

ŠKODA AUTO VYSOKÁ ŠKOLA o.p.s.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

ŠKODA AUTO VYSOKÁ ŠKOLA o.p.s.

Studijní program: B6208 Ekonomika a management

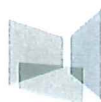
Studijní obor/specializace: 6208R186 Podniková ekonomika a řízení provozu,
logistiky a kvality

ANALÝZA VÝROBNÍ KAPACITY MONTÁŽNÍ LINKY

Bakalářská práce

Šárka SUCHÁNKOVÁ

Vedoucí práce: doc. Ing. Jan Fábry, Ph.D.



ŠKODA AUTO Vysoká škola

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Zpracovatelka: **Šárka Suchánková**

Studijní program: Ekonomika a management

Obor: Podniková ekonomika a řízení provozu, logistiky a kvality

Název tématu: **Analýza výrobní kapacity montážní linky**

Cíl: Cílem práce je analýza procesů montážní linky v konkrétní firmě, vytvoření algoritmu pro určení vhodné struktury výrobních požadavků, pomocí modelu provést následné experimenty a na základě porovnání s reálným systémem formulovat doporučení pro výrobu.

Rámcový obsah:

1. Principy řízení na výrobní lince, základní principy simulace výrobní logistiky.
2. Seznámení s firmou a její strukturou, charakteristika výrobního procesu a logistické technologie, popis výrobní struktury.
3. Dekompozice procesů dané montážní linky, analýza zdrojů a výrobního plánu.
4. Analýza výrobních procesů s využitím vhodných nástrojů (ANOVA, DBR, TOC, DOE, Plant Simulation). Identifikace neefektivních procesů a realizace experimentů cílených na zvýšení efektivity výroby.
5. Vyhodnocení výsledků analýzy a návrh řešení.

Rozsah práce: 25 – 30 stran

Seznam odborné literatury:

1. TOMEK, G. – VÁVROVÁ, V. *Řízení výroby: Druhé, rozšířené a doplněné vydání*. 2. vyd. Praha: GRADA, 2000. 408 s. ISBN 80-7169-955-1.
2. KAVAN, M. *Výrobní a provozní management*. 1. vyd. Praha: GRADA, 2002. 424 s. ISBN 80-247-0199-5.
3. FÁBRY, J. *Matematické modelování*. 1. vyd. Praha: Professional Publishing, 2011. 180 s. ISBN 978-80-7431-066-9.
4. GOLDRATT, E.M. – COX, J. *Cíl*. 2. vyd. Praha: Interquality, 2001. 335 s. ISBN 80-902770-2-0.
5. KEŘKOVSKÝ, M. – VALSA, O. *Moderní přístupy k řízení výroby*. 3. vyd. V Praze: C.H. Beck, 2012. 153 s. C.H. Beck pro praxi. ISBN 978-80-7179-319-9.
6. BANGSOW, S. *Manufacturing simulation with Plant Simulation and SimTalk: usage and programming with examples and solutions*. Berlin: Springer, 297 s. ISBN 978-3-662-51912-7.
7. CHOWDHURY, S. – TAGUCHI, G. – WU, Y. *Taguchi's Quality Engineering Handbook*. NY: Hoboken : Wiley, c2005., 2005. 1662 s. ISBN 0-471-41334-8.

Datum zadání bakalářské práce: únor 2019

Termín odevzdání bakalářské práce: prosinec 2019

L. S.



doc. Ing. Jan Fábry, Ph.D.
Vedoucí práce



Mgr. Petr Šulc
Prorektor ŠAVŠ



prof. Ing. Radim Lenort, Ph.D.
Vedoucí katedry



Šárka Suchánková
Autorka práce

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci vypracoval(a) samostatně a použité zdroje uvádím v seznamu literatury. Prohlašuji, že jsem se při vypracování řídil(a) vnitřním předpisem ŠKODA AUTO VYSOKÉ ŠKOLY o.p.s. (dále jen ŠAVŠ) směrnicí OS.17.10 Vypracování závěrečné práce.

Jsem si vědom(a), že se na tuto závěrečnou práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, že se jedná ve smyslu § 60 o školní dílo a že podle § 35 odst. 3 je ŠAVŠ oprávněna mou práci využít k výuce nebo k vlastní vnitřní potřebě. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna podle § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách.

Beru na vědomí, že ŠAVŠ má právo na uzavření licenční smlouvy k této práci za obvyklých podmínek. Užiji-li tuto práci, nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, mám povinnost o této skutečnosti informovat ŠAVŠ. V takovém případě má ŠAVŠ právo ode mne požadovat příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to až do jejich skutečné výše.

V Mladé Boleslavi dne 10.12.2019



Chtěla bych touto formou poděkovat svému vedoucímu práce doc. Ing. Jan Fábrymu, Ph.D., za podporu a odborné vedení závěrečné práce, ale také zazájem za pozitivní energii, kterou motivuje studenty.

Poděkování patří také kolegům z firmy ZF Passive Safety Czech s.r.o. za laskavé konzultace a poskytnutá data, bez jejichž přispění by tato práce neměla praktický přínos.

Největší poděkování patří především mé rodině, za trpělivost a neustálou podporu v průběhu mého studia, zejména mé dceři, že to se mnou vydržela.

Obsah

Úvod	7
1. Principy a metody průmyslového inženýrství.....	8
1.1 Průmyslové inženýrství	8
1.2 Štíhlý podnik (Lean management)	9
1.3 Metody moderního průmyslového inženýrství.....	12
1.4 Metody měření času a taktování výrobních linek	17
2. Seznámení se společností ZF Passive Safety Czech s.r.o.	20
2.1 Představení společnosti.....	20
2.2 Analýza výchozího stavu vybrané montážní linky	24
2.3 Zhodnocení analytické části.....	36
3. Aplikace počítačové simulace	37
3.1 Zajištění dat a jejich analýza pro účely simulace	37
3.2 Pojmový model	38
3.3 Simulační model	41
3.4 Validace pojmového modelu a verifikace simulačního modelu	44
3.5 Realizace experimentů a analýza výsledků	45
3.6 Návrh řešení	46
3.7 Přínos provedené simulace	51
Závěr.....	52
Seznam literatury	53
Seznam obrázků a tabulek	54
Seznam příloh.....	56

Seznam použitých zkratk a symbolů

DMAIC	Define-Measure-Analyze-Improve-Control
DMPO	Defects per Million Opportunities
DB*R	Drum-Buffer-Rope
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
ISO	International Organization for Standardization
IATF	International Automotive Task Force
JIT	Just-in-Time
JÚS	Jednoúčelový stroj
KLT	Kleinladungsträger
MTM	Methods Time Measurement
MTTR	Mean Time To Repair
MQB	Modularer Querbaukasten (Volkswagen)
PDCA	Plan-Do-Check-Act
PI	Průmyslové inženýrství
REFA	Reichsausschuss für Arbeitszeitermittlung
SMED	Single Minute Exchange of Die
TOC	Theory of Constraint
TPM	Total Productive Maintenance
TPS	Toyota Production System
TQM	Total Quality Management
ZF	Zahnradfabrik

Úvod

V současném turbulentním prostředí je na výrobní společnosti kladen velký tlak ze strany spotřebitelů na rychlost dodání, kvalitu produktu i procesu. V oblasti výroby automobilů jsou tyto trendy velmi zřetelné a podniky na trhu čelí silné konkurenci. Pro zvýšení konkurenceschopnosti a tím i hodnoty podniku existují metody a koncepce, jejichž znalost umožní managementu řídit podnik efektivně, přinášet přidanou hodnotu a obstát v konkurenčním boji. Tato práce se zaměřuje na metodiky průmyslového inženýrství, které od padesátých let zaznamenaly výrazné změny v pojetí řízení podniku.

Cílem této práce je pomocí moderních metod průmyslového inženýrství navrhnout takové řešení, které by vedlo ke zvýšení průtoku výroby na vybrané montážní lince. Pomocí metod dostupných ve zkoumaném podniku již bylo dosaženo zvýšení taktu na 16 vteřin. Nový cíl byl stanoven na 12 vteřin.

V první části práce představuje stručnou historii průmyslového inženýrství a dále vybraná teoretická východiska a metody PI.

Druhá, praktická část, se zabývá představením vybraného podniku, popisem a analýzou a je zde formulována základní hypotéza práce.

Úkolem třetí části je pomocí provedených analýz výrobního procesu výchozího stavu montážní linky zkonstruovat zjednodušený pojmový model linky, jeho pomocí vytvořit simulační model a provést experiment v programu Technomatix Plant Simulation. Na základě výsledků simulací navrhnout nejlepší možné řešení vedoucí ke zlepšení výrobního procesu a zvýšení průtoku dané montážní linky.

Metoda počítačové simulace poskytuje možnost analyzovat reálný systém a navrhovat řešení na základě výsledků simulace s minimálním dopadem na náklady a plynulost provozu zkoumané společnosti. Pro publikaci výsledků je třeba zohlednit míru detailnosti a přesnosti použitou při tvorbě modelu.

1. Principy a metody průmyslového inženýrství

1.1 Průmyslové inženýrství

Podle Mašina a Vytlačila je průmyslové inženýrství interdisciplinární obor, který se zabývá projektováním, zaváděním a zlepšováním integrovaných systémů lidí, strojů, materiálů a energií s cílem dosáhnout co nejvyšší produktivity. Pro tento účel využívá speciální znalost matematiky, fyziky, sociálních věd i managementu, aby je společně s inženýrskými metodami dále využilo pro specifikaci a hodnocení výsledků dosažených těmito systémy (Mašín a Vytlačil, 1996).

V teorii se můžeme setkat s kategorizací na klasické a moderní průmyslové inženýrství.

Klasické inženýrství vychází z poznatků klasiků, zahrnuje především studium práce založené na empirickém pozorování (analýza a měření práce). Pojmy jako efektivita, produktivita a výkonnost nebyly neznámé již za dob pionýrů moderních přístupů.

V 50. a 60. letech se začaly objevovat metodiky, které jsou v kombinaci s poznatky klasického průmyslového inženýrství používány dodnes, např. teorie zásob, teorie obnovy a údržby, síťové grafy, operační výzkum.

Lze říci, že základní principy PI se v jednotlivých zemích příliš neliší, nicméně můžeme v zásadě rozlišovat tři školy: německou, americkou a japonskou.

Evropská škola

Zástupcem evropské školy je institut REFA, který vznikl ve 20. letech 20. století v Berlíně a který dal vzniknout uceleným systémům organizace, normování a odměňování práce, anebo výrobnímu systému společnosti Bosch. Němci si také připisují autorství systému MTM (Methods Time Measurement), který slouží k rychlému určení časové náročnosti jednotlivých operací.

