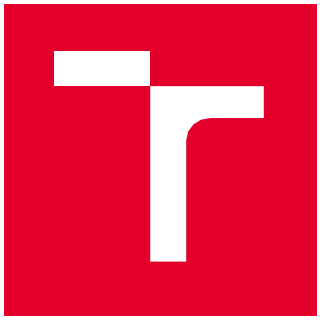


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA PODNIKATELSKÁ

FACULTY OF BUSINESS AND MANAGEMENT

ÚSTAV MANAGEMENTU

INSTITUTE OF MANAGEMENT

NÁVRH OPTIMALIZACE MONTÁŽNÍ LINKY

SOFTWARE SUPPORT OF PRODUCTION MANAGEMENT PROCESSES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Bc. Ondřej Janovský

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. Zdeňka Videcká, Ph.D.

SUPERVISOR

BRNO 2025

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA PODNIKATELSKÁ

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav managementu
Student:	**Bc. Ondřej Janovský**
Vedoucí práce:	**Ing. Zdeňka Videcká, Ph.D.**
Akademický rok:	2024/25
Studijní program:	Strategický rozvoj podniku

Garant studijního programu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně zadává diplomovou práci s názvem:

Návrh optimalizace montážní linky

1. Charakteristika problematiky úkolu:

Úvod
Vymezení problému a cíle práce
Teoretická východiska práce
Analýza stávajícího stavu výrobního procesu
Návrh zlepšení montážní linky
Zhodnocení přínosu návrhu řešení
Závěr
Seznam použité literatury
Přílohy

2. Cíle, kterých má být dosaženo:

Práce je zaměřena na návrh zlepšení montážní linky. Řešení je založeno na detailní analýze výrobního procesu a využití metod štíhlé výroby. Cílem je redukce ztrát, které povedou ke zvýšení OEE. Součástí návrhu je jeho zhodnocení.

3. Základní literární prameny:

LIKER, Jeffrey K. Tak to dělá Toyota: 14 zásad řízení největšího světového výrobce. Praha: Management Press, 2007. ISBN 978-80-7261-173-7.

PATERMANN, Jiří. Lean dílenské řízení: Je čas změnit vaši dílnu. Grada, 2022. ISBN 8027135346.

RICH, Nick; BATEMAN, Nicola; ESAIN, Ann; MASSEY, Lynn a SAMUEL, Donna. Lean Evolution: Lessons from the Workplace. 9780521843447. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. ISBN 9780521843447.

SVOZILOVÁ, Alena. Zlepšování podnikových procesů. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247- 3938-0.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2024/25

V Brně dne 9.2.2025

L. S.

doc. Ing. Vít Chlebovský, Ph.D. garant	prof. Ing. et Ing. Stanislav Škapa, Ph.D. děkan

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá optimalizací procesu manuální montážní linky se zaměřením na redukci ztrát OEE (Overall Equipment Effectiveness). V teoretické části jsou představeny principy štíhlé výroby, metodiky pro hodnocení a řízení výrobních procesů, přístupy k ergonomii a možnosti jejich využití při navrhování efektivnějších pracovních systémů. Dále jsou vysvětleny základní pojmy procesního řízení, principy tahu a tlaku ve výrobě a základy nivelizace výroby. Praktická část je zaměřena na analýzu současného stavu montážní linky, identifikaci hlavních ztrát a návrh opatření vedoucích ke zlepšení celkové efektivity zařízení a pracovních podmínek. Součástí práce je i návrh přestavby linky s cílem snížení svalové zátěže pracovníků, a odhad ekonomického přínosu zavedených změn.

Klíčová slova

OEE, montážní linka, svalová zátěž, optimalizace procesu, štíhlá výroba

Abstract

This thesis focuses on the optimization of a manual assembly line process i, with an emphasis on reducing OEE (Overall Equipment Effectiveness) losses. The theoretical part introduces the principles of lean manufacturing, methodologies for evaluating and managing production processes, ergonomic approaches, and their application in designing more efficient work systems. It also explains key concepts of process management, the push and pull production principles, and basics of production leveling. The practical part is dedicated to analyzing the current state of the assembly line, identifying major sources of loss, and proposing improvement measures aimed at enhancing equipment effectiveness and working conditions. The work includes a redesign proposal of the line to reduce muscle stress of operators and an estimation of the economic benefits resulting from the implemented changes.

Keywords

OEE, assembly line, muscle stress, process optimization, lean production

Bibliografická citace

JANOVSKÝ, Ondřej. *Návrh optimalizace montážní linky* [online]. Brno, 2025 [cit. 2025-05-12]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/168461. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, Ústav managementu. Vedoucí práce Ing. Zdeňka Videcká, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušil autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne 12. 5. 2025

Bc. Ondřej Janovský

autor

Poděkování

Děkuji tímto paní Ing. Zdeňce Videcké, Ph.D. za připomínky a rady, poskytla při vypracování diplomové práce.

Dále bych také chtěl poděkovat firmě Bosch Powertrain s.r.o., že mi umožnila vypracovávat diplomovou práci a poskytla mi potřebné podklady k vypracování

Obsah

1. CHARAKTERISTIKA PROBLEMATIKY ÚKOLU: 1

2. CÍLE, KTERÝCH MÁ BÝT DOSAŽENO: 1

3. ZÁKLADNÍ LITERÁRNÍ PRAMENY: 1

OBSAH 7

ÚVOD 10

1. METODIKA DIPLOMOVÉ PRÁCE 11

1.1 CÍL PRÁCE 11

1.2 STRUKTURA ŘEŠENÍ 11

1.3 POUŽITÉ METODY 11

1.4 PRACOVNÍ PROSTŘEDÍ A ZDROJE DAT 12

2. LITERÁRNÍ REŠERŠE 13

2.1 PROCES 13

2.1.1 Definice procesu 13

2.1.2 Charakteristiky procesu 13

2.1.3 Subprocesy 15

2.2 OEE 15

2.2.1 Definice a složky OEE 15

2.2.2 Význam OEE v automobilovém průmyslu 16

2.2.3 Identifikace ztrát pomocí OEE 17

2.2.4 Zlepšení OEE a optimalizace výrobního procesu 18

2.2.5 Využití OEE v praxi 18

2.3 PRINCIPY VÝROBNÍHO PLÁNOVÁNÍ VE ŠTÍHLÉ VÝROBĚ 19

2.3.1 Princip tahu a tlaku 19

2.3.2 Nivelizace 19

2.3.3 Přínosy v praxi 20

2.4 ERGONOMIE VE VÝROBĚ 20

2.4.1 Význam ergonomie v automobilovém průmyslu 20

2.4.2 Principy ergonomie 21

2.4.3 Ergonomické přístupy v praxi 21

2.4.4 Ergonomie v kontextu štíhlé výroby a kvality 22

2.4.5 Význam ergonomie pro produktivitu ... *23*
2.4.6 Vliv TPM na ergonomii ... *23*
2.4.7 Lokální svalová zátěž ... *23*
2.5 STANDARDIZACE PRACOVNÍCH PROCESŮ ... 24
2.5.1 Principy standardizace pracovních procesů ... *25*
2.5.2 Význam standardizace pro snížení variability ... *25*
2.5.3 Standardizace pracovních postupů v automobilovém průmyslu ... *26*
2.5.4 Implementace standardizace v praxi ... *26*
2.6 ZLEPŠOVÁNÍ KVALITY A TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE (TPM) ... 27
2.6.1 Total Productive Maintenance (TPM) ... *27*
2.6.2 TPM a zlepšení kvality ... *28*
2.6.3 Výhody TPM v automobilovém průmyslu ... *29*
2.6.4 Implementace TPM na montážní linky ... *29*
2.7 METODY OPTIMALIZACE PRACOVNÍ ERGONOMIE ... 30
2.7.1 Identifikace problémů v oblasti ergonomie ... *30*
2.7.2 Metody zlepšení ergonomie pracovních procesů ... *30*
2.7.3 Výhody optimalizace ergonomie ... *32*
2.8 IMPLEMENTACE A MONITORING ZMĚN V PROCESU OPTIMALIZACE ... 32
2.8.1 Příprava a plánování implementace ... *32*
2.8.2 Implementace změn a školení pracovníků ... *33*
2.8.3 Monitoring a vyhodnocení účinnosti změn ... *33*
2.8.4 Cyklus zlepšování a dlouhodobé monitorování ... *34*
2.8.5 Případová studie implementace změn v automobilovém průmyslu ... *34*
2.9 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ PŘÍNOSŮ OPTIMALIZACE ... 35
2.9.1 Snížení přímých nákladů ... *35*
2.9.2 Snížení nákladů na nemocnost a fluktuaci ... *35*
2.9.3 Nákladová analýza ve vazbě na OEE ... *35*
2.9.4 Návratnost investice (ROI) do zlepšení ... *36*
2.9.5 Pokročilé nákladové přístupy ... *36*
3. PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI ... 37
3.1 HLAVNÍ VÝROBNÍ PROGRAM ZÁVODU V JIHLAVĚ ... 38
3.2 VÝROBNÍ TECHNOLOGIE A KVALITA ... 38
3.3 STRATEGICKÝ VÝZNAM ... 39

4. ANALÝZA 40

4.1 Popis vyráběného produktu 40

4.2 Popis montážní linky a výrobního procesu 42

4.3 Analýza dat z hodinového sledování 49

4.4 Výchozí stav svalové zátěže 52

4.5 Závěr analýzy 53

5. NÁVRH ŘEŠENÍ, REALIZACE A OVĚŘENÍ 54

5.1 Změna systému plánování 54

5.2 Návrh přestavby montážní linky 56

5.3 Měření svalové zátěže a následné vyhodnocení 58

5.4 Druhé měření svalové zátěže 62

6. ZHODNOCENÍ PŘÍNOSU NAVRŽENÝCH ŘEŠENÍ 65

6.1 Úspora přímých nákladů 65

6.2 Návratnost investic 66

7. DOPAD NOVÉ LEGISLATIVY Z ROKU 2024 NA PRŮBĚH PROJEKTU 68

7.1 Optimalizace času výrobního cyklu 69

8. ZHODNOCENÍ PŘÍNOSŮ OPTIMALIZACE VÝROBNÍCH CYKLŮ 73

8.1 Úspora přímých nákladů 73

8.2 Návratnost investic 75

9. ZÁVĚR 77

10. BIBLIOGRAFIE 80

Seznam použitých obrázků 82

Seznam použitých grafů 83

Seznam použitých tabulek 83

Úvod

Automobilový průmysl patří mezi klíčová odvětví zpracovatelského průmyslu a je charakteristický vysokou komplexitou výrobních procesů, důrazem na kvalitu, bezpečnost, spolehlivost a současně i tlaky na neustálé snižování nákladů a zkracování doby dodání. Výrobní proces v automotivu představuje souhrn navazujících operací zahrnujících nejen samotnou montáž, ale i výrobu jednotlivých dílů, jejich kontrolu, logistiku a distribuci. Efektivita těchto procesů má přímý dopad na výrobní náklady celé linky, a tím i na konkurenceschopnost a ziskovost podniku (Womack, a další, 1990) (Liker, 2007).

Současné výrobní závody v automobilovém průmyslu čelí rostoucím požadavkům na flexibilitu výroby, zkracování vývoje nových modelů a současně na dodržení přísných kvalitativních standardů. V tomto prostředí je nezbytné neustále optimalizovat výrobní procesy – nejen za účelem zvýšení výkonnosti, ale i pro zajištění dlouhodobé stability a konkurenceschopnosti (Salvendy, 2012).

Optimalizace výrobních procesů není pouze nástrojem pro zvyšování efektivity. Představuje komplexní přístup, který zahrnuje redukci neplánovaných prostojů, omezení výrobních chyb, zlepšení ergonomie pracovišť a efektivnější využití lidských i materiálových zdrojů. V podmínkách montážních linek, kde každá sekunda rozhoduje o celkovém výkonu, mohou i drobné změny přinést významné přínosy v podobě vyšší kapacity, snížení nákladů a zvýšení bezpečnosti práce (Boothroyd, a další, 2010).

Tato diplomová práce se zaměřuje na analýzu a optimalizaci montážního procesu v konkrétní části výroby v automobilovém podniku. Cílem je identifikovat oblasti s potenciálem pro zlepšení, zvolit vhodné metody pro jejich analýzu a následně navrhnout konkrétní opatření, která povedou ke snížení ztrát v ukazateli OEE (Overall Equipment Effectiveness) a zároveň ke snížení svalové zátěže pracovníků prostřednictvím ergonomických úprav. Výsledkem práce bude návrh změn vedoucích k efektivnějšímu, bezpečnějšímu a nákladově výhodnějšímu provozu montážní linky.

1. Metodika diplomové práce

1.1 Cíl práce

Cílem této diplomové práce je navrhnout řešení, které cílí na redukci ztrát OEE, za pomocí optimalizace plánování za pomocí principů štíhlé výroby a přestavby výrobní linky s cílem zlepšení ergonomie. Důraz je kladen na využití nástrojů průmyslového inženýrství, principů lean managementu a vyhodnocení ekonomického přínosu navržených opatření s cílem minimalizace přímých nákladů.

1.2 Struktura řešení

Práce je rozdělena do několika částí:

- **Teoretická část** obsahuje rešerši odborné literatury zaměřenou na problematiku výrobních procesů, ergonomie, principů štíhlé výroby a metod optimalizace.
- **Analytická část** zahrnuje popis stávajícího stavu montážní linky, zmapování procesu, identifikaci problémových oblastí a měření klíčových parametrů (čas, zatížení pracovníků, zmetkovitost, prostoj).
- **Návrhová část** se zabývá zpracováním konkrétních návrhů na zlepšení s využitím nástrojů jako je například analýza MTM, OEE, ergonomické zásady nebo optimalizace plánování.

1.3 Použité metody

Pro řešení problematiky budou využity následující metody:

- **Analýza pracovního procesu** – mapování pomocí procesních diagramů a pozorování na pracovišti.
- **Časové studie a měření práce** – měření operací pomocí metody chronometráže, případně využití metod MTM (Methods-Time Measurement) pro normování práce.
- **Metoda OEE (Overall Equipment Effectiveness)** – pro hodnocení efektivity využití výrobních kapacit a identifikaci ztrátových časů.

- **Analýza ergonomie** – hodnocení pracovního místa z hlediska ergonomických principů a měření svalové zátěže.
- **Hodnocení přínosu zlepšení** – výpočet předpokládané úspory nákladů na základě obecných ekonomických modelů (např. úspora zkrácením času výrobního cyklu, snížení prostojů apod.).

1.4 Pracovní prostředí a zdroje dat

Analýza bude provedena na základě údajů získaných v konkrétním podniku působícím v automobilovém průmyslu. Podklady zahrnují:

- Výrobní dokumentaci,
- Přímé pozorování na lince,
- Rozhovory s operátory a mistry,
- Statistická data z výrobního systému (např. SAP, MES),
- Interní hodnotící reporty (Hodinové sledování, diagram výrobních cyklů).

2. Literární rešerše

2.1 Proces

Procesy jsou základním prvkem každé organizace a představují souhrn činností, které vedou k dosažení určitého cíle. Setkáváme se s nimi každý den a často si jich ani nevšimneme. Ať už jde o přípravu jídla, montáž automobilových dílů nebo řízení logistického řetězce, procesy jsou všude kolem nás. Procesy neznamenají pouze výrobní činnosti, ale jakékoliv činnosti, které přetvářejí vstupy na výstupy, ať už v podobě výrobků, služeb nebo jiných výstupů. Tento pojem zahrnuje jak výrobní, tak administrativní nebo logistické procesy, které se používají k dosažení požadovaných výsledků.

2.1.1 Definice procesu

Proces organizovaná skupina vzájemně souvisejících činností a subprocesů, které procházejí jedním nebo více organizačními útvary. Procesy spotřebovávají materiální, lidské, finanční a informační vstupy, a jejich výstupem je produkt, který má hodnotu pro interní nebo externího zákazníka. Tento pohled na proces ukazuje, že jde o soubor aktivit, které mohou být vykonávány v rámci jednoho podniku nebo mezi různými organizacemi (mezipodnikové procesy, jako například dodavatelské řetězce). Procesy tak nejen produkují konkrétní výrobky, ale i služby, informace či jiné výstupy, které mají přidanou hodnotu (Šmída, 2007).

Tato definice ukazuje, že procesy nejsou omezeny pouze na výrobní aktivity, ale mohou zahrnovat široké spektrum činností napříč celým podnikem. Důležité je, že každý proces má definovaný začátek a konec, ale může se neustále opakovat v rámci výrobního cyklu nebo jiného podnikatelského rámce (Grasseová, a další, 2008).

2.1.2 Charakteristiky procesu

Pro správné pochopení a řízení procesu je nezbytné zaměřit se na několik klíčových charakteristik, které definují proces a umožňují jeho efektivní správu. Mezi základní charakteristiky procesu patří:

- **Definovatelnost**: Každý proces musí být jasně definován. To znamená, že musí být stanoveny všechny kroky, činnosti, účastníci a prostředky, které jsou

nezbytné pro dosažení požadovaného výsledku. Bez jasné definice není možné správně řídit a monitorovat proces. To zahrnuje nejen stanovení cílů, ale i rozdělení aktivit na jednotlivé subprocesy a přiřazení odpovědností (Svozilová, 2011)).

- **Měřitelnost**: Pro efektivní řízení procesů je nezbytné stanovit měřítka, která umožní hodnotit výkon procesu. Měření výstupů, časových intervalů, nákladů nebo kvality pomáhá odhalit neefektivní části procesu a identifikovat oblasti pro zlepšení. Různá měřítka, jako jsou doba trvání jednotlivých operací, využití pracovních sil nebo zmetkovost, umožňují měřit a hodnotit výkonnost procesu, což je základ pro rozhodování o optimalizaci (Petřík, 2007).
- **Účelnost**: Každý proces musí mít jasný účel, který je definován jako splnění určité potřeby zákazníka, ať už interního nebo externího. Účelnost procesu je klíčová pro určení jeho smyslu a cíle. Procesy, které nemají zřejmý účel nebo nedodávají hodnotu, mohou vést k plýtvání prostředky a neefektivitě. Z tohoto důvodu je třeba pravidelně přehodnocovat procesy a eliminovat neefektivní nebo nepotřebné kroky (Svozilová, 2011).
- **Efektivita, produktivita a výkonnost**: Procesy by měly být navrženy tak, aby využívaly dostupné zdroje co nejefektivněji. To znamená minimalizaci plýtvání (časem, materiálem, pracovní silou) a maximalizaci výstupů. Efektivní procesy zajišťují vysokou produktivitu při současném zachování kvalitativních standardů. Zlepšení efektivity procesů může vést k významným úsporám a zvýšení ziskovosti podniku (Petřík, 2007).
- **Kontrolovatelnost**: Proces musí být sledovatelný, aby bylo možné včas identifikovat jakékoli odchylky od stanovených parametrů a přijmout nápravná opatření. Kontrolování procesů zahrnuje nejen monitorování výsledků, ale i analýzu příčin problémů a návrhy na optimalizaci. Tato kontrola je možná díky zavedení správných nástrojů pro sledování a vyhodnocování výkonu (Petřík, 2007).
- **Přizpůsobivost**: Procesy musí být dostatečně flexibilní, aby reagovaly na změny v prostředí. V dynamickém podnikatelském světě je klíčové, aby procesy byly schopny reagovat na nové výzvy, technologické inovace nebo změny v požadavcích zákazníků. Tato přizpůsobivost je zvlášť důležitá v odvětvích, jako

je automobilový průmysl, kde rychlé přizpůsobení výrobních procesů může znamenat významnou konkurenční výhodu (Svozilová, 2011).

2.1.3 Subprocesy

Každý proces je tvořen dílčími kroky, které se nazývají subprocesy. Tyto subprocesy jsou jednotlivé činnosti, které jsou součástí hlavního procesu, a jejich úspěšné vykonání je klíčové pro efektivní dokončení celkového procesu. Subprocesy mohou být jak manuální, tak automatizované, a jejich optimalizace je nezbytná pro zajištění co nejvyšší efektivity celkového procesu. Subprocesy jsou obvykle dobře definovány a měřeny, což umožňuje podrobnější analýzu a zlepšení výkonu v konkrétních oblastech (Svozilová, 2011).

2.2 OEE

Overall Equipment Effectivness, neboli celková efektivnost zařízení. Jedná se o kvantitativní ukazatel efektivnosti výrobního zařízení nebo celého výrobního procesu. Tento způsob měření efektivnosti procesu je často využíván pro svou jednoduchost a přehlednost. Jedná se o rychlou metodu pro efektivní vyhodnocení nasbíraných dat z výroby.

2.2.1 Definice a složky OEE

OEE kombinuje tři klíčové faktory:

1. **Dostupnost (Availability):** měří, jak efektivně je stroj nebo linka využívána. To se vypočítává jako podíl doby, kdy je zařízení skutečně v provozu, ku plánované dostupnosti. Vzorec pro dostupnost je následující:

$$Dostupnost = \frac{Provozní\ čas}{Plánovaný\ provozní\ čas}$$

   Prostoje mohou být způsobeny různými faktory, jako jsou poruchy zařízení nebo plánované údržby.

2. **Výkon (Performance):** hodnotí, jak rychle zařízení nebo linka pracuje v porovnání s maximálními možnými hodnotami. Tento ukazatel zohledňuje

ztráty způsobené zpomalením procesu nebo častými změnami výroby. Vzorec pro výkon je následující:

$$Výkon = \frac{Skutečný\ výkon}{Plánovaný\ provozní\ čas}$$

3. **Kvalita (Quality):** Měří, kolik vyrobených produktů splňuje požadovanou kvalitu bez potřeby oprav či přepracování.

$$Kvalita = \frac{Počet\ dobrých\ kusů}{Celkový\ počet\ vyrobených\ kusů}$$

Celkové OEE počítáme jako součin těchto tří klíčových faktorů

$$OEE = Dostupnost \times Výkon \times Kvalita$$

Kde jsou jednotlivé složky většinou vyjádřeny v procentech, a tedy i výsledné OEE je procentem skutečného efektivního využitého času výroby (ISO 22400-2:2014, 2014).

