

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N0715A270012 – Strojní inženýrství
Studijní specializace: Průmyslové inženýrství a management

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Produktivita výroby a možnosti automatizace

Autor: Bc. Matěj Krňoul
Vedoucí práce: doc. Ing. Michal Šimon Ph.D.

Akademický rok 2021/2022

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Matěj KRŇOUL**
Osobní číslo: **S19N0142P**
Studijní program: **N0715A270012 Průmyslové inženýrství a management**
Téma práce: **Produktivita výroby a možnosti automatizace**
Zadávající katedra: **Katedra průmyslového inženýrství a managementu**

Zásady pro vypracování

1. Produktivita a efektivita výroby
2. Měření produktivity
3. Analýza současného stavu
4. Návrhy na zvýšení produktivity
5. Možnosti automatizace
6. Závěr a vyhodnocení

Rozsah diplomové práce: **50 – 70 stran**
Rozsah grafických prací: **0**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

1. TSIGKAS, A. *The Lean Enterprise: From the Mass Economy to the Economy of One*. Heidelberg: Springer, 2013. ISBN13 9783662509852.
2. IMAI, M. *Kaizen: metoda, jak zavést úspornější a flexibilnější výrobu v podniku*. Brno: Computer Press, 2011. Business books (Computer Press). ISBN 978-80-251-1621-0.
3. VÁCHAL, Jan., VOCHOZKA, Marek. a kol. *Podnikové řízení*. Praha: GRADA, 2013. ISBN 978-80247-4642-5.
4. JUROVÁ, Marie. a kol. *Výrobní a logistické procesy v podnikání*. Praha: Grada, 2016. ISBN 9788027193301.
5. 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.
6. BADIRU, Adedeji Bodunde. *Handbook of industrial and systems engineering*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2014, 1452 s. ISBN 978-1-4665-1504-8.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Michal Šimon, Ph.D.**
Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Konzultant diplomové práce: **Ing. Pavel Vránek**
Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Datum zadání diplomové práce: **20. září 2021**
Termín odevzdání diplomové práce: **27. května 2022**

L.S.

Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan

Doc. Ing. Michal Šimon, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

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

V Plzni dne:

.....

podpis autora

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Krňoul	Jméno Matěj	
STUDIJNÍ PROGRAM	N0715A270012S00 Průmyslové inženýrství a management		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Šimon Ph.D.	Jméno Michal	
PRACOVISŤE	ZČU - FST – KPV		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Produktivita výroby a možnosti automatizace		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KPV	ROK ODEVZD.	2022
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	58	TEXTOVÁ ČÁST	58	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Diplomová práce je zaměřena na produktivitu výroby a možnosti automatizace v prostředí konkrétního výrobního podniku. V úvodní části se zabývám definováním a představením jednotlivých důležitých teoretických poznatků a dostupných technologických řešení, která později slouží jako podklad pro praktickou část této práce. Praktická část práce se zabývá analýzou současného stavu, nalezení nedostatků na pracovišti a následnými návrhy na optimalizaci těchto stavů s možností implementace automatizace. V další fázi je praktikován návrh pro měření celkové efektivity zařízení a následně jsou navržena optimalizační řešení zhodnocena.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	Produktivita výroby, automatizace, měření produktivity, celková efektivita zařízení

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Krňoul	Name Matěj	
STUDY PROGRAMME	N0715A270012S00 Industrial engineering and management		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Šimon Ph.D.	Name Michal	
INSTITUTION	ZČU - FST - KPV		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Production efficiency and automatisisation options		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KPV	SUBMITTED IN	2022
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	58	TEXT PART	58	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The thesis focuses on the productivity of production and the possibilities of automation in the specific manufacturing company. In the introductory part, it is defined and presented the important theoretical knowledge and available technological solutions, which later serve as a basis for the practical part of this thesis. The practical part of the thesis deals with the analysis of the current state, finding the deficiencies in the workplace and subsequent suggestions for optimizing these states with the possibility of implementing automation. In the next phase, a design for measuring the overall efficiency of the plant is practiced and then the proposed optimization solutions are evaluated.
KEY WORDS	Production effectivity, automation, productivity measurement, overall equipment efficiency

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu této diplomové práce panu doc. Ing. Michalovi Šimonovi, Ph.D. a konzultantovi práce panu Ing. Pavlovi Vránkovi za ochotný přístup, čas a odborné rady. Dále bych chtěl poděkovat panu Františkovi Štorkovi a paní Ing. Romaně Kuchtové ze společnosti Wacker- Chemie, s.r.o. za pomoc při tvorbě praktické části diplomové práce. V neposlední řadě bych rád poděkoval svým blízkým za podporu během psaní práce i celého studia.

Obsah

Zadání DP.....	2
Poděkování.....	7
Seznam obrázků.....	10
Seznam tabulek.....	11
Přehled použitých zkratk a symbolů.....	12
Úvod.....	13
1 Produktivita a efektivita výroby.....	14
1.1 Produktivita výroby.....	14
1.2 Efektivita výroby.....	14
1.3 Současný vývoj a automatizace.....	15
1.3.1 Průmysl 4.0.....	16
1.3.2 Internet of Things.....	16
1.3.3 Big data.....	16
1.4 Možnosti automatizace.....	17
1.4.1 Výrobní a montážní procesy.....	17
1.4.2 Logistické procesy.....	19
2 Měření produktivity.....	22
2.1 Produktivita osob.....	22
2.1.1 Přímé měření.....	22
2.1.2 Nepřímé měření.....	23
2.2 Produktivita strojů.....	24
2.3 Další dělení měření produktivity.....	24
2.4 Ukazatele a jejich význam.....	25
2.5 OEE.....	26
2.5.1 Výpočet OEE.....	26
2.5.2 6 velkých ztrát.....	27
2.5.3 Nejistoty v měření OEE.....	28
2.6 Další metody.....	28
2.6.1 Celková efektivní produktivita zařízení (TEEP).....	29
2.6.2 Srovnání OEE a TEEP.....	29
2.6.3 Celková efektivita operací (OOE).....	29
3 Analýza současného stavu.....	30
3.1 Představení společnosti.....	30

3.2	Rozbor současného stavu.....	31
3.2.1	Výrobní stroje.....	31
3.2.2	Výrobky.....	32
3.2.3	Výrobní proces	32
3.2.4	Vytížení pracovníků	33
3.2.5	Nedostatky.....	38
3.3	Analýza sběru a evidence dat	39
4	Návrhy na zvýšení produktivity	42
4.1	Technologický postup.....	42
4.2	Modernizace ovládacích panelů	42
4.3	Optimalizace výrobního plánu.....	43
4.4	Automatizace procesů.....	44
4.4.1	Automatizace výrobních procesů	44
4.4.2	Automatizace logistických procesů.....	46
4.4.3	Digitální podnik.....	48
5	Implementace měření OEE	50
5.1.1	Výpočet dostupnosti.....	50
5.1.2	Výpočet výkonu	52
5.1.3	Výpočet kvality	53
5.1.4	Vizualizace OEE	53
6	Zhodnocení.....	55
	Závěr.....	56
	Seznam použitých zdrojů	57

Seznam obrázků

Obrázek 1-1 - Průmyslové roboty [9].....	18
Obrázek 1-2 - Průmyslové kolaborativní roboty [10]	18
Obrázek 1-3 - AGV Vozík [12].....	20
Obrázek 1-4 - AIV Vozík [13]	21
Obrázek 1-5 - VNA vozík [14].....	21
Obrázek 2-1 – 6 velkých ztrát (vlastní zpracování dle zdroje) [20]	28
Obrázek 2-2 - Srovnání OEE, OOE a TEEP (vlastní zpracování dle zdroje) [24].....	29
Obrázek 3-1 - Logo společnosti Wacker-Chemie, s.r.o. [25].....	30
Obrázek 3-2 - Areál Wacker-Chemie, s.r.o. v Plzni.....	30
Obrázek 3-3 - Výrobní linka	31
Obrázek 3-4 -Typický finální výrobek.....	32
Obrázek 3-5 - Diagram procesu	32
Obrázek 3-6 - Hromadný snímek pracovního dne č. 1	33
Obrázek 3-7 - Hromadný snímek pracovního dne č. 2.....	33
Obrázek 3-8 - Snímek pracovního dne obsluhy linky č. 1	34
Obrázek 3-9 - Snímek pracovního dne obsluhy linky č. 2	35
Obrázek 3-10 - Snímek pracovního dne skladníka.....	36
Obrázek 3-11 - Snímek pracovního dne přípraváře č.1	37
Obrázek 3-12 - Vyhozená síta	38
Obrázek 3-13 - Interaktivní část shopfloorové tabule	41
Obrázek 4-1 - Ovládací panel extruderu	42
Obrázek 4-2 - Ovládací panel válce	43
Obrázek 4-3 - Automatická míchací jednotka na válci	44
Obrázek 4-4 - Ruční navíječka obalové fólie	45
Obrázek 4-5 - Stávající prostor pro hotové palety.....	47
Obrázek 4-6 - Navrhovaná trasa pro automatické odvážení hotové výroby	47
Obrázek 4-7 - Možnost digitalizace sběru dat pomocí tabletu	48
Obrázek 4-8 - Proces zápisu a sběru dat.....	49
Obrázek 5-1 - Graf pro určení skutečné doby běhu stroje.....	50
Obrázek 5-2 – Ukázka grafu z běhu válce.....	51
Obrázek 5-3 - Vizualizace dat dostupnosti strojů.....	51
Obrázek 5-4 - Vizualizace dat výkonu strojů	52
Obrázek 5-5 - Vizualizace dat kvality	53
Obrázek 5-6 - Výsledná vizualizace OEE za měsíc leden.....	54

Seznam tabulek

Tabulka 3-1 - Ukázka ze snímku pracovního dne	35
Tabulka 4-1 - Výňatek z technologického postupu.....	42
Tabulka 5-1 – Ukázka zápisu dat z grafu běhu stroje	50
Tabulka 5-2 - Ukázka výrobního výkazu	52
Tabulka 5-3 - Sledovaná data o kvalitě materiálu.....	53
Tabulka 6-1 - Zhodnocení	55

Přehled použitých zkratk a symbolů

OEE	Overall Equipment Effectiveness
TEEP	Total Effective Equipment Productivity
OOE	Overall Operation Effectiveness
NEE	Net Equipment Effectiveness
KPI	Key Performance Indicators
IoT	Internet of Things
BDA	Big Data Analytics
AI	Artificial Intelligence
MES	Manufacturing Execution Systems
EAN	International Article Number
MTM	Methods-Time Measurement
QR	Quick Response (Code)
AIV	Autonomous Intelligent Vehicles
AGV	Autonomous Guide Vehicle
VNA	Very Narrow Aisle

Úvod

Tato diplomová práce se zabývá tématem produktivity výroby a možnosti automatizace ve firmě Wacker-Chemie, s.r.o. Cílem této práce je zhodnocení produktivity výroby a zjištění možností pro automatizaci procesu a jeho dílčích součástí v prostředí této firmy. V úvodní části této práce bude nastíněna teorie sloužící jako teoretický základ jako je definice pojmů z produktivity a efektivity výroby, současné možnosti na poli automatizace a metody měření produktivity. Dále jsou představeny ukazatele efektivity výroby a jejich obecné výpočty. Na teoretickou část navazuje část praktická. V jednotlivých kapitolách praktické části textu proběhne stručné představení sledovaného podniku a analýza současného stavu. V této kapitole budou rozebrány a zhodnoceny jednotlivé procesy a proběhne hledání míst s potenciálem pro zlepšení. Následně budou představeny návrhy na zvýšení produktivity a možnosti implementace automatizace vytipovaných procesů. Na závěr bude ukázáno řešení pilotního projektu pro měření ukazatele OEE jednotlivých strojů a závěrečné ekonomické zhodnocení navržených řešení optimalizace a automatizace procesů.

1 Produktivita a efektivita výroby

Produktivita a efektivita výroby jsou velmi využívanými pojmy z každodenního prostředí výrobních podniků. Všechny tyto subjekty jsou pod neustálým tlakem na zvyšování produktivity výroby a celkové ziskovosti. V následujících podkapitolách budou tyto pojmy blíže rozvedeny a definovány. Dále bude popsán jejich význam a využití ve výrobních podnicích a firmách.

1.1 Produktivita výroby

Produktivita je efektivnost využití výrobních faktorů v jakékoliv výrobě. Netýká se tedy pouze průmyslových výrobních podniků, ale i nevýrobních, jelikož výrobou lze nazvat jakákoliv transformace vstupů na výstupy. Výstupy mohou být buď výrobky nebo i služby [1]. Všeobecně se uznává, že vysoká produktivita je důležitá a že produktivita musí být jedním z nejdůležitějších kritérií návrhu výrobních systémů. Je důležité si uvědomit, že produktivita není jednotný univerzální pojem; existuje několik různých definic, které jsou uplatitelné v různých případech a podmínkách použití. Produktivita je obvykle definována jako poměr mezi výstupem výroby a vstupem výrobních faktorů nebo prostředků. K dosažení obecnější definice produktivity je nutné použít jako proměnné obecné měření vstupu výrobních faktorů či prostředků a výstupu výrobního systému. Jediným skutečně objektivním způsobem, jak měřit výrobní hodnotu výrobku, je jeho cena na otevřeném ideálním volném trhu. Vyrábět něco, po čem není poptávka, není produktivní bez ohledu na to, jak racionální a efektivní se výrobní systém zdá být. [2] Způsoby měření produktivity výroby budou popsány v další části této práce.

Obecné měření produktivity

Produktivitu výroby lze obecně vypočítat pomocí vzorce. Objektem, který je při měření sledován, je výrobní systém. Jedná se o systém vymezený jednotou výrobního výstupu a vstupu a výrobního procesu. Zobecněně lze produktivitu vyjádřit jako poměr mezi výrobním výstupem a výrobním vstupem. [1]

$$\text{produktivita} = \frac{(\text{výrobní}) \text{ výstup}}{(\text{výrobní}) \text{ vstup}}$$

1.2 Efektivita výroby

Hlavním sledovaným bodem v efektivitě výroby je výroba zboží s optimální kombinací vstupů a výstupů při dosažení minimálních nákladů. Podnik vyrábí efektivně v takovém případě, když vyrábí své produkty takovým způsobem, že uspokojuje potřeby trhu [3]. V ekonomii se koncept efektivity výroby soustřeďuje na vytyčení hranice výrobních možností. Obecně se efektivita výroby vztahuje k úrovni maximální kapacity, při níž jsou všechny zdroje plně využity k vytvoření co nejehospodárnějšího produktu. Při maximální efektivitě výroby nemůže subjekt vyrábět žádné další jednotky, aniž by se drasticky změnil jeho výrobní proces. Podnik se bude snažit získat dodatečné kapacitní možnosti snížením výroby jiného výrobku. Celkově může být obtížné dosáhnout maximální efektivity výroby. Výrobní podniky a mnoho jednotlivých subjektů se proto snaží najít dobrou rovnováhu mezi využíváním zdrojů, mírou výroby a kvalitou vyráběného zboží, aniž by nutně muselo dojít k maximalizaci výroby na plnou

kapacitu. Provozní manažeři musí mít na paměti, že po dosažení maximální efektivity výroby není možné vyrábět více zboží, aniž by se drasticky změnilo portfolio výroby. Rozdíl mezi efektivitou výroby a produktivitou je takový, že produktivita slouží jako měřítko výkonu, obvykle se vyjadřuje v jednotkách za určitý čas, například 100 jednotek za hodinu. Efektivita ve výrobě se nejčastěji vztahuje k nákladům na jednotku produkce, nikoli pouze k počtu vyrobených jednotek. Produktivita vs. efektivita může zahrnovat také analýzu úspor z rozsahu. Subjekty se snaží optimalizovat úroveň výroby, aby dosáhly efektivních úspor z rozsahu, což pomáhá snižovat náklady na jednotku a zvyšovat výnosy na jednotku. Koncepty efektivity výroby se obvykle používají ve výrobě, ale lze je použít i v odvětví služeb. K provedení služby jsou zapotřebí zdroje, jako je např. využití lidského kapitálu a času. V těchto případech lze efektivitu měřit podle schopnosti dokončit určitý úkol nebo cíl v co nejkratším čase s optimalizovanou úrovní kvality výstupu [4].

Obecné měření efektivity

Efektivitu lze měřit tak, že je produkce výroby vydělena standardní mírou produkce výroby a vynásobena 100, čímž je získáno procentuální číslo efektivity. Tento výpočet lze použít k analýze efektivnosti jednoho zaměstnance, skupiny zaměstnanců nebo části ekonomiky jako celku.

$$\text{efektivita} = \frac{\text{produkce výroby}}{\text{standardní produkce výroby}} * 100$$

Standardní produkce výroby je míra maximálního výkonu nebo maximální objem práce vyprodukovaný za jednotku času při použití standardní metody. Pokud je u jakéhokoli analyzovaného vzorku dosaženo maximální efektivity výroby, pak bude efektivita výroby na úrovni 100 %. [4].

1.3 Současný vývoj a automatizace

Současným trendem v návaznosti na zlepšování efektivity a produktivity výroby je automatizovaný sběr dat. V současné době je na montážních linkách využíváno několik metod a technik pro zlepšování efektivity a produktivity - např. štíhlá výroba, liniová výroba, měření spotřeby energie, balancování linek a zavádění Six sigma. Cílem těchto podpůrných procesů výroby je zvýšit celkovou efektivitu výrobního zařízení. Tyto koncepty jsou podporovány prostředím Průmyslu 4.0, inteligentní výrobou, internetem věcí (IoT, prostřednictvím Big Data, umělou inteligencí (AI) využívající softwaru a algoritmy pro analýzu dat v reálném čase. Rostoucí digitalizace výrobního průmyslu poskytuje prostředky k automatickému získávání a analýze dat. Obecně se průmyslové podniky zaměřují na využití dat pro analýzu, monitorování a řízení, např. efektivity výroby, analýzu a monitorování procesů a kontrolu kvality [5]. Dalším novodobým trendem napříč podniky je snaha o co největší automatizaci jednotlivých procesů. Prověřování možností automatizace dílčích činností by mělo být pro většinu podniků důvodem k zamyšlení a monitorování stávajících i budoucích trendů na trhu, jelikož je v současnosti a nedostatek kvalitních a kvalifikovaných pracovníků na jednotlivé pracovní pozice. Tento problém může vyřešit právě automatizace. Pokud chce podnik v dnešním konkurenčním prostředí napříč odvětvími udržet krok s konkurencí a nezůstat pozadu, měl by o automatizaci některých procesů přemýšlet nikoliv jako o možnosti, ale jako o nutnosti. Dalším důvodem,

proč využívat automatizaci, je přísná legislativa a nařízení vlády v oblasti ergonomie. Ergonomie je vědní obor, který se zabývá optimalizací lidské pracovní činnosti. Dodržování ergonomických požadavků je pro všechny zaměstnavatele ze zákona povinné a stanovuje mu podmínky ochrany zdraví při práci, čímž vznikají mnohá omezení. Využitím automatizace odpadají zaměstnavatelé na plně automatizovaném pracovišti některá tato omezení a díky tomu dokáže lépe a efektivněji nakládat se svými zdroji.

1.3.1 Průmysl 4.0

Konceptem pro Průmysl 4.0 je propojení počítačů mezi sebou a jejich vzájemná komunikace, kdy rozhodují bez účasti člověka. Často je označován pojmem Čtvrtá průmyslová revoluce. Zahrnuje v sobě jak digitalizaci, tak automatizaci a vzájemnou komunikaci mezi jednotlivými dílčími částmi výroby a jejím okolím. Průmysl 4.0 je často srovnáván s převratným nárůstem výroby jako se stalo v minulosti při průmyslových revolucích, které byly iniciovány párou, elektřinou a následně automatizací. Podobně jako v případě Průmyslu 4.0 nebyly tyto revoluce iniciovány jedinou technologií, ale interakcí řady technologických pokroků, jejichž kvantitativní účinky vytvořily nové způsoby výroby. Průmysl 4.0, stejně jako všechny velké průmyslové revoluce před ním, má výrazný potenciál pro změnu zaběhlých zvyklostí v oblasti dodavatelských řetězcích, obchodních modelech a procesech. Mnoho společností stojí před výzvou posoudit rozmanitost vývoje, potenciálu a koncepcí shrnutých pod pojmem Průmysl 4.0 a vypracovat vlastní podnikové strategie. Stejně jako mnoho předchozích disruptivních vývojů před ním i průmysl 4.0 provází humbuk a přehnané nadšení. Mnoho podniků a organizací je proto vystaveno velkému internímu dilematu: buď s implementací Průmyslu 4.0 příliš dlouho vyčkávat, nebo začít příliš brzy a napáchat hromadu chyb při jeho zavádění do podnikové praxe [6].