Americká škola

Navazuje na odkaz pionýrů moderních přístupů Henryho Forda a Fredericka Winslow Taylora. V důsledku ropné krize v roce 1973 a úspěchu metod japonských automobilek se v Americe vyvinuly koncepty jako např. PDCA nebo Six Sigma.

Američané v podstatě dále rozvinuli osvědčené japonské principy „štíhlé výroby“ a JIT.

Japonská škola

Pro japonskou školu je charakteristická vynalézavost, disciplína a orientace na zákazníka. Druhá světová válka zdevastovala značnou část japonského průmyslu, což paradoxně přispělo k získání konkurenční výhody do budoucna v podobě moderních technologií. Obnova probíhala za notné podpory státu, který dodnes hraje v japonském průmyslu významnou roli.

Z pohledu PI je nejvýznamnějším konceptem TPS (Toyota Production System), který položil základy dnes používaným metodám Kaizen, JIT, Kanban a Lean Management.

1.2 Štíhlý podnik (Lean management)

Koncept štíhlé výroby má svůj původ v Japonsku, kde metodiku vyvinula společnost Toyota jako Toyota Production System (TPS). Jeho vznik je datován do období po druhé světové válce, kdy se země vzpamatovávala z následků konfliktu, a byl proto kladen důraz na maximální efektivitu a hospodárnost.

Za autory této koncepce jsou považováni Taiichi Ohno, Shigeo Shingo a Eidži Tojoda, kteří se soustředili na uplatňování takových zásad, které vedly k eliminaci všech procesů a toků, které nepřinášely hodnotu, a snažili se soustředit zejména na ty podstatné.

Principy uplatňované ve společnosti Toyota představovaly v podstatě změnu v dosavadním pojetí oblasti řízení a primárně jde o snahu celé organizace se trvale zlepšovat ve všech oblastech a zamezit zbytečnému plýtvání. Na rozdíl od fordismu je stěžejní výrazná orientace na zákazníka, která následně vedla ke změně metodiky tvorby zisku. Z původního principu, kde konečnou cenu tvořily náklady + zisk, byl zisk nově vytvořen rozdílem ceny a nákladů. Tato změna jednoduché rovnice způsobila, že zákazník neplatil za chyby firmy a společnost začala aktivně vyhledávat zdroje plýtvání.

Neméně významným prvkem je úcta k člověku a důraz na týmovou spolupráci.

1.2.1 Princip zamezení plýtvání

Plýtvání v rovině podniku bychom mohli obecně definovat jako takové činnosti či aktivity, které nepřinášejí hodnotu pro zákazníka. Dle definice TPS pak rozeznáváme 7 základních druhů plýtvání ve výrobních procesech (Sutherland a Bennet, 2007):

- **Nadprodukce:** výrobu produktů dříve, než jsou třeba, Toyota označuje jako „vytvořenou potřebu“, která má vážné dopady na funkci celého dodavatelského řetězce. Nadprodukce je obvykle vytvořena požadavkem na větší množství, než je třeba pro konečné užití, nebo požadavkem na dřívější dodání, než je potřeba. Uměle vytvořená potřeba může navýšit kolísání objemu komponent dodavatelského řetězce až o 40 %.
- **Prodleva/čekání:** jakékoli prodlení mezi koncem jedné aktivity a začátkem další aktivity. Příkladem může být čekání na materiál, opravu, seřízení stroje.
- **Transport/manipulace:** nadbytečný transport vytváří dodatečné náklady. Jako například zastávky mimo trasu nebo umístění rychloobrátkového materiálu do zadní části skladu, které vytváří zbytečně dlouhé manipulační vzdálenosti.
- **Pohyb:** nadbytečný pohyb operátora způsobený například nevhodným pracovním postupem, popř. ergonomií pracovního místa.
- **Zásoby:** jakákoli logistická aktivita, která vytváří více zásob, než je potřebné, nebo je vytváří jinde, než jsou potřeba. Příkladem můžeme uvést předčasné dodávky zásob nebo přijímání větších objednávek, než zákazník ve skutečnosti potřebuje.
- **Prostor:** užívání většího prostoru, než je potřeba. Příkladem může být nákladní vůz, který není optimálně vytižený, nebo produktové balení, které plýtvá prostorem a zvyšuje náklady na přepravu.
- **Chyby:** taková aktivita, která vytváří potřebu opakování, následného nadbytečného seřízení nebo opravy. Například chybná fakturace, nesrovnalosti a úpravy zásob, poškozený/nefunkční/chybně označený/nesprávný výrobek

Mašín (2000) připojuje osmý bod – **potenciál** - nevyužité schopnosti pracovníků, které považuje za velmi nákladný druh plýtvání, a to z hlediska zapojení jeho znalostí, zkušeností a schopností do zlepšování procesů. Je důležité využívat potenciál každého pracovníka. Keřkovský a Valsa (2012) výčet doplňují o **skryté plýtvání**, např. v podobě několikanásobné evidence dat, zbytečné výkazy a jejich zpracování apod.

1.2.2 Plánovací princip pull

„Plánovací a řídicí princip pull („tahat“) uplatňovaný v lean managementu znamená, že výrobní zakázky se již „neprotlačují“ (push) výrobním systémem jako v tradičních systémech, ale procházejí výrobou v souladu s principem „dodej dle požadavků“, ve kterém je každý pracovník na určitém výrobním stupni odpovědný za zajištění požadavků navazujících výrobních stupňů. Následující výrobní stupeň se tak pro předcházející výrobní stupně stává interním zákazníkem, jehož požadavky musí být za všech okolností uspokojeny. Hlavní předností pull systému plánování a řízení výroby je výrazné snížení výrobních nákladů v důsledku snížení výrobních nákladů v důsledku snížení mezioperačních zásob a zkrácení průběžných dob výroby“ (Keřkovský a Valsa, 2012, str. 89).

1.2.3 Princip nepřetržitosti

V pojetí „štíhlé výroby“ je zlepšování chápáno jako kontinuální a nikdy nekončící proces, kde ústředním bodem zájmu je spokojenost zákazníka. „Aby se získal náskok před konkurencí, je neustále nutné včas rozpoznávat diferencovaná přání přání zákazníků a realizovat je v předstihu formou tvůrčích řešení“ (Keřkovský a Valsa, 2012, str. 78).

Podle Keřkovského (2012) je spokojení se s dosaženým optimem fatální chybou, která je zárodkem budoucího neúspěchu v horších časech.

1.2.4 Princip zaměření se na podstatné aktivity

„Princip znamená zhodnocení a revizi všech aktivit v rámci hodnototvorného řetězce, od výzkumu a vývoje přes výrobu a montáž až po odbyt a likvidaci odpadů. Interní hodnototvorný řetězec musí být účelně propojen na síť dodavatelů, odbyt a konečně i na požadavky zákazníka jak fyzicky, tak tokem informací. Lean management v tomto směru přikazuje zaměřit všechny interní kapacity a zdroje

podniku především na využití klíčových schopností firmy“ (Keřkovský a Valsa, 2012, str.78).

1.3 Metody moderního průmyslového inženýrství

Jak již bylo výše řečeno, cílem moderního průmyslového inženýrství je neustálé zlepšování podniku. Úspěšnou implementací moderních přístupů a kontinuální optimalizací získává podnik konkurenční výhodu, snižuje náklady a stává se robustním a odolnějším vůči vnějším i vnitřním negativním vlivům. Pro optimalizaci procesů a hodnototvorných toků existuje řada nástrojů, které slouží k přiblížení se cíli a dosažení „štíhlého podniku“. V praxi bývají tyto nástroje uplatňovány ve formě mixu metod, který je s ohledem na legislativu a omezení odvětví nastaven na míru podniku. Nicméně lze říci, že většina nástrojů je univerzálně aplikovatelná.

Níže je uvedeno několik nejužívanějších nástrojů a konceptů.

Kaizen

Kaizen je jednoduše řečeno filosofie neustálého zlepšování, která je prosazována napříč celým podnikem, bez ohledu na funkci, kterou zaměstnanec vykonává. Předpokládá aktivní zapojení všech zaměstnanců a její působení je rozšířeno i na další zájmové skupiny, které ovlivňují fungování firmy, jako například na dodavatele. Tato filozofie se stala jádrem pro systémy a principy „štíhlého podniku“.

TOC (Theory of Constraints)

Autorem filozofie TOC je izraelský fyzik Eliyahu Moshe Goldratt, který metodu původně vyvinul pro výrobní podniky, ale metoda je univerzálně aplikovatelná i na jiné typy procesů.

TOC, neboli teorie omezení, spočívá v identifikaci úzkých míst a podřízení celého systému těmto místům. Goldratt výrobní proces přirovnává k řetězu, kde úzká místa představují slabý článek tohoto řetězu, který je potřeba posílit a tím docílit posílení celého systému. Úzkým místem nemusí být nutně samostatné pracoviště, ale může jím být například nestabilní proces nebo technologie.

Princip spočívá v následujících krocích kontinuálního zlepšování (Goldratt a Cox, 2001, str.289):

1. „rozpoznat úzká místa systému,

2. rozhodnout, jak úzká místa plně využít,
3. podřídít vše ostatní výše uvedeným rozhodnutím,
4. pozvednout úzká místa systému,
5. jestliže se při některém předchozím kroku prolomí úzké místo, vrať se zpět ke kroku 1“

Goldratt (2017) současně uvádí, že k efektivnímu zavedení systému TOC je třeba restrukturalizovat systém provozního účetnictví a cenotvorby tak, aby odrážel dosažené optimalizace a nezkresloval výkon podniku, což byla ve své době revoluční myšlenka, protože nákladové účetnictví bylo do té doby považováno za nepřekonané.

Just-in-Time

„Základní ideou JIT je výroba pouze nezbytných položek v potřebné kvalitě, v nezbytných množstvích, v nejpozději přípustných časech. JIT je orientován na eliminaci pěti základních druhů ztrát plynoucích z nadprodukce, čekání, dopravy, udržování zásob a nekvalitní výroby“ (Keřkovský a Valsa, 2012, str.79).

