

Fakulta elektrotechnická
KEE – Katedra Elektroenergetiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Analýza materiálového toku výrobního podniku

Autor práce: **Bc. Jan Beneš**
Vedoucí práce: **Řeřicha Tomáš, Ing. Ph.D.**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan BENEŠ**
Osobní číslo: **E21N0004K**
Studijní program: **N0714A060017 Aplikovaná elektrotechnika**
Téma práce: **Analýza materiálového toku výrobního podniku**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky**

Zásady pro vypracování

1. Popište metody a nástroje pro optimalizaci výrobních procesů.
2. Zmapujte současný stav materiálového toku vybraného výrobního podniku.
3. Stanovte kritické body a navrhněte opatření pro jejich zlepšení.
4. Zhodnoťte očekávaný přínos navržených opatření.



Rozsah diplomové práce: **40 – 60**
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování diplomové práce: **elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. HIROYUKI, H.: 5S pro operátory: 5 pilířů vizuálního pracoviště. Brno: SC&C Partner, 2009. ISBN 978-80-904099-1-0.
2. MASAOKI, I.: Gemba Kaizen – Řízení a zlepšování kvality na pracovišti. Praha: Computer Press, 2005. ISBN 80-251-0850-3.
3. KOŠTURIÁK, J., FROLÍK, Z.: Štíhlý a inovativní podnik. Praha: Alfa Publishing, 2006. ISBN 80-86851-38-9.
4. KEŘKOVSKÝ, M., MAŠÍN, I.: Moderní přístupy k řízení výroby: programy a metody pro eliminaci plýtvání. Praha: C.H. Beck, 2009. ISBN 978-80-7400-119-2.
5. Internetové zdroje.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Tomáš Řeřicha, Ph.D.**
Katedra materiálů a technologií

Datum zadání diplomové práce: **7. října 2022**
Termín odevzdání diplomové práce: **26. května 2023**



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


Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 7. října 2022

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce se zabývá Analýzou materiálového toku výrobního podniku. Zaměřuje se na optimalizaci finální linky na výrobu katalytických konvertorů. Práce je rozdělena na dvě části. V první části této práci jsou objasněny používané termíny a teorie, druhá část se věnuje technickému řešení. Praktická část se zabývá popisem původního stavu vs stavu po optimalizaci, dále tato sekce obsahuje popis jednotlivých výzev a vývoj celého projektu.

Klíčová slova

MIFD, VSM, informační a materiálový tok, štihlá výroba, LEAN, katalytický konvertor

Abstract

The presented diploma thesis deals with the analysis of the material flow of a manufacturing company.

It focuses on optimizing the final line for the production of catalytic converters. The work is divided into two parts. In the first part of this work, the used terms and theories are clarified, the second part is devoted to the technical solution. The practical part deals with the description of the original state vs the state after optimization, this section also contains a description of individual challenges and the development of the entire project.

Key Words

MIFD, VSM, information and material flow, lean manufacturing, LEAN, catalytic converter

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Tomáš Řeřicha, Ph.D. za drahocenný čas, konzultace a korekturu.

Obsah

Úvod.....	- 10 -
1 Teorie.....	- 11 -
1.1 Optimalizace	- 11 -
1.2 Proces.....	- 11 -
1.2.1 Procesy obecně	- 11 -
1.2.2 Prostorové uspořádání procesu.....	- 12 -
1.3 Štíhlá výroba (LEAN).....	- 12 -
1.3.1 TEAMS.....	- 14 -
1.3.2 KAIZEN	- 16 -
1.3.3 5S.....	- 16 -
1.3.4 TQM (Total quality maintenance).....	- 17 -
1.4 Analýza a optimalizace materiálového toku	- 18 -
1.5 MIFD – diagram toku informací o materiálu.....	- 19 -
1.5.1 Přidaná hodnota (Value-added activities).....	- 20 -
1.5.2 Nepřidaná hodnota (Nonvalue-added activities)	- 20 -
1.5.3 PokaYoke	- 21 -
1.5.4 Nutné nepřidané hodnoty (Necessary non-value adding activities)	- 21 -
1.5.5 Existují tři druhy MIFD:.....	- 22 -
1.5.6 Existují 4 hlavní sekce MIFD:.....	- 23 -
1.6 Traceability – Sledovatelnost.....	- 24 -
1.7 Cycle time – Čas cyklu	- 24 -
Výrobní sortiment firmy Faurecia	- 27 -
2 Praktická část.....	- 28 -
2.1 Výrobek	- 28 -
2.2 Popis současného stavu.....	- 30 -
2.3 Pracovní postup.....	- 33 -
2.3.1 Původní proces	- 34 -
2.3.2 Stanovení kritických bodů	- 44 -
3 Navržená opatření - Cěla na kontrolu závětů.....	- 46 -

3.1	Změny v layoutu	- 46 -
3.2	Mechanika.....	- 46 -
3.2.1	Utahovací jednotky.....	- 46 -
3.2.2	Adaptéry a jejich generace	- 51 -
3.2.3	Kalibry a jejich generace	- 56 -
3.2.4	Robot – GP50	- 65 -
3.2.5	Kamera.....	- 66 -
3.3	Software	- 68 -
3.3.1	Kamera.....	- 68 -
3.3.2	Utahovací jednotky.....	- 69 -
3.4	Zhodnoťte očekávaný přínos navržených opatření.....	- 70 -
	Zhodnocení a závěr.....	- 71 -
	Literatura	I
	Přílohy	II

Seznam zkratk

MIFD	-	diagram toku informací o materiálu
LeakTester	-	Tlakové testování
Rework	-	Přepracování
NVA	-	Nepřidaná hodnota
VA	-	Přidaná hodnota
VAI	-	Index přidané hodnoty

Úvod

Práce se zabývá analýzou a zlepšení jakosti materiálového toku ve výrobním podniku. Jakost sériové výroby ovlivňuje mnoho faktorů, jeden z hlavních je čas a obecně lidský faktor. Práce se primárně zaměřuje právě na snížení času, mrtvých časů na nutné minimum a odstranění lidského vlivu, ať už odebrání člověka z procesu či snížení jeho kontaktu s výrobkem, důležitá je i samotná bezpečnost pracujícího. Existuje spousta míst, kde se může materiál znehodnotit, ať už vinou člověka či automatu. Sledován je tok jednoho materiálu od vykládky až po logistické uskladnění. Tato práce tedy nereprezentuje obecný tok podniku, ale pouze jeho část. Určité materiály mají dle standardu podniku stejnou či podobnou cestu zpracování. Cíle práce jsou tedy.

- Zkrácení času na expedici jednoho výrobku
- Redukce, ideálně zamezení výroby nevyhovujících kusů
- Snížení, ideálně odebrání operátora
- Zmenšení podílu lidské práce

Nabízí se řešení, kde je možné splnit všechny vytyčené body zároveň, většinou se ale jedná pouze o kombinaci dvou či jen jednoho.

Práce obsahuje teoretickou a praktickou část. V rámci teoretické části dojde k představení základních termínů pro procesy a zobrazení/optimalizaci materiálového toku. Dále bude představen koncept štíhlé výroby, což je důležitá metodika pro zlepšení a optimalizaci procesů. Nakonec se vybere k analýze jedna z linek, které se bude týkat i praktická část.

V praktické části bude nejprve krátce představena firma Faurecia a její sortiment výrobků. Dále bude popsán specifický výrobek, kterého se tato práce týká, popis a porovnání procesů a nakonec samotná cesta na kontrolu závitů.

Práce bude zaměřena především na metodiky z praxe, které jsou a byli reálně použity v podniku. Důraz je nejvíce kladen na praktickou část

1 Teorie

1.1 Optimalizace

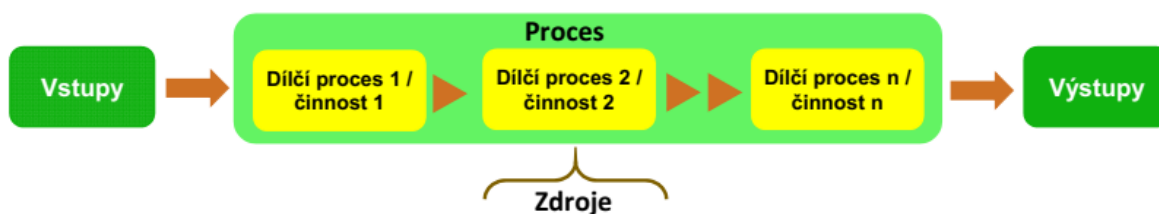
Optimalizace výrobního toku je proces zlepšování efektivity, produktivity a hospodárnosti výrobního prostředí. Cílem je minimalizovat plýtvání, snižovat náklady a zkracovat dobu, kterou trvá výroba výrobku nebo služby.

Při optimalizaci výrobního toku se zkoumá a analyzuje každý krok ve výrobním procesu, včetně dodávek surovin, manipulace s materiály, operací zpracování, skladování, dopravy a distribuce výsledného produktu. Cílem je identifikovat a odstranit překážky, které brání plynulému a efektivnímu toku materiálů a informací skrze výrobní proces.

Pro optimalizaci výrobního toku se například používá takzvaný štíhlý management (LEAN)

1.2 Proces

Proces je soubor dílčích procesů nebo činností, který mění vstupy na výstupy při spotřebě určitých zdrojů.



Obr. 1: Proces

V drtivé většině případů se zobrazuje řazení dílčích procesů v posloupnosti. V praxi obvykle taková návaznost existuje u hlavních procesů jako je například výroba. [5]

1.2.1 Procesy obecně

Požadavky zákazníka a dalších stran jsou v organizaci plněny přes procesy. Stanovení procesů se odvíjí zejména od produktu, kterou organizace nabízí.

Procesy můžeme rozdělit do 3 skupin:

1. Řídící – obvykle stačí jeden proces a zahrnuje činnosti jako je: stanovení strategických záměrů organizace, stanovení Politiky kvality, stanovení Cílů kvality, stanovení organizačního uspořádání, provádění interních auditů....

2. Hlavní – podílejí se bezprostředně na plnění požadavků zákazníků a obvykle vytváří přidanou hodnotu.
3. Podpůrné – zajišťují provádění dalších činností nezbytných pro fungování organizace.

Procesy se pak zobrazují v různých tokových diagramech, kde by měla být vidět posloupnost u hlavních procesů.

Pokud organizace roste a otevře výrobní závod nebo provozovnu na jiném místě, tak to neznamená, že tam nutně musí probíhat procesy jinak. Naopak, sami zákazníci často požadují garanci, že procesy budou probíhat stejně i v nové provozovně, a že jejich výrobek nebude jiné kvality jen proto, že pochází z jiné provozovny.[8]

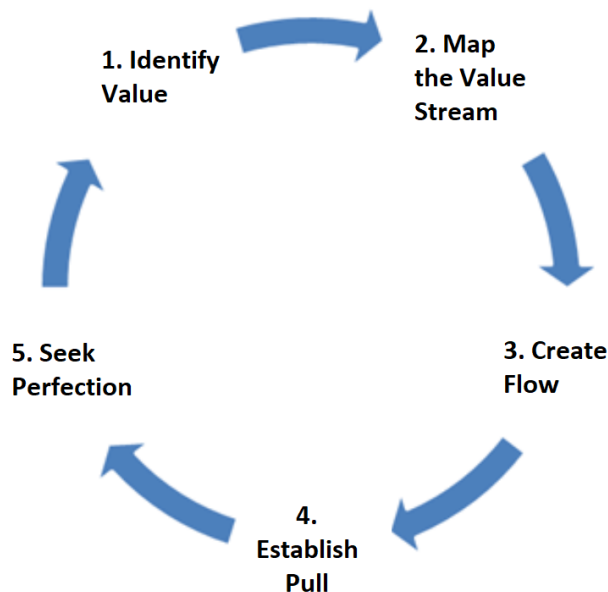
1.2.2 Prostorové uspořádání procesu

Prostorové uspořádání jednotlivých složek výrobního procesu má vliv na náklady, které jsou spojeny s přepravou mezi pracovišti, tedy především náklady na manipulaci. Nalezení optimálního řešení, s co možná nejmenšími nutnými náklady, se odráží už na samotném návrhu (layoutu) výrobní haly. Existují základní typy uspořádání haly:

- Jednotlivé procesy jsou seřazeny za sebou dle pořadí jednotlivých operací
- Jednotlivé procesy jsou rozmíst'ovány dle technologie
- Buňkové uspořádání, rozděluje se dle podobnosti výrobních postupů[3]

1.3 Štíhlá výroba (LEAN)

Neboli, štíhlá výroba, je metodika, která se zaměřuje na minimalizaci plýtvání ve výrobních procesech při současné maximalizaci produktivity. Na plýtvání se pohlíží jako na cokoli, čemu zákazníci nevěří, že přidává hodnotu a za co nejsou ochotni zaplatit. Některé z výhod štíhlé výroby mohou zahrnovat zkrácení dodacích lhůt, snížení provozních nákladů a zlepšení kvality produktu.



Obr.2: LEAN diagram

1. Identifikace hodnot z pohledu zákazníka:

Hodnotu vytváří výrobce, ale definuje ji zákazník. Společnost musí porozumět hodnotě, kterou zákazník přikládá jejich produktům a službám, což jim zase může pomoci určit, kolik peněz je zákazník ochoten zaplatit.

Společnost se musí snažit eliminovat plýtvání a náklady ze svých obchodních procesů tak, aby bylo možné dosáhnout optimální ceny zákazníka, s co největším ziskem pro společnost.

2. Zmapovat tok materiálu:

Tento princip zahrnuje zaznamenávání a analýzu toku informací nebo materiálů potřebných k výrobě konkrétního produktu nebo služby se záměrem identifikovat plýtvání a metody zlepšení. MIFD zahrnuje celý životní cyklus produktu, od surovin až po likvidaci.

Společnost musí prověřit každou fázi cyklu z hlediska odpadu. Vše, co nepřidává hodnotu, musí být odstraněno.

3. Vytvoření toku:

Odstraňuje úzká místa a identifikujte způsoby, jak zlepšit čas cyklu. To pomáhá zajistit hladký průběh procesů od přijetí zakázky až po doručení. Pro eliminaci odpadu je rozhodující tok. LEAN se snaží o prevenci přerušování výrobního procesu a umožnění

harmonizovaného a integrovaného souboru procesů, v nichž se činnosti pohybují v konstantním toku.

4. Vytvoření tažného (PULL) systému

To znamená, že novou zakázku začínáte pouze tehdy, když je po ní poptávka. LEAN používá tažný systém namísto tlačného systému.

PULL systém je tedy řízený poptávkou, produkty jsou vyráběny až po objednání, což snižuje potřebu nadbytečných zásob.

PUSH systém pracuje s předpovědí, tedy vyrábí se na sklad, což může mít za následek přebytek, či nedostatek chtěné služby či výrobku.

5. Snažit se dosáhnout dokonalosti procesu

LEAN spočívá na konceptu neustálého usilování o dokonalost, což znamená zaměřit se na hlavní příčiny problémů s kvalitou a odstranit plýtvání napříč celým procesním systémem.[8]

Mezi jednotlivé nástroje štíhlé výroby patří:

- TEAMS
- KAIZEN
- 5S
- TQM

1.3.1 TEAMS

Akronym, který znamená **T**ime, **E**rrors, **A**mount, **M**oney a **S**ustainability.

TEAMS se využívá především pro hodnocení výrobních operací a umožňuje identifikovat oblasti, ve kterých je možné zlepšit efektivitu a produktivitu.



Obr.3: TEAMS

Při definování ukazatelů pro proces, TEAMS pomůže lépe identifikovat položky k měření, aby bylo možné určit, jak dobře proces funguje.

- **TIME** – jak dlouho proces trvá? Jak dlouhá je celková doba (z pohledu zákazníků)
Příklady: Doba cyklu, doba přípravy, doba fronty, doba čekání, doba nastavení, doba přidané hodnoty atd.
- **ERRORS** – kolik chyb bylo uděláno? Jak často se proces dělá špatně? Jaké procento času je zákazník spokojený s kvalitou dodávky?
Příklady: Vady, defekty, výtěžnost, přesnost atd.
- **AMOUNT** – Kolik položek je dokončeno za hodinu, za den, za týden, za měsíc?
Příklady: Položky, úkoly, widgety, řádky kódu, váha, objem atd.
- **MONEY** – Kolik peněz stojí jednorázový provoz? Kolik stojí proces za práci, materiál, náklady atd.?

Novější verze není pouze TEAM, ale obsahuje pravidlo/pokyn navíc, a to S jako Sustainability, z toho vzniká TEAMS. Důvod je ten, že v poslední době, se čím dál tím více řeší otázka životního prostředí. Penalizace a náklady za dodržení ekologičnosti jsou čím dál tím vyšší.

- **SUSTAINABILITY** – Kolik energie nebo paliva se spotřebuje v tomto procesu? Kolik uhlíkových emisí? Kolik stojí nebo kolik chemikálií se používá nebo vyhazuje? Kolik materiálu (tuny) jde na recyklaci, do odpadu nebo na skládku? Kolik vody se spotřebuje nebo plýtvá?

TEAMS je výborným nástrojem pro popis ukazatelů, které je možné kvantifikovat. Proto se zavádí navíc takzvaný **Q-TEAMS**, kde **Q** znamená Qualitative, jako kvalitativní způsob vyjádření pocitů, nebo jiných věcí, které se obtížně vyjadřují kvantitativně, hodnotí se od 1 až do 5.

Je důležité se snažit TEAMS ukazatele co nejvíce optimalizovat, čím lépe mám jednotlivé procesy optimalizovány, tím větší mám objem výroby, menší objem nevyhovujících kusů, výrobek má větší hodnotu. Zlepšení jakékoliv části TEAMS vede k větší přidané hodnotě. [5]

1.3.2 KAIZEN

Je Japonský výraz složený ze slov „Kai-“ a „-Zen“, volně přeloženo „změna k dobrému“. V LEAN se s KAIZEN setkáme jako s „neustálé zlepšování“ nebo „malá přírůstková vylepšení“ ve všech oblastech společnosti, nejen ve výrobě.

KAIZEN znamená, že se od všech zaměstnanců očekává, že zastaví svou práci, když narazí na jakoukoli abnormalitu, a spolu se svým nadřízeným navrhnou zlepšení k vyřešení abnormality.

KAIZEN události jsou týmová setkání s lidmi s různými funkcemi a dovednostmi. Část času strávíte rozhodováním, co změnit, ale většinu času strávíte implementací nápadů na zlepšení a poté ověřením, zda vylepšení byla úspěšná a přijatá. [1]

1.3.3 5S

5S je metoda organizačního řízení a úpravy pracovního prostředí, která pochází z japonského konceptu štíhlého managementu. Cílem 5S je dosáhnout zlepšení efektivity, produktivity a bezpečnosti práce prostřednictvím organizace a standardizace pracovního prostředí.

5S znamená:

1. **Seiri** (Třídění): Tento krok zahrnuje třídění a odstranění všeho, co není nutné, z pracovního prostoru. Zbytečné nástroje, materiály a nepotřebné vybavení jsou

odstraněny, aby se uvolnilo místo pro důležité a často používané položky. Cílem je snížit plýtvání a zlepšit přehlednost.

2. **Seiton** (Systematizace): Po třídění se provádí systematizace. Pracovní prostor je organizován tak, aby byl vše snadno přístupné a uspořádané. Každá položka má přidělené vhodné místo a je označena, aby byla snadno identifikovatelná. Cílem je minimalizovat ztrátu času hledáním a usnadnit rychlé a efektivní vyhledávání potřebných věcí.
 3. **Seiso** (Čištění): Tento krok se zaměřuje na udržování čistoty a hygieny pracovního prostředí. Pracovníci jsou povzbuzováni k pravidelnému čištění a údržbě svého pracoviště, aby se minimalizovalo množství odpadu, nečistot a potenciálních rizik. Cílem je vytvořit bezpečné a zdravé pracovní prostředí.
 4. **Seiketsu** (Standardizace): Standardizace je důležitá fáze, která zajišťuje, že 5S principy jsou udržovány a uplatňovány dlouhodobě. Zavádějí se jasná pravidla a postupy pro organizaci, čištění a udržování pracovního prostředí. Tím se minimalizuje riziko vrácení se k původnímu neorganizovanému stavu.
 5. **Shitsuke** (Vyhledávání vylepšení): Poslední fáze 5S se zaměřuje na udržování vylepšování. Týmy jsou povzbuzovány, aby pravidelně vyhodnocovaly své pracovní prostředí, hledaly způsoby, jak jej dále zlepšit a implementovaly inovace.
- [1]

1.3.4 TQM (Total quality maintenance)

Je filozofie, která zapojuje do výroby údržbu, jelikož v běžném případě se volá údržba vždy až když dojde k poruše výrobního zařízení. TQM se zaměřuje na prevenci závažných poruch, je tedy důležité zapojení všech zaměstnanců do procesu zlepšování kvality, eliminaci chyb a optimalizaci výkonu. Každý pracovník by tedy měl udržovat stroj v provozuschopném stavu. Základem je tedy dodržovat 5S. [9]

Mezi základní druhy údržby patří:

- IMB(Incident Based Management) – „Údržba po poruše“. Údržba se provádí až pouze v případě poruchy
- TBM(Time Based Management) – „Preventivní údržba“. Údržba se preventivně provádí dle časového harmonogramu
- CBM(Condition based management) – „Stavová údržba“. Údržba se provádí pouze v případě překročení, či přiblížení nastavené hranice pro sledovaný parametr.