2.2.2 Význam OEE v automobilovém průmyslu

V automobilovém průmyslu je OEE nezbytný pro identifikaci a eliminaci ztrát, které ovlivňují efektivitu výrobních procesů. Výrobní linky jsou často vystaveny problémům jako jsou neplánované prostoje, nízký výkon zařízení a špatná kvalita produktů. Tyto problémy vedou k neefektivnímu využívání pracovních sil, strojů a materiálů, což zvyšuje výrobní náklady a snižuje konkurenceschopnost podniku (Boothroyd, a další, 2010).

OEE se také využívá pro monitorování úspěšnosti implementace štíhlé výroby, která má za cíl eliminovat plýtvání a zlepšit celkovou efektivitu. Aplikace metod štíhlé výroby vedla k významným zlepšením v oblasti OEE u Toyota, což se stalo vzorem pro celé automobilové odvětví. (Womack, a další, 1990)

2.2.3 Identifikace ztrát pomocí OEE

OEE je nástrojem, který pomáhá nejen měřit efektivitu, ale i identifikovat konkrétní oblasti pro zlepšení. Největší ztráty v OEE mohou pocházet z několika oblastí:

Neplánované prostoje: Mohou být způsobeny poruchami strojů, nedostatkem materiálu nebo selháním pracovníků (Nakajima, 1988).

Nízký výkon: To zahrnuje situace, kdy zařízení běží pomaleji, než je jeho teoretická maximální kapacita. Může jít o špatně nastavené stroje, dlouhé změny mezi výrobními cykly nebo neoptimální pracovní podmínky.

Kvalitativní problémy: Defekty v kvalitě výrobků vedou k nutnosti přepracování nebo likvidaci výrobků, což nejen zvyšuje náklady, ale také snižuje efektivitu montážní linky.

Klíčové faktory můžeme dále dělit dle ztrát, které daný faktor ovlivňují a hierarchicky seřadit dle jejich vlivu na výrobu samotnou. Ztráty jsou řazeny dle míry vlivu na OEE, a tedy ztráty ovlivňující dostupnost mají nejvyšší priorit, jelikož stroj samotný během nich není schopen výroby. Dále jsou ztráty ovlivňující výkon, který byl zařazen na druhé místo, jelikož stroj je schopný vyrábět shodné kusy, ale výroba je méně efektivní v omezeném provozu. Kvalitativní ztráty byly zařazeny na posledním místě, jelikož neovlivňují produkci pouze mají dopad na výstup výroby samotné. Tyto faktory se však mohou lišit dle konkrétních potřeb výrobní linky či podniku.

Organizační ztráty

Jedná se o ztrátu, která primárně ovlivňuje faktor dostupnosti. Tato ztráta převážně zahrnuje chyby při plánování, organizaci a řízení výroby. Typickými příklady jsou čekání na materiál, zaškolení, nedostatek pracovní síly, neplánované odstávky či blokace výroby. Tato ztráta byla zařazena na první místo, jelikož často může ovlivnit další typy ztrát a může to vést až k dominovému efektu, který výrazně ovlivní celkové OEE výroby daného dne (Nakajima, 1988).

Ztráty na přeseřízení

Ztráta ovlivňuje zejména faktor dostupnosti a jedná se o ztrátu, která je způsobena nastavováním stroje, kalibrací či přestavbou na jiný výrobní typ či výrobní nástroj. Jedná se tedy o ztracený čas, kdy mohl stroj efektivně vyrábět a neprobíhá během něj výroba žádná nebo pouze výrazně omezená, při které vznikají nastavovací kusy, které nemusejí být shodné, a tedy následně ovlivňují faktor kvality (Industries, 2011-2024).

Ztráty výkonu

Jak už název napovídá, jedná se o ztráty ovlivňující výkon výrobní linky. Tato ztráta vzniká, když zařízení pracuje pod svou optimální výrobní kapacitou. Nejčastěji je tato ztráta způsobena sníženou rychlostí zařízení či drobnými prostoji, které jsou častokrát způsobeny nepozorností personálu či pouhým odchodem na toaletu (Industries, 2011-2024).

Kvalitativní ztráty

Ztráta ovlivňuje faktor kvality a je způsobena výrobou vadných nebo neshodných produktů. Nejčastěji se tedy jedná o vadné výrobky, které vznikají během sériové výroby chybou operátora či vadou na montovaném či obráběném materiálu, vznikem neshodných výrobků během náběhu nové výroby nebo výrobou kalibračních kusů, které vznikají při přeseřízení na jiný typ (Industries, 2011-2024).

2.2.4 Zlepšení OEE a optimalizace výrobního procesu

Klíčovým cílem ve výrobním procesu dosáhnout co nejvyšší hodnoty OEE, což umožňuje optimalizovat využití zařízení a pracovních sil. Pro dosažení zlepšení je třeba implementovat zásady štíhlé výroby, jako je standardizace pracovních procesů, minimalizace prostojů a neustálé zlepšování (Kaizen) (Liker, 2007).

K dalším opatřením patří:

- **Preventivní údržba (TPM**), která má za cíl snížit neplánované prostoje a zlepšit dostupnost zařízení.
- **Trénink pracovníků** na identifikaci a řešení problémů, což vede k vyšší efektivitě a kvalitě.
- **Optimalizace pracovního prostoru a ergonomie**, které mohou pomoci snížit časové ztráty způsobené neefektivní organizací práce, odkládacích prostor a pozice materiálu.

2.2.5 Využití OEE v praxi

Pravidelná měření OEE umožňují sledovat vývoj efektivity montážní linky v reálném čase a identifikovat oblasti pro zlepšení. Implementace změn na základě analýzy OEE může vést k výrazným úsporám, snížení výrobních nákladů a zvýšení konkurenceschopnosti podniku (Svozilová, 2011).

2.3 Principy výrobního plánování ve štíhlé výrobě

Výrobní plánování je klíčovým nástrojem pro efektivní řízení výroby, a to jak z hlediska dodržení termínů, tak z hlediska nákladovosti a vytížení kapacit. V moderním výrobním prostředí, zejména v automobilovém průmyslu, se plánování stále více orientuje na principy štíhlé výroby. Mezi stěžejní prvky tohoto přístupu patří **systém tahu a tlaku**, **nivelizace** – nástroje, které pomáhají snížit plýtvání, vyrovnávat pracovní zatížení a zvyšovat flexibilitu.

2.3.1 Princip tahu a tlaku

Výrobní procesy lze řídit dvěma základními způsoby – systémem tahu (pull) nebo systémem tlaku (push).

- **Push systém** (tlakový) plánuje výrobu na základě předpokladů poptávky – výrobky jsou produkovány dopředu podle očekávané poptávky a posouvány dále procesem bez ohledu na aktuální potřebu následného pracoviště.
- **Pull systém** (tahový) funguje opačně – výroba je zahajována až tehdy, když přijde požadavek od následujícího procesu (např. od montážní linky nebo zákazníka). Tento přístup minimalizuje zásoby a umožňuje rychlou reakci na aktuální poptávku.

Systém tahu je základem **Just-in-Time (JIT)** filozofie, která je jedním z pilířů výrobního systému Toyota (Liker, 2007).

2.3.2 Nivelizace

V klasickém plánování jsou výrobní dávky často nerovnoměrné, což vede k přetěžování určitých dnů a poddimenzování jiných. Tento problém řeší princip nivelizace výroby, japonsky *heijunka*, který usiluje o vyrovnání objemu a mixu výroby.

- **Nivelizace objemu** – rozkládá objem výroby rovnoměrně v čase, čímž zajišťuje stabilní vytížení zařízení i pracovníků.
- **Nivelizace mixu** – rozděluje různé typy produktů rovnoměrně do celého dne nebo týdne, aby se zabránilo přetěžování jednoho typu montážní operace. (Liker, 2007).

Například místo toho, aby se v pondělí vyrábělo 100 kusů typu A, a v úterý 100 kusů typu B, *heijunka* rozvrhne plán tak, že se každý den vyrobí např. 50 ks A, a 50 ks B.

2.3.3 Přínosy v praxi

Správně nastavené principy výrobního plánování umožňují:

- rychlejší reakci na změny v poptávce,
- snížení zásob a rozpracovanosti,
- vyšší kvalitu díky eliminaci stresových špiček ve výrobě,
- lepší ergonomii díky rovnoměrné pracovní zátěži,
- snížení nákladů a zvýšení OEE (Petřík, 2007).

2.4 Ergonomie ve výrobě

Ergonomie je vědní disciplína, která se zabývá přizpůsobováním pracovního prostředí, pracovních procesů a pracovních podmínek potřebám pracovníků s cílem zvýšit jejich pohodlí, efektivitu a bezpečnost. V automobilovém průmyslu, kde jsou montážní linky často fyzicky náročné a pracovní procesy repetitivní, je ergonomie klíčovým faktorem pro prevenci pracovních úrazů, nemocí z povolání, zlepšení produktivity a snížení svalové zátěže pracovníků

2.4.1 Význam ergonomie v automobilovém průmyslu

Práce na montážních linkách v automobilovém průmyslu často zahrnuje opakující se pohyby a manipulaci s těžkými součástkami, což může vést k únavě, bolestem zad, ramen, zápěstí a dalším zdravotním problémům (Svozilová, 2011). Dlouhodobá svalová zátěž a nevhodně nastavené pracovní procesy mohou vést k syndromu karpálního tunelu, poruchám pohybového aparátu a dalším chronickým onemocněním, které nejen ovlivňují zdraví pracovníků, ale i jejich produktivitu.

Zlepšení ergonomie na montážních linkách je proto nejen otázkou ochrany zdraví pracovníků, ale také zvýšení efektivity výrobního procesu. Správně navržené pracovní stanice, vhodné pracovní pomůcky a zlepšení pracovních postupů mohou zásadně zlepšit pracovní výkon, snížit zdravotní problémy a tím i zlepšit celkovou výkonnost montážní linky (Boothroyd, a další, 2010).

2.4.2 Principy ergonomie

Ergonomie vychází z poznání lidských schopností a limitů s cílem přizpůsobit pracovní prostředí člověku, nikoliv naopak. Základními principy ergonomie podle (Salvendy, 2012) jsou:

- **Anatomická přiměřenost**
  Pracoviště a nástroje mají odpovídat tělesným rozměrům a schopnostem uživatele (např. výška pracovního stolu, dosah rukou). Rozměry pracoviště se přizpůsobují také podle toho, zda je výrobní proces určen spíše pro ženy či pro muže, jelikož jejich průměrné tělesné rozměry jsou odlišné.
- **Minimalizace nepřirozených poloh a pohybů**
  Práce by měla umožňovat neutrální polohu těla. Dlouhodobé ohýbání, krčení, kroucení, ale naopak i práce ve vyšší výšce vůči středu těla, než je pro tělo přirozená, nebo opakující se pohyby vedou k únavě a zraněním.
- **Střídání činností**
  Střídání typů úkolů nebo jejich pravidelná rotace snižuje monotónnost a omezuje jednostranné zatížení (Petřík, 2007).
- **Minimalizace fyzické zátěže**
  Nástroje a pracovní úkony mají omezovat nadměrné síly a přetěžování, zejména v oblasti rukou, zad a ramen.
- **Zajištění vizuální a mentální pohody**
  Důležité je správné osvětlení, hluková zátěž, přehlednost informací a možnost soustředit se.
- **Přizpůsobení pracoviště konkrétnímu pracovníkovi**
  Možnost nastavení výšky židle, výšky opory nohou, sklonu monitoru nebo polohy ovládacích prvků zvyšuje komfort a výkonnost.

2.4.3 Ergonomické přístupy v praxi

Implementace ergonomických opatření v praxi je klíčová pro zajištění dlouhodobé efektivity montážní linky. V rámci automobilového průmyslu se používají různé metody a technologie, které umožňují zlepšení pracovních podmínek:

- **Automatizace a robotizace**: Automatizované systémy a roboti mohou převzít fyzicky náročné úkoly, čímž uleví pracovníkům a umožní jim soustředit se na méně náročné operace (Womack, a další, 1990).
- **Flexibilní pracovní stanice**: Modulární pracovní stanice, které umožňují pracovníkům upravit výšku stolu nebo polohu nástrojů, mohou výrazně zlepšit ergonomické podmínky (Nakajima, 1988). Pracoviště jsou navržena tak, aby minimalizovaly nutnost zbytečného pohybu. Například komponenty jsou umístěny v zóně optimálního dosahu a například nádoby s komponenty jsou umístěny pod úhlem nebo mají uzpůsobený výřez tak, aby byl odběr komponent co nejsnazší.
- **Trénink a školení pracovníků**: Vzdělávání pracovníků o správné pracovní technice a prevenci zranění je nezbytné pro podporu ergonomických iniciativ. Dobrý školicí program může výrazně snížit pracovní úrazy a zlepšit pracovní výkon.
- **Standardizace práce:** V rámci *Lean* přístupů se práce standardizuje tak, aby bylo možné odstranit plýtvání a současně zohlednit ergonomické požadavky (Liker, 2007).
- **Ergonomické hodnocení:** Používají se metody jako RULA (Rapid Upper Limb Assessment), REBA nebo OWAS k hodnocení tělesného zatížení a rizika poranění.
- **Zpětná vazba a neustálé zlepšování:** Ergonomie není jednorázový projekt – sběr zpětné vazby od pracovníků a průběžné zlepšování jsou součástí systému jako například v TPM (Nakajima, 1988).

2.4.4 Ergonomie v kontextu štíhlé výroby a kvality

Jak uvádějí (Womack, a další, 1990), správně navržená práce nejen zvyšuje pohodlí pracovníků, ale přímo přispívá ke kvalitě a stabilitě výrobního procesu. Špatné ergonomické podmínky vedou k chybám, zmetkům a absencím, což zvyšuje náklady.

(Svozilová, 2011) doplňuje, že ergonomie má být součástí analýzy a optimalizace podnikových procesů, protože ovlivňuje jak výkonnost, tak motivaci pracovníků. Je-li pracovník vystaven trvale nevhodnému pracovnímu zatížení, jeho výkon a přesnost klesají.

2.4.5 Význam ergonomie pro produktivitu

Studie ukazují, že zlepšení ergonomie vede nejen ke zlepšení zdraví pracovníků, ale i k vyšší produktivitě. Podle výzkumů provedených na montážních linkách, kde byla zlepšena ergonomie, došlo k nárůstu pracovní efektivity a snížení chybovosti. Pracovníci, kteří pracují v dobře navrženém prostředí, vykazují vyšší pracovní motivaci a nižší absenci

Zlepšení ergonomie je také úzce spjato s cíli štíhlé výroby. Jak uvádí (Liker, 2007), optimalizace pracovních procesů a odstranění nadbytečných pohybů pracovníků nejenže přispívá ke zlepšení jejich zdraví, ale také zrychluje celý výrobní proces, což vede k celkovému zlepšení OEE.

2.4.6 Vliv TPM na ergonomii

Zavedení Total Productive Maintenance (TPM), jak jej popisuje (Nakajima, 1988), zahrnuje i aspekt autonomní údržby a zapojení operátorů do péče o zařízení. Tento přístup nesnižuje pouze množství technických ztrát, ale zároveň zlepšuje ergonomické podmínky díky systematickému odstraňování zdrojů neefektivity a nevhodného pracovního uspořádání.

TPM také podporuje návrh zařízení s ohledem na snadnou obsluhu a údržbu, což přispívá ke snižování neergonomických pozic a manipulací. Efektivní TPM tedy podporuje i ergonomická zlepšení jako sekundární efekt zvyšování spolehlivosti a bezpečnosti.

2.4.7 Lokální svalová zátěž

Jedná se o klíčový ergonomická aspekt, který se týká pracovníků vykonávajících repetitivní činnost, pohyby vyžadující jemnou motoriku nebo naopak vyšší sílu během pracovního procesu.

Nadměrná zátěž může vést ke svalové únavě nebo až k chronickým problémům a nemocem z povolání, které se týkají únavy a poškození pohybového aparátu (ISO_6385:2016, 2016).

Hlavní příčiny svalové zátěže

Nejčastější příčinou je soustavné opakování podobných úkolů. Tento problém se často vyskytuje pří činnostech jako je montáž či balení. Další příčinou také může být nevhodná pracovní poloha, kdy dělník pracuje s rukami příliš vysoko, nízko či příliš vzdálenými od těla. Doporučená maximální pracovní výška rukou je po úroveň srdce. Pro příliš nízkou pracovní polohu platí, že by se měla během práce minimalizovat nutnost dlouhodobých anebo častých ohybů v trupu pro zvýšení dosahu rukou (Hlávková, a další, 2007) (Industrie, 2011-2024).

Pracovník by se také neměl dlouhodobě vystavovat činnosti vyžadující manipulaci s těžkými předměty nebo činnosti způsobujícími vysoké svalové napětí. Dlouhodobá statická zátěž je také jednám z faktorů způsobujících problémy se svalovou zátěží. Pracovník by se tedy měl vyhnout držení statické pozice po delší dobu, například během jemných manipulačních prací během výroby drobných dílců, kdy při montáži je nutné dodržet přesné a stabilní zarovnání dílů před upevněním. (Hlávková, a další, 2007)

Poslední podstatnou příčinou způsobující svalovou zátěž je dlouhodobá práce se zařízeními, které do rukou přenáší vibrace, jako jsou například brusky či rázové utahováky (Industrie, 2011-2024).

Následky svalové zátěže

Nejčastějšími následky jsou únava a svalová bolest, syndrom karpálního tunelu, který je způsoben nepřirozenou polohou ruky během práce či útlakem nervu v zápěstí, který je zapříčiněn neustálým opakováním stejných pohybů zápěstí, Epikondylitida, neboli také častěji známá jako tenisový loket, což je zánětlivé onemocnění vznikající z důvodu přetížení svalových úponů v oblasti loktu (Yassi, 1997).

Dalšími onemocněními jsou například poruchy šlach a vazivových tkání, které se mohou projevovat záněty šlach či gangliony, což je cysta, která vzniká únikem tekutin z kloubu či šlachové pochvy. Dále se také mohou projevit chronickými onemocněními pohybového aparátu, které způsobují chronickou bolest nebo omezení pohyblivosti končetin (ISO_6385:2016, 2016).

2.5 Standardizace pracovních procesů

Standardizace pracovních procesů je základním principem v oblasti štíhlé výroby a má klíčový význam pro zajištění efektivity a kvality v automobilovém průmyslu. Jejím cílem je eliminovat variabilitu ve výrobě, minimalizovat plýtvání a umožnit jednodušší

měření výkonnosti (Liker, 2007). Standardizované pracovní postupy zajišťují, že každý pracovník vykonává svůj úkol stejným způsobem, což vede k uniformitě, snížení chybovosti a zlepšení produktivity.

2.5.1 Principy standardizace pracovních procesů

Standardizace zahrnuje několik klíčových komponent:

- **Definice pracovních postupů**: Každý pracovní úkon na montážní lince by měl mít jasně definovanou metodiku provedení. To zahrnuje určení optimálních pracovních pozic, výběr nástrojů a zařízení, které bude pracovník používat, a správnou sekvenci kroků pro efektivní provedení úkolu. Určuje také, jakou ruku by měl operátor použit pro přesný procesní krok. (Boothroyd, a další, 2010).
- **Dokumentace pracovních postupů**: Všechny definované pracovní postupy by měly být podrobně zdokumentovány a zpřístupněny všem pracovníkům. To zahrnuje nejen písemné návody, ale i vizuální pomůcky, jako jsou fotografie nebo videonávody, které usnadňují pracovníkům správné provedení úkolu (Svozilová, 2011).
- **Kontrola a měření výkonu**: Standardizované procesy umožňují přesně měřit výkonnost pracovníků i výrobního procesu. Pomocí pravidelných auditů a analýz mohou manažeři monitorovat, zda se pracovníci drží stanovených standardů a jaké oblasti je nutné zlepšit (Nakajima, 1988).

2.5.2 Význam standardizace pro snížení variability

Variabilita v pracovních procesech je jedním z hlavních faktorů, které vedou k neefektivnosti ve výrobě. Nejednotné metody a postupy mohou způsobovat zbytečné chyby, zvýšení výrobních nákladů a zpomalení celého procesu (Womack, a další, 1990). Standardizace procesů zajišťuje, že každý pracovník vykonává svůj úkol stejným způsobem, což vede k:

- **Zlepšení kvality výrobků**: Jednotné pracovní postupy pomáhají minimalizovat variabilitu v kvalitě, což snižuje počet vadných výrobků a nutnost jejich opravení a současně zvyšuje pravděpodobnost odhalení neshodného kusu (Liker, 2007).

- **Rychlejší školení nových pracovníků**: Noví pracovníci mohou být rychleji vyškoleni, pokud mají k dispozici přesně definované a standardizované pracovní postupy. To vede k rychlejšímu zapracování a rychlejšímu dosažení požadované produktivity operátora(Boothroyd, a další, 2010).
- **Snazší identifikace problémů**: V případě, že se objeví problém, je jednodušší identifikovat jeho příčinu, protože všechny úkony jsou prováděny podle stejných pravidel. Pokud se procesy neustále mění, je těžší sledovat, kde může docházet k chybám.

2.5.3 Standardizace pracovních postupů v automobilovém průmyslu

V automobilovém průmyslu je standardizace klíčová nejen pro zvýšení efektivity, ale i pro zajištění kvalitních výrobků. Toyota je jedním z příkladů, kde standardizace pracovních procesů vede k vysoké efektivitě a kvalitě výroby. Podle (Liker, 2007) je standardizace pracovních postupů jádrem systému štíhlé výroby, který umožňuje firmě eliminovat plýtvání a neefektivní procesy.