Podle Keřkovského jsou pro tento koncept řízení výroby charakteristické následující rysy (Keřkovský a Valsa, 2012, str.84).:

- „důraz na minimalizaci rozpracované výroby,
- podstatné zkracování průběžných časů,
- systém plánování „pull“,
- podstatné redukce seřizovacích časů,
- použití velmi malých výrobních dávek,
- rychlý a jednoduchý tok materiálu mezi pracovišti,
- aplikace „*make or buy*“ strategie („nevyráběj nic, co můžeš jinde nakoupit levněji“),
- důraz na vysokou kvalitu a eliminaci všech poruch výrobního procesu,
- jednoduchost a průhlednost systému řízení,

- stabilizačním faktorem jsou rezervní výrobní kapacity, nikoliv zásoby rozpracované výroby; zvýšené požadavky se kryjí přesčasy, najímáním dočasným pracovníků nebo kooperací,
- „*Flow-shop*“ (předmětné uspořádání výrobního procesu a mezioperační dopravy),
- širěji kvalifikovaná a flexibilní pracovní síla, týmová práce a kooperace, změny pracovního procesu prosazovány na základě konsenzu,
- limitovaný počet subdodavatelů s kooperativními vztahy,
- preventivní údržba prováděná operátory.“

KANBAN

Kanban je flexibilní, na principech JIT vybudovaný, samoregulační systém řízení výroby. Základním informačním nosičem jsou zde kanbany (japonské označení pro štítek), plnicí funkce objednávek a průvodek. Kanbanů je pro objednávání určitého typu dílů k dispozici pouze omezené množství, odpovídající zvolené úrovni zásob rozpracovaných dílů a výrobků. Pracoviště, kterému dochází zásoba součástí určitého druhu, odešle objednávkový kanban spolu s prázdným přepravním kontejnerem pracovišti, které tyto součásti dodává. Objednávkové množství bývá velmi malé, například 1/10 denní spotřeby. Regulaci zásob rozpracovaných výrobků je možno uskutečňovat změnou počtů kanbanů v oběhu (Keřkovský a Valsa, 2012).

Milkrun

Milkrun je logistický systém, jehož principem je rozvážet materiál ze skladu podle předem dohodnutého harmonogramu a vyložit materiál na přesně určených místech. Současně jsou zpět do skladu odváženy prázdné transportní jednotky. Nejčastěji využívané manipulační prostředky v tomto systému jsou tzv. vláčky (tzn. tažný modul a za ním transportní jednotky umístěné např. na podvozku) (Cigánková, 2007).

VSM (Value stream mapping)

Technika užívaná k analýze a mapování toku hodnot. Pomocí této metody je možné identifikovat kolik procent času, od doby dodání dodavatelem po expedici zákazníkovi, stráví materiál v závodě a jaká je mu přidávána hodnota. Hodnotovnými operacemi jsou například technologické operace (montáž,

svařování, nýtování, obrábění apod.). Naopak operacemi, které hodnotu nepřidávají, jsou typicky logistické procesy (přeprava a skladování). Tato metoda je například využívána pro optimalizaci systému JIT.

TQM (Total Quality Management)

TQM představuje komplexní systém řízení kvality, který je založen na filozofii neustálého zlepšování.

Tento model vychází z osmi základních konceptů (zásad) excelence (Nenadál a Vykydal, 2012):

- dosahování vyvážených výsledků,
- dodání hodnoty pro zákazníka,
- vůdcovství s vizí a integritou,
- management prostřednictvím procesů,
- úspěšnost díky lidem,
- péče o tvořivost a inovace,
- tvorba partnerství,
- odpovědnost za trvale udržitelnou budoucnost.

Six Sigma

Tvůrcem metody je Bill Smith, kterou vyvinul v 80. letech pro společnost Motorola. Následně byla implementována a dále rozvinuta společnostmi Honeywell a General Electric. Six Sigma je statistická metoda posuzování kvality procesu na základě měření směrodatných odchylek, založená na cyklu postupného zlepšování DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control* - jedná se o modifikovaný Demingův PDCA cyklus), která je používána především v systému TQM.

Pojem Six Sigma vychází ze statistického vyhodnocování kvality výroby a výrobků, kdy je počet výrobků nesplňujících kvalitativní kritéria měření v DMPO – počet vad na milion příležitostí k vadě (*Defects per Million Opportunities*). Veličina sigma při statistickém hodnocení udává směrodatnou odchylku charakteristik procesu, počet rozdílů nebo odchylek od požadovaných parametrů ve vyhodnocovaném vzorku (Keřkovský a Valsa, 2012, str. 87).

Six Sigma za předpokladu Gaussova normálního rozdělení představuje kvalitu sledovaného procesu/výroby 99,9997 % (34 vad na deset milionů pozorování).

FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)

„Analýza možnosti vzniku vad je analytická metoda uplatňovaná v systému TQM, jejímž cílem je identifikovat místa možného vzniku vad a poruch v systémech při návrhu nového výrobku a zaměřuje se na 3 vývojové fáze produktu – systém, konstrukci a výrobu. Byla vyvinuta v 60. letech minulého století v USA během vesmírného programu společnosti NASA, jako nástroj pro hledání závažných rizik.

JIDOKA (Džidóka)

Jedná se o systém autonomní kontroly kvality a detekce výrobních vad uplatňovaný v TPS. Podstatou metody je, aby se vadné výrobky nedostaly do následné výroby a zamezilo se tak narušení výrobního systému. Systém uplatňuje 4 následující principy (Rosenthal, 2002).:

- zjištění defektu či závady,
- zastavení provozu,
- okamžitá náprava závady,
- prozkoumání příčiny a zavedení preventivních opatření.

Poka-Yoke (poka – neúmyslná chyba a joko – zmenšení)

Poka-Yoke je metoda, která je součástí principu „štíhlé výroby“, původně vyvinutá pro TPS. V podstatě se jedná o systém takových opatření, které zamezí neúmyslné chybě. Může představovat systém přípravků, které svým tvarem či barvou zamezí záměně a umožní montáž pouze jedním správným způsobem. Systém je tak stává chybuvedorným.

PDCA (Plan-Do-Check-Act)

Základem metody jsou 4 kroky, známé pod názvem Demingův okruh/cyklus, které slouží ke kontinuálnímu zlepšování kvality procesů, výrobků nebo služeb. Metoda je založena na sledu jednoduchých úkonů, kde „plan“ představuje naplánovat zamýšlenou změnu, „do“ znamená provést změnu, krokem „check“ se rozumí sběr dat a ověření výsledků a krok „act“ představuje implementaci změny do standardu procesu, pakliže je výsledek třetí etapy vyhovující.

TPM (Total Productive Maintenance)

TPM = „totálně produktivní údržba“ je komplexní a systematický přístup k efektivnosti provozu a údržbě strojů a zařízení.

Hlavním cílem je zvyšovat produktivitu zařízení tím, že se redukuje všechen čas, který ubírá danému stroji kapacitu. Mezi aktivity TPM patří zvyšování výkonnosti firmy, zapojení všech pracovníků do zlepšování, postupné zvyšování efektivnosti zařízení, růst kvalifikace pracovníků údržby i všech operátorů, vytvoření vyhovujících pracovních podmínek a v neposlední řadě eliminace poruch, abnormalit a všech ztrát na stroji. Důležitá je zde spolupráce výrobních pracovníků s pracovníky údržby (Košturiak a Frolík, 2006).

SMED (Single Minute Exchange of Die)

SMED představuje systematický proces pro minimalizaci časů čekání - na seřízení, nebo na změnu výrobního programu (přesmyk). Metoda SMED má většinou 2 cíle. Prvním je získat část kapacity stroje, která se ztrácí zdlouhavým přestavováním. Druhým je zajistit rychlý přechod z jednoho typu výrobku na druhý a tím umožnit výrobu v malých dávkách (Košturiak a Frolík, 2006).

1.4 Metody měření času a taktování výrobních linek

Změny provedené v kterékoli oblasti řízení výrobního systému se rychle odrazí i v ostatních strukturách podniku.

Pro vyrovnaní taktu na lince je třeba seznámit se s vyčížeností jednotlivých pracovišť a pomocí náměrů časů jednotlivých operací identifikovat úzké místo procesu. Zpravidla to bývá pracoviště s nejdelším průběžným časem, tj. takové pracoviště, které ke zpracování produktu potřebuje nejvíce času, nebo má nejdelší čas seřízení. Dle goldrattovské teorie TOC můžeme odhadnout existenci úzkého místa pouhým pohledem na linku, kde hromadění mezioperační zásoby napovídá, kde se největší pravděpodobností úzké místo nachází.

Časové studie (chronometrůž, Stopwatch Time Study)

„Metoda, která slouží k analýze současného stavu vytížení pracovního místa, kterou začal rozvíjet F.W. Taylor v USA, je vhodná zejména pro jednoduché a opakované pracovní úkony. Pomocí stopek a empirického pozorování můžeme měřit buď snímek pracovního dne jednotlivce nebo čety, kde můžeme sledovat průběh směny u jednoho pracovníka, nebo měřit všechny děje v průběhu směny celé čety. Anebo druhou metodou je detailní náměr pouze vybraného úkonu nebo všech úkonů v operaci“ (Kavan, 2002, str.199).

Základními kroky jsou (Kavan, 2002):

- definice pracovního úkolu, který má být sledová, informace dělníkovi,
- stanovení nezbytného množství měření,
- sledování, měření a kontrola dělníkova výkonu,
- výpočet časové normy.

Výhodou této metody je její nenáročnost na vybavení a srozumitelná metodika, která nevyžaduje zvláštní proškolení.

Metodika norem elementárních časů (Standard Elemental Times)

„Vychází z firemních zkušeností (souborů vyzkoušených časových norem) uplynulých let, které se dají aplikovat na současné probíhající výrobní procesy. Teprve tam, kde normy nevyhovují, se musí provádět nová měření“ (Kavan, 2002, str. 199).

Metodika předem určených dat (Predetermined Data)

„Používá rovněž publikované normy elementárních úkonů z uplynulých let. Tyto banky dat MTM (Methods Time Measurement) se používají od roku 1940, kdy byly vytvořeny Radou pro technické metody v USA. Hlavní výhodou metody je, že norma může vzniknout mnohem dříve, než je pracovní úkol vykonán“ (Kavan, 2002, str. 200).

Metodika momentových pozorování (Work Sampling)

„Metoda vznikla pod vedením L. H. Tippeta v textilním průmyslu v USA a je založena na odhadu proporcí spotřeby času práce dělníka nebo stroje. Normovač dělá rychlá pozorování dělníka nebo stroje v náhodných intervalech a zapisuje, co vidí. Zjištěná data se potom sčítají po jednotlivých kategoriích činností. S použitím statistiky dává tato metoda velmi přesné a objektivní výsledky“ (Kavan, 2002, str. 200).

Výrobní takt

Výrobní takt je interval mezi odvedením 2 po sobě následujících součástí (výrobků) (Tomek a Vávrová, 2000).

Takt linky neovlivňuje pouze rychlost, s jakou je operace provedena, ale také další faktory: velikost výrobní dávky, doba oprav a seřízení, množství nekvality, velikost mezioperační zásoby, kvalifikovanost a motivace operátorů výroby, výše směnných norem, technologické a organizační nedostatky, elasticita výrobního systému.

