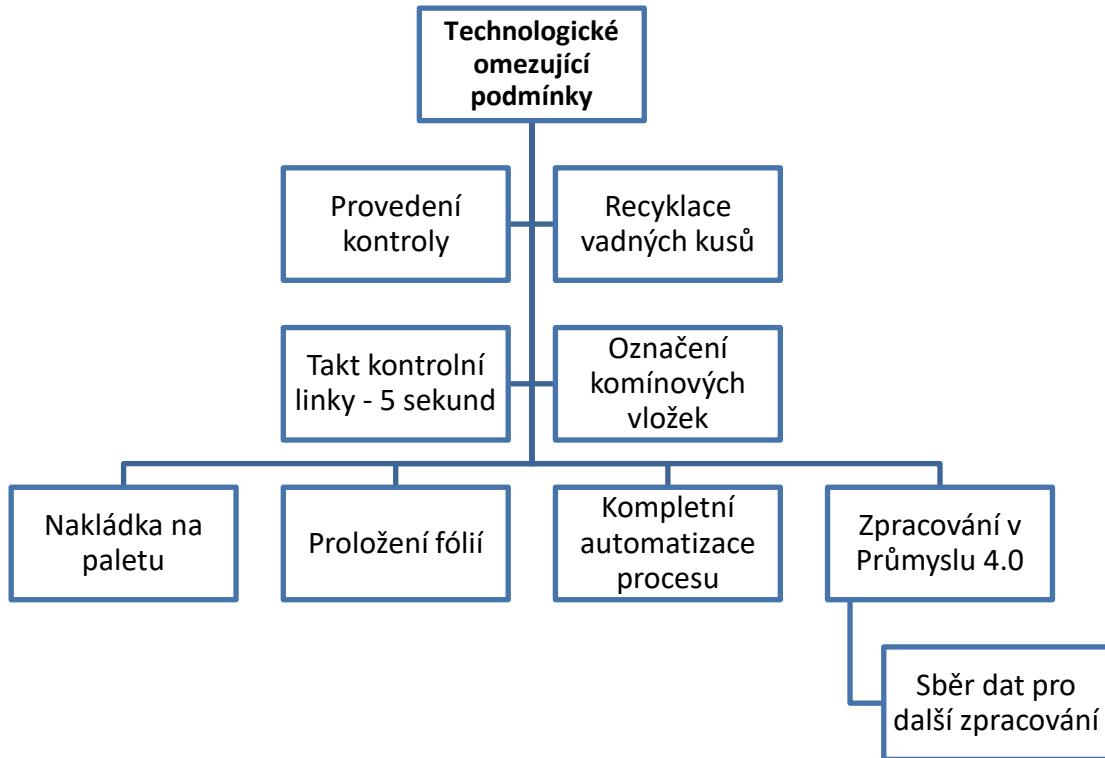
Poslední omezení je využití stávajícího balicího boxu, který již ve výrobním závodě slouží k obalení vyskládaných výrobků na paletu. Tento balicí box však musí zůstat použitelný i pro jiné výrobky, které se přivezou pomocí vysokozdvížného vozíku k balicímu boxu. Balicí box je zobrazen na Obrázek 36



Obrázek 36 Balicí box

Dalšími omezujícími faktory jsou podmínky jiné než stavební, může se jednat o kapacitní podmínky, rychlost kontroly, takt linky, způsob provedení, získávání dat a jejich zpracování,

způsob řízení procesu atd. Při návrhu automatizace kontrolního procesu komínových vložek jsou technologické omezující podmínky na Obrázek 37



Obrázek 37 Technologické omezující podmínky

Výše zmíněné omezující podmínky tak určují způsob provedení automatizace. Kapacita kontrolní linky musí být dostatečná, aby bylo možné splnit požadovaný čas kontroly. Další velice důležitou podmínkou je zpracování kontrolní linky v Průmyslu 4.0. Jednalo by se především o sběr veškerých dat, generovaných při procesu kontroly. Takto získaná data by mohla být využita pro úpravu předchozích procesů. Při úplném propojení dat ze všech procesů by kontrolní linka přesně určila, jaké faktory ovlivňují výsledky kontroly a v jaké míře.

8.2 Možnosti automatizace procesů

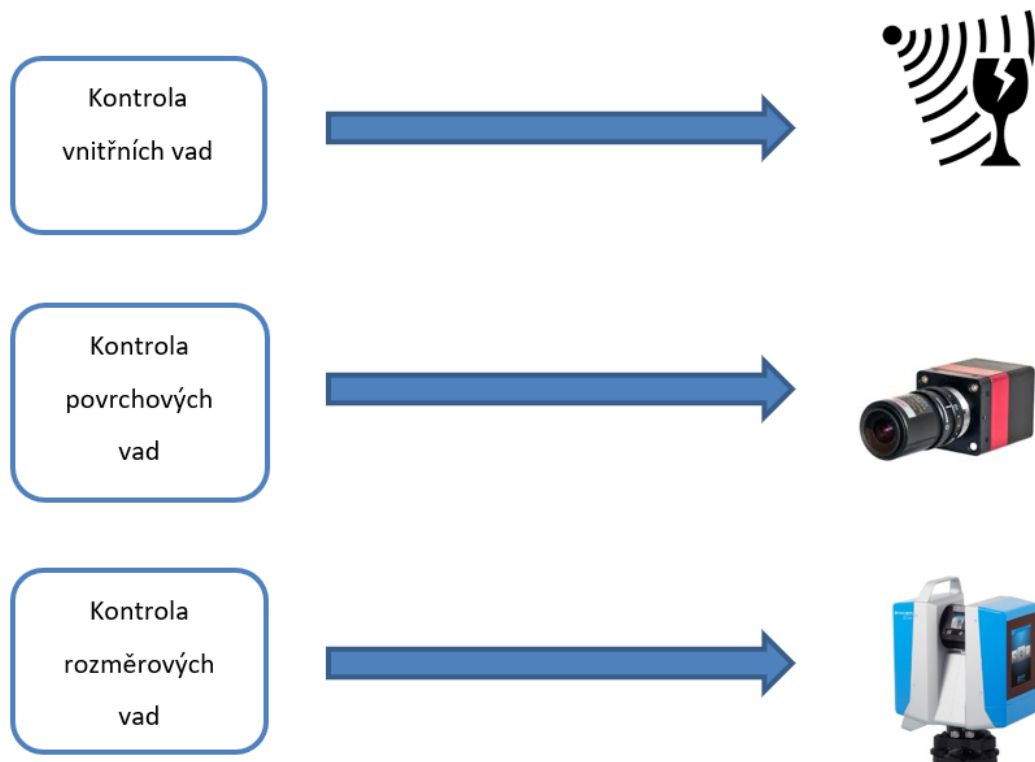
Všechny procesy prováděné v současné době při kontrole jsou vyhodnocovány pouze pomocí lidské zkušenosti. Kontrolní operace jsou však takového druhu, že je možné jejich provedení realizovat pomocí automatických strojů. Nahrazením lidských kontrolních pracovníků automatickými stroji dojde ke zlepšení kontrolních operací a také zaručí 100% kvalitní výkon kontroly každé komínové vložky. Zajištění 100% kontroly může také přinést společnosti lepší záruku kvality svých produktů a také ušetření mzdových i surovinových nákladů.

Možnost nahrazení kontroly vnitřních vad – na základě zpracované rešerše je nejlepším možným řešením pro kontrolu vnitřních vad zvuková defektoskopie, která dokáže odhalit vnitřní vady, trhliny, vměstky, póry atd.

Možnost nahrazení kontroly povrchových vad – na základě zpracované rešerše o strojovém vidění je využití inteligentních optických kamer propojených se zpracováním obrazu nejlepší možnou volbou pro vizuální automatickou kontrolu povrchových vad.

Možnost nahrazení kontroly rozměrových vad – na základě získaných znalostí ze zpracované rešerše je nejlepší návrh kontroly rozměrových vad pomocí laser scanningu. Přístroj na rozměrovou kontrolu pomocí laserového snímače je již ve výrobním podniku využívám při výstupní kontrole při výrobě komínových vložek.

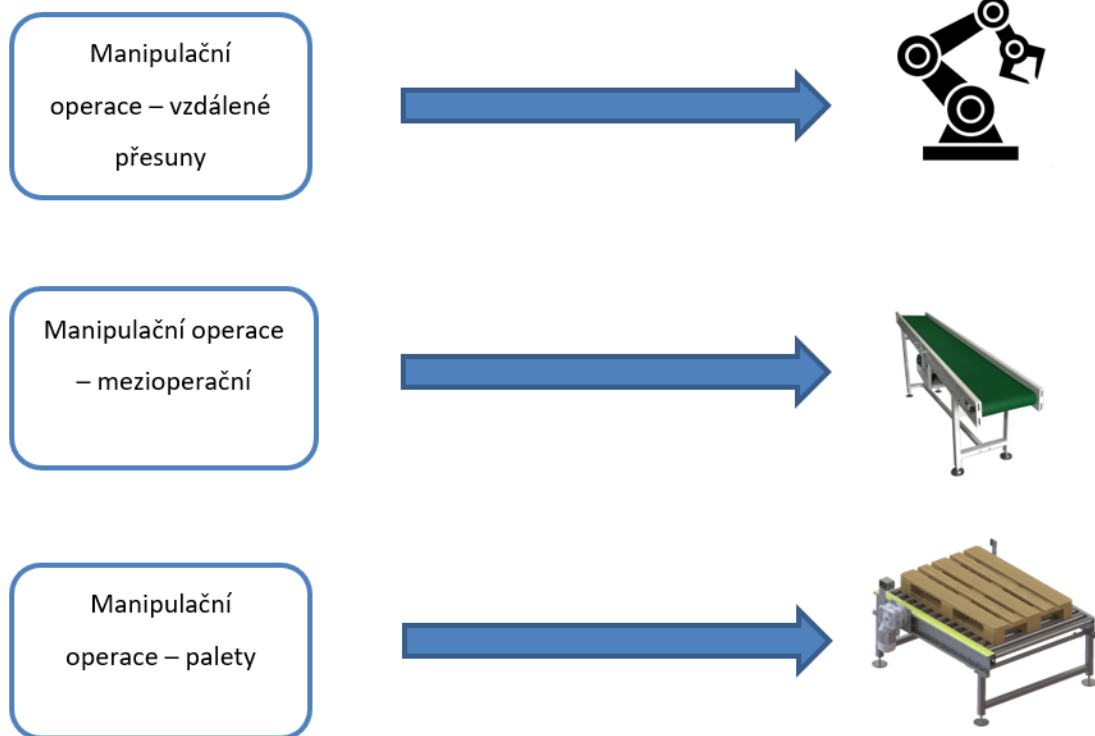
Nahrazení kontrolních operací je graficky zobrazeno na Obrázek 38.



Obrázek 38 Možnosti provedení automatické kontroly

Nejlepší způsob nahrazení transportních operací je pomocí robotických operátorů a manipulátorů. V podniku ve Svitavách je již robotizovaný proces, který používá roboty s koncovými efekty na komínové vložky. Tito roboti, a především koncové efekty specializované na komínové vložky, by šly použít i pro automatizaci transportních procesů v procesu kontroly jako je vyskladnění, přendávání, vyrovnávání atd. Přesuny mezi jednotlivými

operacemi je možné realizovat pomocí různých druhů průmyslových dopravníků. Pro přesun komínových vložek na stanovištích kontroly je nejlepší volit krokový dopravník, který zajišťuje správný takt celé linky. Pro přesun palet plných komínových vložek mezi páskovacími a balicími operacemi je nejlepší použít válečkový dopravník pro europalety, které se v podniku používají. Možnosti automatizace manipulačních procesů jsou schématicky zobrazeny na Obrázek 39.



Obrázek 39 Možnosti automatizace přesunů

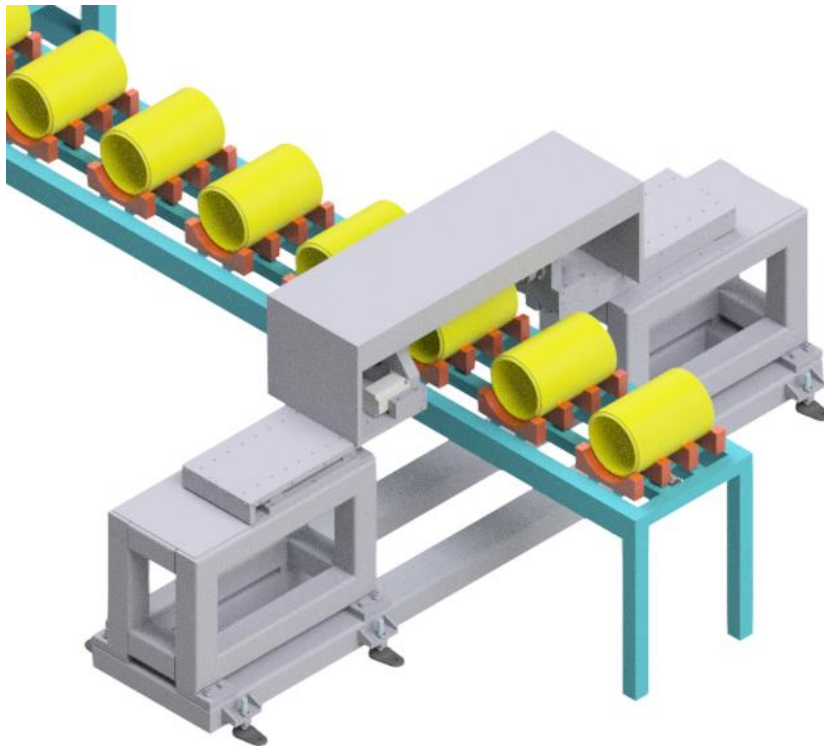
8.2.1 Návrh automatizace kontrolních procesů

Pro automatizaci celého procesu je zapotřebí navrhnout technologické řešení, které by dokázalo provádět plně automatizovanou kontrolu komínových vložek. Jedná se o kontrolu vnitřních vad, povrchových vad a rozměrovou kontrolu.

