

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNOCKÉ V PRAZE**

**FAKULTA STROJNÍ**

ÚSTAV ŘÍZENÍ A EKONOMIKY PODNIKU



**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Návrh systému sledujícího pohyb demontovaných motorových dílů ve  
výrobní společnosti

AUTOR:

Bc. Ondřej Poskočil

STUDIJNÍ PROGRAM:

Řízení průmyslových systémů

VEDOUCÍ PRÁCE:

prof. Ing. František Freiberg CSc.,

Ing. Václav Michalec

**PRAHA 2024**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Poskočil** Jméno: **Ondřej** Osobní číslo: **466534**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav řízení a ekonomiky podniku**  
Studijní program: **Řízení průmyslových systémů**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Návrh systému sledujícího pohyb demontovaných motorových dílů ve výrobní společnosti**

Název diplomové práce anglicky:

**Design of a System for Tracking the Movement of Disassembled Motor Parts in a Manufacturing Company**

Pokyny pro vypracování:

Úvod – stanovení cílů diplomové práce

Teoretická část – zaměření se na získání teoretických znalostí v oblasti štihlé výroby, plynutí a způsobů implementace sledovacích systémů, které bude možné následně využít v analytické části

Analytická část – zanalýzování současného pracovního prostředí a aktuálního sledování demontovaných dílů, vyhodnocení získaných informací týkajících se pohybu dílů. Nalezení slabín současného systému

Návrhová část – využití znalostí nabytých studiem pro navržení možností optimalizace procesu sledování dílů vedoucího ke zvýšení efektivity procesu v daném pracovním prostředí

Závěr – zhodnocení splnění stanovených cílů, shrnutí diplomové práce

Seznam doporučené literatury:

OHNO, Taiichi (1979). Toyota Production System Beyond Large-Scale Production

MONDEN, Yasuhiro (2012). TOYOTA Production System An Integrated Approach to Just-InTime [online]. 4. vydání. CRC Press Taylor & Francis Group

Hampson, I. (1999). Lean Production and the Toyota Production System Or, the Case of the Forgotten Production Concepts

Jasti, N. V. K., & Kodali, R. (2014). Lean production: literature review and trends. International Journal of Production

Roman, S. (2002). Writing Excel macros with VBA

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**prof. Ing. František Freiberg, CSc. ústav řízení a ekonomiky podniku FS**

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

**Ing. Václav Michalec ústav řízení a ekonomiky podniku FS**

Datum zadání diplomové práce: **18.10.2023**

Termín odevzdání diplomové práce: **04.01.2024**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2024**

prof. Ing. František Freiberg, CSc.  
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. Miroslav Žilka, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.  
podpis díkarska(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

## Prohlášení

Prohlašuji, že tato byla vypracována samostatně, a to výhradně za pomoci zdrojů a literatury uvedených v seznamu zdrojů. Souhlasím s publikací výsledků diplomové práce nebo její podstatné části, pokud budu uveden jako její spoluautor.

V Praze dne: .....

.....

## Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat všem lidem, jež mi byli nápomocní při tvorbě diplomové práce. V první řadě bych chtěl poděkovat panu Ing. Václavu Michalcovi za cenné rady, jež mi při tvorbě práce velice pomohli. Dále bych chtěl poděkovat zaměstnancům společnosti a také mým blízkým, jež mě podporovali v tvorbě práce.

## Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá návrhem systému, jež bude mít za cíl sledování pohybu demontovaných motorových dílů ve výrobní společnosti. Pro lepší pochopení práce jsou zde představeny metodologie z oblasti výrobního managementu, který úzce souvisí s daným tématem. V kontextu výrobního managementu je zde zdůrazněna optimalizace, která zasahuje snížením plýtvání různými zdroji a také vyzdvihuje snahu o minimalizaci chyb, které se v procesu mohou objevit. Hlavní cíl tohoto návrhu je zlepšení efektivity při práci s demontovanými díly. Je zde provedena analýza současného stavu a jeho nedostatků. Dále je na základě analýzy navrženo zlepšení v podobě systému, jež bude vytvořen v Microsoft Excel.

## Klíčová slova

Výrobní management, optimalizace, analýza současného stavu, sledovací systémy

## Abstract

This Master's thesis addresses the design of a system to track the movement of disassembled engine parts in a manufacturing company. The main goal is to improve efficiency when working with disassembled parts. For a better understanding of the work, the theoretical part elaborates on the methodologies closely related to the given topic from the field of production management. The topic of optimization is emphasized here as one of the key elements. It intervenes by reducing the waste of various resources and also mitigates errors that may appear in the process. The analytical section dives deeper into the current production state and its shortcomings. The findings from the analytical part were used as shaping parameters for a design of Microsoft Excel-based system.

## Key words

Production management, optimization, analysis of current state, tracking systems

# Obsah

1. Úvod.....	8
2. Teoretická část .....	10
2.1 Štíhlá výroba .....	10
2.1.1 Poka-Yoke .....	11
2.1.2 5S .....	13
2.1.3 Plýtvání .....	15
2.2 Toyota production system.....	17
2.2.1 Historie .....	18
2.2.2 Popis .....	18
2.2.3 Kaizen.....	18
2.2.4 Implementace TPS .....	20
2.2.5 Kanban .....	21
2.3 Sledovací systémy (trekovací) .....	22
2.3.1 Analýza trhu.....	23
2.3.2 Budoucí trendy .....	24
2.3.3 Analytické nástroje .....	26
2.3.4 Paretova analýza .....	26
2.3.5 FMEA.....	27
2.3.6 Skenovací zařízení a čárové kódy.....	28
3. Analytická část .....	30
3.1 Popis současného stavu .....	30
3.2 FMEA.....	30
3.3 Proces výběru prostředí.....	33
3.4 Excel VBA.....	33
3.5 Paretova analýza .....	35
3.6 Rizika implementace .....	36
4. Návrhová část.....	38
4.1 Představení společnosti .....	38
4.2 Představení problému.....	39
4.3 Motivace pro tvorbu systému .....	39
4.4 Důležitost tématu .....	40
4.5 Struktura práce .....	41

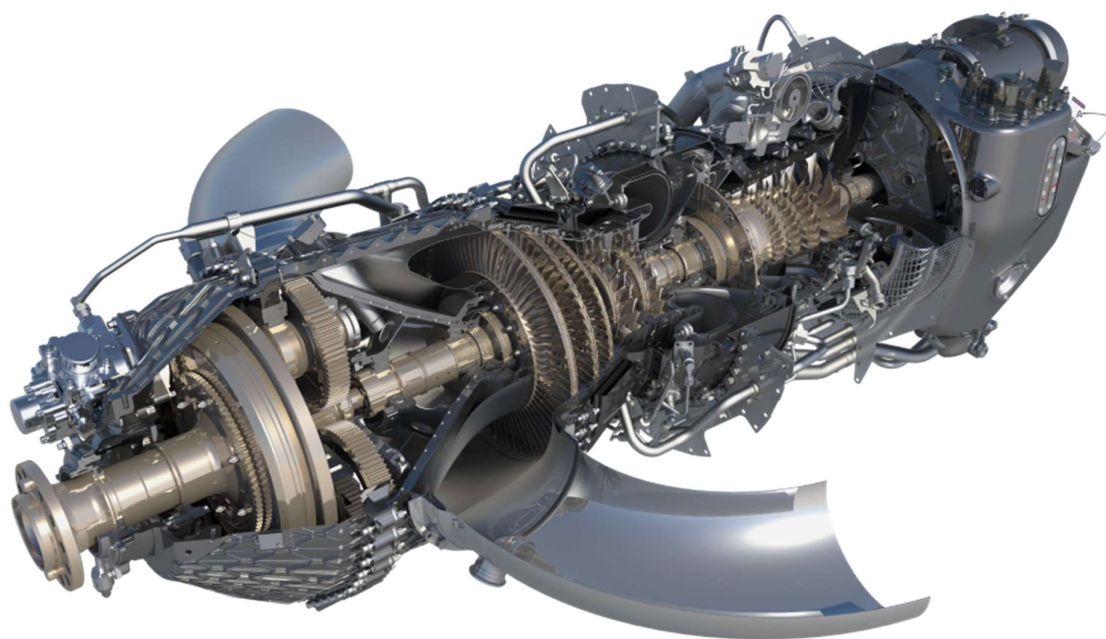
4.6	Omezení .....	41
4.7	Očekávaný přínos.....	42
4.8	Popis navrhovaného systému .....	43
4.9	Technické specifikace .....	44
4.10	Fáze implementace .....	44
4.11	Náklady a rozpočet .....	46
4.12	Proces obsluhy systému .....	47
4.13	Popis systému .....	49
4.14	Popis Kanban karty.....	52
4.15	Ukázka pracoviště .....	53
4.16	Bezpečnost.....	54
5.	Závěr.....	55
5.1	Shrnutí cílů .....	55
5.2	Zhodnocení výsledků .....	55
5.3	Přínos pro firmu .....	57
5.4	Perspektiva systému .....	58
5.5	Závěrečné myšlenky.....	59
6.	Zdroje .....	60
7.	Zdroje obrázky.....	62



# 1. Úvod

Tato diplomová práce se zaměřuje na návrh systému, jehož primární účel má být zefektivnění operací s demontovanými díly z leteckého motoru. Je zde analyzován současný stav a jeho problémy. Zároveň zde bude navržena optimalizace v podobě systému, který by měl celý proces demontáže zefektivnit. K pomoci pochopení celého návrhu zde bude představena metodologie spadající do výrobního managementu, jež se velmi blíže tohoto tématu dotýká. Jsou zde rozebrány povětšinou japonské techniky, jež napomohli k zefektivnění výroby po celém světě. V rámci výrobního managementu je představeno zefektivnění, které spočívá v úspoře (zamezení plýtvání) různých zdrojů, ale také by systém měl za cíl minimalizovat chyby, které v procesu mohou nastat. Pod plýtváním si většina populace představuje třeba nedojedené jídlo, ale ve výrobním managementu může plýtváním být celá škála operací.

Vzhledem k zvyšování produkce nastává problém se sledováním pohybu dílů a definování dalších operací s díly po demontáži. Zároveň vzniká potřeba lepšího plánování procesu operací po demontáži, kvůli lepšímu využití pracovišť a efektivnosti procesů a rychlejšího dodání zákazníkovi. Letecký motor má zhruba 1200 součástí a vzniká tedy potřeba tyto díly nějak sledovat, a to takovým způsobem, aby o pohybu součástí mělo povědomí každé dotyčné oddělení. Proto by se zde nabízela varianta vytvoření systému, jež bude online, protože musí obsahovat pouze aktuální informace. Zároveň musí být snadno obsluhovatelný pro každého zaměstnance bez náročného školení. Také rizika implementace takového řešení a budou zde také zmíněny podobné aplikace v průmyslu. Práce bude zakončena shrnutím a doporučením pro aplikace systému a co možná jeho nejhladší implementaci do prostředí společnosti.



Obrázek 1: Ukázka leteckého motoru. Zdroj: GE Catalyst

## 2. Teoretická část

Tato část diplomové práce je zaměřena na poskytnutí potřebných studijních oborů, se kterými je potřeba se seznámit pro pochopení významu práce jako celku. Jsou zde zahrnuty klíčové koncepty, principy a metodologie, které jsou nezbytné pro pochopení a analýzu aktuálních výzev pro budoucí zlepšování podobných systémů. Budou zde představeny jednotlivé přístupy k výrobní managementu, jejich historie a současné využívání těchto znalostí.

V dnešní době v průmyslovém prostředí hrají sledovací systémy velmi důležitou roli v zefektivňování všech procesů a zajišťování kvality. Význam těchto systémů se zvětšuje s tím, čím do procesu vstupuje více vstupů a více proměnných. Proto zde bude provedeno představení sledovacích systémů a nahlédnutí do blízké budoucnosti, ale i historie.

Dále zde budou představeny klíčové prvky štíhlé výroby s důrazem na eliminaci plýtvání a zlepšení efektivity procesů. Bude zde zahrnuta diskuse o metodách řízení kvality a jejich aplikaci v kontextu sledovacích systémů.

Společnost se zabývá výrobou leteckých motorů v řádech kusů, nelze říct, že se jedná o sériovou výrobu, budeme zde spíše nahlížet na procesy TPS (Toyota Production System) a Lean production. Tyto dva jmenované obory totiž lze implementovat téměř na každý proces a téměř na každou činnost. Budou zde také představeny programy, které by byly vhodné k naší aplikaci. Také zde budeme hovořit o laserových skenerech a čárových kódech.