1.4 Analýza a optimalizace materiálového toku

K nalezení ideálního rozpořování materiálového toku a jeho analýzu se používá řada technik, mezi ty základní se řadí například:

- Metoda CRAFT
- Šachovnicová tabulka
- Metoda souřadnic
- Metoda kruhová
- Sankeyův diagram
- Simulace
- MIFD
- Trojúhelníková metoda

Metoda CRAFT(Computerized Relative Allocation of Facilities Technique):

je metoda používaná k analýze a optimalizaci rozmístění zařízení ve výrobním prostoru pomocí výpočetní techniky.

Šachovnicová tabulka: Šachovnicová tabulka je grafická technika používaná k analýze materiálového toku a rozmístění zařízení výrobní linky, kde se vstupy a výstupy zobrazují ve formě tabulky se vzájemně křížícími se řádky a sloupci.

Metoda souřadnic: Metoda souřadnic je technika využívající grafické znázornění materiálového toku výrobním prostředím pomocí bodů (souřadnic) a propojování těchto bodů, což umožňuje analýzu toku a identifikaci potenciálních zlepšení.

Metoda kruhová: Metoda kruhová je technika, při které se diagram toku materiálu zobrazuje v kruhovém uspořádání, kde vstupy a výstupy jsou umístěny na vnějším okraji kruhu a vnitřní část kruhu zobrazuje vnitřní operace a přesuny materiálu.

Sankeyův diagram: Sankeyův diagram je grafický nástroj, který zobrazuje tok materiálu, energie nebo informací prostřednictvím šířek pásů, přičemž šířka pásu představuje množství nebo hodnotu toku.

Simulace: Simulace je technika, která vytváří virtuální modely výrobního procesu, které umožňují zkoumat a analyzovat různé scénáře a optimalizovat materiálový tok a výkon v reálném čase.

MIFD: MIFD (tokový diagram) je grafická metoda, která umožňuje vizualizaci a analýzu toku materiálu a informací od dodavatelů až po zákazníka s cílem identifikovat zbytečné kroky a optimalizovat celkový proces.

Trojúhelníková metoda: Trojúhelníková metoda je technika, při které jsou identifikovány všechny možné kombinace tří různých položek (typicky čas, kvalita a náklady) a analyzovány pro nalezení nejvhodnějšího řešení materiálového toku, které dosahuje rovnováhy mezi těmito faktory. [4]

1.5 MIFD – diagram toku informací o materiálu

Znamená **Material and Information Flow Diagram** (diagram toku informací o materiálu). Nyní se běžně nazývá **VSM, Value Stream Map**(Mapa toku hodnot).

Jedná se o typ procesní mapy, která pomáhá vidět celý pracovní postup od poptávky zákazníka až po plnění napříč všemi procesy na vysoké úrovni.

Účelem je dostat všechny v organizaci do souladu se očekáváním zákazníka, aby viděli, jak lze tento proces zlepšit, zkrátit čas nebo zlepšit kvalitu. Zdůrazňuje dílčí optimalizaci probíhající v rámci oddělení, která zpožďují dodávky zákazníkům dle jejich požadavku. TEAMS metodika často analyzuje pouze výkon jednotlivých oddělení a nebere v potaz, jak zapadá do většího toku, který zastupuje spokojenost zákazníka.[8]

MIFD chce tedy optimalizovat 3 ukazatele:

- Value-added activities
- Nonvalue-added activities
- Necessary non-value adding activities

1.5.1 Přidaná hodnota (Value-added activities)

Jde o činnosti nebo procesy, které přidávají hodnotu produktu nebo služby z pohledu zákazníka. Tyto činnosti zvyšují kvalitu nebo funkčnost produktu a zlepšují celkovou zkušenost zákazníka.

1.5.2 Nepřidaná hodnota (Nonvalue-added activities)

procesy související s výrobou nebo službami, které jednoduše zvyšují náklady nebo prodlužují čas strávený na výrobu produktu, aniž by zvyšovaly jeho tržní hodnotu (DOWNTIME). Například opravy strojů, skladování inventáře, stěhování materiálů, údržba a kontroly. Odpad může být ve formě času, materiálu a práce. Může to však také souviset s nevyužíváním dovedností a špatným plánováním. MIFD pomáhá optimalizovat procesní kroky a eliminovat plýtvání, jediná skutečná přidaná hodnota vzniká v každé fázi produkce.

Původně bylo vytvořeno pouze sedm forem, když byl poprvé vytvořen produkční systém Toyota, a osmá přidána, když byla v západním světě využita LEAN výroba. Tam je 7/8 forem odpadů orientovaných na výrobní proces, zatímco osmá forma přímo souvisí se schopností managementu využít personál.

D	Defects
O	Overproduction
W	Waiting
N	Non-Utilized Talent
T	Transportation
I	Inventory
M	Motion
E	Extra-Processing

Obr. 4: DOWNTIME

Pro snadné zapamatování jednotlivých forem odpadu, vzniklo několik akronymů. Jeden z nich je takzvaný DOWNTIME viz. Obr.4.[8]

	D: Promarněné úsilí způsobené reworky, NOK kusy a špatnými informacemi		T: Zbytečné pohyby výrobků a materiálů.
	O: Výroba, která je více než potřebná nebo dříve, než je potřeba.		I: Přebytečné produkty a materiály, které se nezpracovávají.
	W: Ztracený čas čekáním na další krok v procesu.		M: Zbytečné pohyby lidí (například chůze).
	N: Nedostatečné využívání talentu, dovedností a znalostí lidí.		E: Více práce nebo vyšší kvalita, než požaduje zákazník.

Obr.5: DOWNTIME Akronym

Jedna z účinných metod, jak snížit Defekty je PokaYoke.

1.5.3 PokaYoke

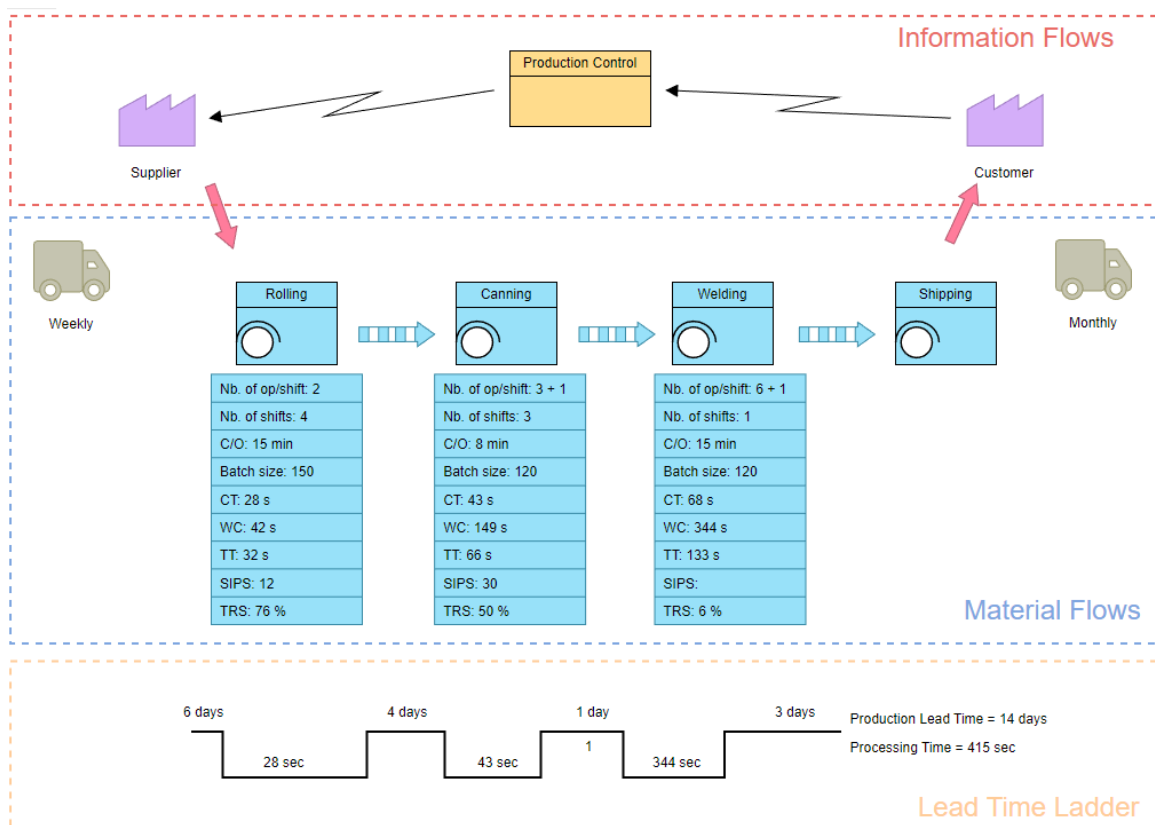
znamená "prevence chyb" nebo "proces, který zabrání chybě". Jedná se o metodu výroby a řízení kvality, která se zaměřuje na identifikaci a odstraňování chyb v procesech a produktech, aby se minimalizovaly škody a náklady spojené s opravami nebo reklamacemi.

Cílem je minimalizovat riziko vzniku chyb a zvýšit efektivitu procesu pomocí jednoduchých, ale účinných kontrolních opatření. Příkladem PokaYoke může být např. speciální šroubování, které lze povolit či utáhnout pouze specifickým klíčem pro danou operaci. [1]

1.5.4 Nutné nepřidané hodnoty (Necessary non-value adding activities)

nepřinášející přidanou hodnotu nepřispívají ke spokojenosti zákazníků s tím, že musí být provedeny, a jsou nezbytné a obtížně odstranitelné z provozu nebo výroby, tj. musí být dodrženy kvůli standartu organizace atd.

Závěrem lze říci, že přidané hodnota by měly být dále optimalizována pro hledání neustálého zlepšování a růstu organizace, zatímco nepřidaná hodnota by měla být eliminována, nebo alespoň co nejvíce minimalizována.[8]



Obr: 6. MIFD

MIFD Legenda:

- **Nb. Of op/shifts:** Počet operátorů na směnu. „+“ symbolizuje počet přiřazených mistrů
- **Nb of shifts:** Počet směn
- **C/O:** čas nepřidané hodnoty, potřebný k připravení linky na výrobu nové reference
- **Batch Size:** Počet výrobků, které se vejdou do odkládacího prostoru, než je třeba je odvézt
- **CT:** Čas ke splnění úkolu, či výrobě jedné reference
- **WC:** Celkový čas strávený prací na jeden kus finálního výrobku
- **TT:** Průměrná doba výroby potřebná k uspokojení poptávky zákazníků
- **SIPS:** Tato konkrétní zásoba jsou všechny jednotlivé části, které najdeme uvnitř výrobních procesů
- **TRS:** Zatížení a účinnost linky

1.5.5 Existují tři druhy MIFD:

- Aktuální
- Ideální

- Budoucí

Diagram aktuálního stavu popisuje vysoko úrovněvé kroky k výrobě produktu nebo poskytování služby od objednávky nebo požadavku zákazníka až po doručení zpět zákazníkovi. Odráží to, co se dnes skutečně děje, ne to, co by se mělo nebo mohlo stát. Než se pokusíme vytvořit ideální nebo budoucí diagramy stavu, je důležité skutečně porozumět současnému stavu.

Diagram ideálního stavu popisuje dokonalý proces, pokud by v procesu nebyly žádné bariéry nebo inhibitory (žádné nevyhovující kusy, zranění...).

Diagram budoucího stavu popisuje vysoko úrovněvé kroky k vytvoření produktu nebo služby. Právě tento diagram by měl znázorňovat 6-12 měsíců do budoucna, kdy se budeme snažit o ideální stav.

Postupně je důležité vytvořit současný diagram, poté ideální diagram a poslední budoucí diagram. Pokud přeskochíme ideální stav, zodpovědný tým pak často nastaví budoucí cíl, který není tak agresivní nebo transformační. MIFD budoucího stavu poskytují vizi, kam bude produkt nebo služba v budoucnu směřovat, což řídí veškeré investice a rozhodování.[10]

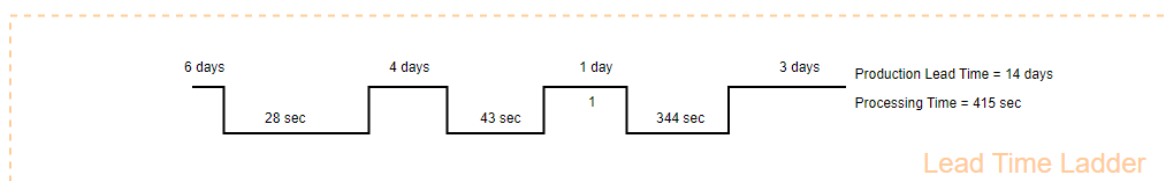
1.5.6 Existují 4 hlavní sekce MIFD:

1. Information Flow (tok informací)
2. Material Flow (tok materiálu)
3. Data Boxes (datové kolonky)
4. Lead Time Ladder (časový žebříkový diagram)

Ty pomáhají popsat, jak proces funguje dnes a kde se vyskytují problémy.

Jednotlivé sekce lze rozložit na vícero podružných sekcí.

Nakonec, tým zodpovědný za vytváření a údržbu MIFD určí problematická místa, které se pak předají zástupcům jednotlivých oddělení, ať už se jedná o výrobní oddělení, kvalitu, logistiku či jiné, dojde primárně k rapidním KAIZEN, cílem bude snížit DOWNTIME a zlepšit ukazatel TEAMS.[10]



Obr.7: Časový diagram operací

Ze 4. sekce MIFD, která nám ukazuje dva časy Production lead time, což je v podstatě NVA a Processing time, tedy VA jsme schopni vypočítat VAI. [11]

- NVA(Non Value Added) – suma časů, které nepřidávají žádnou hodnotu
- VA(Value Added) – suma časů, které přidávají hodnotu
- VAI(Value Added Index) – Index přidané hodnoty, poměr mezi VA a NVA. Výsledný poměr tedy určuje, kolik % z celkové průběžné doby výroby tvoří práce přidávající hodnotu a kolik plýtvání.

Příklad:

$$VAindex = \frac{VA}{NVA} = \frac{415}{1\,209\,600} \cong 0.00034 \%$$

V ideálním případě by se časy rovnali a index by byl 100%, ale to je nedosažitelná hodnota, důležité je se snažit tento index mít co nejvyšší a aby po každém budoucím MIFD byl vyšší, či stálý.

1.6 Traceability – Sledovatelnost

Proces sledování historie a umístění výrobků v průběhu výroby a distribuce, aby se zajišťovala kvalita a bezpečnost produktů a zlepšovala efektivita výrobního procesu.

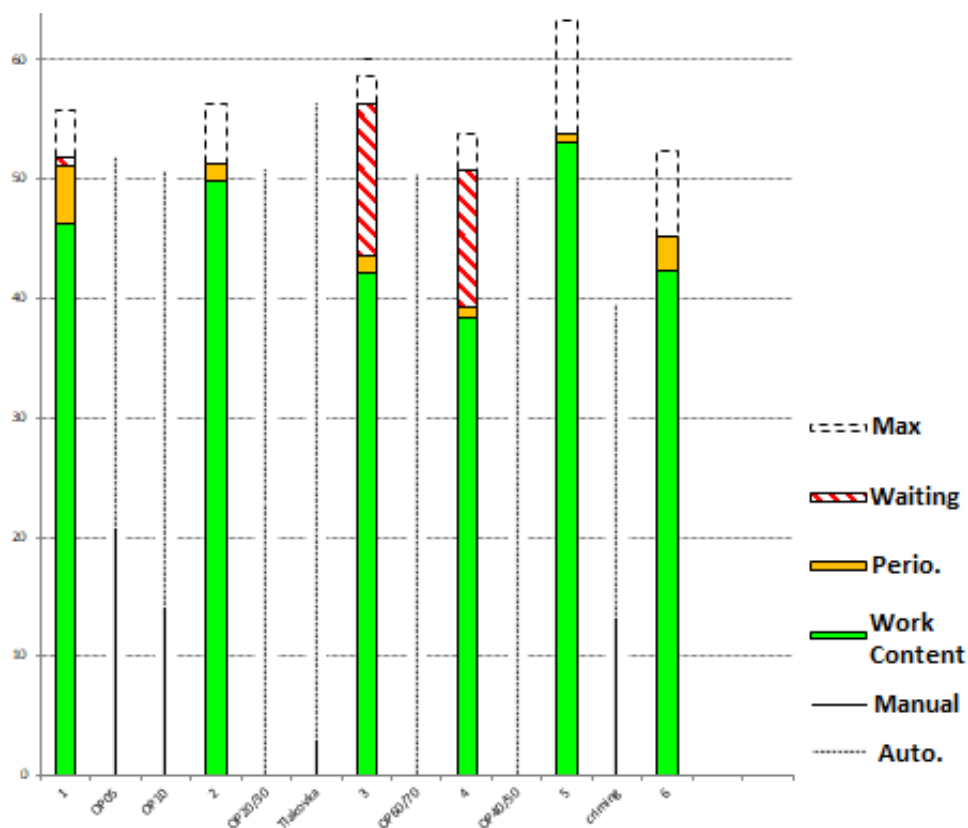
Sledovatelnost umožňuje identifikovat, kde byl každý výrobek vyroben, kdo ho vyráběl, jaké suroviny byly použity, jak byl zpracován a jak byl distribuován. Pokud dojde k problému nebo chybě, sledovatelnost umožňuje rychle identifikovat, kde se problém objevil, aby se minimalizovaly dopady na zákazníky a podnik.

Bez sledovatelnosti bychom nebyli schopni najít a identifikovat vznik problému. Každý výrobek má svůj unikátní identifikátor, většinou ve formě QR kódu.