Laser scanning

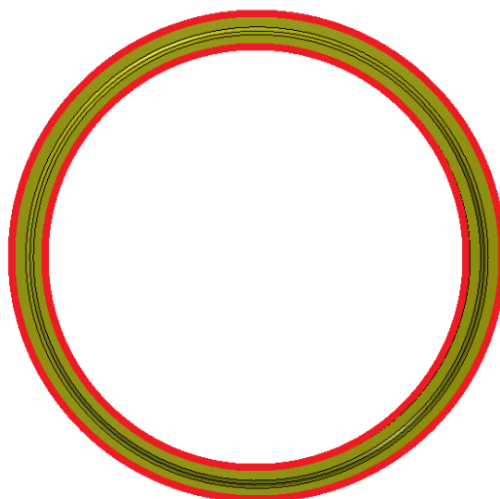
Rozměrová kontrola pomocí laser scanningu je ve výrobní hale ve Svitavách již využívaná při výrobě komínových vložek, kdy komínová vložka projde procesem výroby drážky a jejímu začištění. Po této operaci dochází k laserové kontrole požadovaných rozměrů. Při nedodržení předepsaných požadavků je komínová vložka vrácena zpět do zakladače a opětovně zpracována.

Toto zařízení by mohlo být využito i v nově navrhovaném kontrolním stanovišti. Jedná se o laser scanning komínové vložky ve vodorovné poloze, kdy dojde k naskenování kruhových a délkových rozměrů. Stanoviště laserové kontroly musí být dobře zakryté, aby nedocházelo k ovlivňování měření okolním světlem. Tento způsob kontroly je velice rychlý a dosahuje vysoké přesnosti, která je v tomto případě dostatečná. Program propojený s touto kontrolou získává vyhodnocení v reálném čase a získaná data odesílá do centrálního řídicího systému, který zpracovává data ze všech procesů a řídí celou automatickou linku. Zařízení pro laserovou kontrolu rozměrů je na Obrázek 40.



Obrázek 40 Laserová kontrola rozměrů

Laserová kontrola je řešena pomocí dvou laserových snímačů, upevněných na otočném držáku, který umožní nasnímat celý obvod komínové vložky. Laserové snímače snímají kruhovitost komínové vložky a správný tvar vytvořené drážky a pera, zajišťující napojení více komínových vložek na sebe. Laserové skenování dokáže měřit odchylky v dostatečné přesnosti pro tuto aplikaci. Obrázek 41 zobrazuje červenou barvou kruhové rozměry, které jsou pomocí laserových paprsků snímány. Pomocí laserových paprsků je snímán i celý meziprostor, kde se měří pero či drážka komínové vložky.

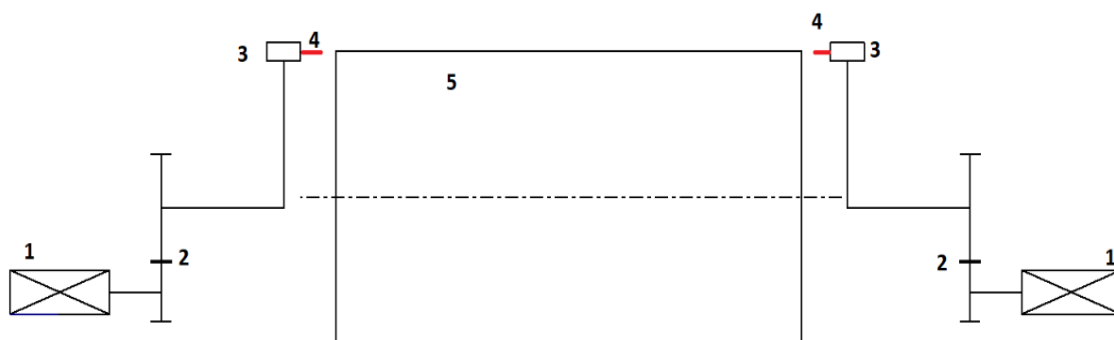


Obrázek 41 Snímání komínové vložky

Na Obrázek 42 je znázorněno kinematické schéma laserového snímání komínové vložky. Pohon laserových snímačů je řešen pomocí samostatných motorů. Tyto motory jsou propojeny ozubenými převody na laserový snímač. Daná rotace motoru otáčí laserový snímač o 360° a tím se tak docílí naskenování celého obvodu komínové vložky.

Body na obrázku znázorňují:

1. Pohonné jednotky laserových snímačů
2. Ozubený převod
3. Laserový snímač
4. Laserový paprsek
5. Komínová vložka



Obrázek 42 Kinematické schéma – Laser scanning

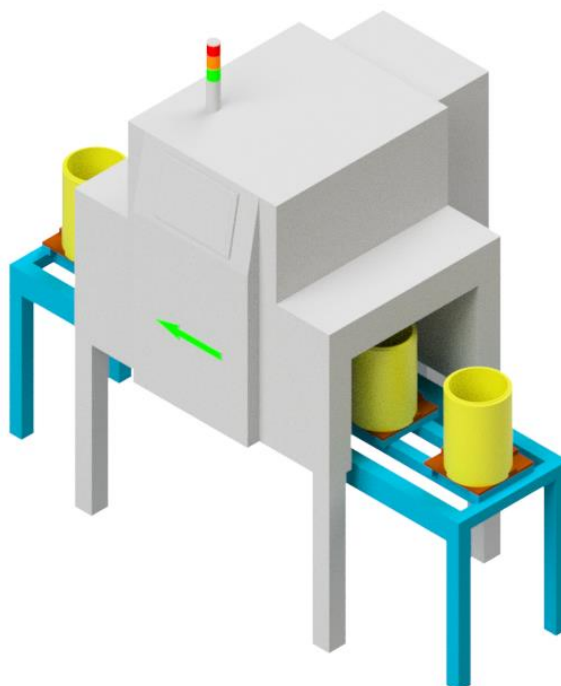
V současné době probíhá na kontrolním stanovišti pouze kontrola kruhovitosti pomocí železného kalibru. Laserové snímání však umožňuje kontrolu více rozměrů v jednom kroku. Na Obrázek 43 jsou znázorněny možné rozměry, které lze skrze laserové snímání kontrolovat.



Obrázek 43 Kontrolované rozměry pomocí laserového snímání

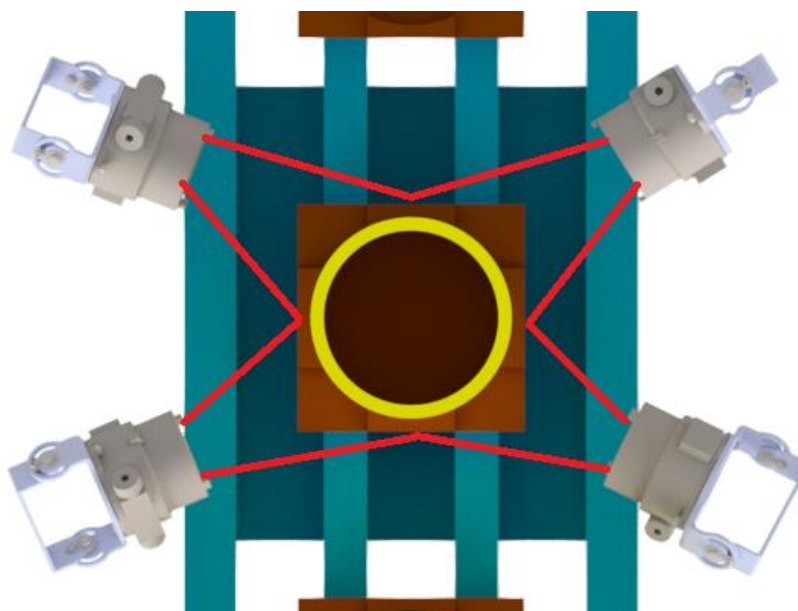
Zvuková kontrola a kamerová kontrola

Nově navrhovaná technologie pro kontrolu vnitřních vad se nazývá zvuková kontrola vnitřních vad. Tato technologie pracuje na principu mechanického poklepu do materiálu. Na základě odezvy materiálu na tento úder, lze slyšet změny vlastní frekvence tělesa. Tyto změny mohou upozorňovat na skrytou trhlinu, póry, nebo jinou vnitřní vadu. Technologie zvukové defektoskopie požaduje dostatečné izolování od okolního prostředí, aby nedocházelo k vstupu nežádoucím jevům, které by mohly ovlivnit kvalitu prováděné kontroly. V tomto stanovišti je také zároveň počítáno s kamerovou kontrolou povrchových vad. Pomocí kamer a strojového vidění by v tomto stanovišti docházelo k identifikaci povrchových vad jako jsou: vytaveniny, povrchové praskliny a jiné vizuální vady. Pro snímání inteligentními kamerami je velice důležité kvalitní osvětlení celé komínové vložky, aby došlo ke správnému vyhodnocení povrchových vad. Tento systém by prováděl vyhodnocení v reálném čase v taktu krokového dopravníku. Po odeslání dat centrálního řídicího systému by docházelo k identifikaci vadných kusů, které by byly na konci automatické linky vyhazovány do odpadních kontejnerů. Stanoviště zvukové kontroly vnitřních vady a kamerové kontroly povrchových vad je zobrazeno na Obrázek 44



Obrázek 44 Zvuková a kamerová kontrola

Na Obrázek 45 je schématicky znázorněno snímání komínové vložky pomocí inteligentních průmyslových kamer. Snímání je prováděno pomocí čtyř kamer, rozmístěných tak, aby dokázaly zachytit celý vnější povrch komínové vložky. Inteligentní průmyslové kamery dokáží identifikovat veškeré povrchové vady, které mohou na komínových vložkách vznikat.



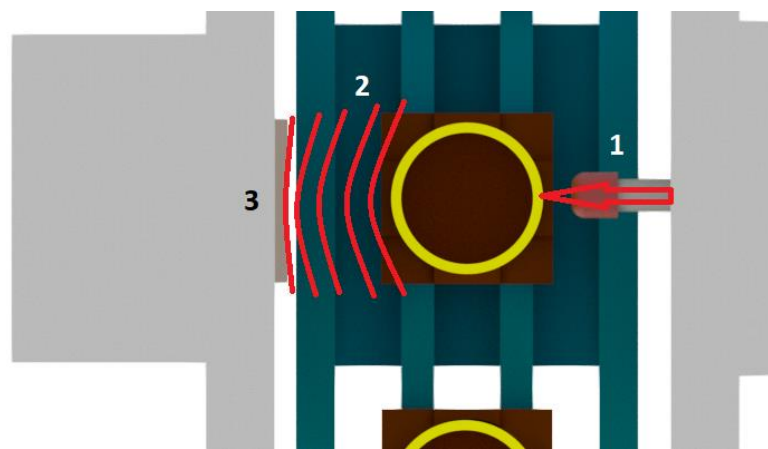
Obrázek 45 Kamerové snímání povrchových vad

Na Obrázek 46 je schématicky naznačeno zvukové snímání komínové vložky. Červené pruhy znázorňují zvukové vlny vyslané po úderu výsuvným úderovým zařízením. Metoda

zvukové defektoskopie využívá změn vlastních zvukových frekvencí materiálu. Při výskytu vnitřních vad dojde ke změně vlastní zvukové frekvence. Tímto způsobem je možné odhalit množství vnitřních vad, které při výrobě komínových vložek mohou vznikat jako například trhliny, póry, vměstky, dutiny atd..

Body na obrázku znázorňují:

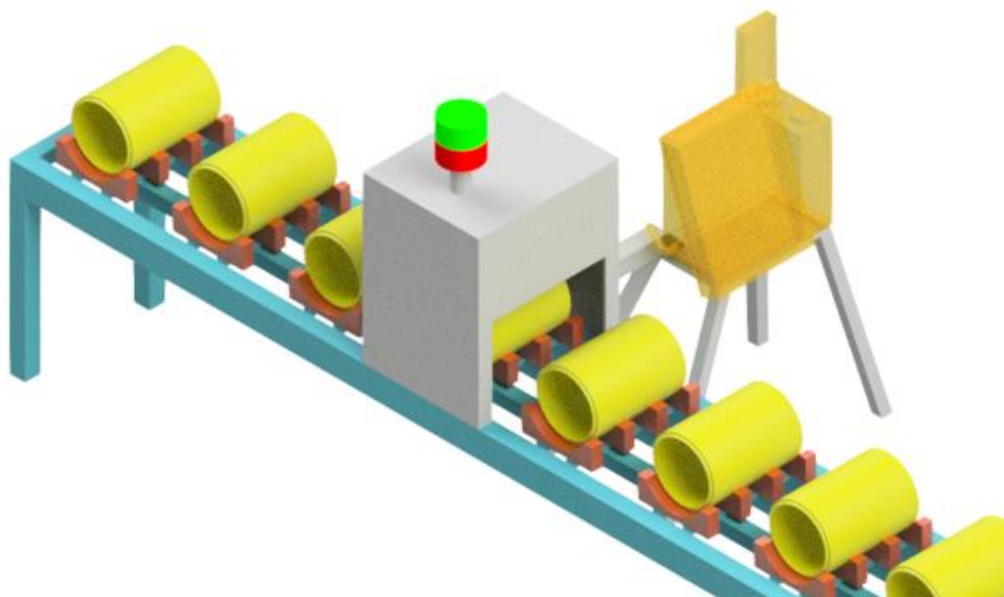
1. Výsuvné zařízení pro úder do komínové vložky
2. Zvukové vlny vyslané po úderu do komínové vložky
3. Zařízení pro zachycení zvukových vln



Obrázek 46 Zvukové snímání vnitřních vad

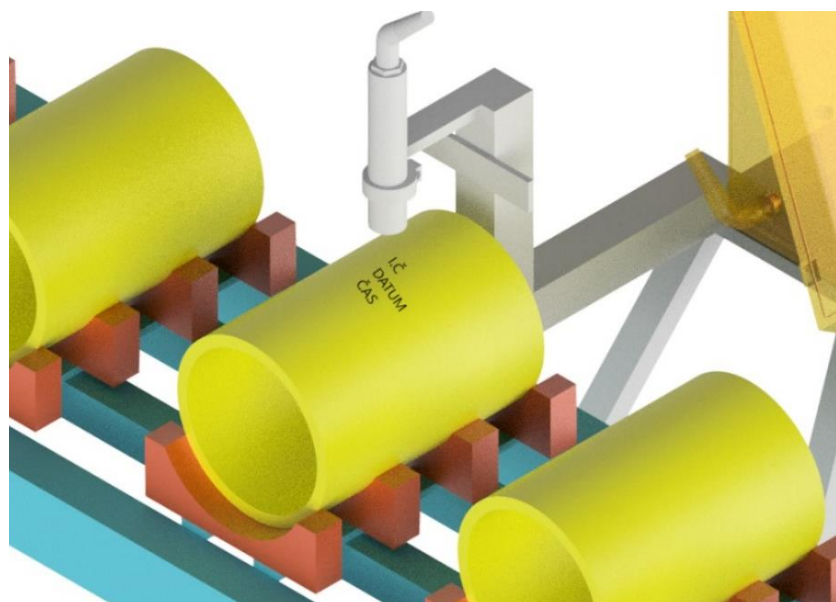
Značící stanice

Posledním důležitým krokem v automatické kontrolní lince je označení komínových vložek. Toto označení by probíhalo ve značícím zařízení pomocí inkoustového nástřiku. Každá komínová vložka by tak měla na povrchu důležitá data o výrobě. Značící stanice by se nacházela v poslední fázi automatické kontrolní linky. Z centrálního řídicího systému by přicházela informace, zda se jedná o vadný kus, který by se neznačkoval, anebo zda jde o kus, který splnil veškeré požadavky a poté by došlo k nástřiku daných informací. Značící stanice je zobrazena na Obrázek 47



Obrázek 47 Značící stanice

Nástřik na komínové vložky by byl jen povrchový a neohrožoval by tak správnou funkčnost komínové vložky. Nástřik potřebných údajů je řešen pomocí průmyslové inkoustové tiskárny, která má 100 % ochranu proti prachu. Tiskárna umožňuje nekontaktní označování porézních i neporézních materiálů. Rychlost tisku může být až 10 m/s při tisku 5-ti řádků. Ovládání tiskárny je řešeno dotykovou obrazovkou a lze ovládat přes centrální řídicí systém. Detail tiskové hlavy a způsob nanášení inkoustové barvy je ukázán na Obrázek 48.