### 2.1 Štíhlá výroba

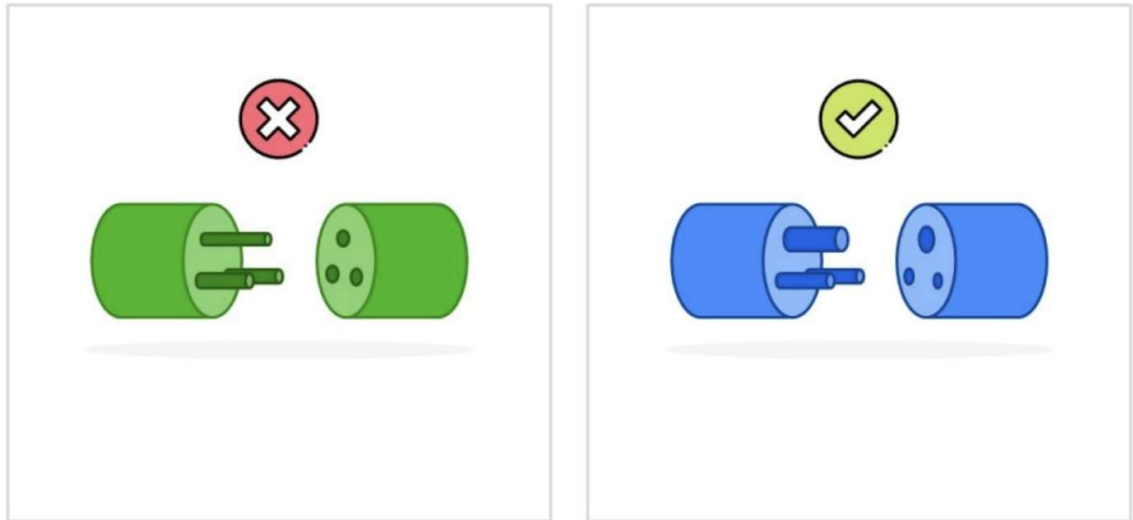
Lean production je systém řízení výroby, který se zaměřuje na minimalizaci plýtvání v procesu výroby a současně na maximalizaci efektivity [6]. Tento koncept byl vyvinut v automobilovém průmyslu ve společnosti Toyota, který je znám jako Toyota Production System. Primární aspekt, jež nám pomůže lépe pochopit pojem Lean production, je

hodnota pro zákazníka a rozeznání procesů, jež nám hodnotu přidávají, a procesů, jež nám hodnotu nepřidávají a jsou pro nás nežádoucí. Nežádoucí procesy nazýváme plýtvání. Pro rozpoznání procesů je nutné sledovat hodnotový tok, a to je mapování a analýza procesu od surovin až po hotový výrobek. Dále v procesech rozlišuje, jestli se jedná o princip tahu, nebo tlaku. Princip tahu spočívá v tom, že zákazník zadá požadavek na výrobek a tím spustí řetězec událostí vedoucí k výrobě produktu. Princip tlaku je v Lean production nežádoucí, protože takzvaně vyrábíme na sklad. Pro neustále zefektivňování výroby a snižování nákladů je zaváděn Kaizen. Kaizen je kultura neustálého zlepšování a hledání způsobů, jak zlepšit procesy a odstranit plýtvání. [4] [11]

### 2.1.1 Poka-Yoke

„Poka-Yoke“ je nástroj, jež je užívám jako prevence k prevenci chyb, které by mohly vést k plýtvání, nízké kvalitě výrobku nebo produktu. Jak již název napovídá, tak tato metoda byla také vytvořena v Japonsku a je součástí japonského přístupu k řízení kvality, jako je Total Quality Management (TQM) [11]. Poka-Yoke může být aplikováno jako:

- **Prevence chyb** – Pomocí fyzického zařízení, kontrolních systémů nebo systémů s automatickou zpětnou vazbou se snaží minimalizovat chyby, které by jinak mohly vést k chybě.
- **Zjednodušení procesu** – Proces by měl zahrnovat metody, aby bylo možné předejít chybě, a byl celkově snazší na pochopení.
- **Poskytování pokynů** – Systém by měl být schopen poskytnout pokyny, které jsou každému jasné. Pokyny, které je možné snadno uchopit a také minimalizují možnost tvorby chyby [11].



Obrázek 2: Ukázka Poka Yoke v praxi. Zdroj: CeMS

Poka-Yoke pro aplikaci do systému sledování pohybu dílů může být klíčovým prvkem pro prevenci chyb a zajištění hladkého chodu celého systému napříč celou společností. Dále jsou vypsány návrhy, jež plynou z Poka-Yoke pro takový systém:

- **Automatická identifikace** – Použití čárových kódů přiřazených každému dílu umožňuje snadné sledování pohybu a zamezí špatnému zadání kódu, nebo překliknutí se zaměstnancem.
- **Visuální prostředí** – Systém by měl být navržen tak, aby byl přehledný a uživatelsky přívětivý. Pro vizuální přehlednost může být využito barevné odlišení, odlišné druhy písma a rozvržení systému tak, aby na každém listu zadávalo hodnoty jenom jednotlivé oddělení.
- **Monitoring** – Použití IoT (Internet of Things) by umožnilo přesně zaměřit každý díl, ale jednalo by se o drahou aplikaci, jelikož by celý proces musel být vybaven zařízením buďto přímo na dílu, které by vysílalo signál, nebo by po trasách pohybu dílů museli být umístěny sensory.
- **Výcvik zaměstnanců** – Pro úspěšnou implementaci systému do provozu musí být provedeno vyškolení zaměstnanců a musí jim být vysvětleny i různé scénáře, co a jak dělat, když nastane určitá situace. Pro tento bod by měl být vytvořen stručný návod [4] [11].

### 2.1.2 5S

Ve výrobních zařízeních často existují nevyužití příležitosti, které mají potenciál zvyšovat zisky. Tyto aspekty zahrnují snižování výrobních vad, optimalizaci pracovní efektivity, snižování nadbytečných zásob a dodržování dodacích termínů. Tyto nevyužití příležitosti, které v podstatě představují plýtvání zdroji, jsou v japonštině označovány termínem "muda". Toto plýtvání může zahrnovat ztrátu času, zdrojů, financí a dalších [2].

Americké managementové teorie identifikovaly tento fenomén jako klíčovou slabost organizace, jak to popsali R.M. Cyert a J.G. March v roce 1963 [16]. Ve významných ekonomických obdobích se tato slabost často ignoruje. Avšak v krizových časech je naléhavě potřeba řešit tyto nedostatky. Na druhé straně Japonci trvají na tom, že je třeba neustále řešit a odstraňovat organizační nedostatky, bez ohledu na hospodářský cyklus. Toto neustálé zlepšování je zakotveno v konceptu "kaizen", což je metodologie, kterou uplatňuje mnoho japonských firem.

"Kaizen" nebo "5S" se zaměřuje na odstranění plýtvání v továrně. 5S odkazuje na pět japonských slov - Seiri, Seiton, Seison, Seiketsu a Shitsuke - která společně podporují organizované a čisté pracovní prostředí a budou dále popsány [9].

S postupem času se mohou v prostorách továrny i kanceláře hromadit nepotřebné věci. Ve výrobním prostředí mohou být nečistoty reprezentovány nadbytečnými zásobami, vadnými výrobky nebo nepotřebným vybavením. V kancelářích může jít o nepotřebné dokumenty nebo kancelářské potřeby. Metodika 5S usiluje o odstranění těchto "nečistot", což vede ke zlepšení kvality, dodacích lhůt a nákladové efektivity - tři klíčové aspekty výrobního řízení.

Pan Hiroyuki Hirano zdůrazňuje, že správným uplatněním 5S mohou továrny dodávat produkty odpovídající požadavkům zákazníků - kvalitní, cenově dostupné, rychlé a bezpečné - což nakonec zvyšuje i zisky firmy [9].

Standarty 5S jsou primárně určeny pro správnou organizaci pracoviště. Od uspořádání až po vizualizaci. Jsou využívány v celém spektru průmyslu.



Obrázek 3: Příklad aplikace standardů 5S. Zdroj: Creative Safety Supply

- **Seiri (Rozděl)**

Tento krok určuje standardy, jež jsou pro třídění a odstranění nepořádku na pracovní ploše. Vyžaduje to selekci nepotřebných předmětů, nástrojů, vybavení nebo materiálu z pracovního prostoru. Cílem tohoto kroku je ponechat na pracovišti jen to, co je potřeba pro pracovní proces, a věci, jež nepřidávají hodnotu, z pracoviště odstranit.

- **Seiton (Setříd)**

V této fázi je všechno, co zůstane po procesu Seiri zorganizováno do logického a efektivního pořadí, tak aby potřebné věci byly snadno dostupné a dalo se je rychle najít. Tento krok také velmi často zahrnuje barevné značení, kódování a vytvoření jasných vizuálních indikátorů, kde by měly být potřebné položky uloženy.

- **Seiso (Udržuj čisté)**

Zde se standardy soustředí na čistotu a její údržbu. Zahrnuje důkladné čištění a pravidelnou údržbu pracoviště. Cílem je zajistit, aby na pracovišti nebyly nečistoty, úlomky a závady, což může přispět k bezpečnějšímu a efektivnějšímu prostředí.

- **Seiketsu (Standardizuj)**

Standardizace zahrnuje vytváření a implementaci standardizovaných postupů a praktik pro udržování prvních tří S. Standardizace nám zajišťuje, že všichni na pracovišti konzistentně dodržují stejné postupy, což napomáhá udržovat zlepšení provedená během počáteční implementace 5S.

- **Shitsuke (Dodržuj)**

Udržování zlepšení je neustálý proces. Vyžaduje disciplinovanost, trénink a kulturu neustálých zlepšení. Pracovníci jsou motivováni udržovat zavedené standardy a jsou prováděny pravidelné audity, aby bylo zajištěno, že standardy 5S budou v průběhu času udržovány [9].

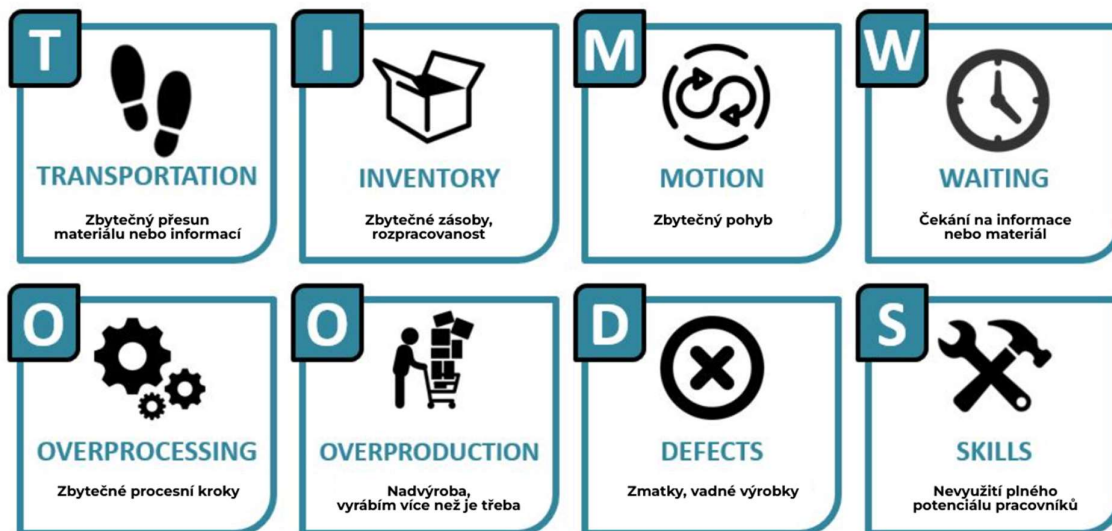
### 2.1.3 Plýtvání

Plýtvání je klíčovým konceptem v rámci Lean Production, tedy filozofie a managementu zaměřeného na maximalizaci efektivity a minimalizaci plýtvání v procesech výroby a poskytování služeb. Plýtvání je činnost, jež nepřidává hodnotu výrobku nebo služby z pohledu zákazníka. Plýtvání je jedním z hlavních důvodů ztráty času, materiálu, energie a peněz ve výrobních procesech.

Pro přesný popis plýtvání byl vymyšlen akronym TIM WOODS, jež symbolizuje 8 druhů plýtvání, které můžeme v procesu výroby nalézt [11] [12].

- **Transport** – Zbytečný přesun, který nepřidává výrobku hodnotu
- **Inventory** – Nadbytečné zásoby, jež nejsou potřeba
- **Movement** – Zbytečný pohyb. Může odpovídat třeba špatnému layoutu pracoviště
- **Waiting** – Prostoje. Může být reprezentována nelogickým plánováním výroby
- **Overproduction** – Nadvýroba. Zbytečná výroba produktů na sklad
- **Overprocessing** – Zbytečné procesní kroky. Například přidávám výrobku hodnotu, jež nikdo neocení
- **Defects** – Zmetky. Špatně seřízená výrobní linka produkuje nekvalitní výrobky.
- **Skill** – Plýtvání intelektem. Nevyužité nápady a zkušenosti.





Obrázek 4: Popis 8 druhů plýtvání. Zdroj: CeMS

V každém podniku existují dva základní typy procesů. První skupina zahrnuje procesy, které dodávají hodnotu produktu. Druhá skupina obsahuje procesy, které hodnotu nepřidávají a často ji dokonce snižují. Klíčovým principem štíhlé výroby je identifikace a minimalizace těchto neproduktivních procesů, nazývaných "muda". Muda je japonský výraz pro "plýtvání" nebo "odpad" [2]. Tento termín je často spojován s výrobními aktivitami a činnostmi, které k výrobě nepřidávají žádnou hodnotu. Ačkoli se muda tradičně spojovalo s výrobními podniky, v moderní době je často rozšířeno i v sektoru služeb, zejména v administrativních procesech. Kromě muda se v kontextu štíhlé výroby hovoří také o "3MU", což zahrnuje muda (nepravidelnosti v procesech) a muri (nadbytečná práce) [2] [4] [12].

## 2.2 Toyota production system

Jak již název napovídá, tak tato kapitola pojednává o technice, jež se vyvinula v Japonsku v automobilce Toyota po skončení 2. světové války, ve snaze dohnat západní automobilky. Primárním cílem této techniky bylo zvýšení produktivity a snížení nákladů. Pro dosažení tohoto cíle byl kladen důraz na eliminaci všech druhů zbytečných činností v procesu výroby. Samotná implementace systému TPS probíhala za pochodu, primárně se jednalo o metodu pokus omyl. Tím pádem, že metoda vznikla za pochodu, tak užívá spíše praktické metody nežli analytické. U společnosti Toyota byl primární popud k tomuto kroku systém doplňování zboží v amerických samoobslužných supermarketech. Tento systém spočíval v tom, že zákazník si vzal, co přesně chtěl a v dobu, kdy přesně chtěl.

Tím pádem bylo i pro skladníky snadno zpozorovatelné, co je třeba do regálu doplnit a čeho naopak nebylo potřeba takové množství. Tento přístup dovedl Toyotu k tomu, že brala zákazníka jako počátek neboli popud toho, že má zahájit výrobu produktu, který přímo poputuje k zákazníkovi a nebude potřeba velký skladovací prostor a tím pádem se sníží i kapitál vázaný v nedokončené a dokončené výrobě. Kanban se tedy vztahuje k opravdové spotřebě a uzpůsobuje tomu i skladové zásoby. Princip tohoto systému je tedy přesný opak toho, co bylo centrální plánování. Jsme tedy schopni snadno a včas zadat objednávku dodavateli na vstup do výroby.

Klíčový faktor úspěšného výrobce je plánování na základě poptávky, tahu a schopnost co nejpřesněji predikovat budoucí poptávku. Této predikci systém Kanban velmi napomáhá dosahovat, jelikož je využíván jako signál budoucí požadavky. Díky systému Kanban se tedy společnosti mohou vyvarovat. Toyota má pro systém Kanban 6 pravidel, které musí být dodržovány [10].