1.7 Cycle time – Čas cyklu

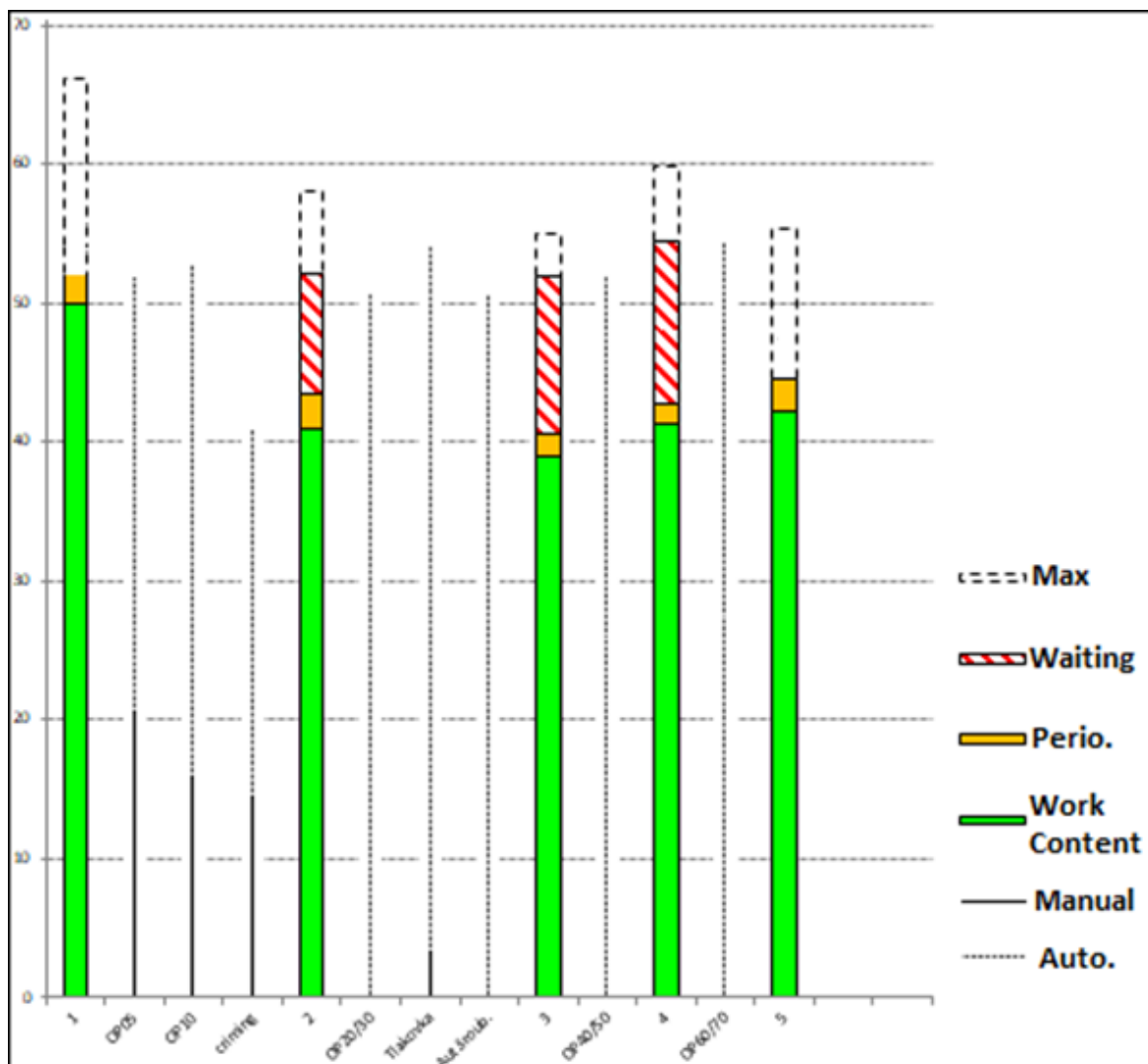
Čas cyklu je jeden z hlavních ukazatelů procesu v MIFD. Optimalizace tohoto parametru vede k zvýšení výstupního objemu linky. Tento čas se bere jako celkový čas linky, od začátku prvního procesu až po konec posledního procesu.

Z rutinní analýzy materiálového toku vyšlo, že jedna z finálních svařovacích linek nebyla schopna dostatečně využít operátory.



Obr.8: Starý čas cyklu NEO linky

Z obrázku výše lze vidět, že někteří operátoři mají násobně větší podíl práce nežli ostatní operátoři. Z grafu rozložení doby cyklu celé linky vyplývá, že úzké místo nastává v tlakové stanici „tlakovka“. Nedává tedy smysl, aby se proces jakkoliv zrychloval před tímto úzkým místem. Krimpovací stanice je plně automatická. Po dostatečném uvážení, se došlo k závěru, že je možné, aby se odebral operátor číslo 5, který má největší podíl práce, za automatickou celu na kontrolu závitů. Jelikož má tlaková stanice dobu svého cyklu 54,4s, je nutné, aby jakákoliv změna v celém systému nevedla na vyšší čas. Proto musí automatická kontrola závitů splňovat **čas cyklu pod 54,4s**.



Obr.9: Nový čas cyklu NEO linky

Z nového grafu je vidět, optimálnější rozložení práce mezi operátory, celkový čas zůstal nepozměněn.

Výrobní sortiment firmy Faurecia

Společnost Faurecia je mezinárodní dodavatel a výrobce komponentů a systémů pro automobilový průmysl, včetně katalytických konvertorů. Jejich divize specializující se na emisní technologie se nazývá "Faurecia Clean Mobility" (Čistá mobilita).

FCM je předním světovým dodavatelem katalytických konvertorů, které hrají klíčovou roli při snižování emisí škodlivých látek z výfukových plynů vozidel.

Faurecia nabízí širokou škálu katalytických konvertorů pro různé typy motorů a aplikací. Jejich portfolio zahrnuje:

Oxidační katalyzátory (DOC): Oxidační katalyzátory slouží k oxidaci oxidu uhelnatého a nehořlavých organických sloučenin na oxid uhličitý a vodu. Jsou obvykle používány u benzinových motorů.

Troj funkční katalyzátory (TWC): Troj funkční katalyzátory provádějí tři základní katalytické reakce – oxidaci oxidu uhelnatého a nehořlavých organických sloučenin, redukci oxidu dusného a omezení emisí částic. Jsou často používány u benzinových motorů.

Selective Catalytic Reduction (SCR) systémy: SCR systémy se používají především u dieselových motorů a snižují emise oxidu dusíku (NO_x) pomocí reakce s redukčním činidlem, jako je močovina nebo adBlue. Tato technologie je účinná při splňování přísných emisních norem.

FCM se neustále snaží inovovat a vyvíjet nové technologie a materiály pro katalytické konvertory, které jsou ekologicky šetrné, účinné a splňují přísné emisní normy. Společnost spolupracuje s automobilovými výrobci po celém světě a její produkty jsou široce využívány ve vozidlech všech tříd a typů.[12]

2 Praktická část

Cílem projektu je vybudovat automatickou stanici na **kontrolu závitů katalytického konvertoru**, jako součást finální kontroly. Kromě kontroly samotných závitů se kontroluje průchodnost jednotlivých BOSS socketů, a také jejich funkční plocha. Praktická část se zabývá popisem starého procesu vůči novému a jednotlivým výzvám, které při návrhu i při uvedení do provozu nastali. Důvodem automatizace je ušetření operátora, jelikož se jedná o linku, kde je třisměnný provoz, tak se ušetří tři operátoři. Při manuální kontrole, před automatizací bylo součástí práce operátora zvedat díl nad výšku pasu, což se blížilo nepřijatelné ergonomické hranici, toto je další z důvodů automatizace.



Obr.10: BOSS socket

BOSS socket je tyčová fitinka se závitem, která se přiloží k povrchu katalyzátoru a následně svaří, běžně se používá při instalaci potrubí, kde leze propojit potrubí s rozdílnými průměry.

2.1 Výrobek

Poloautomatická linka NEO vyrábí jeden druh katalytického konvertoru.

Katalyzátor je jednou z důležitých součástí moderních motorů automobilů, která přispívá ke snížení negativního dopadu provozu motoru na životní prostředí. Tato technologie, která byla vyvinuta a začala se masově používat v automobilovém průmyslu v posledních desetiletích, se stala klíčovým prvkem v boji proti znečištění ovzduší a snížení emisí škodlivých látek.

Katalyzátor funguje na principu katalýzy, což je chemický proces, při kterém se rychlost chemické reakce zvyšuje na povrchu katalyzátoru bez toho, aby byl spotřebován. Katalyzátor obsahuje speciální povrchové materiály, které obsahují kovy jako platina, paladium nebo rhodium, které působí jako katalyzátor pro chemické reakce.

Při spalování paliva v motoru vznikají emise obsahující škodlivé látky, jako jsou NO_x (Oxid dusíku), CO a HC. Tyto látky jsou vedeny do katalyzátoru, kde probíhají chemické reakce, které je přemění na méně škodlivé látky. Například katalyzátor přeměňuje oxid dusičitý (NO) na dusík (N_2) a kyslík (O_2), oxid uhelnatý (CO) na oxid uhličitý (CO_2) a nehořlavé uhlovodíky (HC) na vodu (H_2O) a oxid uhličitý (CO_2).

Díky katalyzátoru se snižuje množství škodlivých látek emitovaných z automobilů, což má pozitivní dopad na zdraví lidí, zvířat a rostlin v okolí.

Kromě snižování negativního dopadu na životní prostředí mají katalyzátory výhody i pro samotné vozidlo a jeho výkon. Katalyzátory umožňují efektivnější využití paliva, snižují náklady na údržbu motoru a prodlužují životnost výfukového systému. [6]

Vývoj katalyzátorů však také přináší několik výzev, jako je například snižování nákladů na výrobu a zajištění dostupnosti surovin pro výrobu katalyzátorů. Proto je nutné zaručit kvalitu

a spolehlivost katalyzátorů, jelikož se jedná o jednu z nejvíce nákladných součástí moderního automobilu.

Pokud katalyzátor nefunguje správně, může dojít k většímu množství emisí škodlivých látek a snížení účinnosti motoru.



Obr.11: Katalyzátor

2.2 Popis současného stavu



Obr.12: Reálné rozložení linky

Rozloha optimalizované stanice:

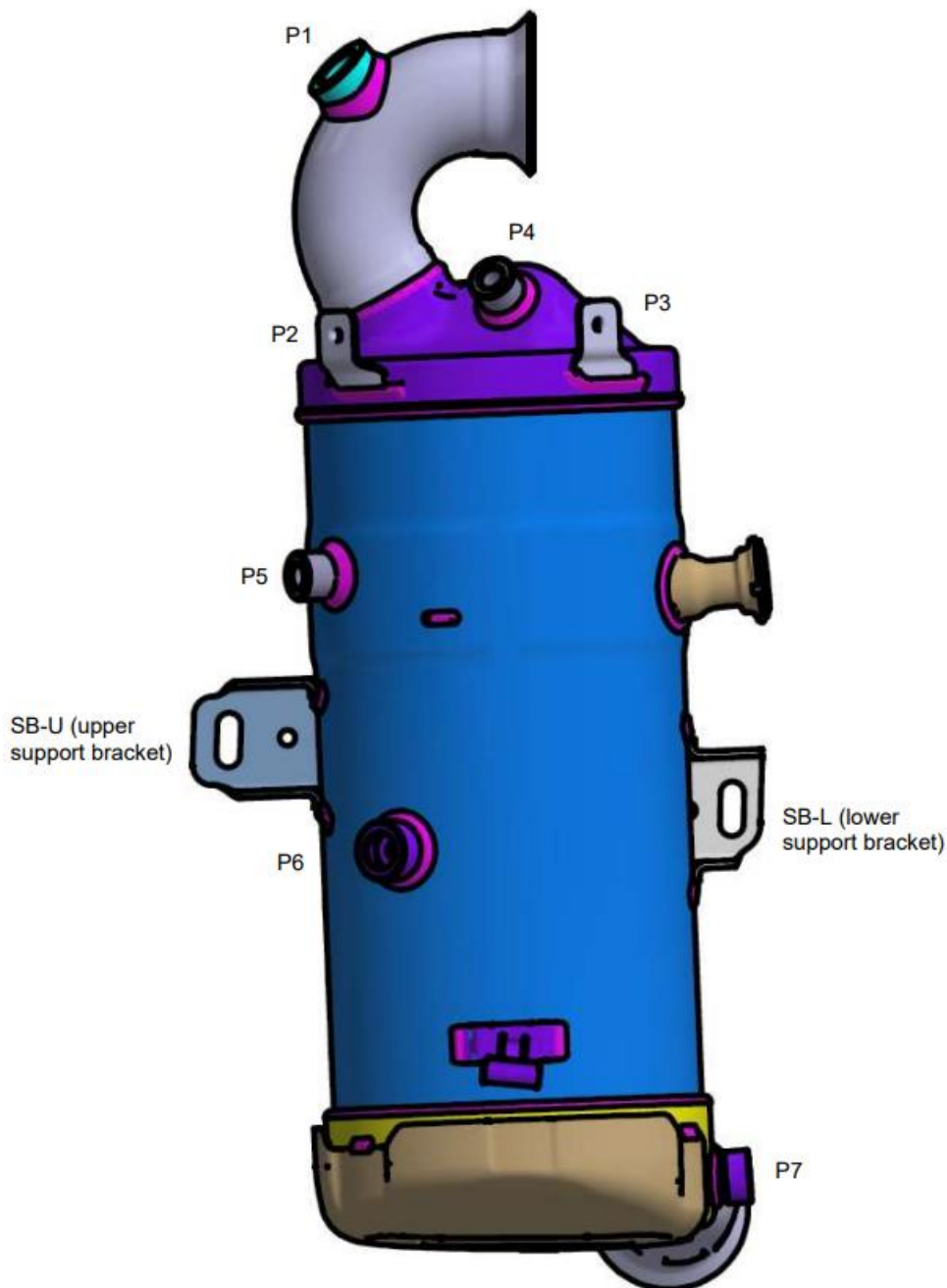
- Délka 2500mm;
- Šířka 1500mm (z pohledu operátora);

Tabulka 1: Seznam možných defektů ke kontrole

Č. defektu	Popis	OK podmínky
1	NOx BOSS (P1) - vnitřní závit M20	Průchod celým závitem
2	NOx BOSS (P1) - díra $\varnothing 16,7$ za závitem	Průchod minimálně 15mm
3	NOx BOSS (P1) - povrch funkční oblasti	Žádné svařovací odstřiky
4	5a turbo háček (P2) - vnitřní závit M6	Průchod celým závitem
5	5a turbo háček (P2) - povrch funkční oblasti	Žádné svařovací odstřiky
6	5b turbo háček (P3) - vnitřní závit M6	Průchod celým závitem
7	5b turbo háček (P3) - povrch funkční oblasti	Žádné svařovací odstřiky
8	T4 BOSS (P4) - vnitřní závit M12	Průchod celým závitem
9	T4 BOSS (P4) - díra $\varnothing 6$ za závitem	Průchod minimálně 40mm
10	T4 BOSS (P4) - povrch funkční oblasti	Žádné svařovací odstřiky
11	T5 BOSS (P5) - vnitřní závit M12	Průchod celým závitem
12	T5 BOSS (P5) - díra $\varnothing 6$ za závitem	Průchod minimálně 40mm
13	T5 BOSS (P5) - povrch funkční oblasti	Žádné svařovací odstřiky
14	Upstream čidlo tlaku (P6) - vnitřní závit M16	Průchod celým závitem
15	Upstream čidlo tlaku (P6) - díra $\varnothing 6$ za závitem	Průchod minimálně 10mm
16	Upstream čidlo tlaku (P6) - povrch funkční oblasti	Žádné svařovací odstřiky

17	Downstream čidlo tlaku (P7) - vnitřní závit M16	Průchod celým závitem
18	Downstream čidlo tlaku (P7) - díra $\varnothing 6$ za závitem	Průchod minimálně 10mm
19	Downstream čidlo tlaku (P7) - povrch funkční oblasti	Žádné svařovací odštěřiky

Při výrobním procesu může nastat několik možných druhů defektů, aby se zajistilo, že během výroby nedošlo k narušení kvality výrobku je třeba je detekovat a pokud možno odstranit. Tabulka výše říká, které možné defekty se mohou vyskytnout na samotných BOSS socketech a jak je poznat.

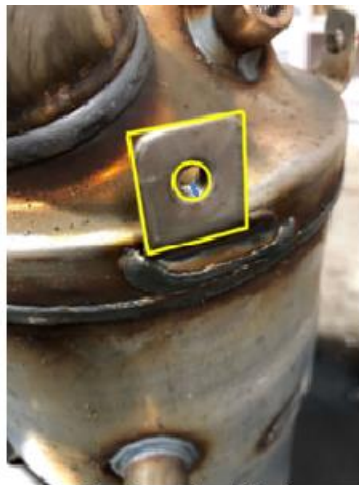


Obr.13: Katalyzátor

Obrázek výše ilustruje 3D model katalyzátoru a označení jednotlivých BOSS socketů.



P1 - NOx BOSS



P2 - 5a turbo háček



P3 - 5b turbo háček



P4 - T4 BOSS



P5 - T5 BOSS



P6 - Upstream čidlo tlaku



P7 - Downstream čidlo tlaku

Legenda	
Vnitřní závit	modrá linie
Průchodnost	růžový ovál
Povrch funkční oblasti	žlutá oblast

Obr. 14: Seznam závitů ke kontrole

Obrázek výše ilustruje přesné oblasti pro každý BOSS socket, které je třeba zkontrolovat. Vnitřní závit, průchodnost a funkční povrch. Je nutné zaručit kvalitu BOSS socketů, jinak nelze našroubovat příslušná čidla a injektory.

Tabulka 2: Seznam tolerancí ke kontrole

Č. pozice	Popis	Tolerance
SB-U	Poziční tolerance v ose Z	±4 mm
	Poziční tolerance v ose X	±2 mm
SB-L	Poziční tolerance v ose Z	±4 mm
	Poziční tolerance v ose X	±2 mm
P1	Poziční tolerance v axiální ose vůči závitů ve všech směrech	Ø6 mm
	Poziční tolerance funkční plochy ve všech směrech	±3 mm
P2	Poziční tolerance v axiální ose vůči závitů ve všech směrech	Ø6 mm
	Poziční tolerance funkční plochy ve všech směrech	Ø6 mm
P3	Poziční tolerance v axiální ose vůči závitů ve všech směrech	±3 mm
	Poziční tolerance funkční plochy ve všech směrech	Ø6 mm
P4	Poziční tolerance v axiální ose vůči závitů ve všech směrech	Ø6 mm
	Poziční tolerance funkční plochy ve všech směrech	±3 mm
P5	Poziční tolerance v axiální ose vůči závitů ve všech směrech	Ø6 mm
	Poziční tolerance funkční plochy ve všech směrech	Ø6 mm
P6	Poziční tolerance v axiální ose vůči závitů ve všech směrech	±3 mm
	Poziční tolerance funkční plochy ve všech směrech	Ø6 mm
P7	Poziční tolerance v axiální ose vůči závitů ve všech směrech	Ø8 mm
	Poziční tolerance funkční plochy ve všech směrech	±4 mm

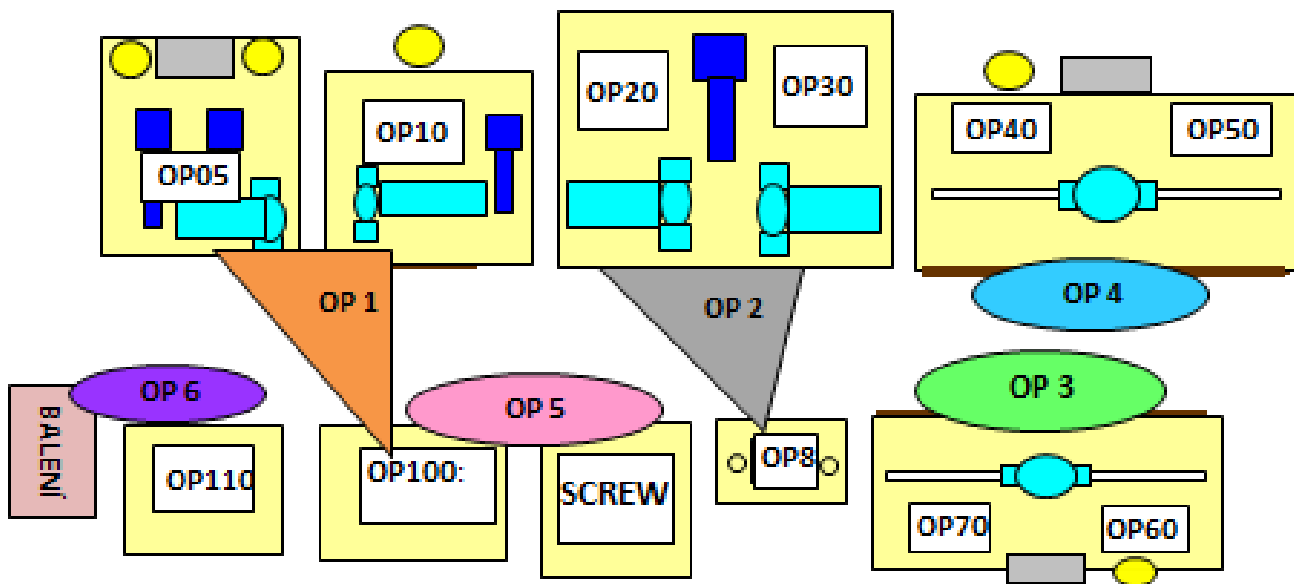
Tabulka výše uvádí, jak moc se jednotlivé sockety mohou hýbat vůči výkresovému standardu.

2.3 Pracovní postup

Linka obsahuje množství poloautomatických sub procesů, které vyžadují přítomnost pracovníků, tedy tzv. operátorů. Jedná se především o zakládání a upínání do svařovacích nástrojů, každý sub proces je označený operací (OP). Po založení se operátor věnuje další operaci, ať už se jedná o zakládání, či vykládání. Mezi jednotlivými operacemi jsou rozmístěny gravitační dopravníkové systémy, dále pouze dopravník. Dopravníky zde slouží k odkládání, dopravě a zásobě materiálu pro jednotlivé operace. Ne každá operace

má stejnou dobu cyklu , proto je dopravník mezi operacemi nezbytný k nepřetržitému provozu. Jelikož chceme maximálně využít čas operátora a zvýšit objem produkce, je nutné správně koncipovat linku, nemá smysl od sebe zbytečně vzdalovat jednotlivé operace a nedodržovat procesní tok. Z tohoto důvodu je linka koncipovaná do tvaru U.