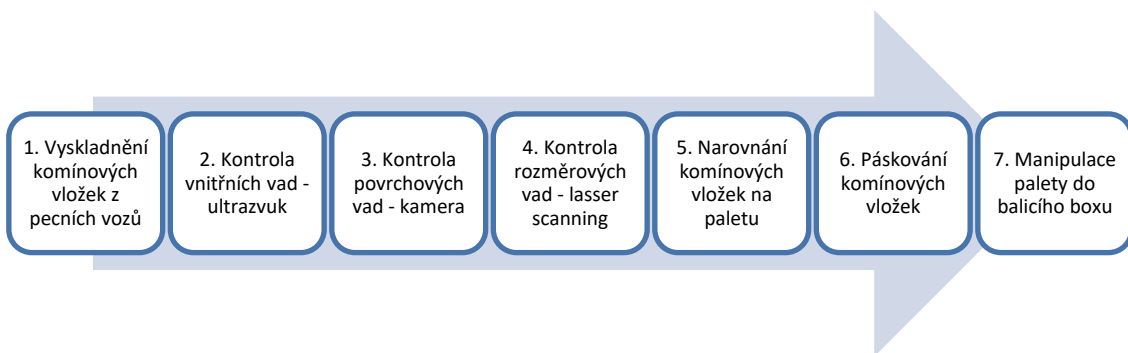


Obrázek 48 Nástřik a tisková hlava

Všechny použité technologie je možné v automatické lince podle potřeby upravovat. V návrzích jsou zobrazena možná řešení. Finální řešení při reálné implementaci do výrobního podniku by bylo řešeno společně s dodavatelskou firmou výše zmíněných technologií.

8.3 Varianta automatické kontrolní linky s lidskými pracovníky

Prvním návrhem nového stanoviště automatické kontroly je provedení kontroly s částečným využitím lidské práce. Jedná se o variantu, která využívá automatických strojů pro provedení kontrolních operací. Manipulační činnosti jsou však stále realizovány pomocí lidských pracovníků, kteří vykonávají stále náročnou manuální činnost. V tomto návrhu však odpadá lidský faktor, který v současné době ovlivňuje třídění komínových vložek na správné a vadné kusy. Grafický návrh procesu kontroly kvality varianta 1 je zobrazen na Obrázek 49.



Obrázek 49 Grafický návrh-varianta 1

8.3.1 Návrh a Popis varianty 1

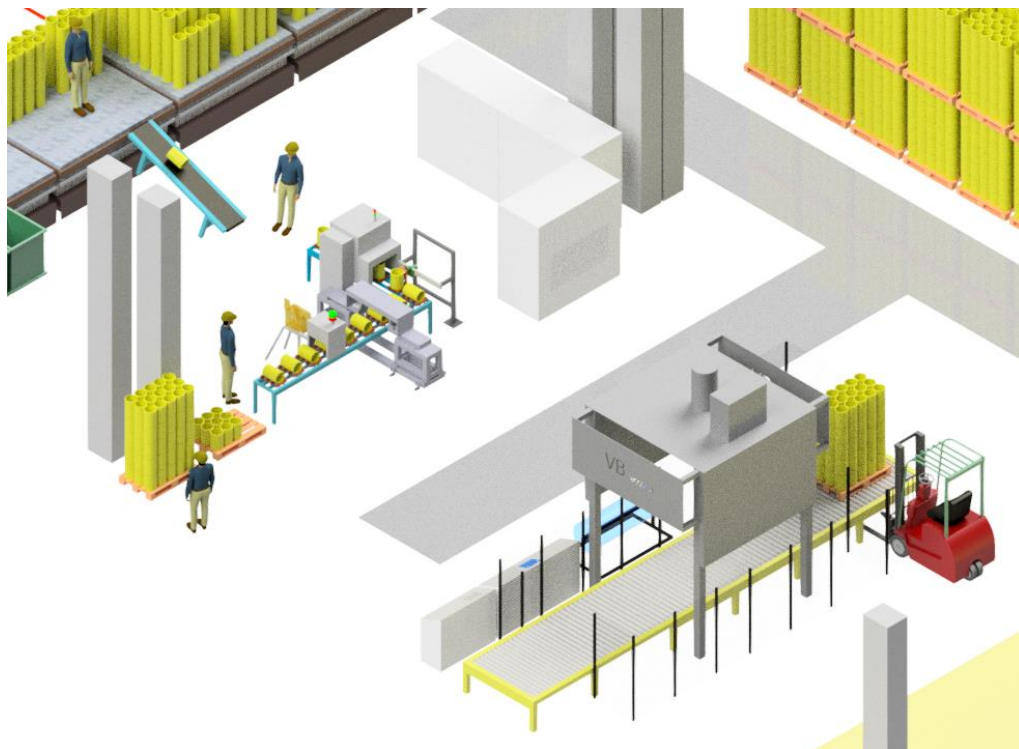
Komínové vložky přivezené na pecních vozech na nové stanoviště kontroly by pracovník podával z pecních vozů na pogumovaný skluz, po kterém by komínové vložky sjížděli k dalšímu pracovníkovi, který by je kus po kuse pokládal na krokový dopravník. Na tomto dopravníku by komínová vložka stála svisle nahoru. Komínová vložka by projela stanovištěm zvukové a kamerové kontroly, kde by se provedlo vyhodnocení. Komínové vložky jsou na pecních vozech vyskládány v sloupcích po 3 až 4 kusech. Celý sloup komínových vložek je na pecním voze položen na keramickém pecním kroužku, který se po odebrání vrací zpátky do výroby ve formě recyklátu. Pecní kroužek může být ke spodní komínové vložce připečený a je zapotřebí ho mechanicky odrazit. Toto stanoviště by tak obsahovala pouze monotónní manipulaci s komínovými vložkami. Rychlost vykládky komínových vložek z pecních vozů by také ovlivňovala

rychlost kontroly. Pracovníci by v tomto návrhu museli přenosit velké množství komínových vložek za celou směnu.

Po vyložení z pecního vozu by komínová vložka projela stanovištěm zvukové a kamerové kontroly a provedlo se vyhodnocení, došlo by k otočení komínové vložky pomocí otočného manipulátoru do vodorovné polohy. Manipulátor by komínovou vložku uchopil a položil na další krokový dopravník. Na tomto dopravníku by komínová vložka ležela vodorovně ve speciálních držácích a přijela by do stanoviště rozměrové kontroly. Zde by pomocí laser scanningu proběhlo měření délkového rozměru, kruhových rozměrů, a hlavně rozměru spojovací drážky, která zaručuje správnou funkčnost.

V případě shody by po laserové kontrole proběhlo ve značící stanici označení komínové vložky a na konci dopravníku by byla komínová vložka odebrána dalším pracovníkem. Tento pracovník by odebíral komínové vložky. V případě, že by komínová vložka splňovala veškeré podmínky kontrolních operací, skládal by komínové vložky na připravenou paletu. V případě zjištění rozměrových nedostatků by byla komínová vložka vyhozena do odpadního kontejneru, který by byl po naplnění odvezen na další zpracování jako recyklát. Při vyrovnání jedné řady by pracovník provedl proložení tenkou fólií a pěnovou fólií tak jako v současném stavu a následovalo by vyskládání celé palety.

Po poslední fázi by již navazovaly výše popsané fáze, které probíhají v současném stavu. Určený pracovník by provedl výstupní kontrolu celé palety a zapáskoval by komínové vložky ve dvou horizontálních pozicích. Poté by provedl nasazení ochranných papírových rohů a zapáskoval by paletu vertikálně pomocí 4 pásků. Tím by došlo k zajištění komínových vložek na paletě. Následně by pracovník přiložil k paletě paletový list a razítkem by potvrdil možnost expedice. Přivolaná obsluha vysokozdvížného vozíku by tak mohla odvézt celou paletu k současnému umístění balicího boxu. Celý kontrolní proces je znázorněn na Obrázek 50















Obrázek 50 Kontrolní proces – varianta 1

Po manipulaci k balicímu boxu by zapáskovaná paleta plná komínových vložek projela procesem balení, který je již ve výrobním podniku zaveden. Po důsledném zabalení a označení celé várky komínových vložek by obsluha vysokozdvížeňového vozíku vyzvedla zabalenou paletu komínových vložek a odvezla do externích skladových prostor.

8.3.2 Zhodnocení varianty 1

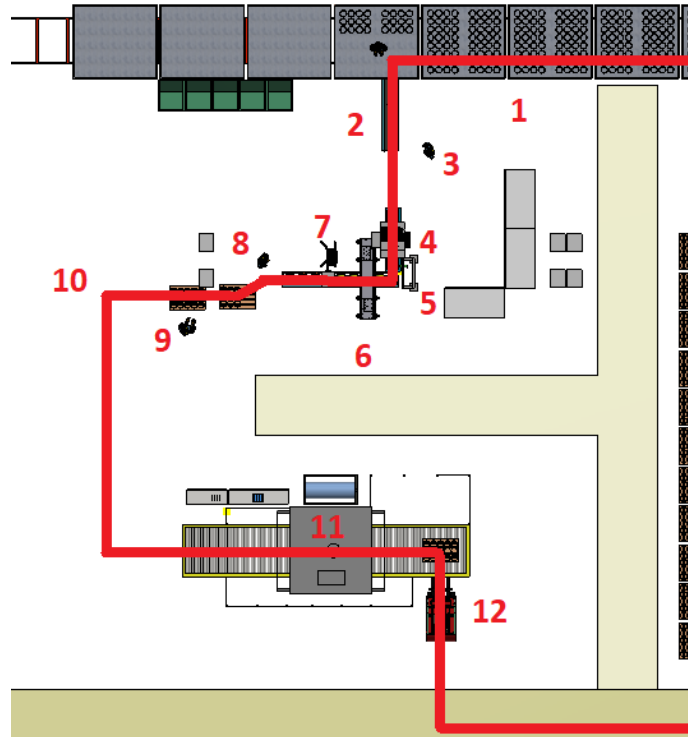
Tímto způsobem by bylo docíleno zajištění automatické kontroly, která by byla prováděna na dvou stanovištích automatické kontrolní linky. Jedno stanoviště obsahuje zvukovou defektoskopii a zároveň snímání povrchu inteligentní kamerou a druhé stanoviště provádí automatickou kontrolu rozměrů. Způsob nahrazení lidské kontroly by dokázal zajistit 100% kontrolu komínových vložek. V této variantě by však stále zůstala namáhavá a monotónní práce s vykládkou komínových vložek z pecních vozů a následná nakládka vyhovujících kusů na paletu. Grafické zobrazení způsobu provedení a použitých nástrojů a technologií u základních operací je na Obrázek 51.

Operace	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Způsob provedení							
Použitý nástroj							

Obrázek 51 Způsob provedení – varianta 1

Celkový tok materiálu ve variantě 1 je na Obrázek 52 označen červenou barvou a jednotlivé body označují místa:

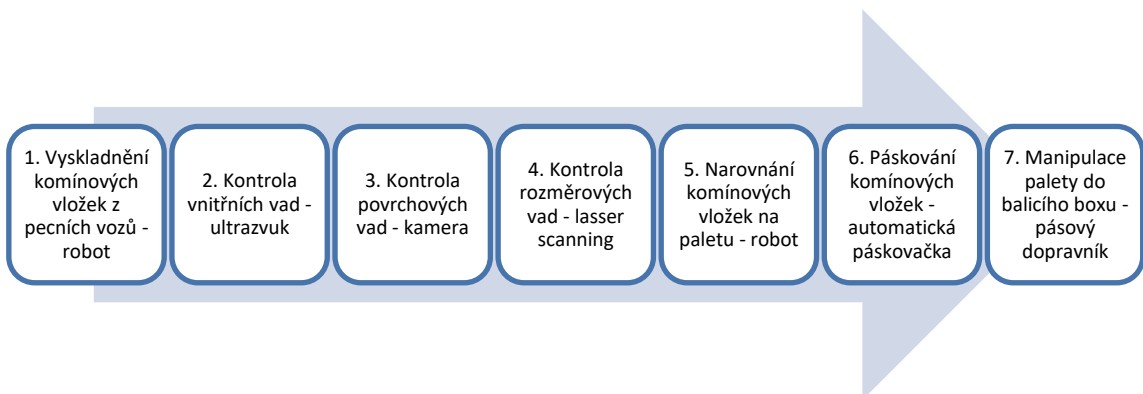
1. Příjezd komínových vložek
2. Ruční vykládka komínových vložek z pecních vozů
3. Položení komínové vložky na krokový dopravník
4. Stanoviště automatické kontroly vnitřních vad pomocí zvuku a povrchových vad pomocí inteligentních kamer
5. Otočení komínové vložky pomocí otočného manipulátoru
6. Stanoviště automatické rozměrové kontroly pomocí laser scanningu
7. Stanoviště označení komínových vložek
8. Ruční vykládka komínových vložek na paletu
9. Výstupní vizuální kontrola celé palety, zapáskování a přiložení evidenčního listu
10. Manipulace palety pomocí vysokozdvizného vozíku
11. Zabalení palety v současném balicím boxu
12. Naložení zabalené palety pomocí vysokozdvizného vozíku a transport do externího skladu



Obrázek 52 Tok materiálu – varianta 1

8.4 Varianta automatické kontrolní linky s robotickými manipulátory

Druhým návrhem nového stanoviště automatické kontroly je plně automatizovaná kontrolní linka s použitím robotů a manipulátorů. Jedná se o variantu, která již nevyžaduje zásah lidské práce a funguje také na principech Průmyslu 4.0. V této variantě se využívá automatických strojů pro provedení kontrolních operací a robotických zařízení pro manipulaci s komínovými vložkami. Grafický přehled nového návrhu je na Obrázek 53.