Zavedení standardizovaných postupů v oblasti montáže automobilů zahrnuje:

- **Optimalizaci pracovních stanic**: Každá pracovní stanice je navržena tak, aby vykonávala konkrétní úkoly co nejefektivněji. Například použití strojů nebo zařízení, které jsou umístěny v optimálních vzdálenostech, což minimalizuje zbytečný pohyb pracovníků.
- **Sledování času a výkonu**: Standardizované pracovní postupy umožňují přesné měření doby, kterou pracovník potřebuje k provedení úkolu. To umožňuje sledovat, zda pracovníci splňují stanovené cíle a dosahují požadovaného výkonu (Nakajima, 1988).
- **Kontinuální zlepšování**: Standardizace také zahrnuje neustálé zlepšování pracovních procesů. Pokud se objeví efektivnější způsoby práce, měly by být okamžitě implementovány do standardů, což zajišťuje neustálý vývoj výrobního procesu (Womack, a další, 1990).

2.5.4 Implementace standardizace v praxi

Implementace standardizace na montážních linkách vyžaduje určité kroky:

1. **Analýza současného stavu**: Před zavedením standardizace je nutné provést analýzu současného pracovního procesu a identifikovat oblasti, kde variabilita a neefektivnost mohou být problémem.
2. **Návrh standardních pracovních postupů**: Na základě analýzy je třeba navrhnout standardní postupy pro každou fázi výrobního procesu. Tyto postupy by měly být co nejjednodušší a nejefektivnější.
3. **Školení pracovníků**: Pracovníci musí být proškoleni, jak správně vykonávat své úkoly podle nových standardů. To zahrnuje nejen teoretické školení, ale i praktické trénování na pracovní stanici.
4. **Kontrola a zajištění dodržování**: Po zavedení standardizovaných procesů je nutné pravidelně kontrolovat, zda se pracovníci drží stanovených postupů, a v případě potřeby provést korekce.

2.6 Zlepšování kvality a Total Productive Maintenance (TPM)

Zlepšení kvality a efektivity výroby je klíčovým faktorem pro dosažení konkurenceschopnosti v automobilovém průmyslu. Kvalita výrobků nejenže ovlivňuje spokojenost zákazníků, ale má také přímý dopad na náklady a ziskovost podniku. Jedním z nejúčinnějších přístupů pro dosažení vysoké úrovně kvality je implementace konceptu Total Productive Maintenance (TPM), který spojuje preventivní údržbu, zlepšení procesů a zapojení všech pracovníků do úsilí o zvyšování produktivity (Nakajima, 1988).

2.6.1 Total Productive Maintenance (TPM)

TPM je komplexní přístup k údržbě zařízení a minimalizaci technických a kvalitativních ztrát. Tento přístup zahrnuje nejen preventivní údržbu, ale i zapojení všech zaměstnanců, od operátorů až po manažery, do aktivit vedoucích k prevenci poruch a zlepšování výrobního procesu (Nakajima, 1988). TPM se zaměřuje na zajištění minimálních prostojů, efektivní využívání výrobních zařízení a zajištění vysoké kvality výrobků.

TPM se skládá z několika klíčových pilířů, které je nutné implementovat v každé fázi výrobního procesu:

- **Autonomní údržba (Autonomous Maintenance)**: Tento pilíř zahrnuje zapojení operátorů do údržby jejich vlastních zařízení. Operátoři jsou školeni, aby identifikovali potenciální problémy a prováděli drobné údržbové úkoly, což zajišťuje okamžitou reakci na problémy a minimalizuje prostoj.
- **Preventivní údržba (Planned Maintenance)**: Preventivní údržba zahrnuje pravidelnou údržbu zařízení na základě stanoveného plánu, který zajišťuje, že zařízení bude fungovat efektivně a bez poruch. To zahrnuje výměnu opotřebovaných dílů, čištění a kontroly funkčnosti všech systémů.
- **Kvalitní kontrola (Quality Maintenance)**: TPM se zaměřuje také na kvalitu výrobního procesu. Kontrola kvality by měla být prováděna během každé fáze výroby, aby bylo možné včas odhalit a odstranit problémy, které by mohly ovlivnit kvalitu výrobků.
- **Vzdělávání a školení**: Aby TPM fungovalo efektivně, musí být všichni zaměstnanci dobře vyškoleni a motivováni k aktivnímu podílení se na zajišťování kvalitní údržby a zlepšování výrobního procesu.
- **Zlepšování procesů (Focused Improvement)**: Tento pilíř zahrnuje neustálé zlepšování výrobních procesů s cílem eliminovat plýtvání a optimalizovat výkon. To zahrnuje jak zlepšování údržby zařízení, tak i optimalizaci pracovních metod a standardizovaných procesů (Womack, a další, 1990).

2.6.2 TPM a zlepšení kvality

TPM se přímo zaměřuje na zlepšení kvality výrobního procesu tím, že zajišťuje, že zařízení bude vždy ve správném stavu a připravené k práci. Jakákoli porucha nebo zastavení výroby může mít vážné důsledky na kvalitu výrobků, což zvyšuje náklady na přepracování nebo opravy. TPM pomáhá minimalizovat tyto výpadky a zajišťuje, že kvalita výrobků zůstane na vysoké úrovni.

Díky pravidelné údržbě a preventivním opatřením se snižuje riziko výskytu nechtěných chyb během výroby, což má přímý vliv na spokojenost zákazníků a celkové náklady na výrobu (Boothroyd, a další, 2010). TPM podporuje také zapojení zaměstnanců do monitorování kvality a zajišťování, že každý pracovník si je vědom svých povinností týkajících se kvality výrobků.

2.6.3 Výhody TPM v automobilovém průmyslu

Implementace TPM v automobilovém průmyslu přináší mnoho výhod, které mají přímý dopad na kvalitu, produktivitu a náklady:

- **Snížení prostojů**: TPM pomáhá snížit neplánované prostoje způsobené poruchami strojů a zařízení. Díky preventivní údržbě a autonomnímu monitorování se poruchy odhalují dříve, což umožňuje rychlé opravy a minimalizuje ztrátu výrobní kapacity (Nakajima, 1988).
- **Zvýšení spolehlivosti zařízení**: Pravidelná údržba zajišťuje, že výrobní zařízení jsou v optimálním stavu, což vede k vyšší spolehlivosti a nižší pravděpodobnosti poruchy.
- **Zlepšení kvality výrobků**: Snížením výskytu poruch a zapojením zaměstnanců do monitorování kvality je možné produkovat kvalitní výrobky bez zbytečných chyb a defektů.
- **Motivace zaměstnanců**: Zapojení všech pracovníků do procesu TPM zvyšuje jejich motivaci a odpovědnost za výsledky, což vede k lepšímu pracovním výkonu a zlepšení kvality (Svozilová, 2011).

2.6.4 Implementace TPM na montážní linky

Pro úspěšnou implementaci TPM na montážních linkách je třeba zajistit několik klíčových kroků:

1. **Vytvoření TPM týmu**: Je nutné vytvořit tým, který bude odpovědný za implementaci a udržování TPM v praxi. Tento tým by měl být složen jak z pracovníků na linkách, tak z technického a manažerského personálu.
2. **Školení pracovníků**: Všichni zaměstnanci by měli projít školením zaměřeným na preventivní údržbu, rozpoznávání problémů a metody zajištění kvality.
3. **Plánování údržby**: Je nezbytné vytvořit detailní plán údržby, který bude zahrnovat pravidelné kontroly a opravy všech klíčových zařízení a test kontrolních systémů (Check the checker).
4. **Monitorování a vyhodnocování**: Po implementaci je nutné pravidelně sledovat a vyhodnocovat efektivitu TPM. To zahrnuje měření prostojů, počtu poruch a kvality výrobků, aby bylo možné včas provést potřebné úpravy. Následně také

optimalizovat v jakém cyklu se TPM budou opakovat tak, aby nedocházelo k nadbytečným prostojům.

2.7 Metody optimalizace pracovní ergonomie

2.7.1 Identifikace problémů v oblasti ergonomie

V rámci manuální montáže jsou pracovníci vystaveni celé řadě fyzických zátěží, které mohou vést k problémům, jako jsou bolesti zad, krční páteře, poruchy kloubů, svalové únavy nebo syndrom karpálního tunelu. Tyto problémy vznikají často v důsledku špatně navrženého pracovního prostoru, nevhodných pracovních pozic nebo opakovaných pohybů, které jsou součástí montážních procesů či pohybů, které vyžadují sílu příliš vysokou.

Hlavní rizika v oblasti ergonomie zahrnují:

- **Nadměrné zatížení páteře**: Při opakovaných a špatně prováděných pohybech může dojít k nadměrnému zatížení páteře, což může vést k bolesti zad a zraněním (Svozilová, 2011).
- **Opakované pohyby a svalová zátěž**: Dlouhodobé provádění stejných pohybů bez dostatečného odpočinku může způsobit únavu a svalové zranění (Patermann, 2022). Podobná zranění také může způsobovat opakované vystavování svalů příliš vysokou zátěží.
- **Nevhodná pracovní výška**: Příliš nízké nebo vysoké pracovní stoly mohou ztížit nebo zpomalit pracovní proces a zvyšovat svalovou zátěž.
- **Nedostatečný prostor pro pohyb**: Příliš stísněné pracovní prostředí omezuje pohyblivost pracovníků, což může vést k nadměrnému napětí v těle.

2.7.2 Metody zlepšení ergonomie pracovních procesů

Existuje řada metod, které mohou být využity ke zlepšení ergonomie na montážní lince. Mezi hlavní metody patří:

- **Úprava pracovních stanic**:
  Prvním krokem ke zlepšení ergonomie je přizpůsobení pracovních stanic. Ty by měly být navrženy tak, aby pracovníci pracovali v přirozené pozici, která minimalizuje stres na klouby a páteř. Například pracovní výška by měla být

nastavena tak, aby pracovník mohl pracovat s minimálním ohýbáním nebo natahováním rukou (Patermann, 2022).

- **Pohodlné pracovní nástroje a zařízení**:
  Dalším krokem je optimalizace pracovních nástrojů a zařízení. Například používání ergonomických klíčů, šroubováků a jiných nástrojů, které mají správnou velikost a tvar, pomáhá minimalizovat zbytečné pohyby rukou a zápěstí (Svozilová, 2011).
- **Automatizace a robotizace**:
  Pro snížení fyzické námahy pracovníků lze některé kroky výroby automatizovat nebo robotizovat. Tímto způsobem se sníží opakované a fyzicky náročné úkoly, které jsou spojeny s vysokou svalovou zátěží. Přítomnost automatizovaných nebo robotizovaných systémů může nejen zlepšit ergonomii, ale také zlepšit celkovou efektivitu výroby.
- **Pauzy a střídání pracovních úkolů**:
  Je důležité zavést pravidelné pauzy pro pracovníky, aby si mohli odpočinout a předešli svalovému přetížení. Kromě toho lze pracovní úkoly rozdělit mezi pracovníky nebo mezi různé stanice, což zajistí střídání pohybových aktivit a sníží opakování stejného pohybu.
- **Školení a osvěta**:
  Pracovníci by měli být pravidelně školeni v ergonomických zásadách a metodách, jak správně vykonávat pracovní činnosti. To zahrnuje například správnou techniku zvedání těžkých předmětů, správné držení těla a výběr vhodného pracovního nástroje (Nakajima, 1988).
- **Kontrola a zpětná vazba**:
  Pro monitorování účinnosti zavedených změn je důležité pravidelně kontrolovat a vyhodnocovat efektivitu ergonomických opatření. To zahrnuje měření kvality, sledování pracovní zátěže a získávání zpětné vazby od pracovníků o jejich pohodlí a zdraví během pracovní doby.

2.7.3 Výhody optimalizace ergonomie

Implementace těchto ergonomických změn má dlouhodobé pozitivní dopady na celkovou efektivitu výroby, zdraví pracovníků a náklady na pracovní úrazy. Hlavní výhody zahrnují:

- **Snížení zdravotních problémů**: Optimalizace pracovních podmínek vede k nižší míře pracovních úrazů a nemocí spojených s dlouhodobou svalovou zátěží, což snižuje náklady na lékařskou péči a pracovní neschopnost (Patermann, 2022).
- **Zvýšení produktivity**: Pracovníci, kteří pracují v ergonomickém prostředí, jsou méně unavení a vykazují vyšší produktivitu. Dobrý pracovní prostor zvyšuje pracovní morálku a motivaci.
- **Snížení fluktuace pracovníků**: Když se pracovníci cítí spokojení a mají pohodlí ve svém pracovním prostředí, je méně pravděpodobné, že budou odcházet z kvůli zdravotním problémům či nespokojenosti, což snižuje fluktuaci a náklady na nábor a školení nových pracovníků.

2.8 Implementace a monitoring změn v procesu optimalizace

Optimalizace montážní linky je komplexní proces, který vyžaduje pečlivé plánování, realizaci a následné sledování změn. Kromě technických aspektů je kladeno důraz na spolupráci mezi jednotlivými odděleními, školení pracovníků, a vyhodnocování výsledků. Tento proces by měl být cyklický, což znamená, že po implementaci změn následuje monitorování a zpětná vazba, které vedou k dalšímu zlepšení. Tato kapitola se zaměřuje na klíčové kroky implementace a metody sledování účinnosti provedených změn.

2.8.1 Příprava a plánování implementace

Prvním krokem je pečlivá příprava, která zahrnuje analýzu současného stavu montážní linky a identifikaci klíčových problémů, které je třeba řešit. Na základě výsledků analýzy se navrhují konkrétní změny, které mohou zahrnovat úpravy pracovních stanic, investice do nových technologií nebo školení pracovníků v oblasti ergonomie a produktivity.

Před samotnou implementací změn je nutné vytvořit detailní plán, který bude zahrnovat:

- **Časový rámec**: Stanovení jasných termínů pro realizaci změn, aby bylo možné sledovat postup a vyhodnotit úspěšnost.
- **Přidělení odpovědností**: Určení odpovědných osob za jednotlivé oblasti implementace, aby byly jasně vymezeny kompetence a zodpovědnost.
- **Testování změn**: Provedení pilotního testu, který umožní ověřit funkčnost navrhovaných změn v reálných podmínkách a zjistit případné problémy ještě před plnou implementací.

Tento proces by měl být realizován ve spolupráci s odborníky, kteří mají zkušenosti s implementací změn v průmyslových podmínkách, jako jsou inženýři, specialisté na ergonomii a odborníci na zlepšování výrobních procesů (Boothroyd, a další, 2010).

2.8.2 Implementace změn a školení pracovníků

Samotná implementace změn by měla být prováděna postupně, aby se minimalizoval výpadek výroby a umožnilo se hladké přechodné období. V tomto kroku je kladeno důraz na:

- **Úpravy pracovního prostředí**: Nastavení nových pracovních stanic, přizpůsobení pracovních nástrojů, instalace automatizačních systémů a zajištění dostatečného prostoru pro pracovníky (Patermann, 2022).
- **Školení pracovníků**: Pro zajištění úspěchu změn je důležité nejen technické přizpůsobení, ale i školení pracovníků v nových postupech a nástrojích. Školení by mělo zahrnovat nejen změny v ergonomii, ale i školení v oblasti správné techniky práce, což vede k minimalizaci chyb a zranění (Svozilová, 2011).

2.8.3 Monitoring a vyhodnocení účinnosti změn

Po implementaci změn je nezbytné pravidelně monitorovat, zda vedou k požadovaným výsledkům. Monitoring by měl zahrnovat nejen technické parametry, jako je OEE (celková efektivita zařízení), ale i faktory týkající se pracovníků, jako je jejich spokojenost a zdraví. Tento proces se skládá z několika fází:

- **Sledování OEE (Overall Equipment Efficiency)**:
  OEE je klíčovým ukazatelem, který měří efektivitu výrobního procesu na

základě tří hlavních faktorů: dostupnosti zařízení, výkonu a kvality výroby. Zlepšení v těchto oblastech by mělo být měřeno a vyhodnocováno pravidelně. Zdroje jako *The Machine That Changed the World* (Womack, a další, 1990) a *Tak to dělá Toyota* (Liker, 2007) poskytují detailní metodologie pro monitorování OEE a analýzu efektivity výrobních linek.

- **Sledování zdraví pracovníků a ergonomie**:
  Vyhodnocení zlepšení ergonomických změn je kladeno na sledování zdravotního stavu pracovníků. Základní metody zahrnují pravidelné lékařské prohlídky, dotazníky zaměřené na spokojenost a fyzickou pohodu pracovníků, a měření svalové zátěže při práci (Svozilová, 2011).
- **Kvalitativní zpětná vazba**:
  Je důležité sbírat zpětnou vazbu od pracovníků a vedoucích pracovníků, aby bylo možné zjistit, jak jsou změny vnímány a zda vedly k požadovanému zlepšení v jejich pracovním prostředí. Tento proces může být prováděn prostřednictvím pravidelných poradců nebo hodnotících schůzek s pracovníky.

2.8.4 Cyklus zlepšování a dlouhodobé monitorování

Implementace změn není jednorázová záležitost, ale spíše součást dlouhodobého cyklu zlepšování. Na základě výsledků monitorování je nutné pokračovat v dalších krocích zlepšení. Tento proces může zahrnovat:

- **Opakované úpravy**: Na základě vyhodnocení výsledků je možné upravit pracovní stanice, pracovní postupy nebo implementovat další automatizované procesy.
- **Podpora kontinuálního zlepšování**: Vytvoření kultury neustálého zlepšování (Kaizen) je klíčové pro dlouhodobý úspěch v oblasti optimalizace výrobních procesů. Pravidelný cyklus hodnocení a úpravy základním kamenem efektivního řízení výroby (Patermann, 2022).

2.8.5 Případová studie implementace změn v automobilovém průmyslu

V automobilovém průmyslu byly implementovány různé metody pro optimalizaci výrobních procesů. Příkladem může být automobilka, která zavedla změny v oblasti pracovních stanic, což vedlo ke zlepšení ergonomie a snížení zdravotních problémů

mezi pracovníky. Během sledování změn se zjistilo, že efektivita OEE vzrostla o 10 %, což vedlo k významnému snížení výrobních nákladů.

2.9 Ekonomické zhodnocení přínosů optimalizace

Optimalizace výrobních procesů, zejména v oblasti ergonomie a snížení neefektivních činností, se neprojevuje pouze zlepšením pracovních podmínek, ale také měřitelnými **ekonomickými přínosy**. Tato kapitola se zaměřuje na možnosti **kvantifikace úspor** dosažených v důsledku navržených změn.

2.9.1 Snížení přímých nákladů

Jedním z nejvýraznějších efektů ergonomických úprav je **zkrácení cyklového času**, a tedy snížení přímých nákladů práce na jednotku. Zlepšení pracovních pohybů, snížení přetížení a zajištění plynulosti práce vede ke zvýšení tzv. **produktivního času pracovníka**. Tím dochází ke snížení mzdových nákladů na jeden výrobek (Maynard, 2001).

Tyto přímé úspory lze spočítat velmi jednoduše pomocí **časové studie** a porovnání před/po optimalizaci.

2.9.2 Snížení nákladů na nemocnost a fluktuaci

Dlouhodobé vystavování pracovníků nadměrné fyzické zátěži nebo špatnému pracovnímu prostředí vede ke zvýšené nemocnosti a fluktuaci. Tyto faktory způsobují nejen zvýšené **personální náklady**, ale i **snížení kontinuity výroby**.

Ergonomickými úpravami snížit absenci v důsledku bolesti zad nebo ramen až o 25 %, což představuje výraznou úsporu u pracovišť s vysokou frekvencí opakujících se pohybů. Kromě úspor na náhradách mzdy to snižuje náklady na zaškolování a adaptaci nových pracovníků (Helander, 2005).

2.9.3 Nákladová analýza ve vazbě na OEE

Ztráty v ukazateli OEE (Overall Equipment Effectiveness) mají přímý dopad na **náklady neefektivity**. Pokud například zařízení dosahuje pouze 75 % OEE namísto cílových 85 %, vzniká rozdíl odpovídající 10 % nevyužité kapacitě. Tu lze přepočíst na ztracenou produkci nebo nutnost navýšit směny (Bicheno, a další, 2008).

2.9.4 Návratnost investice (ROI) do zlepšení

Pro praktické zhodnocení je vhodné použít výpočet **návratnosti investice (ROI)**, který porovnává přínosy v čase vůči nákladům na implementaci. (Park, 2007)

2.9.5 Pokročilé nákladové přístupy

Kromě základních výpočtů se při větších projektech využívají i pokročilejší metody ekonomického hodnocení:

- **ABC (Activity-Based Costing)** – umožňuje identifikovat nákladové položky spojené s konkrétními aktivitami v procesu.
- **CBA (Cost-Benefit Analysis)** – zahrnuje i nefinanční přínosy, např. spokojenost zaměstnanců nebo snížení rizika nehod.
- **TCO (Total Cost of Ownership)** – bere v potaz náklady po celou dobu životního cyklu zlepšení (včetně údržby a aktualizací) (Kaplan, a další, 1998).

3. Představení společnosti

Bosch Powertrain s.r.o., divize skupiny Robert Bosch GmbH, je předním světovým dodavatelem komponentů a systémů pro pohonné jednotky automobilů. Společnost se specializuje na vývoj, výrobu a dodávky vysoce kvalitních řešení v oblasti spalovacích motorů, hybridních pohonů i elektromobility. V rámci své činnosti kombinuje dlouholeté zkušenosti v automobilovém průmyslu s inovativním přístupem k novým technologiím a důrazem na udržitelnost a efektivitu.

Obrázek 1 Logo společnosti (Robert Bosch, 2025)

Divize Powertrain Solutions vznikla v roce 2018 sloučením dřívějších divizí Gasoline Systems a Diesel Systems jako reakce na rostoucí požadavky trhu na ekologičtější a efektivnější pohony. V současnosti zahrnuje široké spektrum výrobků, od systémů vstřikování paliva a turbodmychadel přes řídicí jednotky motoru až po elektrické pohonné systémy pro vozidla různých kategorií.