2. Seznámení se společností ZF Passive Safety Czech s.r.o.

Předmětem této případové studie je společnost ZF Passive Safety Czech s.r.o. ve Staré Boleslavi, který kvalitou jak produktu, tak procesu, představuje reprezentativní model moderního přístupu integrovaného průmyslového inženýrství.

Pro vypracování práce byla vybrána nová motáží linka, která byla doporučena k analýze a vybalancování na požadovaný takt 12 vteřin, a u které byl očekáván praktický přínos studie.

2.1 Představení společnosti

Společnost ZF Passive Safety Czech s.r.o. byla založena roku 1992 a je od roku 2015 součástí nadnárodní skupiny ZF. Strojírenský závod ve Staré Boleslavi patří do skupiny ZF Friedrichshafen AG, Německo, která je celosvětově jedním z největších dodavatelů automobilovému průmyslu a na trhu působí již přes 100 let. Většinovým vlastníkem celého koncernu ZF je nadační fond Zeppelin (93,8 %) (ZF Annual Report, 2019).

Skupina je tvořena 7 divizemi (viz Obr. 1), jako celek tvoří obrát 36,900 milionů EUR a zaměstnává zhruba 148.900 lidí.

CORPORATE STRUCTURE ZF FRIEDRICHSHAFEN AG
Shareholders: 93.8% Zeppelin Foundation and 6.2% Dr. Jürgen and Irmgard Ulderup Foundation

Car Powertrain Technology	Car Chassis Technology	Commercial Vehicle Technology	Industrial Technology	E-Mobility	Aftermarket	Active Safety Systems* Passive Safety Systems* Electronics and ADAS* Active & Passive Safety Technology
Automatic Transmissions Manual Transmissions/Dual Clutch Transmissions Powertrain Modules	Chassis Systems Chassis Components Suspension Technology	Truck & Van Driveline Technology Axle & Transmission Systems for Buses & Coaches CV Chassis Technology CV Powertrain Modules CV Steering Systems	Off-Highway Systems Industrial Drives Marine & Special Driveline Technology Test Systems Aviation Technology Wind Power Technology	Electronic Systems Electric Traction Drive Axle Drives Electronic Interfaces System House	Independent Aftermarket Original Equipment Service/ Specific Original Equipment Manufacturing Services Friction Materials Group	Braking Systems Steering Systems Occupant Safety Systems Body Control Systems ¹
Corporate Functions / Regions						

* The Global Body Control Systems Business Unit was sold as of April 27, 2018. ¹ Start of the new corporate structure as of October 1, 2018, which is the basis of reporting as of January 1, 2019.

Zdroj: (ZF Annual Report, 2019)

Obr. 1 Struktura skupiny ZF

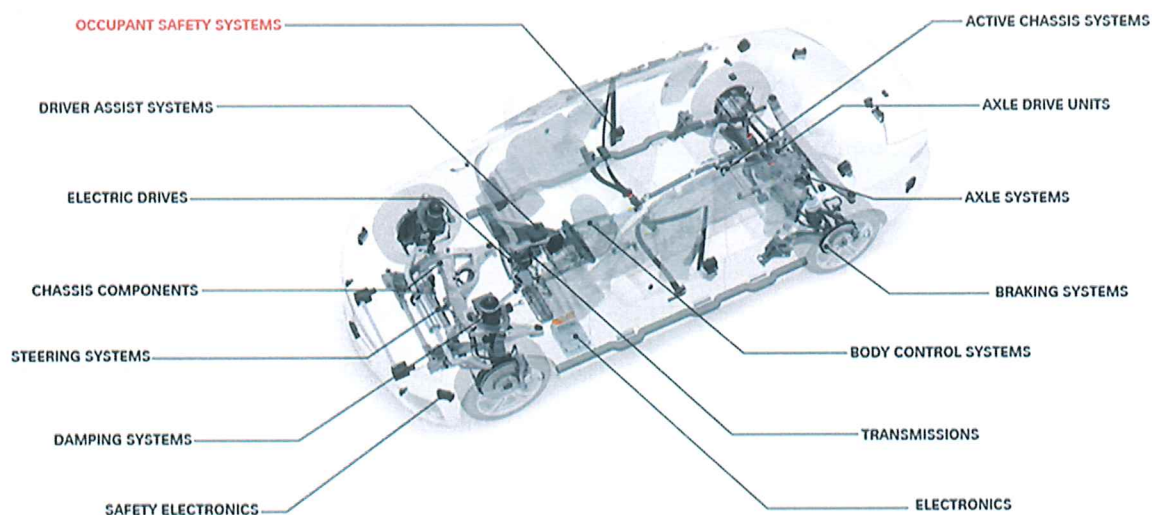
Skupina výrazně investuje do nových technologií a na konto vědy a výzkumu ročně přispívá částkou okolo 2,470 milionů EUR. Inovace je v rychle se měnícím prostředí automobilového odvětví nejvýznamnějším strategickým bodem skupiny.

Z pohledu objemu jsou nejvýznamnějšími zákazníky evropský (zejm. německý) a severoamerický trh, které v součtu tvoří 75 % celkového obrátu skupiny. Z pohledu produktu 80 % objemu prodeje tvoří osobní automobily (ZF Annual Report, 2019).

2.1.1 Základní informace

Divize, jejíž je ZF Passive Safety Czech s.r.o. součástí, vyrábí pasivní bezpečnostní systémy pro automobilový průmysl (viz Obr. 2). Hlavním předmětem činnosti ve Staré Boleslavi je výroba jm. bezpečnostních pásů a dalších komponentů, které jako celek tvoří systém pasivní bezpečnosti vozu.

TECHNOLOGICKÉ PORTFOLIO SKUPINY ZF

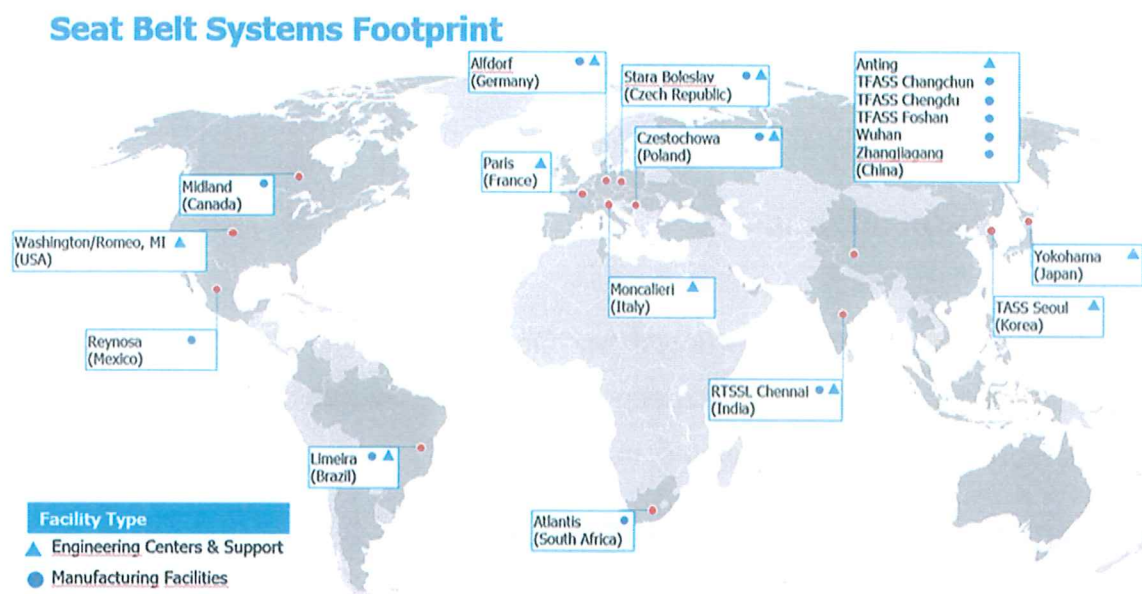


Zdroj: (ZF Annual Report, 2019)

Obr. 2 Technologické portfolio skupiny ZF

Závod ve Staré Boleslavi v současnosti čítá kolem 1500 zaměstnanců (včetně agenturních pracovníků) a tvoří objem 9,5 milionů ks bezpečnostních pásů ročně na zhruba 115 montážních linkách.

V rámci divize je součástí nadnárodní rodiny závodů s podobným výrobním programem a celosvětovou působností (viz Obr. 3). Sesterské závody navzájem sdílejí know-how a best-practice, informují se o trendech, a díky totožným procesům a technologiím dochází též k přesouvání výrobního portfolia dle potřeb skupiny mezi sestrami.



Zdroj: (ZF Annual Report, 2019)

Obr. 3 Globální působení divize bezpečnostních pásů

2.1.2 Výrobní portfolio

Do produktového portfolia závodu patří bezpečnostní pásy, zámky, západky, horní nastavení pásů pro automobilový průmysl, a každý z produktů je vyráběn na produktově specializovaných montážních linkách.

Do současného zákaznického portfolia společnosti patří prakticky všichni majoritní výrobci aut, jako např. Audi, BMW, Daimler, Ford, Jaguar, Rolls Royce, Porsche, Škoda, Volkswagen, aj. Výrazná je i vzájemná obchodní spolupráce ve skupině.

Z pohledu objemu nejvýznamnějšími zákazníky je evropský (zejm. německý) a severoamerický trh, které spolu v součtu tvoří 75 % celkového obrátu skupiny.

Podle finálního produktu lze výrobní proces rozdělit do 3 částí:

- montáž zámků,
- montáž horního nastavení bezpečnostního pásu,
- montáž bezpečnostního pásu.

Finální produkt bezpečnostního pásu se sestává z 91 ks komponent v mnoha zákaznických variacích. Výrobní proces bezpečnostního pásu tvoří montáže a předmontáže, které mají produktové proudové uspořádání a z technologického pohledu je nejvíce komplikovanou výrobou v závodu.

S ohledem na skutečnost, že produkt zachraňuje lidské životy, podléhá nejpřísnějším kvalitativním požadavkům a výrobní závod je pravidelně auditován jak relevantními úřady, tak i zákazníky dle standardů ISO a IATF.

Níže jsou uvedeny některé základní typy montážních linek a předmontáží montáží:

- Předmontáž senzoru – vstupuje jako komponenta do sváření senzoru.
- Sváření senzoru – vstupuje jako komponenta do montáže navijáku.
- Předmontáž bracketu – vstupuje jako komponenta do montáže navijáku.
- Předmontáž PT housing - vstupuje jako komponenta do montáže navijáku.
- Předmontáž ohýbání plechu – vstupuje jako komponenta do montáže navijáku.
- Předmontáž hada – vstupuje jako komponenta do montáže navijáku.
- Montáž cívky – vstupuje jako komponenta do montáže navijáku.
- Montáž navijáku – vstupuje jako komponenta do montáže pásu.
- Šicí centrum - vstupuje jako komponenta do montáže pásu.
- Montáž pásu – následuje balení a expedice.