1.3.2 Internet of Things

Oblasti použití technologií Internet of Things (IoT) jsou stejně početné jako rozmanité, protože řešení internetu věcí se stále více rozšiřují prakticky do všech oblastí každodenního života. Mezi nejvýznamnější oblasti použití patří např. chytrý průmysl, kde se rozvíjí inteligentní výroba systémů a propojených výrobních závodů. Často se v souvislosti s IoT také hovoří o pojmu Průmysl 4.0. Podstatou inovací v oblasti Internet of Things je kombinace fyzických a digitálních prvků za účelem vytvoření nových produktů a umožnění nových obchodních modelů. Díky stále účinnějšímu řízení spotřeby energie, širokopásmové komunikaci, spolehlivé paměti a pokroku v mikroprocesorových technologiích je možné digitalizovat funkce a klíčové schopnosti výrobků průmyslové éry. V důsledku toho se firmám otevírá řada příležitostí, jak generovat přírůstkovou hodnotu v oblasti internetu věcí. Řešení internetu věcí obvykle kombinují fyzické věci s IT v podobě hardwaru a softwaru. Výsledkem je, že primární fyzické funkce věci mohou být rozšířeny o další digitální služby založené na IT, které mohou být přístupné nejen na místní, ale i na globální úrovni [7].

1.3.3 Big data

S příchodem nové průmyslové revoluce se urychlila integrace informačních technologií do výrobních systémů a data ve vlastnictví podniků jsou stále bohatší a vyznačují se velkým

objemem, rozmanitostí a rychlostí. V inteligentní výrobě průmyslová Big data nejen podporují podniky v přesném vnímání změn vnitřního a vnějšího prostředí systému, ale také usnadňují vědeckou analýzu a rozhodování s cílem optimalizovat výrobní proces, snížit náklady a zlepšit provozní efektivitu. V důsledku toho jsou velká průmyslová data považována za výrobní prostředek, který pohání inteligentní výrobu. S rozvojem umělé inteligence se výrazně zdokonalila analýza velkých dat (Big Data Analytics, BDA), která umožňuje efektivně vytěžovat strukturovaná i nestrukturovaná průmyslová data v inteligentní výrobě. Průběžné učení se z velkých dat výrobnímu systému umožňuje, aby se systém sám učil, sám optimalizoval a sám reguloval. Sběrem Big data a jejich analýzou se proto zabývá více a více podniků. Jsou uložena v databázích, které masivně rostou a stávají se obtížnými na zachycení, formátování či interpretaci. Ve své podstatě se jedná o obrovská množství dat, které podnik zachycuje a následně vyhodnocuje. S tím se ale objevují problémy a vzniká nebezpečí přehlcení daty a špatného vyhodnocení [8].

1.4 Možnosti automatizace

Ve výrobním závodu se dají automatizovat výrobní a montážní procesy a logistické procesy. V montážních procesech se ovšem vyskytují komplikace z důvodu potřeby jemné motoriky pro vykonání dílčí činnosti, která je pro robota často nemožná. Možnosti automatizace tedy často závisí úměrně na charakteru dané výrobní činnosti.

1.4.1 Výrobní a montážní procesy

Výrobní a montážní procesy mohou být plně či částečně automatizovány využitím robotů, kolaborativních robotů či jiných automatizovaných soustav a jednoúčelových strojů. Míra automatizace procesu a autonomnosti těchto strojů se liší charakterem výroby a technologickými možnostmi daného stroje. Tyto stroje lze rozdělit do několika kategorií.

a. Průmyslové roboty

Jedná se o automaticky ovládané, znovu programovatelné víceúčelové manipulátory schopné autonomní výrobní činnosti. Pomocí průmyslových robotů lze řešit např. manipulaci s paletami, produkty, svařování, nýtování a šroubování a další monotónní činnosti. Zavedení robotů do výroby řeší nedostatek pracovní síly, snižuje dlouhodobě výrobní náklady a zmetkovitost. Všeobecně v průmyslu využívaný robot má 6 os pohybu, a to mu umožňuje maximální flexibilitu. Kvůli svým vysokým pracovním rychlostem a robustnosti musejí být roboty odděleny od fyzického kontaktu s lidmi. Musejí tedy pracovat buďto v klecích, či v pracovních zónách bez lidí. V současné době dochází po celém světě k nárůstu prodeje automatizovaných jednotek. Podle Mezinárodní federace robotiky (International Federation of Robotics, IFR) bylo v roce 2020 v provozu 1,64 milionu průmyslových robotů.



Obrázek 1-1 - Průmyslové roboty [9]

b. Průmyslové kolaborativní roboty

Na rozdíl od robotů dokáže kolaborativní robot, tzv. cobot, pracovat po boku člověka. Díky tomu nemusí být ve většině řešení uzavřen v ohraničeném prostoru. Nevýhodou těchto strojů je, že musejí pracovat při nízké rychlosti pohybů, aby svým pohybem neohrozily zdraví člověka. Proto jsou navrženy tak, aby obsahovaly bezpečnostní prvky pro zabránění neúmyslného fyzického kontaktu s člověkem. Mezi tyto prvky patří detekce kolize a silová zpětná vazba. Kolaborativní roboty lze využít všude tam, kde je prováděna jednotvárná opakující se činnost a zároveň je vyžadována přítomnost lidských operátorů, takže například jako součást obsluhy sériových linek a montážních pracovišť.



Obrázek 1-2 - Průmyslové kolaborativní roboty [10]

c. Jednoúčelové automatizované stroje

Jednoúčelové stroje se zaměřují na provádění jedné aplikace či jednoho úkonu na určitém dílu nebo souboru tak, aby tyto operace byly provedeny v co nejkratším čase a v co nejlepší kvalitě. Jedná se například o operace jako jsou montáž, dopravníkové vedení, jednoduchá manipulace či lisování. Jednoúčelové stroje mohou pracovat jako samostatné celky nebo mohou být kombinované do výrobních linek. Tyto stroje se dají mezi sebou propojit například pomocí automatizované soustavy dopravníků. Implementací těchto strojů do výrobního systému lze dosáhnout vyšší kvality a rychlosti výroby. Často jsou také využívány pro funkci měřicí či kontrolní, a to na jakostní kontrolu na konci výrobního procesu.

1.4.2 Logistické procesy

Pokud se jedná o standardní obaly, tak je možné již v současné době automatizovat téměř veškerou manipulaci s břemeny. Autonomní přepravní jednotky hrají při řešení interní skladové logistiky stále větší roli. Výběr vhodné přepravní jednotky závisí na charakteru skladovaného zboží, jeho objemu a dalších faktorech. Níže v této práci budou popsány jednotlivé technologie a možnosti automatizace logistických procesů.

a) Vozíky AGV

AGV (Automated Guided Vehicles) neboli automaticky naváděná vozíky jsou přepravní jednotky, které využívají pro svůj autonomní pohyb řadu technologií. Některé typy spolu dokážou navzájem spolupracovat a komunikovat. Pohon těchto přepravních jednotek je zajišťován pomocí elektromotoru a baterií spolu a navigační systém je řízen softwarem. Tyto vozíky lze využít pouze tam, kde existují standardizované cesty pro interní logistiku. AGV vozítka lze rozdělit do několika skupin podle typu navigace:

- **Indukční navigace**

Navigace vozíku je řízena navigační indukční kolejnicí, která je zabudována v podlaze. Tento typ navigace vozíků je vhodný pro systémy, kde je neměnný layout skladů, jelikož je pro každou změnu tras potřeba přemístění navigačních kolejnic a předělání podlahy.

- **Laserová navigace**

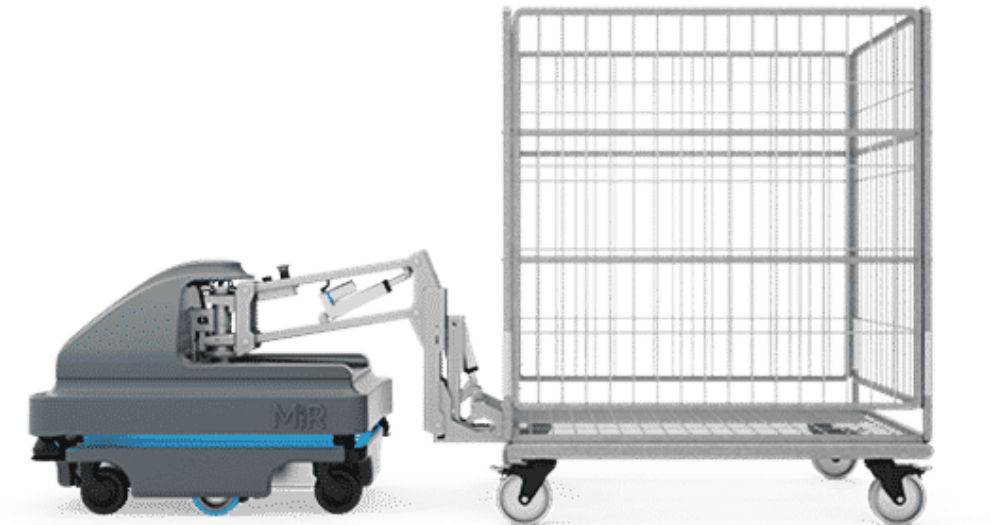
Tento druh navigace je často označován jako LGV (Laser Guided Vehicle). Na vozíku je umístěn laserový skener, který vyzařuje rotující laserový paprsek. Podél dráhy vozíku je umístěna sada laserových všesměrových reflektorů, která odráží vyzařovaný laserový paprsek zpět do skeneru. Díky tomuto odrazu dokáže autonomní přepravní jednotka zjistit svoji polohu pomocí přepočtu úhlových hodnot a vypočítat své absolutní souřadnice a na základě těchto poznatků realizovat velmi přesně svoji trasu.

- **Konturová navigace**

U tohoto druhu navigace využívá vozík k určení své trasy a pro svoji orientaci obrysy okolního prostředí. Nevýhodou je, že musí zhruba 50 % okolního prostředí zůstat neměnné. Tato varianta je vhodná pro využití v kombinaci s jiným typem navigace.

- **Real Time Location System**

Technologie RTLS umožňuje navigaci vozíků a sledování okolních objektů pomocí speciálních antén a lokalizačních čipů. Slouží k digitalizaci pohybu a v reálném čase sleduje a přenáší informace o poloze sledovaného předmětu či osoby ve vymezeném prostoru. Vymezený prostor je sledován anténami a sledované předměty či osoby jsou opatřeny čipy. Díky přenosu údajů z těchto technologií dokáže vozík v reálném čase sledovat svoje bezprostřední okolí a polohu sledovaných objektů ve vymezeném prostředí. [11]



Obrázek 1-3 - AGV Vozík [12]

b) Vozíky AIV

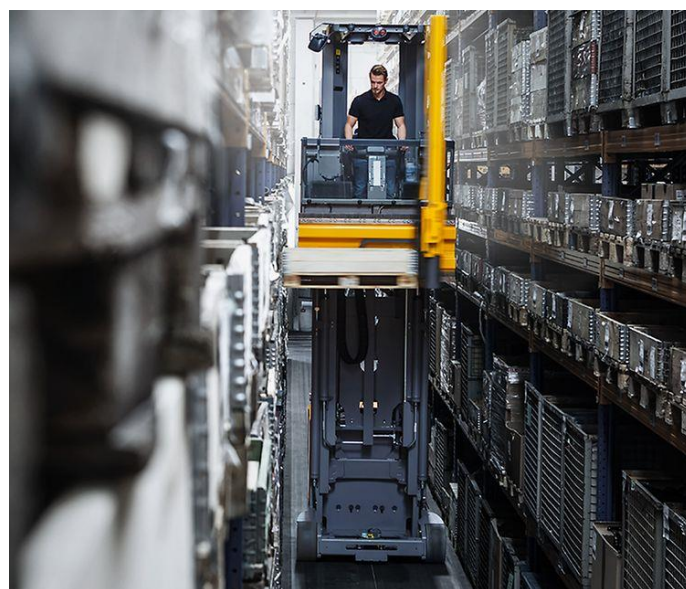
AIV (Autonomous Intelligent Vehicles) jsou autonomní inteligentní vozíky. Tyto vozíky se umějí pohybovat naprosto samostatně všemi směry bez nutnosti velkých úprav haly a nejsou tedy omezeny standardizovanými trasami. Oproti AGV nepotřebují žádné kolejnice v podlaze ani speciální čidla pro navigaci. Dokážou se pohybovat samostatně díky navigačnímu softwaru a digitální mapě haly. Zároveň jsou AIV vozíky schopny vyhýbat se lidem nebo jiným překážkám na jejich trase. Trasy si vozíky upravují samostatně tím, že se neustále učí a zdokonalují pomocí umělé inteligence [11].



Obrázek 1-4 - AIV Vozík [13]

c) Vozíky VNA

O vozících VNA se často hovoří jako o poloautomatických vozících. Jsou řízeny pomocí softwaru pro řízení skladu, tzv. Warehouse Management System. Operátor tak vozík fakticky neřídí, ale stále musí být pro správné vykonání práce přítomen. Jde zpravidla o tzv. systémové vozíky, označované také VNA (Very Narrow Aisle), které umožňují umístit regály blíž k sobě a jednoduše a bezpečně zakládat zboží i ve vysokých skladech (např. až do výšky 14 m). Tato chytrá manipulační technika nabízí možnost řízení systémem s dvěma režimy – poloautomatickým, kdy ve vozíku stále zůstává člověk, a plně automatickým. Při poloautomatickém řízení se vozík pohybuje mezi jednotlivými skladovými pozicemi sám, obsluha tedy nemusí skladové pozice hledat. Na člověku však zůstávají specializované úlohy nebo řešení nestandardních stavů [11].



Obrázek 1-5 - VNA vozík [14]

2 Měření produktivity

Existuje několik způsobů, jak lze měřit produktivitu. Nejčastěji závisí zvolený způsob buď na účelu měření produktivity nebo na dostupnosti údajů. Ve svém smyslu nám měření produktivity ukazuje, kolik vstupů se přemění ve výstupy. Měření produktivity práce může být velmi účinný nástroj proti plýtvání a pro odhalení neefektivních procesů a slouží k racionalizaci procesů. Měření produktivity práce lze obecně rozdělit na produktivitu osob a produktivitu strojů. Zdroj [15] uvádí, že lze měření produktivity rozdělit do více skupin, které budou popsány dále v této práci. V následující podkapitole budou představeny možnosti a způsoby měření produktivity práce. Produktivita práce udává, kolik pracovního výkonu je třeba k dosažení maximálního možného výkonu. Při měření produktivity výrobního systému můžeme měřit produktivitu osob nebo produktivitu strojů.

2.1 Produktivita osob

Měření produktivity manuální práce osob lze provést několika standardizovanými metodami. Produktivita osob lze měřit dvěma způsoby. První z nich je stanovení potřebného času na jednotlivé operace. Druhý způsob se zaměřuje na sledování vykonaných úkonů pracovníkem. V této kapitole budou představeny některé metody pro stanovení produktivity osob. Mezi metody, které zde uvedeny nebudou, patří určování produktivity práce pomocí hrubého odhadu nebo využíváním historických údajů. Měření práce lze dále rozdělit na přímé a nepřímé.

2.1.1 Přímé měření

Přímé měření pracuje s přímo naměřenými hodnotami a následně tyto hodnoty analyzuje a popisuje. Pro přímé měření lze využít stopky, formuláře či specializovaný software.

a. Normování

Normování práce je součástí pravomoci zaměstnavatele a lze charakterizovat jako určení množství práce, kterou má za určitou dobu zaměstnanec vykonat. Normy spotřeby práce lze rozdělit do dvou skupin:

- **Norma času** – Norma času udává, kolik normalizovaných jednotek času je nevyhnutelně potřeba pro zhotovení jednoho kusu nebo jedné operace jedním pracovníkem.
- **Norma množství** – Norma množství vyjadřuje, kolik kusů má zaměstnanec stihnout vyrobit za daný čas určený k práci.

Vytvořit pracovní normy lze několika způsoby, které budou představeny v následujících řádkách. Výstupem je norma spotřeby času, která určuje množství času, které zabere kvalifikovanému pracovníkovi vykonání daného pracovního úkolu při obvyklých pracovních podmínkách.

b. Snímek pracovního dne

Snímek pracovního dne a jeho tvorba patří mezi metody nepřetržitého a bezprostředního studia spotřeby času. Díky snímku pracovního dne lze získat skutečnou představu o spotřebě času daného pracovníka či skupiny pracovníků během celé směny anebo její části. Pracovník je pozorován po určitý časový úsek a jsou zapisovány jeho činnosti, které jsou poté vyhodnoceny

do třech kategorií: produktivní činnost, neproduktivní činnost a ztrátová činnost. Jedná se o velmi univerzální metodu, které je možné využít téměř v jakémkoliv případě. Součástí snímku pracovního dne bývá velmi často tzv. špagetový diagram, který zobrazuje vizuálně pohyb pracovníka ve sledovaném časovém období. Další možností vycházející z principu snímku pracovního dne je snímek operace, který se zabývá pouze sledovanou operací. V takovém případě se mluví o tzv. chronometráži. Chronometráž slouží ke stanovení délky trvání sledované pracovní operace.

2.1.2 Nepřímé měření

Nepřímé měření má za cíl rozbor jednotlivých úkonů na základní pohyby, které jsou následně dle náročnosti analyzovány a je jim přiřazen index, který odpovídá určité spotřebě času.

a. Metoda MTM

MTM (Methods-Time Measurement) je metoda časového měření. Tato metoda je definována jako postup, při němž se manuální postupy člení do svých základních pohybů. MTM je systém předem stanovených časů a používá se pro návrh pracovních procesů. Manuální úkony jsou tedy analyzovány, popsány, strukturovány a plánovány pomocí definovaných procesních modulů. Ty jsou systematicky strukturovány a uspořádány tak, aby bylo možné vizualizovat ovlivňující faktory a navrhovat pracovní systémy již při plánovací fázi. Za tímto účelem základní systém MTM, metoda MTM-1, rozčleňuje pohybové sekvence na základní pohyby (Sáhnout, Uchopit, Přemístit, Spojit, Pustit, Oddělit, Obrátit a Tlačit). Ke každému základnímu pohybu je přiřazena časová hodnota, která závisí na definovaných vlivových parametrech faktorů (např. vzdálenosti). MTM lze použít k několika účelům. Hlavní oblastí použití je správa času, pro kterou se zaznamenávají časové hodnoty manuálních procesů a používají se pro kalkulace nákladů, výrobu řízení nebo výčtu. Kromě toho lze MTM využít v celém výrobním procesu, zejména jako podpora plánovacích procesů [16].

b. Metoda MOST

MOST je technika měření práce, která se zaměřuje na pohyb objektů. Jedná se o metodu nepřímého měření spotřeby času pracovní činnosti. Používá se k analýze práce a k určení normálního času, který by byl potřebný k provedení určitého procesu či operace. MOST je výkonný analytický nástroj, který umožňuje měřit každou minutu při plnění úkolu. Díky němu je analýza práce praktickým, zvládnutelným a nákladově efektivním úkolem. Analýza MOST je kompletní studií operace nebo dílčí operace. obvykle sestávající z několika kroků metody a odpovídajícího modelu posloupnosti. MOST je skládá ze studie práce, studie metody a měření práce. V rámci analýzy se zjišťuje nadbytečný čas v činnosti operátora a je brána v potaz únava pracovníka. Základní systém MOST je vyhovující pro většinu pracovních měření ve výrobní sféře. Každá společnost má jistě některé operace, pro které je metoda MOST logickým a nejpraktičtějším nástrojem pro měření práce [17]. V důsledku toho je pro popis manuální práce zapotřebí měřit pouze tři sekvence činností:

- Obecné přemístění
- Řízené přemístění
- Použití ručního nástroje

2.2 Produktivita strojů

Produktivita strojů je měření schopnosti stroje přeměnit vstupní suroviny na užitečný výrobek. Rozhodující prvek nákladové efektivity se označuje jako produktivita. Obecně lze vypočítat vydělením průměrné produkce v každém období náklady vynaloženými na spotřebu zdrojů ve stejném období. Do těchto zdrojů lze zařadit například náklady na provoz stroje, jako jsou spotřeba energie či spotřeba maziva.

a. Snímek pracovního dne stroje

Obdobně jako u měření produktivity osob lze vytvořit snímek pracovního dne pro daný stroj. Z pozorovaného nepřetržitého měření stroje nebo skupiny strojů za zvolený časový úsek lze sestavit snímek pracovního dne (nebo jiného časového období), kde budou pracovní činnosti vyhodnoceny do třech kategorií: produktivní činnosti, neproduktivní činnosti a ztrátové činnosti.

b. Sběr z dat

Další možností, jak měřit efektivitu strojů, je sběr dat z výroby. Tento sběr může být manuální nebo automatický. Automatický sběr dat přímo ze strojů, linek a pracovních stanic slouží pro on-line záznam začátků a konců prostojů, jejich příčin, výrobních cyklů, rychlostí výroby, počtu shodných a neshodných kusů, včetně příčin těchto neshod. Tato data jsou dále vyhodnocována a slouží například k nastavení nebo upravení taktu stroje či rychlosti výroby.

c. OEE

OEE (Overall equipment efficiency) je měřítkem toho, jak dobře je výrobní operace využívána (zařízení, čas a materiál) ve srovnání s jejím plným potenciálem v období, kdy je naplánován její provoz. Určuje procento výrobního času, které je skutečně produktivní. OEE 100 % znamená, že se vyrábějí pouze kvalitní díly (100 % kvalita), maximální rychlostí (100 % výkon) a bez přerušení (100 % dostupnost). Měření OEE je osvědčeným výrobním postupem. Měřením hodnoty ukazatele OEE a mapováním souvisejících ztrát lze získat důležité poznatky o tom, jak systematicky zlepšovat výrobní proces. OEE je účinnou metrikou pro identifikaci ztrát, srovnávání pokroku a zlepšování produktivity výrobního zařízení (tj. odstraňování plýtvání). OEE bude v této práci rozepsáno detailněji.

d. TEEP

TEEP (Total effective equipment performance) je úzce související ukazatel, který rozvíjí metodu OEE. TEEP kvantifikuje OEE v kalendářních hodinách, nikoli pouze v plánovaných provozních hodinách. Zdůrazňuje dopad plánovaných prostojů, především hodin, kdy je továrna uzavřena. Ukazuje nevyužitý potenciál podniku. Hodnota TEEP 100 % znamená, že provoz pracuje s OEE 100 % 24 hodin denně a 365 dní v roce (100 % vytížení). TEEP bude níže v této práci detailněji popsáno [18].