- Proces musí odpovídat kvantitě a sekvenci příchozích požadavků
- Žádná položka není vyrobena, nebo přepravována bez žádosti
- Žádost je vždy přiložena k požadované položce
- Proces musí zabránit tomu, aby do výroby vstoupili defektní položky

- Nastavení limitu na počet čekajících žádostí má za cíl zefektivnění procesu a poukáže na neefektivitu
- Každý proces ve společnosti vysílá požadavky na subdodavatele, když se blíží ke spodnímu limitu zásoby.

### 2.2.1 Historie

Toyota Production System je častokrát považován za prvotní impuls pro vznik Lean production. Ten byl vyvinut po ropné krizi v roce 1973 za cílem eliminace a zlevnění výroby. Tím pádem mohla Toyota i během stagnace ekonomiky prorazit na západních trzích díky nízké ceně a provozní náročnosti automobilů [10].

### 2.2.2 Popis

„Profit through Cost Reduction“ (profit skrze redukcí nákladů) tak by se dal nejlépe definovat smysl Toyota Production System. Jedná se tedy o soubor pravidel, jež mají za cíl zvýšit zisk za pomoci snížení nákladů. TPS představuje nejen soubor principů a technik, ale také filozofii neustálého zlepšování a adaptace. Jeho dopad na svět výroby je nezměrný. TPS byl přijat a upraven v mnoha různých odvětvích a organizacích po celém světě, což svědčí o jeho univerzální aplikovatelnosti a efektivitě. Tento systém není pouze jen o výrobě automobilů, ale je to přístup k obchodnímu a výrobnímu procesu, který může přinést významné výhody v jakémkoli odvětví.

Od svého vzniku se TPS neustále vyvíjí a adaptuje se na měnící se obchodní prostředí a technologie. Jeho principy efektivity, flexibility, kvality a neustálého zlepšování zůstávají základními kameny pro mnoho moderních výrobních a obchodních strategií, a budou i nadále klíčovými prvky pro budoucí inovace v průmyslu.

### 2.2.3 Kaizen

Slovo kaizen by se z japonštiny dalo přeložit “nepřetržité zlepšování”. V rámci TPS je kaizen klíčová filozofie, jež zdůrazňuje neustálé snahy o zlepšení všech aspektů podnikání od výrobních linek, až po management. Klíčové principy Kaizenu jsou následující 3:



## 2.2.4 Implementace TPS

### *Krok 1: Úloha vrcholového vedení*

Vedení společnosti hraje klíčovou roli při zahájení výrazných změn ve vnímání, a to zejména v reakci na obchodní krize vyvolané změnami v prostředí, jako jsou ekonomické nebo environmentální změny. Je nutné, aby vedení uchopilo tuto změnu a podpořilo zaměstnance v myšlenkách na snižování nákladů a nových inovací pro podnikání.

Při zavádění metody JIT (Just-in-Time) je klíčové, aby nejvyšší vedení společnosti vedlo snahu pracovníků na výrobní lince. To naznačuje, že nejvyšší vedení plně usiluje a podporuje změnu a reviduje dokonce i své mandáty.

Nejvyšší vedení také musí zajistit potřebné zdroje pro vylepšení výrobního procesu, jako například instalace komunikační sítě pro zadávání objednávek, plánovacího systému a systému dodávek. Management musí být připraven na to, že se ze začátku může zvýšit počet odstávek výrobní linky.

### *Krok 2: Vytvoření projektového týmu*

Pro efektivní zavedení metody JIT by měl být zřízen projektový tým, složený z manažerů z různých oddělení a sekcí. Tento tým by měl projít školením v oblasti JIT. Vedoucí oddělení je obvykle jmenován vedoucím projektu. Tým má dva hlavní úkoly: pořádání seminářů a školení o konceptech a technikách JIT, a organizování praktického týmu JIT pro jednotlivé sekce a oddělení.

### *Krok 3: Příprava plánu implementace a stanovení cílů*

Plán implementace JIT by měl obsahovat stanovení cílů, kterých má být dosaženo v rámci plánu. Tyto cíle mohou zahrnovat dobu trvání implementace, množství dílů a zásob v procesu, vadné výrobky, čas nastavení a zastavení stroje, a to v určeném plánovaném období.

#### Krok 4: Zahájení pilotního projektu

Protože zavedení výrobního systému JIT vyžaduje zásadní změny, je vhodné začít malými krůčky. Jedna výrobní linka by měla být vybrána jako pilotní projekt. Jakmile bude implementace JIT na této lince úspěšná, mohou být do projektu zahrnuty další linky, až bude metoda JIT implementována v celém závodě [11].

#### 2.2.5 Kanban

Kanban je japonská metoda značení vstupů do výroby pomocí karet a spadá do metod Lean production. Byla vynalezena japonským inženýrem Taiichim Ohnem v automobilce Toyota. Primární cíl implementace této metody je zvýšení efektivity. Jedná se o systém karet, jež jsou na jednotlivých produktech, nebo třeba na krabičce, v které jsou jednotlivé díly uloženy. Primární výhodou systému karet kanban je ve snadném monitorování skladových zásob a tím pádem se zásobovací plán může vyhnout buďto zbytečně velkým, nebo malým skladovým zásobám [3] [11].

Systém vychází z nejjednoduššího vizuálního vjemu a to toho, že jednotlivé díly jsou rozděleny po krabičkách nebo regálech a už pouhým zrakem je vidno, že máme nedostatek, nebo přebytek jednotlivých vstupů. Primární rozvoj této metodiky byl vyvinut za 2. světové války při výrobě letadel Spitfire. V počátcích se tento systém nazýval „systém 2 karet“ [11].

Lieferant: <b>Schraube X3</b>	Verbraucher: <b>Produktion</b>
Lieferanten-Nr.: <b>2803</b>	Lagerplatz: <b>17.04.00.88</b>
Kanban-Einheiten: <b>3/4</b>	Inhalt: <b>73</b>
	Bezeichnung: <b>Schraube 6 mm</b>
Artikel-Nr.: <b>2009-85</b>  <small>*2009-85*</small>	Kanban-ID: <b>1973</b>  <small>*1973*</small>

Obrázek 6: Příklad kanban karty. Zdroj: Alphadi

Velké množství výrobců již implementovalo digitální verzi karty kanban. Výrobci si od digitálního kanbanu slibují eliminaci lidského faktoru v procesu tvorby karty. Digitální verze je také snáze vložena do ERP systému. Díky digitalizaci je snáze umožněno monitorování toku výrobou a data můžou být snadněji využitelná pro optimální stav skladových zásob. K monitorování položek je využíváno vícero technologií jako např. čárových kódů, čidel či kamer. Položky označené čárovým kódem prochází procesem a jsou skenovány pracovníky, anebo skenování probíhá zcela automaticky. Systém digitálního kanbanu bývá často online a při dosažení spodní hranice skladových zásob rovnou zadá dodavateli objednávka na určité množství požadovaného výrobního vstupu.

Kanban lze také použít ve spojení s vozíkem, což je zvláště efektivní při manipulaci s velkými částmi jednotek, jako jsou motory nebo převodovky. Vozík hraje roli kanbanu, což znamená, že když je počet částí na straně montážní linky snížen na určitý bod (např. tři nebo pět kusů), vozík je přinesen zpět do předchozího procesu pro načtení potřebných částí a výměnu za prázdný vozík. I když obvykle potřebujeme kanban pro sledování dílů, v tomto případě počet vozíků plní stejnou funkci jako počet kanbanů. Linka podsestavy nemůže pokračovat výrobou, pokud není k dispozici prázdný vozík, což zabrání nadměrné výrobě.

Dalším příkladem je použití nákladního automobilu jako kanbanu pro přepravu surovin do závodu, kde není k dispozici žádný standardní kontejner nebo krabice pro počítání materiálů. V tomto případě slouží nákladní automobil jako způsob sledování a řízení materiálů.

### 2.3 Sledovací systémy (trekovací)

Manufacturing Execution Systems (MES) hrají zásadní roli v průmyslovém inženýrství a poskytují sadu funkcí, které přispívají k efektivnějšímu výrobnímu procesu, lepší kvalitě a rozhodování založenému na datech [1]. Tyto systémy pomáhají nabízet přehled o výrobních operacích v reálném čase, což umožňuje včasnou identifikaci a řešení problémů. MES pomáhá při optimalizaci plánování a rozvrhování výroby, což vede k lepšímu využití zdrojů a celkové efektivitě. Integrace řízení kvality v rámci výrobního

procesu zajišťuje monitorování v reálném čase a dodržování přísných norem kvality, minimalizuje vady a podporuje soulad s průmyslovými předpisy.

MES navíc usnadňuje sledování a využívání zdrojů, což umožňuje lepší alokaci práce a materiálů na základě dynamické poptávky. Systémy poskytují robustní nástroje pro analýzu dat a výkaznictví, které organizacím umožňují získat praktické poznatky pro neustálé zlepšování a informované rozhodování. Integrace s podnikovými systémy, jako je Enterprise Resource Planning (ERP), zefektivňuje tok informací a koordinaci mezi výrobními a obchodními procesy. MES podporuje lepší komunikaci a spolupráci napříč různými odděleními a podporuje synergii mezi dílnou a managementem.

Škálovatelnost a flexibilita, která je součástí systémů MES, navíc zajišťuje přizpůsobivost měnícím se potřebám výroby a podporuje obchodní růst, aniž by bylo nutné provádět zásadní opravy systému [1]. MES je v podstatě základním kamenem moderní výroby, nabízí komplexní řešení pro dosažení provozní dokonalosti, splnění regulačních požadavků a udržení konkurenceschopnosti na dynamických trzích. Společné výhody MES přispívají k vyšší efektivitě, vyšší kvalitě produktů a zvýšené celkové spokojenosti zákazníků v průmyslovém prostředí.

### 2.3.1 Analýza trhu

#### *Siemens MES*

Je také známý jako Simatic IT MES. Jde o komplexní řešení, které nabízí možnosti komplexního provádění výroby. Integruje se s různými podnikovými systémy a poskytuje přehled o výrobních procesech v reálném čase. Systém pokrývá řadu funkcí, včetně plánování výroby, řízení kvality, analýzy výkonu a sledování zdrojů. Siemens MES je navržen tak, aby zvýšil provozní efektivitu a usnadnil rozhodování poskytováním přesných a včasných dat [7].

- Pokročilé plánování výroby a plánování.
- Řízení kvality s kontrolou kvality v reálném čase.
- Analýza výkonnosti pro optimalizaci výrobních procesů.
- Integrace s dalšími řešeními průmyslové automatizace Siemens.



### *FactoryTalk ProductionCentre*

Je od Rockwell Automation je řešení MES, které se zaměřuje na zlepšování výrobních operací a kvality. Poskytuje nástroje pro sběr dat, analýzu a reporting pro optimalizaci výrobních procesů. Systém pomáhá výrobcům splnit regulační a kvalitativní standardy a zároveň zlepšit celkovou efektivitu. FactoryTalk ProductionCentre se integruje s různými automatizačními a řídicími systémy a poskytuje bezproblémové řízení výroby [13].

- Sběr a monitorování dat v reálném čase.
- Řízení kvality a sledování shody.
- Analýza výkonnosti výroby a reporting.
- Integrace s řídicími systémy Rockwell Automation.

### *SAP Manufacturing Execution*

Je součástí sady SAP Digital Manufacturing a je navržen tak, aby zefektivnil a optimalizoval výrobní procesy. Integruje se se systémy SAP ERP a poskytuje holistický pohled na výrobní operace. Systém se zaměřuje na zlepšování kvality produktů, snižování nákladů a zvyšování celkové efektivity. SAP Manufacturing Execution podporuje různá průmyslová odvětví a nabízí flexibilitu při přizpůsobování se specifickým výrobním požadavkům [8].

- Integrace se SAP ERP pro komplexní přehled.
- Monitorování a řízení výroby v reálném čase.
- Řízení kvality a sledovatelnost.
- Sledování zdrojů a práce pro efektivní využití zdrojů.

### 2.3.2 Budoucí trendy

Vzhledem k tomu, že se výrobní prostředí vyvíjí, očekává se několik budoucích trendů v oblasti výrobních prováděcích systémů (MES), které dále zvýší efektivitu, flexibilitu a schopnost reagovat. Některé klíčové trendy zahrnují:

#### *Integrace s Průmyslem 4.0 a IoT*

Očekává se, že budoucí řešení MES budou mít hlubší integraci s principy Průmyslu 4.0 a budou využívat *internet věcí* (IoT) pro lepší konektivitu. To zahrnuje integraci senzorů

a chytrých zařízení v dílně, což umožňuje výměnu dat v reálném čase a usnadňuje prediktivní údržbu.

#### *Pokročilá analytika a umělá inteligence (AI)*

MES bude stále více zahrnovat pokročilé analýzy a AI pro sofistikovanější analýzu dat. Prediktivní analytiku lze použít k předpovídání výrobních problémů, optimalizaci procesů a zlepšení celkového rozhodování. Algoritmy umělé inteligence mohou pomoci při autonomní identifikaci vzorců, anomálií a příležitostí ke zlepšení.

#### *Cloudový MES*

Cloudová řešení MES jsou stále rozšířenější a nabízejí výhody z hlediska škálovatelnosti, dostupnosti a spolupráce. To umožňuje výrobcům nasadit MES bez potřeby rozsáhlé místní infrastruktury, což usnadňuje aktualizace a škálovatelnost.

#### *Mobilita a vzdálený přístup*

Budoucnost MES bude pravděpodobně zahrnovat větší důraz na mobilitu, což operátorům a manažerům umožní vzdálený přístup k důležitým výrobním datům a přehledům. Mobilní aplikace a citlivá rozhraní umožní monitorování a rozhodování v reálném čase odkudkoli, což přispěje ke zvýšení agilnosti.

#### *Digitální dvojčata pro simulaci*

Systémy MES mohou stále více zahrnovat technologii digitálního dvojčete pro simulaci a optimalizaci výrobních procesů. To umožňuje výrobcům vytvářet virtuální repliku produkčního prostředí, což usnadňuje analýzu scénářů, optimalizaci procesů a zmírňování rizik.