2.1.3 Představení vybrané montážní linky

Pro vypracování studie byla vybrána montáž navijáku (viz Obr. 4), která se nachází zhruba uprostřed procesu výroby hotového produktu bezpečnostního pásu. Tato linka byla pořízena v roce 2018 a pro účel této práce byla vybrána jednak proto, že se na této lince vyrábí technologicky nejnovější produktové portfolio firmy, a také proto, že i po vybalancování jsou potřeby na tuto linku vyšší, než je schopna za současného stavu vyrobit.

Hlavními technologickými operacemi jsou nýtování, svařování, šroubování a navíjení pružiny, které zajišťují jednoduché jednoúčelové stroje (JÚS), případně robotická pracoviště. Operátoři pouze vkládají jednotlivé komponenty a spouštějí stroj.

Linka se stává se z následujících pracovišť:

Pracoviště č. 1 – Nýtování sestavy navijáku.

Pracoviště č. 2 – Montáž fixačních plechů.

Pracoviště č. 3 – Boční nýtování a čištění trubky.

Pracoviště č. 4 – Frikční svařování.

Pracoviště č. 9 – Nýtování bracketu MQB (používáno pouze pro určitý typ produktu).

Pracoviště č. 5 – Nýtování bracketu.

Pracoviště č. 6 – Šroubování převodovky.

Pracoviště č. 7 – Navíjení pružiny.

Pracoviště č. 8 – Montáž krytky senzoru a balení.

Montážní linka je koncipována proudově, je obsluhována podle typu produkce 8-9 operátory. Na lince byla plně implementována „traceabilita“ – systém čtení 2D kódu pro trasování komponent průběhem procesu, která znemožní operátorovi vynechat operaci. Průběh procesu je sledován na LCD monitorech, kde je zároveň k dispozici dokumentace 11 barev – soubor manuálů a předpisů, kde každý typ procesu je označen jinou barvou pro snadnou orientaci. Každé pracoviště je vybaveno Poka-Yoke opatřením v podobě přípravků a senzorů, které brání chybnému založení komponenty. Tato opatření jsou dále periodicky testována pomocí tzv. „Mistake Proofing“ vzorků, které kontrolují správné nastavení systému senzorů při každém „přejíždění“ (změně produktu).

Linka je prozatím jediná svého druhu v závodu a není proto možné zvýšit průtok výroby tohoto typu produktu zapojením další montážní linky. Cílem této práce je analýza stavu a pokud možno nalezení takového řešení, které by vedlo ke zvýšení průtoku linky.

2.2 Analýza výchozího stavu vybrané montážní linky

Společnost používá principy „štíhlého podniku“ a k dosažení optimálního stavu aplikuje prakticky většinu z metodik uvedených v teoretické části práce.

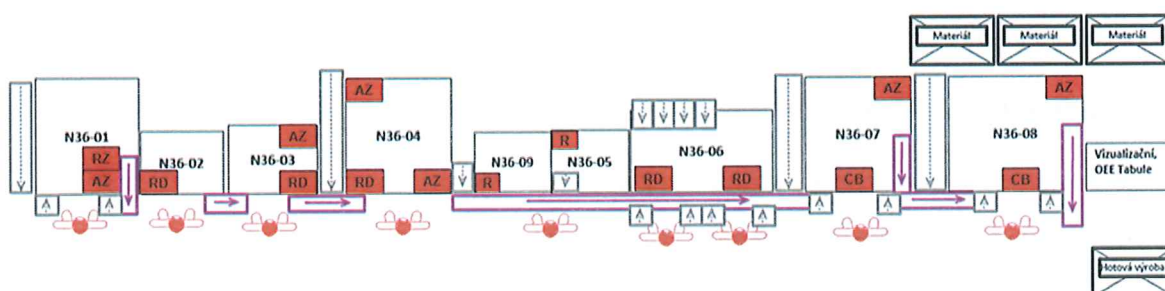
Pro vypracování analýzy výchozího stavu linky byla použita metoda chronometráže a byl proveden sběr dat z oblastí nekvality, prostojů a výrobních požadavků.

Následně byla provedena analýza nasbíraných dat a pro účel modelu definovány hodnoty těchto faktorů jednotlivých pracovišť.

2.2.1 Časová studie linky

Pomocí detailního snímkování operací jednotlivých pracovišť byla provedena analýza taktu. Snímky každého pracoviště byly rozděleny na konstantní čas stroje a na variabilní čas operátora stanovený průměrnými časy pozorování a který je dále rozdělen na práci a periodické operace – doplňování/odnášení KLT beden, přinášení/odnášení nedokončené výroby z určených zásobovacích míst. Časy těchto cyklických operací byly zprůměrovány a přepočteny na jednicovou hodnotu. Časy operátora a čas stroje se mohou překrývat, protože operátor a stroj mohou u některých operací pracovat současně. Celkový čas každého pracoviště pak vyjadřuje hodnotu času od vstupu dílu na pracoviště po jeho opuštění.

Montážní linku tvoří 8 pracovišť, jejichž uspořádání je uvedeno na obrázku 5.



Zdroj: (ZF Passive Safety Czech, s.r.o. – podnikový informační systém)

Obr. 5 Layout montážní linky

Pracoviště č. 1 – Nýtování sestavy navijáku:

Jednoučelový automatický nýtovací stroj s šestimístným karuselových podavačem je ovládán jedním operátorem, kde dochází k několika operacím současně – operátor postupně v průběhu pohybu karuselu vkládá základní plech a sadu komponent do hnízda, spíná ovladač, u hlavních komponent (cívka, plech, PT housing). Následuje čtení 2D kódu traceability, pak dochází k průběžnému zanátytování sestavy do základního plechu pomocí 5 nýtů a následuje uvolnění dílu automatickým manipulátorem na dopravník. Založení dalšího kusu probíhá v průběhu práce stroje (viz. Obr. 6).

Čas stroje: 10 vteřin

Průměrný čas operátora: 9 vteřin

Průměrný čas periodické operace: 1 vteřina

Celkový čas: 11,5 vteřiny

Pracoviště č. 2 – Montáž fixačních plechů – ohýbání

Automatický lisovací stroj s jednoduchým zakladačem (viz. Obr. 6). Operátor vkládá rozpracovaný výrobek a fixační plechy, po spuštění spínače stroj přečte 2D kód sestavy a zalisuje fixační plechy do základního plechu. Následuje automatické uvolnění zpracovaného kusu na dopravník.

Čas stroje: 6,5 vteřiny

Průměrný čas operátora: 10 vteřin

Průměrný čas periodické operace: 0,5 vteřiny

Celkový čas: 10,5 vteřiny

Pracoviště č. 3 – Boční nýtování a čištění trubky

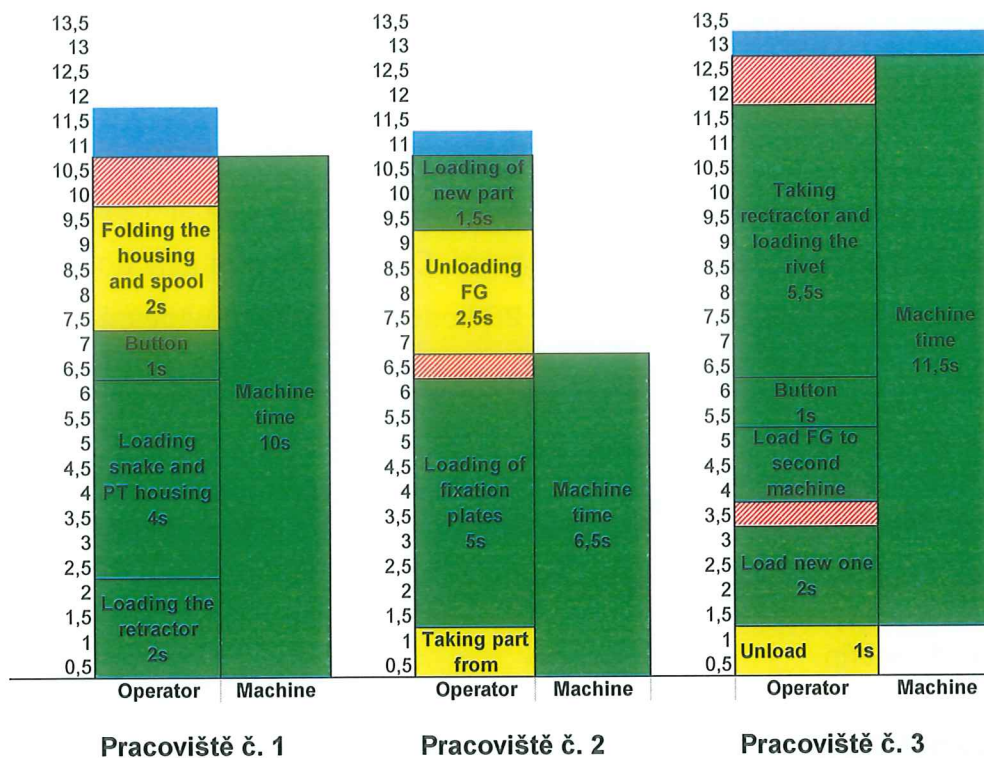
Víceúčelové pracoviště, které nýtuje a následně pomocí laseru očistí trubku hada od nečistot a zbytků barvy, a připraví tak plochu pro následné svařování (viz. Obr. 6). Operátor vkládá naviják a nýty do hnízda, následuje čtení 2D kódu a zanýtování, dále stroj provede kontrolu „U-Shape“ (kontrola tvarové deformace základního plechu), následuje automatické přemístění navijáku na laserové pracoviště a opětovné čtení 2D kódu a provede laserové očištění. Poté je naviják vyjmut operátorem a vložen na dopravník.

Čas stroje: 11,5 vteřiny

Průměrný čas operátora: 11 vteřin

Průměrný čas periodické operace: 0,5 vteřiny

Celkový čas: 13 vteřin



Zdroj: (ZF Passive Safety Czech, s.r.o. – podnikový informační systém)

Obr.6 Náměry pracovišť č. 1, 2 a 3

Pracoviště č. 4 – Frikční svařování

Frikční sváření je technologicky nejnáročnější pracoviště a svářečka patří k nejnákladnějším strojům této montážní linky (viz Obr. 7). Stroj sváří patronu MGG s náplní stříelného prachu do trubky hada navijáku. Tento JÚS disponuje jednoduchým podavačem, který umožňuje vložení pouze 1 kusu výrobku. Operátor vkládá naviják do hnízda, následuje čtení 2D kódu a senzorická kontrola očištění trubky. Následně operátor vloží MGG patronu, stroj překontroluje typ patrony a vykoná svaření. Následuje kontrola rovinnosti sváru a pozice MGG. Operátor po vyjmutí ze stroje vkládá naviják na dopravník a současně vkládá kus nový.