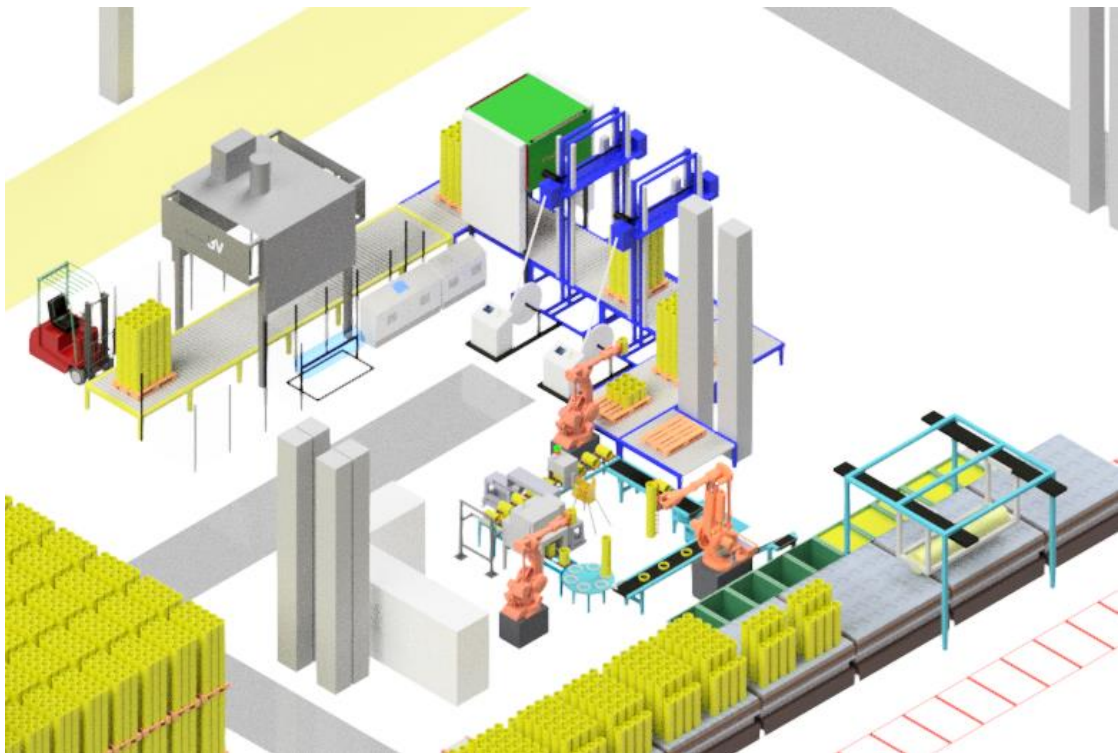


Obrázek 53 Proces kontroly – varianta 2

V tomto procesu jsou již všechny operace včetně manipulačních automatizované. Jejich detailní popis je v následující podkapitole.

8.4.1 Popis a návrh varianty 2

V této kapitole je detailně popsán návrh plně automatické linky s automatickou kontrolou a robotickými manipulátory. Celkový pohled na navrženou linku umístěnou ve výrobní hale Svitavy je na Obrázek 54. Tento pohled zobrazuje také ovládací panely a možnosti ovládání automatické linky.

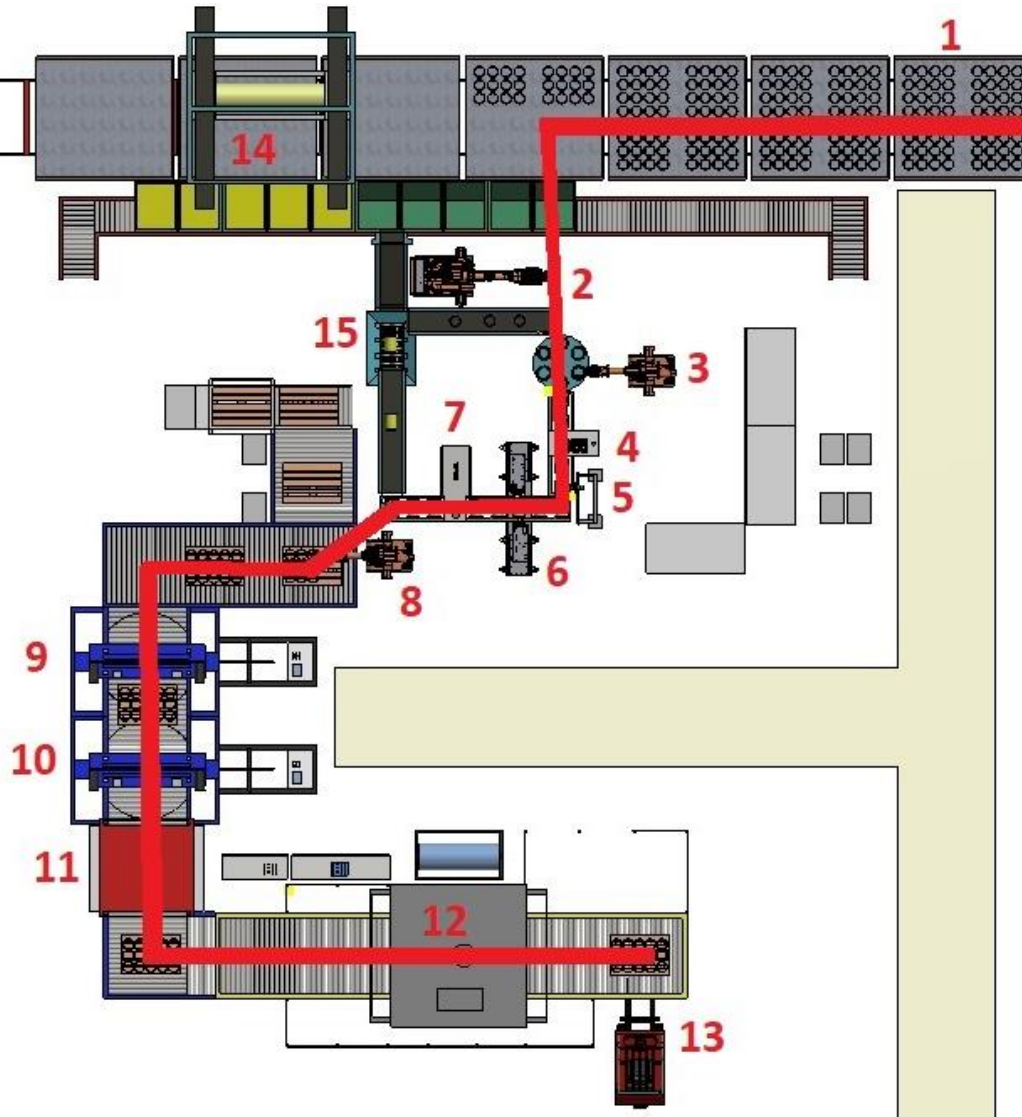


Obrázek 54 Pohled na automatickou linku

Na Obrázek 55 je automatická linka pro kontrolu kvality komínových vložek znázorněna z horního pohledu. Červenou čarou je znázorněn tok komínových vložek celou kontrolní linkou od pecních vozů až po nakládku celé palety zabalené v balicím boxu pomocí vysokozdvizného vozíku. Čísla pak znázorňují následující operace:

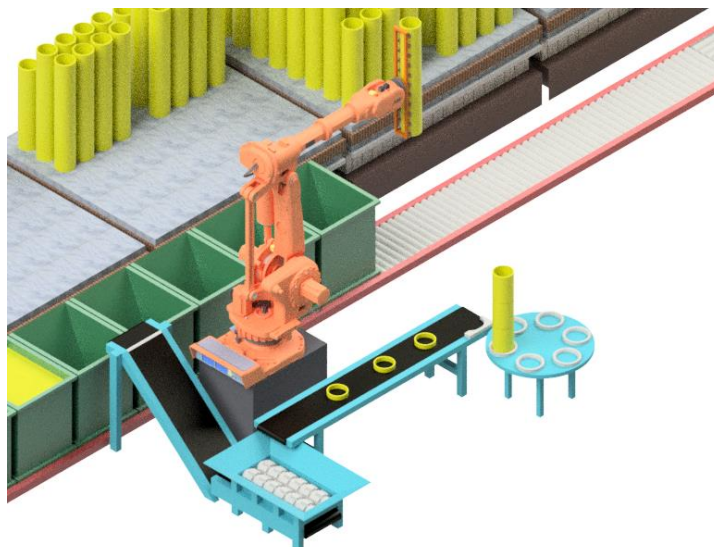
1. Příjezd pecních vozů s komínovými vložkami po současných kolejkách
2. Vyložení komínových vložek pomocí robotického manipulátoru na otočný stůl
3. Rozložení sloupce komínových vložek pomocí robotického manipulátoru po jedné na krokový dopravník

4. Provedení automatické zvukové kontroly vnitřních vad a kamerové kontroly povrchových vad
5. Uchopení komínové vložky pomocí otočného manipulátoru a položení komínové vložky do vodorovné polohy na druhý krokový dopravník
6. Rozměrová kontrola pomocí laser scanningu
7. Označení komínových vložek
8. Vyrovnání komínových vložek, které splnily veškeré podmínky kontrolních operací, pomocí robotického manipulátoru na připravenou paletu
9. Horizontální zapáskování palety komínových vložek
10. Vertikální zapáskování palety komínových vložek
11. Označení palety komínových vložek evidenčním listem
12. Zabalení palety komínových vložek v balicím boxu
13. Transport zabalené palety pomocí vysokozdvižného vozíku
14. Zametení prázdného pecního vozu od keramických střepů a prachu do připravených kontejnerů
15. Drcení vadných komínových vložek a pecních kroužků



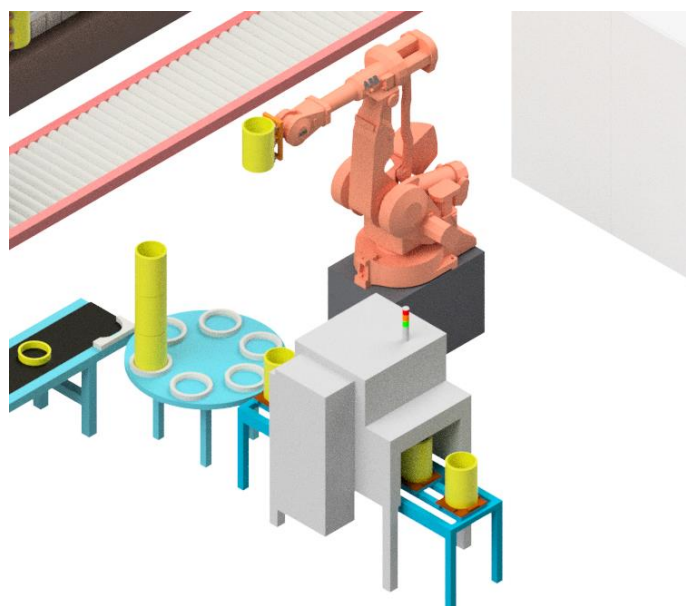
Obrázek 55 Tok materiálu – varianta 2

V následujícím popisu jsou detailněji popsány jednotlivé kroky kontrolního procesu. Komínové vložky přivezené na pecních vozech do nového stanoviště kontroly by byly skládány pomocí robotického manipulátoru se speciálními koncovými efekty pro přenos až čtyř kusů komínových vložek najednou. Robot by přenesl všechny čtyři kusy na otočný stůl. Cestou by pomocí koncového efektoru odpadl podkladový prsten, který se používá jako podložka pro komínové vložky na pecní vozy. Podkladový prsten by odjel pomocí pásového dopravníku do drtiče a následně do odpadního zásobníku. Roboti se speciálními koncovými efekty jsou již využívány v automatické lince produkující tyto komínové vložky. V tomto použití by se dalo využít stejných koncových efektorů. Vyskladňování komínových vložek a položení na otočný stůl je zobrazeno na Obrázek 56.



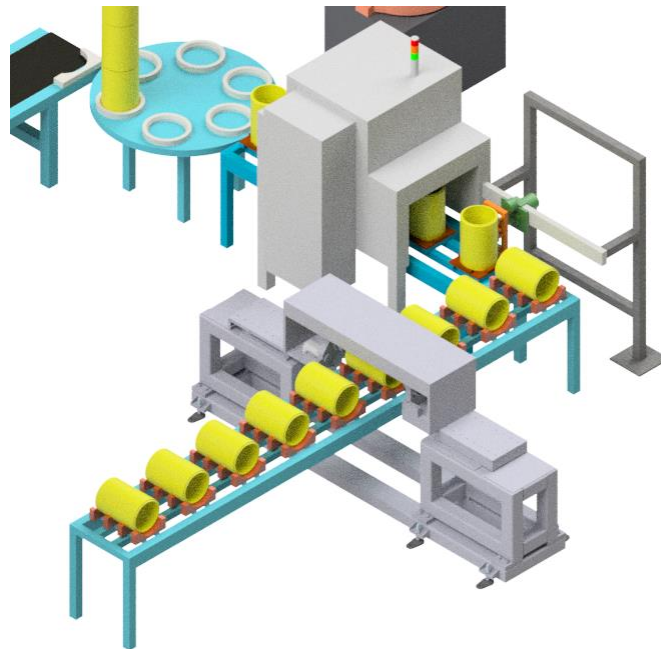
Obrázek 56 Přesun komínových vložek z pecního vozu na otočný stůl

Po této fázi je zapotřebí rozložit komínové vložky, které jsou v pecních vozech po 3 až 4 kusech na sobě, po jedné na pásový dopravník, po kterém by pak komínová vložka projížděla samostatně do první kontroly. První kontrola se skládá ze zvukové kontroly vnitřních vad a zároveň také ze snímání povrchových vad pomocí inteligentní kamery. Tímto kontrolním stanovištěm projíždí komínová vložka ve svislé poloze. Data získaná při každé komínové vložce jsou v reálném čase vyhodnocena a odeslána do centrálního řídicího systému. Na rozložení komínových vložek je použit další robotický manipulátor. Pro přesun komínových vložek kontrolní linkou je využit krokový dopravník. Návrh umístění robota a kontrolního stanoviště je zobrazen na Obrázek 57.