#### *Vylepšení kybernetické bezpečnosti*

S rostoucí závislostí na propojených systémech se poskytovatelé MES zaměří na vylepšení funkcí kybernetické bezpečnosti. Budoucí řešení MES budou pravděpodobně obsahovat robustní bezpečnostní opatření na ochranu před kybernetickými hrozbami a zajistí integritu a důvěrnost citlivých produkčních dat.

#### *Edge Computing pro zpracování v reálném čase*

Očekává se, že Edge computing, kde zpracování dat probíhá blíže ke zdroji dat, získá v MES význam. Tento přístup snižuje latenci a umožňuje rychlejší rozhodování díky

zpracování dat na okraji sítě, což je zvláště důležité ve výrobních prostředích citlivých na čas.

#### *Integrace dodavatelského řetězce*

MES pravděpodobně bude hrát větší roli v integraci dodavatelského řetězce a poskytne přehled o celém výrobním a distribučním procesu v reálném čase. Tato integrace umožňuje lepší koordinaci mezi výrobou a logistikou, minimalizuje zpoždění a optimalizuje dodavatelský řetězec.

#### *Blockchain pro sledovatelnost*

Technologie blockchain může najít větší uplatnění v MES pro lepší sledovatelnost a transparentnost. To může být zvláště cenné v odvětvích, kde je zásadní dodržování přísných předpisů a podrobné vedení záznamů.

### 2.3.3 Analytické nástroje

Analytické nástroje jsou velmi potřebným nástrojem pro tvorbu jakýkoli systémů, jelikož s jejich pomocí jsme schopni pomoci celému procesu návrhu. Pomocí těchto nástrojů lze efektivně analyzovat a interpretovat shromážděné údaje, což umožňuje přizpůsobit systém tak, aby co nejlépe vyhovoval požadavkům uživatelů a podnikovým cílům. Jejich důležitost roste především v testovací fázi systému, jelikož pomáhají řešit problémy, které by mohly vést ke komplikacím ve fungování systému. Analytické nástroje pomáhají i předcházet komplikacím, jež by mohli v budoucnu nastat, jelikož jsem za jejich pomoci schopni včas vyzorovat, kde by mohla chyba nastat.

### 2.3.4 Paretova analýza

Paretova analýza je známá také jako pravidlo 80/20, jelikož v mnoha situacích je 80 % důsledků tvořeno 20 % příčin. Jedná se o statistickou metodu používanou v řízení kvality a rozhodovacích procesech. Byla vytvořena italským ekonomem Vifredem Paretem a je

zaměřena na identifikaci a prioritizaci příčin, nebo problémů které největší dopad na celkový výsledek nebo situaci [5].

Proces tvorby analýzy začíná vytyčením různých příčin, nebo faktorů, které přispívají k určitému jevu, jako jsou například chyby ve výrobě, stížnosti zákazníků nebo jakýkoli jiný podmět, jež je možno uchopit a překlomit na čísla. Data týkající se každé příčiny jsou sbírána a klasifikována dle frekvence, nákladů, času nebo jiných adekvátních metrik. Příčiny jsou následně sestupně seřazeny dle významu a pro každou příčinu je vypočítán její procentuální podíl z celku.

Jako další krok v tvorbě analýzy je vytvoření Paretova diagramu, ve kterém jsou příčiny zobrazeny ve sloupcovém grafu. K sloupcovému grafu je přidána kumulativní křivka, která ukazuje součet procent od největší příčiny a po tu nejmenší. Analýza digramu následně napomáhá k identifikaci tzv. klíčových příčin. Tyto příčiny by měly být prioritizovány pro jakékoli další zlepšování systému.

### 2.3.5 FMEA

FMEA je zkratka z anglických slov „Failure Modes and Effects Analysis“ a dalo by se tedy přeložit jako Analýza způsobů selhání a jejich důsledků. Je to systémový nástroj, který lze použít pro identifikaci, hodnocení a minimalizaci rizik selhání výrobků, procesů nebo systémů [15].

První krok je tedy identifikace možných selhání systému. Do tohoto kroku bychom tedy mohli zahrnout pracovníky, díly, softwarové systémy a další činnosti v procesu sledování. Dále je nutné vytvořit seznam, jež identifikuje způsoby možného selhání, jejich závažnost a pravděpodobnost objevení. Ke každému z nich přiřadit číslo závažnosti, pravděpodobnosti a detekovatelnosti. Následně je vypočteno číslo RPN (Risk Priority Number), které je násobkem 3 zmíněných čísel. U činnosti, která má RPN nejvyšší by mělo proběhnout opatření pro snížení RPN [15].

### 2.3.6 Skenovací zařízení a čárové kódy

Čárový kód je metoda vizuálního zobrazení informace, kterou lze snadno přečíst a detekovat zařízením zvaným čtečka čárových kódů. Kód je složen z paralelních čar různé tloušťky a mezer mezi nimi, které reprezentují určitá data. Mezi nejznámější druhy čárových kódů lze zařadit EAN (European Article Number), UPC (Universal Product Code) a QR (Quick Response Code) [1]. Největší uplatnění těchto kódů můžeme nalézt v maloobchodě, ale jsou jimi značeny na příklad i různé vstupy do výroby.



Obrázek 7: Ukázka čárového kódu. Zdroj: Freepik

Vznik čárových kódů sahá až do poloviny 20. století, kdy Bernard Silver student Drexel Institute of Technology byl zaujat složitostí maloobchodního prodeje. Proto se rozhodl, že se svým kolegou Normanem Woodlandem začnou pracovat na řešení tohoto problému a jako první je napadlo, že by informace byly reprezentovány kódy Morseovy abecedy. Později v roce 1952 získaly patent na první popis čárových kódů a metody jeho čtení pomocí světelných a elektronických systémů. V roce 1973 byl představen UPC kód a stal se standardem pro čárové kódy v maloobchodě v USA. V 90. letech se pak rozšířila funkčnost kódů tím, že byl vynalezen QR kód, který mohl uchovávat mnohem více potřebných informací. Postupně se čárové kódy rozšířily do celé řady aplikací a jsou běžně využívány [1].



*Obrázek 8: Zařízení pro skenování čárových kódů. Zdroj: Amazon.com*

Pro skenování čárových kódů je možno užívat celou řadu zařízení, ale pro skenování KANBAN karet bude využíváno ručních skenerů v podobě pistole. Fungují na principu laserového paprsku. Jsou snadno přenosná a levná na pořízení.

## 3. Analytická část

V této části je popsána metodika a jednotlivé kroky, jež byly využity pro návrh sledovacího systému k pohybu dílů. Primární cíl je veden k zefektivnění mapování pohybu dílů, proto zde budou jmenovány jednotlivé metody, jež by napomohli k tvorbě systému. Budou zde také posouzeny hrozby implementace takového systému a zamýšlení se nad jeho funkcemi a co by naopak komplikovalo užívání pro zaměstnance společnosti.

### 3.1 Popis současného stavu

Jelikož se rozbíhá výroba nového typu motoru, ještě nejsou všechny procesy výroby zcela správně nastaveny a hlídány. U nových produktů je vždy z počátku jejich životního cyklu problém ideálně nastavit procesy výroby, montáže a skladování. Totéž jistě platí pro následné rekonfigurace motorů a jejich generální opravy. V současné době jsou demontované díly označeny modrou kanban kartou a na základě příkazu od manažera jednotlivého motoru jsou odeslány na příslušné pracoviště. V tomto kroku ale vystává problém, jelikož po odchodu dílů z demontážní haly již není nijak dále hlídáno, jestli díly skutečně docestovaly na pracoviště, kam byly dedikovány. Ať už se bavíme o pracovišti myčky, pracoviště inspekce, jejich kontroly kvality, nebo jejich následné zaskladnění.

Proto zde vyvstává otázka toho, že by bylo zapotřebí získávat informace o toku těchto dílů mezi jednotlivými pracovišti. A jelikož má letecký motor zhruba 1200 součástek, tak i definovat dílům následné operace.

### 3.2 FMEA

Po konzultaci s oddělením, jenž má ve společnosti na starost Lean systémy a procesy se rozhodlo, že primární nástroj, jež bude užit pro analýzu současného stavu a jeho problémů bude užita FMEA analýza. Výsledky analýzy se následně promítnou do návrhu systému, jelikož by nám z FMEA analýzy mělo vyplynout co je aktuálně největší problém

a ten si následně rozebereme a budeme z něj dále vycházet v postupu návrhu systému. Určí se pravděpodobnost a možnost detekce. Pak následně s konzultací se společností promítneme výsledky do návrhu.

Nejvyšší riziko (nejvyšší RPN), kde by v procesu mohla vznikla chyba bylo identifikováno v tvorbě KANBAN karty. Byly vytyčeny cíle, díky kterým by se RPN mělo snížit po implementaci systému.



1. Operace			2. Klasifikace										
Operace	Funkce	Způsob selhání	Důsledek selhání	Závažnost	Výskyt	Detekce	RPN (Risk priority no.)	RPN aktuální (Σ)	Cíl RPN				
Proces zpracování demontovaných dílů	Výpis Kanban karty	Přepsání se	Důsledek selhání	3	5	3	45	307	180				
		Mistifkáce dílu		2	4	4	32						
		Převzetí informací z jiného motoru		3	2	4	24						
		Nečitelné písmo		1	7	2	14						
		Chybné množství		2	5	3	30						
		Duplikace		3	4	2	24						
		Nesprávné přiznání		4	5	2	40						
		Opomenutí informace		2	4	1	8						
		Časová náročnost		3	6	5	90						
		Nedostatečné zaškolení		3	2	6	36						
		Neprovedení		4	1	4	16						
		Provedení vícekrát		2	1	3	6						
		Inspekce dílu		Špatná interpretace výsledku inspekce	Může být potenciálně nebezpečné, díl může projít s vadou	6	1			8	48	154	90
				Inspekce dle špatné specifikace		6	1			8	48		
Logistika (příprava dílu na pracoviště)	Uskladnění dílu	Špatné plánování	Důsledek selhání	2	4	4	32	164	100				
		Nesprávná manipulace		3	3	2	18						
		Nedostatečná zpětná vazba		2	2	1	4						
		Komunikační chyby		2	3	2	12						
		Chyby v inventarizaci		2	1	3	6						
		Ztráta dílu		4	4	5	80						
		Doprava na špatné pracoviště		2	3	2	12						
		Opomenutí přepravy		3	2	4	24						
		Přetžení regálu		4	1	8	32						
		Nesprávné skladovací jednotky		3	3	6	54						
		Špatná pozice		4	3	2	24						
		Chybná informace z inspekce		6	1	3	18						
		Díl se neopraví a pustí se dál		9	1	5	45						
		Díl dorazí špatně		2	3	1	6						
Chybné zaznamenání opravy	5	1	1	5									
Průchod dílu bez umytí	4	2	2	16									
Díl zůstane na pracovišti	3	2	1	6									
Špatná metoda mytí	6	1	5	30									
							885		535				

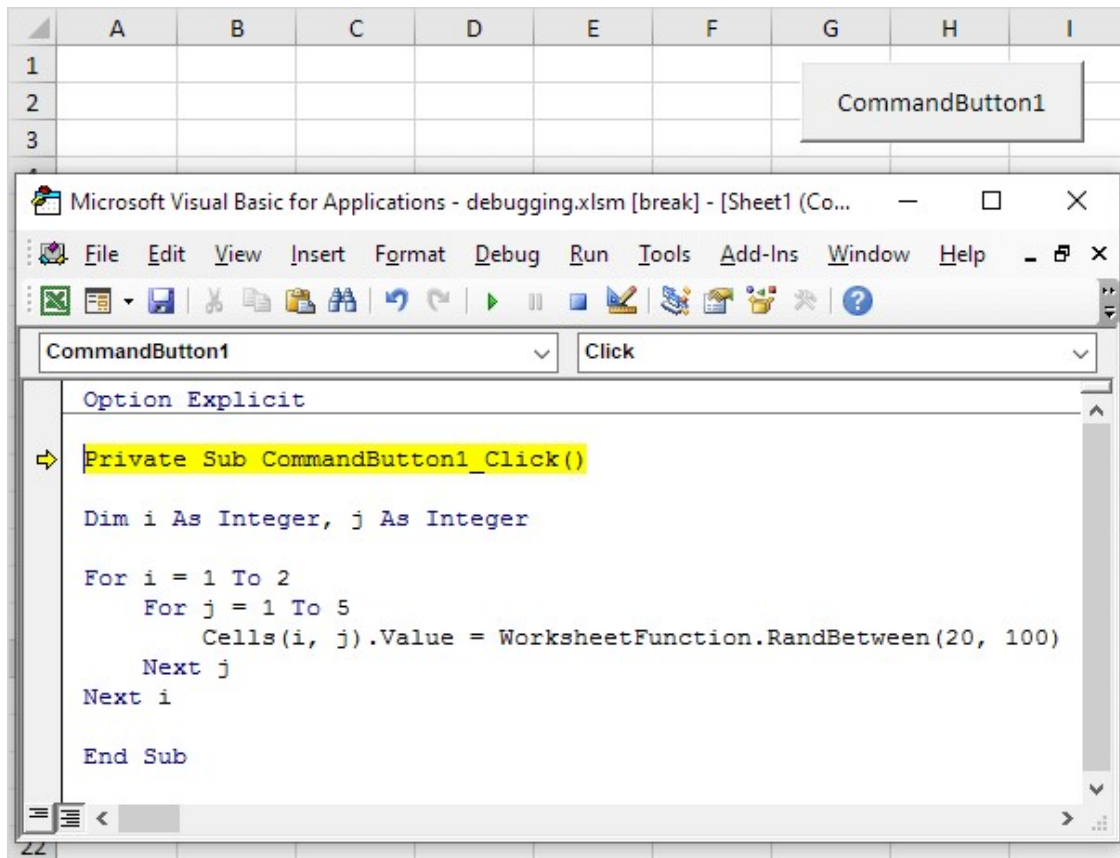
Tabulka 1: FMEA analýza současného stavu. Zdroj: Vlastní zpracování

### 3.3 Proces výběru prostředí

Pro návrh systému je vybrán Microsoft Excel, jelikož celá společnost užívá Microsoft Office a tím nebudou přineseny zbytečné náklady navíc. Také všichni zaměstnanci, jež budou se systémem pracovat znají dobře prostředí Excelu. Tak tím se sníží náročnost implementace do procesu demontáže.