2.3 Další dělení měření produktivity

Produktivitu lze měřit i u podniku jako souboru jednotlivých celků. Kromě produktivity výrobního systému a jeho částí můžeme měřit produktivitu materiálovou, kapitálovou a režijní.

- **Měření materiálové produktivity**

Produktivita materiálu vypočítává kapacitu využití surovin. Toto kritérium je výhodné, pokud materiálové náklady tvoří velký zlomek celkových nákladů.

- **Měření kapitálové produktivity**

Kapitálová produktivita měří efektivnost kapitálu investovaného do zařízení a budov, které se používají při výrobě produkce. Tento ukazatel produktivity je užitečný zejména u bezobslužných buněčných výrobních systémů nebo u kapitálově náročných souhrnů ročních hodnot měřených pro každou příslušnost na základě její produktivní životnosti, nákladů základního roku a nákladů na aktiva firmy.

- **Měření režijní produktivity**

Další měřená hodnota se vztahuje k efektivitě využití režijní produktivity. Tuto skupinu tvoří různé vstupy, jako je podlahová plocha, stroje, nástroje a případný počítačový software. Náklady na stroje mohou zahrnovat poplatky jako energie (elektřina a palivo), konzervace, renovace a daň z nemovitosti. Náklady na nástroje mohou vzniknout sledováním opotřebení nástrojů a jejich případného rozbití. Náklady na podlahovou plochu se mohou skládat z nákladů na energie, údržbu, opravy, pojištění a daň z nemovitosti [15].

2.4 Ukazatele a jejich význam

V průmyslové praxi existuje několik ukazatelů výkonnosti. V angličtině se nazývají zkratkou KPI (Key Performance Indicator), neboli klíčové ukazatele výkonnosti. Tyto ukazatele se používají pro zhodnocení úspěšnosti sledovaných klíčových faktorů jednotlivých strojů nebo montážních linek a jejich provozních cílů. Výběr správných klíčových ukazatelů výkonnosti závisí na dobrém pochopení toho, co je pro organizaci důležité sledovat. Vhodně zvolené KPI poskytnou objektivní důkazy o pokroku dosahování požadovaných výsledků a podporují rozhodovací procesy. V následujícím textu budou některé z nich detailněji vysvětleny.

- **Počet správně vyrobených kusů** – Jedná se o počet správně vyrobených kusů za sledované časové období.
- **Počet špatně vyrobených kusů (zmetků)** – Jedná se o počet vadně vyrobených kusů za sledované časové období
- **Čas běhu stroje** – Udává čas, po který byl sledovaný stroj v požadovaném období v aktivním běhu a prováděl produktivní činnost.
- **Doba výroby** – Pojem, který udává potřebnou dobu pro vyrobení daného výrobku na sledovaném stroji. Průběžná doba výroby představuje délku trvání všech procesů ve výrobě od zahájení prvotní operace až po odvedení hotového produktu.
- **Prostoje** – Jedná se o přechodnou a neplánovanou překážku v práci. Může se jednat o nezaviněnou technickou poruchu či o zpoždění dodávek materiálu.
- **Přestávky** – Dodržování přestávek je důležité pro zajištění plynulosti výroby a pro plnění výrobního plánu.

- **Spotřeba materiálu** – Sledování spotřeby materiálu a nakládání s ním může odhalit skrytá plýtvání. Dále se sledování spotřeby materiálu využívá pro stanovení plánu zásob a vytvoření spotřebních norem.
- **Spotřeba energie a vody** – Vhodné nakládání s energiemi a vodou šetří podniku zdroje, proto je důležité odhalit jakékoliv nežádoucí plýtvání
- **Dodržení výrobního plánu** – Sledování dodržování či nedodržování výrobního plánu je důležité pro řízení zdrojů a termínů zakázek.
- **Počet operátorů na pracovišti** – Udává, kolik je třeba operátorů výroby pro plynulý chod pracoviště a plnění stanovených výrobních norem.
- **Délka přestavby** – Ukazuje, jak dlouho trvá přestavit stroj z výroby jednoho produktu na výrobu produktu následujícího.

2.5 OEE

OEE (Overall equipment efficiency), česky Celková efektivita zařízení, patří mezi nejpoužívanější výrobní statistiky v podnikovém managementu. OEE lze charakterizovat a využít následujícími způsoby:

- Nástroj pro nalezení skryté kapacity
- Slouží k měření produktivity zařízení
- Poměr produktivity mezi výrobou skutečnou a výrobou ideální
- Přínosy na straně vybavení, obsluhy, procesu a kvality
- Měření spolehlivosti výrobní sítě
- Identifikace skutečné příčiny problému

OEE je často popisováno jako vícevrstvý ukazatel, který lze využít napříč různými odvětvími a druhy výroby, ať už se jedná o výrobu dávkovou či kontinuální. Měření OEE je klíčové zejména v případě montážních systémů, jelikož je nezbytné pro různé účely, včetně plánování, odhad kapacity, přidělování lidských zdrojů či přidělování finančních zdrojů. Celková efektivita zařízení se měří shromažďováním informací s ohledem na dostupnost zařízení, efektivitu výkonu procesu a míru kvality výrobků [5].

2.5.1 Výpočet OEE

Výsledná hodnota OEE lze vyjádřit pomocí výpočtu. Celkovou hodnotu OEE lze tedy spočítat podle následující rovnice:

$$OEE = Dostupnost * Výkon * Kvalita * 100\%$$

a. Dostupnost

Dostupnost je definována jako poměr plánované doby výroby minus prostoje (poruchy a výměny) k plánované době výroby.

Lze tedy vyjádřit rovnicí:

$$\text{Dostupnost} = \frac{\text{Skutečný čas výroby}}{\text{Plánovaný čas výroby}}$$

b. Výkon

Efektivita výkonu je poměr skutečně vyrobeného počtu produktů ku teoreticky vyrobenému normovanému množství.

Lze tedy vyjádřit rovnicí:

$$\text{Výkon} = \frac{\text{Skutečně vyrobené množství}}{\text{Teoreticky vyrobené normované množství}}$$

c. Kvalita

Kvalita je poměrem mezi celkovým množstvím kvalitně vyrobených výrobků ku celkovému množství všech vyrobených výrobků.

Lze tedy vyjádřit rovnicí:

$$\text{Kvalita} = \frac{\text{Celkové množství kvalitních výrobků}}{\text{Celkové množství všech výrobků}}$$

2.5.2 6 velkých ztrát

Aby bylo možné lépe určit zdroje největších ztrát a zaměřit se na oblasti, které by se měly zlepšit, aby se zvýšila výkonnost, byly tyto kategorie (dostupnost, výkon a kvalita) dále rozděleny na tzv. "šest velkých ztrát".

a. Ztráty na dostupnosti:

- Poruchy zařízení jsou kategorizovány jako časové ztráty při snížení produktivity a množství ztráty způsobené vadnými výrobky.
- Časové ztráty při seřizování a nastavování jsou důsledkem prostojů a vadných výrobků, které vznikají, když končí výroba jedné položky a zařízení se nastavuje tak, aby splňovalo požadavky jiné položky.

b. Ztráty na výkonu:

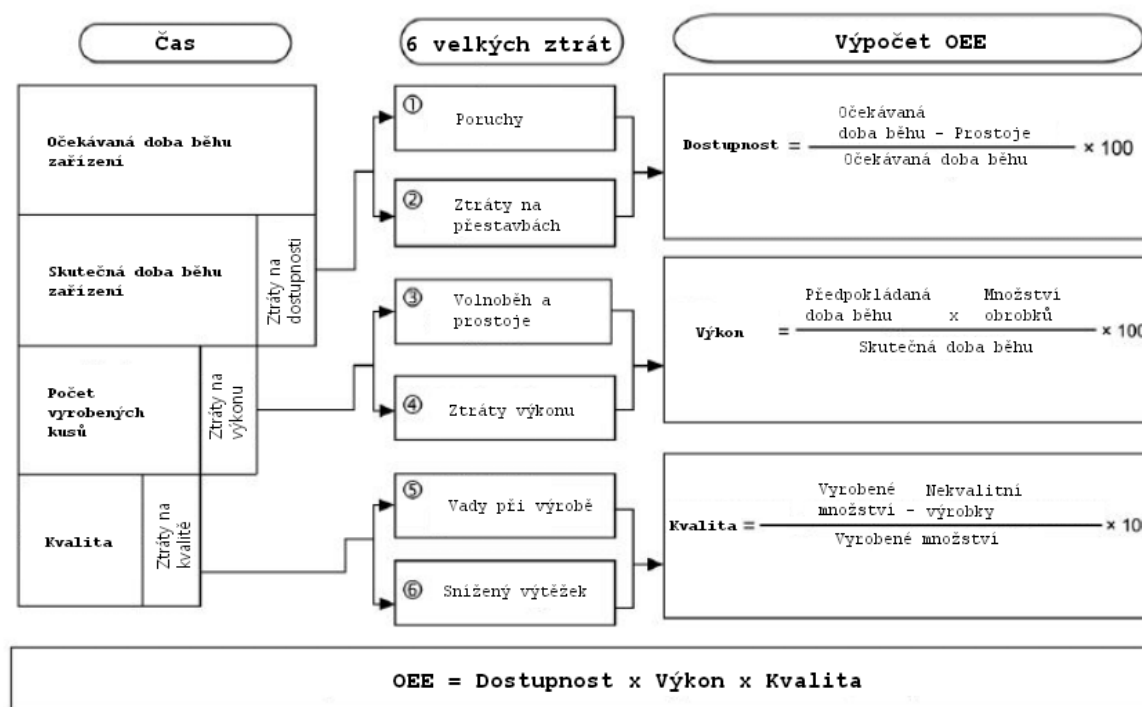
- Ztráty z volnoběhu a drobných prostojů vznikají při přerušení výroby dočasnou poruchou nebo při volnoběhu stroje.
- Ztráty sníženými otáčkami se týkají rozdílu mezi konstrukčními a skutečnými provozními otáčkami zařízení.

c. Ztráty na kvalitě:

- Vady kvality a přepracování jsou ztráty kvality způsobené nefunkčním výrobním zařízením.
- Snížená výtěžnost vzniká v počátečních fázích výroby od spuštění stroje až do ustálení.

V důsledku toho se ztráty z prostojů používají k výpočtu koeficientu dostupnosti, ztráty z rychlosti určují výkonnost zařízení a ztráty z kvality jsou zahrnuty do výpočtu míry kvality. Předchozí výzkum ukázal, že i když je OEE v literatuře dobře definován, interpretace jeho základních ztrátových faktorů je častým důvodem rozdílů mezi jednotlivými společnostmi. Přesné měření OEE je omezeno schopností společností shromažďovat údaje a potřebnou úroveň

přesnosti. Protože je však účinnost zařízení ovlivněna okolním prostředím, závisí měření OEE také na činnostech operátorů a na plánování výroby a řídicích politikách společnosti [19].



Obrázek 2-1 – 6 velkých ztrát (vlastní zpracování dle zdroje) [20]

2.5.3 Nejistoty v měření OEE

S rozvojem digitalizace průmyslu se automatické měření OEE stalo ústřední součástí systémů pro řízení výroby (MES). Platnost a užitečnost odhadu OEE jsou velmi závislé na sběru dat, který vyžaduje jak dostupnost, tak přesnost dat, zejména přesnost, která určuje hodnoty OEE. V reálném výrobním prostředí však může existovat mnoho zdrojů nejistot, které ovlivňují přesnost dat. Kvůli manuálnímu nebo poloautomatickému sběru dat mohou být často přehlédnuty údaje, jako jsou některé drobné prostoje, volnoběžné otáčky a ztráty rychlosti atd. Navíc kategorie ztrát, které chybějí nebo mají špatný popis, nelze seskupit do klasifikovaných ztrát pro odhad OEE a odvodit nepřesné OEE. Navíc není zřejmý příčinný vztah mezi změnou faktorů (dostupnost, výkon a kvalita) a OEE. Proto konvenční formulace OEE, která je založena na přesných údajích a jejímž výsledkem je jediná hodnota, může fungovat s nízkou přesností a uvádět rozhodovatele v omyl. Pak je třeba brát v úvahu nejistoty. Těmto nejistotám se nelze vyvarovat a je tedy potřeba s nimi dopředu počítat [21].

2.6 Další metody

Pro sledování efektivity zařízení můžeme využít i další ukazatele, které jsou nejčastěji odvozeny právě z metody OEE. Poskytují měřitelné srovnání efektivnosti jednotlivých výrobních zařízení i celých výrobních podniků. Zahrnují v sobě více složek ovlivňujících celkovou efektivnost, které lze samostatně vyhodnotit a použít k eliminaci nalezených ztrát (organizace, výkonu a kvality).

2.6.1 Celková efektivní produktivita zařízení (TEEP)

TEEP (Total Effective Equipment Performance) je výkonnostní ukazatel, který poskytuje informace o skutečné kapacitě výrobního provozu. Bere v úvahu jak ztráty zařízení (měřené pomocí OEE), tak ztráty plánu (měřené pomocí využití). Lze vypočítat ze 4 faktorů: Dostupnost, výkon, kvalita a utilizace stroje. Utilizace stroje udává procento kalendářního času, které je využito pro výrobu.

$$Utilizace = \frac{\text{plánovaný čas výroby}}{\text{celkový čas}}$$

Výsledný ukazatel TEEP lze vypočítat pomocí následující rovnice:

$$TEEP = \text{Dostupnost} * \text{Výkon} * \text{Kvalita} * \text{Utilizace} * 100\%$$

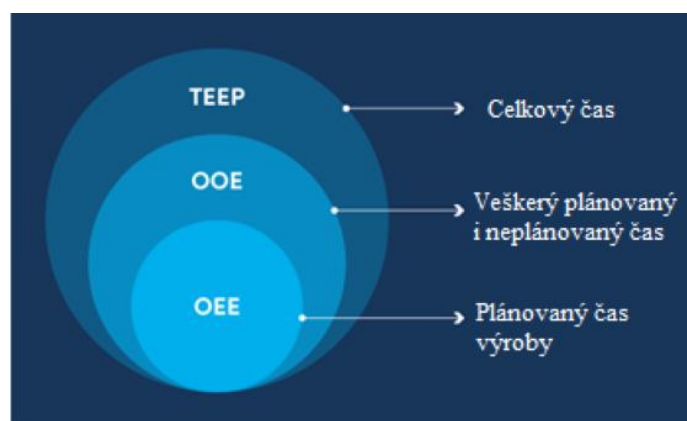
Výsledkem tohoto výpočtu je procentuálně vyjádřená hodnota ukazatele TEEP.

2.6.2 Srovnání OEE a TEEP

Hlavním rozdílem mezi oběma metrikami je maximální čas, který je k dispozici pro výrobu. Jelikož TEEP zohledňuje veškerý čas, maximální doba dostupná pro výrobu je 24 hodin denně, 7 dní v týdnu, 365 dní v roce. TEEP měří procento produktivity závodu po celou dobu jeho trvání, zatímco OEE měří pouze procento plánovaného výrobního času, který je skutečně vysoce produktivní. Kdybychom chtěli zjistit maximální výrobní kapacitu výrobního podniku, bylo by měřeno OEE; ale kdybychom chtěli získat větší perspektivu o rozšiřitelnosti výrobního podniku, byla by brána v úvahu TEEP. I když se obě metriky často používají souběžně, každá z nich definuje jinou část výrobního podniku [22].

2.6.3 Celková efektivita operací (OOE)

OOE (Overall Operations Effectiveness) je méně používaná metoda měření dostupnosti výrobní linky. Jedná se o mírnou obměnu OEE, protože rozlišuje mezi dobou, kdy je zařízení v provozu, a dobou, kdy má stroj podle plánu běžet. Při použití metriky OOE je tedy například doba plánované údržby stroje zahrnuta do výpočtu OOE, ale nikoli do výpočtu OEE. Je to proto, že během plánované údržby není stroj v provozu podle plánu. Na OOE mají vliv i další faktory, například doba střídání směn. Jinými slovy, OOE měří dostupnost od okamžiku zahájení směny do okamžiku jejího ukončení. Ve většině výrobních provozů není možné zahájit a ukončit výrobu přesně mezi těmito časy, protože se nevyhnutelně vyskytnou prostoje nebo přestávky. Pokud se tedy OOE používá jako výrobní metrika, řadí se mezi TEEP a OEE [23].



Obrázek 2-2 - Srovnání OEE, OOE a TEEP (vlastní zpracování dle zdroje) [24]

3 Analýza současného stavu

V této kapitole bude představena firma Wacker-Chemie, s.r.o., její výrobky a nastíněn výrobní proces. Proběhne základní analýza současného stavu pracoviště a výrobních procesů v plzeňské pobočce firmy Wacker-Chemie, s.r.o. Na závěr kapitoly budou rozebrány podněty a možnosti pro potenciální automatizaci technologií a pro zlepšování podnikových procesů. Text této kapitoly se bude věnovat tématům, která jsou důležitá pro vypracování praktické části této diplomové práce. V této práci budou řešeny možnosti automatizace stávajících strojů a procesů. Bude analyzována práce s daty, která se týkají vyhodnocování celkové efektivity výroby a budou posouzeny možnosti eliminace ztrátových procesů.

3.1 Představení společnosti

Wacker Chemie AG je německá nadnárodní chemická společnost, kterou v roce 1914 založil Alexander Wacker. Společnost ovládá rodina Wackerů, která drží více než 50 % akcií. Korporace provozuje více než 25 výrobních závodů v Evropě, Asii a Americe. Sortiment výrobků zahrnuje silikonové kaučuky, polymerní výrobky, jako je redispergovatelný polymerní prášek ethylenvinylacetátu, chemické materiály, polykřemík a destičky pro polovodičový průmysl. Společnost prodává své výrobky ve více než 100 zemích.



Obrázek 3-1 - Logo společnosti Wacker-Chemie, s.r.o. [25]



Obrázek 3-2 - Areál Wacker-Chemie, s.r.o. v Plzni

3.2 Rozbor současného stavu

V této podkapitole bude rozebrán současný stav technologie výroby, budou představeny typické stroje pro tento druh výroby a charakterizovány běžné výrobky společnosti Wacker-Chemie, s.r.o. Dále proběhne nastínění výrobního procesu a odhalení některých nedostatků a potenciálu pro zlepšení interních firemních procesů.

3.2.1 Výrobní stroje

Ve výrobní hale se nachází v současné době 9 pracovišť a každé pracoviště obsahuje jeden míchací stroj a jeden stroj pro protlačování materiálu, tzv. extruder (někdy nazýván též strainer). Vstupní materiálové polotovary jsou míchány pomocí strojů se dvěma válci za vysokého pracovního tlaku a vyšší teploty. Do výrobků je možno přidat aditiva pro změnu fyzikálních a chemických vlastností či pro změnu barvy. Aditiva je třeba řádně promíchat. Na ručních pracovištích promíchávání probíhá tak, že je oddělena část materiálu z válce ručně pomocí škrabky a tento kus materiálu je vhozen zpět mezi točící se válce a tento proces je opakován, dokud není materiál rovnoměrně rozmíchaný. Na poloautomatizovaných pracovištích je toto odebírání materiálu vykonáno automaticky pomocí tzv. lopatky, která se pohybuje v horní nebo v boční části válce a celý proces funguje na stejném principu. Následně je rozmíchaný materiál pracovníkem umístěn do extruderu, kde je materiál prohnán přes filtrační síto. Materiál je poté vytvarován do určitého tvaru a ručně nařezán na zákaznickem požadovanou délku a zabalen. Výrobní stroje jsou staršího výrobního data, takže jejich technologické vlastnosti a měřitelné datové výstupy nedosahují úrovně strojů současných.