V České republice působí Bosch Powertrain prostřednictvím svého závodu v Jihlavě, kde zaměstnává několik tisíc pracovníků. Tento závod se řadí mezi nejmodernější výrobní provozy skupiny Bosch a specializuje se především na výrobu komponentů pro vznětové i zážehové motory, včetně vysokotlakých čerpadel a vstřikovačů. Velký důraz je kladen nejen na preciznost výroby, ale také na výzkum a vývoj, díky čemuž se závod podílí na vývoji nových generací pohonných systémů.

Bosch Powertrain hraje významnou roli v transformaci automobilového průmyslu směrem k bezemisní budoucnosti. Investuje značné prostředky do rozvoje elektrických pohonů a dalších technologií s nízkými emisemi, čímž přispívá k plnění klimatických cílů a zvyšování energetické účinnosti dopravy. (Robert Bosch, 2025)

3.1 Hlavní výrobní program závodu v Jihlavě

Závod v Jihlavě se specializuje zejména na **vysokotlaké vstřikovací systémy typu Common Rail pro dieselové motory**. Tyto komponenty hrají klíčovou roli v přesném dávkování paliva, zajištění vysoké účinnosti a snižování emisí. Mezi hlavní produkty patří:

- **Vysokotlaká vstřikovací čerpadla**
  Zajišťují dopravu a dávkování paliva při extrémních tlacích až **2 500 barů**. Precizní práce těchto čerpadel je klíčová pro výkon motoru a jeho spotřebu.
- **Vysokotlaké zásobníky (rail)**
  Akumulují naftu pod vysokým tlakem a rozvádějí ji rovnoměrně ke vstřikovačům. Zásobník tlumí tlakové výkyvy a zajišťuje plynulý chod celého systému.
- **Tlakové regulační ventily**
  Řídí tlak v systému Common Rail a přispívají ke stabilnímu provozu motoru v různých jízdních režimech.
- **Vstřikovače (injektory)**
  Precizně dávkují palivo do spalovacích prostorů. Jejich přesnost a rychlost reakce mají zásadní vliv na chod motoru, emise a hlučnost.

Kromě toho závod od roku 2023 rozšířil svůj sortiment o **komponenty pro elektromobilitu**, čímž reflektuje strategický posun skupiny Bosch směrem k nízkoemisní a bezemisní mobilitě. Jedná se zejména o díly pro elektrické pohonné jednotky a jejich řízení.

3.2 Výrobní technologie a kvalita

Jihlavský závod je vybaven **vysoce automatizovanými výrobními linkami**, které využívají nejmodernější technologie v duchu konceptu **Průmysl 4.0** – včetně strojového učení, robotiky a pokročilého monitoringu kvality. Významná část výroby je řízena v reálném čase pomocí senzorických dat a softwaru pro optimalizaci procesů.

Závod rovněž spolupracuje s výzkumnými centry Bosch v oblasti vývoje nových generací vstřikovacích systémů a elektrických pohonů. Důraz je kladen na snižování uhlíkové stopy, zvyšování energetické účinnosti a udržitelnost výroby.

3.3 Strategický význam

Bosch Powertrain s.r.o. je **klíčovým článkem** v globální výrobní síti společnosti Bosch. Svým zaměřením na vysoce přesnou a technologicky náročnou výrobu významně přispívá ke konkurenceschopnosti skupiny Bosch v automobilovém průmyslu. Společnost zároveň hraje důležitou roli v transformaci mobility směrem k udržitelnějším a efektivnějším technologiím.

4. Analýza

Tato část diplomové práce je věnována analýze a následnému zpracování a vyhodnocení dat, ve které se budeme zabývat analýzou ztrát na OEE a výběrem největších problémů, které budou řešeny v návrhové části práce.

4.1 Popis vyráběného produktu

Produkt, na jehož montáž je určena výrobní linka, která byla vybrána pro tuto diplomovou práci, je zpětné palivové vedení.

Co je zpětné palivové vedení (FRL)?

Zpětné palivové vedení, odborně označované jako Fuel Return Line (FRL), je nedílnou součástí palivového systému moderních spalovacích motorů, především u vysokotlakých naftových systémů typu Common Rail. Jeho úkolem je odvádět nevyužité nebo přebytečné palivo z komponent, jako jsou vysokotlaké čerpadlo nebo vstřikovače, zpět do palivové nádrže nebo do nízkotlaké části systému.

Systém FRL je navržen jako uzavřený okruh, který zajišťuje nejen efektivní řízení toku paliva, ale i jeho ochlazování a odvzdušnění. (Heywood, 2018)

Funkce a význam FRL

- **Odvod přebytečného paliva**
  Vstřikovací čerpadla jsou konstruována s určitou rezervou průtoku – více paliva, než je skutečně vstříknuto do válce. Přebytek je zpětným vedením vracen, čímž se reguluje tlak a stabilizuje průtok v systému.
- **Chlazení palivového systému**
  Komponenty jako vstřikovače nebo čerpadla se při provozu výrazně zahřívají. Proudící palivo v systému FRL funguje jako chladicí médium, které odvádí přebytečné teplo a zabraňuje přehřátí systému.
- **Odstranění vzduchu a par**
  Palivový systém musí být zbaven bublin vzduchu a palivových par, které by mohly způsobit nestabilní vstřikování nebo kavitaci. FRL pomáhá tyto bubliny odvádět zpět do nádrže, kde se rozptýlí.

- **Konstrukce a začlenění do systému**

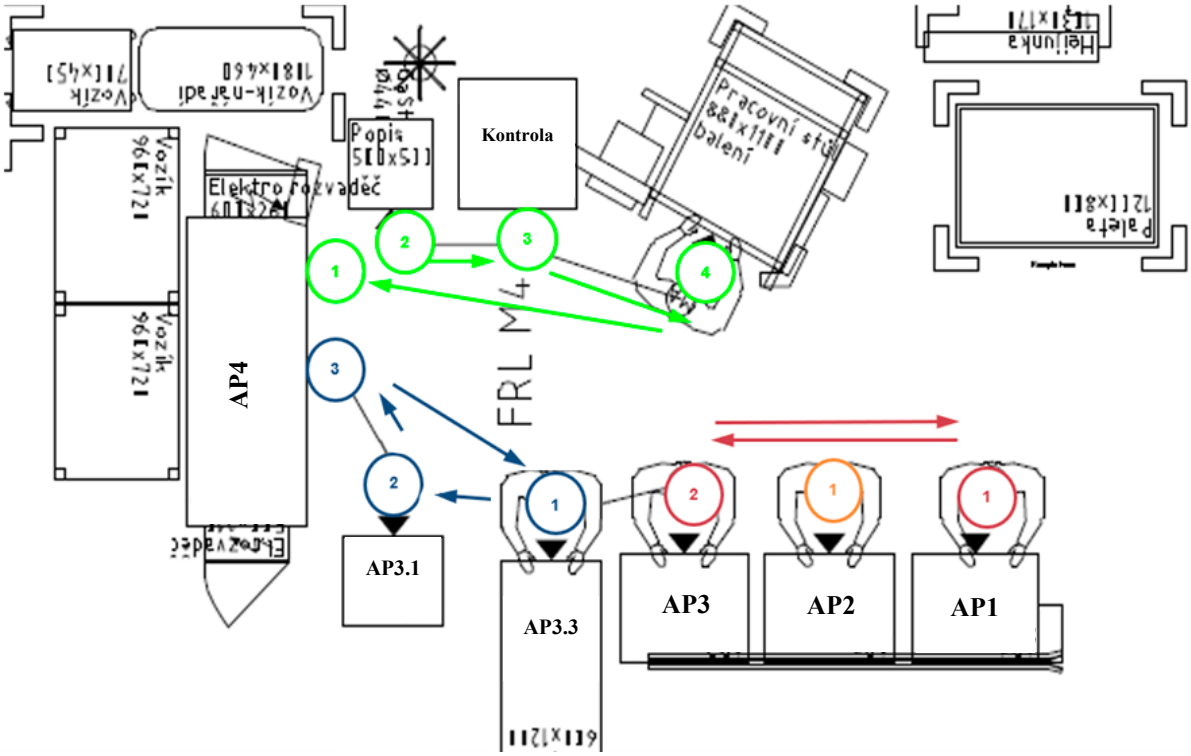
FRL je standardně veden z výstupních bodů čerpadel, regulátorů tlaku nebo vstřikovačů a končí ve spodní části palivové nádrže. U některých moderních systémů se používá tzv. returnless design, kdy je přebytečné palivo regulováno v rámci modulu palivového čerpadla přímo v nádrži, čímž se snižují tepelné ztráty a riziko emisí výparů. (Reif, 2014)

Obrázek 2 Bosch FRL převzato z https://bit.ly/440UV2e

4.2 Popis montážní linky a výrobního procesu

Na začátku je potřeba seznámit se s výrobní linkou a procesem, kde se bude výzkum provádět, abychom dokázali vyhodnotit vstupní data, ze kterých bude výzkum vyplývat.

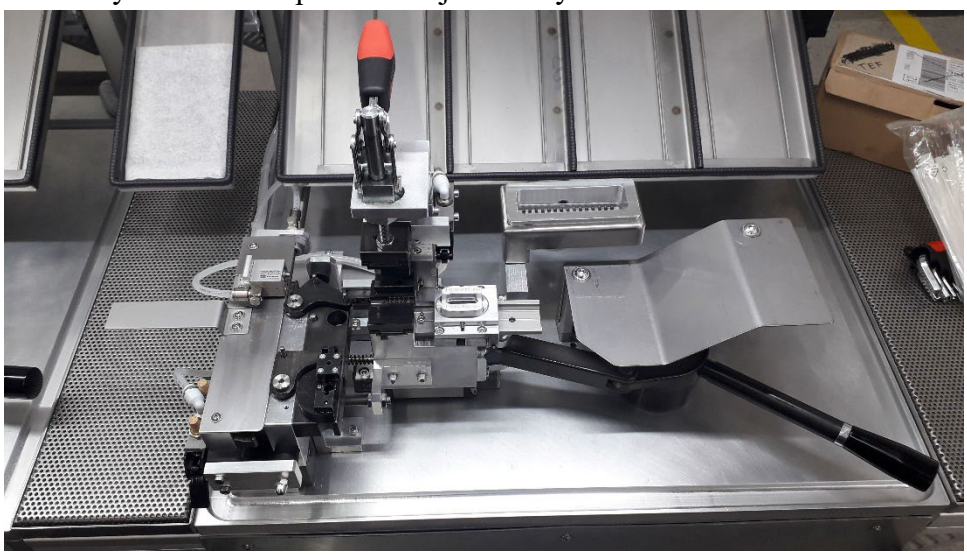
Jedná se o ruční montážní pracoviště, které obsahuje 4 lisovací stanice, 2 stanice popisu, funkční zkoušku a stanici kontroly, kde probíhá kamerová zkouška.



Obrázek 3 Layout výrobní linky a pohyb operátorů během montáže

Na Obrázku 3 Layout výrobní linky a pohyb operátorů během montáže jsou označeny všechny pracovní stanice s označením, který operátor je obsluhuje. Každý operátor je označen vlastní barvou a číslem je označena posloupnost činností jednotlivých operátorů. Montážní linka vyrábí ve třísměnném provozu, kdy doba výkonu práce trvá 450 minut + 30 minut zákonné přestávky. Pracoviště jsou převážně obsazena ženami. Výrobní norma pro typ, na kterém probíhala analýza činí 330 ks za směnu při obsazenosti linky čtyřmi operátory. Během výrobního procesu byla stanovena řízená rotace pracovníků mezi pracovními pozicemi.

Díl, který byl zhodnocený v této analýze je zpětné palivové vedení s bypassem pro čtyřválcový motor, jehož montáž se skládá ze 17 lisovaných spojů, aplikace zákaznického značení, funkční zkoušky a ručního lepení typového štítku. Abychom pochopili analyzovaný proces zobrazený v layoutu stanice (Obrázek 3) je nutné popsat jednotlivé kroky montážního procesu na jednotlivých stanicích.



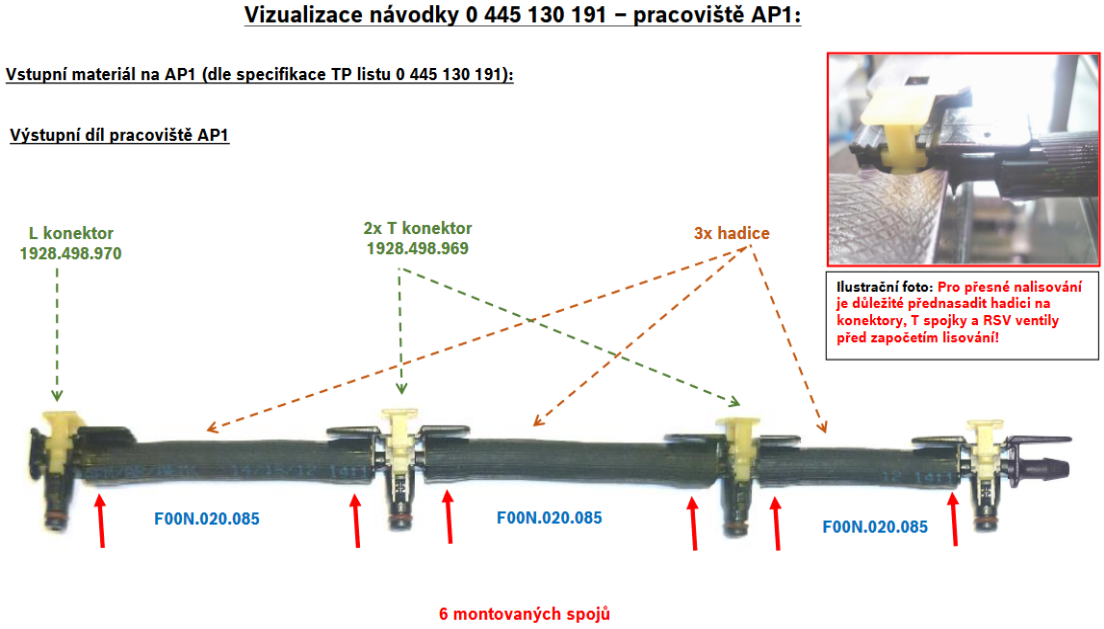
Obrázek 4 Lisovací stanice AP1

Lisovací stanice AP1 až AP3 jejichž konstrukce je zobrazena na Obrázku 4 slouží k provádění montážních operací, jejichž cílem je spojování komponent do finálních podsestav prostřednictvím lisování. Na každé z těchto stanic operátor standardně provádí přibližně pět lisovaných spojů. Pracovní postup je detailně specifikován s ohledem na ergonomii a efektivitu – přičemž činnosti obou rukou jsou přesně definovány. Levá ruka operátora je určena k manipulaci s komponenty, jako jsou konektory, spojky a ventily, které odebírá ze zásobníku. Pravá ruka zároveň obsluhuje druhý zásobník, ze kterého odebírá hadice. Po odebrání hadice následuje její mazání (lubrikace) – jeden konec hadice je ponořen do vaničky s olejem až na doraz dna, čímž je zajištěno potřebné promazání pro další montážní krok. Následně je touto pravou rukou hadice nasazena (přednasazena) na kuželovitý konec hrdla příslušného komponentu, což lze vidět na Obrázku 5. Tento krok usnadňuje navedení hadice na střed otvoru při lisování, čímž předchází poškození čela hadice nebo vnitřního průměru

hadice, které by mohlo způsobit netěsnost či nižší trvanlivost FRL a v případě prasknutí i následné vzplanutí motoru vozidla.

Obrázek 5 Přednasazení hadice na kuželovitý konec hrdla komponentu

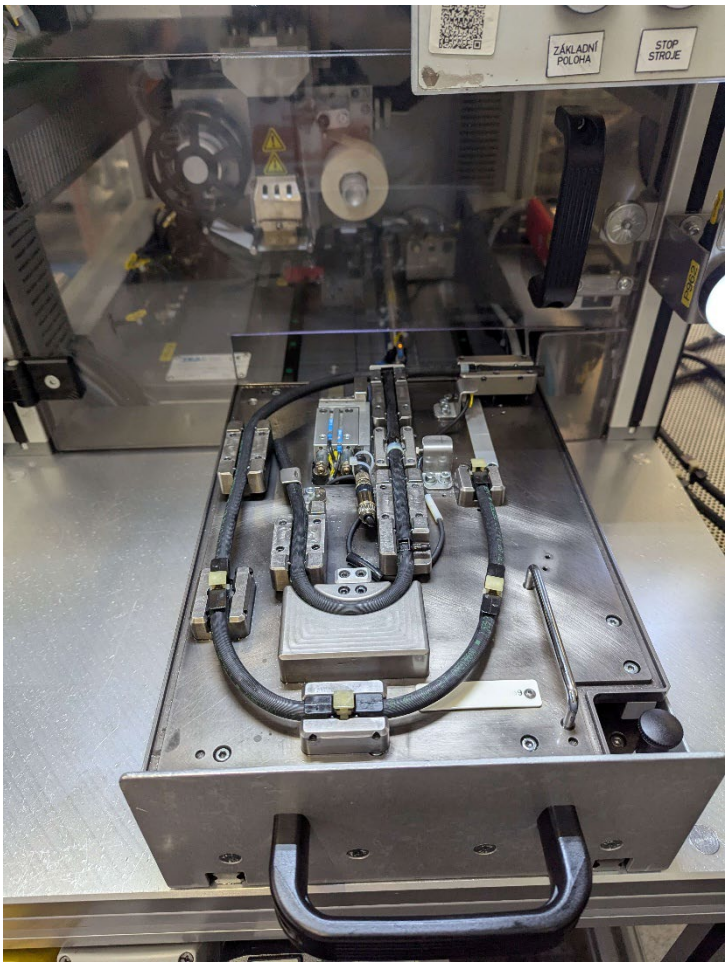
Takto připravená podsestava je poté vložena do lisovacího zařízení. Operátor upne hadici pomocí upínací páky, kterou aktivuje pravou rukou, a následně provede samotné lisování prostřednictvím zatažení za lisovací páku až na dorazový šroub, který slouží k nastavení lisovací vzdálenosti pro jednotlivé vyráběné typy. Po ukončení lisovacího



Obrázek 6 Vizualizace konečné podsestavy pro stanici AP1

cyklu je hotová podsestava vyjmuta a výše popsané kroky jsou opakovány, dokud není dokončena sestava požadované konfigurace dle návodky vizualizace, jejíž příklad lze vidět na Obrázku 6.

Následujícím výrobním krokem je aplikace zákaznických značek, která probíhá na poloautomatické stanici AP3.3. Operátor vloží dokončenou sestavu z předchozího procesu do přípravku (Obrázek 7), přičemž je nezbytné, aby byla správně aktivována



Obrázek 7 Stanice AP3.3 se založenou sestavou

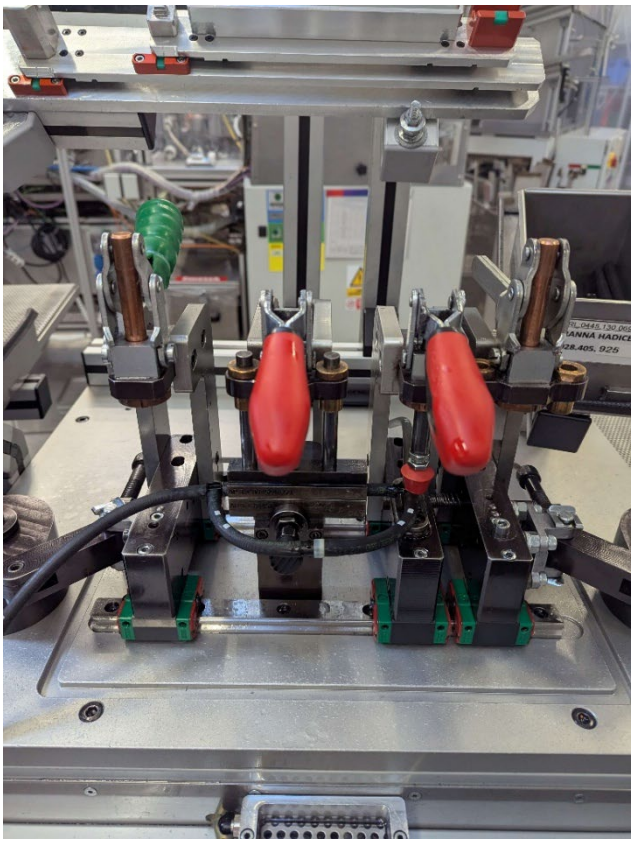
všechna čidla přítomnosti, které zajišťují podmínky pro spuštění tiskového procesu. Poté je přípravek na pojezdu zasunut do stanice, čímž se spustí samotný potisk.

Po dokončení značení dochází k automatické kontrole kvality pomocí kamerového systému. Tento systém ověřuje přítomnost značení na předepsaných místech a hodnotí jeho kvalitu na základě definovaných parametrů. V případě splnění všech stanovených požadavků je proces považován za ukončený. Přípravek se automaticky vysune ze stanice a sestava je následně uvolněna pomocí vyhazovacího mechanismu.

Navazujícím výrobním krokem v rámci montážní linky je operace prováděná na stanici AP3.1, jejíž využití je na Obrázku 8, která představuje poslední lisovací pracoviště této výrobní sekvence. Jedná se o jednoúčelovou lisovací stanici, jejímž specifickým účelem

je spojování obtoku (bypassu) na FRL modul. Tato stanice je určena výhradně pro zpracování tří specifických variant výrobků, které jsou unikátní právě pro tuto konkrétní linku. Přestože se jedná pouze o tři výrobní typy, jejich podíl na celkové produkci činí přibližně 55 % kapacity celé montážní linky, a tudíž představují klíčový prvek v rámci celkového výrobního procesu.

Pracovní cyklus na stanici AP3.1 začíná ručním ověřením rozměrové přesnosti sestavy, které se provádí pomocí specializovaného měřicího přípravku. Tento kontrolní krok je nezbytný, protože se jedná o rozměry a rozteče, které nelze z technických důvodů měřit automatizovaným způsobem v navazující stanici AP4. Operátor vloží sestavu do měrky, přičemž kontroluje polohu rysky na posuvném ukazateli. Pokud se ryska nachází v zeleném poli, rozměr odpovídá požadovaným tolerancím dle výkresové dokumentace. V opačném případě, tedy pokud se ryska nachází v poli červeném, je rozměr mimo povolené meze a sestava je vyřazena z dalšího zpracování.