### 3.4 Excel VBA

Microsoft Excel je jedním z nejpoužívanějších softwarových nástrojů pro tabulkový procesor. Slouží k vytváření, editaci, organizaci a analýze tabulek a dat. Byl vyvinut společností Microsoft a je to univerzální nástroj používaný skrze všechna odvětví. VBA (Visual Basic for Applications) je programovací jazyk, který je součástí Excelu a umožňuje vytvářet a definovat vlastní makra a skripty pro automatizaci úkolů v Excelu. VBA tedy Excel rozšiřuje o funkčnost a interaktivitu [14]. Pro aplikaci, jež je popisována v této diplomové práci, byl zvolen právě Excel a VBA pro jeho univerzálnost, flexibilitu, přehlednost a schopnost rychle vytvořit potřebné funkce. Také je Excel vhodný pro reportování dat a jejich vizualizaci. Mezi hlavní výhody jazyku VBA bychom měli zmínit rychlý vývoj, schopnost vytvořit uživatelsky přívětivé prostředí a automatizaci úkolů. Nevýhodou je, že tvůrce systému musí disponovat alespoň základy programování.



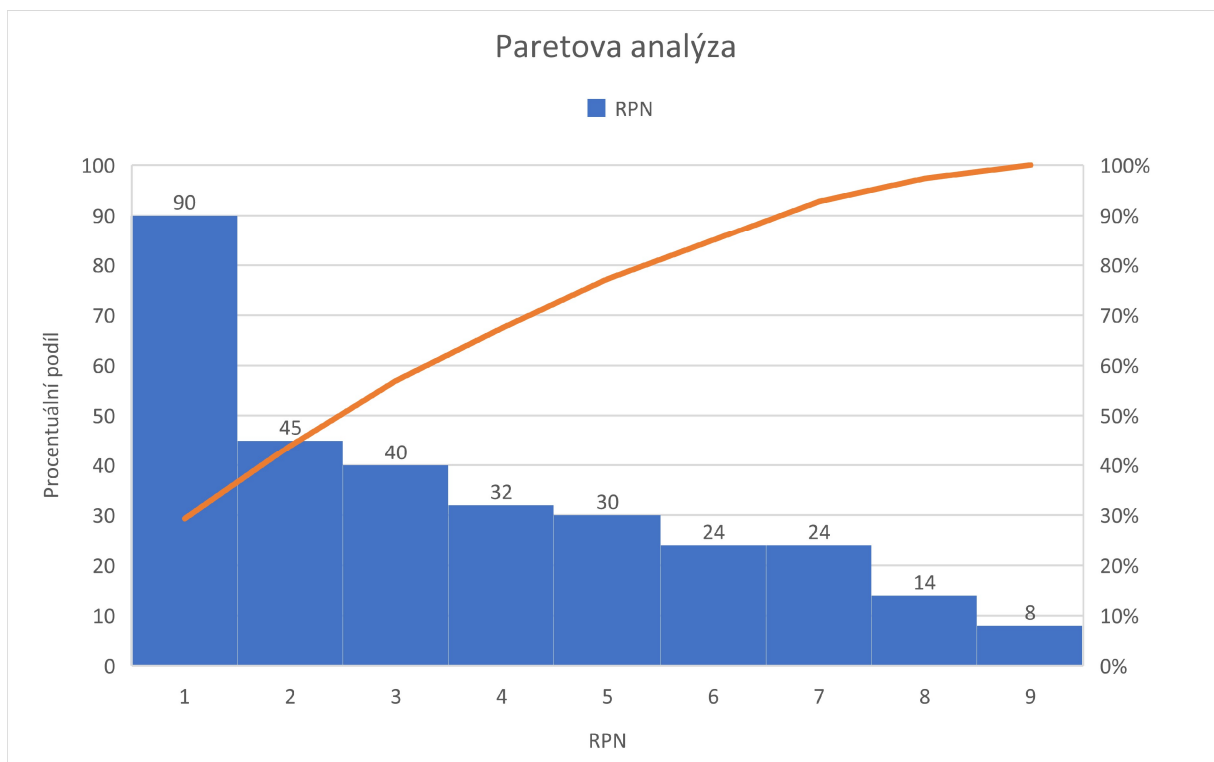
Obrázek 9: Ukázka VBA jazyka v Excelu. Zdroj: Excel Easy

### 3.5 Paretova analýza

Paretova analýza navazuje na FMEA analýzu tím, že zhodnocuje rizika, jež vznikají při tvorbě Kanban karet.

Číslo p.	Problém	RPN	Procentuální podíl	Kumulativní procentuální podíl
1	Časová náročnost	90	29%	29%
2	Přepsání se	45	15%	44%
3	Nesprávné přiřazení	40	13%	57%
4	Mystifikace dílu	32	10%	67%
5	Chybné množství	30	10%	77%
6	Převzetí informací z jiného motoru	24	8%	85%
7	Duplikace	24	8%	93%
8	Nečitelné písmo	14	5%	97%
9	Opomenutí informace	8	3%	100%

Tabulka 2: Paretova analýza. Zdroj: Vlastní zpracování



Obrázek 10: Graf zobrazující důsledky Paretovy analýzy. Zdroj: Vlastní zpracování

### 3.6 Rizika implementace

S každou implementací nového systému je třeba počítat s riziky a udělat co nejvíce proto, aby si jim předešlo. Proto byla předem a v průběhu návrhu systému tvořena matice rizik a nim přiřazovány mitigační opatření, jež předejdou riziku, nebo alespoň sníží dopad v případě, že by riziko nastalo. Pomocí matice rizik lze pak snadno vyhodnotit, co je pro implementaci největší hrozbou a učinit opatření, aby integrace systému mezi zaměstnance a oddělení proběhla co možná nejrychleji a bez defektů.

Pořadí	Riziko	Pravděpo- dobnost	Dopad	Význam- nost	Mitigační opatření
1.	Technologická rizika	4	3	12	Pravidelná aktualizace SW, nákup kvalitního HW
2.	Riziko špatné implementace	4	3	12	Důkladné plánování a jasná specifikace požadavků, průběžné kontroly a revize
3.	Riziko změny koncepce celého systému	1	5	5	Konzultace s vyšším vedením o plánovaných změnách
4.	Nedostatečné zaškolení	3	4	12	Vytvoření přehledného návodu, průběžné meetingy na zaškolení
5.	Přílišné složitosti v obsluze	2	4	8	Bude k dispozici podpora a pomoc
6.	Riziko nedostatečného plánování	3	3	9	Průběžné meetingy a konzultace s projektovými manažery
7.	Riziko nechtěného přepsání celého Excelu	5	2	10	Průběžné zálohování, uzamknutí listů
8.	Riziko neúplného testování	3	3	9	Vytvoření implementačního plánu
9.	Finální systém se nesetká s očekáváním vedení	2	5	10	Průběžné konzultace s vedením

Tabulka 3: Rizika implementace. Zdroj: Vlastní zpracování

		Matice významnosti rizika				
Dopad	5	5	10	15	20	25
	4	4	8	12	16	20
	3	3	6	9	12	15
	2	2	4	6	8	10
	1	1	2	3	4	5
		1	2	3	4	5
		Významnost				

Významnost	Dopad
>16	Velmi významný
>12<16	Středně významný
>4<12	Málo významný
>3<4	Minoritní
<2	Zcela zanedbatelný

Tabulka 4: Matice významnosti rizika. Zdroj: Vlastní zpracování

## 4. Návrhová část

V této části je popsáno, jak probíhal návrh systému a pomocí kterých nástrojů byl vytvořen. Jsou zde popsány důvody, proč bylo potřeba se tvorbou systému zabývat a co všechno bylo k návrhu potřeba.

### 4.1 Představení společnosti

Ve shodě s etickými a dobrovolnými směrnicemi nelze zveřejnit specifickou identitu společnosti, která je předmětem této práce. Dodržování zásad ochrany soukromí a důvěrnosti všech zapojených stran má zásadní význam, a proto bude jméno organizace ponecháno v této práci důvěrné.

Společnost se zabývá konstrukcí, výrobou a opravami turbovrtulových leteckých motorů pro širokou škálu využití. Byla součástí technologické revoluce v oblasti elektřiny, inovacemi jako například výroba žárovek, domácích spotřebičů a elektroniky obecně. Z laboratoří postupně proudily do celého světa klíčové technologie a patenty. V 20. letech také založila vlastní radiovou stanici a začala také průkopnictví v oblasti letectví, což vedlo k vývoji prvních leteckých motorů. První letecký motor byl vyráběn během 1. Světové války a byl tak distribuován spojeneckým silám. V 80. letech 20. století se společnost stala jednou z nejhodnotnějších společností světa a expandovala i do podnikání ve finančním sektoru a tím ještě upevnila svoji pozici na trhu. Vstup do 21. století přinesl velké množství výzev, ať už to byla finanční krize v roce 2008, nebo celková změna energetické koncepce.

V současné době je společnost jedním z největších dodavatelů motorů a součástek pro komerční, vojenské a obchodní letectví. Společnost nabízí integrované digitální řešení, včetně údržby a monitoringu motorů. Vývojem neaových motorů jenom ukazuje, že neztrácí ze své pozice lídra v letectví. Další odvětví byznysu je například zdravotní technika, energetika, obnovitelné zdroje, a kapitálový sektor. Velké snahy o inovace a adaptace na rychle se měnící svět napomáhá udržet si stálou pozici lídra ve svých odvětvích.

## 4.2 Představení problému

Při prováděném ‚Kaizen Week‘ (bianuální interní proces na lokalizaci omezení a nedostatků ve výrobním procesu) se narazilo na problém, který vzniká po demontáži leteckého motoru. Problém byl identifikován v tom, že rozebrané díly nejsou dostatečně monitorovány, a to již při samotné demontáži. Vznikla tedy potřeba vytvoření nástroje, jež bude mít za úkol tyto pohyby dílů sledovat od demontáže až po zaskladnění, případně vyhození. Zároveň by nástroj měl obsahovat popis operací, jež jsou s dílem po demontáži následně provedeny, jako jsou mytí a inspekce, zda nejsou díly poškozeny. Případně by měly být sledovány i procesy oprav, v případě, že díl je opravitelný. Samotné díly z motoru jsou rozděleny do 4 skupin dle toho, jaké operace jsou s nimi prováděny. Motor jako celek se skládá z jednotlivých modulů a při demontáži může být demontován buďto celý modul nebo pouze jednotlivý díl, a nebo také podsestava.

Informaci o tom, který konkrétní modul by měl být demontován, by měla být také obsažena v průvodním listu systému demontáže. Modul nemusí být ovšem demontován jako celek, ale může být rozebrán jenom z části.

## 4.3 Motivace pro tvorbu systému

Jádrem motivace pro vytvoření sledovacího systému je identifikace a řešení stávajících problémů v procesu demontáže a následných operací s díly. Tyto problémy se projevují na několika úrovních, od neefektivního využívání zdrojů až po zbytečné zpoždění ve výrobním cyklu.

Jedním z hlavních problémů, který jsme identifikovali, je nedostatečné sledování pohybu dílů ve výrobním procesu. Tato slabina vede k neefektivitě a ztrátám, jelikož pracovníci logistiky tráví příliš mnoho času hledáním potřebných komponentů. Toto nejenže zvyšuje dobu potřebnou k dokončení procesu demontáže, ale také přispívá k plýtvání lidskými a materiálními zdroji.

Dalším významným problémem je nedostatek transparentnosti v pohybu a využití dílů. Bez jasného přehledu o tom, kde se který díl nachází a v jakém stadiu po demontážního



procesu se nachází, je obtížné efektivně plánovat a optimalizovat následné procesy. To nejen způsobuje zpoždění a komplikace, ale také bere potřebné kapacity mechaniků tím, že na Kanban kartu musí vypisovat parametry každého dílu.

Kromě toho byly zaznamenány i problémy s přesností inventarizace. Chyby v evidenci mohou vést k přebytečným nákupům materiálu nebo naopak k jeho nedostatku, což má za následek další zdržení a náklady.

Tyto identifikované problémy jasně ukazují potřebu vytvoření a implementace sledovacího systému. Takový systém by nám umožnil lépe spravovat zdroje, zvyšovat efektivitu po demontážních procesů a v konečném důsledku zpříjemnit práci všem zaměstnancům, jež jsou zapojeny do práce s demontovanými díly.

#### 4.4 Důležitost tématu

Tímto tématem nebyla taková potřeba se zabírat při současném objemu produkce, ale jelikož se plánuje násobné navýšení kapacit výroby, bylo velmi důležité tento problém vyřešit. Pokud se povede implementovat funkční systém, jež bude definovat činnosti potřebné k efektivnímu zpracování dílu, bude to mít velký přínos pro celkové fungování všech oddělení, jež jsou zapojeny do procesu demontáže. Mechanici se budou moci věnovat samotnému procesu demontáže a již nadále nebudou nuceni vypisovat každý díly do Kanban karet. Tím se celý proces demontáže velmi zrychlí a usnadní se tím i práci lidí na dalších stanovištích, jelikož si jenom z Kanban karty naskenují čárový kód a již budou všechny potřebné informace ke své práci.

## 4.5 Struktura práce

Tato diplomová práce je koncipována tak, aby čtenáři poskytla postupný a srozumitelný přehled procesu návrhu sledovacího systému, který je implementován na proces demontáže motorových dílů.

V návrhové části se čtenář dozví motivaci a cíle diplomové práce. Jsou zde definovány hlavní problémy a výzvy, kterým se práce věnuje, uvádí základní cíle, kterým se práce věnuje.

V teoretické části je poskytnut studijní základ, který obsahuje znalosti ze štíhlé výroby a jiných potřebných tématech pro správné uchopení celého tématu.

Analytická část se věnuje analýze současného stavu. Je zde provedena potřebná analýza pro zlepšení návrhu sledovacího systému a také je provedena analýza.