Čas stroje: 13,5 vteřiny

Průměrný čas operátora: 4 vteřiny

Průměrný čas periodické operace: 0,5 vteřiny

Celkový čas: 16,5 vteřiny

Pracoviště č. 5 a 9 – Nýtování bracketu

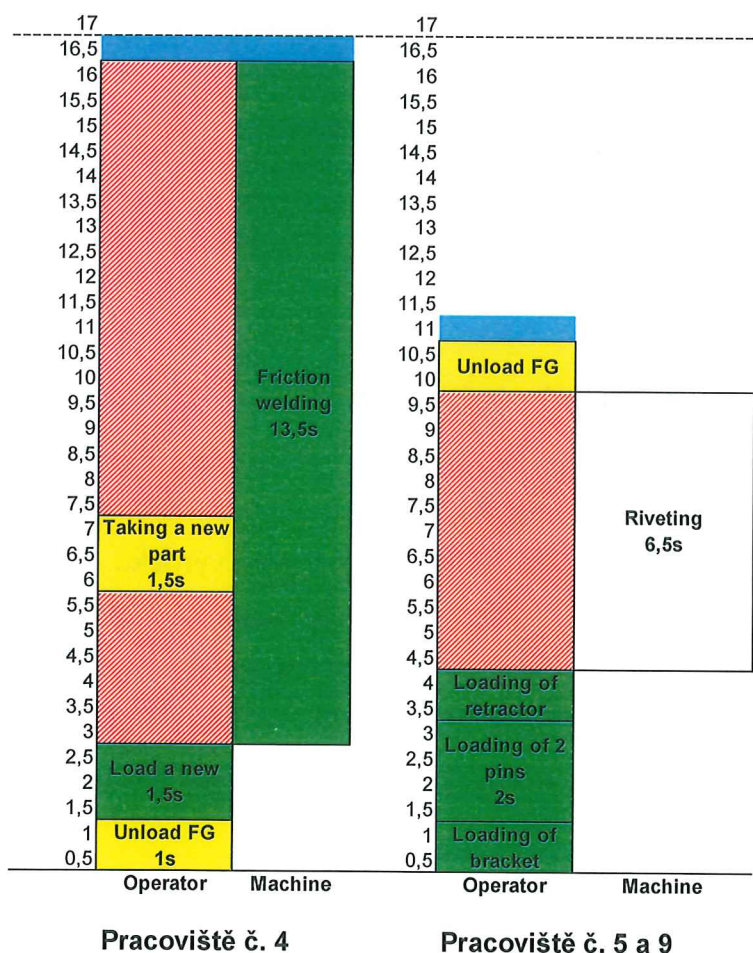
Nýtovací pracoviště disponuje 2 JÚS, kde podle typu výrobku je používáno buď pracoviště č. 5 nebo č. 9, které je vybaveno automatickým podavačem nýtů (viz. Obr. 7). Časová studie byla vypracována pro variantu s ručním podáváním nýtů, protože se jedná o operaci s delším časem. Operátor vkládá nýty do navijáku a sestavu vkládá do hnízda, následuje čtení 2D kódu a orbitální zanýtování bracketu do navijáku a uvolnění na dopravník.

Čas stroje: 6,5 vteřiny

Průměrný čas operátora: 5,5 vteřiny

Průměrný čas periodické operace: 0,5 vteřiny

Celkový čas: 11 vteřin



Zdroj: (ZF Passive Safety Czech, s.r.o. – podnikový informační systém)

Obr. 7 Náměry pracovišť č. 4, 5 a 9

Pracoviště č. 6 – Šroubování převodovky

Šroubovák je strojem s největším výrobním časem, proto při prvním balancování linky byl zdvojen a obsazen dalším operátorem, aby došlo ke snížení času na polovinu (viz. Obr. 8). Níže uvedené časy jsou proto vyjádřeny s ohledem na tuto skutečnost. Operátor vkládá naviják do hnízda a stroj načte 2D kód, po otočení karuselu do dalšího hnízda operátor vládá kroužek a následuje jeho zalisování s kamerovou kontrolou, do třetího hnízda operátor vkládá převodovku SLL, probíhá načtení 2D kódu SLL a následně k postupnému zašroubování 3 šroubů a odstranění pojistky. Automatický podavač vkládá naviják na dopravník.

Čas stroje: 7 vteřin

Průměrný čas operátora: 9,5 vteřiny

Průměrný čas periodické operace: 1 vteřina

Celkový čas: 12,5 vteřiny

Pracoviště č. 7 – Navíjení pružiny

Pracoviště provádí montáž a navíjení komfortní kazety na převodovku navijáku (viz Obr. 8). JÚS disponuje 7 místným karuselem pro postupnou montáž 5 komponent. Operátor postupně do hnízd vkládá naviják a jednotlivé komponenty a následně dochází k jejich montáži a opětovnému čtení 2D kódu a následnému zalisování krytu pružiny.

Čas stroje: 11,5 vteřiny

Průměrný čas operátora: 8 vteřin

Průměrný čas periodické operace: 0,5 vteřiny

Celkový čas: 12 vteřin

Pracoviště č. 8 – Montáž krytky senzoru a balení

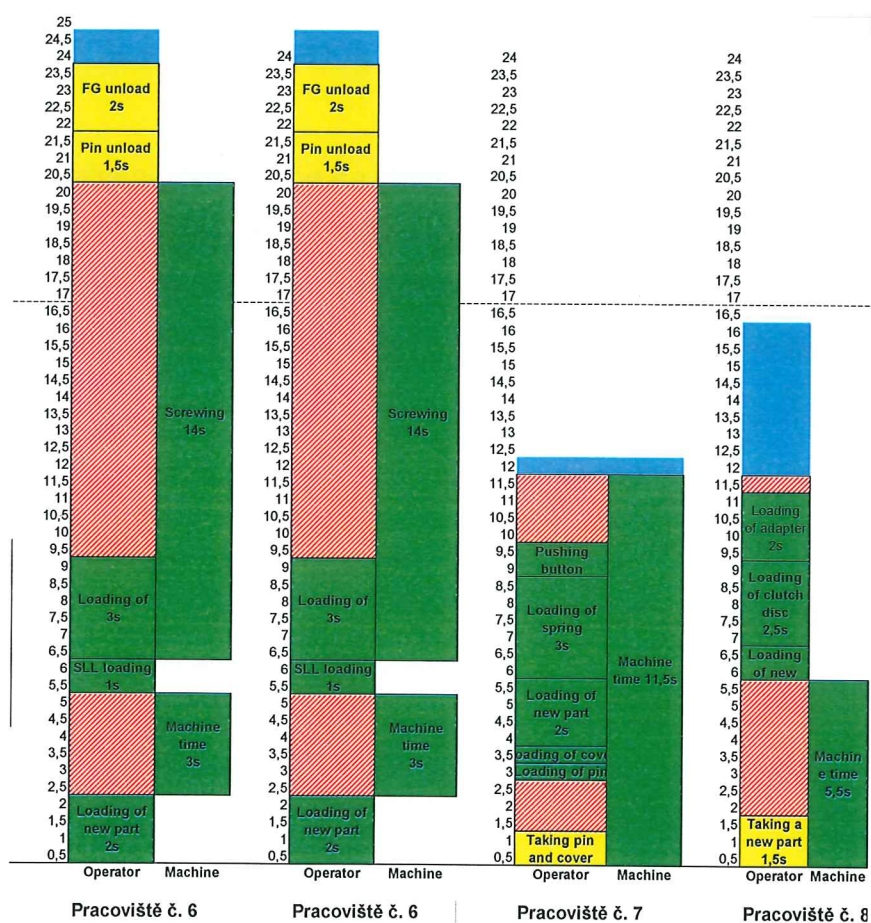
Pracoviště je posledním pracovištěm linky a operátor současně balí polotovary do KLT beden a připravuje k expedici na pásovou linku (viz. Obr. 8). Stroj je vybaven 4 místným karuselovým podavačem a současně provádí 3 operace. Operátor vkládá kryt senzoru a naviják, následuje kamerová kontrola pozice krytu, pak vkládá spojku a do dalšího hnízda adapter s opětovnou kamerovou kontrolou, následuje čtení 2D kódu a automatické zalisování adaptéru a plastového krytu senzoru. Dále je pomocí pinu zajištěn senzor a nalepena etiketa na kryt senzoru a po naplnění dopravníku putují navijáky k balení.

Čas stroje: 5,5 vteřiny

Průměrný čas operátora: 7 vteřin

Průměrný čas periodické operace: 4,5 vteřiny

Celkový čas: 16 vteřin

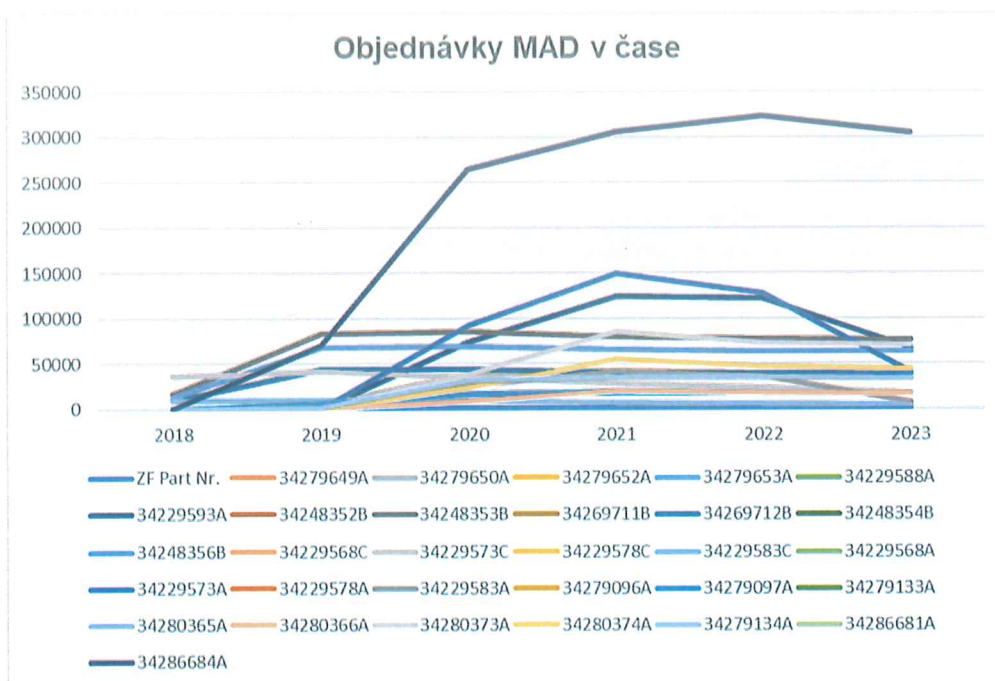


Zdroj: (ZF Passive Safety Czech, s.r.o. – podnikový informační systém)