Obrázek 3-3 - Výrobní linka

Seznam strojů vyskytujících se ve výrobě:

- Válec bez automatické jednotky
- Válec s automatickou míchací jednotkou
- Extrudér bez automatické jednotky
- Extrudér s automatickým balením hotových polotovarů
- Extrudér s automatickým tokem materiálu do přepravní jednotky

3.2.2 Výrobky

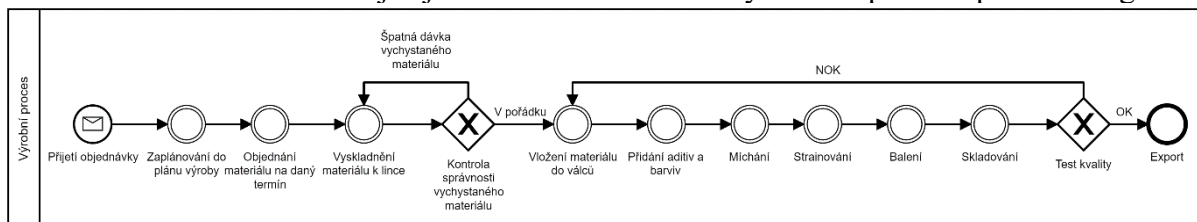
Finální výrobek v podobě silikonového prefabrikátu splňuje zákazníkem definované vlastnosti. Produkty zpracovávané pro lékařský průmysl musejí splňovat vysoké nároky na čistotu materiálu a zdravotní nezávadnost. Firma dále vyrábí pro automobilový průmysl, textilní průmysl, pro barvy zpracovávající průmysl, oděvní průmysl či pro firmy vyrábějící komponenty na chytré mobilní telefony, které se často diametrálně liší ve svých vlastnostech. Finální výrobek může mít odlišnou barvu, vlastnosti i tvar. Standardním tvarem výrobku je hranol dlouhý asi 600 mm, který je balen do fólie a poslán zákazníkovi.



Obrázek 3-4 -Typický finální výrobek

3.2.3 Výrobní proces

Výrobní proces by se dal charakterizovat jako zakázková výroba. Na výrobních strojích se často mění druh vyráběného materiálu podle aktuálně zpracovávané zakázky, a proto je třeba stroje často pečlivě vyčistit od aditiv a důkladně odstranit mastnotu předchozího vyráběného materiálu. Výroba silikonových dílů a nakládání s nimi je spojeno s vyšší fyzickou pracovní zátěží. Obrázek 3-5 znázorňuje zjednodušeně návaznost výrobního procesu pomocí diagramu.



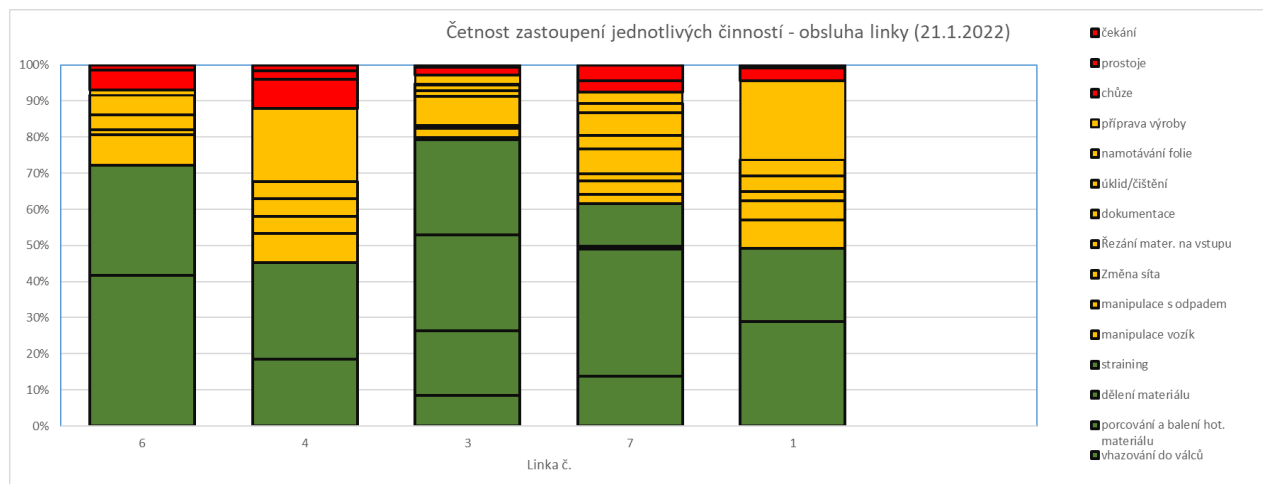
Obrázek 3-5 - Diagram procesu

3.2.4 Vytížení pracovníků

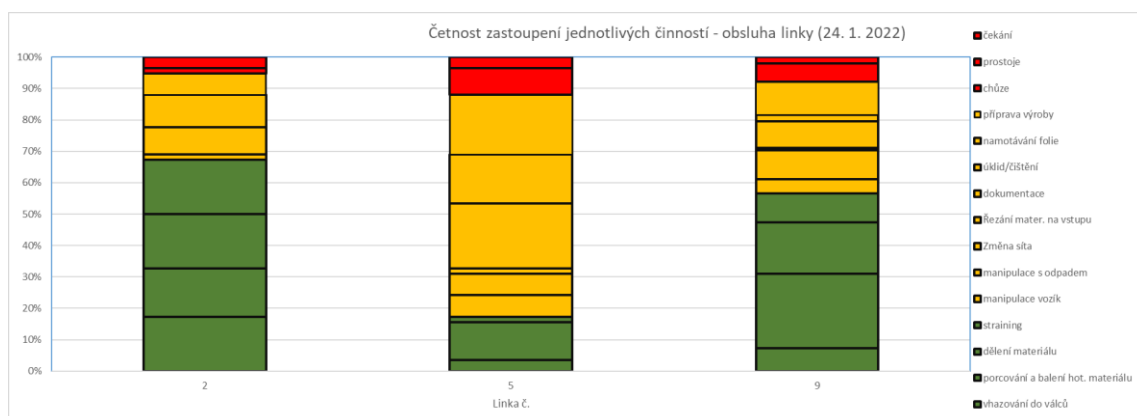
Pro zjištění potenciálu a možností automatizace proběhlo vytvoření hromadného snímku pracovního dne obsluhy strojů, dále detailnějšího snímku pracovního dne obsluhy stroje a snímku pracovního dne skladníků a přípraváře výroby. Z těchto proběhlých měření lze zjistit slabá místa výrobního a logistického procesu a tato místa lze následně optimalizovat či eliminovat pomocí automatizace.

a. Hromadný snímek dne obsluhy strojů

Měření hromadného snímku dne proběhlo během dvou pracovních dnů. Byl zaznamenáván počet vykonaných činností jednotlivými pracovníky obsluhy stroje a z toho vzniklo poměrné zastoupení jednotlivých pracovních aktivit. Toto měření proběhlo celkově u osmi pracovišť výrobní linky. Na následujících obrázcích (3-6 a 3-7) lze vidět poměrné zastoupení produktivních (zelených), neproduktivních (žlutých) a ztrátových (červených) činností. Produktivní činnosti jsou aktivity přidávající hodnotu. Neproduktivní činnosti hodnotu nepřidávají, ale nelze se jim v rámci výrobního procesu vyvarovat a jsou důležité pro správný chod výroby. Červené ztrátové činnosti jsou osobní a organizační ztráty. Tyto ztráty je třeba buďto snížit na nezbytně nutné minimum anebo úplně eliminovat. Toho lze dosáhnout optimalizací procesu, racionalizací pracoviště či implementací částečně nebo plně automatizovaných strojů do výrobního procesu.



Obrázek 3-6 - Hromadný snímek pracovního dne č. 1

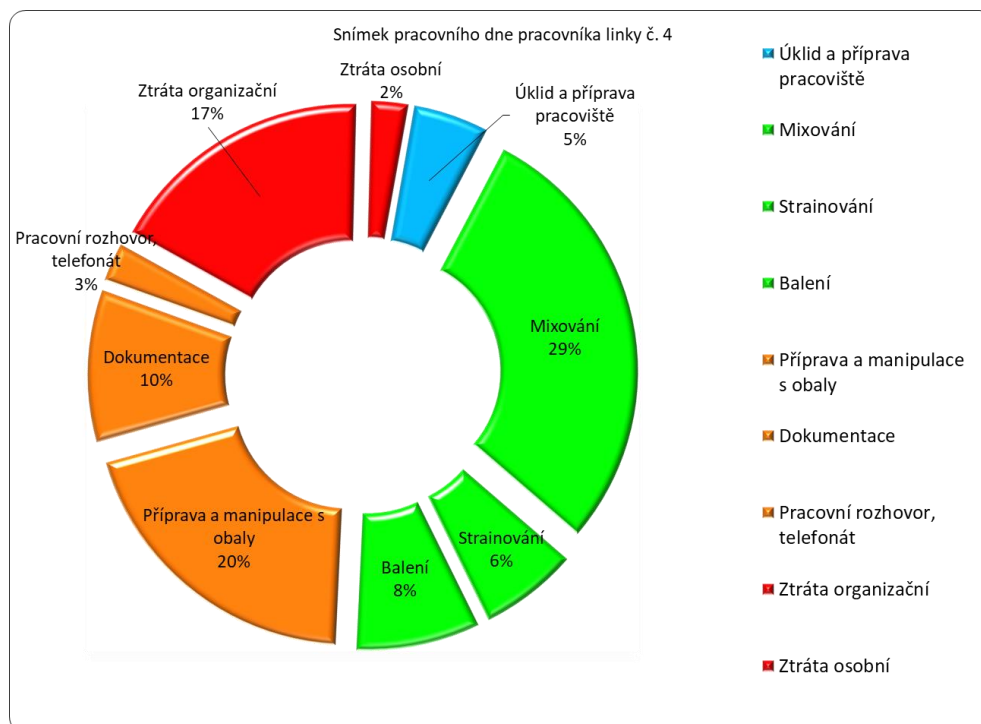


Obrázek 3-7 - Hromadný snímek pracovního dne č. 2

Z výše uvedených obrázků lze vidět, že poměrné zastoupení produktivních činností se pohybuje při běžné výrobě v rozmezí 50–70 %. Vysoké zastoupení neproduktivních činností u linky č. 1, č. 4 a č. 5 je z důvodu změny vyráběného materiálu a s tím spojeného čištění stroje a jeho součástí. Tyto činnosti jsou časově náročné a bohužel se bez nich nelze obejít, jelikož je třeba při každé změně vyráběného materiálu vše důkladně vyčistit, aby nedošlo ke kontaminaci nadcházející vyráběné dávky.

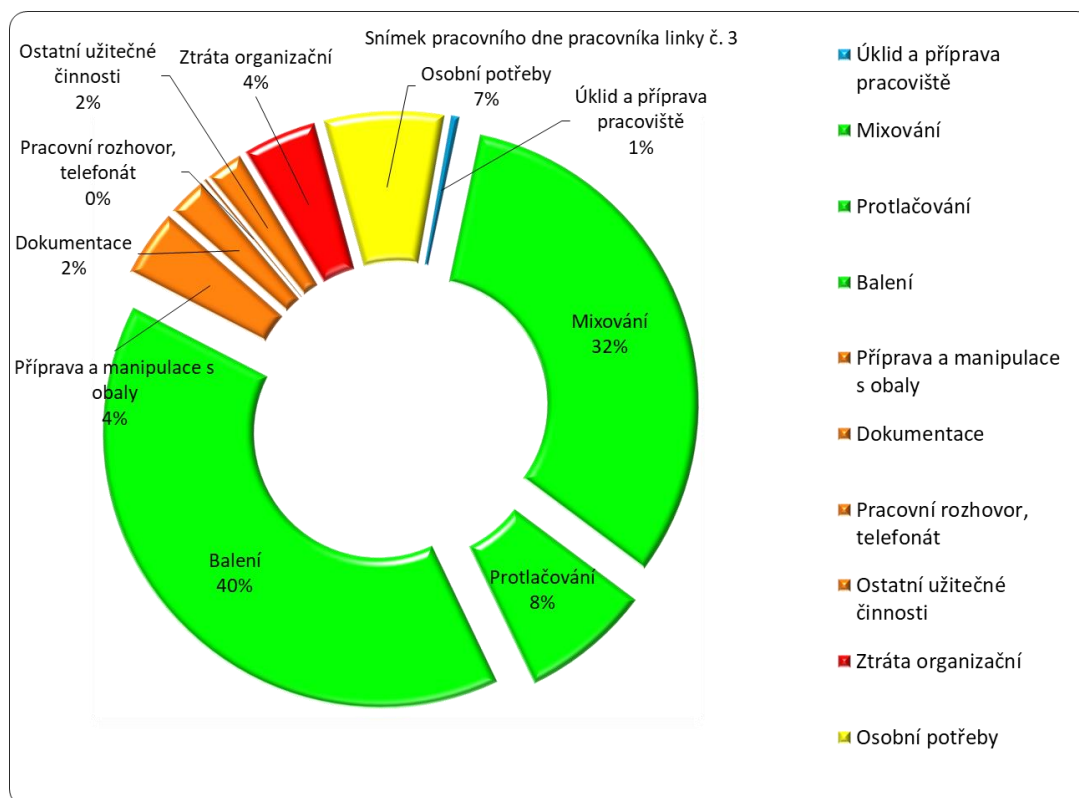
b. Snímek pracovního dne obsluhy stroje

Detailní snímek pracovního dne obsluhy stroje byl proveden na dvou pracovištích. Každé pracoviště se skládá z válců pro míchání materiálu a z extruderu sloužící pro vytlačování promíchaného materiálu. Před začátkem směny je materiál skladníky vychystán na vstupu linky. Následně má obsluha linky za úkol tento materiál rozbalit, navážít pomocí vážící jednotky a vyrábět. Výroba může být dvojího typu. U prvního typu výroby dochází k tzv. homogenizaci základního materiálu a při druhém dochází k přidávání aditiv či barviv do základního materiálu. Tyto druhy výroby se od sebe odlišují dle požadavků zákazníka, ale fungují na stejném principu. Při homogenizaci materiálu se nemusí obsluha linky řídit přesně daným pracovním postupem a vstupní materiál po promíchání ihned odendává z válců. Při druhém typu výroby je třeba přesně dodržet výrobní postup a gramáž aditiv a barviv. Následující snímky pracovního dne byly naměřeny při výrobě materiálu obsahujícího aditiva a barviva.



Obrázek 3-8 - Snímek pracovního dne obsluhy linky č. 1

Pracoviště č. 4 mělo automatizované balení a řezání hotového materiálu po vytlačování. Toto zařízení je přímo napojeno na extruder a materiál je do něj podáván systémem podavačů a padá do krabice. Obsluha této linky tedy měla za úkol v případě naplnění krabice materiálem vypnout automatické podávání materiálu, ustřížením ukončit tok materiálu, zabalit krabici s hotovým materiálem a označit krabici štítkem. Následně obsluha stroje odvezla paletu s krabicí hotového výrobku na sběrné místo, kde si hotový výrobek převezme přípravář výroby a odveze jej do skladu. Vysoký podíl organizační ztráty vznikl poruchou poloautomatizovaného podávacího jednoúčelového stroje a jeho následnou opravou.



Obrázek 3-9 - Snímek pracovního dne obsluhy linky č. 2

Pracoviště č.3 automatizované prvky neobsahovalo. Pracovník na této lince má za úkol obsluhovat válce, extruder a zároveň řezat výstupní materiál na požadovanou délku cca 30 cm a následně jej zabalit do fólie a umístit do krabice po 6 kusech. Po naplnění krabice musí pracovník poskládat krabice s hotovými výrobky na paletu po 32 krabicích. Přípravář výroby dodává pracovníkovi linky obalový materiál a připravuje krabice. V tabulce 3-1 lze vidět detail vykonané práce a opakování jednotlivých činností. Z tohoto výřezu ze snímku pracovního dne lze vidět, že naplnit jednu krabici hotovými výrobky trvá asi 6 minut.

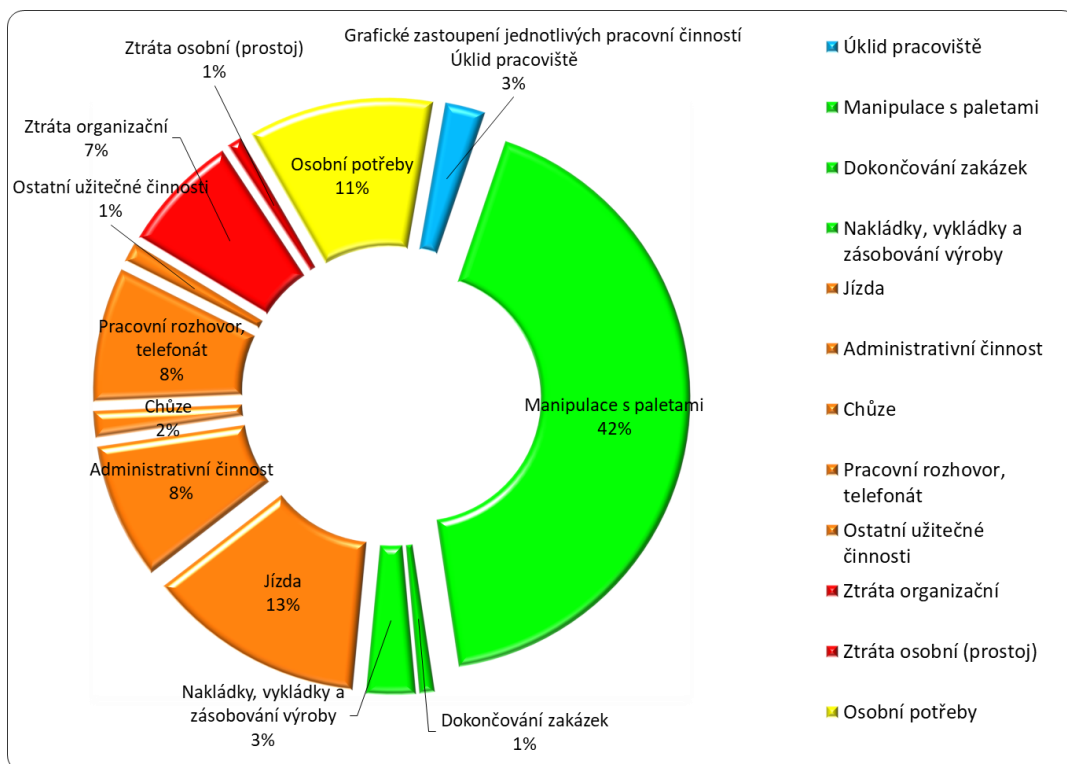
Popis úkonu	h:min:sec	min	P	Činnost	
Nalepení etikety	8:14:08	0:01:07	1,12	4	Balení
Rozbalení krabice vstupního materiálu	8:14:30	0:00:22	0,37	6	Příprava a manipulace s obaly
Odnesení odpadu	8:14:52	0:00:22	0,37	1	Úklid a příprava pracoviště
Rozbalení krabice vstupního materiálu	8:16:23	0:01:31	1,52	6	Příprava a manipulace s obaly
Čtení a zápis do runsheetu	8:16:31	0:00:08	0,13	7	Dokumentace
Řezání materiálu z válců	8:16:43	0:00:12	0,20	2	Mixování
Vkládání materiálu do straineru	8:16:48	0:00:05	0,08	3	Strainování
Krájení vystrainovaného materiálu	8:17:01	0:00:13	0,22	4	Balení
Balení hotového materiálu	8:17:09	0:00:08	0,13	4	Balení
Krájení vystrainovaného materiálu	8:17:22	0:00:13	0,22	4	Balení
Balení hotového materiálu	8:17:36	0:00:14	0,23	4	Balení
Řezání materiálu z válců	8:17:51	0:00:15	0,25	2	Mixování
Vkládání materiálu do straineru	8:17:58	0:00:07	0,12	3	Strainování
Krájení vystrainovaného materiálu	8:18:08	0:00:10	0,17	4	Balení
Balení hotového materiálu	8:18:22	0:00:14	0,23	4	Balení
Řezání materiálu z válců	8:18:34	0:00:12	0,20	2	Mixování
Vkládání materiálu do straineru	8:18:42	0:00:08	0,13	3	Strainování
Krájení vystrainovaného materiálu	8:18:52	0:00:10	0,17	4	Balení
Zabalení krabice hotového materiálu	8:19:01	0:00:09	0,15	4	Balení
Krájení vystrainovaného materiálu	8:19:13	0:00:12	0,20	4	Balení
Balení hotového materiálu	8:19:22	0:00:09	0,15	4	Balení
Zabalení krabice hotového materiálu	8:19:36	0:00:14	0,23	4	Balení
Vložení hotové krabice na paletu	8:19:43	0:00:07	0,12	4	Balení
Příprava prázdného obalu	8:19:47	0:00:04	0,07	6	Příprava a manipulace s obaly
Nalepení etikety	8:19:54	0:00:07	0,12	4	Balení
Řezání materiálu z válců	8:20:12	0:00:18	0,30	2	Mixování
Vkládání materiálu do straineru	8:20:16	0:00:04	0,07	3	Strainování
Krájení vystrainovaného materiálu	8:20:37	0:00:21	0,35	4	Balení
Balení hotového materiálu	8:20:51	0:00:14	0,23	4	Balení

Tabulka 3-1 - Ukázka ze snímku pracovního dne

Ze snímků pracovního dne lze vidět rozdíl mezi poloautomatizovanou linkou a neautomatizovanou linkou. Obsluha linky č. 4 díky částečné automatizaci a charakteristice výrobního procesu manipuluje dlouhý čas s kartonovými krabicemi a paletami. Toto je zaviněno tím, že automatický podavač materiálu nepotřebuje žádnou lidskou asistenci a obsluha stroje tedy zbývá větší množství času na ostatní činnosti. Zautomatizováním balící jednotky dochází ke zvýšení objemu výroby, a tedy větší spotřebě vstupního materiálu a jednotlivých chemických aditiv či kapslí obsahujících barvivo. Na pracovišti č. 3 lze vidět vysoké zastoupení produktivních činností, zejména balení a mixování. Je to dáno tím, že balení zabírá pracovníkovi nejvíce času z celého procesu.

c. Snímek pracovního dne pracovníka skladu

Snímek pracovního dne skladníka byl naměřen během 3 dní. Náplň práce skladníka je zejména manipulace s materiálem. Tento materiál lze rozdělit na materiál vstupní a materiál výstupní. Vstupním materiálem zásobuje průběžně linky. Výstupní materiál přebírá z vytyčeného místa, kam mu jej vozí skladník. Tento hotový materiál je následně zaskladněn do posuvných paletových regálů nebo naložen do návěsu kamionu. Dalším úkolem skladníka, a hlavně vedoucího pracovníka skladu, je administrativní činnost. Ta obsahuje práci se softwarem SAP, objednávání kamionů a kontrolu palet vyrobeného materiálu podle výrobního plánu. Mezi činnost dokončování zakázek patří tištění a lepení vývozních etiket, kompletace palet a průvodní dokumentace k těmto hotovým výrobkům.