Návrhová část vychází z výsledků analytické části a jsou zde představeny návrhy řešení a jsou hodnoceny jejich přínosy a omezení. Zároveň je zde popsána nejaktuálnější podoba systému a jeho popis.

Závěr obsahuje hlavní zjištěné poznatky z procesu tvorby diplomové práce a hodnotí provedení stanovených cílů. Také poskytuje doporučení pro budoucí iterace systému a jejich implementaci.

## 4.6 Omezení

V této kapitole jsou zmíněna omezení, jež mohla ovlivnit rozsah a výsledky této diplomové práce. Je důležité si uvědomit, že každý proces tvorby má nějaká omezení, která je třeba brát v úvahu při interpretaci výsledků.

- Omezený rozsah potřebných informací: Návrh systému je náročný na potřebné množství informací a ty jsou ne vždy dobře dostupné.
- Omezení rozsahu: Práce je z části omezena primárně časovým rozsahem. Návrh systému lze ale i nadále zdokonalovat.
- Technická omezení: Jelikož je návrh systému prováděn do systému Microsoft Office, který se ve společnosti využívá, tak zde vystává velké množství omezení. A to třeba jako

navázání na ERP systém (Oracle) a třeba i na průvodku, jež slouží k instruktáži mechaniků. Také by do budoucna mohl systém být provázán i s postupy mechaniků, kde mají krok po kroku vypsány operace, jež mají provést.

## 4.7 Očekávaný přínos

Očekávaný přínos práce vidím hlavně ve snadném způsobu sledování pohybu dílů po výrobním závodě. Po implementaci fungujícího systému se minimalizuje možnost, kde při zapracování dílů udělat chybu a tím, že budou mít demontované díly i zavedené operace, které mají následně projít, bude minimalizováno i to, že logistika by díly přemístila na špatné pracoviště. Tím, že se v procesu celkově minimalizují chyby, tak se zvýší efektivita práce a tím pádem i produktivita. Dále by se již nemělo stávat, že díl se ocitne v místě, kde by nikdo nečekal jeho přítomnost a při opětovné skladbě motoru, budou již všechny potřebné díly zaskladněny na své dané pozice. Ušetří se tedy i čas na montáž motoru, jestliže budou díly skutečně na svých dedikovaných místech ve skladu, které budou zavedeny jako informace v Kanban kartě, bude je možno snáze nalézt a proces montáže bude o to urychlen.

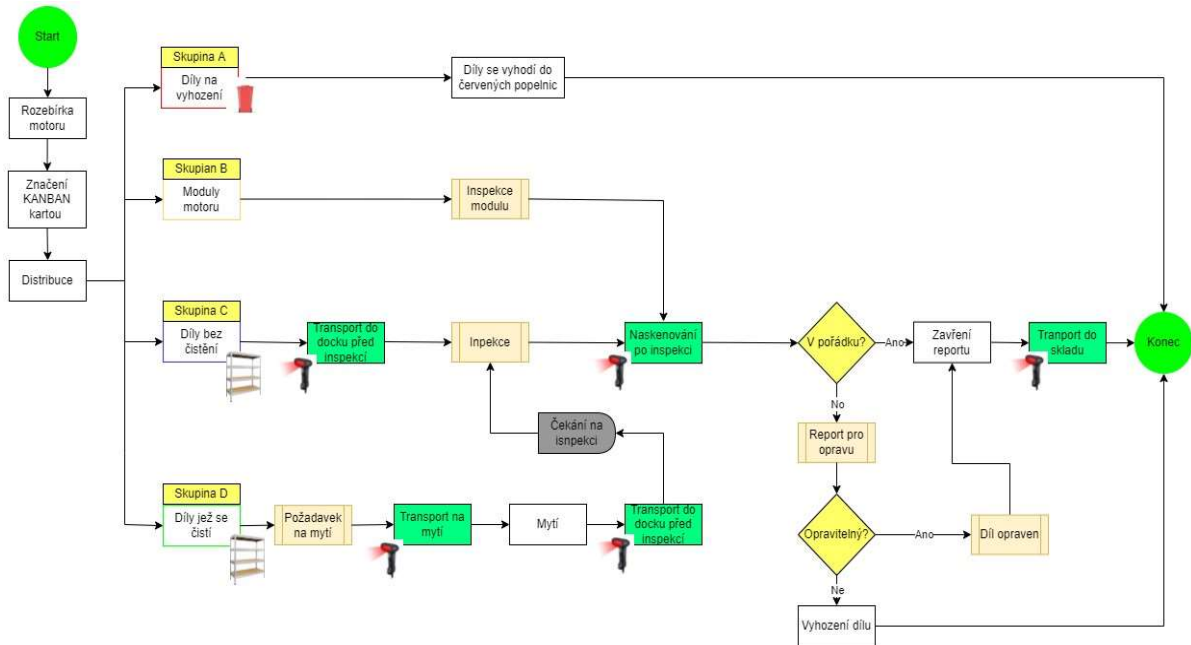
Samotná výhoda systému bude také v tom, že po rozebrání motoru a vygenerování Kanban karet, bude už dopředu každé pracoviště vědět, kolik práce a zhruba za jakou dobu se čeká. Tím by se mohlo ulehčit i plánování pracovní síly, jelikož v době kdy zrovna nebude pracoviště tak vytíženo bude lepší, když pracovník bude čerpat dovolenou.

Bude také možno kontrolovat soubor demontovaných dílů jako celku, a že všechny díly určené k demontáží byly skutečně z motoru sundány a prošly tedy i následnými operacemi. Proces demontáže zanikne tím, že se poslední díl zanesou jako zaskladněn a tím se bude moci demontáž konkrétního motoru uzavřít.

Je odhadováno, že proces demontáže dílu bude urychlen o cca 1 minutu na každý díl, jelikož se mechanik nebude zabývat ručním vypisováním kanban karty a když bychom kalkulovali s tím, že se bude demontovat cca 1000 dílů z motoru, tak už se jedná o velmi zajímavé uspořené času.

## 4.8 Popis navrhovaného systému

Pro jednoduchost a snazší uživatelskou přívětivost byl zvolen systém Excel. Jelikož vyhovuje velkému množství uživatelů a většina zaměstnanců má již bohaté zkušenosti s prostředím Excelu. Také má již společnost licenci a není tedy potřeba investovat do jiných programů. Na následujícím obrázku je zobrazeno fungování systému z pohledu selekce dílů.



Obrázek 11: Diagram fungování systému. Zdroj: Vlastní zpracování

Po demontáži se vygeneruje KANBAN karta, která definuje do jaké skupiny díl spadá. Dle skupiny jsou s díly prováděny další operace, které jsou zakončeny buďto vyhozením, nebo zaskladněním dílu.

Díly jsou děleny do 4 skupin:

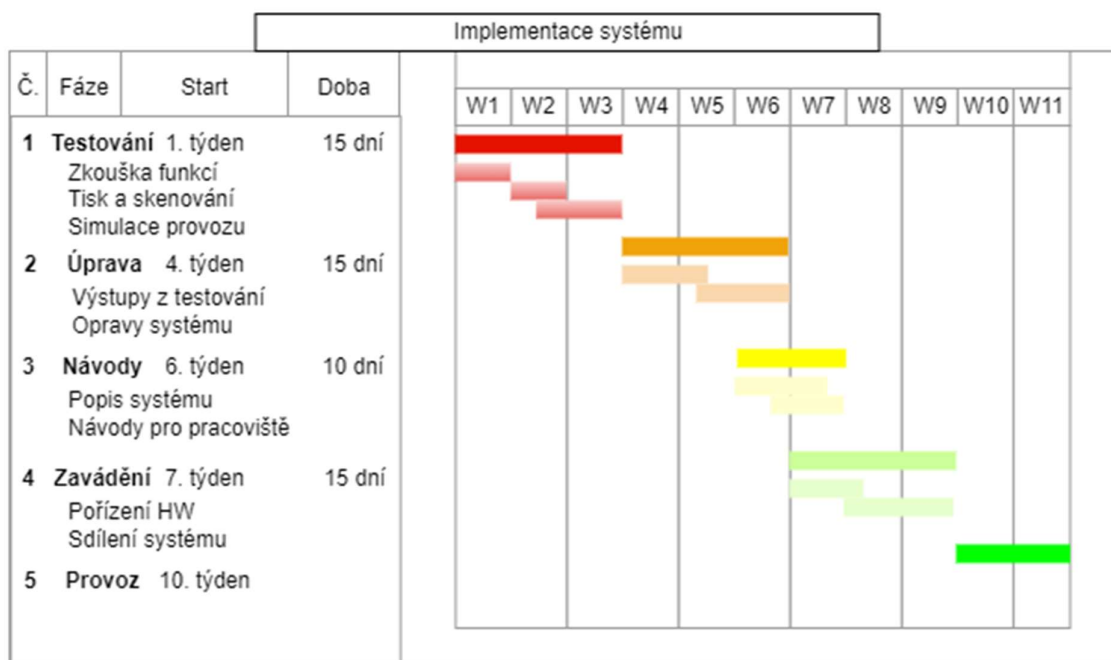
- **Skupina A** – Díly, jež jsou určeny k vyřazení z procesu. Jedná se převážně o díly, jež v leteckém motoru nejsou znovu využívány (např. šrouby, matice, O-kroužky atd.)
- **Skupina B** – Jedná se podsestavy, jež jsou z motoru demontovány v celku a jsou určeny na inspekci v celku. Revize se provádí vždy poté, co je motor nastartován.
- **Skupina C** – Díly, které jsou určeny k inspekcí bez mytí. Inspekce provede zmapování stavu dílu a rozhodne, zda díl bude potřeba opravit. Následně je také zaskladněn.
- **Skupina D** – Díly, jež jsou po demontáži určeny k mytí a až následně k inspekcí.

## 4.9 Technické specifikace

Technické specifikace jsou primárně funkce, které musí Excel zpracovávat. Také pro zavedení systému bude potřeba vybavit jednotlivé pracoviště scannerem, jež bude sloužit pro skenování čárových kódů, které budou generovány v systému Excel. Tím pádem bude potřeba, aby na každém pracovišti byl počítač připojený na internet, aby po naskenování a doplnění informace byl Excel průběžně aktualizován, aby mělo každé pracoviště povědomí o současném dění.

## 4.10 Fáze implementace

Implementace systému bude rozdělena na 4 fáze, aby bylo možné dostatečně ověřit, že systém bude funkční při provozu. Prvotní fáze se dají považovat spíše za testovací a bude velmi důležitý feedback, jež během jednotlivých fází vznikne.



Obrázek 12: Gantt diagram implementace systému. Zdroj: Vlastní zpracování

### *1. fáze*

Během 1. fáze implementace bude provedeno testování s Lean leaderem. V této fázi se očekává, že se objeví velké množství nedostatků.

### *2. fáze*

Ve 2. fázi implementace se budou reflektovat a zapracovávat ty největší nedostatky systému, jež budou odhaleny při prvotním testování.

### *3. fáze*

V této fázi bude vytvořen návod na obsluhu systému pro jednotlivá oddělení. Návod bude obsahovat kompletní rozbor systému a vše v něm bude popsáno a vysvětleno. Bude vytvořen dle pravidel Poka-Yoke, aby byl co nejlépe uživatelsky přívětivý.

### *4. fáze*

Dotčená pracoviště budou vybavena hardwarem, jež bude potřebný pro provoz. Jelikož každé pracoviště již disponuje počítačem připojeným na internet, bude potřeba dokoupit skenovací zařízení a zajistit, aby každý počítač měl přístup na cloud, kde bude Excel uložen. Demontážní hala bude potřeba vybavit tiskárnou na tisk Kanban karet. Po zajištění těchto věcí bude moci proběhnout spuštění systému na dalším motoru, jež se bude demontovat.

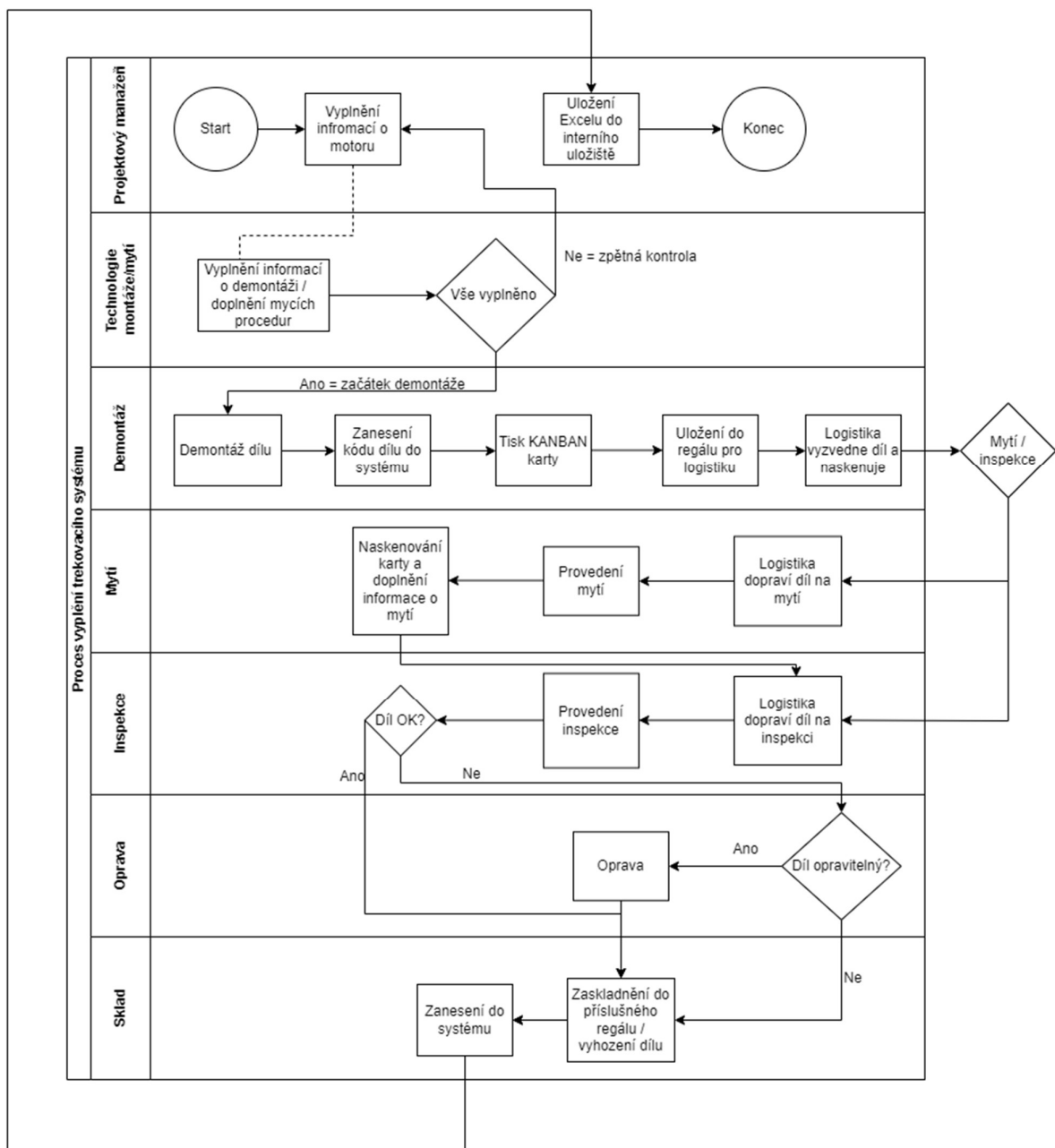
### *5. fáze*

V této fázi proběhne spuštění systému na dotčených pracovištích. Sběr zpětné vazby by neměl být přerušen. Na doporučení by měl být jednou za kvartál svolán meeting dotčených oddělení, kde by se probrala zpětná vazba a případně by se návrhy zapracovaly do updatované verze.