Obr. 8 Náměry pracovišť 6, 7 a 8

2.2.2 Analýza výrobních požadavků

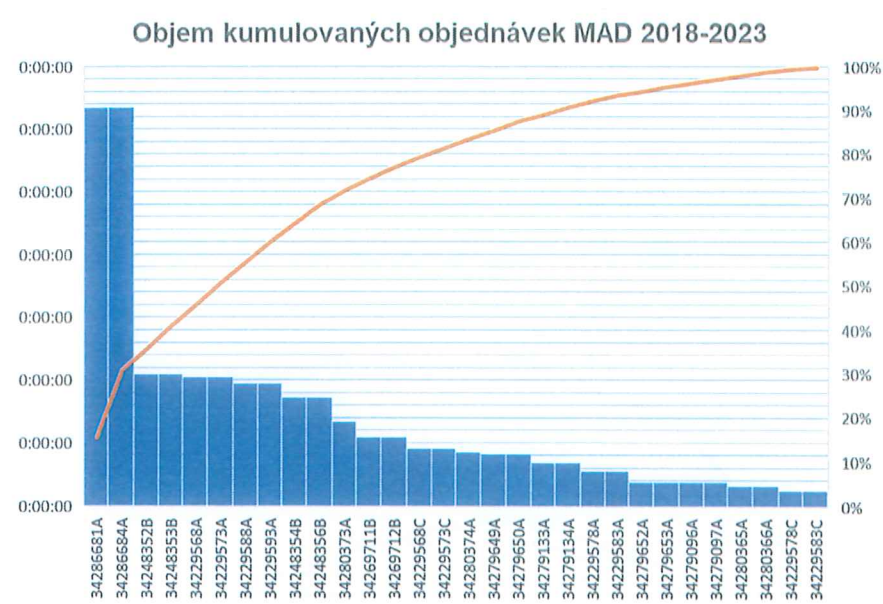
Linka N36 je poměrně nová linka, která v roce 2018 nenabyla plného objemu produkce. Náběh standardního objemu produkce je dle dat z informačního systému očekáván pro 2020 až 2021 (viz Obr. 9).



Zdroj: (Vlastní zpracování)

Obr. 9 Graf výrobních požadavků

Výrobní portfolio montážní linky tvoří 30 typů výrobků a z pohledu objemu produkce za plánované období 2018 – 2023 z pohledu objemu tvoří největší podíl 14 typů výrobků, přičemž pouze dva typy výrobků se podílejí na objemu 15 %. Zbývající část portfolia nepřesahuje svým podílem 5 % (viz Obr. 10).



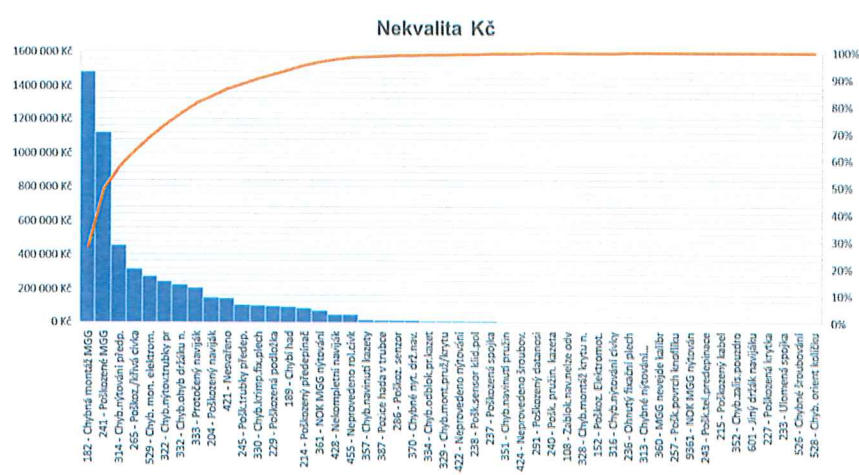
Zdroj: (Vlastní zpracování)

Obr. 10 Paretův diagram výrobních požadavků

2.2.3 Analýza nekvality

V důsledku zavedení systému traceability, tj. sledování a evidence produktu a komponent v průběhu procesu výroby, je míra oprav NOK prakticky nulová. V případě opravy NOK kusu by výrobek ztratil kompatibilitu se systémem čtení traceability a takový kus musí být vyřazen do šrotace. Nižší uvedené grafy představují analyzovaná data pouze za šrotaci.

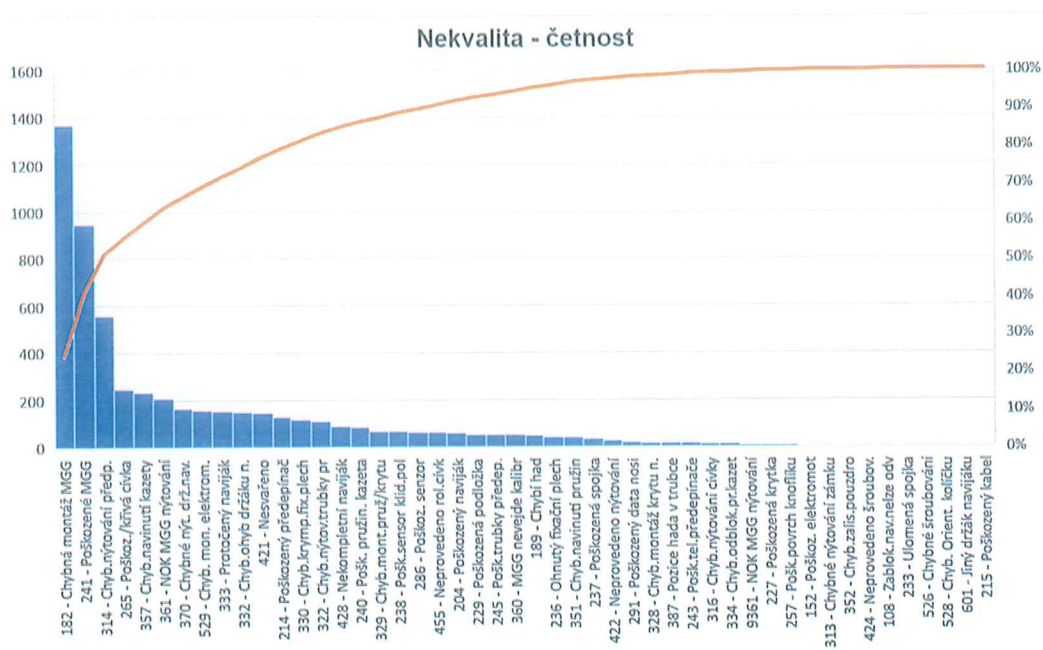
Z pohledu nákladů tvoří 80 % šrotace celkem 8 typů závad (viz Obr. 11).



Zdroj: (Vlastní zpracování)

Obr. 11 Paretův diagram nekvality v Kč

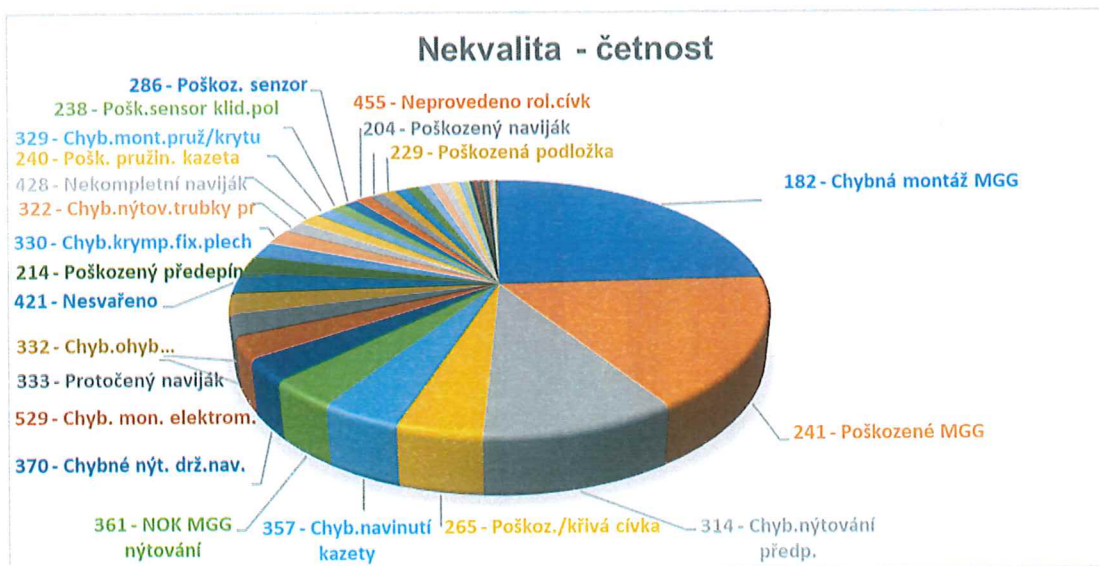
Z pohledu četnosti tvoří Parettových 80 % celkem 13 typů závad (viz Obr. 12):



Zdroj: (Vlastní zpracování)

Obr. 12 Parettův diagram nekvality v ks

Z grafu četností (viz Obr. 13) je patrné, že největší zmetkovitost vykazuje pracoviště frikčního sváření.



Zdroj: (Vlastní zpracování)

Obr. 13 Koláčový graf nekvality v ks

V tabulce 1 jsou uvedeny závady, které lze jednoznačně přiřadit ke sváření. Z tabulky vyplývá, že úzké místo vykazuje podíl na celkové šrotaci více než 45,67 %.