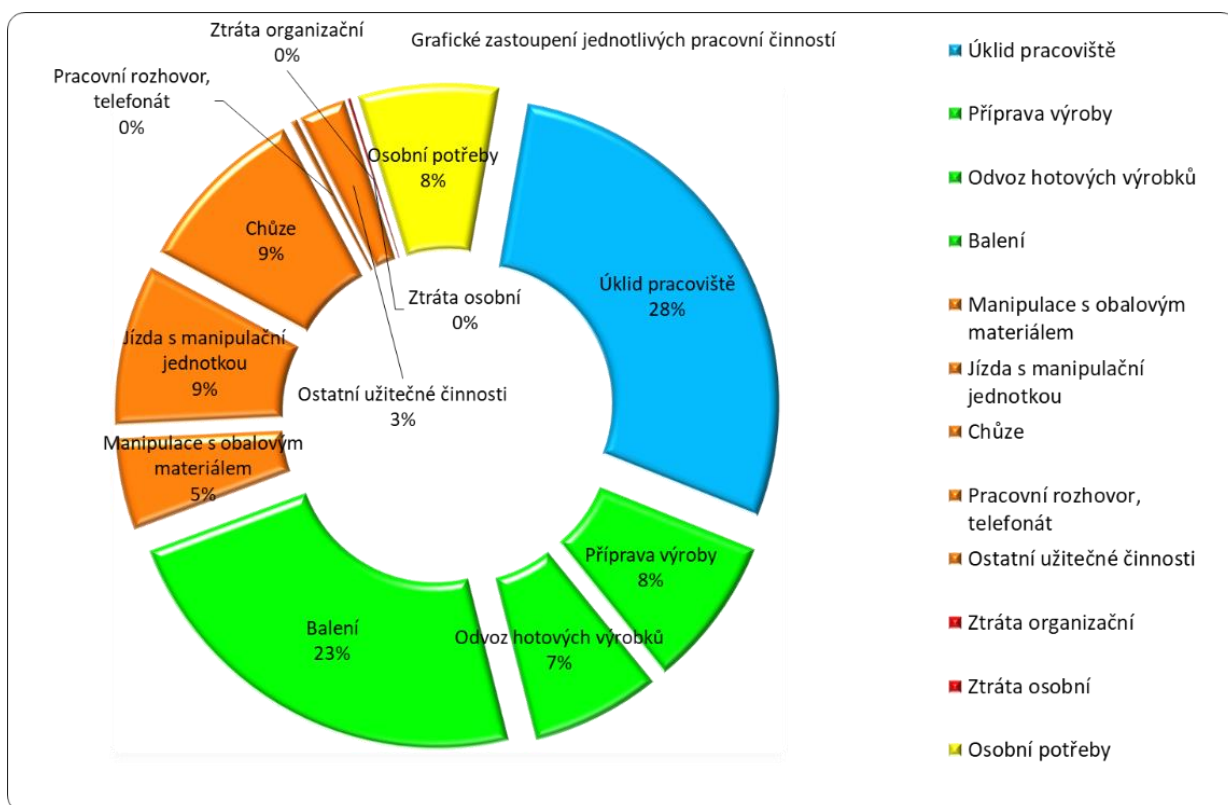


Obrázek 3-10 - Snímek pracovního dne skladníka

Z obrázku 3-10 lze vidět, že produktivní činnosti zabírají přibližně 50 % pracovního dne. Skladník téměř nepřetržitě manipuluje s paletami a stará se o export hotových výrobků a jejich dokumentaci. Většinu pracovní doby obsluhuje pracovník skladu vysokozdvizný vozík, anebo se věnuje dokumentaci a administrativě ve své kanceláři, kde je umístěn počítač a kde mají skladníci své zázemí. Manipulace s paletami je spojená s nahráváním paletových pozic, a proto musí skladník při každém zaskladnění nahrát EAN kód palety do systému a přiřadit k paletě její umístění. Díky tomu lze v systému najít, kde se jaká paleta nachází.

d. Snímek pracovního dne přípraváře výroby

Snímek pracovního dne přípraváře výroby byl vytvořen ve 3 dnech u 3 různých pracovníků. Tato pozice vznikla nově v únoru roku 2022 a v současném personálním obsazení výroby je tato pracovní pozice bez určeného pracovníka. Na začátku každé směny je z pracovníků obsluhy strojů vedoucím směny vybrán jeden pracovník, který daný den vykonává funkci přípraváře. Úkolem pracovníka přípravy výroby je vykonávání podpůrných výrobních procesů. Tyto procesy lze rozdělit do několika kategorií – příprava materiálu, úklid, balení a odvoz hotových výrobků.



Obrázek 3-11 - Snímek pracovního dne přípraváře č.1

Ze snímku pracovního dne přípraváře č.1 lze vypočítat, že největší podíl práce je tvořen úklidem pracoviště a balením beden hotových výrobků. Úklid pracoviště obsahuje kontinuální odnášení odpadu z výrobních linek. Tento odpad je tvořen zejména prázdnými kartonovými bednami, ve kterých byl vstupní materiál a igelitovými obaly. Přípravář tento odpad sbírá a odváží jej do prostoru skladiště, odkud jej vyhazuje do venkovního kontejneru. Před vyhozením odpadu musí bedny rozebrat a oddělit plastové části lepenky od kartonu, aby mohl být odpad správně recyklován. Další nedílnou součástí práce přípraváře je balení hotového materiálu. Přípravář má za úkol dát na krabici plnou hotových výrobků víko, nalepit na ni vytištěnou etiketu s informacemi o druhu materiálu, číslem šarže a číslem zakázky a následně omotat výslednou krabici balicími páskami. K páskování je využíváno paletového páskovacího stroje. Další produktivní činností je odvoz takto zabalených hotových výrobků na místo ve skladě. Toto místo slouží jako sběrné místo a odtud si skladníci palety hotového materiálu přebírají a dále s nimi nakládají. Pro manipulaci s paletami využívá přípravář buďto ruční paletový vozík nebo vysokozdvizný vozík, takzvaný retruck. Ten je využíván zejména v případě potřeby zvedání palet s materiálem do vyšších výšek (například na váhové regály) nebo při manipulaci s gitterboxy a jejich stohování na sebe.

Shrnutí snímku pracovního dne

Ze snímkování pracovního dne pracovníků byla odhalena některá úzká místa procesů. Čištění strojů je velmi časově náročné a tuto funkci je třeba vykonat při každé změně materiálu. Obsluha stroje průměrně ze směny stráví více než 90 minut ručním odřezáním materiálu na válcích a 15 minut ovládním ovládacího panelu stroje. Pracovník tráví ze směny 20 minut vyplňováním dokumentace, proto je potřeba proces získávání informací optimalizovat a revidovat. Oddělování vstupního materiálu v případě že přijde jako celistvý blok je fyzicky velmi namáhavá činnost. Přípravář ze směny stráví 25 minut odvážením hotové výroby do skladu a 15 minut ručním namotáváním obalové fólie. Jízdou s nenaloženou manipulační jednotkou, jako jsou zpáteční cesty a popojíždění, stráví 40 minut ze směny. Pracovník skladu denně průměrně 10 minut zavází materiál do výroby. Tento nízký čas je dán tím, že je materiál vychystáván průběžně po trvání celé směny a zakázky. Naložení kamionu trvá skladníkovi přibližně 10 minut a vyložení kamionu asi 35 minut. Další nedostatky a potenciálně ztrátové procesy byly odhaleny sledováním výrobního procesu a komunikací s pracovníky.

3.2.5 Nedostatky

Následující nedostatky byly zjištěny analýzou současného stavu pracoviště a výrobního procesu. V následujícím textu dojde k představení těchto nedostatků a k jejich detailnějšímu popisu.

a. Předávání informací při výměně směny

Při výměně směny by měl pracovník končící směnu předat nastupujícímu pracovníkovi své pracoviště i s informacemi o rozdělané zakázce. Dále by mu měl sdělit čas výměny síta pro filtraci nečistot materiálu. Tato síta se musí vyměňovat i několikrát za směnu a nesou s sebou pravidelné materiálové náklady. V současné době nejsou informace o času výměny síta mezi pracovníky nijak předávány, proto nastupující pracovník automaticky ihned vymění síto a tím se vyvaruje možnosti toho, že je síto již zanesené a neplní svoji funkci správně. Tímto vzniká materiálové plýtvání, které by šlo odstranit například zavedením informační nástěnné tabulky ke každému pracovišti, kde by pracovník vždy napsal datum a přesný čas výměny síta. Tím by nastupující pracovník dokázal odhadnout, jakou dobu bude síto ještě dostačující pro svoji funkci a nemusel by jej měnit na začátku každé směny. Vyhozená síta a jejich množství lze vidět na obrázku 3-12.



Obrázek 3-12 - Vyhozená síta

b. Zastaralé stroje a jejich ovládání

Jak již bylo zmíněno v předchozím textu, stroje využívané pro produkci jsou staršího data výroby, a tedy nesplňují řadu dnes již standardních vlastností v nedávné době vyrobených strojů. Jedním z těchto problémů je absence automatizace na většině používaných strojů. S tím je spojena již zmiňovaná nutnost namáhavého manuálního dělení materiálu pomocí špachtle a

vhazování materiálu zpět do míchacích válců. Dalším nedostatkem těchto strojů je zastaralé ovládání řídicí jednotky stroje. Pokud chce obsluha například zvýšit některý parametr, musí několikrát opakovaně stisknout tlačítko pro přidání hodnoty, kdy se hodnota každým stiskem zvýší pouze o jednu jednotku. Moderní stroje mají možnost zápisu požadované hodnoty a následně se stroj automaticky na tuto hodnotu přenastaví. Tato nutnost opakovaného stisku tlačítka ovládací jednotky zdržuje operátory výroby a odvádí je to od jejich produktivních činností.

c. Manipulace s materiálem

Zásobování pracovišť funguje v současné době díky činnosti skladníků, kteří zavážejí vstupní materiál pro výrobu. Tento materiál je ale častokrát dovezen pro celou zakázku najednou a začne se v prostoru pro vstupní materiál hromadit. To vede k nedostatku skladovacího místa a materiál je často skladován tak, že zasahuje do manipulační uličky. V ideálním případě by měl být vstupní materiál zavážen v takovém množství a frekvenci, aby pokryl potřeby výroby a nedocházelo k žádnému hromadění v těchto skladovacích místech. Dalším problémem manipulace s materiálem je to, že je operátor často nucen z důvodu přetížení přípraváře odvézt paletu s hotovými výrobky pomocí paletového vozíku vlastnoručně sám, a to jej zdržuje od jeho primární funkce, kterou je práce na stroji a výroba.

d. Velké množství papírové dokumentace

Značná část interní firemní dokumentace je v papírové formě a vyplňování každodenně používaných dokumentů zabere pracovníkům dlouhý čas. Tyto dokumenty jsou často vícestránkové s velkým množstvím vyplňovaných řádek a informační hodnota těchto listin není zcela jasně měřitelná. Digitalizací a zjednodušením těchto dokumentů by se zjednodušilo a zrychlilo jejich vyplňování a zároveň by byly lépe archivovatelné a následně v případě potřeby lépe dohledatelné.

3.3 Analýza sběru a evidence dat

Následující výčet jsou dokumenty, které se v současném stavu nacházejí ve výrobním prostředí. Sledováním výrobního procesu bylo odhaleno, že se z větší části jedná o papírovou dokumentaci vyplňovanou ručně pomocí propisky přímo v prostoru výrobní linky. Informace, které nese dokumentace zmíněna níže, bývají někdy zmatečné a nečitelné.

a. Plán výroby

Plán výroby obsahuje informace o současných naplánovaných zakázkách na daný den a rozpis linek, na kterých je potřeba tyto zakázky vyrobit. Dále je zde konkrétní časový harmonogram využití strojů a požadovaná hmotnost každé zakázky. Tento dokument slouží jako informace pro mistra nebo vedoucího pracovníka směny a každodenní dělba práce se primárně řídí pomocí něj. Plán výroby je vytvářen oddělením logistiky a je plánován několik týdnů dopředu podle aktuálních zakázek a dostupnosti vstupního materiálu.

b. Run sheet dokument

Tento dokument nese informace o každé zakázce. Nachází se v něm pracovní teploty pro míchání mezi válci, gramáž přidávaných aditiv a barviva, požadavky na výrobu. Ve své podstatě se jedná o recept pro výrobu dané zakázky. Následují 3 stránky, kam zapisují operátoři výroby informace o šarži. Do tabulky na prvním listu vyplňuje operátor informace o míchání. Vepisuje číslo náhozu, tzv. runu, datum a čas nahození základního materiálu a přidání aditiva, následně dobu míchání a za jaké teploty a dobu shazování materiálu z válců. Další list obsahuje tabulku pro vytlačování, která obsahuje údaje o čísle runu, datumu a čas začátku a konce vytlačování, pracovní teplotu, informace o výměně filtračního síta a číslo kartonu s hotovým materiálem. Poslední list slouží jako evidence vstupního materiálu a je do něj vypisován materiál, ze kterého je zakázka vyráběna. Tato tabulka může sloužit jako kontrola při vzniku kvalitativní neshody.

c. Výrobní výkaz

Výrobní výkaz je seznam odvedené práce za směnu. Obsahuje informace o personálním obsazení každé linky a o produktivitě každého pracovníka. Tento dokument vypisuje předák směny a obsahuje váhu runu, maximální dosaženou výrobní teplotu na válcích a na extrudéru, počet runů na válcích a extruderech a jejich hmotnostní objem a informace o případném čištění strojů. Tento výkaz z výroby slouží jako podklad informací pro každodenní ranní shopfloor, pro mistra a pro kvalitu. Mistr směny využívá informace o produktivitě zaměstnanců pro jejich odměnění, případně pro strhnutí ze mzdy v případě nedostatečného výkonu zaviněného zaměstnancem. V případě poruchy stroje či jiné nezaviněné odstavce mistr mzdu nestrhává.

d. Vyhodnocení výrobního plánu

Tento list je umístěn na shopfloorovou tabuli a slouží pro účely shrnutí plnění výrobního plánu z předchozího dne. Obsahuje informace z každé linky z ranní, odpolední a noční směny. U každé linky je zapsáno personální obsazení pro danou směnu, vyráběný druh materiálu a informace o splnění či nesplnění výrobního plánu. Dále je zde uveden celkový počet vyrobených kilogramů hotového materiálu za jednotlivou směnu. Tato tabulka je vytvářena mistrem a slouží jako informativní pro pracovníky výroby.

e. Předávací protokol linky

Tento dokument je vyplňován pracovníkem linky a kontrolován předákem směny. Jedná se o dokumentaci, která obsahuje informace o vyráběném materiálu na dané lince, tedy o jeho materiálovém čísle a číslo šarže. Obsluha linky zde dále vyplňuje počet kilogramů vyrobeného materiálu pomocí válců a pomocí extrudéru. Pokud se během výroby vyskytl nějaký prostoj, tak zde pracovník vyplní jeho trvání a důvod tohoto prostoje. V případě, že musel být nějaký stroj čištěn z důvodu výměny vyráběného materiálu, je zde uvedeno celkové trvání čištění a o jaká stroje se jednalo. Vyskytuje se zde i kolonka pro předání informace pracovníkovi další směny. Do této kolonky se vepisují informace o chybějícím či rozbitém drobnějším vybavení na lince, například o chybějící špachtli, a jiné informace různého charakteru. Tento list je při předávání pracoviště podepsán jak předávajícím pracovníkem, tak pracovníkem přebírajícím danou výrobní linku.

f. Kniha závad

Kniha závad se v současném stavu vyskytuje v podobě papírového sešitu, do kterého jsou vpisovány jednotlivé závady výrobních zařízení a další podněty o předmětech potřebujících údržbu či opravu. Pokud dělník zjistí nějakou závadu či problém, nahlásí jej vedoucímu pracovníkovi. Ten definuje tento podnět do knihy závad. Nejprve je vyplněn datum zápisu daného problému, následuje stručná specifikace umístění a konkrétní popis dané situace. Pracovník údržby má za úkol tuto knihu pečlivě kontrolovat a reagovat na vepsané problémy, avšak je přítomen pouze na ranní směně. Je-li problém vyřešen, údržbář napíše datum ukončení problému a krátkou zprávu o postupu řešení při opravě. Každý zápis je podepsán jak vedoucím pracovníkem, tak pracovníkem údržby. V současném stavu nelze evidovat rychlost reakce údržby na problémy ve výrobě a v případě závady ohrožující plynulost výroby je nutno jednat na operativní úrovni. Dále nelze jednoznačně určit, kdo daný podnět do knihy závad vepsal, jelikož chybí jméno zapisovatele a objevuje se zde pouze jeho mnohdy nečitelný podpis. Dále chybí evidence frekvence opakování jednotlivých závad, která by mohla pomoci některým periodicky se opakujícím závadám předcházet.

g. Kniha kvality

Kniha kvality je obdobně jako kniha závad papírový sešit, do kterého jsou ručně vpisovány neshody kvality. V případě zachycení nekvalitního materiálu pracovníky výroby je informace o tomto stavu předána vedoucímu pracovníkovi, který zapíše problém do knihy kvality. Tento nekvalitní materiál se může objevit buďto nekvalitní na vstupu do výroby v podobě nečistého či kontaminovaného základního materiálu anebo špatným či nedostatečným dodržením

výrobního receptu. Vedoucí pracovník zapíše datum vzniku neshody, stručnou specifikaci daného problému a pracovní prostor, kde tento problém vznikl či byl zadržen. Do této knihy může vepisovat odhalené neshody i laboratorní chemik. Druhou stranu dvojlistu knihy vyplňuje oddělení kvality. Je zde uvedeno nápravné řešení, které daný problém vyřeší anebo mu bude příště předcházet. Všechny zápisy jsou opět zapsány bez napsání jmen zapisovatelů a objevuje se zde pouze podpis.

h. Shopfloorová tabule

Shopfloorová tabule se skládá ze 4 částí. První část obsahuje informace z personálního oddělení. Tyto informace nejsou nijak spjaty s výrobou, avšak se nachází ve výrobním prostoru. Mezi zde uváděné informace patří informace o testování a očkování se na onemocnění covid, vyúčtování obědů, zelené cíle v oblasti ochrany životního prostředí, organigram a informace z celopodnikových výletů. Další část této tabule obsahuje informace z oddělení kvality. Lze zde nalézt cíle kvality na daný rok, výsledky hodnocení 6S auditů, přehled reklamací od zákazníků, fotografie odhalených nekvalitních výrobků a informace jak těmto neshodám kvality předcházet a jak je eliminovat již v rané fázi vzniku. Další částí shopfloorové tabule je část výrobní. Na této tabuli je uveden rozpis pracovníků na směně a jejich přiřazení k jednotlivým linkám. Dále jsou uvedeny průběžné informace z výroby, informace o změnách a modifikacích výrobního procesu. Jsou zde vylepeny kontakty na vedoucí pracovníky a předávány data z porady vedoucích směn. Na této tabuli se objevuje i výše zmíněný dokument vyhodnocení výrobního výkazu. Poslední část této tabule je interaktivní. Je zde uvedený celý pracovní týden a rozepsáno obsazení a případná absence pracovníků jednotlivých směn. V návaznosti na to je uveden výrobní plán a skutečně vyrobené množství. Vše je zapisováno ručně pomocí fixu. V případě, že je skutečně vyrobené množství nižší, než je výrobní plán, je zde uvedena linka, která nesplnění plánu zavinila a podrobnější informace o dané situaci. Evidovány jsou také poruchy strojů, které výrazněji ovlivňují výrobní proces. Plnění a neplnění výrobního plánu, příčina prostoje, kvalita, poruchy a porušení bezpečnosti práce jsou vizualizovány barevnými magnety. Tyto magnety jsou červené a zelené barvy. Barevné zbarvení magnetu určuje charakter informace. V případě zeleného magnetu je vše v pořádku, avšak v případě červeného magnetu nastala neshoda. U této shopfloorové tabule probíhá každý den v 8:00 krátká shopfloorová porada, které se účastní vedoucí pracovníci směny, zástupci jednotlivých specializovaných oddělení a management. Shopfloorová tabule je zobrazena na obrázku 3-13.