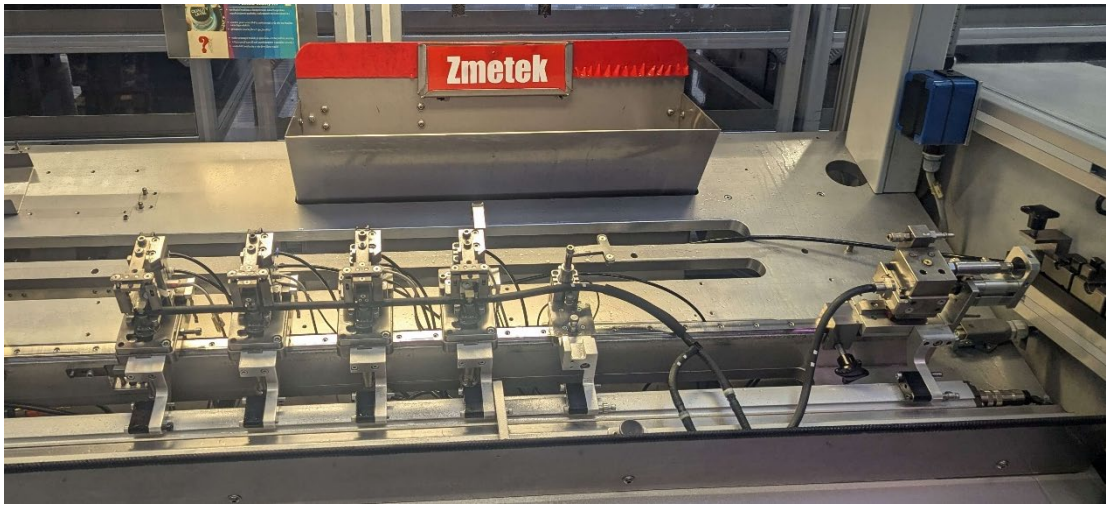
Obrázek 8 Stanice AP3.1 s upnutou sestavou

V případě, že rozměrové parametry vyhovují, přechází se k samotné lisovací operaci, při které dochází ke spojení bypassu. Proces lisování probíhá obdobně jako na předchozích lisovacích stanicích a zahrnuje několik klíčových kroků: nejprve je konec

hadice ponořen do vaničky s mazivem, čímž je zajištěno potřebné promazání styčné plochy. Poté je hadice přednasazena na kuželovitý konec hrdla příslušného komponentu. Následuje upnutí celé podsestavy do lisovacího přípravku, ve kterém je spoj zalisován pomocí mechanického pohybu – zatáhnutím lisovací páky až na doraz.

Po dokončení lisování je hotová sestava vyjmuta z přípravku a na hadici je následně aplikován dělený ochranný návlek. Tento návlek slouží jako ochranný prvek zabraňující poškození hadice při jejím budoucím přímém kontaktu s motorem vozidla.

Následující operací, kterou vykonává stejný operátor, je založení sestaveného modulu FRL do stanice AP4 (Obrázek 9). Tato stanice je určena pro provedení funkční zkoušky celého FRL. Po vložení sestavy provede zařízení automatizovanou kontrolu rozměrů, konkrétně roztečí mezi jednotlivými konektory. Tato rozměrová verifikace je nezbytným předpokladem pro zahájení funkční zkoušky.

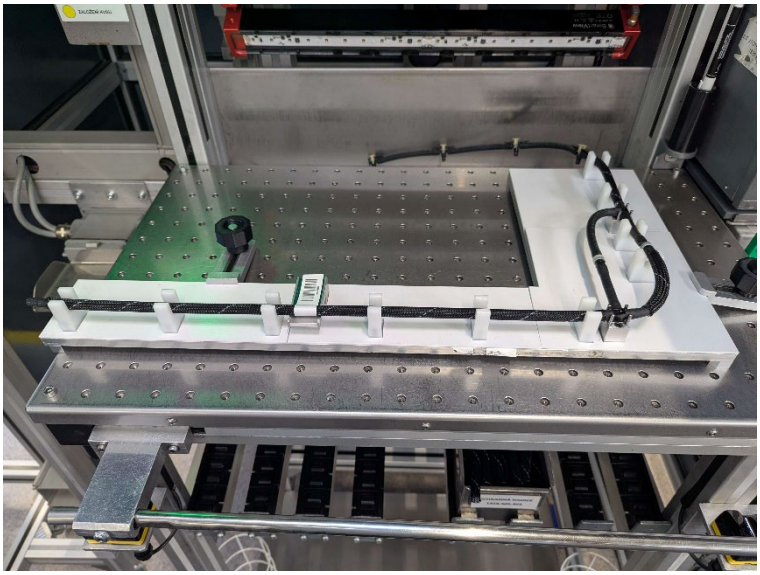


Obrázek 9 Stanice AP4 během funkční zkoušky

Po úspěšném ověření rozměrových parametrů je systém FRL natlakován na tlak 5 bar. Následuje měření poklesu tlaku v časovém úseku definovaném interním předpisem kvality. Cílem této zkoušky je ověřit těsnost celého systému – v případě, že pokles tlaku

nepřesáhne stanovenou mezní hodnotu, je funkční zkouška vyhodnocena jako úspěšná a sestava postupuje k dalšímu zpracování.

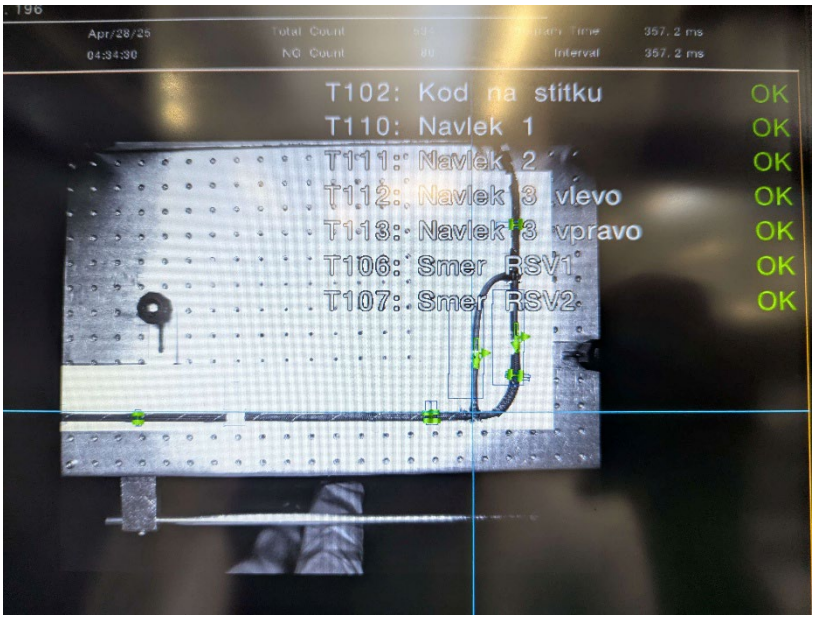
Po úspěšném absolvování tlakové zkoušky je aktivována navazující stanice pro značení. Tato stanice slouží k jednoznačnému potvrzení, že konkrétní výrobek prošel funkční kontrolou. Během tohoto procesu je na jeden z konektorů vygravírován identifikační údaj – nejčastěji se jedná o datum výroby ve formátu měsíc/rok, který slouží jako vizuální záznam o průchodu testem a jako pomocný údaj pro zpětnou sledovatelnost výrobku.



Obrázek 10 Stanice kamerové kontroly s přípravkem pro lepení štítku

Následuje závěrečná fáze kompletace systému FRL. Operátor vloží výrobek do přípravku určeného pro aplikaci zákaznických štítků. Jednu z mnoha verzí přípravků, které jsou specifické pro takřka každý vyráběný typ lze vidět na Obrázku 10. V rámci tohoto úkonu je na povrch sestavy nalepen identifikační štítek, aplikovány zbývající ochranné návleky a následně je spuštěna kamerová kontrola. Tento kamerový systém provádí komplexní vizuální inspekci, při které je ověřována úplnost a správnost celé sestavy – zejména přítomnost, čitelnost a kontrola obsahu nalepeného štítku, přítomnost všech ochranných návleků a správné umístění zákaznických značek.

Pokud je kamerová kontrola vyhodnocena jako úspěšná, stejně jako je vyobrazeno na



Obrázek 11 Záznam Kamerové kontroly

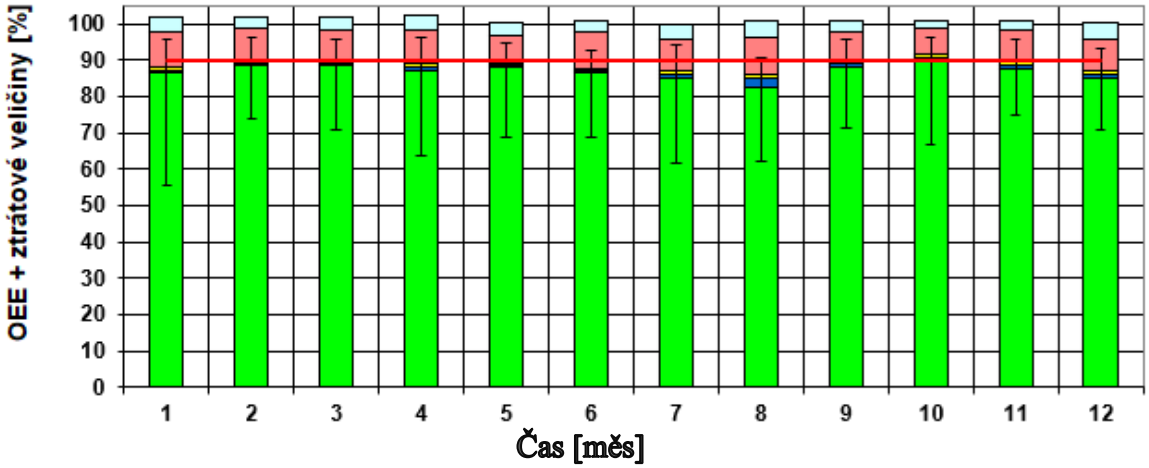
Obrázku 11, je sestava FRL vyjmuta z přípravku a operátor provede finální zrakovou kontrolu. Tento krok slouží k odhalení případných kvalitativních vad, které by mohly ovlivnit funkci nebo vzhled výrobku. K provedení této kontroly je využívána kontrastní podložka a zvětšovací optická pomůcka (lupa), které zvyšují pravděpodobnost detekce i jemných vizuálních nedostatků. Poté operátor vloží kompletní FRL do zákaznického balení dle balícího předpisu pro vyráběný typ.

4.3 Analýza dat z hodinového sledování

Průměrné OEE výrobní linky pro celou výrobu se pohybuje mezi 86 a 87 procenty, což je zaznačeno na Obrázku 12 zeleně, cíle výrobní linky, vyznačené červenou linií, byly

stanoveny na 90 procent OEE, z čehož nejvyšší ztráty tvoří organizační ztráty, které jsou tvořeny červenými sloupci, a ztráty na přeseřízení ve světle modré barvě.

Ztráty na přeseřízení jsou tvořeny zejména širokým typovým spektrem, které je na montážní lince vyráběno, jelikož celkový počet uvolněných typů dělá 253, z čehož je cca 120 aktivních vyráběných typů v průběhu celého roku.



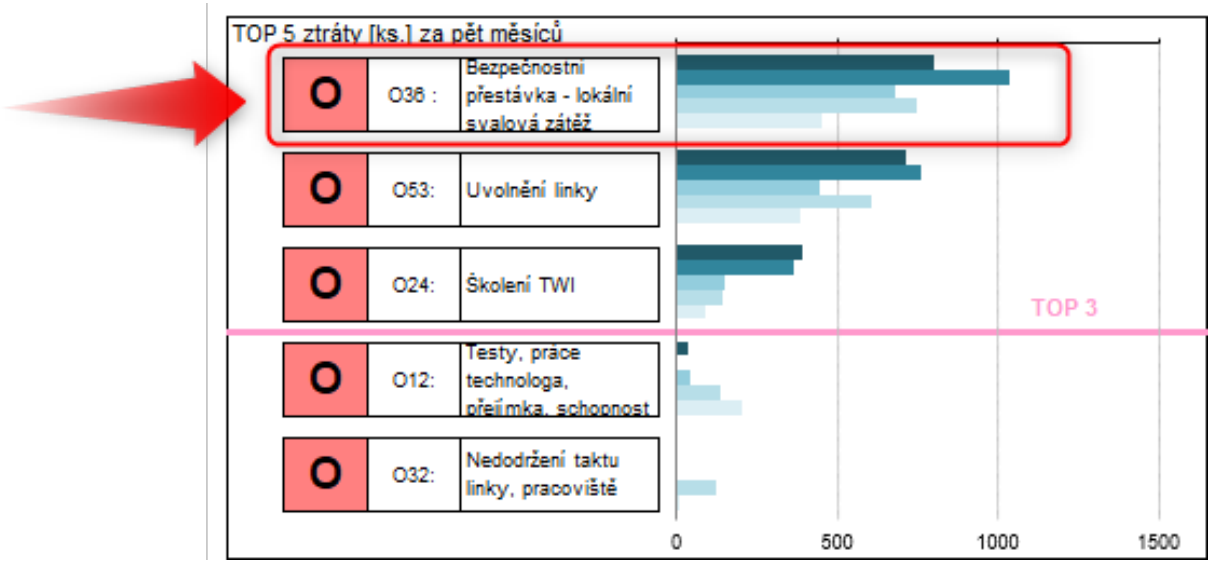
Obrázek 12 Analýza OEE

Velké ztráty na přeseřízení jsou tedy nejvíce způsobovány častými změnami vyráběných typů, avšak velký vliv na tento problém má také plánování. Proces plánování výrobních linek probíhá tak, že výroba je plánována na principu řízení tahem s tím, že pro sestavení priorit vyráběných typů se bere v potaz pouze stav skladových zásob komponent od dodavatele a z předmontáže, potřebu zákazníka, tedy do jakého dne je nutné aby zakázka byla doručena zákazníkovi a posledním pravidlem je, že malosériová výroba probíhá pouze na ranní směně z důvodu přítomnosti technologa, který dohlíží na správnost přeseřízení, uvolnění výrobního procesu a výroby vysokého spektra typů během jedné směny (až dvanáct typů během jedné směny). Třetí pravidlo však způsobovalo, že na začátku ranní směny bylo nutné pozastavit rozpracovanou sériovou výrobu a přeseřídit na malosériovou výrobu a poté znovu na konci ranní směny přeseřídit na sériový typ. Tímto způsobem však každý den vznikalo jedno až dvě přeseřízení navíc, což se výrazně podepsalo na ztrátách v OEE. Pro výrobní plánování je používána plánovací tabule s kartami zakázek, které určují datum výroby typů a jejich pořadí. Pro změnu předmontáž, která připravuje komponenty a stříhá hadice, využívá principu *heijunka* – neboli nivelizace a udržuje stabilní stav zásob tak, aby byly

připraveny v supermarketu pro montáž a bylo možné případné přizpůsobení výroby vnějším vlivům, jako je dodání vadných komponent dodavatelem a nutnost přeplánování celé výroby.

Obrázek 13 Plánovací tabule s kartami zakázek

Z Obrázku 12 vyplývá, že během tohoto výzkumu bude hlavní prioritou optimalizace výrobní linky, tak aby byly zredukovány organizační ztráty a ztráty z přeseřízení.
V TOP ztrátách popsaných na Obrázek 14, které se vyskytovaly v každém z posledních pěti měsíců, se nachází na nejvyšších příčkách Bezpečnostní přestávky, Uvolnění linky a Školení TWI. Ztráty jsou vyhodnoceny v počtech kusů za daný měsíc, kde každý měsíc je tvořen samostatným sloupcem v odstínu modré barvy. Školení TWI dosahuje v rámci měsíců stabilních hodnot, jelikož musí probíhat na začátku každé směny prvního výrobního dne v novém měsíci. Výkyvy v této ztrátě jsou způsobeny pouze rotací pracovníků mezi jednotlivými linkami, a tedy nutností proškolení nově příchozího pracovníky na klíčové kroky procesu a případné změny ve výrobních návodech.



Obrázek 14 TOP5 Organizačních ztrát

Druhou nejvyšší hodnotu dosahuje ztráta na uvolnění linky, která probíhá na začátku každé směny, kdy seřizovač kontroluje a případně upravuje nastavení výrobní linky před započetím sériové výroby tak, aby se snížilo riziko výroby neshodných kusů. Tato ztráta dosahuje stabilních hodnot a nelze se jí vyhnout. Výkyvy v hodnotách jsou pouze ovlivněny počtem výrobních dní v daném měsíci. Ztráta, kterou se tato práce bude zabývat je eliminace bezpečnostních přestávek, které netvoří pouze nejvyšší organizační ztrátu, ale jsou také nejvyšší ztrátou celkově, která ovlivňuje výsledné OEE montážní linky. Tato ztráta je způsobena lokální svalovou zátěží horních končetin, jelikož byla Zdravotním ústavem se sídlem v Ostravě v roce 2018 linka zařazena do třetí kategorie jako pracoviště překračující limitní hodnoty svalové zátěže s doporučením na zvýšení automatizace a následné přeměření za pomocí elektromyografie.

4.4 Výchozí stav svalové zátěže

Výrobní proces se skládá ze série pohybů nutných k montáži lisovaného spoje, kterými jsou odběr hadice a komponenty, namočení konce hadice do maziva, přednasazení hadice na hrdlo komponenty, založení podsestavy do lisovacího přípravku, upnutí hadice pákou a zalisování. Tento proces se opakuje pro všech 17 lisovaných spojů. Pro vyhodnocení výchozího stavu svalové zátěže byly použity podklady pouze z ústní komunikace se zaměstnanci podniku. Zdravotním ústavem bylo doporučeno měření svalové zátěže, avšak tohoto doporučení nebylo využito. Proces tedy nebyl doposud ergonomicky měřen a tudíž nebylo možné čerpat z přesných dat, které by stanovily stav

zátěže a upřesnily míru optimalizace. Z prvotní analýzy Zdravotního ústavu a po komunikaci s operátory, seřizovači a oddělením HSE, které v podniku zabezpečují bezpečnost práce, ochranu životního prostředí, požární ochranu, a spravují provozní chemikálie, bylo vyhodnoceno, že nejproblémovější částí montáže, která nejvíce ovlivňuje svalovou zátěž je přednasazení hadice na hrdlo komponenty, jelikož zde dochází k rotačnímu pohybu zápěstí a aplikace axiální síly současně, aby bylo zajištěno bezpečného zalisování komponenty bez poškození konečného produktu.

4.5 Závěr analýzy

Z analýzy vyplynulo, že řešenými ztrátami budou ztráty na přeseřízení. Ve ztrátách z přeseřízení byl odhalen potenciál pro optimalizaci v systému plánování, které není uzpůsobené vzájemné odlišnosti jednotlivých typů. Druhým potenciálem pro optimalizaci jsou organizační ztráty, ze kterých byla vybrána ztráta tvořená bezpečnostní svalovou přestávkou, která je způsobena špatnou ergonomií výrobního procesu. Z analýzy vyplynulo, že vysoká svalová zátěž je způsobena pohybem přesnasazení, který zapřičiňuje zvýšené namáhání svalů zápěstí. Z tohoto důvodu bude pro tuto optimalizaci nutné přestavět montážní linku tak, aby se snížila svalová zátěž během výrobního procesu.

5. Návrh řešení, realizace a ověření

Tato část diplomové práce bude zaměřena na navržení řešení problémů, které vyplynuly z analytické části práce. Návrhy budou poté realizovány a jejich účinnost zhodnocena měřením. V případě nesplnění požadovaného cíle dojde k další iterací návrhů optimalizace a následného měření. Prvním cílem optimalizace bude redukce ztrát na přeseřízení, jejichž optimalizace bude řešena návrhem změny systému plánování. Druhým cílem optimalizace bude eliminace organizační ztráty na bezpečnostní přestávku, který bude řešen přestavbou linky a návrhem nového modelu montážního procesu, který má za cíl eliminovat pohyb přednasazení.