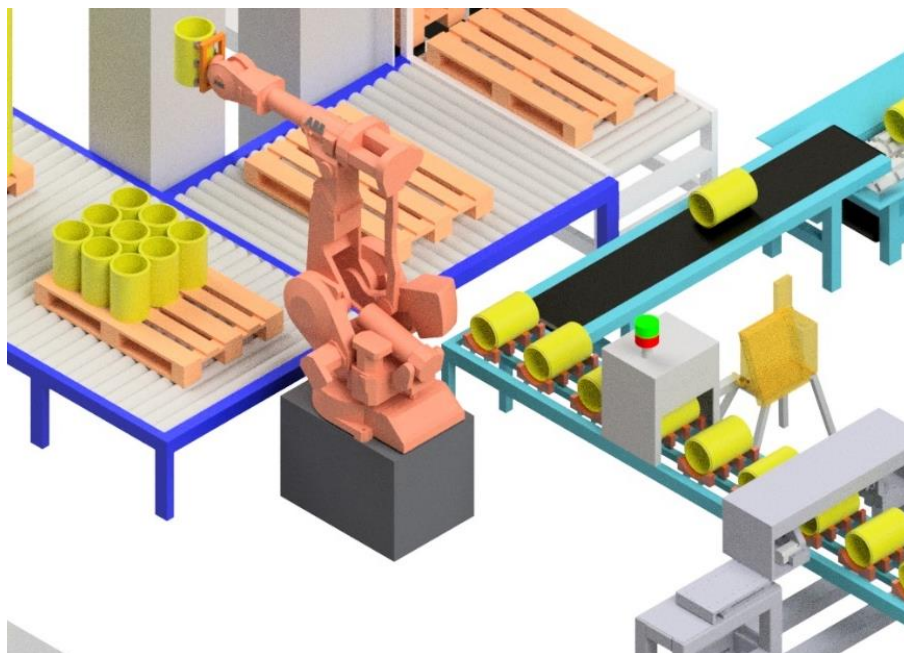
Obrázek 57 Rozložení komínových vložek a kontrolní stanoviště

Dalším krokem je přípravná fáze na druhé kontrolní stanoviště. Druhé kontrolní stanoviště provádí kontrolu rozměrů pomocí laser scanningu. Pro možnost proměření tímto způsobem je zapotřebí převrátit komínovou vložku ze svislé polohy do polohy vodorovné. Tento krok je realizován pomocí jednoduchého otočného manipulátoru, který speciálním koncovým efektozem uchopí stojící komínovou vložku, otočí ji do vodorovné polohy a položí na další krokový dopravník, který má držáky na komínové vložky. Takto položené komínové vložky projíždí laserovou rozměrovou kontrolou. Laserové snímače provedou vyhodnocení rozměrů, a především drážek pro napojování komínových vložek. Kontrolní stanoviště provede vyhodnocení a odešle data do centrálního řídicího systému. Otočný manipulátor a stanoviště laserové kontroly je na Obrázek 58.



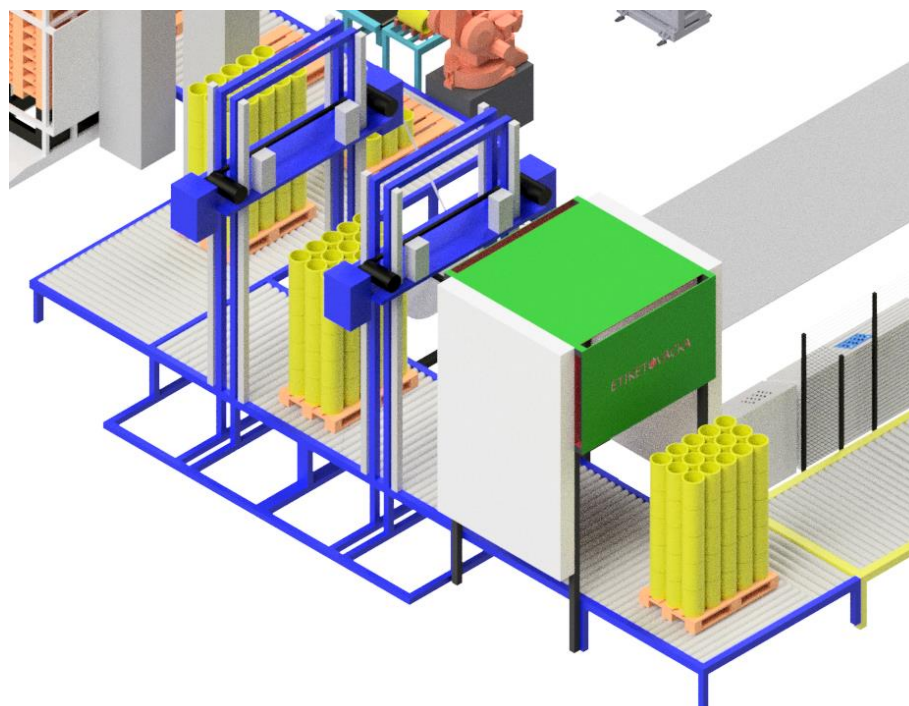
Obrázek 58 Otočný manipulátor a laser scanning

Po projetí všech stanovišť kontroly nastává fáze označení komínových vložek. Ve značícím stanovišti dojde k označení kusů, které projely kontrolou a splnily všechny podmínky. Tyto komínové vložky jsou robotickým manipulátorem vyskládány na připravenou paletu, která přijíždí po válečkovém dopravníku na palety ze zásobníku palet. Kusy, které nevyhovují a nesplňují podmínky kontroly, jsou robotickým manipulátorem položeny na pásový dopravník, který vadné kusy odveze do drtičky, do které již padají prstýnky z vyskladňovací fáze. Z drtičky putuje nadrcená směs do přistavených kontejnerů, které po válečkové dráze odjíždí do místa, ze kterého jsou odebrány pro další recyklaci materiálu. Návrh řešení tohoto kroku je na Obrázek 59.



Obrázek 59 Značení a vyrovnání komínových vložek na paletu

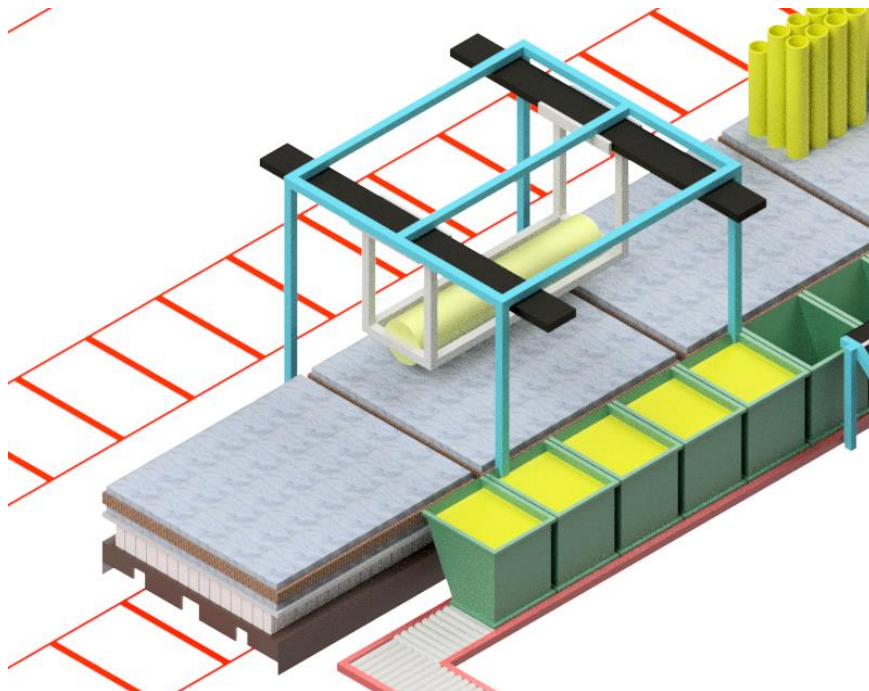
V další fázi, kdy dojde k plnému vyrovnání komínových vložek na paletu, přejde plná paleta po válečkovém paletovém dopravníku do stanoviště páskování. Zde je provedeno horizontální a vertikální zapáskování komínových vložek, což zabrání sesypání z palety. Po správném zapáskování přejde celá paleta do etiketovačky, kde dojde k označení várky komínových vložek. Páskování a etiketovací stanice jsou zobrazeny na Obrázek 60.



Obrázek 60 Páskovací a etiketovací fáze

Po zapáskování a označení celé palety komínových vložek nastává fáze zabalení komínových vložek v balicím boxu. Napojení automatické kontrolní linky na stávající umístění balicího boxu bylo z jednou omezujících podmínek návrhu celé kontrolní linky. Pro splnění podmínky bylo nutné zachovat také možnost balení jiných produktů přivezených do balicího boxu z jiných pracovišť. Tato podmínka je splněna pomocí válečkového dopravníku, na který přijíždí paleta komínových vložek z etiketovačky a zároveň lze k válečkovému dopravníku přijet ve vysokozdvizném vozíku a položit na dopravník paletu s jinými výrobky. Po projetí balicím boxem a zabalením do ochranné fólie dojde paleta komínových vložek po válečkovém dopravníku k místu, kde dojde k vyzvednutí palety pomocí vysokozdvizného vozíku a transportu palety do skladu.

Posledním zařízením instalovaným v automatické kontrolní lince je zařízení, které provádí úklid pecních vozů. Pecní vozy přijedou po kolejích z pecí a mohou obsahovat kousky vypálené keramiky. Na pecních vozech mohou zůstat i kusy komínových vložek po jejich vyložení na otočný stůl. Pecní vůz je tak zapotřebí před dalším použitím uklidit. V návrhu je tento problém vyřešen pomocí rotačního zametacího kartáče, který přejede přes celý pecní vozík. Tím dojde k uklizení všech kousků a prachu keramiky. Odpad od zametacího kartáče padá do přistavených odpadových kontejnerů, které odjíždí po naplnění na válečkové dráze do místa odběru a další recyklace. Zametací kartáč pecních vozů je na Obrázek 61.



Obrázek 61 Čištění pecních vozů pomocí rotačního kartáče

8.4.2 Zhodnocení varianty 2

Tímto způsobem by bylo docíleno zajištění automatické kontroly, která by byla prováděna na dvou stanovištích automatické kontrolní linky. Jedno stanoviště obsahuje zvukovou defektoskopii a zároveň snímání povrchu inteligentní kamerou a druhé stanoviště provádí automatickou kontrolu rozměrů pomocí laser scanningu. Způsob nahrazení lidské kontroly by dokázal zajistit 100% kontrolu komínových vložek stejně jako v předchozí variantě. Tato varianta však odstraňuje také monotónní a opakující se manipulační práce s komínovými vložkami mezi jednotlivými procesy. Všechny manipulační i kontrolní operace jsou v této variantě řešeny pomocí robotických manipulátorů a automatických strojů. Grafické zobrazení způsobu provedení a použitých nástrojů a technologií je zobrazeno na Obrázek 62.

Operace	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Způsob provedení							
Použitý nástroj							

Obrázek 62 Způsob provedení – varianta 2

Z tohoto obrázku je patrné, že všechny procesy ve variantě 2 jsou prováděny pomocí automatických strojů a zařízení a není tak zapotřebí žádný zásah fyzicky náročné lidské práce.

8.5 Průmysl 4.0 – implementace do výrobního procesu

Při tvorbě návrhu nové automatické linky byl kladen důraz na získ veškerých dat z kontrolních operací. V současné době jsou z procesu kontroly generovány pouze čísla vadných kusů na daném pecním vozu. Při využití automatizovaných kontrolních prostředků, je možné získávat mnohem větší množství dat k následnému zpracování. Ve výrobním podniku P-D Refractories CZ a.s. je snaha o získ dat, které mohou ovlivňovat výslednou kvalitu. Prvotní data z výrobního procesu nesou informaci o vstupních surovinách a doby jejich uskladnění. Dále jsou

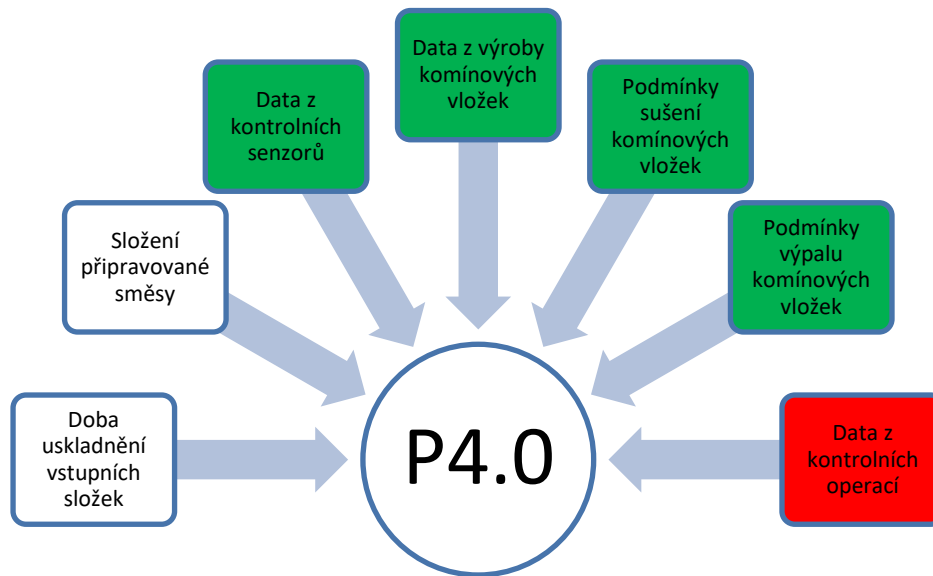
ve výrobním procesu instalovány inteligentní senzory, které snímají veškeré informace o namíchané směsi pro extruzi komínových vložek. Ve výrobním podniku již také funguje automatizovaná linka pro výrobu komínových vložek, která generuje množství dat získaných při procesu výroby. V této automatizované lince je zabudovaná prvotní laserová kontrola rozměrů, která snižuje množství vadných kusů odeslaných do tunelových pecí. Další data, která lze v současném stavu získat z výrobního procesu jsou data z tunelové pece. Na Obrázek 63 jsou v levém sloupci zelenou barvou vyznačeny fáze výrobního procesu, které generují data pro další zpracování. V pravém sloupci jsou vypsány druhy dat, které jednotlivé fáze výrobního procesu generují. Červenou barvou jsou zobrazeny operace ve výrobním procesu, které v současné době negenerují žádná relevantní data pro další zpracování.