Obrázek 3-13 - Interaktivní část shopfloorové tabule

Shrnutí dokumentace

Digitalizací lze eliminovat počet papírové dokumentace, zejména předávací protokol linky a run sheet. Tato data by mohla být dostupná v elektronické podobě v tabletech u stroje. Výrobní výkaz a vyhodnocení výrobního plánu lze při zavedení automatického sběru výrobních dat zautomatizovat. Knihu závad, knihu kvality a shopfloorovou tabuli je potřeba digitalizovat.

4 Návrhy na zvýšení produktivity

Následující kapitola je zaměřena na návrhy pro potenciální zvýšení produktivity výrobního a logistického procesu. Místa procesů s potenciálem pro zlepšení byla odhalena v kapitole analýza současného stavu. V tomto textu bude navržena optimalizace těchto procesů.

4.1 Technologický postup

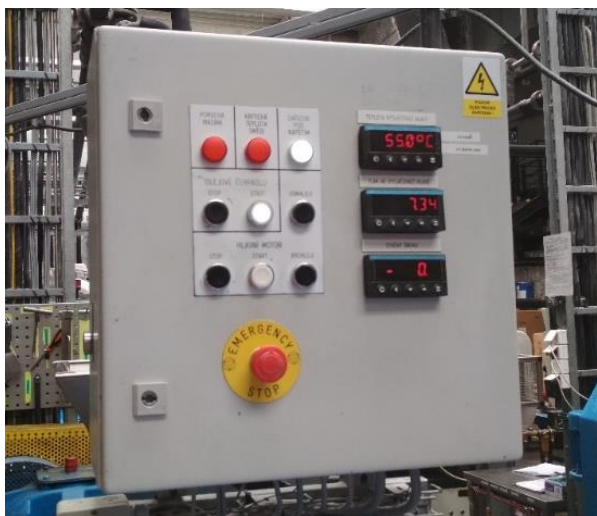
Technologický postup není v současném stavu standardizován pro daný materiál. Objevují se zde široká rozmezí možných pracovních teplot jednotlivých strojů a není standardizována doba operací při práci na těchto strojích. Předepsaný čas výroby je závislý na typu použitého aditiva nebo barviva. Obsluha linky tedy musí sama poznat ze svých zkušeností, po jakou dobu je potřeba materiál před vytlačováním míchat ve válcích. Technologický postup je tedy velmi individuální a není standardizován. Standardizací technologického postupu by se normalizovaly výrobní časy a byly by zvýšeny možnosti pro plánování využívání kapacit strojů. V tabulce 4-1 lze vidět výňatek z technologického postupu a zmiňovaná rozmezí pracovních časů cyklu a doporučené rozmezí křížení materiálu jak pro linky bez míchacího automatu a pro linky s míchacím automatem.

Linka bez míchacího automatu		Linka s míchacím automatem	
Čas výrobního cyklu	40–70 minut	Čas výrobního cyklu	30–60 minut
Křížení materiálu	8–12krát	Křížení materiálu	-

Tabulka 4-1 - Výňatek z technologického postupu

4.2 Modernizace ovládacích panelů

Většina ovládacích panelů strojů je velmi zastaralá. Modernizací ovládacích panelů by bylo možné zrychlit pohyb strojních součástí a snížit potřebný čas obsluhy strojů. Současné ovládací panely extruderu obsahují tlačítka pro start a stop hlavního motoru a olejového čerpadla, dále nouzové tlačítko pro stop stroje a tlačítko pro zvýšení a snížení rychlosti otáčení šneku. Rychlost otáček šneku reguluje rychlost vytlačování materiálu z extruderu skrz síto. Další informace, které jsou zobrazovány na ovládacím panelu, je teplota a tlak ve vytlačovací hlavě straineru a aktuální otáčky šneku. Tlačítka pro regulaci otáček šneku fungují na analogové bázi, je tedy třeba pro změnu o jednu rychlostní jednotku jedenkrát stisknout tlačítko. Modernizace tohoto ovládacího panelu by přinesla možnost digitálně navolit požadovanou rychlost a stroj by okamžitě začal v této rychlosti pracovat bez zdlouhavého mačkání tlačítek.



Obrázek 4-1 - Ovládací panel extruderu

Válcovací stroje mají úplně stejné problémy s ovládacími panely. Oproti extruderům je u válcování třeba regulovat a ovládat více výrobních a strojních parametrů. Průběh výroby je závislý na rychlosti otáčení válců a na mezeře mezi nimi. Pomocí mezery mezi válci je korigováno působení mechanických sil a tím dochází k promíchávání vyráběného materiálu. Tento ovládací panel je vybaven černobílým displejem, na kterém jsou zobrazovány údaje o mezeře mezi válci, rychlosti jednotlivých válců a napětí na jednotlivých válcích. Modernizací a digitalizací tohoto zařízení by bylo možné dostávat a analyzovat data v reálném čase a zároveň by se snížily časy potřebné pro změnu pracovní polohy válců a rychlosti otáčení. Dále by zde přibyla možnost pro automatické nastavení procesu pomocí ovládacího programu a obsluha by mohla mít předem nastavený míchací program pro jednotlivé typy materiálu. Tím by se dosáhlo standardizace pracovního postupu a usnadnilo by se celkové ovládání stroje.



Obrázek 4-2 - Ovládací panel válce

4.3 Optimalizace výrobního plánu

Výrobní plán je sestavován průběžně v horizontu několika týdnů dopředu a za jeho sestavením stojí oddělení logistiky. Proces sestavení výrobního plánu začíná přijetím objednávky od zákazníka. Tato objednávka je podávána přes německé oddělení firmy a propadá do software obsahující seznam objednávek. Oddělení logistiky tento požadavek zapracuje do výrobního plánu a objednávka je následně interně potvrzena. V následující fázi je buďto objednan vstupní materiál na daný termín anebo je prověřena jeho přítomnost na skladě. V čas plánovaného termínu dochází k vyrobění materiálu a výrobní cyklus pokračuje dále podle obrázku 3-5 a zde vyobrazeného průchodu výrobku výrobním procesem. V současném stavu je výrobní proces řízen s ohledem na prioritní zakázky a top zákazníky, kterým je při sestavování výrobního plánu s ohledem na termíny dávána přednost před ostatními zakázkami. Každá vyráběná zakázka s sebou nese vysoké neproduktivní časy způsobené čištěním strojů po dokončení výroby daného materiálu. Tyto časy vyhrazené na čištění a jiné operace spojené s úklidovou činností po dokončení zakázky se pohybují v celkovém průměru kolem 60 minut na jednu linku za směnu. Toto je dáno charakterem chemické výroby a vysokými požadavky na kvalitu materiálu, jeho požadovanou homogenitu a celkovou čistotu. Vhodnou optimalizací výrobního plánu by bylo možné vyrábět zakázky ze stejného materiálu v návaznosti po sobě a tím dosáhnout co největšímu snížení těchto neproduktivních časů nebo jejich dílčích částí. Snížení času prostoje strojů by vedlo ke zvýšení možného celkového objemu využití strojů a k navýšení kapacity výroby.

4.4 Automatizace procesů

V současné době je několik projektů, kde je značný potenciál pro automatizaci. Tyto podněty pro zlepšování výroby jsou ve fázi návrhů a v současném stavu jsou zjišťovány dodatečné informace a podklady pro možné vyhodnocení jejich potenciálních přínosů a míry zlepšení výrobních procesů.

- Automatizace výrobních procesů
 - Míchací jednotka
 - Oddělovač silikonových bloků
 - Navíjení a řezání obalového materiálu
- Automatizace logistických procesů
 - Automatické zavážení výroby
 - Automatické odvážení hotové výroby do skladu
 - Automatické zavážení expedice
- Digitální podnik
 - Digitalizace sběru dat
 - Automatizace sběru dat
 - Reporting a vizualizace dat

4.4.1 Automatizace výrobních procesů

V následující kapitole budou probrány možnosti automatizace výrobních procesů. Mezi tyto procesy lze zařadit veškeré stroje a zařízení určené pro výrobu finálního produktu a zapojující se do výrobního procesu. Bylo vytipováno několik míst s potenciálem pro automatizaci.

a. Automatická míchací jednotka na válci

Většina strojů není v současném technickém řešení vybavena míchacím zařízením na válcích. Silikon se tedy musí ručně a velmi pracně oddělovat od válců pomocí škrabky a vrací se zpět mezi válce, aby se dobře a rovnoměrně promíchal. Automatické míchací zařízení míchá silikon mnohokrát rychleji a pracovník se může během míchání věnovat jiným činnostem. Toto zařízení automaticky narušuje materiál pomocí lopatek a svým posuvem do stran jej vrací zpět do pracovního prostoru válců (již zavedené řešení na jedné z linek je na obrázku 4-3). Díky tomu je materiál rychleji a kvalitněji promíchán než v případě ručního míchání. Zavedení automatických míchacích jednotek do stávajícího technického řešení všech výrobních linek slibuje redukci namáhavé ruční práce a celkové zrychlení výrobního procesu.



Obrázek 4-3 - Automatická míchací jednotka na válci

b. Automatický oddělovač pro velké silikonové bloky

Základní materiál je velmi často dodáván jako jeden silikonový blok. Tento silikonový blok váží někdy i více než 200 kg a musí být rozřezán na malé kousky, které obsluha stroje následně postupně vhazuje mezi míchací válce. Materiál se řeže ručně pomocí ocelové struny. To je velmi zdoluhavá a pro pracovníka často velmi vyčerpávající činnost. Tento oddělovač by automaticky nebo poloautomaticky nařezával materiál na menší kousky a ušetřil by obsluze stroje mnoho manuální vyčerpávající práce a zrychlil celý výrobní proces. Tento zařízení by také měl být mobilní, aby mohl být přemísťován po výrobní hale a mohl sloužit pro více pracovišť. Implementací automatizovaného oddělovače materiálu silikonových bloků lze snížit riziko nemoci z povolání. Tyto nemoci se vyskytují při jednotvárném fyzickém zatížení nebo periodickém využívání jen jedné části těla. Mezi tyto nemoci se řadí onemocnění karpálního tunelu, onemocnění šlach, svalů a kloubů a další onemocnění spojená s dlouhodobou neúměrnou fyzickou zátěží.

c. Automatická navíječka a řezačka balící fólie

Fólie, do kterých je vyrobený materiál balen, mají určité standardizované rozměry. Jednotlivé části obalového materiálu jsou řezány odlamovacím nožem z ručního navíječe. Tato navinutá vrstva před odříznutím musí mít namotanou tloušťku cca 10 mm. Ruční rolování fólie pomocí této manuální navíječky trvá dlouho a odřezání požadovaného kusu obalového materiálu odlamovacím nožem je časově náročné a nebezpečné. Nový automatizovaný stroj by navíjel vrstvu fólie a automaticky ji nařezal na určené délky podle počtu potřebných kusů. Zavedením tohoto řešení by se zvýšila bezpečnost pracovníků a rychlost podpůrných procesů výroby. Ze snímku pracovního dne přípraváře výroby, který má navíjení fólie v popisu své pracovní náplně, bylo pozorováno, že navíjení fólie zabere průměrně 15 minut z pracovní směny. Zavedením automatického stroje pro navíjení a řezání obalové fólie by byl tento čas eliminován. Přípravář by pouze stiskl tlačítko, mohl by odejít dělat jinou práci. Až by byla fólie odmotána a uříznuta, tak by ji odnesl na výrobní linku. Na obrázku 4-4 je stávající řešení v podobě ruční navíječky ze svařované konstrukce.



Obrázek 4-4 - Ruční navíječka obalové fólie

4.4.2 Automatizace logistických procesů

V této kapitole bude rozebrána možnost automatizace logistických procesů. Základem pro implementaci automatizace logistických procesů je využívání standardizovaných obalových jednotek. Ve výrobním procesu jsou využívány standardní euro palety, takže zde existuje jistý potenciál pro zaplánování autonomních vozítek. Obsluha stroje v současném řešení často odváží hotové palety s materiálem do skladu pomocí paletových vozíků. Toto se děje v případě, když jsou skladníci vytíženi. Tento proces by mohl být zautomatizován pořízením automaticky řízených paletových vozíků. Vozidlo AGV může samo organizovat odvoz a dodávku materiálu a pracovník se může věnovat produktivnějším činnostem. Při vhodném nastavení by tyto automaticky naváděné vozíky mohly materiál k pracovištím i zavážet a minimalizovat počet materiálu uskladněného u strojů na nezbytně nutnou hladinu zásob potřebnou pro zajištění výroby. Toto řešení s sebou nese vysokou počáteční investici a byla by třeba důkladná analýza návratnosti. Automatizaci lze implementovat do následujících dílčích procesů popsanych níže.

a. Automatické zavážení výroby

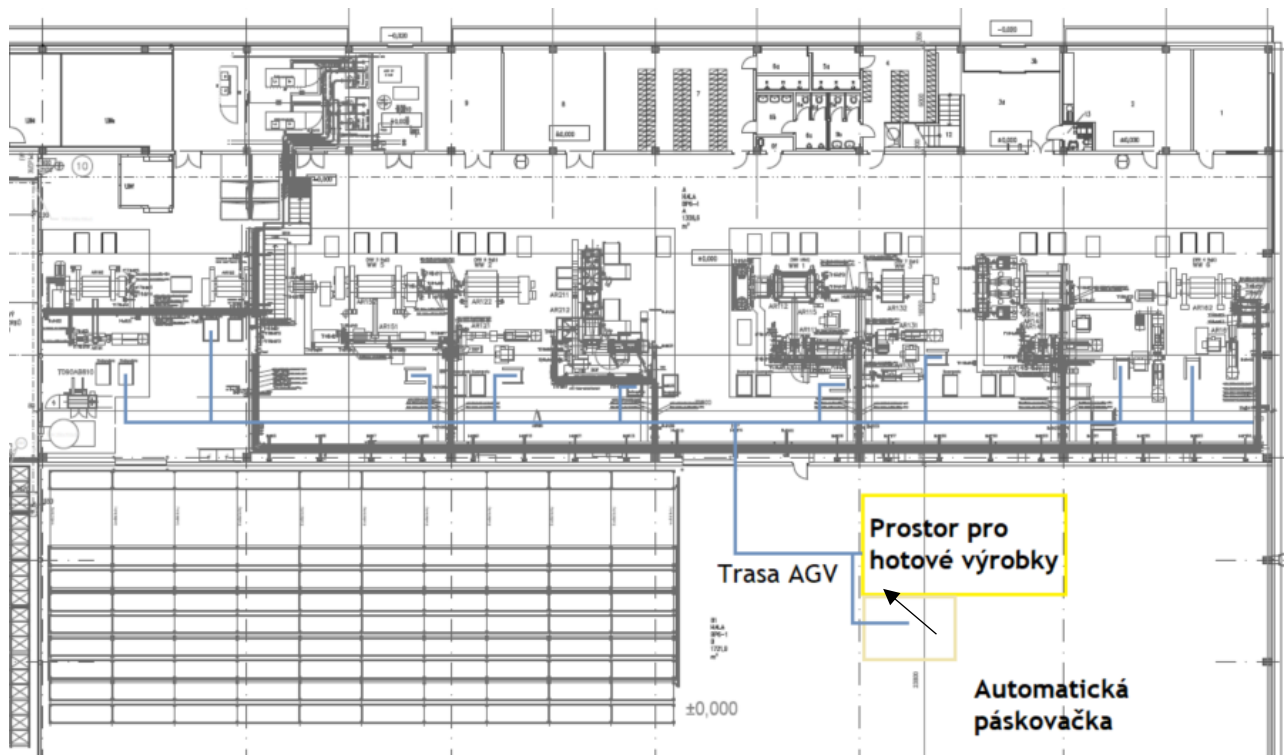
Tento druh automatizace logistických procesů obsahuje automatické zavážení vstupního materiálu na jednotlivé linky nebo předem specifikovaná místa, odkud by byl materiál dále přebrán obsluhou linky nebo připravářem výroby. Pro tento typ automatizace by byla potřeba předem nadefinovat trasy autonomních manipulačních vozíků a místo pro vykládku materiálu. Tato místa by se měla ideálně nacházet na vstupu výrobní linky nebo v těsné blízkosti tohoto prostoru. Zavedením tohoto řešení by se značně eliminoval čas skladníků, který je potřeba k vychystání materiálu a jeho následnému dovezení k výrobní lince. Autonomní manipulátory materiálu, které by byly pro tento typ zavážení výroby potřeba, by mohly být naváděny pomocí indukce, jelikož by měly předem specifikované trasy a místa nakládky a vykládky. Skladníci by vychystali palety s materiálem na místo materiálu vychystaného do výroby a následně by si autonomní vozítko odvezlo paletu díky načtení EAN či QR kódu na místo určené k zavážení materiálu na linku. Na každé lince by se muselo vyznačit a dodržovat místo pro potřeby zavážení materiálu.

b. Automatické odvážení hotové výroby do skladu

Pro vytvoření konceptu automatického odvážení hotové výroby je třeba nejprve definovat místa vytýčená pro sběr hotových palet materiálu a místo pro odvoz hotových palet. Místo pro sběr hotového materiálu by bylo potřeba vytvořit jedno u každé výrobní linky. V tomto místě by obsluha linky kompletovala paletu s hotovými výrobky. V případě, že by byla paleta hotová, byl by pomocí signálního znamení přivolána autonomní přepravní jednotka, která by danou paletu odvezla na místo automatického páskování. Pro možnost automatického páskování by bylo třeba pořídit automatizovaný páskovací stroj, do kterého by byla paleta pomocí autonomního vozítka zavezena a následně opět nabrána na sběrné místo (obrázek 4-5), odkud by byla paleta hotového materiálu převzata skladníky a následně zaskladněna do paletové pozice (obrázek 4-6).