5.1 Změna systému plánování

Jako první návrh řešení optimalizace ztrát bylo navrženo zvýšení efektivity výrobního plánování za účelem optimalizace času přeseřízení tak, aby se zredukoval nutný čas na přeseřízení mezi jednotlivými typy. Za tímto účelem byla plánovací tabule převedena do elektronické podoby, což vedlo ke zjednodušení a zrychlení plánování pro logistiku. Elektronická verze také navíc umožňuje efektivnější plánování, jelikož všechny typy byly zařazeny do rodin, podle kterých může plánovač výroby sestavit efektivnější návaznost jednotlivých typů tak, aby docházelo k nižším ztrátám při přeseřízení. Rodiny byly sestaveny a pojmenovány na základě materiálové a procesní příbuznosti. Jednotlivé rodiny byly barevně označeny následovně:

- Žlutá – FRL s hadicí s vnějším vrstvou z příze
- Oranžova – FRL s hadicí s vnější vrstvou z příze, které v procesu používá externí lis
- Červená – FRL s hadicí s vnější vrstvou z příze s atypickými lisovacími přípravky
- Světle modrá – FRL s pryžovou vnější vrstvou
- Tmavě modrá – FRL s pryžovou vnější vrstvou, které v procesu používá externí lis

12/5/2025	Hadr	0445.130.101-67E
12/5/2025	Hadr/Ruční	0445.130.088-0BV
12/5/2025	Hadr/Ruční	0445.130.291-66Z
12/5/2025	Hadr	0928.400.621-390
12/5/2025	Hadr	0928.400.621-4KS
12/5/2025	Hadr/Ruční	0445.130.022-390
12/5/2025	Hadr Special	0928.400.286-33T
12/5/2025	Guma/Ruční	0445.130.100-39T
13/5/2025	Guma	0445.130.174-3F0
13/5/2025	Guma	0445.130.184-3F0
13/5/2025	Guma/Ruční	0445.130.166-390
13/5/2025	Guma	0445.130.191-HP2
14/5/2025	Guma	0445.130.213-U03

Obrázek 15 Optimalizace plánování

Na Obrázku 15 vyobrazeno plánování přeseřízení mezi jednotlivými typy s využitím třídění podle příbuznosti rodin. Druhé barevné třídění, vyobrazené přímým podbarvením typového čísla, je rozdělení sériových zakázek (bílá) a malosériových pro trh s náhradními díly (modrá). Tento způsob však způsobil zvýšení komplexity plánování, jelikož krom prvotních tří zmíněných pravidel přibylo pravidlo čtvrté, které popisuje, jaká by měla být dodržena návaznost mezi jednotlivými rodinami či jak by se jednotlivé rodiny měly mezi sebou kombinovat. Například pro analyzovanou montážní linku je stanovena příbuznost mezi žlutými a oranžovými typy, a druhá příbuznost typových rodin je mezi světle a tmavě modrými typy. Z tohoto důvodu se žluté a oranžové typy se mezi sebou vzájemně střídají, pokud je žlutého typu alespoň 100 ks, červené typy začínají nebo ukončují sérii žlutých/oranžových typů. Také platí, že světle modré se střídají s tmavě modrými s obdobným pravidlem, jako platí pro žluté. Pravidlo střídání platí, jelikož tmavě modré a oranžové obsahují externí lis, který může být dopředu přeseřízen během toho, co se vyrábí typ žlutý nebo světle modrý. Červený typ je exot, tedy typ, který je neobvyklý a vyžaduje kompletní výměnu všech lisovacích přípravků. Z tohoto důvodu je zařazen vždy na konec nebo začátek rodin, které jsou si příbuzné. Jelikož k této změně došlo pro celou výrobu, kde každá ze sedmnácti výrobních linek používá lehce odlišnou systematiku výrobních rodin. To tedy v principu způsobuje, že se výrobní plánovač musel pro každou samostatnou výrobní linku naučit dodržovat nové pravidlo, což zpočátku výrazně prodloužilo dobu plánování. Dalším

krokem pro redukci ztrát na přeseřízení bylo přepracování návodu pro seřizovače a úprava matice přeseřízení (Obrázek 16), která popisuje pozici přípravků, které jsou

M4.1 Návod pro seřizovače-postavení zakládacích přípravků na pozice podle typu FRL

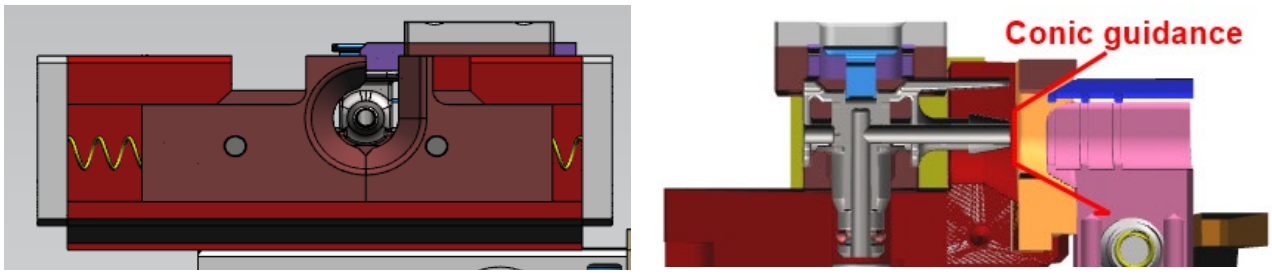
Návod na sestavení M4.1	AP1			AP2			AP3			Ex.Lis	AP3.1	Měřidla	Potisk AP3.3	Štítek	GRAVÍROVÁNÍ
Typ	Konektory	Hadice	Osa	Konektory	Hadice	Osa	Konektory	Hadice	Osa						
0445130002	969	788	969	969	788	969	346-U	788	969	NE		-	NE	NE	MM/RR
0445130012	969	788	969	346-U	788	969				NE		-	NE	NE	MM/RR
0445130017	155	788	300	155	788	300	346-U	788	300	NE		B 51.1659/0001	NE	NE	MM/RR
0445130018	969	276	969	969	276	969	346-U 574-2	276	969	AP2		B 51.1635/0001	NE	NE	MM/RR
0445130022	300	788	300	300	788	300	346-U 318-2	788	300	AP2		B 51.1465/0001	NE	NE	MM/RR
0445130023	300	788	300	300	788	300	346-U 318-2	788	300	AP2		B 51.1465/0001	NE	NE	MM/RR

Obrázek 16 Matice přípravků

využívané pro každý jednotlivý typ. Tato úprava umožnila zrušení plánovacího pravidla, které nařizovalo, že malosériová výroba probíhá pouze na ranní směně. Tímto způsobem byla odstraněna nadbytečná přeseřízení, ke kterým docházelo na začátku a na konci ranní směny. Poslední změnou, která ovlivnila dobu přeseřízení, je snížení počtu šroubovaných spojů, které uchycovaly jednotlivé lisovací přípravky. Tyto spoje byly v rámci přestavby linky nahrazeny drážkami v kombinaci s aretačními čepy. Tato přestavba zrychlila přeseřízení mezi jednotlivými typy a také stabilizovala výrobu, jelikož u šroubovaných spojů, které nejsou zajištěny lepidly či kontramatkou, dochází v důsledku rázů a vibrací k povolení, a tudíž k nutné průběžné kontrole a úpravě nastavení lisovacích přípravků v průběhu výrobní směny.

5.2 Návrh přestavby montážní linky

Na základě analýzy výchozího stavu svalové zátěže bylo rozhodnuto, že je nutné přepracovat lisovací proces tak, aby byla minimalizována nutnost využití pohybu přednasazení hadice na kužel hrdla komponentu. Z tohoto důvodu byl navržen



Obrázek 17 Nový koncept kuželového navádění

odpružený systém navádění hadice na kužel komponenty tak, aby byla hadice

vystředěna vůči komponentě a nedošlo ke kolizi se stěnou hadice, jehož model lze vidět na Obrázku 17. K dosažení tohoto cíle bylo nutné upravit zakládací hnízda pro komponenty, aby poskytovala maximální oporu komponentům a byl eliminován jakýkoliv pohyb upnutého komponentu v přípravku. Tato úprava však znesnadnila odběr zalisované podsestavy z lisovacího přípravku. Z tohoto důvodu bylo nutné přidat do lisovacích přípravků vyhazovač, který po zalisování vysune podsestavu směrem vzhůru ze zakládacího hnízda. Aby však vysunutí podsestavy bylo možné, je nutné, aby ve chvíli slisování došlo k uvolnění upnuté hadice. Jelikož však současné upínání hadice je páka sjíždějící shora, tak vysunutí podsestavy je znemožněné. Z tohoto důvodu bylo notné přepracovat i kompletní systém upínání lisované hadice. Podmínkou tohoto systému je, že páka nesmí překážet operátorovi v lisovacím procesu, nesmí upínat shora a musí poskytovat dostatečnou sílu na to, aby nedocházelo k prokluzu upnutého komponentu. Jako mock up upínacího procesu byla využita stavebnice LEGO (Obrázek 18, která dopomohla k optimální simulaci podmínek potřebných k vylepšení lisovacího procesu.

Obrázek 18 Mock up upínacího systému

5.3 Měření svalové zátěže a následné vyhodnocení

Cílem tohoto měření bylo ověření hypotézy, která říká:

„Přednasazení hadice na hrdlo komponenty je příčinou svalové zátěže, jelikož je vynakládána vysoká síla a rotační pohyb zápěstí“.

Za účelem ověření této hypotézy bylo stanoveno experimentální měření Zdravotním ústavem za pomocí Elektromyografie. Pro měření byly stanoveny podmínky, že měřeným operátorem je žena, která je běžným operátorem dané montážní linky a má pravou lateralitu horní končetiny.

Za těchto podmínek byly náhodně vybrány dvě operátorky pro měření elektromyografie snímku celé směny, která zahrnuje měření maximálních vynaložených sil pro montážní proces a počítání celkového počtu pohybů rukou nutných k montáži jednoho kusu, což je následně roznásobeno celkovým počtem kusů na směnu připadajících na jednoho operátora.

Tabulka 1 %F_{max} pro jednotlivé stanice – měření 1

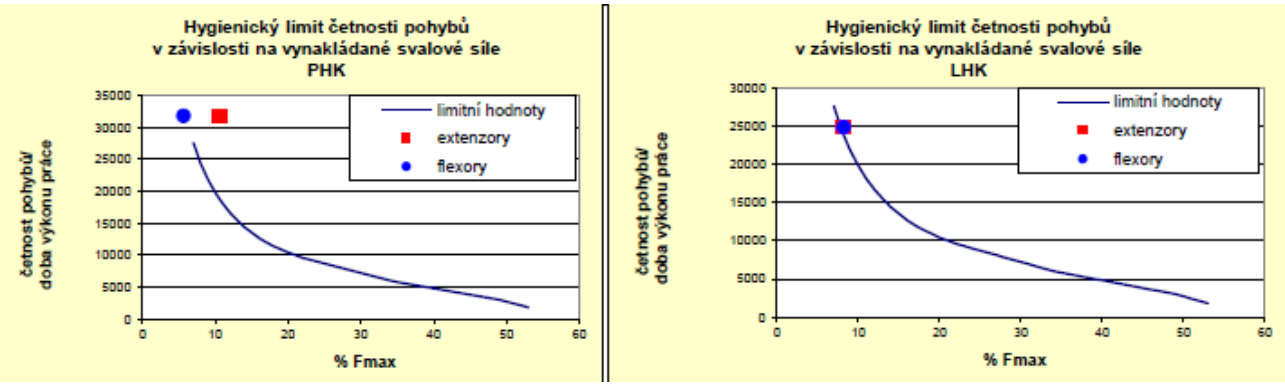
Integrovaná EMG:		% F_{max}			
		PHK		LHK	
Doba (min.)	Činnost	extenzory	flexory	extenzory	flexory
109	Pracoviště: AP1 montáž + 1/2 AP3 montáž	10,5	5,8	7,6	7,8
109	Pracoviště: AP2 montáž + 1/2 AP3 montáž	9,6	4,9	7,5	7,7
109	Pracoviště: AP3.1 montáž, AP3.3 potisk hadic a AP4 zkouška těsnosti	12,5	7,4	9,7	10,6
108	Pracoviště: Popis, Kontrola váha	10,9	4,8	8,5	7,5
15	Bezpečnostní přestávka	3,0	3,0	3,0	3,0
435	**Časově vážený průměr efektivní činnosti**	**10,9**	**5,7**	**8,3**	**8,4**
450	**Celosměnový časově vážený průměr**	**10,6**	**5,6**	**8,2**	**8,2**

Tabulka 1 ukazuje jednotlivé pozice, které operátor v průběhu celé směny vystřídá a procento vynaložené maximální síly během montážního procesu rozdělené dle typu svalu a končetiny. Z naměřených hodnot vynaložené %F_{max} pro lisovací proces je částečně potvrzena hypotéza, že přednasazení má vysoký podíl na překročení limitů svalové zátěže, jelikož pracoviště AP3.3 neprošlo přestavbou a je pro něj stále nutné přednasazení hadice na hrdlo komponent. Stanice tedy dosahuje nejvyšších hodnot %F_{max} 12,5 oproti ostatním lisovacím stanicím, které podstoupily přestavbu a dosahují v maximu % F_{max} pouhých 10,5.

Tabulka 2 Četnost pohybů horních končetin v průběhu celé směny – měření 1

	Činnost	PHK	LHK
1	Pracoviště: AP1 montáž + 1/2 AP3 montáž	8 030	4 906
2	Pracoviště: AP2 montáž + 1/2 AP3 montáž	8 860	6 317
3	Pracoviště: AP3.1 montáž, AP3.3 potisk hadic a AP4 zkouška těsnosti	7 138	6 474
4	Pracoviště: Popis, Kontrola váha	7 802	7 138
Σ četnosti pohybů/sm - efektivní činnosti		**31 830**	**24 835**

Z Tabulky 2, lze vyčíst četnost pohybů na jednotlivých stanovištích v průběhu celé výrobní směny. Z analýzy četnosti pohybů zobrazených v tabulce však vyplývá, že původní hypotéza byla vyvrácena, jelikož i přes úplnou eliminaci pohybu přednasazení na třech ze čtyř lisovacích stanic byl výrazně překročen zákonný limit 27 000 pohybů v průřezu celé směny. Původní hypotéza experimentu je tedy vyvrácena, a abychom našli další východiska pro odstranění lokální svalové zátěže a tedy přesunu montážní linky do kategorie pracoviště třídy 2, je nutné tyto výsledky podrobit další analýze.

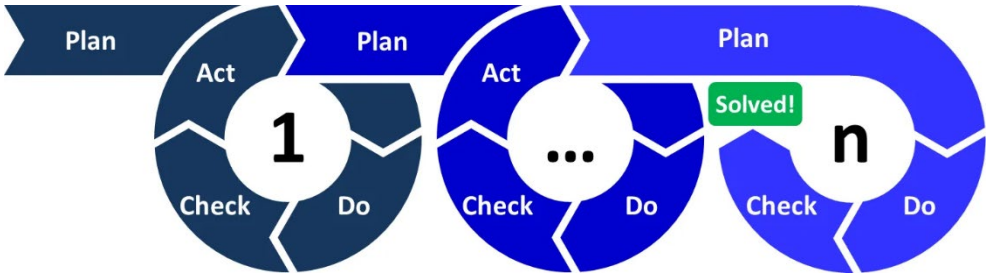


Graf 1 Grafické znázornění závislosti naměřených hodnot $\%F_{max}$ na četnosti pohybů – měření 1

Graf 1 vyobrazuje závislost počtu pohybů na procentech využité maximální síly pro jednotlivé končetiny a typy svalů. Dále také vyobrazuje modrou spojnici, která znázorňuje limitní hodnotu svalové zátěže pro pracoviště kategorie 2. Dle tohoto grafického zobrazení můžeme vidět, že extenzory i flexory levé horní končetiny mezně splňují limity lokální svalové zátěže, avšak aby bylo za současných sil dosaženo limitů

pro pravou horní končetinu, musel by počet pohybů být zredukován přibližně na 17 000 pohybů.

Dále také je možné vidět, že počet pohybů pravé ruky je výrazně vyšší než počet pohybů levé, což je výrazný podnět pro zlepšení lisovacího procesu tak, že se počty pohybů rukou vybalancují. Jelikož výsledky měření poukazují na to, že montážní linka musí zůstat jako pracoviště třídy 3, je nutné tento proces podrobit neustálému zlepšování dle PDCA, tedy dle výsledků prvních testů je nutné naplánovat opatření,

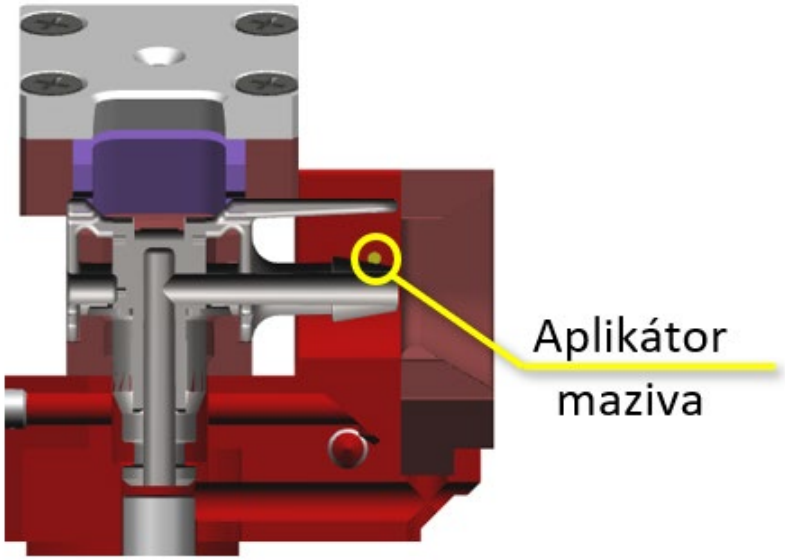


Obrázek 19 PDCA

která povedou k optimalizaci procesu za cílem eliminace svalové zátěže. Tato optimalizace bude znovu změřena a vyhodnocena. Jak popisuje PDCA(Obrázek 19) tento koloběh iterací bude pokračovat tak dlouho, než bude dosaženo cíle nebo bude optimalizace výrobního procesu poskytovat úsporu stejnou nebo vyšší, než bychom dostali odstraněním bezpečnostních přestávek. Abychom redukovali počet pohybů potřebných k montáži, je nutné částečně zautomatizovat proces. Abychom minimalizovali náklady, nebyl pro automatizaci vybrán proces lisování samotného,

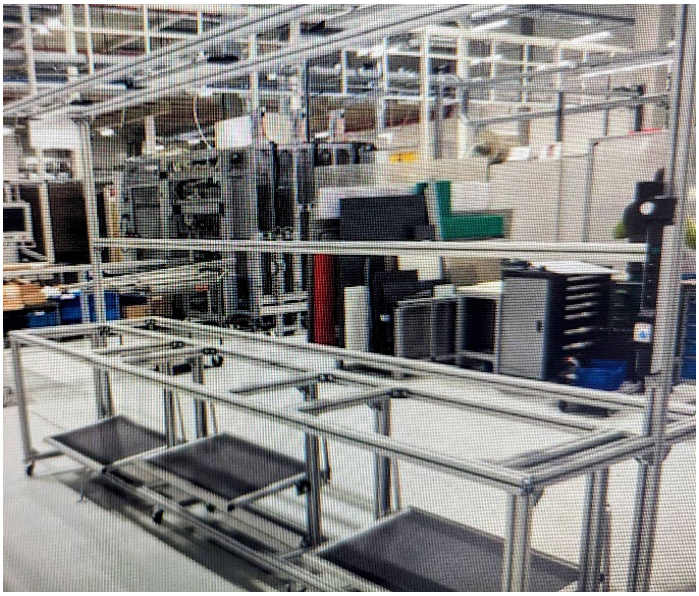
jelikož tato přestavba by vyžadovala druhotné náklady na zajištění bezpečnosti práce operátorů.

Z tohoto důvodu byl pro automatizaci vybrán proces mazání. Abychom zajistili proveditelnost této automatizace, musel být proces mazání přesunut z mazání konce hadice na mazání hrdla komponenty. Za tímto účelem musel být upraven přípravek pro lisování tak, aby umožňoval zapojení mazacích pump. Z tohoto důvodu musel být v přípravku vytvořen mazací labyrint, který funguje jako aplikátor maziva (Obrázek 20).



Obrázek 20 Automatické mazání komponent

Dalším krokem pro úspěšné splnění limitů svalové zátěže bylo vybalancování celkových pohybů pravé a levé ruky a vybalancování zátěže operátora na jednotlivých stanicích v závislosti na počtu pohybů. Z tohoto důvodu došlo k novému mapování celého procesu, během kterého proběhla nová MTM analýza a analýza počtu pohybů na jednotlivých stanicích po přestavbě, a následné balancování náplně práce operátora. Aby byla stanice optimalizována ergonomicky a splněné normy, které se každým rokem zpřísňují, byla navržena celková přestavba nosné konstrukce lisovacích stanic tak, aby se optimalizoval dosah operátorů pro materiál, lépe se uzpůsobila stanice potřebám operátorů, jelikož stanice jsou využívány jako stanice pro stání a sezení. Z tohoto důvodu byly nainstalovány ergonomické a nastavitelné opory pro nohy. Za posledních dvacet let se výrazně zpřísnily normy o tom, kolik prostoru potřebuje operátor ke své práci, a proto byla stanice rozšířena tak, aby každý operátor měl pracovní prostor alespoň 120 cm, což lze vidět na Obrázku 21.



Obrázek 21 Ergonomická přestavba kostry lisovacích stanic

5.4 Druhé měření svalové zátěže

Druhé měření svalové zátěže bylo provedeno za stejných podmínek a na stejném typu, který tvoří více než 30 % celkové produkce linky. Na základě těchto podmínek byly do experimentu náhodně vybrány dvě operátorky, na kterých byla naměřena svalová zátěž s použitím elektromyografie.