Obrázek 63 Získání dat z výrobního procesu

Při zavedení navrhované varianty pro automatickou linku kontroly kvality by však i kontrolní operace generovaly velké množství dat pro další zpracování. Při úplném propojení všech procesů, které generují určitá data, v konceptu Průmyslu 4.0, by bylo možné ve značící stanici označit komínovou vložku jedinečnými identifikačními údaji, které by zahrnovaly kompletní informace o celém výrobním procesu komínové vložky. Získávání dat a práce s velkými daty by vyžadovala odborné zpracování, které by zajišťovalo výstupní informace, které

by mohly ovlivňovat celý proces výroby komínových vložek. Zisk dat z jednotlivých procesů v Průmyslu 4.0 je na Obrázek 64



Obrázek 64 Zisk dat v Průmyslu 4.0

Na Obrázek 64 je červenou barvou zvýrazněn zisk dat z nově navrhovaných automatických kontrolních stanovišť. Při důkladném zpracování získaných dat z kontrolních operací by tato data mohla sloužit k úpravě předcházejících procesů a snížit tak vstupní náklady na výrobu komínové vložky společně se snížením počtu vadných kusů. Bílou barvou jsou vyznačena data, která se v současné době zapisují pouze v papírové formě. I tyto informace by však šly nahrávat do počítačových programů a mohly by se využít pro další zpracování.

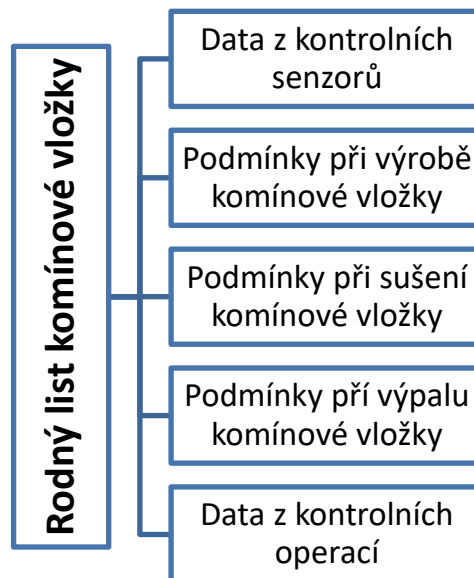
5 kroků úspěšné analýzy Big data ve výrobním podniku Svitavy

1. Zavedení kvalitních technických a technologických zařízení, které dokážou získávat data z výrobního procesu komínových vložek. Je důležité, aby vybraná zařízení dokázaly data zpracovávat v co nejkratším čase je předávat dál.
2. V další fázi je zapotřebí uložení získaných dat ze všech procesů probíhajících při výrobě komínové vložky. Je důležité uloženo dostatečného množství dat, ze kterých bude možné generovat kvalitní prediktivní model. Získaná data z průběhu více let tak mohou být důležitou součástí při ovlivnění celého procesu.

3. V tomto kroku je důležité propojení získaných dat mezi všemi výrobními systémy, které ovlivňují vývoj, výrobu, prodej atd.
4. Dále je zapotřebí provést odbornou analýzu získaných dat a vytvoření prediktivního modelu, který může vést k úpravě jakéhokoliv procesu při výrobě komínové vložky.
5. Poslední fází je aplikace získaných modelů. Úpravou výrobního procesu na základě analýzy Big data, může dojít k vylepšení celého výrobního procesu komínové vložky.

Rodný list komínové vložky

Cílem propojení všech operací v Průmyslu 4.0 je získání jedinečného rodného listu každé komínové vložky. Každá komínová vložka by tak ve značící stanici dostala označení, které by obsahovalo veškerá data z výroby konkrétního kusu komínové vložky. Při načtení vyznačeného kódu by se tak daly zjistit následující informace viz Obrázek 65



Obrázek 65 Rodný list komínové vložky

Tento rodný list by se však mohl ještě rozšířit v případě, že by došlo k lepší práci s daty při těžbě, transportu a uchování vstupních surovin. Tyto informace by rodný list doplňovaly o informace z těžby, doby transportu, či doby uchování vstupních surovin ve výrobním podniku. I tyto data by tak mohla ovlivňovat výstupní kvalitu komínových vložek.

Při úplném propojení všech procesů by bylo možné získat všechny vstupní podmínky, které by byly ideální. Při těchto podmínkách by byly zaručeny minimální počty vadných kusů a tím by se docílilo vyšších zisků celé společnosti. Po nalezení ideálních výrobních podmínek by pak stačilo dodržovat stále stejný výrobní postup při stejných podmínkách.

8.6 Celkové zhodnocení navrhovaných variant

V této kapitole je popsáno celkové zhodnocení obou navrhovaných variant. Dochází zde k porovnání splněných požadavků počátečních podmínek a přehledu finančních investic do obou variant.

Ekonomické zhodnocení – varianta 1

Tato varianta zahrnuje počáteční investice do nových technologií pro automatickou kontrolu a ostatních potřebných zařízení. Předpokládané náklady na pořízení nových technologií a potřebných zařízení je v Tabulka 7

Tabulka 7 Pořizovací náklady – varianta 1

Položka	Množství	Cena
Zvuková a optická kontrola	1	2 800 000 Kč
Laser scanning	1	1 800 000 Kč
Krokové dopravníky	2	500 000 Kč
Otočný manipulátor	1	1 500 000 Kč
Bezpečnostní oplocení	1	400 000 Kč
Elektrická instalace	1	1 000 000 Kč
Sestavení a zprovoznění	1	1 000 000 Kč
Celková cena		9 000 000 Kč

Při použití nových zařízení, které provedou automatickou kontrolu, dojde k ušetření pracovníků, kteří v současné době provádí kontrolu komínových vložek. Jednalo by se o 10 pracovníků kontrolních operací. Na druhou stranu však bude zapotřebí pracovníka, který bude vykládat komínové vložky z pecních vozů, dále pracovníka, který bude otáčet komínové vložky do vodorovné polohy, a pracovníka, který bude vyrovnávat správně vyhodnocené komínové vložky na připravenou paletu. Při takto fyzicky náročné práci nesmí být překročena váhová norma na jednoho pracovníka a je tak zapotřebí počítat s více pracovníky na směnu. Celkové roční mzdové náklady na pracovníky ve variantě 1 jsou zobrazeny v Tabulka 8.

Tabulka 8 Mzdové náklady – varianta 1

Druh práce	Počet pracovníků	Roční mzdové náklady
Vykládka pecních vozů	4	2 000 000 Kč
Manipulační operace	4	2 000 000 Kč
Přeložení KV na paletu	4	2 000 000 Kč
Páskovací operace	1	500 000 Kč
Logistické operace	1	500 000 Kč
Celkové mzdové náklady		7 000 000 Kč

Pomocí nahrazení 10 pracovníků dojde k ušetření 4 000 000 Kč na mzdových nákladech za rok. Přibude však pracovníků, kteří budou manipulovat s komínovými vložkami, kteří na mzdových nákladech zatíží společnost 7 000 000 Kč. Při pořizovacích nákladech ve výši 9 000 000 Kč se tak počáteční investice ve variantě 1 nevrátí.

Splnění omezujících podmínek a požadavků – varianta 1

Varianta 1 splňuje stavební omezující podmínky, které jsou dány umístěním balicího boxu a také logistickými cestami ve výrobním podniku. Dále je splněna podmínka sběru dat z kontrolních operací. Veškerá data z automatických kontrolních stanovišť budou zpracována v centrálním počítači, který dokáže provádět vyhodnocování v reálném čase a ukládat veškerá získaná data. Výsledky a zpracování získaných dat bude možné využít pro úpravu předchozích procesů. V případě získání dostatečného množství dat bude možné určit, jaké vstupní parametry ovlivňují vznikající vady a tím dojde i k možnému snížení počtu vadných kusů, což by přineslo veliké úspory a v případě potvrzení této teorie by i varianta 1 mohla přinést návratnost investic.

Na druhou stranu tato varianta nedokáže splnit podmínku taktu celé linky na 5 vteřin. Rychlost kontrolní linky by nejvíce ovlivňovala rychlost pracovníků při vykládce komínových vložek na pásový dopravník. Při této variantě by pracovníci prováděli stále stejnou práci po dobu celé směny a nelze zaručit pořád stálé tempo. Přehled splněných a nesplněných požadavků ve variantě 1 je v Tabulka 9.

Tabulka 9 Splnění okrajových podmínek – varianta 1

Splněné požadavky	Nesplněné požadavky
Provedení kontroly komínových vložek	Takt kontrolní linky - 5 sekund
Umístění balicího boxu	Zpracování v Průmyslu 4.0
Umístění kolejí pecních vozů	Kompletní automatizovaný proces
Zachování logistických cest	
Sběr dat	
Recyklace vadných kusů	
Označení komínových vložek	
Nakládka na paletu	
Proklad fólií	

Shrnutí varianty 1

Varianta jedna splňuje 9 z 12 počátečních požadavků, které byly známy již před zahájením tvorby návrhu. Počáteční investice do varianty 1 je 9 000 000 Kč a návratnost této investice není zaručená, kvůli vyššímu mzdovým požadavkům na pracovníky provádějící manipulační operace. Varianta 1 je však řešená takovým způsobem, aby mohlo v budoucnosti dojít k rozšíření automatizace a pomocí dalších investic nahradit lidské pracovníky pomocí robotů a manipulátorů.

Ekonomické zhodnocení – varianta 2

Tato komplexní varianta plné automatizace zahrnuje počáteční investice do nových technologií a zařízení. Jedná se o technologie kontrolních operací a robotické manipulátory, včetně speciálních koncových efektorů. Robotické manipulátory s koncovými efekty jsou již ve výrobním podniku instalovány v nové výrobní lince a tak by bylo možné využít stejné typy manipulátorů i koncových efektorů v této variantě. Dále jsou zapotřebí pro přesun komínových vložek mezi jednotlivými operacemi v automatické kontrolní lince krokové a pásové dopravníky. V ekonomickém zhodnocení jsou také zahrnuty zařízení pro práci s plnými paletami komínových vložek. Všechny předpokládané náklady na pořízení nových technologií a potřebných zařízení pro tuto variantu jsou v Tabulka 10.

Tabulka 10 Pořizovací náklady – varianta 2

Položka	Množství	Cena
Lanový posunovač pecních vozů	1	1 500 000 Kč
Roboti a koncové efekторы	3	5 000 000 Kč
Manipulátor	1	1 500 000 Kč
Zvuková a optická kontrola	1	2 800 000 Kč
Laser scanning	1	1 800 000 Kč
Značící stroj	1	1 000 000 Kč
Pásový dopravník	2	500 000 Kč
Krokový dopravník	2	500 000 Kč
Paletový kontejner	1	500 000 Kč
Drtící stroj	1	500 000 Kč
Páskovací stroj	2	2 000 000 Kč
Etiketovací stroj	1	850 000 Kč
Válečkový dopravník pro palety	1	700 000 Kč
Válečkový dopravník pro odpadní kontejnery	1	200 000 Kč
Bezpečnostní oplocení	1	400 000 Kč
Elektrická instalace	1	2 000 000 Kč
Sestavení a zprovoznění	1	1 000 000 Kč
Celková cena		22 750 000 Kč

Při použití nových zařízení, které provedou automatickou kontrolu, dojde k ušetření pracovníků, kteří v současné době provádí kontrolu komínových vložek. Jedná se o 10 pracovníků kontrolních operací. Dále dojde k ušetření pracovníků na pozici logistiky, pracovníka zajišťujícího úklid a práci s recyklátem a také pracovníka, který provádí páskování komínových vložek na paletě. Tímto snížením pracovní síly dojde k ušetření na mzdových nákladech ve výši 6 500 000 Kč za rok. Jediným nárůstem mzdových nákladů v této variantě je mzda programátora a pracovníků, kteří by zajišťovali bezchybný chod celé automatické kontrolní linky. Po odečtení současných mzdových nákladů a přičtení platu programátora a pracovníků, provádějící dohled automatické linky, dojde k ušetření ve výši 4 700 000 Kč za rok. Přehled současných nákladů a celkové ušetření po přičtení platu hlavního programátora a pracovníků dohledu automatické kontrolní linky je v Tabulka 11.

Tabulka 11 Přehled mzdových nákladů – varianta 2

Druh práce	Počet pracovníků	Roční mzdové náklady
Kontrola kvality	10	5 000 000 Kč
Odstraňování odpadu	1	500 000 Kč
Logistické operace	1	500 000 Kč
Páskovací operace	1	500 000 Kč
Celkové současné náklady		6 500 000 Kč
Programátor automatické linky	1	600 000 Kč
Dohled automatické linky	2	1 200 000 Kč
Celkové ušetřené náklady		4 700 000 Kč

Zavedením automatické kontrolní linky dojde k celkovému ušetření na mzdových nákladech ve výši 4 700 000 Kč. Při počátečních pořizovacích nákladech 22 750 000 Kč se počáteční investice díky ušetření na mzdových nákladech vrátí za 4,84 roku. Po uplynutí této doby by již docházelo k návratnosti investice a ušetření velkých prostředků každý rok.