## 4.11 Náklady a rozpočet

Jelikož je systém sestavován v rámci pracovního poměru kolegů a diplomové práce, nejsou zde započteny dodatečné náklady. Primární náklady na implementaci systému budou vynaloženy na skenery, jež budou skenovat karty a dle čárového kódu generovaného z Excelu přiřadí dílu následující operace. Taktéž bude za potřebí vybavit oddělení demontáže tiskárnou na Kanban karty. Tím se bude snáze definovat fronta práce na jednotlivých pracovištích a zamezí se tak ztrátě součástek. Bude to tedy mít kladný vliv na vytížení pracovišť a celkovou efektivitu celého procesu. Celkové náklady jsou tedy minimální vzhledem k tomu, jaké benefity přinesou a není potřeba je započítávat, jelikož se tedy bavíme o částce cca 20 tisících korun. V závěru budou prezentovány výhody, a i z části nastíněna finanční úspora, jež se zavedením získá.

## 4.12 Proces obsluhy systému



Obrázek 13: Diagram obsluhy systému jednotlivými odděleními. Zdroj: Vlastní zpracování



Proces vyplňování systému začíná tím, že projektový manažer zodpovědný za demontáž motoru vezme vzor Excelu a vyplní počáteční informace důležité pro demontáž. Následně technolog montáže vyplní seznam dílů, jež budou z motoru demontovány. Dále technolog zodpovědný za povrchové úpravy přiřadí mycí metody, jež jsou předepsány pro jednotlivé díly. Když je systém doplněn o tyto informace, tak může demontáž započít.

Vedoucí oddělení demontáže, který je odpovědný za demontáž motoru si otevře Excel a na úvodní straně otevře odkaz, který je na cloudové uložení a odkáže ho na postup co vše z motoru demontovat. Když demontuje první díl následně napíše do systému číslo, jež odpovídá pozici dílu na motoru. Na základě tohoto čísla jsou do KANBAN karty doplněny zbylé informace jako číslo dílu, skupina dílu a činnost, jež s dílem musí nastat. Dle čísla je také do karty doplněn čárový kód, jež slouží ke skenování na dalších pracovištích. Když je karta vygenerována, tak je následně vytisknuta a přiložena k dílu. Menší díly jsou vloženy do průhledného sáčku společně s kartou. U větších dílů je kartička připnuta k dílu pomocí gumičky. Takto označené díly KANBAN kartou jsou následně vloženy do regálu.

Po uložení dílu do regálu následně logistika transportuje díl na dedikované pracoviště. Než ale díl opustí pracoviště demontáže, je díl naskenován aby bylo jasné, že opustil pracoviště demontáže. Dále je tedy transportován na předepsané pracoviště, buďto inspekce, nebo mytí.

Pracovníci myčky si díl naskenují, provedou mytí a znovu následně naskenují a tím potvrdí, že díl prošel a je čistý. Pokud má díl znečištění, jež není možné umýt předepsanou technologií, vypíše se report a technologie mytí rozhodne o tom, zda na mytí nepoužít jinou technologii, nebo zda nebude potřeba mytí zadat externě. Následně po odstranění nečistoty je díl zaveden pomocí naskenování do systému a může pokračovat dále v procesu.

Proces inspekce dílu vypadá z počátku stejně jako proces mytí, tedy po přijetí dílu od logistiky je díl naskenován a následně je provedena inspekce. U dílu se musí rozhodnout o tom, zda je bez poškození. Jestli je díl vyhovující, tak podle toho, do jaké spadá skupiny, je zanesen do systému a putuje v procesu dále.

Oddělení skladu zpracované díly vloží do speciálního regálu, který je určen pro každý motor a zanesen do systému, že je díl uskladněn.

Když jsou všechny díly, jež byly zaneseny do systému technologem montáže zpracovány, tak může projektový manažer provést uzavření systému a Excel se uloží na cloud pro případ, že bude potřeba v budoucnu informace zpětně dohledat.

## 4.13 Popis systému

Jak již bylo zmíněno, tak systém byl vytvořen v MS Excel.

Popis jednotlivých listů systému:

- Disassembly kick-off: Je to úvodní strana celého systému, která je vyplněna managerem konkrétního motoru. Můžou zde být doplněny i požadované datумы začátku a konce demontáže a následných procesů.
- Tracker: List, kam technologie montáže vypíše seznam dílů, jež se budou demontovat. Dále jsou v tomto listu vypsána všechna pracoviště a po provedení své činnosti naskenováním potvrdí, že je díl zpracovaný.
- Pivot\_Progress: List, který pro každý motor a každé pracoviště ukazuje postup. Jsou zde automaticky vytvářeny grafy dle toho, jak procesy pokročily. Díly jsou zde rozděleny do jednotlivých modulů a je také vidět, kolik procent bylo již z jednotlivých modulů zpracováno.
- Diassy & Label: List, ve kterém mechanik vepíše SIN číslo dílu a na základě funkcí VLOOKUP je KANBAN karta vyplněna. Vedle KANBAN karty je za pomoci VBA vytvořeno tlačítko TISK, jež vypíše díl do seznamu dílů, jež byli již demontováni a vytiskne se karta.
- Dále jsou v systému 4 listy, do kterých jsou vypisovány díly poté, co jsou na odpovídajících pracovištích provedeny dedikované operace.
- Další listy slouží čistě jako zdrojové tabulky a jsou zde vypsány kusovníky motoru, metody mytí a inspekce. Díly skupiny A mají svoji separátní tabulku.

## Disassembly kick off -

Program:	
Engine number:	
Engine build:	
Engine name:	



Engine recieved:	
Disassembly started:	
Disassembly closed:	

Tracking location:	
eTPS box location:	
Disassy SB	
HWO:	
EVAL:	
Project:	

Affected modules:	Affected?	Comment:
M51	Yes	
M52	No	
M48	No	
M44	No	
M46	No	
M45	No	
M57	No	
M55	No	
M56	No	
M50	No	
M70	No	
M61	No	
M63	No	
M60	No	
M33	No	
M10	No	

Comments:

Obrázek 14: Úvodní karta Excelu. Zdroj: Vlastní zpracování

## Disassembly kick off check list

Phase:	Action:	Responsible:	Status:
<b>0 - Preparation:</b>	All eTPS collected and tracked?	(PM + ENG)	No
	Box folder set?	(PM)	No
	Part tracker locked?	(PM)	No
	Owners identified?	(PM + EVAL)	No
	Is C+List cleared?	(Buy)	No
	Is instrumentation list incorporated?	(Inst.)	No
	Storyboards created?	(MENG)	No
	Disassembly list filled?	(MENG)	No
	Duplicities fixed?	(MENG)	No
	eTPS requirement incorporated?	(MENG)	No
	<b>Preparation closed?</b>	<b>On hold</b>	
	Date:		
<b>I - Disassembly:</b>	Job order issued?	(LOG)	No
		JOB:	
	<b>Disassembly released?</b>	<b>On hold</b>	
	Date:		
<b>II - Cleaning:</b>	<b>Action:</b>	<b>Responsible:</b>	<b>Status:</b>
	All parts have defined base method?	(MENG)	No
	Is Job order issued?	(LOG)	No
		JOB:	
	<b>Cleaning released?</b>	<b>On hold</b>	
	Date:		
<b>III - ARS:</b>	<b>Action:</b>	<b>Responsible:</b>	<b>Status:</b>
	eTPS QUA requirement incorporated?	(MENG)	No
	Faultlist – implement to tracker?	(QUA)	No
	BSI module inspection needed/planned?	(QUA)	No
	Job order issued?	(LOG)	No
		JOB:	
	<b>Cleaning released?</b>	<b>On hold</b>	
	Date:		


Obrázek 15: Úvodní karta Excelu. Zdroj: Vlastní zpracování

## 4.14 Popis Kanban karty

Samotná KANBAN karta je tištěna na modrý papír o velikosti zhruba 15x10 cm. Po vytištění je přiložena ke každému dílu dle čísla SIN.

Popis karty:

- Program – Typ motoru.
- ESN – Název motoru. Na další stavbu motoru se všechny díly, které byly sundány z minulé stavby, přečíslovají na další konfiguraci motoru.
- SIN – Specifické číslo, jež nám určuje pozici dílu na motoru a samotné číslo dílu. Jeho vepsáním do Kanban karty se automaticky vyplní všechny ostatní údaje. Po vypsání SIN se stiskne tlačítko TISK a na základě toho se karta vytiskne a díl se vypíše do seznamu demontovaných dílů. Pod číslem SIN může být i více kusů dílů se stejným číslem dílu.
- Číslo výkresu – Jedná se o číslo výkresu, podle kterého je vyrobena součástka.
- Číslo modulu – Určuje nám, pod který modul spadá součástka. Motor se skládá zhruba z 12 modulů.
- Množství – Určuje počet kusů demontovaných pod jednou kartou
- Sériové číslo – Série, ze které díl pochází
- Dne – Datum, kdy byl díl demontován
- Demontoval – Mechanik, jenž je zodpovědný za demontovaný díl. Po demontáži se následně podepíše.
- Inspekce – Systém vyplní, zda díl půjde na inspekci.
- Čárový kód SIN – Čárový kód, jenž je v Excelu vygenerován dle SIN čísla

<b>Program:</b> <u>Letecký motor</u>		<b>INS</b>	
<b>ESN:</b>		Motor 1	
<b>SIN:</b>		12345	
<b>Název dílů:</b>		Držák	
<b>Číslo výkresu:</b>		512	
<b>Číslo modulu:</b>		M11	
<b>Množství:</b>		1	
<b>Sériové číslo:</b>		645	
<b>Dne</b>	20.11.2023	<b>Podpis:</b>	
<b>Demontoval</b>	Mechanik		
<b>INSPEKCE:</b>		Je díl letuschopný?	
<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No		Report:	
<b>Čárový kód SIN:</b>			

Obrázek 16: Návrh KANBAN karty demontovaného dílu. Zdroj: Vlastní zpracování

#### 4.15 Ukázka pracoviště

Jak již bylo zmíněno, tak pracoviště demontáže bylo vybaveno tiskárnou na Kanban karty. Každý mechanik má svůj notebook a za pomoci USB se na tiskárnu připojí. Tiskárna je také vybavena čtečkou karet, přes které se mechanici autorizují. Po vytištění karty se mechanik musí na kartu podepsat, aby bylo jasné, že díl skutečně demontoval a je za něj zodpovědný.



Obrázek 17: Tiskárna KANBAN karet na pracovišti demontáže. Zdroj: Vlastní fotografie

## 4.16 Bezpečnost

Dodatečná opatření z mého pohledu nejsou potřeba provádět, jelikož systém s daty je izolovaný a funguje čistě interně, nemůže tedy dojít k úniku dat, jelikož společnost má své počítače a síť velmi dobře zabezpečené. Diskuse nad bezpečností byla tedy zavrhnuta z důvodu toho, že systém bude využívám v uzavřeném firemním prostředí, a tak nebude nutno brát v potaz bezpečnostní opatření.

## 5. Závěr

Tato část obsahuje celkové shrnutí práce, průběhů a výsledků. Je zde představeno, čeho bylo dosaženo tím, že systém bude zaveden do provozu. Ať už se bavíme o úspoře finanční, nebo o zamezení chyb a plýtvání. Déle je zde zmíněna i perspektiva této práce do budoucna a přínos práce z osobního úhlu pohledu.

### 5.1 Shrnutí cílů

Primárním cílem této diplomové práce bylo podílet se na tvorbě systému, jež by napomohl zvýšit informovanost zaměstnanců o procesech, zvýšil by efektivitu plánování, prostožů ve výrobě a celkově by zamezil chybám v procesu. V první řadě tak musela být provedena analýza stávajícího procesu z hlediska jeho nedostatků a omezení. Tyto observace pak mají velkou váhu jako vstupní parametry pro podobu navrhovaného řešení. Cílem bylo vytvořit systém ve stylu POKA-YOKE, byl tedy brán potaz na to, aby nebylo možné, nebo bylo minimalizovaná pravděpodobnost udělení chyby. Další nemalý přínos systému byl vytyčen v tom, že mechanik se již nadále nebude muset věnovat ručnímu vypisování KANBAN karty, ale bude sama generována a tištěna.

### 5.2 Zhodnocení výsledků

První část hodnocení výsledků práce bude prezentována pomocí FMEA analýzy provedené po zavedení systému. Je zde patrné, že provedená opatření implementována do systému se pozitivně promítla do RPN. Sice nebylo úplně dosaženo vytyčeného cíle, a to snížit RPN na 570 bodů, ale povedlo se snížit na 608 bodů, což je **snížení o 32 %**.