Tabulka 3 %Fmax pro jednotlivé stanice – měření 2

Integrovaná EMG:		% F_{max}			
		PHK		LHK	
Doba (min.)	Činnost	extenzory	flexory	extenzory	flexory
112	Pozice 1 (AP1 + AP3)	9,1	7,3	9,5	9,0
113	Pozice 2 (AP2)	7,5	5,1	7,3	7,8
112	Pozice 3 (AP3.3 +AP3.1 + AP4)	11,3	10,0	10,3	10,7
113	Pozice 4 (Popis, Kontrola váhy, Vizuální kontrola)	9,7	7,7	9,1	8,0
450	**Časově vážený průměr efektivní činnosti**	**9,4**	**7,5**	**9,1**	**8,9**
450	**Celosměnový časově vážený průměr**	**9,4**	**7,5**	**9,1**	**8,9**

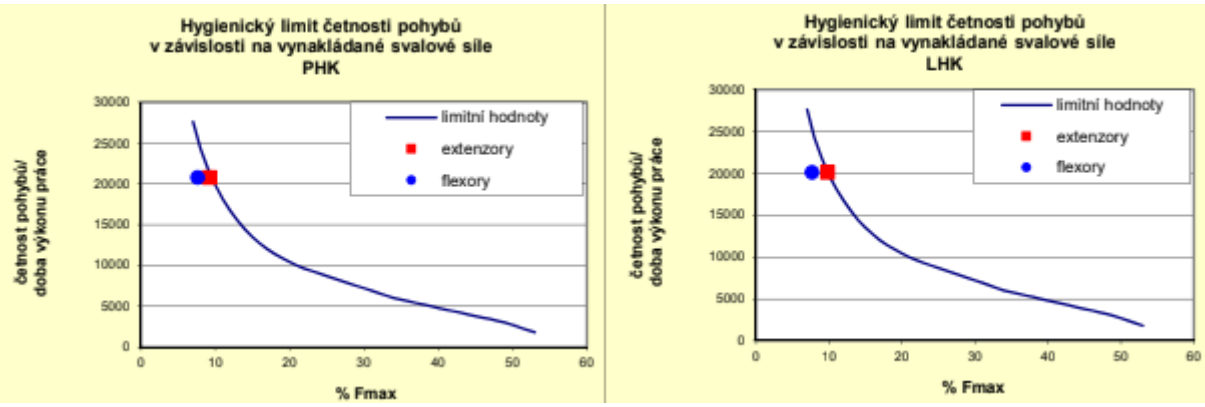
Z naměřených hodnot %F_{max} v Tabulce 3 můžeme vidět, že druhotná přestavba, která zahrnovala automatizované mazání hrdel komponent a další optimalizaci naváděcích kleštin a upínání hadic napomohla ke snížení sil vynaložených k montáži vyráběných produktů. Druhým vlivem, který mohl zapůsobit na naměřené síly jsou jiné operátorky, avšak tento vliv lze považovat za minimální, jelikož rozdíly sil mezi oběma operátorkami z druhého měření jsou v desetinách % F_{max}. Stále je výrazný vliv pracoviště 3, kde se nachází stanice AP3.3, která neprošla přestavbou, jelikož je využívána pouze pro 3 výrobní typy a pouze jeden lisovaný spoj. Pro stanice AP3.1 a AP4 není předpokládáno využití vyšší nutné síly, jelikož se zde jedná pouze od založení konektorů do přípravků, nedochází tedy k vynaložení vysokých sil, pouze vyššího počtu pohybů.

Tabulka 4 Četnost pohybů horních končetin v průběhu celé směny OP2 – měření 2

Činnost		PHK	LHK
1	Pozice 1 (AP1 + AP3)	6 232	5 658
2	Pozice 2 (AP2)	3 569	3 569
3	Pozice 3 (AP3.3 +AP3.1 + AP4)	5 740	5 412
4	Pozice 4 (Popis, Kontrola váhy, Vizuální kontrola)	5 229	5 478
Σ četnosti pohybů/sm - efektivní činnosti		**20 770**	**20 117**

Druhým úkolem před měřením bylo vybalancovat využití pravé a levé končetiny. Za tímto účelem byl zmapován celý proces a zaveden standard návaznosti pohybu na danou horní končetinu. V původním konceptu tento standard nebyl praktikován a každý operátor si přizpůsoboval proces svému komfortu. Díky nastavení standardu jsme byli schopni vybalancovat průměrný počet pohybů na rozdíl cca 600 pohybů (Tabulka 4),

což je výrazný rozdíl oproti předešlým cca 7000 pohybů (Tabulka 2). Velký faktor této redukce však byla samotná automatizace mazání komponent, jelikož v předešlé generaci přípravků tvořilo mazání hadice vyšší podíl na pohybech pravé ruky než levé. Dále si můžeme všimnout změny pracovního postupu pro pracoviště 1 a pracoviště, kde lisování na stanici AP3 přešlo v plnou kompetenci pracoviště 1, jelikož pracovní náplň operátora 2 je komplexnější. Díky této změně došlo k vysokému rozdílu naměřených pohybů na stanicích. I přes výrazný rozdíl počtu pohybů došlo ke srovnání času cyklů jednotlivých pracovišť. Díky této změně také dochází k mírné relaxaci svalů horních končetin, díky řízené rotaci pracovníků mezi jednotlivými pracovišti v průběhu směny, což by mělo napomoci splnění zákonných limitů pro pracoviště kategorie 2



Graf 2 Grafické znázornění závislosti naměřených hodnot %Fmax na četnosti pohybů – měření 2

Grafické zobrazení naměřených hodnot v Grafu 2 ukazuje, že limity pro svalovou zátěž byly splněny, avšak pro extenzory obou horních končetin se blíží limitním hodnotám, z čehož vyplývá, že dalším potenciálem pro zlepšení procesu je snížení síly vynaložené extenzory, tedy svaly ovlivňujícími natažení či napřímení.

6. Zhodnocení přínosu navržených řešení

Pro výpočet ekonomického zhodnocení bude využita metoda snížení přímých nákladů, jelikož je to metoda, která byla využita i uvnitř podniku na zhodnocení všech kroků tohoto projektu a výpočet návratnosti investic.

6.1 Úspora přímých nákladů

Pro výpočet jsou stanoveny personální náklady na jednoho operátora za jeden rok na 750 000 Kč, které byly platné v roce 2023, kdy byl zadán výpočet úspor pro tento projekt. Výroba probíhá ve třísměnném provozu a výrobní linku obsluhují čtyři operátoři a jeden seřizovač. Obrázek 22 vyobrazuje výpočet přímých nákladů v interním souboru, který umožňuje technologům předběžně vyhodnotit úsporu přímých nákladů na projektech. Do Systému se pouze zadává jaká je míra zlepšení/zhoršení v rámci změny, případně je tato míra vypočtena na základě původního a nového času výrobního cyklu. Dalším bodem vyplnení počtu přímých zaměstnanců (operátoři + seřizovači), kteří jsou přidělení pro danou montážní linku na jednu směnu a směnný model, ve kterém výrobní linka funguje. Třetím krokem je doplnění přímých nákladů na jednoho zaměstnance, kde je nutné tuto hodnotu vyžádat z oddělení controllingu. Posledním krokem je zadání z jakého procenta je optimalizovaný typ zastoupen v celém výrobním spektru. V tomto případě bylo doplněno 100 %, jelikož se jedná o optimalizaci OEE na celém výrobním spektru linky.

1. **% zlepšení/zhoršení**	**-1,00%**		
2. počet DIR/ML/1 směna	5,0	aktuální stav DIR	
počet směn za den	3		
3. persco 1 MA (BPxx)	750 000	Kč/1MA/rok	zjistí CTG
% část z TTN spektra ML	100%	*automaticky nastavené 100% (tj. TZ se týká celého TTN spektra dané ML)*	
počet DIR po změně IDM	14,9	DIR	hypotéza o proporčním zkrácení personální kapacity vzhledem k změně TZ
delta (-úspora /+zhoršení)	**-0,1**	změna personální kapacity	
dosažená roční úspora	**-112 500**	Kč/rok	

Obrázek 22 Ekonomické zhodnocení – Ztráta z přeseřízení

Prvním ekonomickým zhodnocením, které je nutné zkalkulovat, je optimalizace plánování, která měla vliv na ztrátu z přeseřízení. Tato ztráta byla díky optimalizaci zredukována z průměrných 4,5 % celkového OEE na průměrných 3,5 % celkového OEE. Vliv optimalizace byl sledován a následně vyhodnocen z hodinového sledování a snímek tvoří sledování za tři měsíce. Celkové OEE se tedy po optimalizaci zlepší

průměrně o 1 %, což dle výpočtu v Obrázku 22 činí celkovou úsporu na přímých nákladech 112 500 Kč ročně.

Jelikož výsledky z druhého měření svalové zátěže ukázaly, že míra svalové zátěže na operátora poklesla pod úroveň pracoviště se zátěží stupně 3, bylo možné odstranit povinné bezpečnostní přestávky. Bezpečností přestávka tvoří v každém měsíci ztrátu 3-4 %. Výpočet úspory bude stanoven pro nižší hodnotu, jelikož bezpečnostní přestávka byla využívána seřizovači k provádění úprav výrobního procesu nebo k provádění preventivních oprav. Z tohoto důvodu nelze očekávat plnou úsporu 4 % OEE po zrušení bezpečnostních přestávek. Vlivem odstranění bezpečnostních přestávek tedy dochází k přibližnému zvýšení OEE o 3 %. Zvýšení OEE o 3 % dle výpočtu v Obrázku 23 . tvoří předpokládanou úsporu přímých nákladů 337 500 Kč ročně.

1. **% zlepšení/zhoršení**	**-3,00%**		
2. počet DIR/ML/1 směna	5,0	aktuální stav DIR	
počet směn za den	3		
3. persco 1 MA (BPxx)	750 000	Kč/1MA/rok	zjistí CTG
% část z TTN spektra ML	100%	*automaticky nastavené 100% (tj. TZ se týká celého TTN spektra dané ML)*	
počet DIR po změně IDM	14,6	DIR	hypotéza o proporčním zkrácení personální kapacity vzhledem k změně TZ
delta (-úspora /+zhoršení)	**-0,5**	změna personální kapacity	
dosažená roční úspora	**-337 500**	Kč/rok	

Obrázek 23 Ekonomické zhodnocení – Svalová zátěž

6.2 Návratnost investic

Pro zhodnocení návratnosti investic bude započtena pouze úspora nákladů, která vznikla odstraněním bezpečnostní svalové přestávky, tedy 337 500 Kč. Celkové náklady na přestavbu stanice tvořily 962 516 Kč. Náklady na přestavbu jsou tvořeny pouze náklady na materiál, konstrukci a výrobu přípravků. Implementace nových přípravků nového lisovacího systému nebyla zajištěna externí firmou, proto pro ni nejsou stanoveny žádné náklady.

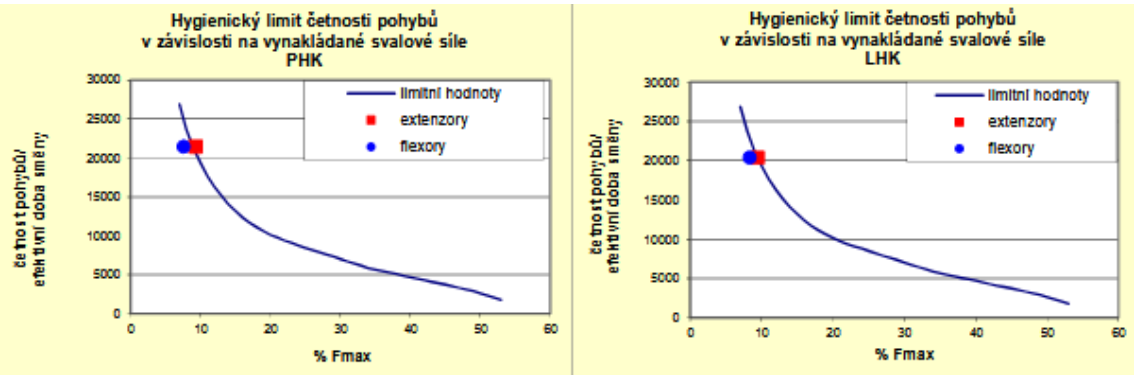
$$ROI = \frac{337\,500}{962\,516} \times 100 = 35{,}06\%$$

Návratnost investice do přestavby montážní linky dělá 35 měsíců. Tato návratnost investic je tedy považována za dostatečnou, jelikož doba návratnosti nesmí překročit minimální životnost projektu. Tento projekt navíc zahrnuje zlepšení ergonomie

a snížení rizika nemoci z povolání. Výhodnost projektu navíc potvrzuje, že minimální životnost produktu je přibližně šest let, jelikož velkou část spektra tvoří zakázky pro trh s náhradními díly.

7. Dopad nové legislativy z roku 2024 na průběh projektu

V 2024 došlo ke zpřísnění legislativy o bezpečnosti práce a v tomto případě hlavně zpřísnění normy pro lokální svalovou zátěž. Došlo k přepočtu náměrů z roku 2023. Na základě výsledků přepočtu dle nových norem bylo zjištěno, že jsou překročeny normy pro extenzory pravé horní končetiny. Z tohoto důvodu byl podnik informován o přesunu stanice zpět do pracoviště kategorie 3 pro lokální svalovou zátěž. Dle Grafu 3 je vidět,



Graf 3 Graf přepočtu svalové zátěže 2024

že modře značené flexory se vyskytují pod limitní hranicí, pro červeně značené extenzory levé horní končetiny platí, že se vyskytují těsně v limitech svalové zátěže. Avšak extenzory pravé horní končetiny těsně překročily hranici svalové zátěže.

Tabulka 5 Svalová zátěž z druhého měření

	% F_{max}			
	PHK		LHK	
	extenzory	flexory	extenzory	flexory
Prac. č. 1	9,4	7,5	9,1	8,9
Prac. č. 2	9,2	7,6	9,8	7,7
průměrná směna	**9,3**	**7,6**	**9,4**	**8,3**
Četnost pohybů/doba výkonu práce				
	PHK		LHK	
Prac. č. 1	22 090		20 614	
Prac. č. 2	20 770		20 117	
průměrná směna	**21 430**		**20 366**	

Z Tabulka 5 Svalová zátěž z druhého měření můžeme vidět, že překročení hranice extenzorů pravé horní končetiny není způsobeno vyšší silou během montáže, jelikož levá horní končetina v průměru dosahovala vyšších hodnot. Jedná se tedy o vliv vyššího

průměrného počtu pohybů za směnu. Jelikož byly překročeny limitní hodnoty, bylo nutné navrátit zpět bezpečnostní přestávky. Další analýzy procesu ukázaly, že aby bylo znovu dosaženo optimálních hodnot a získáno alespoň 10% rezerv vůči limitům tak, aby nenastala v roce 2025 stejná situace, musela by montážní linka projít další přestavbou soustředěnou na vyšší automatizaci procesu, jejíž investice by převyšovaly optimální dobu návratnosti investic.

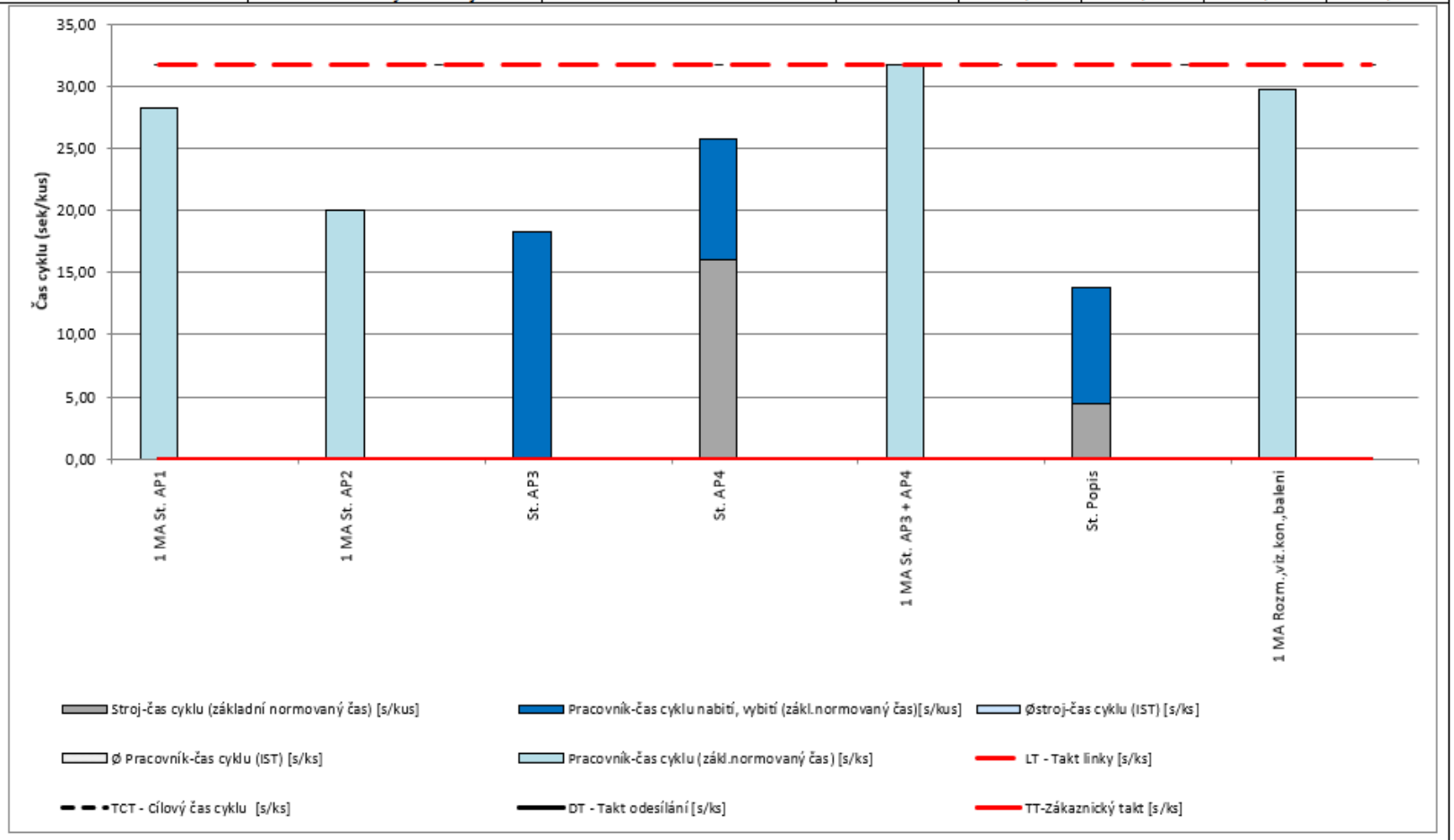
Ideálním cílem této práce bylo optimalizovat výrobní proces natolik, aby byly odstraněny bezpečnostní přestávky. Za tímto cílem došlo k přestavbě linky a úpravě lisovacího procesu. Úprava lisovacího procesu během MTM analýzy ukázala potenciál zrychlení výrobního taktu, který nebyl zprvu využit, jelikož procesní takt se neupravoval, aby byl zachován počet lisovaných kusů za směnu a vůči nim počítaný počet pohybů. Jelikož výsledky analýzy ukázaly, že další přestavba by nebyla dostatečně rentabilní, tak bylo rozhodnuto, že cílem bude optimalizovat výrobní proces tak, že bezpečnostní přestávky budou zachovány, ale zvýšením výrobního taktu bude dosaženo úspory takové, aby původní ekonomické zhodnocení dorovnala či převýšila pouze na základě zkrácení času výrobního cyklu, který vyplynul z MTM analýzy.

7.1 Optimalizace času výrobního cyklu

Jedním ze základních problému rozhodnutí optimalizace výrobního cyklu je, že optimalizace nepostihuje celé výrobní spektrum, a proto je nutné vytipovat typové rodiny, které byly ovlivněny přestavbou výrobní linky. Výrobní rodina musí tedy splňovat podmínku, že úzkým místem procesu jsou lisovací stanice. Typy, které byly ovlivněny touto optimalizací, byly vybrány za pomoci diagramu vytaktování procesu neboli diagramu balancování výrobního cyklu. V Grafu 4 Diagram výrobního cyklu Rodina 5 můžeme vidět časy jednotlivých operací na montážní lince. Pro rodinu 3 je díky optimalizaci lisovacích stanic možné zredukovat čas výrobního cyklu o 2 s na 29,7, kde 2 s tvoří rezervu operace 3, která zahrnuje stanici AP3 + AP4 od operace 4, kde je prováděna zraková kontrola a balení . Optimalizace může být pouze 2 s, jelikož novým úzkým místem procesu se stane operace čtyři, tedy gravírování, kamerová kontrola, zraková kontrola kvality a balení. Pro Rodinu 2 dle Grafu 5 Diagram výrobního cyklu Rodina 2 bylo naměřeno, že proces je možné optimalizovat maximálně o 3,7 s.

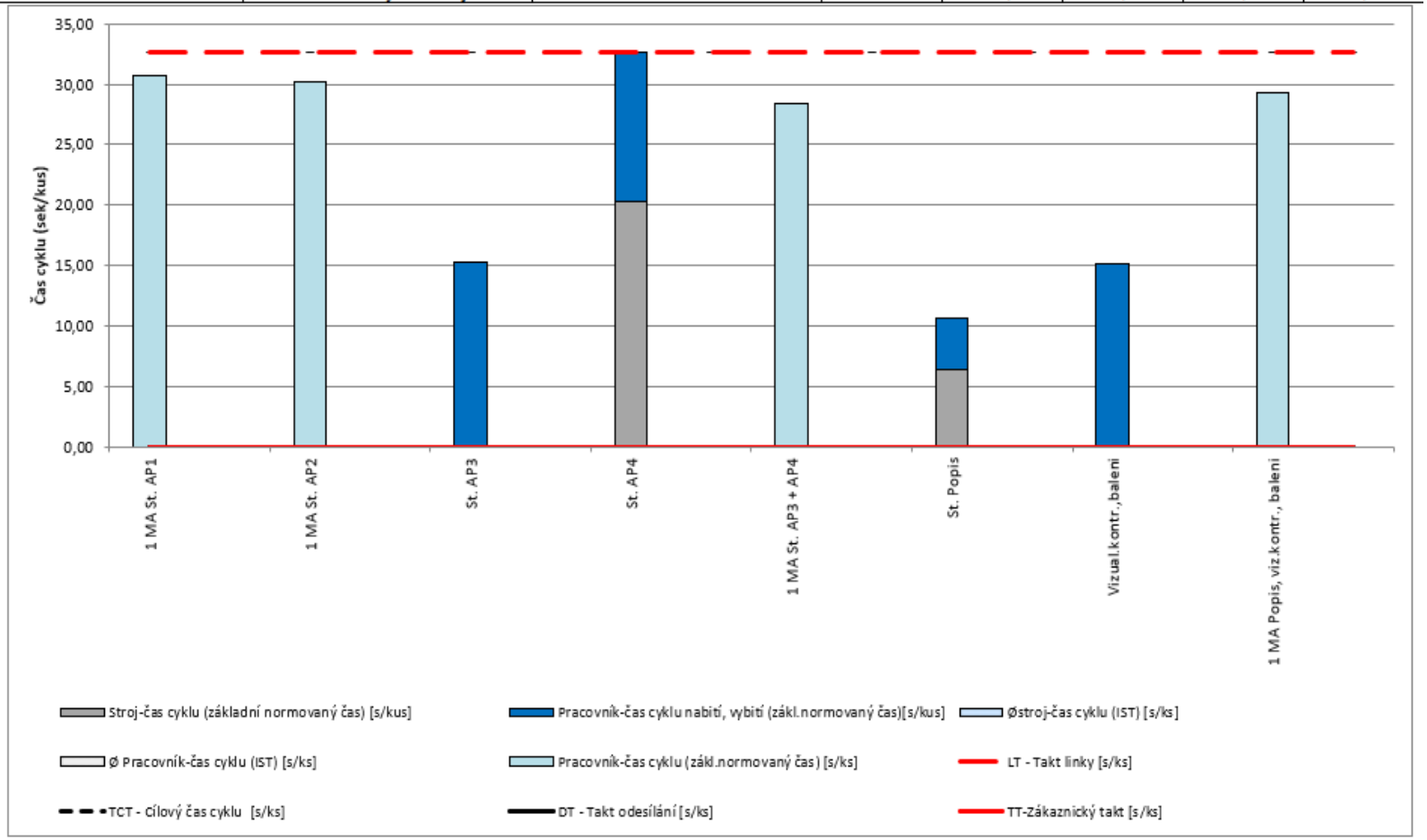
Další optimalizace nastala pro výrobní Rodiny 3 a 6, kde během MTM analýzy a balancování pohybů bylo naměřeno, že je možné navíc optimalizovat i poslední operaci, takže pro Rodinu 3 dochází k úspoře času výrobního cyklu 6,1 s, jelikož byl výrobní cyklus zkrácen ze 72 s na 65,9 s a pro rodinu 6 pak úspora činí 5,4 s. Výrobní cyklus byl pro rodinu 6 zkrácen z 53,4 s na 48 s. Dále byl u této rodiny přehodnocen jeden z výrobních typů tak, že po změně bude náležet do Rodiny 5, která má po optimalizaci čas výrobního cyklu 29,8 s.