Splnění omezujících podmínek a požadavků – varianta 2

Varianta 2 splňuje stavební omezující podmínky, které jsou dány umístěním balicího boxu a také logistické cesty ve výrobním podniku. Dále je splněna podmínka sběru dat z kontrolních operací. Veškerá data z automatických kontrolních stanovišť budou zpracována v centrálním počítači, který dokáže provádět vyhodnocování v reálném čase a ukládat veškerá získaná data. Výsledky a zpracování získaných dat bude možné využít pro úpravu předchozích procesů. V případě získání dostatečného množství dat bude možné určit, jaké vstupní parametry ovlivňují vznikající vady a tím dojde i k možnému snížení počtu vadných kusů, které by přineslo veliké úspory a v případě potvrzení této teorie by návratnost varianty 2 byla o dost kratší než výše zmíněných 4,84 roku. Tato varianta na rozdíl od první dokáže zaručit splnění požadavku na takt linky, který je stanoven na 5 vteřin. Pomocí naprogramovaných robotických manipulátorů lze tohoto cíle dosáhnout po celou dobu provozu automatické kontrolní linky. Přehled splněných požadavků ve variantě 2 je v Tabulka 12.

Tabulka 12 Splnění okrajových podmínek – varianta 2

Splněné požadavky	Nesplněné požadavky
Provedení kontroly komínových vložek	
Umístění balicího boxu	
Umístění kolejí pecních vozů	
Zachování logistických cest	
Sběr dat	
Recyklace vadných kusů	
Označení komínových vložek	
Nakládka na paletu	
Proklad fólií	
Takt kontrolní linky - 5 sekund	
Zpracování v Průmyslu 4.0	
Kompletní automatizovaný proces	

Shrnutí varianty 2

Varianta dvě splňuje 12 z 12 počátečních požadavků, které byly známy již před zahájením tvorby návrhu. Celkové počáteční investice této plně automatické kontrolní linky jsou 22 750 000 Kč. I přes tyto vysoké počáteční investice dojde k návratnosti již za 4,84 roku. Tato návratnost je způsobena především ušetřením mzdových nákladů na pracovníky ve výši 4 700 000Kč za rok. Varianta 2 také zaručuje kompletní sběr všech dat z všech procesů kontroly. Při dostatečně kvalitní práci s velkým množstvím dat generovaných z celého procesu lze předpokládat, že dojde k odhalení chyb v přípravě směsi a výrobě komínových vložek. Získáním těchto informací bude moci dojít k úpravě předcházejících procesů a tím také ke snížení produkce vadných kusů. Snížení vadných kusů může razantně snížit výrobní náklady a zvýšit tak zisk celé společnosti. Při potvrzení této teorie tak může dojít k návratnosti investic rychleji, než je předpokládáno.

8.6.1 Porovnání navrhovaných variant

V této kapitole je pro přehlednost shrnuto finální porovnání obou navrhovaných variant z ekonomického hlediska a z hlediska splnění počátečních požadavků zadaných již před samotnou tvorbou návrhů.

Ekonomické požadavky

První navrhovaná varianta představuje nižší počáteční investici do technologických a robotických zařízení. Je řešená způsobem, který umožňuje postupné rozšíření o další technologie. Při první variantě však zůstanou vyšší mzdové náklady na pracovníky. Porovnání obou variant z ekonomického hlediska je v Tabulka 13.

Tabulka 13 Ekonomické srovnání navrhovaných variant

	Varianta 1	Varianta 2
Celkové pořizovací náklady	9 000 000 Kč	22 750 000 Kč
Mzdové náklady	7 000 000 Kč	1 800 000 Kč
Návratnost investice	neurčité	4,84 roku

Splnění počátečních požadavků

Při navrhování nové kontrolní linky byly sepsány počáteční požadavky, které omezovali tvorbu návrhu. Jedná se o požadavky stavební, ale i jiného druhu. Splnění těchto požadavků u obou variant je znázorněno v Tabulka 14

Tabulka 14 Splnění počátečních požadavků – srovnání

Varianta 1		Varianta 2	
Splněné požadavky	Nesplněné požadavky	Splněné požadavky	Nesplněné požadavky
Provedení kontroly komínových vložek	Takt kontrolní linky - 5 sekund	Provedení kontroly komínových vložek	
Umístění balicího boxu	Zpracování v Průmyslu 4.0	Umístění balicího boxu	
Umístění kolejí pecních vozů	Kompletní automatizovaný proces	Umístění kolejí pecních vozů	
Zachování logistických cest		Zachování logistických cest	
Sběr dar		Sběr dat	
Recyklace vadných kusů		Recyklace vadných kusů	
Označení komínových vložek		Označení komínových vložek	
Nakládka na paletu		Nakládka na paletu	
Proklad fólií		Proklad fólií	
		Takt kontrolní linky - 5 sekund	
		Zpracování v Průmyslu 4.0	
		Kompletní automatizovaný proces	

Z této tabulky jednoznačně vyplívá, že varianta 2 splňuje všechny předem určené počáteční požadavky. Varianta 1 je však řešená tak, že je možné jí postupně rozšířit na variantu 2 a docílit tak také splnění všech počátečních požadavků.

9 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo provést analýzu a možnosti zavedení moderních technologií do výroby ve společnosti P-D Refractories CZ a.s., zabývající se výrobou žárovzdorných výrobků různých druhů.

V úvodní části této práce byla krátce popsána samotná společnost P-D Refractories CZ a.s. Zde je zmíněna historie společnosti a uveden krátký popis jednotlivých výrobních závodů. V první kapitole teoretické části práce dochází k seznámení s pojmem Průmysl 4.0, jež je v dnešní době jedním z hlavních používaných pojmů v technickém prostředí. První kapitola tak objasňuje vznik tohoto pojmu a také pojmy, které se s Průmyslem 4.0 propojují. Získané poznatky byly využity i v praktické části.

Druhá teoretická kapitola se zabývá problematikou automatizace zpracovatelských procesů. Jsou zde vypsány základní prostředky automatizace, její druhy a také důvody, které se řeší při otázce zavedení automatizace do výrobního podniku. Další část této kapitoly se věnuje automatickým výrobním linkám a prvkům, používaným v automatických linkách. Nedílnou součástí je také seznámení s průmyslovými roboty a manipulátory. I tyto poznatky jsou hojně využity v praktické části této práce.

V další teoretické kapitole dochází k seznámení s problematikou možností automatizace u procesů kontroly kvality. V první fázi je kvalita definována a následně jsou zde popsány možnosti, jak kvalitu automaticky kontrolovat ve výrobních linkách. V praktické části jsou tyto znalosti využity při volbě zařízení pro automatickou kontrolu vad u komínových vložek ve společnosti P-D Refractories CZ a.s.

V poslední teoretické části je krátce probrána problematika keramického průmyslu, kterým se společnost P-D Refractories CZ a.s. zabývá. Je zde uveden historický vývoj a současné použití keramických produktů. V praktické části je z této kapitoly použito především seznámení s výrobním portfoliem společnosti a také s vlastnostmi žárovzdorných komínových vložek, u kterých je v praktické části řešena problematika automatické kontroly.

První teoretická část zpracovává analýzu současného stavu ve společnosti P-D Refractories CZ a.s. ve výrobním závodě ve Svitavách. Při návštěvě tohoto závodu došlo k seznámení s výrobním postupem komínových vložek a k ukázce nového robotického

pracoviště na výrobu nejběžnějších komínových vložek. Po této fázi je zpracována analýza současného stanoviště kontroly kvality komínových vložek. V kapitole je tento proces zpracován i pomocí předvedených úkonů při návštěvě společnosti.

Další kapitola se již zabývá možným řešením automatizace kontrolního procesu komínových vložek. Jsou zde popsány dvě varianty možnosti automatizace a jejich porovnání. První varianta počítá s nahrazením lidské kontroly za automatickou a je řešená tak, aby mohla být v pozdější době rozšířená o robotické manipulátory. Tato varianta má neurčitou návratnost investice, jelikož mzdové náklady varianty 1 převyšují mzdové náklady současné. Může však dojít ke snížení počtu vadných kusů a tím i navýšení zisku. Druhá varianta je již plně automatizována a je tak řešena v konceptu Průmyslu 4.0. Celkové náklady na tuto linku jsou 22 750 000,- Kč, jenž by se společnosti vrátily za 4,84 roku. Kompletní automatická linka je zobrazena na Obrázek 66.



Obrázek 66 Plně automatizovaná kontrolní linka

Při zapojení všech výrobních procesů od přípravy, výroby a samotné kontroly do konceptu Průmyslu 4.0 může však dojít při zpracování velkého množství generovaných dat ze všech procesů k odstranění chyb ve výrobě již v prvopočátku celého procesu a došlo by tak k snížení vadných kusů na výstupu. Při takto kompletním propojení celého procesu by mohl počet vadných kusů klesnout na minimum a zvýšily by se tak celkové zisky společnosti.

V této diplomové práci byly splněny zadané cíle. Tedy provedení rešerše problematiky automatizace zpracovatelských procesů a rešerše problematiky Průmyslu 4.0. Dalším cílem bylo

provedení analýzy současného stavu kontrolních operací komínových vložek ve společnosti P-D Refractories CZ a.s. Hlavním cílem této diplomové práce bylo navrzení možností automatizace procesu kontroly a to skrze nové automatické přístroje. Dále byla navržena automatizace transportních operací pomocí robotických manipulátorů a různých druhů průmyslových dopravníků. Varianta 2 tyto požadavky splňuje a při využití zpracovaného technicko-ekonomického zhodnocení lze tento návrh použít i při rozhodování o implementaci do reálného provozu.

Citovaná literatura

- [1] *P-D Refractories CZ a.s.* [online]. Velké Opatovice: PD Group, 2018 [cit. 2020-05-04].
Dostupné z: <http://www.pd-refractories.cz/>
- [2] ZELENKA, Antonín a Mirko KRÁL. *Projektování výrobních systémů*. 1. Praha: ČVUT Praha, 1995, 365 s. ISBN 80-01-01302-2. ISSN 0039-2456.
- [3] WHEELLEN, Thomas a David HUNGER. *Strategic management and Business policy*. 13. Pearson International Edition, 2012. ISBN 978-0-13-215322-5.
- [4] KEŘKOVSKÝ, Miloslav a Ondřej VALSA. *Moderní přístupy k řízení výroby*. 3. dopl. vyd. V Praze: C.H. Beck, 2012. C.H. Beck pro praxi. ISBN 978-80-7179-319-9.
- [5] ZEŽULKA, František, Ivo VESELÝ a Vlastimil BRAUN. Úvod do problematiky a základní modely Industry 4.0. *System OnLine* [online]. Webservis, 2001 [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://www.systemonline.cz/rizeni-vyroby/uvod-do-problematiky-a-zakladni-modely-industry-4.0.htm>
- [6] JUROVÁ, Marie. *Výrobní a logistické procesy v podnikání*. Praha: Grada Publishing, 2016. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-5717-9.
- [7] Co znamená čtvrtá průmyslová revoluce?. *Konstrukter* [online]. Brno: Vydavatelství Nová média, s. r. o., 2019 [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://www.konstrukter.cz/co-znamená-ctvrta-prumyslova-revoluce/>
- [8] In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2020-05-11].
- [9] BAUR, Cornelius a Dominik WEE. Manufacturing's next act. *McKinsey & Company* [online]. 1996 [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/manufacturings-next-act>

- [10] GILCHRIST, Alasdair. *Industry 4.0: The Industrial Internet of Things*. 1. New Yourk: Apress, 2016. ISBN 978-1-4842-2047-4.
- [11] Průmysl 4.0 (Industry 4.0). *ManagementMania.com* [online]. Wilmington, 2011 [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/prumysl-40-industry-40>
- [12] MAŘÍK, Vladimír. *Iniciativa Průmysl 4.0* [online]. 2016a [cit. 2020-05-19]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/53723/64358/658713/priloha001.pdf>
- [13] MAŘÍK, Vladimír. *Průmysl 4.0: výzva pro Českou republiku*. 1. Praha: Management Press, 2016b. ISBN 978-80-7261-440-0.
- [14] KAGERMANN, H., W. WAHLSTER a J. HELBIG. *Securing the Future of German Manufacturing Industry: Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0.: Final Report of the Industrie 4.0 Working Group*. 1. München: Acatech - National Academy of Science and Engineering, 2013.
- [15] MES systém (Manufacturing Execution System). *Mescenter* [online]. [cit. 2020-05-19]. Dostupné z: <http://www.mescenter.org/index.php/cz/clanky/5-co-je-to-mes-system>
- [16] TOMEK, Gustav a Věra VÁVROVÁ. *Integrované řízení výroby: Od operativního řízení výroby k dodavatelskému řetězci*. 1. Praha: Grada Publishing, 2014.
- [17] LANTING, Cees a Antonio LIONETTO. Smart Systems and Cyber Physical Systems paradigms in an IoT and Industrie/y4.0 context. *Proceedings of 2nd International Electronic Conference on Sensors and Applications* [online]. Basel, Switzerland: MDPI, 2015, , 5002- [cit. 2020-05-12]. DOI: 10.3390/ecsa-2-S5002. Dostupné z: <http://sciforum.net/conference/ecsa-2/paper/3239>
- [18] MARZ, Nathan a James WARREN. *Big Data: Principles and best practices of scalable realtime data systems*. 1. United States: Manning Publications Co., 2015. ISBN 978-1-61729-034-3.