2.3.1 Původní proces



Obr. 15: Původní proces

Trojúhelníky a ovály symbolizují jednotlivé operátory OP 1 až OP 6.

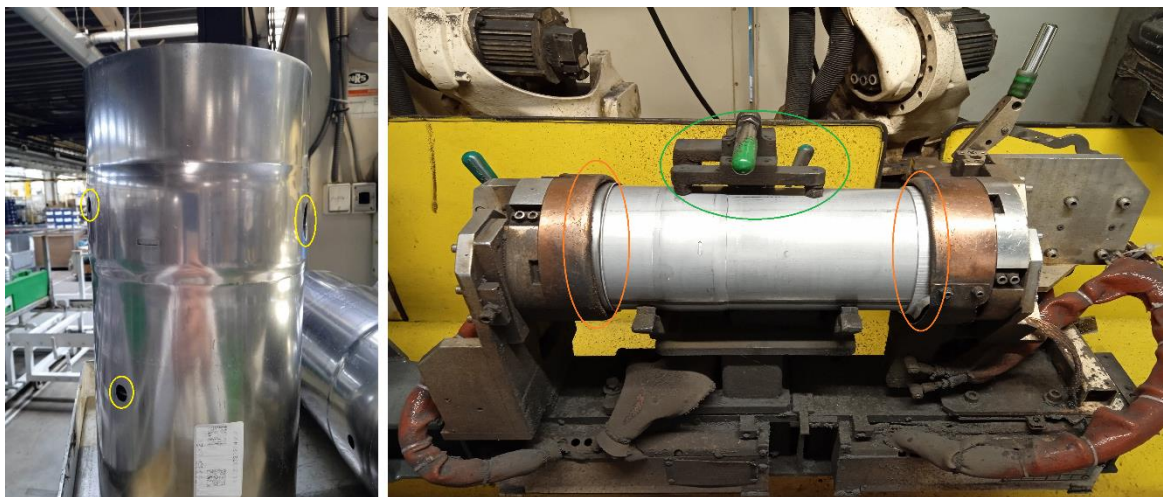
Jednotlivé operace jsou označeny OP05 až OP110, označení takové z důvodu, kdyby se operace rušila, přemísťovala či přidávala nová, tak aby bylo možné použít čísla mezi. Směr procesu je takový OP05->OP10->OP20->OP30->OP40->OP50->OP60->OP70->OP80->SCREW->OP100->OP110 a poté balení.

Tabulka 3: Původní seznam operátoru a jejich přiřazené operace

Operátor	Operace	Druh operace
OP 1	OP05 – Svařovací cela OP10 – Svařovací cela OP100 – Krimpovací stanice	Zakládání/Vykládání Zakládání/Vykládání Vykládání
OP 2	OP20 – Svařovací cela OP30 – Svařovací cela OP80 – Tlaková stanice	Zakládání/Vykládání Zakládání/Vykládání Zakládání/Vykládání
OP 3	OP70 – Svařovací cela OP60 – Svařovací cela	Zakládání/Vykládání Zakládání/Vykládání
OP 4	OP40 – Svařovací cela OP50 – Svařovací cela	Zakládání/Vykládání Zakládání/Vykládání
OP 5	SCREW – Kontrola závitů OP100 – Krimpovací stanice	Manuální kontrola závitů Zakládání

OP 6	OP110 – Finální kontrola Balení	Finální kontrola Balení
-------------	------------------------------------	----------------------------

2.3.1.1 OP05 - Svařovací cela



Obr.16:OP05 svařovací cela

V levé části obrázku OP05 lze vidět vstupní díl, jedná se o dvojitě konzervování, tedy plechovka s dvěma monolity. Žlutě jsou vyznačeny otvory, na které patří jednotlivé BOSS sokety. Finální díl se postupně svařuje od operace 05 až po operaci 70. Nalevo je vidět díl založený ve svařovací cele a plně upnutý tak, aby při svařování nedošlo ke změně polohy přidaného materiálu. Oranžově je vyznačen přidaný materiál. Zeleně jsou označeny funkční upínky sloužící k fixaci dílu.

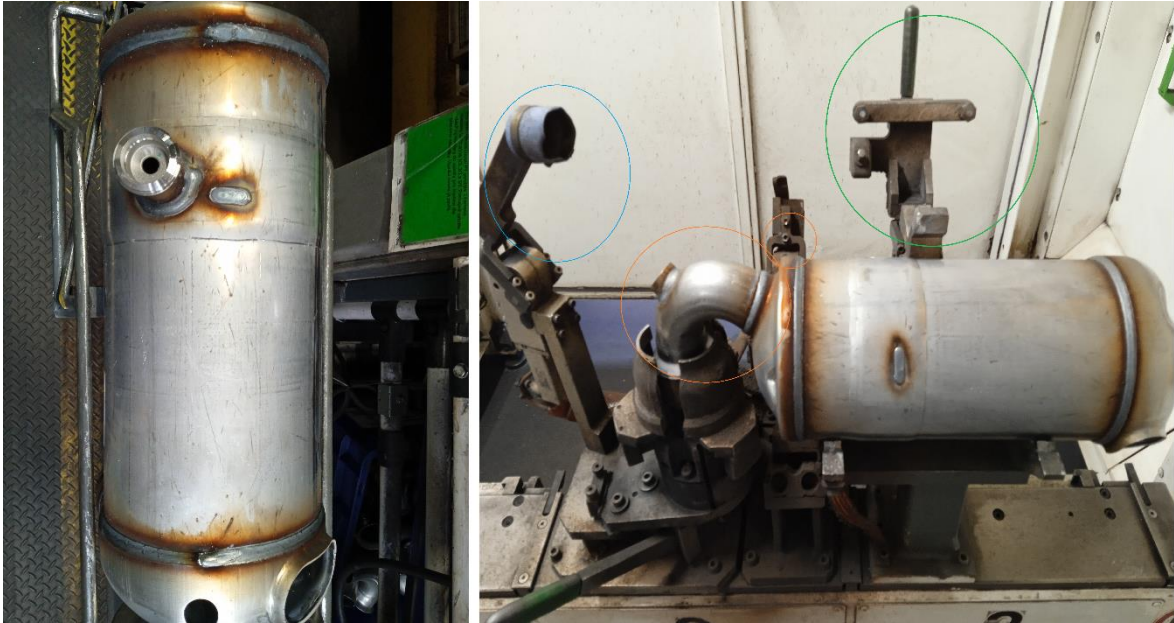
2.3.1.2 OP10 – Svařovací cela



Obr.17: OP10 svařovací cela

Zde na levé straně přibylí modře vyznačené zóny, které ukazují funkční upínky sloužící především k tomu, aby při svařování oranžových oblastí nevznikali na už svařených částech okuje a odstříky.

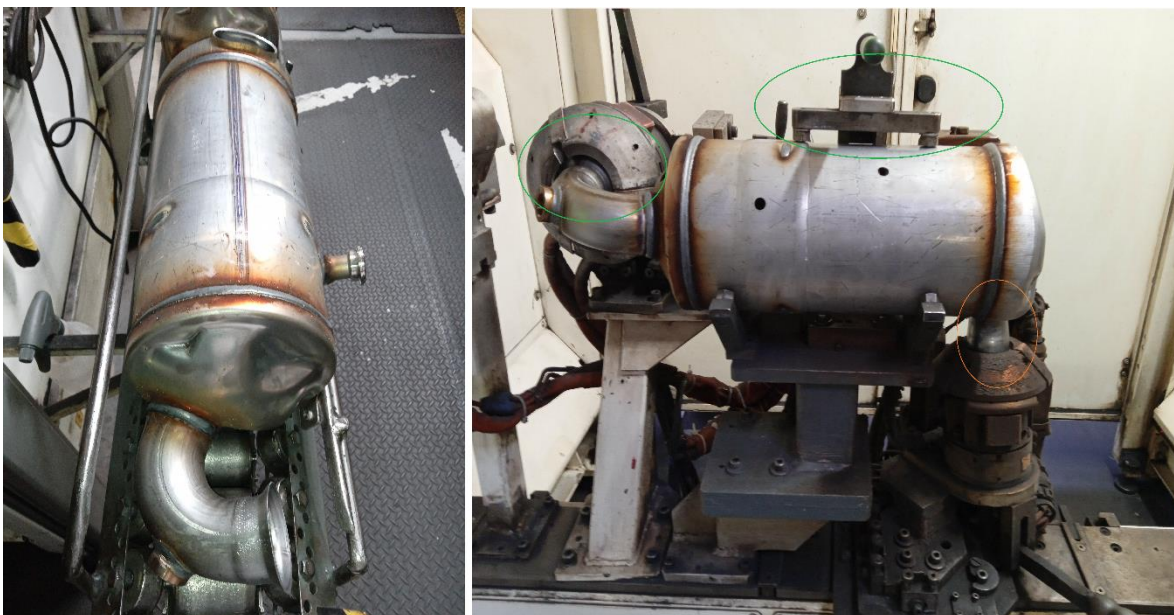
2.3.1.3 OP20 – Svařovací cela



Obr.18: OP20 svařovací cela

Od této operace dále už přibývají prvky, které je třeba kontrolovat, zde se jedná o P1(závit M20) a P3(závit M6), vyznačeny oranžovou oblastí. U zákazníka se na BOSS socket P1 našroubuje regulační lambda sonda (kyslíkový senzor) a háček P3 sloužící jako úchytný bod k podvozku automobilu.

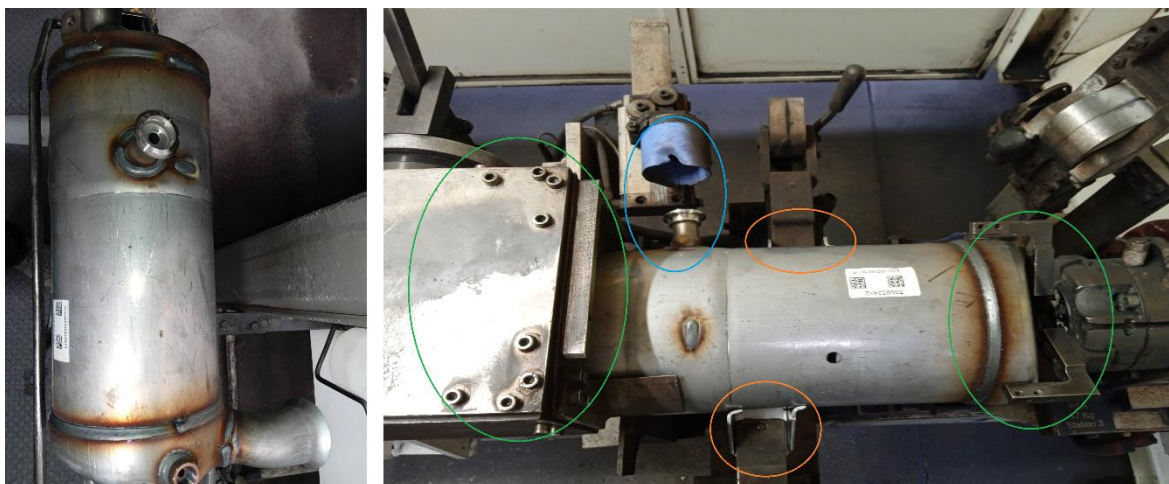
2.3.1.4 OP30 – Svařovací cela



Obr.19: OP30 svařovací cela

Oranžově vyznačen P6(závit M16). U zákazníka se na BOSS socket P6 našroubuje čidlo tlaku.

2.3.1.5 OP40 – svařovací cela



Obr.20: OP40 svařovací cela

Oranžově vyznačeny SB-U a SB-L, jedná se o úchyty, které slouží k uchycení katalyzátoru k podvozku auta.

2.3.1.6 OP50 – svařovací cela

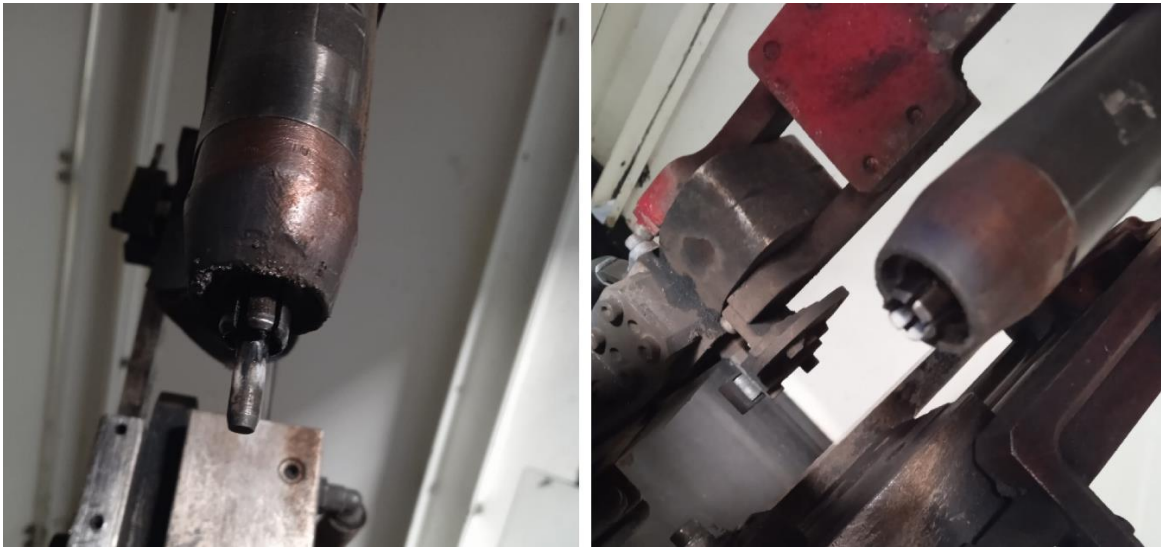


Obr.21: OP50 svařovací cela

Tato operace, co se geometrie navařených BOSS socketů týče, je neproblematičtější z celé linky.

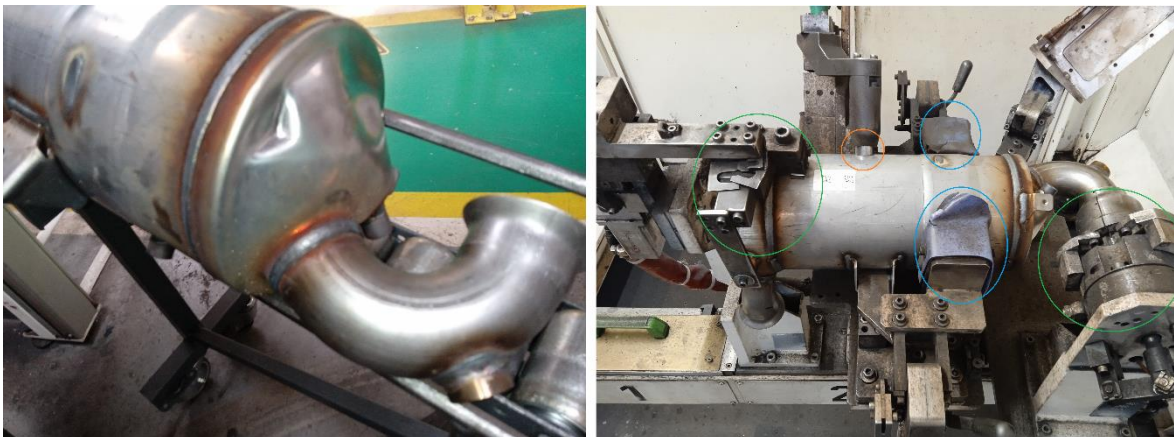
Jedná se o P4(závit M12) a P5(závit M12), je nutné mít v upínce umístěn středící kolík, problém je ten, že tento středící prvek se může přivařit společně se BOSS soketem, což

vytvoří nevratnou vadu, která znehodnotí celý výrobek, proto při kritické výrobě je možné, že se kolíky vynechají, což způsobí nepřesnost v geometrii a díl neprojde operací na kontrolu závitů. U zákazníka se na BOSS sockety P4 a P5 našroubují čidla teploty.



Obr. 22: Středící kolík

2.3.1.7 OP60 – svařovací cela



Obr.23: OP60 svařovací cela

Oranžově vyznačen BOSS socket P7(závit M16). U zákazníka se na BOSS socket P7 našroubuje čidlo tlaku.

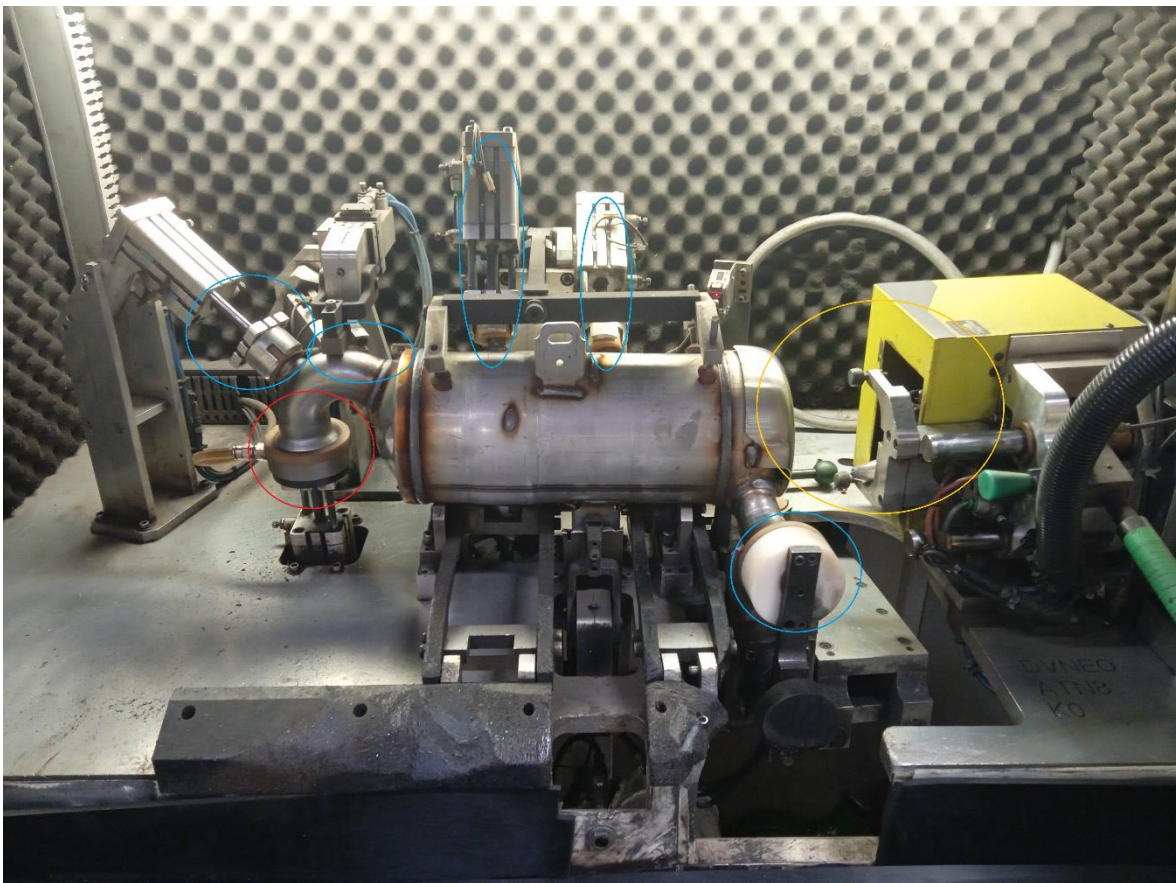
2.3.1.8 OP70 – svařovací cela



Obr.24: OP70 svařovací cela

Oranžově vyznačen háček P2(závit M6), slouží k uchycení katalyzátoru k podvazku auta.