1. Operace		2. Opatření		3. Výsledek opatření					
Funkce	Způsob selhání	Provedené opatření	Závažnost	Výskyt	Dielky	RPN	RPN po implementaci opatření (Σ)	CÍRPN	
Výpis Kanban karty	Přepsání se	Jedine místo kde se bude mechatik moci přepsat je číslo dílu	3	1	3	9			
	Misřazení dílu	Označení bude provedeno ihned po demontáži	2	1	4	8			
	Převzetí informací z jiného motoru	Jednotlivý Excel pro každý motor	3	1	4	12			
	Mechélné písmo	Karta tiskněna	1	2	2	4			
	Chybné množství	Vyplněno automaticky	2	1	3	6	101	180	
	Duplikace	V Excelu bude v tabulce vypsáno, co již bylo zaneseno	3	2	2	12			
	Nesprávné přiřazení		4	2	2	16			
	Opomenutí informace	Pomocí funkce v Excelu to bude pojištěno, aby se vypsalí správné informace	2	2	1	4			
	Časová naručenost		3	2	5	30			
		Neodstačné zaškolení		3	1	6	18		
Inspekce dílu	Neprovedení	V tabulce se budou vypisovat díly, jež už byli naskencováni po inspekci	4	1	4	16			
	Provedení v/cakrát		2	1	3	6	136	120	
	Špatná interpretace výsledku inspekce	Informace o inspekci zanesena do tabulky	6	1	8	48			
Logistika (příprava dílu na pracoviště)	Inspekce díle špatné specifikace		6	1	8	48			
	Špatné plánování	Logistika bude mít v Excelu možnost zobrazit si díly pro jednotlivá pracoviště a pohyb si tak bude moci rozdělit	2	2	4	16			
	Nesprávná manipulace	Logistika bude mít v Excelu možnost zobrazit si díly pro jednotlivá pracoviště a pohyb si tak bude moci rozdělit	3	3	2	18			
	Neodstačné zpětná vazba	Díly po transportu se v systému budou ukazovat jak transportované po převání na další pracoviště	2	2	1	4			
	Komunikační chyby		2	3	2	12	148	100	
	Chyby v inventarizaci		2	1	3	6			
	Ztráta dílu	Systém jako celek by měl pomoci předcházet ztrátě	4	3	5	60			
	Doprava na špatné pracoviště	V systému deklarované místo	2	2	2	8			
	Opomenutí přepravy	Díl, jež se nepřevezle bude v systému svítit červenou barvou	3	7	4	74			
	Přetížení regálů		4	7	8	64			
Uskladnění dílu	Nesprávné skladovací jednotky	V systému bude dedikovaný regál a tak by se tomuto mělo zabránit	3	1	6	18	90	90	
	Špatná pozice		4	1	2	8			
Oprava dílu	Chybné informace z inspekce	Kontrola oddělení technologie před začátkem demontáže	6	1	3	18			
	Díl se necopraví a pustí se dál	Opravené díly budou vepsány do tabulky	9	1	5	45	81	50	
	Díl dorazí špinavý		2	4	1	8			
Umýtí dílu	Chybné zaznamenání opravy	Opravené díly budou vepsány do tabulky	5	2	1	10			
	Přechod dílu bez umytí	Umýté díly budou zaneseny do tabulky	4	2	2	16			
	Díl zůstane na pracovišti	Logistika se díly naskenruje a je seznamu lze snadno zjistit který díl chybí	3	2	1	6	52	30	
	Špatná metoda mytí	Technologie mytí doplní metody do systému před začátkem demontáže	6	1	5	30			
							608	570	

Tabulka 5: FMEA analýza po implementaci systému. Zdroj: Vlastní zpracování

### 5.3 Přínos pro firmu

Pokud bychom chtěli překlopit implementaci systému na finanční úsporu, kterou přinese, tak bychom měli uvažovat nad časovou úsporou, jež to každému pracovníkovi přinese. Dále by se dalo uvažovat nad tím, že se omezí možnost ztráty dílu a zároveň se zefektivní plánování práce na pracovištích.

Finanční úspora práce mechanika, když bychom uvažovali demontáž 12 kusů motorů každý rok s tím, že by se v průměru rozebíralo 700 dílů. Pro úsporu času poslouží měření času, jež bylo provedeno na stanovišti demontáže. V současném stavu si mechanik musel v modelu motoru najít číslo dílu a na základě toho vyhledat v kusovníku motoru informace, jež vypsál do Kanban karty. Toto bylo změřeno u 10 dílů a 3 různých mechaniků. Průměrný čas, jež byl strávený nad tím, že karta byla vypsána ručně byl 1 minuta a 34 sekund.

Měření	Časy 1. mechanika	Časy 2. mechanika	Časy 3. mechanika
1.	1:14	1:22	1:10
2.	1:45	2:09	1:08
3.	1:36	2:00	1:02
4.	1:50	1:29	1:23
5.	1:12	1:33	1:38
6.	1:47	1:40	1:23
7.	1:44	1:47	2:00
8.	1:55	1:25	1:27
9.	2:01	1:24	1:23
10.	1:22	2:04	1:19

Tabulka 6: Měření časů ručního vypisování karet (před implementací systému). Zdroj: Vlastní zpracování

Při zkoušení systému byly časy změřeny stejnou metodou, tedy tak, že si mechanik v modelu motoru najde číslo dílu a vypíše ho do systému. Systém už sám doplní do karty zbylé údaje a následně je karta vytištěna pomocí funkcí v Excelu. Průměrný čas se podvedlo snížit na 31 sekund na jednu kartu i s výtiskem, to je ve výsledku **snížení o 66 %** vůči původnímu procesu.

Měření	Časy 1. mechanika	Časy 2. mechanika	Časy 3. mechanika
1.	0:30	0:35	0:29
2.	0:31	0:34	0:22
3.	0:36	0:41	0:21
4.	0:40	0:45	0:19
5.	0:28	0:31	0:22
6.	0:33	0:29	0:28
7.	0:43	0:34	0:27
8.	0:44	0:32	0:24
9.	0:41	0:31	0:23
10.	0:31	0:42	0:21

Tabulka 7: Měření časů tisku karet (po implementaci systému). Zdroj: Vlastní zpracování

Časová úspora mechaniků je tady v průměru 1 minuta a 3 sekundy. Když bychom počítali s náklady na jednu hodinu práce mechanika 500,- tak se za rok **potenciál ušetřit zhruba 70 000 Kč/rok.**

U ostatních pracovišť nebylo primárním cílem úspora času, ale spíše zamezení možnosti udělat chybu v procesu, za pomoci principů POKA-YOKE. Principy byly promítnuty do systému v Excelu a byl navržen tak, aby skutečně fungoval co nejvíce bezchybně. Také by systém měl zpříjemnit práci všem dotčeným oddělením, jelikož si svoji vytíženost budou moci lépe plánovat.

## 5.4 Perspektiva systému

Systém tak jak je aktuálně nastaven, je do budoucna flexibilní pro případné modifikace. Myslím si tedy, že systém má potenciál být využíván po dlouhou dobu. Výroba leteckých motorů se bude i nadále vyvíjet s tím, jak se ve společnosti budou měnit procesy výroby a jak se bude zvyšovat počet vyrobených motorů.

Další perspektivu systému vidím v tom, že by se systém mohl propojit s návodnými postupy na provádění demontážních operací na motorech. Postupy pro demontáž jsou tvořeny jako PDF soubory a do budoucna by se systém mohl propojit, aby mechanik nemusel překlíkávat mezi PDF a Excelem.

## 5.5 Závěrečné myšlenky

Tato práce pro mě byla velkým přínosem zejména z důvodu možnosti vidět na vlastní oči propojení teoretické části mého studia s částí praktickou, kde výsledky této práce budou aplikovány do výrobního procesu na denní bázi. Do budoucna pro mě také určitě bude velkým přínosem i to, že mám tu možnost v této společnosti i nadále působit, a budu tak mít možnost se dále podílet na rozvoji této práce i po ukončení studia v profesním životě.

## 6. Zdroje

- [1] Almada-Lobo, F. (2016). The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES). *Journal of Innovation Management*, 3(4), 16–21.  
[https://doi.org/10.24840/2183-0606\\_003.004\\_0003](https://doi.org/10.24840/2183-0606_003.004_0003)
- [2] Do, D. (2017, August 5). What is muda, Mura, and Muri?. *The Lean Way*.  
<https://theleanway.net/muda-mura-muri>
- [3] Earley, T. (2021, January 14). Top 50 lean tools: Comprehensive list for Lean Manufacturing and service. *Lean Manufacturing Tools | Lean Manufacturing Tools, Techniques and Philosophy | Lean and Related Business Improvement Ideas*. <https://leanmanufacturingtools.org/top-50-lean-tools-comprehensive-list-for-lean-manufacturing-and-service/>
- [4] Hampson, I. (1999). Lean production and the toyota production system - Or, the case of the forgotten production concepts. *Economic and Industrial Democracy*, 20(3).  
<https://doi.org/10.1177/0143831X99203003>
- [5] Haughey, B. D. (2010). *Pareto Analysis Step by Step*. Project Smart 2000-2010. All rights reserved.
- [6] Jastia, N. V. K., & Kodali, R. (2015). Lean production: Literature review and trends. *International Journal of Production Research*, 53(3).  
<https://doi.org/10.1080/00207543.2014.937508>
- [7] Manufacturing execution system (MES). Siemens Digital Industries Software. (n.d.).  
<https://plm.sw.siemens.com/en-US/opcenter/manufacturing-execution-system-mes-capabilities/>
- [8] Manufacturing execution system | MES software system | SAP. (n.d.).  
<https://www.sap.com/products/scm/execution-mes.html>  
<https://www.sap.com/products/scm/execution-mes.html>
- [9] Michalska, J., & Szewieczek, D. (2007). The 5S methodology as a tool for improving the organisation. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 24(2).

- [10] Monden, Y. (2011). TOYOTA Production System: An Integrated Approach to Just-In-Time, Fourth Edition. In Toyota Production System: An Integrated Approach to Just-In-Time, 4th Edition. <https://doi.org/10.1201/b11731>
- [11] Ohno, T., & Bodek, N. (2019). Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production. In Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production. <https://doi.org/10.4324/9780429273018>
- [12] Pannell, R. (2020, August 20). The 8 wastes of Lean - TIMWOODS is an acronym for the 8 wastes. LeanScape. <https://leanscape.io/8-wastes-of-lean/>
- [13] Plex Manufacturing Execution System (MES): FactoryTalk. Rockwell Automation. (n.d.). [https://www.rockwellautomation.com/en-gb/products/software/factorytalk/operationsuite/mes/plex-mes.html?utm\\_source=Google&utm\\_medium=Paid\\_Search&utm\\_campaign=Solutions\\_MultiIndustry\\_EMEA\\_CMP-05867-Z2K9G2&utm\\_content=Ad&gclid=CjwKCAiAqNSsBhAvEiwAn\\_tmxS5kxWp9DWXDO6\\_60f-s1Zp6vEVLtriyg1iy1nk4LrzkXbcd1QokvhoCmWYQAvD\\_BwE](https://www.rockwellautomation.com/en-gb/products/software/factorytalk/operationsuite/mes/plex-mes.html?utm_source=Google&utm_medium=Paid_Search&utm_campaign=Solutions_MultiIndustry_EMEA_CMP-05867-Z2K9G2&utm_content=Ad&gclid=CjwKCAiAqNSsBhAvEiwAn_tmxS5kxWp9DWXDO6_60f-s1Zp6vEVLtriyg1iy1nk4LrzkXbcd1QokvhoCmWYQAvD_BwE)
- [14] Roman, S., & Roman, B. S. (2002). Writing Excel macros with VBA. In Cognition (Číslo June).
- [15] Wu, Z., Liu, W., & Nie, W. (2021). Literature review and prospect of the development and application of FMEA in manufacturing industry. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 112(5–6).
- [16] Cyert, R. M., & March, J. G. (1963). *A behavioral theory of the firm*. Prentice Hall/Pearson Education.

## 7. Zdroje obrázky

- Obrázek 1: Ukázka leteckého motoru [vizualizace]. 2023, GE Catalyst [online]. Dostupné z: <https://www.geaerospace.com/propulsion/regional-business/catalyst>
- Obrázek 2: Ukázka Poka Yoke [schéma]. 2017, CeMS cz [online]. Dostupné z: <https://www.cems-cz.com/blog/240-poka-yoke>
- Obrázek 3: Příklad aplikace standardů 5S [schéma]. 2015, Creative Safety Supply [online]. Dostupné z: <https://www.5stoday.com/what-is-5s/>
- Obrázek 4: Popis 8 druhů plýtvání [schéma]. 2017, CeMS cz [online]. Dostupné z: <https://www.cems-cz.com/clanok/476-timwoods-v-lean-six-sigma-8-druhu-plytvani>
- Obrázek 5: Kaizen filozofie [schéma]. 2018, Process Excellence Network [online]. Dostupné z: <https://www.processexcellencenetwork.com/lean-six-sigma-business-performance/articles/gemba-kaizen>
- Obrázek 6: Příklad kanban karty [obrázek]. 2023, Alphadi [online]. Dostupné z: <https://alphadi.de/kanban/>
- Obrázek 7: Ukázka čárového kódu [obrázek]. 2023, Freepik [online]. Dostupné z: [https://www.freepik.com/free-psd/barcode-illustration-isolated\\_49681290.htm#query=bar%20code&position=1&from\\_view=keywor&track=ais&uuid=456b3a05-c786-4035-8f53-12e7a3a4c957](https://www.freepik.com/free-psd/barcode-illustration-isolated_49681290.htm#query=bar%20code&position=1&from_view=keywor&track=ais&uuid=456b3a05-c786-4035-8f53-12e7a3a4c957)
- Obrázek 8: Zařízení pro skenování čárových kódů [foto]. 2022, Amazon.com [online]. Dostupné z: <https://www.amazon.de/LENVII-Kabelgebundener-Scanner-Handheld-Unterst%C3%BCtzung-Bildschirm-Schwarz/dp/B0BHYN67KC?th=1>

Obrázek 9: Ukázka VBA jazyka v Excelu [obrázek]. 2014, Excel Easy [online]. Dostupné z:  
<https://www.excel-easy.com/vba/examples/debugging.html>