-
- [19] CHEN, M., S. MAO a Y. LIU. Big Data: A Survey. *Mobile Networks and Applications* [online]. (19), 171-209 [cit. 2020-05-24]. ISSN 1572-8153. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11036-013-0489-0>
- [20] Technológia. *Industry4.sk* [online]. Bratislava: ContentFruiter [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <http://industry4.sk/o-industry-4-0/technologie/>
- [21] BÍNOVÁ, Dagmar. Jak na úspěšnou analýzu velkých dat? Následujte těchto 5 kroků. *Adastra* [online]. Praha [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://www.adastra.cz/cs/newsroom/jak-na-uspesnou-analyzu-big-dat/>
- [22] Průmysl 4.0 a chytré továrny. *ATS Global* [online]. 2018 [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://www.ats-global.com/cs/know-how/prumysl-4-0-a-chytre-tovarny/>
- [23] SINGEROVÁ, Soňa. Inteligentní továrna je skok k efektivitě a flexibilitě. *Svět průmyslu* [online]. Smart Connections [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://svetprumyslu.cz/2019/07/19/inteligentni-tovarna-je-skok-k-efektivite-a-flexibilite/>
- [24] ONDRA, Pavel. Chytrá továrna v Průmyslu 4.0. *Průmyslové Inženýrství.cz* [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://www.prumysloveinzenyrstvi.cz/chytra-tovarna-prumyslu-4-0/>
- [25] DOSTÁL, Dalibor. Továrny budoucnosti už fungují v Rakousku a v Německu. Ukazují tvář Průmyslu 4.0. *BusinessInfo.cz* [online]. CzechTrade, 1997 [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://www.businessinfo.cz/clanky/tovarny-budoucnosti-uz-funguji-v-rakousku-a-v-nemecku-ukazuji-tvar-prumyslu-40/>
- [26] BARTODZIEJ, Christoph Jan. *The Concept Industry 4.0: An Empirical Analysis of Technologies and Applications in Production Logistics* [online]. 1. Gabler Verlag, 2017 [cit. 2020-05-12]. ISBN 978-3-658-16502-4.
- [27] Jak funguje chytrá továrna. In: *Hospodářské noviny* [online]. Economia, a.s., 1996 [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://archiv.ihned.cz/c1-65344610-jak-funguje-chytra-tovarna>
-

- [28] Co je digitální dvojče a proč je užitečné. *AiWORLD* [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://aiworld.cz/digitalizace/co-je-digitalni-dvojce-a-proc-je-uzitecne-232>
- [29] RUMÍŠEK, Pavel. *Mechanizace a automatizace*. 1. Brno: VÚT Brno, 2002. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/emm_mechanizace_a_automatizace_ucebni_texty_rumisek.pdf?fbclid=IwAR35pEBSWNXzoM2ELMExX-ZCQH2pJ51qg7DC2XEgzWHIYQbANXUg_t8yp-4
- [30] DUB, Miroslav. Automatizace výrobních procesů: očekávání, skutečnost, trendy. *Automa* [online]. Praha, 2016 [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/automatizace-vyrobnich-procesu-ocekavani-skutecnost-trendy-2001_09_33633_577/
- [31] Manufacturing Applications Of Automation And Robotics. *Encyclopædia Britannica* [online]. [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/automation/Manufacturing-applications-of-automation-and-robotics>
- [32] TYPES OF AUTOMATION: PRODUCTION AND OPERATIONS MANAGEMENT. *Wisdomjobs* [online]. 2020 [cit. 2020-05-19]. Dostupné z: <https://www.wisdomjobs.com/e-university/production-and-operations-management-tutorial-295/types-of-automation-9679.html>
- [33] AUTOMATION IN PRODUCTION SYSTEMS. *BrainKart* [online]. c2018-2020 [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: http://www.brainkart.com/article/Automation-in-production-systems_6373/
- [34] Automatic Production Line. *Machniemfg* [online]. [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: https://www.machinemfg.com/automatic-production-line/?fbclid=IwAR1dIcSYk7ZVTxht_YnMb7R9LUKkdJgvHJWkneUQQP9Fc25oIhzNQ2hzDEc
- [35] OLEARI, Fabio, Massimiliano MAGNANI, Davide RONZONI, Lorenzo SABATTINI, Elena CARDARELLI, Valerio DIGANI, Cristian SECCHI a Cesare FANTUZZI. Improving AGV systems: Integration of advanced sensing and control technologies. In: *2015 IEEE International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP)* [online]. IEEE,

- 2015, s. 257-262 [cit. 2020-05-19]. DOI: 10.1109/ICCP.2015.7312640. ISBN 978-1-4673-8200-7. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7312640/>
- [36] Top 10 Components Of Automated Production Line. *Machinemfg* [online]. [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: https://www.machinemfg.com/automated-production-line-components/?fbclid=IwAR1h7hD0KpDq_KHBB29gaBbutiXqWeaf77EenKGV0cR8_QkFSPKD VWxzQ0A
- [37] TILLEY, Jonathan. Automation, robotics, and the factory of the future. *McKinsey & Company* [online]. c1996-2020 [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/automation-robotics-and-the-factory-of-the-future>
- [38] *Cambridge Dictionary* [online]. Cambridge University Press [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <https://dictionary.cambridge.org/>
- [39] MORAVEC, Hans Peter. Robot. *Encyclopædia Britannica* [online]. Encyclopædia Britannica, inc. [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/robot-technology>
- [40] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory*. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [41] KUCHER, Daniel. Film-like Story of the First Real Robot Unimate in History. *Somag news* [online]. 2019 [cit. 2020-05-19]. Dostupné z: <https://www.somagnews.com/film-like-story-first-real-robot-unimate-history/>
- [42] Robot density rises globally. *IFR International Federation of Robotics* [online]. 2020 [cit. 2020-05-19]. Dostupné z: <https://ifr.org/news/robot-density-rises-globally/>
- [43] ADAMEC, Jaromír. *Technologie automatizovaných výrob*. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2006. ISBN 80-248-0871-8. Dostupné z: <http://books.fs.vsb.cz/TAV/technologie-automatizovanych-vyrob.pdf>
- [44] ANDRLÍK, Vladimír. *Průmyslové roboty a manipulátory*. 1. Praha: ČVUT, 2012.

-
- [45] ČSN EN ISO 9000:2016: *Systémy managementu kvality - Základní principy a slovník*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [46] NENADÁL, Jaroslav. *Management kvality pro 21. století*. Praha: Management Press, 2018. ISBN 978-80-726-1558-2.
- [47] UMEDA, Masao. *Seven Key Factors for Success on TQM*. Tokyo: Japanese Standard Association, 1993. ISBN 4-542-50416-6.
- [48] NENADÁL, Jaroslav. *Moderní management jakosti: principy, postupy, metody*. Praha: Management Press, 2008. ISBN 978-80-7261-186-7.
- [49] HUTYRA, Milan. *Management jakosti*. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2008. ISBN 978-80-248-1484-1.
- [50] HAVLE, Otto. Strojové vidění I: Principy a charakteristiky. *Automa* [online]. [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: https://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/36550.pdf
- [51] KROUPA, Miloslav. Senzory Siemens zdrojem klíčových dat z výroby. *Automa* [online]. [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: https://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/38093.pdf
- [52] BARTÁK, Luděk. Kamera Panasonic zajistí kvalitní výstupní kontrolu. *Automa* [online]. [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/38997.pdf
- [53] CO JE STROJOVÉ VIDĚNÍ?. *ATESystem* [online]. Ostrava, 2020 [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <http://kamery.atesystem.cz/know-how/strojove-videni/>
- [54] What is Machine Vision. *Cognex* [online]. [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <https://www.cognex.com/what-is/machine-vision/what-is-machine-vision>
- [55] What is Machine Vision?. *Machinevision* [online]. [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <https://machinevision.co.uk/machine-vision-products/vision-hardware/>
- [56] PALATKA, Petr. Systémy pro bezkontaktní měření, kontrolu kvality a robotizaci. *MMspektrum* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z:
-

<https://www.mmspektrum.com/clanek/systemy-pro-bezkontaktni-mereni-kontrolu-kvality-a-robotizaci.html>

- [57] Strojové vidění. *Epem* [online]. 2014 [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <http://www.epem.cz/products/machine-vision/>
- [58] Průmyslové systémy strojního vidění na základě požadavků zákazníka. *Kolektor: Systémy strojového vidění* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <http://www.kolektorvision.com/cz/reseni/>
- [59] The role of Machine Vision in manufacturing. *Medium* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://medium.com/technology-innovations-insights/the-role-of-machine-vision-in-manufacturing-97a0a0ad81df>
- [60] Optická kontrola kvality. *Kinali* [online]. 2020 [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.kinali.cz/cs/opticka-kontrola-kvality/>
- [61] Systémy strojového vidění. *Argutec* [online]. 2013 [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.argutec.eu/systemy-strojoveho-videni>
- [62] Ten basic steps to successful machine-vision-system design. *Vison-systems* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.vision-systems.com/boards-software/article/16736434/ten-basic-steps-to-successful-machinevisionsystem-design>
- [63] Kontrola kvality výroby: 5 předností kamerových systémů pro bezkontaktní měření. *Jettyvision* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.jettyvision.cz/kontrola-kvality-vyroby-5-prednosti-kamerovych-systemu-bezkontaktni-mereni/>
- [64] KOPEC, Bernard. *Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí: (nauka o materiálu IV)*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. ISBN 978-80-7204-591-4.
- [65] VOJÁČEK, Antonín. Profilové snímače: optický detektor rozměrů a ploch. *Automatizace* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/profilove-snimace-opticky-detektor-rozmeru-a-ploch>

- [66] Proč používat laserové interferometrické snímače?. *Renishaw* [online]. c2001-2020 [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.renishaw.cz/cs/proc-pouzivat-laserove-interferometricke-snimace--38613>
- [67] JIRÁSEK, Jakub a Martin VAVRO. *Nerostné suroviny a jejich využití*. Ostrava: Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR & Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1378-3.
- [68] SOJKA, Jaroslav a Petra VÁŇOVÁ. *Základy progresivních konstrukčních materiálů: učební text : studijní materiály pro studijní předmět 636-0416, Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2578-6.
- [69] KUTZENDÖRFER, Jaroslav a František TOMŠŮ. *Žáruvzdorné materiály*. Praha: ČSVTS - Silikátová společnost České republiky, 2008. ISBN 978-80-02-02076-9.
- [70] LACH, Vladimír. *Keramika*. 3. Brno: VUT Brno, 1992. ISBN 80-214-0332-2.

Seznam obrázků

Obrázek 1 Výrobní podniky P-D Refractories CZ a.s. [1]	13
Obrázek 2 Přehled průmyslových revolucí [8]	17
Obrázek 3 Vertikální integrace [15]	20
Obrázek 4 Horizontální integrace [17]	20
Obrázek 5: 5 kroků zpracování Big data [21]	23
Obrázek 6 Výhody chytré továrny [22]	24
Obrázek 7 inteligentní továrna [27]	25
Obrázek 8 Porovnání druhů automatizací [32]	30
Obrázek 9 Automatizovaná výrobní linka [35].....	32
Obrázek 10 Robot Unimate 001 [41]	36
Obrázek 11 Počet robotů na 10 000 zaměstnanců [42].....	36
Obrázek 12 Rozdělení PRM [44].....	37
Obrázek 13 Integrovaný kybernetický systém robota [44].....	39
Obrázek 14 Rozdělení managementu kvality [48]	45
Obrázek 15 Porovnání tří typů koncepce kvality [46]	47
Obrázek 16 Strojové vidění – zjednodušeně [50]	51
Obrázek 17 Schéma strojového vidění [50]	52
Obrázek 18 Kontrola rozměrů strojovým viděním [58]	53
Obrázek 19 Identifikace výrobků [58]	53
Obrázek 20 5 předností kamerových systémů [63]	57

Obrázek 21 Laserová detekce rozměrů [65]	59
Obrázek 22 Možnosti použití keramiky [68]	61
Obrázek 23 Rozdělení keramických výrobků [67]	63
Obrázek 24 Použití žárovzdorných výrobků [1]	65
Obrázek 25 Základní komínová vložka [1].....	66
Obrázek 26 Výrobní proces komínové vložky	69
Obrázek 27 Pecní vozy s komínovými vložkami na stanovišti kontroly	70
Obrázek 28 Výbava pracovníka kontroly	70
Obrázek 29 Komínové vložky na stanovišti expedice	72
Obrázek 30 Současný proces kontroly komínových vložek.....	72
Obrázek 31 Grafické zobrazení současného stavu.....	73
Obrázek 32 Tok materiálu v současném stavu.....	74
Obrázek 33 Nevýhody současného stavu	75
Obrázek 34 Stavební omezení ve výrobní hale	77
Obrázek 35 Vizualizace výrobní haly Svitavy.....	78
Obrázek 36 Balicí box	78
Obrázek 37 Technologické omezující podmínky.....	79
Obrázek 38 Možnosti provedení automatické kontroly	80
Obrázek 39 Možnosti automatizace přesunů	81
Obrázek 40 Laserová kontrola rozměrů.....	82
Obrázek 41 Snímání komínové vložky.....	83

Obrázek 42 Kinematické schéma – Laser scanning.....	83
Obrázek 43 Kontrolované rozměry pomocí laserového snímání.....	84
Obrázek 44 Zvuková a kamerová kontrola.....	85
Obrázek 45 Kamerové snímání povrchových vad	85
Obrázek 46 Zvukové snímání vnitřních vad	86
Obrázek 47 Značící stanice.....	87
Obrázek 48 Nástřík a tisková hlava	87
Obrázek 49 Grafický návrh-varianta 1	88
Obrázek 50 Kontrolní proces – varianta 1.....	90
Obrázek 51 Způsob provedení – varianta 1	91
Obrázek 52 Tok materiálu – varianta 1.....	92
Obrázek 53 Proces kontroly – varianta 2	92
Obrázek 54 Pohled na automatickou linku	93
Obrázek 55 Tok materiálu – varianta 2.....	95
Obrázek 56 Přesun komínových vložek z pecního vozu na otočný stůl	96
Obrázek 57 Rozložení komínových vložek a kontrolní stanoviště	96
Obrázek 58 Otočný manipulátor a laser scanning	97
Obrázek 59 Značení a vyrovnání komínových vložek na paletu	98
Obrázek 60 Páskovací a etiketovací fáze	98
Obrázek 61 Čištění pecních vozů pomocí rotačního kartáče	99
Obrázek 62 Způsob provedení – varianta 2	100

Obrázek 63 Zisk dat z výrobního procesu	101
Obrázek 64 Zisk dat v Průmyslu 4.0	102
Obrázek 65 Rodný list komínové vložky.....	103
Obrázek 66 Plně automatizovaná kontrolní linka	113

Seznam tabulek

Tabulka 1 Kinematické dvojice robotů [44]	41
Tabulka 2 Souřadnicové systémy PRM [44]	42
Tabulka 3 Rozdělení technické kontroly [49]	48
Tabulka 4 Vývoj keramických produktů [67].....	60
Tabulka 5 Rozdělení žárovzdorných výrobků [69]	64
Tabulka 6 Roční mzdové náklady – současný stav	74
Tabulka 7 Pořizovací náklady – varianta 1	104
Tabulka 8 Mzdové náklady – varianta 1.....	105
Tabulka 9 Splnění okrajových podmínek – varianta 1	106
Tabulka 10 Pořizovací náklady – varianta 2	107
Tabulka 11 Přehled mzdových nákladů – varianta 2.....	108
Tabulka 12 Splnění okrajových podmínek – varianta 2	109
Tabulka 13 Ekonomické srovnání navrhovaných variant.....	110
Tabulka 14 Splnění počátečních požadavků – srovnání.....	110

Seznam použitého software

Microsoft Word

Microsoft Excel

Autodesk Inventor Professional 2020