2.3.1.9 OP80 – Tlaková stanice



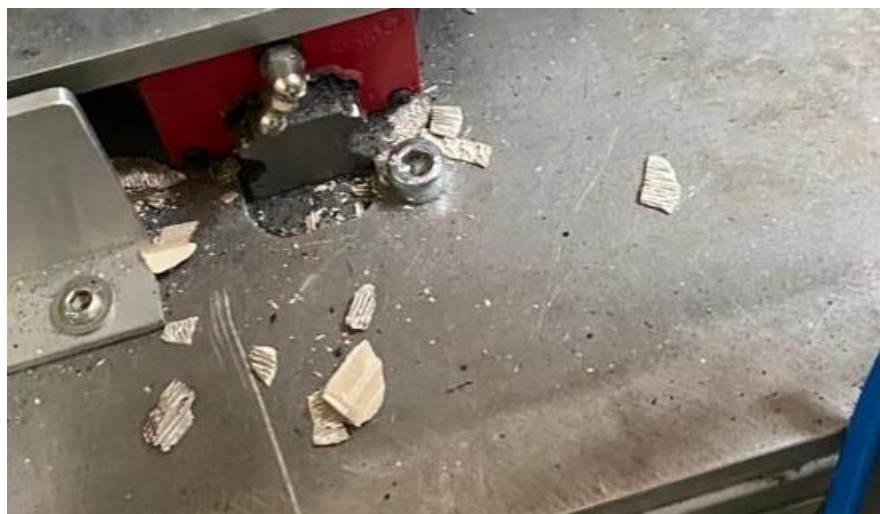
Obr. 25: OP80 Tlaková stanice

Včetně této operace dále se všechny další operace zabývají pouze kontrolou kvality.

Operace 80, takzvaný LeakTester(Tlaková stanice), kontroluje zda není v katalyzátoru díra, tedy zda jsou všechny BOSS správně navařené a ve sváru není prasklina či nežádaný

otvor. Včetně tlakové kontroly se zde nachází i jehlová gravírovací jednotka vyznačená oranžovým kruhem. Modře vyznačeny jsou těsnící aktivní upínky. Červeně vyznačen je hlavní přísun vzduchu, tlakuje se na **5 barů**, poté se čeká, zda tlak začne unikat, pokud ne, lze konstatovat, že ve svárech není díra. Testem díl také neprojde pokud při zakládání byli někde prohozeny BOSS sokety.

Operace 80 má ironicky jeden z největších potenciálů na to, aby vyrobila nevyhovující kus. Problém nastává v případě, kdy se uvnitř katalyzátoru nachází uvolněná, či téměř uvolněná kulička vytvořená svařováním na jednom z předchozích svařování. Při tlakování se kulička rozletí a naráží na monolit, což způsobí odštěpování monolitu, jelikož při tlakování tlak postupně pulzuje, dochází k opakovaným nárazům na stěny monolitu. Při finální kontrole, kdy operátor kontroluje kvalitu celé sestavy se z místa, u kontroly BOSS socketu P1(M20), začnou sypat odštípnuté kousky monolitu, díl je poté označen jako nevyhovující a je automaticky poslán na vyřazení.



Obr. 26: Odštípnuté kousky monolitu

2.3.1.10 SCREW – Manuální kontrola závitů

Původní stanoviště pro kontrolu závitů mělo následující pracovní postup:

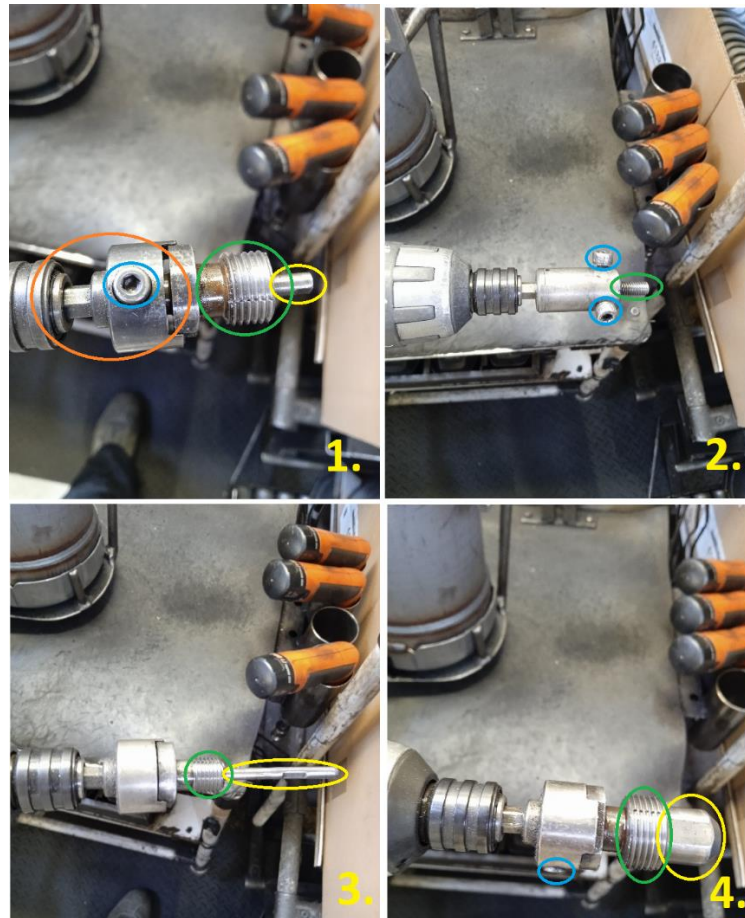
- Vizuální kontrola funkčních ploch jednotlivých BOSS socketů
- Kontrola aku šroubovákem jednotlivých závitů

Operátor prvně kontroloval funkční plochu všech BOSS socketů, při nalezení jakékoliv nečistoty došlo k odstranění pilníkem či šídlem, pokud byla nečistota uvnitř závitů samotného, pokud operátor nebyl schopen manuálně odstranit nedostatek, označil poškozenou oblast červeným lihovým fixem a poslal díl po dopravníku do reworkové stanice.

Pro každou velikost závitů byla stanice vybavena aku šroubovákem se speciálním kalibrem,

Kalibry se skládaly ze 3 základních částí. Důvodem je především ekonomičnost.

1. Šestihranný adaptér
2. Jistící šroub
3. Závitová část
4. Spojovací a průchozí část



Obr.27: Kalibry pro manuální kontrolu závitů

Obrázek výše zobrazuje jsou čtyři druhy kalibrů.

1. Slouží pro kontrolu P1(M20)
2. Slouží pro kontrolu P2(M6) a P3(M6)
3. Slouží pro kontrolu P4(M12) a P5(M12)
4. Slouží pro kontrolu P6(M16) a P7(M16)

Oranžově je vyznačen šestihranný adaptér, který je pro všechny kalibry totožný.

Modře je vyznačený šroub se šestihrannou IMBUS hlavicí, který slouží jako jištění mezi adaptérem a závitovou částí. Zeleně je samotná závitová část, která slouží jako hlavní kontrola kvality závitu. Žlutá část má dvojitý účel, slouží jako spojovací část, která drží všechny části pohromadě a zároveň slouží jako kontrola průchodnosti, zda se BOSS soket navařil plus minus přesně na střed.

Jako ruční aku šroubovák byl používán Milwaukee M4™ 1/4" Hex Screwdriver. Ten má 2 pro nás důležité parametry.

Tabulka 4.: Parametry Aku šroubováku

Otáčky [RPM]	Moment [Nm]
200-600	3,91



Obr.28: Aku šroubovák Milwaukee

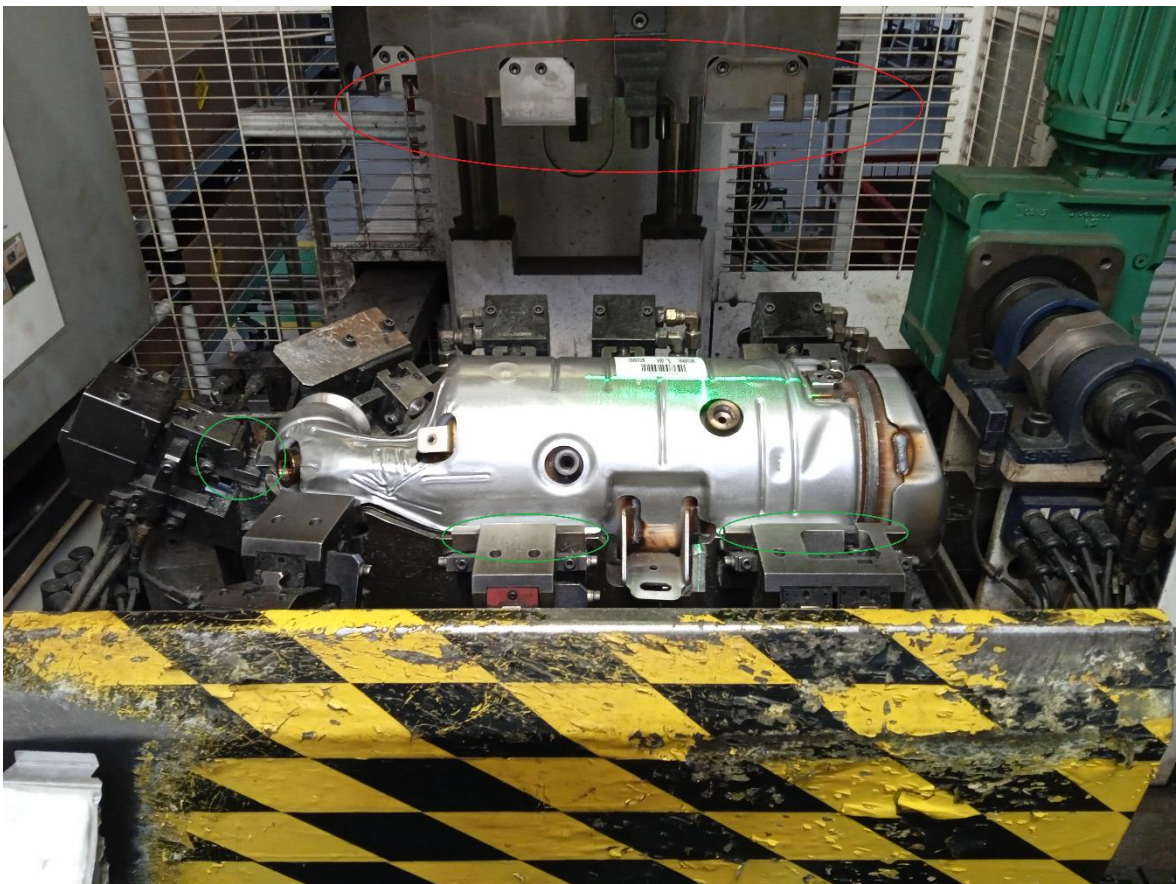
Parametr otáčky nám sám osobě určuje jak rychle je operátor schopný provádět jednotlivou kontrolu. Rychlost šroubování nelze nijak nastavit, je daná pouze tím jak moc se stiskne a drží tlačítko pro pravotočivý, či levotočivý směr. Dalším důležitým parametrem je moment. Jelikož může nastat, že se v závitů samotném objeví okuje, či jiná nečistota, bylo dosti běžné, že operátor najel kontrolním kalibrem na tuto nečistotu. Mohli nastat tři situace.

1. Kalibr projel přes nečistotu a odstranil ji.

2. Kalibr se o nečistotu zasekl
3. Kalibr částečně projel nečistotu

Při první situaci se nic neděje, ba naopak operátor byl schopen nečistotu odstranit a zachovat tvar závitu neporušený. Když nastane situace číslo dvě, tak se naleznuté místo označí a pošle na Rework. Při třetím případě, který je nejhorší, se může stát, že se závit nenávratně poškodil, a zároveň i samotný kalibr přišel o svůj tvar a odolnost.

2.3.1.11 OP100 – Krimpovací stanice



Obr.29: OP100 Krimpovací stanice

OP100 je poslední proces, kde se k dílu přidává funkční prvek, jedná se o tepelný štít, který má za úkol snížit množství tepla, které může být přeneseno na katalyzátor a tím chrání katalyzátor před poškozením nebo přehřátím. Procesu se říká krimpování. Operátor nejprve založí spodní část štítu do formy, poté vloží samotný katalyzátor a nakonec vrchní vrstva štítu. Červeně je označen hydraulický lis, který přimáčkne půlky štítu k sobě. Zeleně jsou označeny funkční upínky, které poté naohýbají konce štítů do sebe. Po této operaci už není možná provést žádné úpravy bez poškození tepelného štítu.

2.3.1.12 OP110 – Finální kontrola



Obr.30:OP110 Finální kontrola

OP110 je takzvaná Finální operace, kde operátor naposledy vizuálně překontroluje díl před expedicí a díl zazátkuje tak, aby při převozu nedošlo znečištění či znehodnocení výrobku. Červeně jsou označeny jednotlivé zátky.

2.3.2 Stanovení kritických bodů

Při analýze materiálového toku a bližšímu pohledu do procesů svařovací linky NEO4 se přišlo na následující problémy:

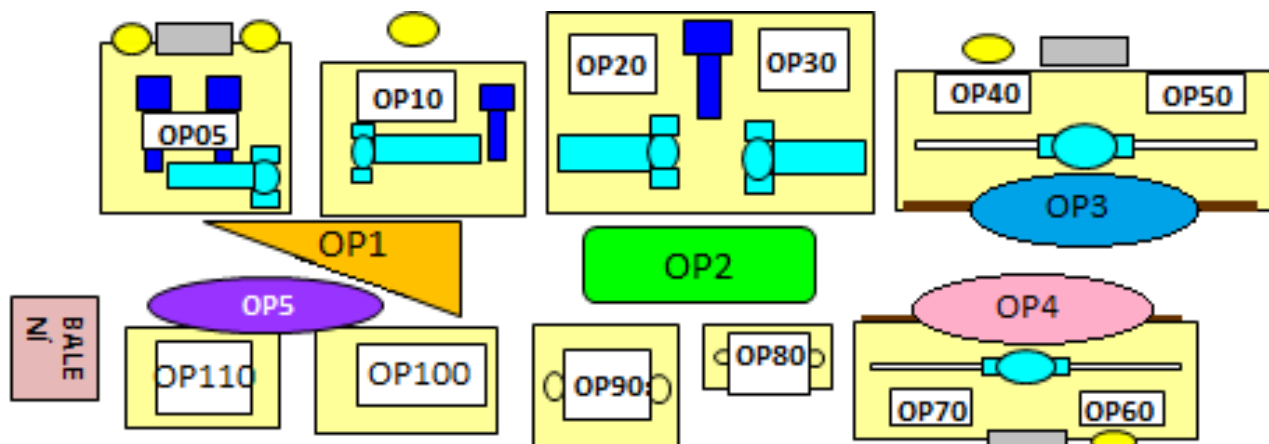
- Nerovnoměrné využití operátorů
- Ergonomické riziko při neustálé manipulaci dílem při manuální kontrole závitů
- Zvýšená lidská chybovost při kontrole závitů

Napříč celou linkou by měla fungovat sebekontrola, která ale není vždy zaručená, proto původní proces obsahoval operátora navíc, který čistě zodpovídal za kontrolu závitových částí.

V rámci optimalizace byli navrženy tyto úpravy:

- Odebrání SCREW manuální stanice
- Přidání automatické stanice na kontrolu závitů OP90
- Odebrání jednoho operátora za směnu
- Rovnoměrné rozložení pracovní náplně zbylých operátorů

Přidáním automatické stanice na kontrolu závitů se snížilo riziko reklamace od zákazníka. Zároveň bylo možné odebrat operátora z linky a tím vyvážit pracovní rozložení a zátěž operátoru na lince. Aby bylo na pracovišti místo pro celu na kontrolu závitů, byla odebrána stará manuální stanice na kontrolu závitů



Obr.31: Nový proces

Posloupnost jednotlivých procesů i čas zachován.

Tabulka 5: Nový seznam operátoru a jejich přiřazené operace

Operátor	Operace	Druh operace
OP 1	OP05 – Svařovací cela OP10 – Svařovací cela OP100 – Krimpovací stanice	Zakládání/Vykládání Zakládání/Vykládání Zakládání
OP 2	OP20 – Svařovací cela OP30 – Svařovací cela OP80 – Svařovací cela OP90 – Automatická kontrola závitů	Zakládání/Vykládání Zakládání/Vykládání Zakládání/Vykládání Zakládání/Vykládání
OP 3	OP40 – Svařovací cela OP50 – Svařovací cela	Zakládání/Vykládání Zakládání/Vykládání
OP 4	OP70 – Svařovací cela OP60 – Svařovací cela	Zakládání/Vykládání Zakládání/Vykládání
OP 6	OP100 – Krimpovací stanice OP110 – Finální kontrola Balení	Vykládání Finální kontrola Balení

3 Navržená opatření - Cela na kontrolu závitů

Kapitola se zabývá popisem samotné automatické cely na kontrolu závitů. Její vývoj, návrh a jednotlivé výzvy a problémy, které bylo nutné překonat pro nepřerušovanou sériovou výrobu.

3.1 Změny v layoutu

1. Odebrání SCREW stanice

Pro instalaci automatické cely na kontrolu závitů bylo nutné odebrat starou stanici, aby bylo pro novou celu místo, zároveň by stará stanice zabírala místo a nebyla by využita, zbytečně přidaná vzdálenost mezi jednotlivými operacemi.

2. Přidání automatické cely na kontrolu závitů

Přidána cela na automatickou kontrolu závitů

3. Odebrání operátora

Odebráním operátora se zamezilo:

- Nutnosti řádného školení
- Chybě lidského faktoru
- Opotřebení kalibračních sestav
- Proměnlivé doby cyklu
- Ušetření financí za operátora

Pro automatickou celu na kontrolu závitů stačí pouze založit a vyložit, není třeba znát pracovní postup měření. Není proto třeba mít specializovaného operátora čistě pro kontrolu a lze tedy nahradit původní pracovní náplň pouze vyložením a založením. Čas potřebný k založení a vyložení je zlomek z původní náplně operátora, lze tedy operátora vyjmout z linky a původní pracovní náplň může převzít jiný operátor.

3.2 Mechanika

3.2.1 Utahovací jednotky

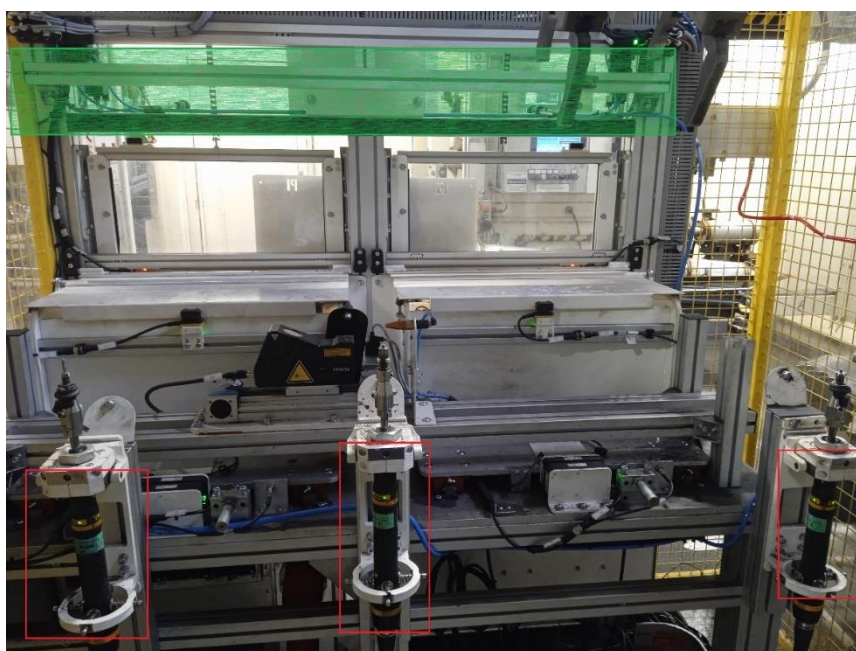
Pro tuto specifickou operaci byl zvolen **ETD SR21-16-I06-T25** od firmy Atlas Copco, která se specializuje na průmyslové nářadí. Jedná se o přímý elektrický šroubovák.

Tabulka 6. : Parametry Elektrického šroubováku

Parametr	Jednotky
Minimální moment	3.5 Nm
Maximální moment	16 Nm
Otáčky	1460 o/min

V tabulce 6. jsou vidět nejdůležitější parametry šroubováku. Přímý šroubovák byl zvolen především kvůli omezenému prostoru pro technika, technickým požadavkům zákazníka a také z důvodu bezpečnosti.

Dle požadavků zákazníka nesmí při finální montáži u odběratele dojít k překročení 4,5Nm na závit.