Obrázek 4-5 - Stávající prostor pro hotové palety



Obrázek 4-6 - Navrhovaná trasa pro automatické odvážení hotové výroby

c. Automatické zavážení expedice

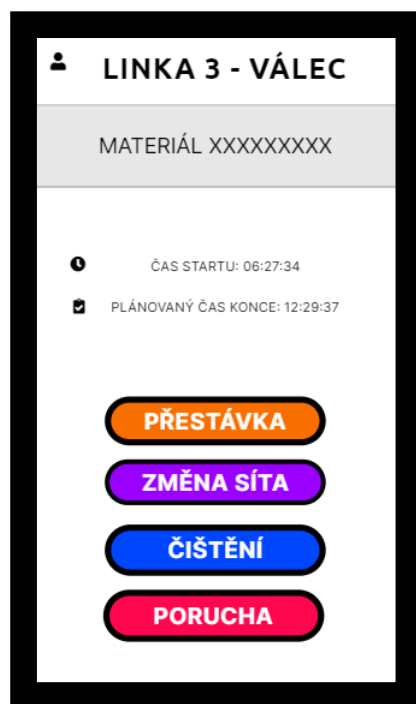
Automatickým zavážením expedice by došlo k zautomatizování procesu nakládky návěsů kamionů a dodávek. Toto řešení s sebou nese značnou finanční investici, jelikož je potřeba pořídit drahé a chytré autonomní samonaváděcí vozíky, které si s takovýmto úkolem poradí. Pro implementaci tohoto řešení by bylo potřeba přestavět nákladové rampy pro zajištění korektní funkce vozíků. Tyto vozíky by si musely opět přebírat materiál ze sběrného místa, jelikož se v prostorech skladu nacházejí posuvné regály, které nejsou plně automatizovány a je potřeba, aby jejich posuv do stran ovládala lidská obsluha. Z těchto důvodů se zavedení automatické zavážení expedice jeví jako nepravděpodobná investice.

4.4.3 Digitální podnik

Digitalizace dat, jejich automatizovaný sběr a digitální vizualizace se stává standardem pro sběr dat a následnou práci s nimi. Sběr velkého objemu dat z výroby je v současnosti jedním z nejdůležitějších podkladů pro tvorbu analýz, reportů a dále slouží jako podkladový materiál při rozhodovacích procesech a predikcích budoucích stavů. Proto je důležité, aby byla data co nejlépe sbírána, kategorizována a dále s nimi bylo účelně nakládáno.

a) Digitalizace sběru dat

Pro možnost digitalizace sběru dat navrhuji vybavit každý stroj průmyslovým tabletem. Vodotěsný a prachotěsný tablet by sloužil pro zápis prostojů a sdílení informací o dané lince a vyráběném materiálu v případě změny směny. Tato obsluhou zapisovaná data by byla automaticky propisována skrz internetové připojení v reálném čase na sdílený disk či úložiště, kde by s nasbíranými daty mohl ihned pracovat vedoucí pracovník či management a vznikla by tím možnost okamžitého přehledu o stavu výroby a o prostojích strojů. Následně by v tomto softwaru byly informace o výměnách síta, takže by vznikla evidence skutečné spotřeby sít v závislosti na jednotlivých zakázkách. Jak by takovýto software mohl vypadat je znázorněno na obrázku 4-7. Tento software by zároveň sloužil pro předávání informací mezi pracovníky při střídání směny a byl by v něm pro zápis i čtení dostupný runsheet s výrobním postupem pro vyráběný materiál.



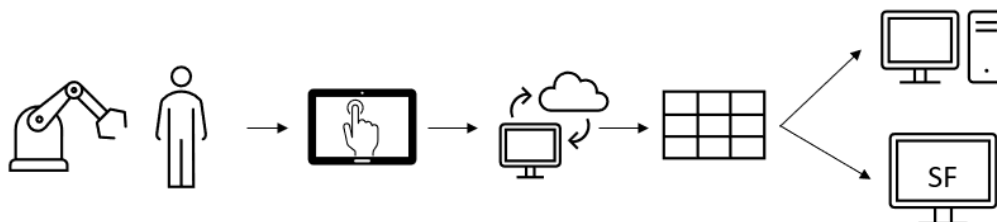
Obrázek 4-7 - Možnost digitalizace sběru dat pomocí tabletu

b) Automatizace sběru dat

Automatizace sběru dat je předpokladem pro tvorbu databází obsahujících informace z výroby a je důležitou součástí pro vyhodnocování a další práci s těmito daty. Sběr dat může být automatizován zavedením komplexního sběru dat pomocí senzorů díky implementaci nových ovládacích panelů stávajících strojů, jak bylo navrženo v kapitole výše. Další možností je využití jednotlivých čidel a rozmístění těchto čidel na důležité strojové části a následné zpracování sběru těchto dat. S automatizací sběru dat se několikanásobně zvedne jejich zaznamenávaný objem a bude proto potřeba tyto datové balíčky účinně vytřídit do databáze, zstandardizovat a následně s nimi dále pracovat. Díky automatizaci dat lze průběžně automaticky zapisovat výrobní výkaz a sledovat plnění výrobního plánu.

c) Reporting a vizualizace dat

Automaticky sbíraná a digitalizovaná data je třeba přetvořit v hodnotné výstupy. S těmito výstupy je potřeba dále nakládat a reportovat tato data pro účely mapování stavu výroby, optimalizace procesů a kontinuálního zlepšování. K tomu účelu lze využít aplikace pro vizualizaci dat jako je např. excelové grafy či Power BI. Právě Power BI je velmi vhodné pro implementaci, jelikož je velmi přehledné a vyhodnocovaná data lze filtrovat a vhodně graficky vizualizovat. Pro možnosti reportingu těchto dat navrhuji místo stávající shopfloorové tabule umístit na zeď v místě každodenních porad televizor, který by zobrazoval data z výroby z předchozího dne v digitální formě s možností sortování dat a komplexního vyhodnocení stavu výroby. Digitální vizualizace dat tímto způsobem působí více uceleně a je mnohem přehlednější pro čtenáře než data zapsaná na tabuli pomocí fixu. Návaznost navrhovaného procesu sběru, reportingu a vizualizace dat je schematicky znázorněna na obrázku 4-8.



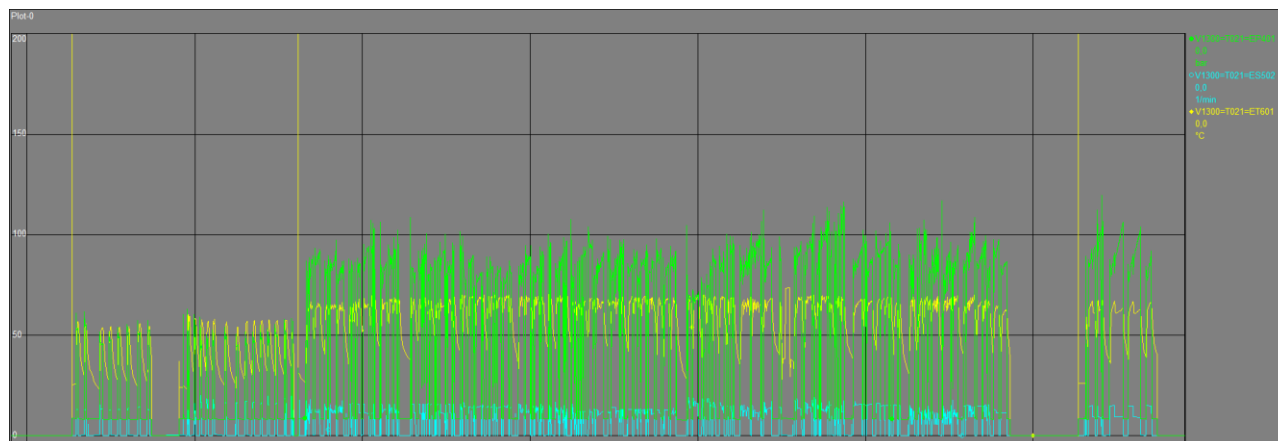
Obrázek 4-8 - Proces zápisu a sběru dat

5 Implementace měření OEE

Pro zavedení měření OEE je potřeba nejprve zanalyzovat dostupnou datovou sadu. Data z výroby, které se v podniku vyskytují, se z valné většiny od samotného začátku nacházejí v papírové formě a jsou často zdoluhavě a pracně přepisovány do excelových tabulek a následně převáděny do programu SAP. Při těchto přepisech může dojít k nejasnostem v zapsaných datech a chybí verifikace zapsaných hodnot od pracovníků z výroby. Pro možnost automatického výpočtu a průběžného vyhodnocování ukazatele OEE je potřeba datovou sadu co nejvíce zdigitalizovat, standardizovat a stanovit evidenci požadovaných datových vstupů a výstupů.

5.1.1 Výpočet dostupnosti

Výpočet dostupnosti bude proveden ze dvou složek časů, z plánovaného času běhu strojů a ze skutečného času běhu strojů. Plánovaný čas běhu strojů bude vypočítáván jako 7 hodin za směnu. Jedná se o čas směny prokrácený o čas přestávek a předávání směny. Skutečný čas běhu strojů nebyl v současném řešení nikde evidován a bylo by velmi náročné jej zjistit. Během psaní této práce ale proběhla modernizace softwaru, který dokáže monitorovat změny v pracovním tlaku strojů, pracovní teploty, odpor a posuv částí strojů ve výrobním prostoru. Software tato data generuje ve formě spojnicového grafu (obr. 5-1), ze kterého lze odečíst dobu, kdy stroj reálně běžel a kdy byl vypnut. Tato data mohou být exportována do excelové tabulky. Tato data slouží jako reprezentanti skutečných údajů o běhu strojů, a to jak extruderů, tak válců.

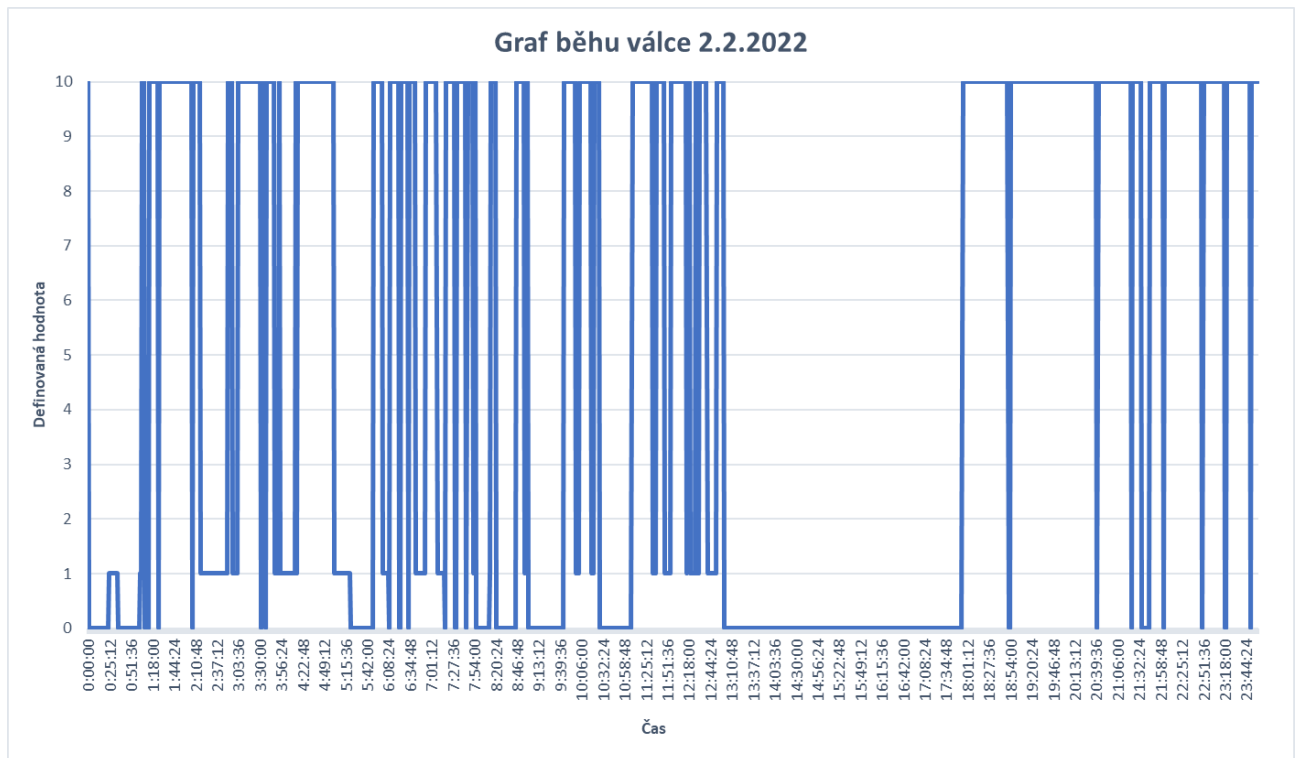


Obrázek 5-1 - Graf pro určení skutečné doby běhu stroje

V softwaru, ve kterém jsou tato data zaznamenávána a vizualizována, byla vytvořena funkce pro oddělení času běhu stroje a času prostoje. V případě času běhu stroje bude vypsána hodnota 10. V případě volnoběhu stroje bude vypsána hodnota 1 a v případě vypnutí stroje bude vypsána hodnota 0 (obrázek 5-2). Hodnoty, které budou spadat do těchto hranic, byly definovány s výpomocí vyššího managementu a mistra výroby. Následně proběhl zápis těchto dat do excelové tabulky ve formátu .csv. Byla vytvořena databáze nasbíraných dat v excelové tabulce (tabulka 5-1), která slouží jako podklad pro vizualizaci dat pomocí softwaru Power BI.

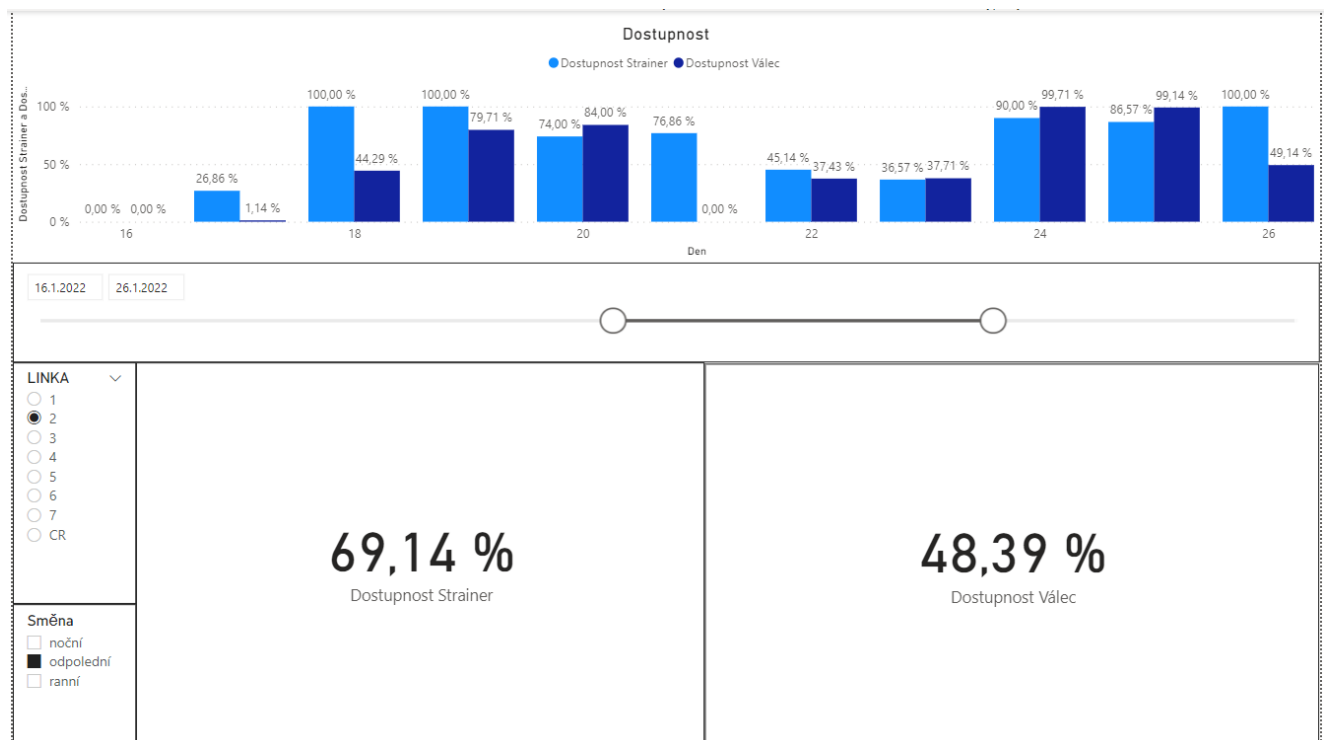
Zápis dat z grafu
WW06.Value,2022-01-14 19:51:36,0
WW06.Value,2022-01-14 19:52:48,1
WW06.Value,2022-01-14 19:54:00,10
WW06.Value,2022-01-14 19:55:12,10

Tabulka 5-1 – Ukázka zápisu dat z grafu běhu stroje



Obrázek 5-2 – Ukázka grafu z běhu válce

Tato data jsou zaznamenávána s intervalem 72 vteřin mezi jednotlivými zápisy. Jedná se tedy o poměrně přesnou interpretaci běhu stroje. Tato data byla následně porovnávána s časy dostupnosti strojů, který byl určen na 7 hodin za směnu.



Obrázek 5-3 - Vizualizace dat dostupnosti strojů

Na obrázku 5-3 lze vidět možnosti vizualizace vyhodnocovaných dat. Data lze rozdělit podle linek, směn a kalendářních dnů. Dalším přínosem této vizualizace je možnost samostatného měření dat pro mixovací válce i pro strainer, tudíž lze poměrně přesně procházet dostupnost jednotlivých strojů za dané období.

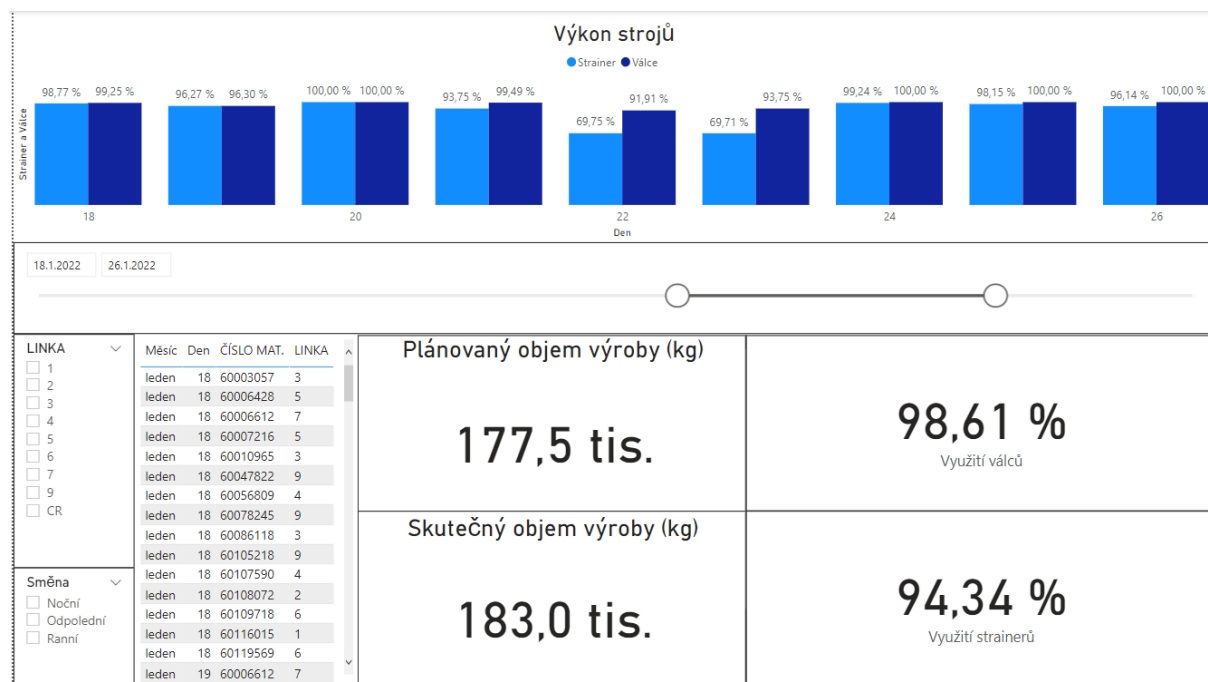
5.1.2 Výpočet výkonu

Výpočet výkonu strojů (mixovací válce a strainery) jednotlivých linek bude vycházet z dat obsahujících informace o výrobním plánu. Tento plán obsahuje rozepsaný plánovaný objem vyrobeného materiálu na jednotlivé stroje a linky. Dalším dokumentem, ze kterého bude výpočet výkonu vycházet, je výrobní výkaz. Tento výrobní výkaz obsahuje informace o skutečně vyrobeném materiálu na jednotlivých linkách a opět zde lze najít data k jednotlivým strojům. Tato data lze následně přes číslo linky, druh směny a číslo materiálu propojit s výrobním plánem. Ukázka z výrobního výkazu lze vidět v tabulce 5-1.