Vytaktování / Abtaktung	Dílna / Werkstatt	Linka / Linie	Číslo výrobku / Materialnummer	BOSCH				
	FRL	M4.1	Rodina _ 5					
Počet přímých pracovníků / DIR MA Anzahl	Vedoucí týmu / Meister	Plánovač TEF6 / Planer TEF6	Datum / Datum	Takt linky Linientakt (sek/kus)	Cílový čas cyklu Ziel-Zykluszeit (sek/kus)	Takt odvádění Ablieferntakt (sek/kus)	Zákaznický takt Kundentakt (sek/kus)	
4	Janovský Ondřej	Pertlíková Kamila	22.9.2022	31,7	0,0	0,0	0,0	



Graf 4 Diagram výrobního cyklu Rodina 5

Vytaktování / Abtaktung	Dílna / Werkstatt	Linka / Linie	Číslo výrobku / Materialnummer				
	FRL	M4.1	Rodina _ 2				
Počet přímých pracovníků / DIR MA Anzahl	Vedoucí týmu / Meister	Plánovač TEF6 / Planer TEF6	Datum / Datum	Takt linky Linientakt (sek/kus)	Cílový čas cyklu Ziel-Zykluszeit (sek/kus)	Takt odvádění Abliefertakt (sek/kus)	Zákaznický takt Kundentakt (sek/kus)
4	Janovský Ondřej	Pertlíková Kamila	22.09.2022	32,7	0,0	0,0	0,0



Graf 5 Diagram výrobního cyklu Rodina 2

8. Zhodnocení přínosů optimalizace výrobních cyklů

Pro zhodnocení přínosů budeme používat stejnou systematiku jako v Kapitole 6, tedy zhodnocení úspory přímých nákladů a návratnost investic.

8.1 Úspora přímých nákladů

Výpočet úspory přímých nákladů však bude s několika rozdíly oproti výpočtu v kapitole 6, jelikož úspora bude počítaná pro rodiny typového spektra, proto je nejprve nutné stanovit pro každou rodinu, jaké tvoří procentuální zastoupení v typovém spektru dle predikcí. Další změnou oproti předešlému zhodnocení je že se nejedná o přímou procentuální úsporu, takže úspora musí být vypočtena na základě rozdílu mezi novým a starým časem výrobního cyklu.

Tabulka 6 Zastoupení výrobních rodin v typovém spektru

Rodina 1	9,9 %
Rodina 2	2 %
Rodina 3	33,5 %
Rodina 4	0,5 %
Rodina 5	10 %
Rodina 6	20,2 %
Rodina 7	23 %
Rodina 8	0,9 %

Přesunutý typ z rodiny 6 do rodiny 5 tvoří 8,4 % celkového typového spektra. Takže po odečtení přesunutého typu bude úspora počítána s 11,8 % z celého vyráběného spektra montážní linky. Všechny úspory na optimalizaci času výrobních cyklů jsou počítané dle výrobních kapacit platných pro rok 2024, ale úspora je platná až od 1.1.2025, kdy bylo možné překalkulovat cenu jednotlivých produktů na základě optimalizace času výrobního cyklu.

1. **původní TZ (v sek.)**	32,7		
nový TZ (v sek.)	29,0		
% zlepšení/zhoršení	**-11,31%**		
2. počet DIR/ML/1 směna	5,0	aktuální stav DIR	
počet směn za den	3		
3. persco 1 MA (BPxx)	750 000	Kč/1MA/rok	zjistí CTG
% část z TTN spektra ML	2%	*automaticky nastavené 100% (tj. TZ se týká celého TTN spektra dané ML)*	
počet DIR po změně IDM	13,3	DIR	hypotéza o proporčním zkrácení personální kapacity vzhledem k změně TZ
delta (-úspora /+zhoršení)	**0,0**	změna personální kapacity	
dosažená roční úspora	**-25 459**	Kč/rok	

Obrázek 26 Úspora rodina 2

1. **původní TZ (v sek.)**	72,0		
nový TZ (v sek.)	65,9		
% zlepšení/zhoršení	**-8,47%**		
2. počet DIR/ML/1 směna	5,0	aktuální stav DIR	
počet směn za den	3		
3. persco 1 MA (BPxx)	750 000	Kč/1MA/rok	zjistí CTG
% část z TTN spektra ML	33,5%	*automaticky nastavené 100% (tj. TZ se týká celého TTN spektra dané ML)*	
počet DIR po změně IDM	13,7	DIR	hypotéza o proporčním zkrácení personální kapacity vzhledem k změně TZ
delta (-úspora /+zhoršení)	**-0,4**	změna personální kapacity	
dosažená roční úspora	**-319 297**	Kč/rok	

Obrázek 26 Úspora rodina 3

1. **původní TZ (v sek.)**	53,4		
nový TZ (v sek.)	29,7		
% zlepšení/zhoršení	**-44,38%**		
2. počet DIR/ML/1 směna	5,0	aktuální stav DIR	
počet směn za den	3		
3. persco 1 MA (BPxx)	750 000	Kč/1MA/rok	zjistí CTG
% část z TTN spektra ML	8,4%	*automaticky nastavené 100% (tj. TZ se týká celého TTN spektra dané ML)*	
počet DIR po změně IDM	8,3	DIR	hypotéza o proporčním zkrácení personální kapacity vzhledem k změně TZ
delta (-úspora /+zhoršení)	**-0,6**	změna personální kapacity	
dosažená roční úspora	**-419 410**	Kč/rok	

Obrázek 26 Úspora na přesunutém typu

1. **původní TZ (v sek.)**	53,4		
nový TZ (v sek.)	48,0		
% zlepšení/zhoršení	**-10,11%**		
2. počet DIR/ML/1 směna	5,0	aktuální stav DIR	
počet směn za den	3		
3. persco 1 MA (BPxx)	750 000	Kč/1MA/rok	zjistí CTG
% část z TTN spektra ML	11,8%	*automaticky nastavené 100% (tj. TZ se týká celého TTN spektra dané ML)*	
počet DIR po změně IDM	13,5	DIR	hypotéza o proporčním zkrácení personální kapacity vzhledem k změně TZ
delta (-úspora /+zhoršení)	**-0,2**	změna personální kapacity	
dosažená roční úspora	**-134 242**	Kč/rok	

Obrázek 28 Úspora rodina 6

1. **původní TZ (v sek.)**	31,7		
nový TZ (v sek.)	29,7		
% zlepšení/zhoršení	**-6,31%**		
2. počet DIR/ML/1 směna	5,0	aktuální stav DIR	
počet směn za den	3		
3. persco 1 MA (BPxx)	750 000	Kč/1MA/rok	zjistí CTG
% část z TTN spektra ML	10%	*automaticky nastavené 100% (tj. TZ se týká celého TTN spektra dané ML)*	
počet DIR po změně IDM	14,1	DIR	hypotéza o proporčním zkrácení personální kapacity vzhledem k změně TZ
delta (-úspora /+zhoršení)	**-0,1**	změna personální kapacity	
dosažená roční úspora	**-69 558**	Kč/rok	

Obrázek 28 Úspora rodina 5

Celková úspora projektu je tedy součtem úspory plánování, která dělá 112 500 Kč a jelikož úspora z odstranění bezpečnostní přestávky běžela od 1.9.2023, tak je možné přičíst úsporu z odstranění bezpečnostních přestávek za Q4, která činí 84 375 Kč. Úspora, která byla dosažena projekty za rok 2023 tedy součtu činí **196 875 Kč**. Úspora, která bude dosažena na konci roku 2025, za předpokladu, že výrobní kapacity jednotlivých rodin budou podobné jako v roce 2024 činí **967 966 Kč**.

8.2 Návratnost investic

Výše investic se nijak nezměnila, jedinou proměnnou, která ovlivní návratnost investice jsou rozdílné úspory v přímých nákladech. Úspora přímých nákladů, která byla vypočtena na základě změny času výrobních cyklů, tvoří v součtu 967 966 Kč.

$$ROI = \frac{967\ 966}{962\ 516} \times 100 = 100{,}57\ \%$$

Návratnost celé investice by tvořila 12 měsíců, avšak je nutné přepočítat návratnost investice znovu, jelikož už v Q4/2023 byla v platnosti návratnost kapitálu, která byla vypočítána na 35 měsíců, jejíž úspora za Q4/2023 dělala 84 375 Kč.

$$962\ 516 - 84\ 375\ = 878\ 141\ \text{Kč}$$

$$ROI = \frac{967\ 966}{878\ 141} \times 100 = 110{,}23\ \%$$

Celková návratnost investic je tedy spočítána na 26 měsíců, z čehož 3 měsíce byly při úspoře 28 125 Kč/měsíc a 11 měsíců při úspoře 80 663 Kč/měsíc a 12 měsíců je tvořeno rokem 2024, kdy byla návratnost investic nulová, jelikož se hledala nová východiska projektu.

9. Závěr

Cílem této diplomové práce byla redukce ztrát na OEE. Za tímto účelem byla sestavena otázka, kterou se tento výzkum snažil zodpovědět a ověřit. Tato otázka zněla následovně:

„Jak zvýšit efektivnost výrobního procesu bez zvýšení zátěže pro operátory montážní linky, tak aby byly minimalizovány náklady?“

K výzkumu na zvýšení efektivnosti montážní linky byla vybrána redukce organizačních ztrát a ztrát na přeseřízení. Z Organizačních ztrát bylo zvoleno zrušení zákonných bezpečnostních přestávek, které tvořily přibližně 3% ztrát v OEE.

Jako řešení pro redukci ztrát na přeseřízení byla zvolena optimalizace plánování a sestavení podrobné matice přípravků. Aby bylo možné zefektivnit systém pánovaní bylo nutné digitalizovat plánovací tabule a zlepšit pravidla plánování, která jsou specifická pro každou montážní linku. Druhým krokem byla aktualizace a zlepšení dokumentace pro přeseřízení, která je využívána seřizovači.

Pro řešení tohoto problému byl navržen koncept mechanické úpravy lisovacích přípravků přidáním odpružených částí sloužících k centrování, který odstranil jeden výrobní krok, přednasazení hadice na hrdlo komponenty, který byl považován za kritickou příčinu překročení limitů. Tato úprava byla zvolena jako nejméně nákladná forma přestavby.

Po prvním měření nebyly limity pro svalovou zátěž splněny z důvodu překročení zákonných limitů pro maximální četnost pohybů za směnu. Na základě náměrů byly odhaleny nové potenciály pro zlepšení, tak aby bylo dosaženo požadovaného cíle během následujícího kontrolního měření zátěže.

Na základě těchto podnětů byla zavedena částečná automatizace, která zajistila automatické mazání hrdla konektoru a snížila tedy počet pohybů pravé horní končetiny v průběhu směny. Dalším krokem bylo vybalancování četnosti pohybů horních končetin.

Výsledky druhého měření ukázaly, že svalová zátěž již nebyla překročena a je tedy možné zrušit bezpečnostní přestávky a tedy odbourat tuto organizační ztrátu na OEE. Z druhého měření také vyšly nové potenciály pro zlepšení a zefektivnění výrobního procesu, a po provedení MTM analýzy se ukázalo že v současném stavu měřený typ je linka schopna vyrábět s cyklem více než 6 sekund rychlejším než na počátku projektu. Během období, ve kterém byla odstraněna bezpečnostní svalová přestávka, výrobní linka dosahovala v průměru **OEE 90,9 %**. Úspora, která byla dosažena redukcí ztrát na přeseřízení, dosáhla 112 500 Kč a úspora, která byla vypočtena po odstranění ztrát na bezpečnostní svalovou přestávku byla vypočtena na 337 500 Kč.

Bezpečnostní přestávky však musely být navráceny, jelikož došlo ke zpřísnění norem pro lokální svalovou zátěž. Z tohoto důvodu došlo k přehodnocení vedlejšího cíle pro odstranění svalové zátěže a bylo rozhodnuto, že dojde k optimalizaci času výrobních cyklů, kterou umožnila přestavba montážní linky a částečná automatizace, která odbourala nadbytečné pohyby. Velkým nedostatkem rozhodnutí je, že zkrácením času výrobních cyklů znovu stoupla svalová zátěž. Z tohoto důvodu musí stále operátoři podstupovat pravidelné prohlídky zápěstí tak, aby se předešlo syndromu karpálního tunelu a následnému ohrožení na nemoc z povolání.

Čtvrtý kvartál roku 2024 byl věnován postupné adaptaci operátorů na nové časy výrobního cyklu tak, aby byly minimalizované ztráty OEE na nedosažení požadovaného taktu od začátku roku 2025. Z výsledků MTM analýzy vyplynulo, že ekonomické zhodnocení projektu optimalizace výrobních cyklů by mělo na konci roku 2025 dosáhnout 967 966 Kč, což takřka trojnásobně převyšuje původně stanovenou úsporu odstraněním bezpečnostních přestávek. Velkým nedostatkem této úspory však zůstává, že montážní linka musela zůstat jako pracoviště kategorie 3 a proto zde stále hrozí riziko nemoci z povolání. V současném stavu linka dosahuje průměrné **OEE 88,7 %**, což stále převyšuje původní průměrné OEE 86,7 %. OEE 88,7 % sice nesplňuje interní cíle 90 %, avšak oproti počátečnímu stavu byla navýšena výrobní kapacita montážní linky.

Zvolená metoda sběru dat byla efektivní pouze částečně, jelikož sekundární data využitá v počátku analýzy byla neúplná a jejich příčinou došlo k navýšení nákladů na přestavbu a projekt se prodloužil o 6 měsíců. Pokud by bylo využito sběru primárních dat, tedy nejprve provést měření elektromyografie a přesně definovat všechny problémy

v ergonomii, a sekundární data využít pouze jako doplněk k měření, mohl by projekt být úspěšnější. Limitujícím faktorem této práce byl čas, jelikož každá forma přestavby výrobní linky vyžaduje vysoké vstupní náklady, časovou kapacitu pro přestavbu a zejména čas na vývoj a výrobu nových prototypů.

.

Bibliografie

Bicheno, John a Holweg, Matthias. 2008. *The Lean toolbox. The essential guide to Lean transformation.* místo neznámé : Picsie Books, 2008.

Boothroyd, G., Dewhurst, P. a Knight, W. 2010. *Product Design for Manufacture and Assembly.* místo neznámé : CRC Press, 2010.

Grasseová, Monika, Dubec, Radek a Horák, Roman. 2008. *Procesní řízení ve veřejném sektoru: teoretická východiska a praktické příklady.* Brno : Computer Press, 2008.

Helander, Martin. 2005. *A Guide to Human Factors and Ergonomics.* Boca Raton : CRC Press, 2005.

Heywood, B. John. 2018. *Internal Combustion Engine Fundamentals.* 2. New York : McGraw-Hill Education, 2018. 9781260116106.

Hlávková, Jana a Valečková, Alena. 2007. *Ergonomické checklisty a nové metody práce při hodnocení ergonomických rizik.* Praha : SZÚ, 2007.

Industrie, Vorne. 2011-2024. Lean Production. [Online] 2011-2024. [Citace: 9. Leden 2025.] https://www.leanproduction.com/.

Industries, Vorne. 2011-2024. What Is OEE? *OEE.* [Online] 2011-2024. [Citace: 26. Prosinec 2024.] https://www.oee.com/.

ISO_22400-2:2014. 2014. *Automation Systems and integration - Key performance indicators (KPIs) for manufacturing.* 2014.

ISO_6385:2016. 2016. *Ergonomic principles in the design of work systems.* 2016.

Kaplan, Robert S. a Cooper, Robin. 1998. *Cost and Effect: Using Integrated Cost Systems to Drive Profitability and Performance.* Boston : Harvard Business School Press, 1998.

Liker, Jeffrey K. 2007. *Tak to dělá Toyota: 14 zásad řízení největšího světového výrobce.* Praha : Management Press, 2007.

Maynard, H. B. 2001. *Industrial Engineering Handbook.* New York : McGraw Hill, 2001.

Nakajima, Seiichi. 1988. *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance.* Minnesota : Productivity Press, 1988.

Park, Chan S. 2007. *Contemporary Engineering Economics.* Upper Saddle River : Pearson Prentice Hall, 2007.

Patermann, Jiří. 2022. *Lean dílenské řízení: Je čas změnit vaši dílnu.* místo neznámé : Grada, 2022.

Petřík, Tomáš. 2007. *Procesní a hodnotové řízení firem a organizací - nákladová technika a komplexní manažerská metoda ABC/ABM.* Praha : Linde, 2007.

Reif, Konrad. 2014. *Diesel Engine Management.* Wiesbaden : Springer Vieweg, 2014. 978-3-658-03980-6.

Rich, Nick, a další. 2006. *Lean Evolution: Lessons from the Workplace.* Cambridge : Cambridge University Press, 2006.

Robert Bosch, odbytová s.r.o. 2025. Bosch Česká republika. [Online] 2025. [Citace: 10. Duben 2025.] https://www.bosch.cz/.

Salvendy, G. 2012. *Handbook of Human Factors and Ergonomics.* místo neznámé : Wiley, 2012.

Svozilová, Alena. 2011. *Zlepšení podnikových procesů.* Praha : Grada, 2011.

Šmída, Filip. 2007. *Zavádění a rozvoj procesního řízení ve firmě.* Praha : Grada, 2007. 978-80-247-1679-4.

Womack, J. P., Jones, D. T. a Roos, D. 1990. *The Machine That Changed the World.* místo neznámé : Rawson Associates., 1990.

Yassi, Annalee. 1997. *Repetitive strain injuries.* 1997. The Lancet. ISSN 0140-6736.

Seznam použitých obrázků

Obrázek 1 Logo společnosti (Robert Bosch, 2025) 37
Obrázek 2 Bosch FRL převzato z https://bit.ly/440UV2e 41
Obrázek 3 Layout výrobní linky a pohyb operátorů během montáže 42
Obrázek 4 Lisovací stanice AP1 43
Obrázek 5 Přednasazení hadice na kuželovitý konec hrdla komponentu 44
Obrázek 6 Vizualizace konečné podsestavy pro stanici AP1 44
Obrázek 7 Stanice AP3.3 se založenou sestavou 45
Obrázek 8 Stanice AP3.1 s upnutou sestavou 46
Obrázek 9 Stanice AP4 během funkční zkoušky 47
Obrázek 10 Stanice kamerové kontroly s přípravkem pro lepení štítku 48
Obrázek 11 Záznam Kamerové kontroly 49
Obrázek 12 Analýza OEE 50
Obrázek 13 Plánovací tabule s kartami zakázek 51
Obrázek 14 TOP5 Organizačních ztrát 52
Obrázek 15 Optimalizace plánování 55
Obrázek 16 Matice přípravků 56
Obrázek 17 Nový koncept kuželového navádění 56
Obrázek 18 Mock up upínacího systému 57
Obrázek 19 PDCA 60
Obrázek 20 Automatické mazání komponent 61
Obrázek 21 Ergonomická přestavba kostry lisovacích stanic 62
Obrázek 22 Ekonomické zhodnocení – Ztráta z přeseřízení 65
Obrázek 23 Ekonomické zhodnocení – Svalová zátěž 66
Obrázek 24 Úspora rodina 2 74
Obrázek 26 Úspora na přesunutém typu 74
Obrázek 25 Úspora rodina 3 74
Obrázek 27 Úspora rodina 6 75

Obrázek 28 Úspora rodina 5 75

Seznam použitých grafů

Graf 1 Grafické znázornění závislosti naměřených hodnot %F_{max} na četnosti pohybů – měření 1 59

Graf 2 Grafické znázornění závislosti naměřených hodnot %Fmax na četnosti pohybů – měření 2 64

Graf 3 Graf přepočtu svalové zátěže 2024..... 68

Graf 4 Diagram výrobního cyklu Rodina 5 71

Graf 5 Diagram výrobního cyklu Rodina 2 72

Seznam použitých tabulek

Tabulka 1 %F_{max} pro jednotlivé stanice – měření 1..... 58

Tabulka 2 Četnost pohybů horních končetin v průběhu celé směny – měření 1 59

Tabulka 3 %Fmax pro jednotlivé stanice – měření 2 63

Tabulka 4 Četnost pohybů horních končetin v průběhu celé směny OP2 – měření 2 63

Tabulka 5 Svalová zátěž z druhého měření 68

Tabulka 6 Zastoupení výrobních rodin v typovém spektru 73