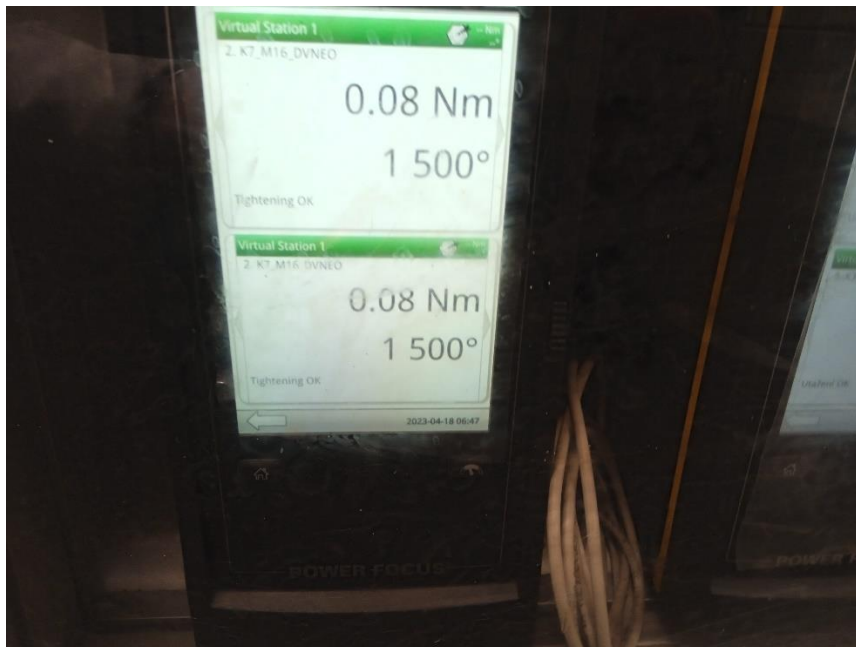


Obr. 32: Pozice Utahovacích jednotek

Poslední iterace kontrolní cely má šroubováky kolmo k podlaze, původně měli být rovnoměrně s podlahou, přidělaný na profil konstrukce, vyznačeno zeleně. Z tohoto návrhu bylo odstoupeno kvůli vysoké pravděpodobnosti úrazu, po nasazení kalibrů se pracovní prostor prodloužil až do prostoru pro údržbu, přesně do výšky očí. Jelikož už tak je prostor pro pohyb v cele omezený, by jakékoliv zakopnutí znamenalo možné nabodnutí na kalibry.

Samotné šroubováky jsou řízeny inteligentním systémem **POWER FOCUS 6000 IF**, který umožňuje přesně řídit utahovací moment, úhel natočení a rychlost. Je možné vytvořit a navolit určitý počet programů, omezeno pouze velikostí interního uložení. PW sbírá data z utahování a je možné si je ukládat či posílat na uložení. I přes možnosti volby a tvorby

několika programů je PW určena pouze pro jednu šroubovací hlavici, což značně limituje možnost využití několika utahovacích jednotek v tak omezeném prostoru. Přímý konkurent Atlas Copca je **DESOUTTER**, který nabízí možnost vlastních utahovacích jednotek, které jsou schopny mít na jeden řídicí systém až 2 utahovací jednotky.



Obr. 33: PW 6000 IF

Řídicí jednotky obsahují také vizuální indikace, jsme schopni vidět moment a úhel natočení, který nám říká, o kolik se kalibr pootočil vůči své původní pozici, díky momentu a úhlu natočení jsme schopni říct, zda proces šroubování proběhl v pořádku či ne.

Tyto přímé elektrické šroubováky mají odpruženou teleskopickou osu, problém nastává v tom, že samotný šroubovák nemá žádnou zpětnou vazbu o tom, jak moc je pružina zatížená, tedy jak moc je osa zapuštěna v plášti šroubováku. Nastávají 2 problémy.

- Kvůli ušetření času cyklu se po odšroubování okamžitě s kontrolním kusem odjíždí, stlačená pružina se poté uvolní a vystřelí osu na původní pozici. Stávalo se, že osazené kalibry na adaptéru vypadli z důsledku zpětné rázné síly. Řešení, přidání magnetu a červíků na hlavici adaptéru.
- Pokud došlo ke zlomení, zničení kalibru, či robot vlivem špatně zpracovaných dat minul správnou utahovací pozici. Vracelo se pouze informace o nedostačujícím momentu, a ne zda vůbec na samotné šroubování došlo.



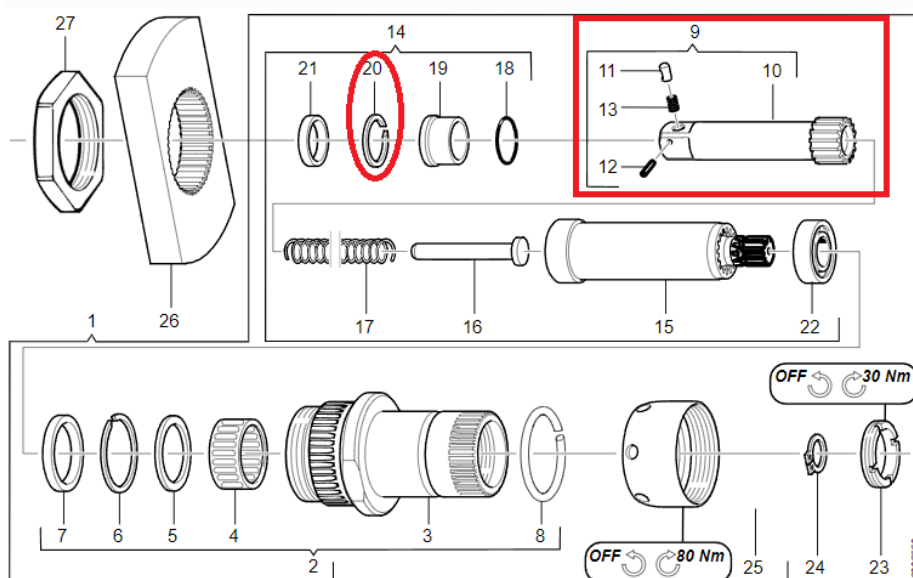
Obr. 34: špatně najetý kalibr

Pokud by bylo možné snímat, hloubku osy, bylo by možné předejít zlomení naváděcího trnu kalibru a ničení kontrolovaného kusu.



Obr. 35: Vypadlá osa šroubováku

Při jednom z prvních pokusů implementace nové generace kalibrů, se stalo, že se díky nahromaděnému železitému prášku, který vzniká při styku kalibrů se závitem, zasekl kalibr v závitu a robot s dílem odjel. Bez jakékoliv zpětné vazby o hloubce osy došlo k vytržení, která je držena pouze pojistným kroužkem.



Obr. 36: Teleskopická osa šroubováku

Aby nebylo nutné před každou směnou manuálně čistit kalibry a omezil se styk operátora s kalibry, přidal se pneumatický ofukovací systém, který při každém dalším založení dílu provede ofukování všech kalibrů a také kamery. Zaručit čistotu kalibrů byl jeden

z nejdůležitějších kroků k zamezení nevyhovujícím kusům, opotřebením kalibrů a spotřebního materiálu. Operátoři si pomáhali čističem brzd, čímž zaručili klouzavost kalibru tak, aby se nezasekával, zároveň tím ale zvýšili adhezi kalibru a prachové částičky se zachytávali častěji a vznikala mastná prachovitá kaše, která vyplňovala závity kalibrů, čímž měnila momentovou charakteristiku utahování, což vedlo na zvýšený počet špatně vyhodnocených.



Obr. 37: Železný prášek

Na obrázku výše lze vidět železný prášek v důsledku obroušení kontrolovaných závitů po třech hodinách směny.

3.2.2 Adaptéry a jejich generace

Markantní rozdíl oproti manuální verzi kontrolních kalibrů je hned několik.

- Materiál
- Adaptér sestavy
- Závitové části
- Naváděcí trny

Jelikož automatizovaná stanice vznikla především, aby se odebral operátor, tak je nutné aby provozní náklady nebyli vysoké, jedná se především o spotřební materiály jako jsou již zmíněné kalibry. Při manuální kontrole byly kalibry měněné po sedmnácti směnách, tedy po jednom pracovním týdnu. Při tomto objemu vycházel počet kontrol přibližně na šestnáct

tisíc kontrol na jeden kalibr. Cílem tedy bylo udělat kalibry tak, aby vydrželi více, či alespoň stejně, jako jejich předchůdce.

První generace kalibrů, byla totožná s kalibry pro manuální kontrolu. Jelikož utahovací jednotky nemají sklíčidlo jako jejich aku předchůdce, bylo nutné vyrobít speciální adaptér na osu utahovací jednotky.

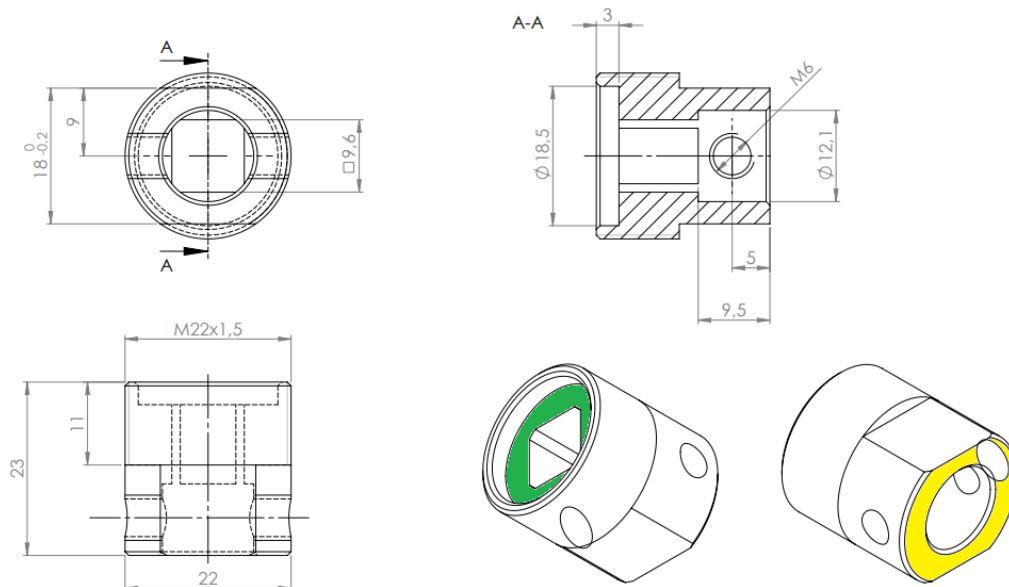


Obr. 38: Adaptér

Na obrázku zleva doprava se zobrazuje, osa utahovací jednotky, redukce, samotný adaptér.

Samotný adaptér je složen ze 3 částí, je to především z ekonomického důvodu a možnosti měnit pouze opotřebenou část.

- Redukce
- Magnet
- Adaptér

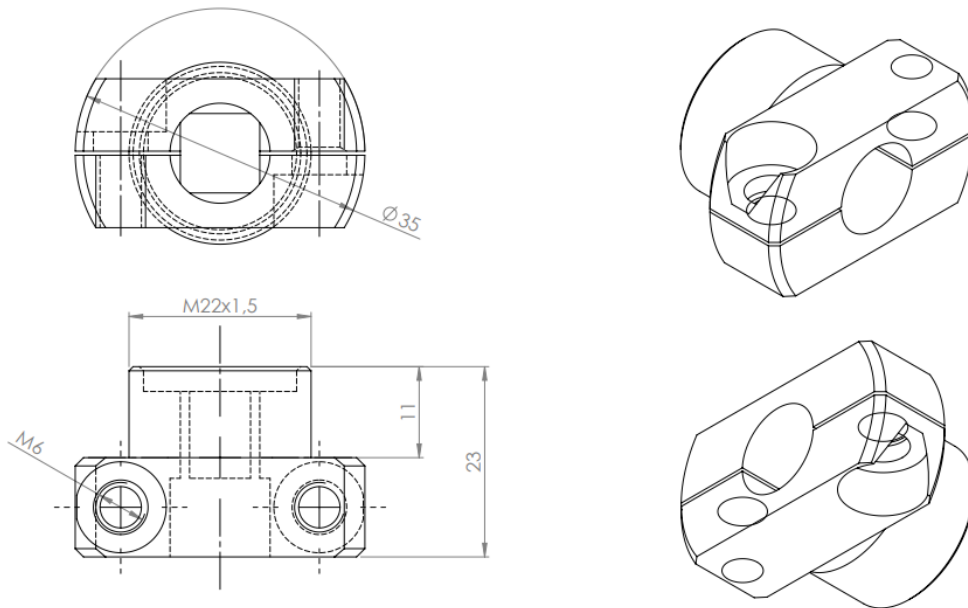
Redukce/Magnet:

Obr. 39: Redukce_V2

Obrázek výše ilustruje použitou redukci napříč všemi adaptéry. Redukce je vyrobená z legované oceli **1.7225** a následně je část podrobena nitridaci. Jedná se o jednu z chrom molybden manganových nízkolegovaných ocelí, které se vyznačují houževnatostí, dobrou torzní pevností a dobrou únavovou pevností. Žlutě je vyznačená část, která se dotýká osy utahovací jednotky, aby redukce s osou byli pevně spojeni, jsou sešroubovány imbusovými šrouby, tak aby šroub zaklesl do díry, která je vytvořena v ose utahovací jednotky. Zelená část obsahuje místo, kam patří neodýmový magnet **KT-14-10-N** se silou cca 7,4 kg. Poté se celá redukce našroubuje a spojí s hlavicí adaptéru.

Existují tři verze adaptéru:

- V1. Totožný z verzí 2 na obrázku výše, rozdíl spočívá v tom, že utahovací šrouby jsou M4
- V2. Viz obrázek výše
- V3. Změna upínací části



Obr.40: Redukce_V3

Důvodem pro změny v designu.

- Kvůli vibračním, odstředivé síle a malému průměru šroubu, původně M4, docházelo k samovolnému vypadávání šroubů
- Nutnost udržet kalibr v adaptéru po odjezdu kontrolovaného dílu

Než došlo na přechod na třetí verzi byli šrouby jištěny lepidlem na závity, což není vhodné dlouhodobé řešení. Při použití lepidla střední pevnosti šrouby vydrželi přibližně patnáct směn. Po použití silného lepidla závity drželi, dokud nebylo třeba vyměnit opotřebovanou redukci. Silné lepidlo už není ale možné povolit čistě imbusovým klíčem, bez strnutí závitu či zlomení šroubů, je nutné použít horkovzdušnou pistoli, což bylo pro operátora velice nepraktické.



Obr.41: Zlomený/chybějící šroub

Jelikož zlomený šroub znamená převrtat a narušit integritu osy utahovací jednotky, bylo nutné přijít s návrhem, který nenarušuje integritu osy, nepotřebuje tak častou údržbu a není nutné závitů lepit. Třetí verze řeší všechny tyto problémy, jelikož funguje na principu svěracího mechanismu, kde utažením dvou čelistí zajistíme potřebný tlak na osu tak, aby celá sestava držela na své pozici.

Adaptér:

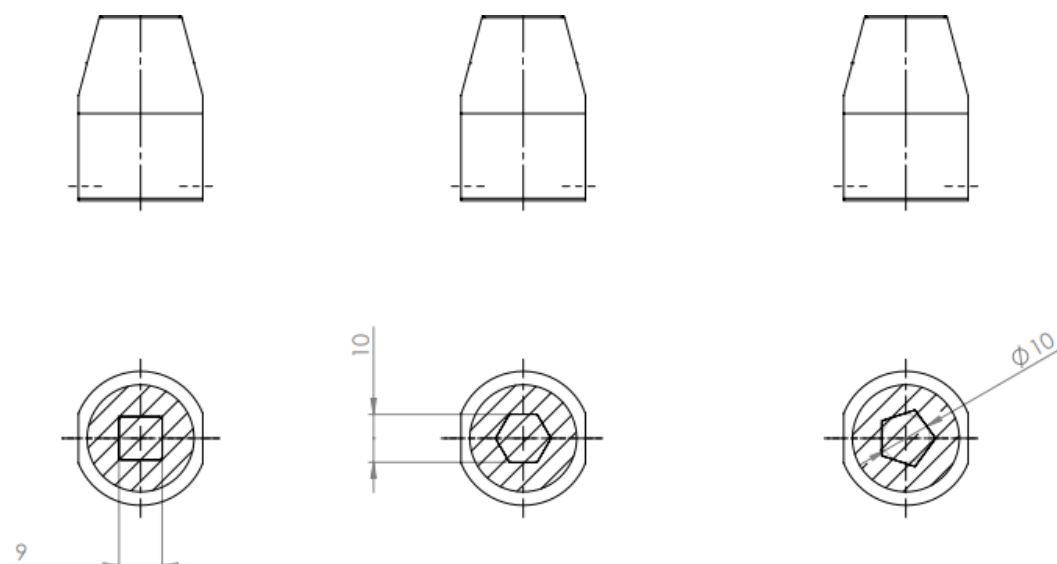
Samotná hlavice celé sestavy prošla dvěma verzemi.

V1. Hlavice je totožná pro všechny kalibry

V2. Hlavice má rozdílné usazení pro jednotlivé kalibry

S první verzí přicházelo hned několik problémů, byla vyrobená z Uhlíkové oceli **1.1191** a poté podrobena povrchovému kalení, jedna z hlavních vlastností je její plastičnost, povrch je sice tvrdý a odolný, ale vnitřek je velice tažný. Při velké rychlosti a točivému momentu docházelo k opotřebení šestihranného vybrání a zasazené kalibry se začali viklat, což na konci závitové části kalibru vytvářelo při rotaci velkou odchylku a místo souosého točení se kalibr točil spíše po eliptické trajektorii. První verzi lze vidět na obrázku 38.

Druhá verze je vyrobená z nerezové austenitické oceli **1.4301**, mezi požadované vlastnosti patří houževnatost, pevnost a nemagnetická struktura. Jelikož sestava obsahuje magnet, bylo velice obtížné při preventivní údržbě magnet vyjmout, proto se hlavice udělala z nemagnetického materiálu, to že je materiál z nerezů je také důležitá vlastnost, jelikož při kalibraci závitů dochází k odštěpování drobného železitého prášku, který se dostával do vnitra sestavy a následně vlivem vlhkosti vzduchu začal prášek korodovat a degradovat sestavu.



Obr. 42: Adaptér_V2

Dalším důvodem pro změnu designu, bylo **PokaYoke**, bylo nutné zaručit, aby při výměně, či výpadku kalibru nebylo možné dojít k záměně. Proto jednotlivé hlavice dostali rozdílné tvary vnitřního vybrání. Čtverec, šestihran a pětihran. Velikosti jsou uzpůsobeny tak, aby se žádný z kalibrů, ani silou, nedal vložit do jiného adaptéru než patří.

Kromě magnetu, jako jeden z prvků, který drží na místě kalibr, obsahuje hlavice dva otvory se závity, kam se dávají odpružené červíky s kuličkou. Toto také není to nejlepší řešení, jelikož je nutné jistit červíky kontramatkami, jinak se odstředivou silou vyšroubují. V plánu není zatím pokračovat ve vývoji designu hlavice.

3.2.3 Kalibry a jejich generace

Kalibry pro automatickou kontrolu závitů jsou ve všech ohledech rozdílné oproti kalibrům pro manuální kontrolu. Jelikož návrh vycházel z původních kalibrů tak byla jistá podobnost nevyhnutelná, postupně se zjišťovalo, že původní návrh nemá dostatečnou jakost a spolehlivost pro přechod na automatický režim.

- Rychlost
- Stabilita (Vyklání vs nutnost souososti)
- Hloubka (Nový má volnější závit > větší využitelnost té plochy)

Jelikož je díl před každou kontrolou jednotlivých závitů prvně kontrolován kamerou, je nutné ztracený čas získat na jiném podprocesu, proto je samotné šroubování zlomek celého

procesu, z původních 600_{max} [o/min] na 1460_{max} [o/min]. Což má za následek značné opotřebení, nutné změnit design a materiál pro redukci spotřeby.

Tabulka 7: Porovnání četnosti výměny kalibrů

Sokety	Počet cyklů do výměny	
	Manual	Automatic
M6	16k	100k
M12	16k	100K
M16	16k	100K
M20	16k	100K

Z tabulky lze vidět, vidět, že počet cyklů nutných k výměně kalibrů se zvedl téměř sedmkrát, z původních 16k cyklů za týden na 100k cyklů za šest týdnů.

Stabilita kalibru souvisí především v jeho uložení, původně ve sklíčidle aku šroubováku, nově osazení na ose utahovací jednotky. Mezi samotnou osou a kalibrem je několik spojovacích míst a každé vytváří mírnou vůli, jednotlivé vůle se nasčítají a na špici kalibru vzniká nepředvídatelné vyklání.