Linka	ČÍSLO MAT.	MAXIMÁLNÍ TEPLOTA			VÁLCE PLÁN	VÁLCE VYROBENO	STRAINER PLÁN	STRAINER VYROBENO	PROTLAČ. PLÁN	PROTLAČ. VYROBENO	Rozdíl P / S
		V	S	PI							
6	60044918	60 °c	60 °c		284	568	284	644			322
6	60044918	60 °c	60 °c			284					142
4	60030684	60 °c	60 °c						2700	2700	0
4	60030684	60 °c	60 °c						540	540	0

Tabulka 5-2 - Ukázka výrobního výkazu

Tato data byla upravena a vizualizována do následujícího přehledu (obr. 5-4). Vizualizace a výpočet výsledných dat spočívá v porovnání plánovaných vyrobených kilogramů materiálu podle výrobního plánu s reálně vyrobenými kilogramy materiálu. Tento poměr je vypočítán na každý stroj na každé lince a dále lze filtrovat podle kalendářních dnů a podle typu pracovní směny. Výsledná procenta uvádějí celkové využití stroje.



Obrázek 5-4 - Vizualizace dat výkonu strojů

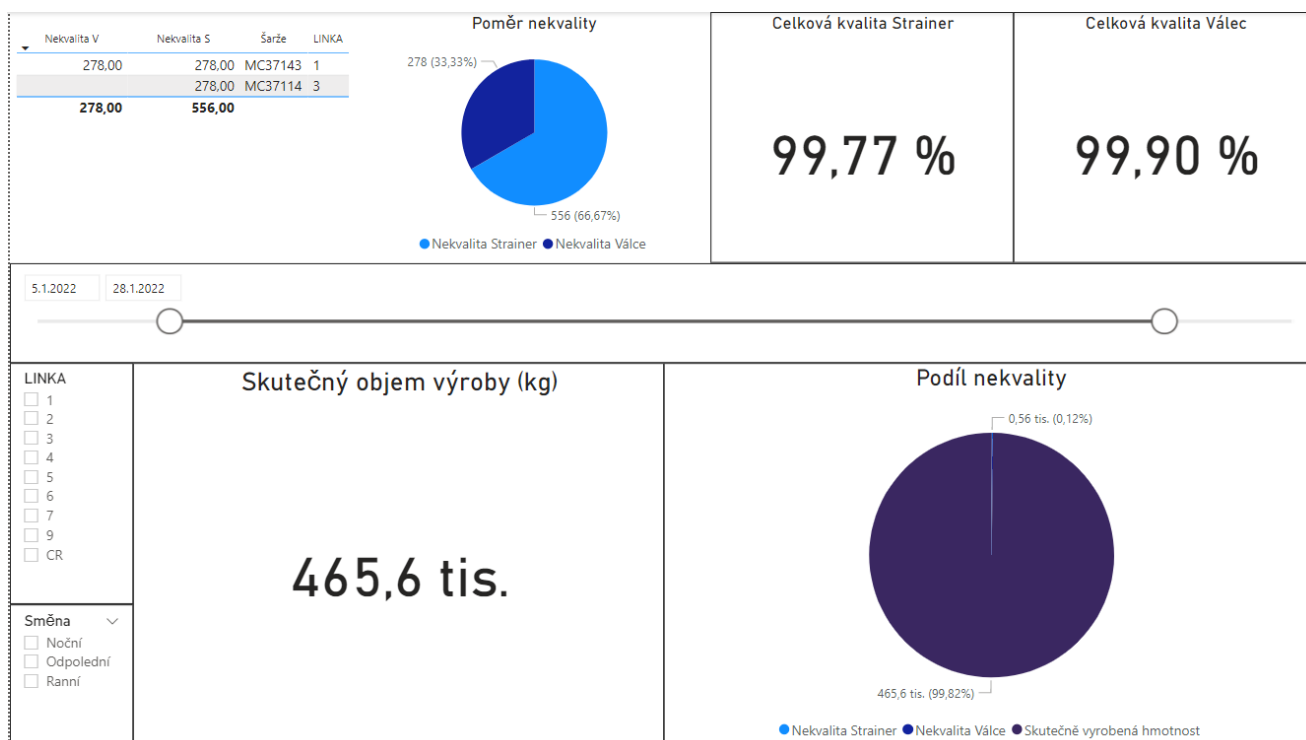
5.1.3 Výpočet kvality

Pro sbírání informací o nekvalitních dávkách materiálu je třeba nejprve zavést excelový dokument, kam budou tato data psána ve vhodné formě, jelikož se všechny informace o nekvalitě nacházejí v současném stavu v informačním systému SAP. Pro tyto účely vznikl excelový dokument (viz tabulka 5-3). Do tohoto dokumentu jsou oddělením kvality zapisovány informace o nekvalitě. Tato data je potřeba vztáhnout na jednotlivé dny, linky a směny.

Datum	Směna	Linka	Šarže	Kg na V	KG na S	ČÍSLO MAT.
19.01.2022	Noční	3	MC37114		278	60047822
24.01.2022	Ranní	1	MC37143	139	139	60047810
26.01.2022	Ranní	1	MC37175	276	276	
30.01.2022	Ranní	2	MC37177	270	270	60105834

Tabulka 5-3 - Sledovaná data o kvalitě materiálu

Tato data byla následně porovnána s výrobním výkazem a následně mohl být vypočítán a vizualizován podíl kvalitní výroby v rozpadu na jednotlivé dny, směny a stroje. Obrázek 5-5 ukazuje graficky znázorněné zastoupené jednotlivých nekvalitních materiálů a poměrové rozdělení mezi chybami zaviněnými špatným postupem při válcování materiálu a špatným postupem při vytlačování materiálu. Vzhledem k objemu a charakteristice výroby je podíl správně vyrobeného materiálu vysoký a celkové procentuální zastoupení měsíční kvality linek dosahuje hodnot blízkých se k hranici 100 %.

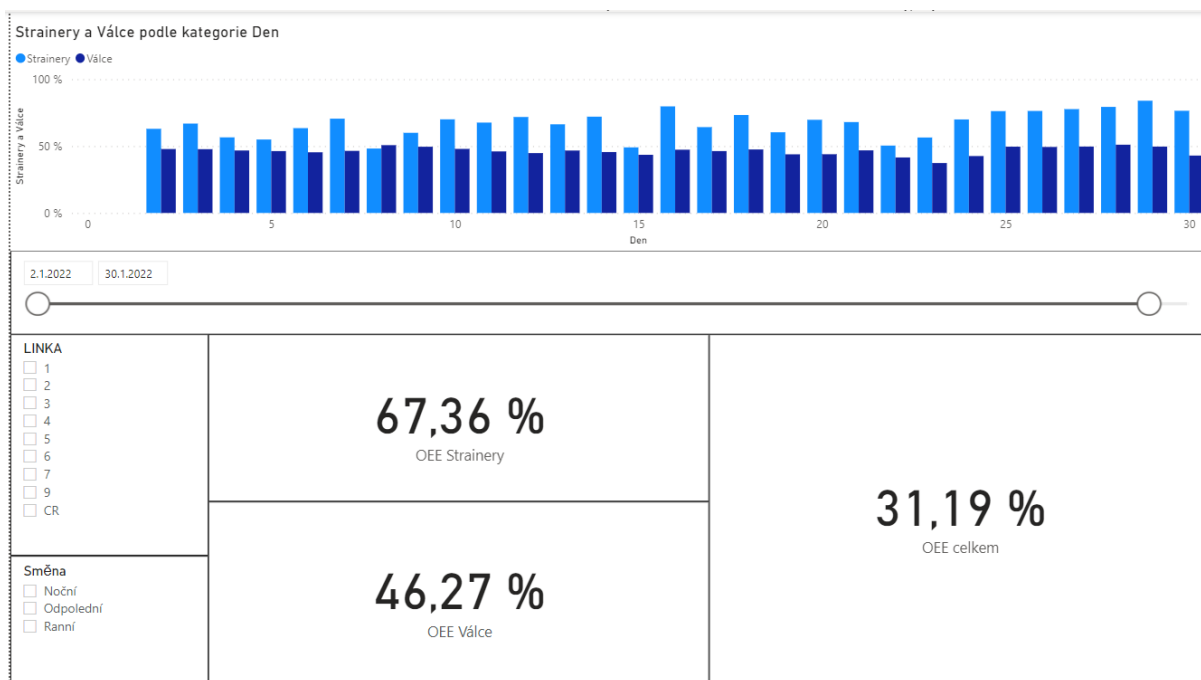


Obrázek 5-5 - Vizualizace dat kvality

5.1.4 Vizualizace OEE

Výsledná hodnota ukazatele OEE je vizualizována pomocí software Power BI. Součinem celkového využití dat z kvality materiálu, dostupnosti strojů a výkonu strojů lze vypočítat výslednou hodnotu OEE pro každý zaznamenávaný stroj na každé lince. Tato data bude možné

zobrazit jak v pracovním počítači, tak například v chytrém telefonu nebo v tabletu, což přinese aktuální přehled o výrobě a možnost okamžitého reportingu zaznamenávaných dat například na shopfloorové tabuli. Dále lze hodnoty ukazatele OEE nastavit jako klíčové ukazatele výkonu (KPI) a následně sledovat jejich růst a pokles v závislosti na výrobě. Zavedením měření a vizualizace OEE lze zjistit celkové prostoje a faktory ovlivňující plynulost výroby a sledovat míru využití potenciálu výrobního procesu a jeho dílčích částí. Dalším potenciálním využitím sledování OEE a jeho vizualizací je možnost odhalení a mapování nejlepších a nejhorších strojů.



Obrázek 5-6 - Výsledná vizualizace OEE za měsíc leden

6 Zhodnocení

V rámci této diplomové práce bylo navrženo několik možností zvýšení produktivity a analýza možností automatizace procesů. V tabulce níže lze vidět přibližné finanční zhodnocení implementace těchto automatizovaných jednotek do stávajícího řešení. Ve výpočtech výše je počítáno s náklady na jednoho pracovníka ve výši 450 000 Kč na jeden rok a třisměnným provozem. Ušetřený čas byl vypočten z vyhodnocení snímků pracovního dne. Ceny jsou pouze orientační a vycházejí z diskusí s odborníky v oboru automatizace a digitalizace. Automaticky naváděné vozíky jsou odhadnuty z běžné ceny za 1 automatický vozík schopný manipulace s paletami a z prostředků odhadnutých na následnou implementaci daného řešení.

Název položky	Odhadovaná cena investice	Přínos	Úspora	Odhadovaná návratnost
TV pro report dat	10 000 Kč	Vizualizace a reporting dat	-	-
Tablet ke stroji	20 x 3 000 Kč	Sběr a digitalizace výrobních dat	-	-
Software pro sběr dat	75 000 Kč	Sběr, digitalizace a vizualizace výrobních dat	Eliminace papírové dokumentace	-
Digitální ovládací panely a senzory	500 000 Kč	Automatizace sběru dat, zvýšení fondu produktivního času operátora	30 minut za směnu, eliminace papírové dokumentace	6 let
Automatická míchací jednotka na válec	400 000 Kč	Zvýšení fondu produktivního času operátora	2 hodiny za směnu	1,2 roku
Automatický oddělovač pro silikon	1 000 000 Kč	Snížení celkové fyzické zátěže operátorů, zlepšení ergonomie pracoviště	1 hodinu za směnu	8,1 roku*
Automatická navíječka a řezačka fólie	250 000 Kč	Zvýšení fondu produktivního času operátora	15 minut za směnu	4,7 roku
Automatické zavážení výroby	3 000 000 Kč	Zvýšení fondu produktivního času skladníka a přípraváře	8 hodin za směnu (kumulovaný čas)	2,6 let
Automatické zavážení expedice	2 000 000 Kč	Zvýšení fondu produktivního času skladníka	1 hodinu za směnu	11 let

Tabulka 6-1 - Zhodnocení

*V případě odhadované návratnosti automatického oddělovače materiálu je třeba počítat i s úsporami za snížení rizika potenciálního vzniku nemoci z povolání. Náklady spojené s nemocí z povolání jsou za rok za jednoho pracovníka 1 000 000 Kč. V rámci prevence rizika nemoci z povolání formou investice do tohoto zařízení by se návratnost vrátila v okamžiku vzniku této události.

Závěr

Optimalizace a zvyšování produktivity výroby je velmi důležitým aspektem výrobních podniků. Čím efektivněji dokáže podnik vyrábět své výrobky, tím má větší potenciál pro svůj všestranný růst a v konkurenčním boji. Proto je důležité, aby se každý výrobní podnik zaměřil na eliminaci všech druhů plýtvání a odhaloval svá potenciální úzká místa. Ztrátové činnosti a místa mohou být odhalena několika způsoby jako je přímé měření produktivity výroby nebo pomocí různých ukazatelů pro výkonnost a efektivitu výroby. Po odhalení těchto skutečností je potřeba, aby proběhla nápravná opatření. Toho lze dosáhnout racionalizací, optimalizací pracoviště či automatizací dílčích procesů. Podniky, které dokáží své výrobní procesy neustále zlepšovat, mají největší šanci uspět v současné tvrdé konkurenci a protlačit svůj konečný výrobek až k zákazníkovi.

Diplomová práce se zabývá efektivitou výroby a možnostmi automatizace v konkrétním výrobním podniku. Nejprve byla představena teorie potřebná pro vypracování této práce, kde byly definovány základní pojmy a představeny možnosti pro měření produktivity výroby a možnosti pro automatizaci dílčích procesů. V praktické části proběhla analýza současného stavu a představení firmy Wacker-Chemie, s.r.o. Proběhla analýza výroby společnosti a byly vypracovány snímky pracovního dne jednotlivých pracovních pozic. Díky tomu byla odhalena místa s potenciálem pro zlepšení. Dále proběhla analýza interní výrobní dokumentace s cílem zredukovat množství ručně vypisovaných papírových dokumentů. Pro odhalená úzká místa byly navrženy změny za účelem zvýšení produktivity práce s využitím automatizace dílčích procesů a strojů. Dále byla nadefinována potřebná datová sada pro zavedení pilotního projektu měření ukazatele OEE, automatizace zpracování dat a následná vizualizace pomocí softwaru Power BI. V současné době probíhá implementace navrženého řešení. V závěrečné části bylo provedeno ekonomické hodnocení vypracovaných návrhů pro zlepšení výrobních procesů a možností automatizace.

Seznam použitých zdrojů

- [1] KLEČKA, Jiří. *Produktivita a její měření-nové přístupy*. 2008, Ekonomika a management 2.1, stránky 16-29. ISSN 1802-8470.
- [2] BJÖRKMAN, Mats. *What is Productivity?*. místo neznámé : IFAC Proceedings Volumes, 1992. stránky 203 - 210. Volume 25, Issue 8.
- [3] SYNEK, Miloslav. *Podniková ekonomika*. Praha : C. H. Beck, 2006. ISBN 80-7179-892-4.
- [4] ESTEVEZ, Eric. Investopedia. *investopedia.com*. [Online] The investopedia team, 27. 11 2020. [Citace: 26. 11 2021.] https://www.investopedia.com/terms/p/production_efficiency.asp.
- [5] DOBRA, Péter a JÓSVAI, János. *Enhance of OEE by hybrid analysis at the automotive semi-automatic assembly lines*. místo neznámé : Procedia Manufacturing, 2021. Volume 54.
- [6] SCHMIDT, Rainer, MÖHRING, Michael, HÄRTING, Ralf-Christian., REICHSTEIN, Christopher, NEUMAIER Pascal a JOZINOVIĆ Philip. *Industry 4.0 - Potentials for Creating Smart Products: Empirical Research Results..* místo neznámé : Springer, Cham., 2015. vol. 208.
- [7] WORTMANN, Felix a FLÜCHTER, Kristina. *Internet of things*. místo neznámé : Business & Information Systems Engineering, 2015. stránky 221-224. Volume 57, Issue 3.
- [8] WANG, Junliang, XU, Chuqiao, ZHANG, Jie a ZHONG, Ray. *Big data analytics for intelligent manufacturing systems: A review*. místo neznámé : Journal of Manufacturing Systems, 2022. stránky 738 - 752. Volume 62.
- [9] pmrpressrelease.com. *pmrpressrelease.com*. [Online] 26. 12 2018. [Citace: 20. 05 2022.] <https://pmrpressrelease.com/worldwild-industrial-robot-market-size-reached-76-5-billion-in-2012-and-is-expected-to-reach-231-3-billion-by-2022-at-11-7-cagr-illuminated-by-new-report/>.
- [10] MARMAI, Olivier. fuentitech.com. *fuentitech.com*. [Online] Funtitech, 8. 4 2021. [Citace: 27. 11 2021.] <https://fuentitech.com/abb-announces-next-generation-cobot-industrial-news/6852/>.
- [11] SCHWOB, Rostislav. AIMagazine. *aimtecglobal.com*. [Online] Aimtec, 5. 2 2020. [Citace: 27. 11 2021.] <https://www.aimtecglobal.com/aimagazine/automatizace-interni-logistiky-technologie/>.
- [12] Astor.pl. *Astor.com.pl*. [Online] Astor. [Citace: 1. 12 2021.] <https://www.astor.com.pl/sklep/robotyzacja/roboty-mobilne-mir/110007.html>.
- [13] inser-robotica.com. *inser-robotica.com*. [Online] Inser Robótica S.A. [Citace: 1. 12 2021.] <https://www.inser-robotica.com/en/news-autonomous-vehicles/>.
- [14] jungheinrich.co.uk. *jungheinrich.co.uk*. [Online] Jungheinrich AG. [Citace: 1. 12 2021.] <https://www.jungheinrich.co.uk/products/new-forklifts/very-narrow-aisle-truck>.
- [15] RAWAT, Govind Singh, GUPTA, Ashutosh a JUNEJA, Chandan. *Productivity Measurement of Manufacturing System*. místo neznámé : Materials Today: Proceedings, 2018. stránky 1483 - 1489. Volume 5, Issue 1, Part 1.
- [16] MORLOCK, Friedrich, KREGGENFELD, Niklas, LOUW, Louis, KREIMEIER, Dieter a KUHLENKÖTTER, Bernd. *Teaching Methods-Time Measurement (MTM) for Workplace Design in Learning Factories..* místo neznámé : Procedia Manufacturing, 2017. Volume 9.

- [17] JAIN, Rahul, GUPTA, Sumit, MEENA, M.L. a DANGAYACH, G.S. *Optimization of Labour Productivity using Work Measurement Techniques..* místo neznámé : International Journal of Productivity and Quality Management, 2016. Volume 19.
- [18] oee.com. *oee.com*. [Online] Vorne. [Citace: 1. 12 2021.] <https://www.oee.com/teep/>.
- [19] HEDMAN, Richard, SUBRAMANIYAN, Mukund a ALMSTRÖM, Peter. *Analysis of Critical Factors for Automatic Measurement of OEE.* místo neznámé : Procedia CIRP, 2016. Volume 57.
- [20] YASH, Parikh a PRANAV, Mahumani *Total Productive Maintenance: Need & Framework.* místo neznámé: IJIRAE, 2015. Volme 2. Issue 2. ISSN 2349-2163.
- [21] ZHANG, Heng, LI, Aiping, XU, Liyun a GIOVANNI, Moroni. *Automatic Estimate of OEE Considering Uncertainty.* místo neznámé : Procedia CIRP, 2019. stránky 630 - 635. Volume 81.
- [22] matics.live. *Matics*. [Online] Matics Manufacturing Analytics Ltd. [Citace: 1. 12 2021.] <https://matics.live/glossary/teep-total-effective-equipment-performance/>.
- [23] slcontrols.com. *slcontrols.com*. [Online] SL Controls. [Citace: 28. 11 2021.] <https://slcontrols.com/en/oe-teep-and-oe-what-is-the-difference/>.
- [24] Fixsoftware.com. *www.fixsoftware.com*. [Online] Fiix. [Citace: 17. 11 2021.] <https://www.fiixsoftware.com/blog/what-is-teep/>.
- [25] wacker.com. *wacker.com*. [Online] Wacker Chemie AG. [Citace: 29. 11 2021.] <https://www.wacker.com/cms/en-cz/home/home.html>.
- [26] IMAI, Masaaki. *Kaizen: metoda, jak zavést úspěšnější a flexibilnější výrobu podniku.* Brno : Computer Press, 2011. ISBN 978-80-251-1621-0.
- [27] TSIGKAS, Alexander. *The Lean Enterprise: From the Mass Economy to the Economy of One.* Heidelberg : Springer, 2013. ISBN.
- [28] KEŘKOVSKÝ, Miloslav a VALSA, Ondřej. *Moderní přístupy k řízení výroby.* Praha : C. H. Beck pro praxi, 2012. ISBN 978-80-7179-319-9.
- [29] JUROVÁ, Marie a kol. *Výrobní a logistické procesy v podnikání.* Praha : GRADA, 2016. ISBN 9788027193301.
- [30] BADIRU, Adedeji Bodunde. *Handbook of industrial and systems engineering . 2nd ed.* Boca Raton : CRC Press, 2014. ISBN 978-1-4665-1504-8.
- [31] VÁCHAL, Jan a VOCHOZKA, Marek a kol. *Podnikové řízení.* Praha : GRADA, 2013. ISBN 978-80247-4642-5.