Obr.43: Zničený závit

Musí být zaručena co nejideálnější souosost mezi kalibrem a kontrolovaným závitem, jinak dojde ke stržení závitů a opotřebení nástroje.

Hloubka závitů, tedy plocha kterou musí nové kalibry prokontrolovat byla změněna z několik důvodů. Při větší závitové ploše je větší šance, že se na kalibrů poškodí jeden z mnoha závitů, což vede k jeho nutné výměně. Další důvod je finanční náročnost, pokud by délka závitů měla odpovídat délce BOSS soketu, byl by samotný kalibr náročnější na výrobu a zároveň zvyšuje i vyklání, proto se požaduje, aby celý systém byl co nejvíce kompaktní.



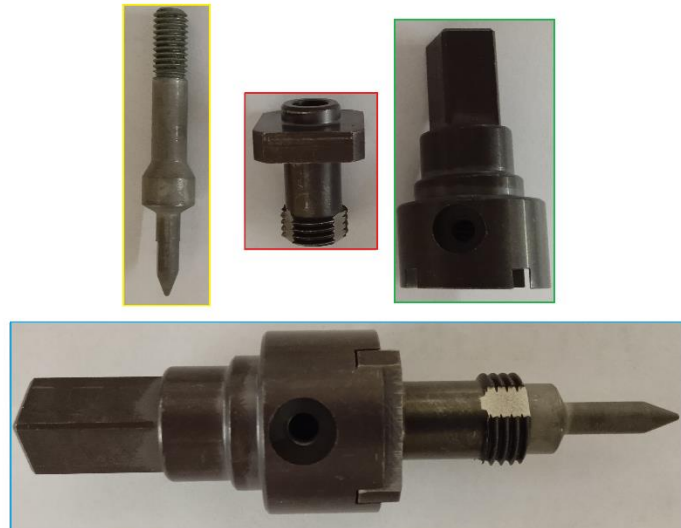
Obr.44: Hloubka závitů

Modře vyznačena hloubka/délka závitu.

Obdobně jako adaptéry, se samotné kalibry skládají z několika částí.

- xHran/nosič
- Závitová část
- Naváděcí/průchozí trn

První generace kalibrů byla totožná s manuální a jak již bylo zmíněno ukázalo se, že kalibry jsou nedostačující. Kromě designu se změnil i materiál, u všech částí je použit stejný. Byla zvolena nástrojová kalici ocel **1.2379**, mezi jejíž vlastnosti patří, odolnost proti otěru, práce pod vyšším tlakem, bez deformační a vysoká houževnatost. Ocel je určena pro řezací a nožní nástroje.

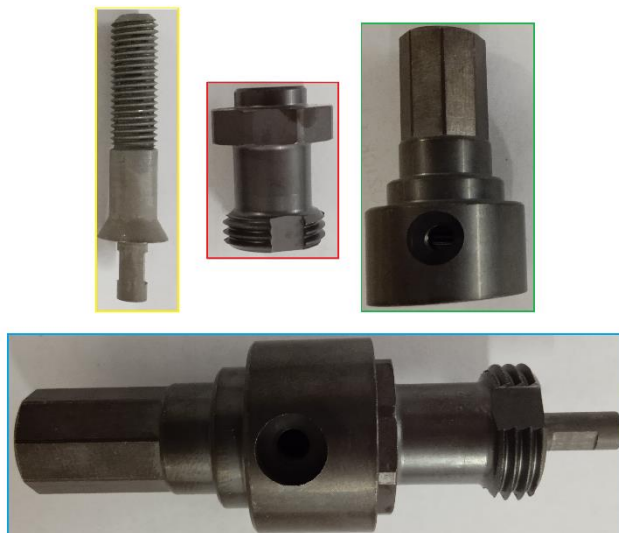


Obr.45: Finální sestava M12

Finální sestava M12:

- Pro kontrolu P4 a P5, sloužící jako sockety pro čidla teploty

Žlutě vyznačen naváděcí/průchozí trn, červeně závitová část, zeleně čtyřhran a modře celá sestava



Obr.46: Finální sestava M16

Finální sestava M16:

- Pro kontrolu P6 a P7, slouží jako sockety pro čidla tlaku

Žlutě vyznačen naváděcí/průchozí trn, červeně závitová část, zeleně pětihran a modře celá sestava



Obr.47: Finální sestava M20/M6

Finální sestava M20/M6:

- Pro kontrolu P1, P2 a P3
- P1 slouží jako soket pro Lambda sondu (Kyslíkový senzor)
- P2 a P3 jsou turbo háčky, sloužící k uchycení katalyzátoru k podvozku automobilu

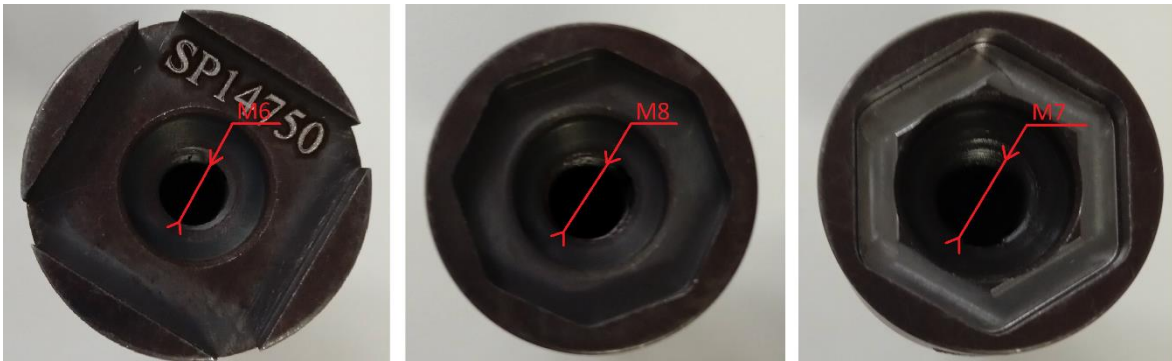
Žlutě vyznačen naváděcí/průchozí trn, červeně závitová část, zeleně šestihran a modře celá sestava

xHrany:



Obr.48: Nosiče

Jedná se o nosiče, které přímo zapadají do příslušných adaptérů, jsou tvarovány tak, aby bylo opět splněno PokaYoke. Tvary jsou Čtverec, Šestihran a Pětihran. Aby bylo zaručené PY napříč celými kalibry, má každý své speciální uložení a rozdílný vnitřní závit.



Obr.49: Půdorys nosičů

Závitová část



Obr.50: závitové části

Rozdíl mezi jednotlivými generacemi je ten, že se postupně navrhovaly volnější závity, viz. Modře vyznačené oblasti na obrázku výše. Zleva doprava, M12, M16 a M20.

Závitové části bylo nutné udělat volnější z důvodu, že při obrušování BOSS soketů, uvolněné částčky železného prachu měnily výslednou momentovou charakteristiku a docházelo i k ničení nástrojů.

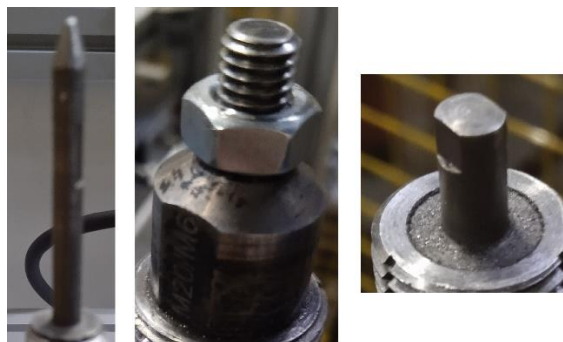
Díky volnějším závitům a vhodně zvoleném materiálu se z původních kalibru staly především závitníky, takže se kromě kontroly závitů závit i opravil, bez čtené nutnosti zásahu operátora, což byla nečekaná ale vítaná vlastnost.

Naváděcí/průchozí trn

Naváděcí trny prošly nejvíce iteracemi ze všech částí sestavy. Trny mají několik funkcí.

- Zlepšení souososti mezi sestavou a BOSS soketem
- Zjištění, zda se po navaření soket nepřekrývá s hranou plechu
- Držení celé sestavy pohromadě

Každá z finální iterace trnů je minimálně třetí design od původních pro ruční kontrolu.



Obr.51: První generace trnů

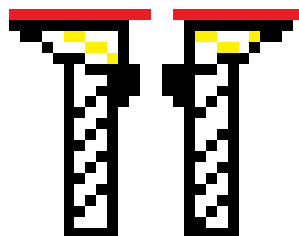
Zleva doprava, trn pro sestavu M12, M20/M6 a M16.

Trn M12

1. Generace – Trn M12

Dle požadavků zákazníka je nutné mít zajištěnou průchodnost, jelikož se do socketu P4 a P5 vkládá teplotní čidlo s dlouhou sondou. Proto je trn zvolen takto dlouhý.

Při provozu se zjistilo, že trn nepředvídatelně praská, přidala se špička, aby se snížilo riziko naražení trnu o hranu a materiál trnu se přestal kalit, aby si zachoval svou pružnost.



Obr.52: Řez navařeného BOSS socketu

Na obrázku výše je načrtnut řez BOSS socketu M12. Černě naznačeno tělo socketu, včetně jeho kónusového sklonu. Žlutě vyšrafovaný svár. Červeně naznačený otvor, na který se navaří BOSS socket, jak je zde naznačeno nedošlo ke správnému vystředění při svařování.

Jakmile prošel trn samotným socketem narazil na přesah plechu, a tím dochází k namáhání trnu v tlaku a kompresi.

2. Generace – Trn M12

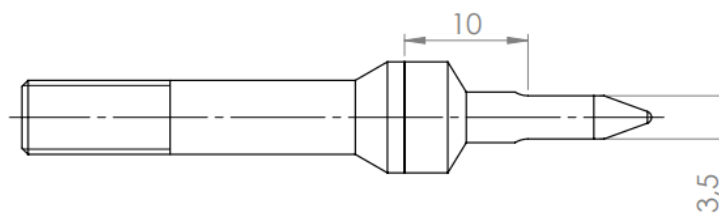
Nejjednodušší řešení se nabízelo vyřešit problém vznikající v předchozích procesech, to ale nelze vždy zaručit, především v poloautomatickém režimu. Proto bylo nutné zaručit, aby trn vydržel, dokud nedojde k detekci nízkého momentu a utahovací jednotky nevyhodnotí nevyhovující kus. Trnu se přidala špička, která zaručila, že trn bude mít větší šanci se trefit do otvoru, tím se snížil tlak v kompresi.

3. Generace – Trn M12

Aby se co nejvíce snížila nutnost opotřebení a ničení trnu, byl trn zkrácen na úroveň, že jakmile se začne šroubovat, tak teprve poté se trn může dotknout možné hrany plechu, kde dojde k okamžité detekci a vyšroubování.

4. Generace – Trn M12

K trnu byla přidána kuželovitá část, která je schopna zkontrolovat i kónusové zkosení v BOSS socketu.



Obr.53: Finální verze M12 trnu

Trn M16

1. Generace – Trn M16

Od manuální verze, kromě průměru závitu, se trn nezměnil

2. Generace – Trn M16

Obdobně jako u trnu M12 i zde dochází k přesahu plechu. Jelikož velikost už není dostatečná k tomu, aby se trn zlomil, docházelo k jeho obroušení, proto se průměr trnu zmenšil a délka se upravila tak, aby došlo k okamžité detekci nízkého momentu, pokud se kalibr nezašroubuje.



Obr.54: Finální verze M16 trnu

Trn M20/M6

Je důležité podotknout, že původní verze pro manuální kontrolu měla kontrolu M20 a M6 BOSS socketů rozdělenou. Až při automatické kontrole se tyto dvě sestavy spojily. Trn M6 totiž slouží především pro kontrolu M6 socketů, při kontrole socketu M20 slouží jako průchozí. Za první generaci se považuje zmíněná kombinace M20/M16.

1. Generace – M20/M16

Principiálně se využil návrh původního trnu pro M20 a na jeho špici se přidala závitová tyč M6. Zjistilo se, že délka závitové tyče je až moc dlouhá a to vedlo na zvýšení celkové času stroje, jelikož je nutné kontrolovat i samotné dno socketu, tak je nutné aby kalibr dojel až na doraz.



Obr.55: První Generace M20/M6

Nastával jeden velký problém, a to ten, že jakmile došlo k natočení do háčku M6, kalibr se v háčku sekl, z důvodu, že do sebe zaklesly kuželové plochy háčku a trnu. Problémová plocha vyznačena na obrázku červeně. Provizorní řešení bylo natočit na závitovou tyč matku, která zkrátila délku tyče a vytvořila rovnou plochu, o kterou se mohl háček opřít, bez hrozby zaklesnutí.

2. Generace – M20/M6

Všechny výše zmíněné problémy se vyřešily zkrácením závitové tyče M6 a zarovnání plochy.



Obr.56: Poslední generace M20/M6

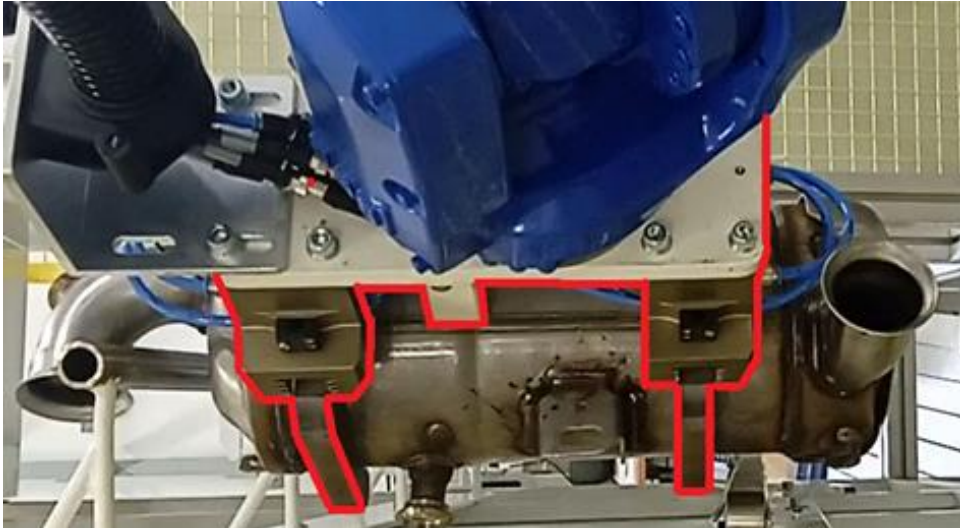
3.2.4 Robot – GP50

Robot GP50 od společnosti YASKAWA MOTOMAN. Robot je šestiosým manipulátorem, což znamená, že má šest pohyblivých os, které mu umožňují dosáhnout různých pozic a úhlů.



Obr. 57: GP50

Robot jako takový není předem vybavený žádnými periferiemi, vstupními/výstupními/bezpečnostními kartami. Vše je nutné zvlášť pořídit dle specifikace úkonu robota. Kromě elektroniky je nejdůležitější součástí robota Gripper volně přeloženo jako chapadlo, který je specifický pro každý úkon.



Obr.58: Gripper robota

Červeně vyznačeno uchopovadlo robota

3.2.5 Kamera

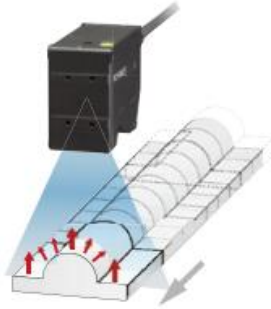
Kamera není úplně správný výraz, přesněji se jedná o laserový profilový snímač, ale dále pouze kamera. Celý kamerový systém se skládá ze 4 částí.

- Enkodér
- Senzorová hlavice
- Kontrolér
- Komunikační kabel



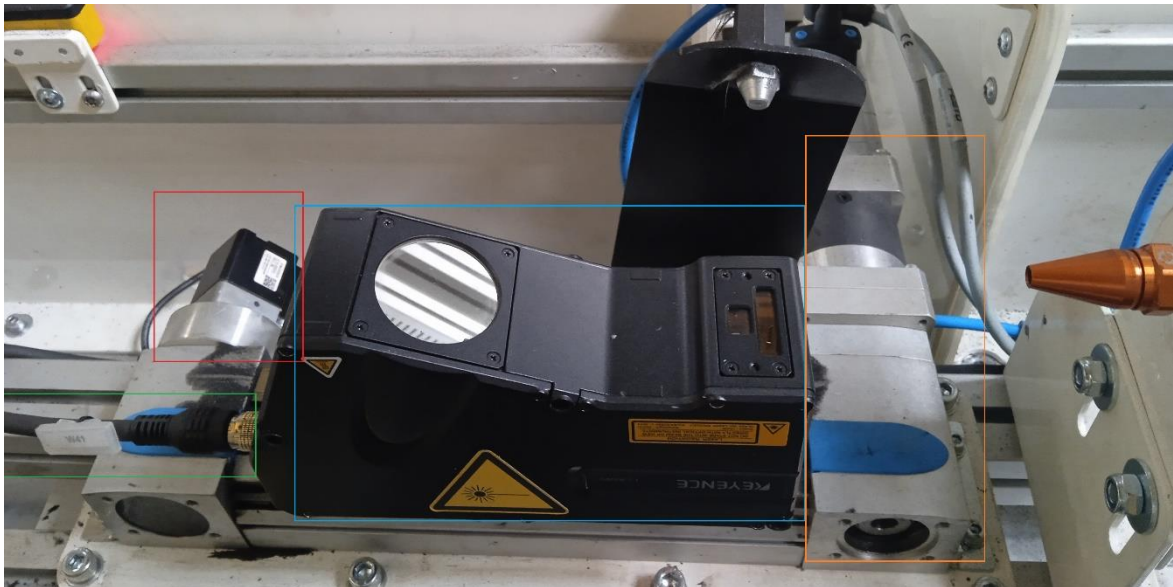
Obr.59: Enkodér

Enkodér, někdy také rotační snímač, je důležitou součástí kamerového systému, jelikož Senzorová hlavice snímá pouze to místo, kam směřuje, je stacionární.



Obr.60: snímky Senzorové hlavice

Aby mohl vzniknout celistvý obraz, je tedy třeba, aby se buď hýbala samotná hlavice, nebo předmět, který chceme skenovat. Enkodér zajišťuje, že se snímky z hlavice budou konzistentní, rovnoměrně rozložené a dobře za sebou poskládané.



Obr.61: Kamerový systém

Obrázek výše zobrazuje kamerový systém:

- Červeně ohraničen Enkodér
- Zeleně ohraničen Komunikační a napájecí kabel
- Modře ohraničena sensorová hlavice
- Oranžově ohraničen servomotor a lineární kolejnice

Hlavice je uložena na lineární kolejnici, která je poháněná servomotorem. Díky enkodéru je známá rychlost pohybu a je možné nastavit frekvenci hlavice tak, aby odpovídala rychlosti pohybu a mohl vzniknout koherentní 3D obrazec.



Obr.62: Snímek z kamery

Aby ale získaná data bylo možné využít a dále s nimi pracovat, je nutný kontrolér



Obr.63: LJ-X kontrolér

Kontrolér slouží jako centrální výpočetní jednotka, uchovává snímky, vyhodnocuje výsledky z kamery, komunikuje mezi ostatními periferiemi, především s PLC.

3.3 Software

3.3.1 Kamera

Kamerový systém se stará o 2 ze 3 požadovaných kontrol

- Čistota funkčních ploch
- Poloha jednotlivých BOSS socketů

Kamerový systém byl naučen na master dílu, který byl určen laboratoří pro co nejpřesnější referenci, okolo jednotlivých pozic P1 až P7 bylo vytyčeno pole, dle maximálních dovolených odchylek, viz. Tabulka 2: Seznam tolerancí ke kontrole.

Pokud není splněna poloha socketů, přejde se na další kontrolu a po vyhodnocení celého kusu je díl poslán na předělání, to samé platí pro čistotu funkčních ploch, s tím rozdílem, že u nečistoty plochy stále proběhne kontrola závitu, zatímco u polohy se proces kontroly závitu ani nezkouší.

Jelikož kontrolovaný díl nemá homogenní rozmístění kontrolovaných BOSS socketů je nutné korigovat rozdílné souřadnice vůči master dílu. Kamerový systém poté předá informaci robotu, který upraví svoji trajektorii tak, aby najel přesně nad utahovací jednotku a započal proces šroubování

3.3.2 Utahovací jednotky

Utahovací jednotky postupují dle programu, který řídí jejich kontrolér, každá utahovací jednotka má svoji vlastní jednotku a vlastní program, dle kterého se řídit. Posloupnost utahovacího programu je:

- 1) Povolení na úhel – Sestava se začne otáčet a je ostrikována stlačeným vzduchem tak, aby se odstředivou silou a proudem vzduchu jednotlivé kalibry očistily od nečistot
- 2) Utažení na úhel – Tento krok už je samotné šroubování kalibru do závitu, těsně před koncem utáhnutí se přejde na krok 3
- 3) Utažení na moment – poslední krok samotného šroubování, slouží k došroubování na konečnou hloubku závitu
- 4) Povolení na úhel – Odšroubování a přechod na další kontrolu, poslední fáze procesu

Každý z jednotlivých kroků má nastavené své limity, které určují, zda se přejde na další fázi procesu, či bude závit vyhodnocen jako vadný. Program je nastaven tak, že při zjištění nedostatečného momentu, či překročení maximálního, dojde k povolení a pokusu o opětovné zašroubování, může se totiž stát, že v cestě kalibru byla okuje a první pokus okuji odstraní, pokud se ani na podruhé nepodaří projet programovou posloupností je závit označen za vadný.

Grafický průběh utahování a programová posloupnost pro kontrolu P1(M20) v příloze.

3.4 Zhodnoťte očekávaný přínos navržených opatření

Tabulka 8: Zhodnocení stavu

Nalezené kritické body	Původní stav
I. Nerovnoměrné využití operátorů	Při původním rozložení linky měl operátor na kontrolu závitů vyšší fyzický objem práce, než ostatní.
II. Ergonomické riziko	Manipulace s dílem těsně pod pasem člověka $\pm 80\text{cm}$
III. Zvýšená lidská chybovost	Sebekontrola po každé operaci/procesu
Provedená/navrhnutá opatření	Po optimalizaci
Odebrání manuální stanice na kontrolu závitů. Odebrání operátora. Přidání poloautomatické stanice na kontrolu závitů	Rovnoměrnější rozložení manuální práce na operátora. Stabilnější čas cyklu linky. Snížení nákladů na výměnu kalibrů. Odstraněná nutnost proškolit operátory na kontrolu závitů. Ušetření financí za operátora. Nulové reklamace od doby instalace.

Všechny nalezené kritické body byly odstraněny, pomocí implementace navržených opatření. Díky těmto opatřením došlo k odstranění kritických problémů a optimalizovaly se zmíněné ukazatele, jako např. stabilnější čas cyklu linky, který se nově pohybuje na 54s oproti 55-60s před optimalizací.

Zhodnocení a závěr

Předložená práce se zabývala analýzou materiálového toku výrobního podniku. Společnost, v které probíhala analýza, byla Faurecia automotive, divize clean mobility, která se zabývá výrobou katalytických konvertorů. Práce je rozdělena na dvě části, kde první část je věnována metodám a postupům potřebných pro analýzu, stanovení a identifikace nalezeného problému a je zde proveden bližší rozbor nalezených nedostatků. Druhá část se zabývá návrhy na zlepšení a jejich implementací a výzvy, které při implementaci nastaly. Je zde popsán i starý proces vs proces po optimalizaci.

Při kvartální mapování materiálového toku se zjistil nedostatek na finální svařovací lince NEO. Při bližším rozboru linky byli zjištěny následující nedostatky, nerovnoměrná pracovní náplň operátorů, zvýšená lidská chybovost při kontrole a ergonomické riziko pro operátora. V rámci optimalizace byli navrženy úpravy, odebrání jednoho operátora z linky a přidání poloautomatické cely na kontrolu závitů, kde vizuální kontrola bude provedena laserovým snímačem a manipulace dílu bude zajištěna robotem.

Po instalaci cely na kontrolu závitů se zlepšily tyto ukazatele:

- Stabilnější čas cyklu linky
 - Původní čas operace trval operátorovi 55-60s. Nove stabilně 54s
- Snížení nákladů na výměnu kalibrů
 - Původně výměna po 16k cyklech, nově 100k cyklů
- Snížení nároku na školení operátorů
- Odebrání operátora na směnu
 - Tři směny, tedy 3 operátoři za den, 15 za pracovní týden.
 - Ušetření 15ti operátoru během týdne
- Od instalace žádná reklamace

Kromě založení a vyložení z cely na kontrolu závitů se lidský faktor při kontrole omezil téměř na nulu, není proto nutné, aby byl díl vizuálně či ručně kontrolován. Po určité době je operátor vyzván, aby došlo k výměně kontrolních kalibrů, ale i zde je zaručené, že nemůže dojít k záměně mezi jednotlivými sestavami. Pokud dojde k detekci nevyhovujícího dílu, je operátor vizuálně upozorněn a díl je transportován do reworkovací

stanice, kde díl opraví oprávněná osoba, není tedy nutné, aby se operátor snažil díl opravit na místě.

Projekt předčil všechna stanovená očekávání a zároveň přinesl i bonusy, jako je zvýšení životnosti kalibračních sestav. Pořizovací a dodatečné ceny projektu 220k€.

Projekt byl velkým úspěchem, který se po několika měsících provozů sám zaplatil. Během sériové výroby se ale stále přichází na nové nedostatky a možná zlepšení. Projekt se dostatečně osvědčil tak, že v budoucích letech je v plánu implementovat podobný princip i v jiných závodech a na všechny sesterské linky.

Literatura

- [1] HIROYUKI, H.: *5S pro operátory: 5 pilířů vizuálního pracoviště*. [Brno]: SC&C Partner, c2009. Shopfloor series. ISBN 978-80-904099-1-0.
- [2] IMAI, Masaaki. *Gemba Kaizen*. Brno: Computer Press, 2005. Business books (Computer Press). ISBN 80-251-0850-3.
- [3] KOŠTURIÁK, Ján a Zbyněk FROLÍK. *Štíhlý a inovativní podnik*. Praha: Alfa Publishing, 2006. Management studium. ISBN 80-86851--38-9.
- [4] KERŤKOVSKÝ, Miloslav. *Moderní přístupy k řízení výroby*. 2. vyd. V Praze: C.H. Beck, 2009. C.H. Beck pro praxi. ISBN 978-80-7400-119-2.
- [5] Procesní přístup [online] 2023. [cit. 24.3.2023]. Dostupné z: <https://kvalita-jednoduse.cz/procesni-pristup/>
- [6] Catalytic convertor [online] 2023. [cit. 24.3.2023]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Catalytic_converter
- [7] Řízení zásob a logistického řetězce [online] 2023 [cit. 14.05.2023]. Dostupné z: <https://www.techportal.cz/33/priprava-vyjednavani-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EoSF6RcLfOnl999WdpzAgdA/>
- [8] Lean Six Sigma [online] 2023 [cit. 15.05.2023]. Dostupné z: <https://www.leansixsigmadefinition.com/>
- [9] BORRIS, Steve. *Total Productive Maintenance: Proven Strategies and Techniques to Keep Equipment Running at Maximum Efficiency*. 1. vyd. V New York: McGraw Hill, 2006. ISBN 978-0071467339.
- [10] VSM [online] 2023 [cit. 15.05.2023]. Dostupné z: <https://www.cybermedian.com/pl/what-is-value-stream-mapping/>
- [11] Value Based Management [online] 2023 [cit. 15.05.2023]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/287639011_Value_Based_Management_with_Corporate_Social_Responsibility
- [12] Faurecia [online] 2023 [cit. 15.05.2023]. Dostupné z: <https://www.faurecia.com/en>

Přílohy

Utahovací program pro P1(M20):

Povolení na úhel

Povolení na úhel	Monitory	Omezení
Jméno <input type="text" value="Zachyceni"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Špičkový moment	<input type="checkbox"/> Maximální čas
Kategorie kroku <input type="text" value="Žádné"/>	Nízký limit <input type="text" value="0.00"/> Nm	Vysoký limit <input type="text" value="5.00"/> s
Rychlost <input type="text" value="1 400"/> ot./min	Vysoký limit <input type="text" value="4.00"/> Nm	
Typ rampy rychlosti <input type="text" value="Tvrký"/>		
Cílový úhel <input type="text" value="180.0"/> °		
<input type="checkbox"/> Přidat rychlostní posun		
Typ brzdy <input type="text" value="Zarážka Ergo"/>		
Adaptivní brzda Vyp. <input type="checkbox"/> Zap. <input checked="" type="checkbox"/>		

Obr.64: Krok 1. Povolení na úhel

Utažení na úhel

Utažení na úhel	Monitory	Omezení
Jméno <input type="text" value="Kontrola zavitu"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Špičkový moment	<input type="checkbox"/> Maximální čas
Kategorie kroku <input type="text" value="Doběh"/>	Nízký limit <input type="text" value="0.00"/> Nm	Vysoký limit <input type="text" value="5.00"/> s
Rychlost <input type="text" value="300"/> ot./min	Vysoký limit <input type="text" value="4.50"/> Nm	<input type="checkbox"/> Maximální moment
Typ rampy rychlosti <input type="text" value="Tvrký"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Úhel	Vysoký limit <input type="text" value="4.50"/> Nm
Cílový úhel <input type="text" value="1 750.0"/> °	Podmínka zastavení Vypínací úhel <input type="text" value=""/>	
Úhel rychlostního posunu <input type="text" value=""/>	Nízký limit <input type="text" value="1 550.0"/> °	
Úhel spuštění <input type="text" value="1 100"/> °	Vysoký limit <input type="text" value="2 000.0"/> °	
Rychlost <input type="text" value="250"/> ot./min.	Spouštěcí moment <input type="text" value=""/> Nm	
Typ <input type="text" value="Tvrký"/>		
<input type="checkbox"/> Přidat rychlostní posun		

Obr.65: Krok 2. Utažení na úhel

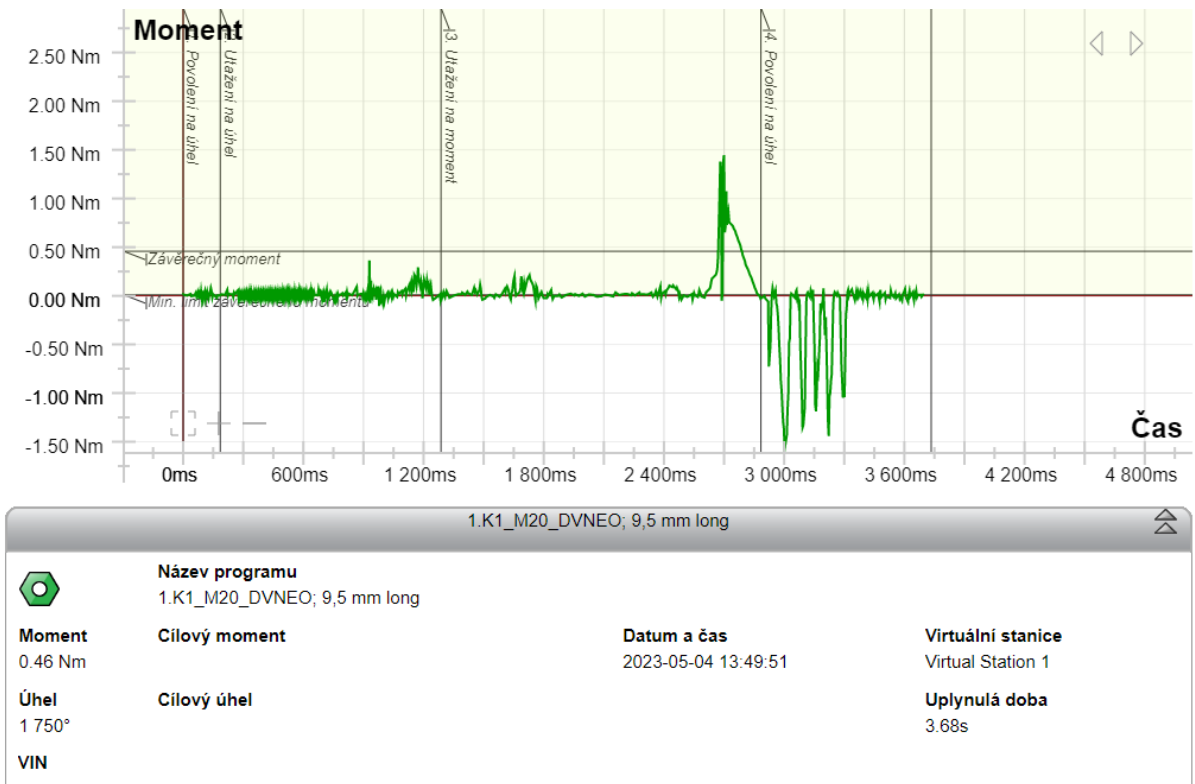
Utažení na moment	Monitory	Omezení
Jméno: <input type="text" value="Hledání konce"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Špičkový moment	<input type="checkbox"/> Maximální čas
Kategorie kroku: Závěrečný	Nizký limit: <input type="text" value="1.30"/> Nm	Vysoký limit: <input type="text" value="5.00"/> s
Rychlost: <input type="text" value="80"/> ot./min	Vysoký limit: <input type="text" value="4.80"/> Nm	<input type="checkbox"/> Maximální úhel
Typ rampy rychlosti: Tvrký	<input checked="" type="checkbox"/> Úhel	Vysoký limit: <input type="text" value="1 000.0"/> °
Cílový moment: <input type="text" value="1.30"/> Nm	Podmínka zastavení: Špičkový úhel	Spouštěcí moment: <input type="text"/> Nm
<input checked="" type="checkbox"/> Přidat rychlostní posun	Nizký limit: <input type="text" value="0.0"/> °	<input type="checkbox"/> Maximální moment
Typ brzdy: Zarážka Ergo	Vysoký limit: <input type="text" value="900.0"/> °	Vysoký limit: <input type="text" value="4.90"/> Nm
Adaptivní brzda: Vyp. <input type="radio"/> Zap. <input checked="" type="radio"/>	Spouštěcí moment: <input type="text"/> Nm	

Obr.66: Krok 3. Utažení na moment

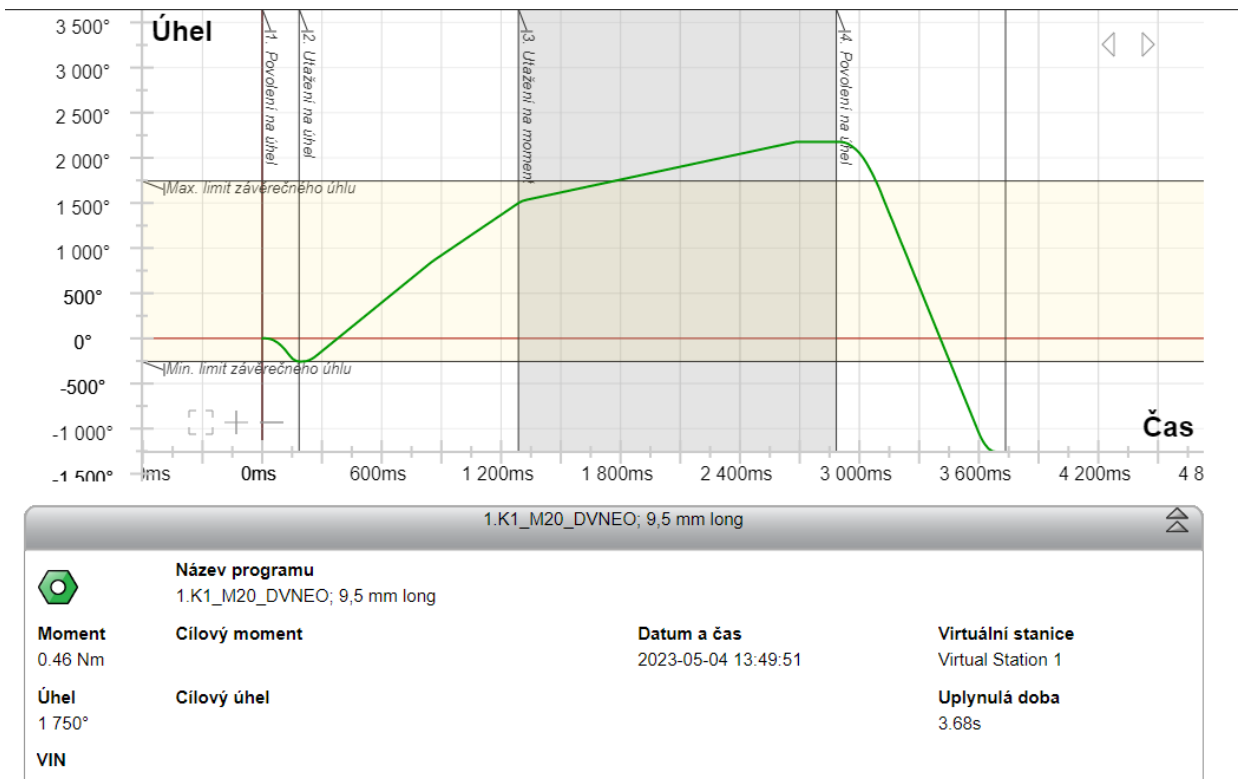
Povolení na úhel	Omezení
Jméno: <input type="text" value="Povolení"/>	<input type="checkbox"/> Maximální čas
Kategorie kroku: Žádné	Vysoký limit: <input type="text" value="5.00"/> s
Rychlost: <input type="text" value="900"/> ot./min	<input type="checkbox"/> Maximální moment
Typ rampy rychlosti: Tvrký	Vysoký limit: <input type="text" value="6.00"/> Nm
Cílový úhel: <input type="text" value="3 200.0"/> °	
<input checked="" type="checkbox"/> Přidat rychlostní posun	
Typ brzdy: Zarážka Ergo	
Adaptivní brzda: Vyp. <input type="radio"/> Zap. <input checked="" type="radio"/>	

Obr.67: Krok 4. Povolení na úhel

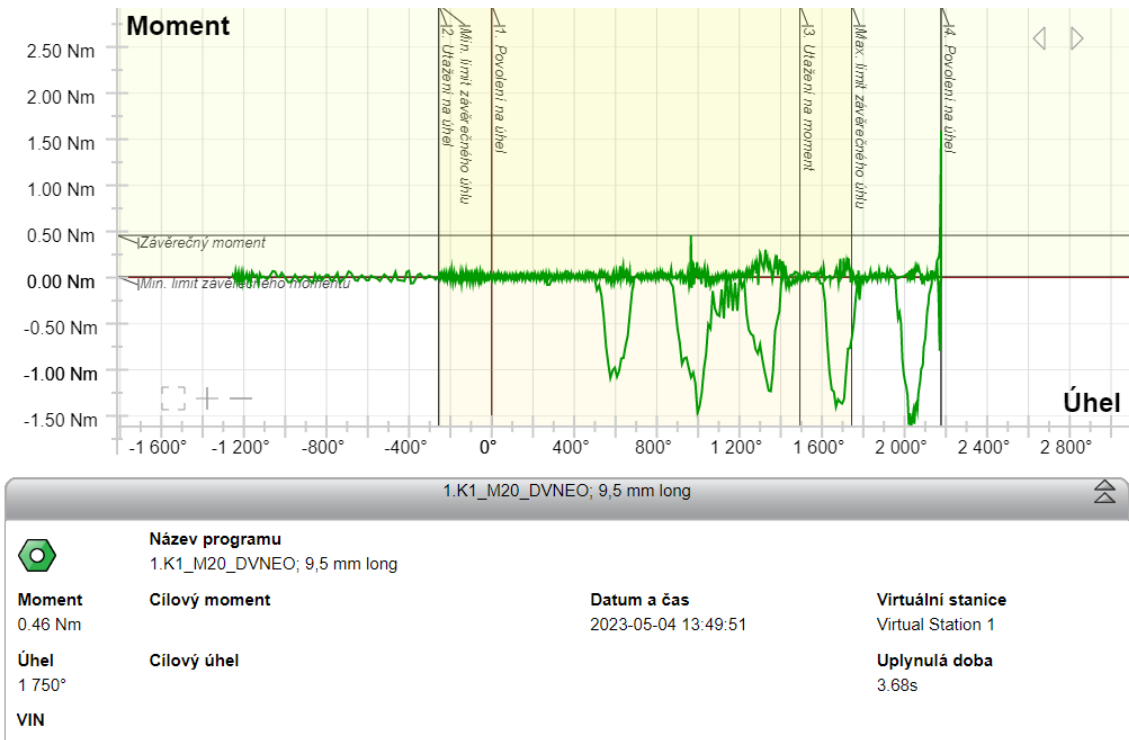
Průběhy utahování pro P1(M20):



Obr.68: 1. Průběh Momentu



Obr.69: Průběh Úhlu



Obr.70: 2. Průběh momentu