Tab. 1 Nekvalita sváření

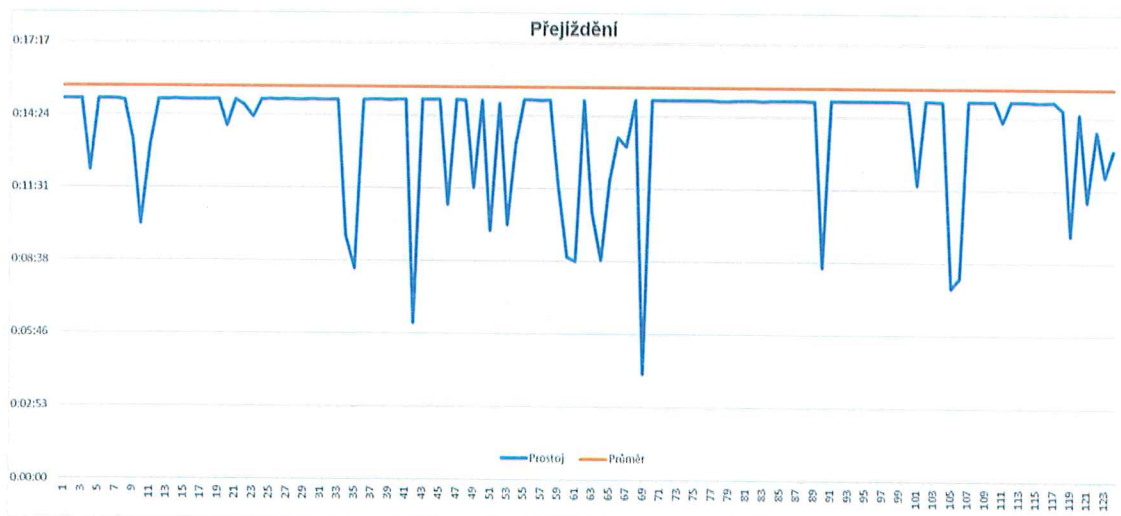
Kód nekvality	Jednicové náklady (Kč)	Náklady	Četnost	Kumulovaná četnost	Relativní četnost
182 - Chybná montáž MGG	1 081,68 Kč	1 479 732 Kč	1368	1368	24,26%
241 - Poškozené MGG	1 187,50 Kč	1 119 813 Kč	943	2311	16,72%
361 - NOK MGG nýtování	318,27 Kč	65 565 Kč	206	3554	3,65%
360 - MGG nevejde kalibr	22,43 Kč	1 122 Kč	50	5310	0,89%
9361 - NOK MGG nýtování	47,17 Kč	425 Kč	9	5598	0,16%
Suma					45,67%

Zdroj: (Vlastní zpracování)

2.2.4 Analýza prostojů

V zásadě můžeme rozlišit dva typy prostojů - plánované a neplánované. Každý prostoj je zaznamenán do informačního systému pomocí čipové karty a je sledována a pravidelně vyhodnocována délka trvání prostojů.

Přejíždění (viz Obr. 14) je plánovaný prostoj, který je způsoben seřizením jednotlivých výrobních zařízení pro jiný typ výrobku. Obnáší testování každého pracoviště tzv. MP vzorky (Mistake Proofing), kterými je ověřována funkčnost snímacích čidel. Přesmyky s hodnotou méně než 12 vteřin byly ze vzorku z důvodu technologie operace vyloučeny jako chybně čipované.



Zdroj: (Vlastní zpracování)

Obr. 14 Lineární graf přejíždění

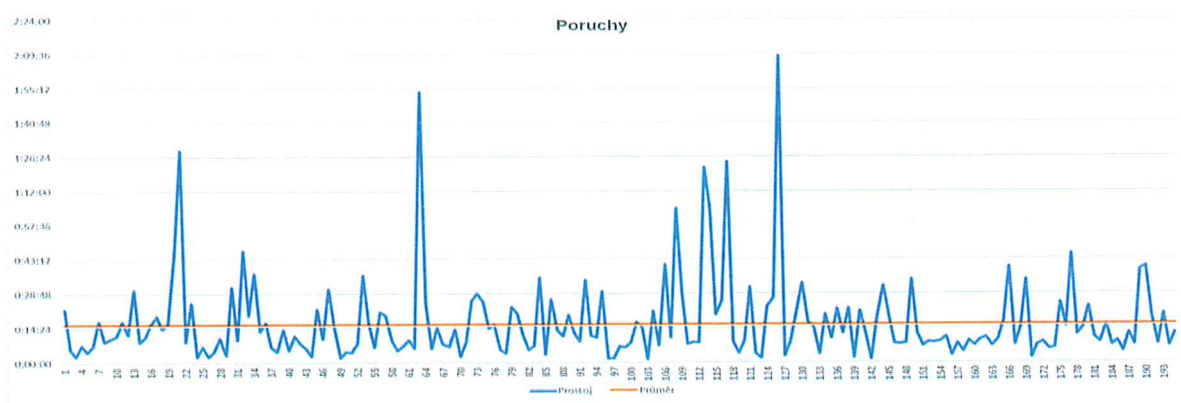
Poruchy (viz Tab. 2) představují neplánované prostoje, které jsou způsobené závadou na zařízení, vyžadující zásah technika údržby. U tohoto typu prostoje je sledována jednak délka trvání samotné opravy, ale také rychlost reakce na volání. Pro analýzu poruch byla uvažována celková doba čekání.

Tab. 2 Prostoje pracovišť - poruchy

Pracoviště	Popis pracoviště	MIN	Průměr	MAX	Počet (rok)	Součet (rok)	Počet (měsíc)	Součet (měsíc)
1	Nýtování PT housing	0:00:49	0:17:04	0:46:38	32	550	3	46
2	Montáž fixačních plechů	0:02:02	0:11:35	0:20:50	97	1516	8	126
3	Boční nýtování a laser čištění	0:01:00	0:10:23	0:27:05	34	464	3	39
4	Frikční svařování	0:01:15	0:15:34	2:08:44	319	4969	27	414
5	Nýtování braketu	0:00:52	0:10:51	0:35:36	62	756	5	63
9	Nýtování bracketu MQB4	0:03:14	0:05:30	0:10:00	3	16	0	1
6	Šroubování převodovky	0:00:33	0:16:05	1:43:49	217	3700	18	308
7	Navíjení pružiny	0:00:41	0:11:51	0:42:24	73	1007	6	84
8	Montáž krytky senzoru	0:00:44	0:17:31	1:06:53	180	3155	15	263
Průměr		0:01:11	0:12:32	0:59:13	127	2010	11	167
Součet					888	14067	74	1172

Zdroj: (Vlastní zpracování)

Z pohledu četnosti i objemu poruch je nejméně výkonným pracovištěm frikční sváření. Na Obr. 15 graf znázorňuje prostoje způsobené poruchami za rok 2018 (viz Obr. 15). Druhým nejvíce poruchovým zařízením je pracoviště šroubování převodovky.



Zdroj: (Vlastní zpracování)

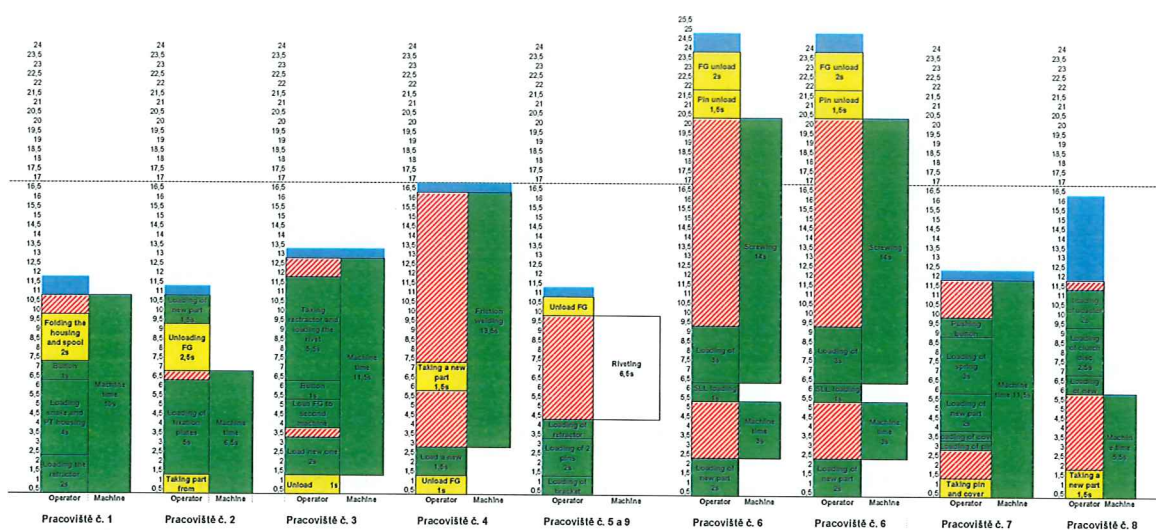
Obr. 15 Lineární graf poruch -sváření 1

2.3 Zhodnocení analytické části

Po zhodnocení všech dat (viz Obr. 16) bylo identifikováno jako úzké místo pracoviště č.4 - frikční sváření. Toto pracoviště krom nejdelšího procesního času vykazuje nejvyšší hodnoty v oblasti nekvality a prostojů.

Druhým nejméně produktivním pracovištěm s nejdelším procesním časem bylo vyhodnoceno pracoviště č. 6 - šroubování převodovky.

Obě tato pracoviště byla předmětem zkoumání a experimentů simulace.



Zdroj: (ZF Passive Safety Czech, s.r.o. – podnikový informační systém)

Obr. 16 Chronometrůž pracovišť

Pro eliminaci úzkých míst byly zvoleny dvě metody – optimalizace mezioperační zásoby a posílení pracoviště.

Nejméně nákladným optimalizačním řešením je zvýšení objemu mezioperační zásoby – „bufferu“ – na vhodnou úroveň. V podniku k této metodě slouží systém operativních pojízdných vozíků, které mohou okamžitě zvýšit objem bufferu o 36 kusů rozpracovaného navijáku. Ve výrobě bývá využíván v momentu, kdy dojde k poruše pracoviště za úzkým místem.

Naopak modifikace zařízení zpravidla mívá velký dopad na výši investic potřebných k implementaci optimalizace. V praxi bývá zpravidla návrh takového řešení vždy doprovázen kalkulací návratnosti investice pro posouzení, zda je řešení adekvátní.

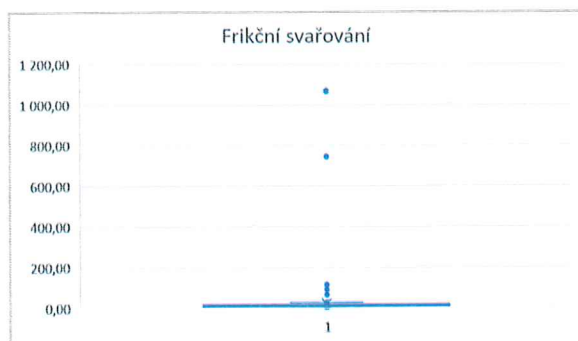
3. Aplikace počítačové simulace

Simulace modelu byla provedena pomocí SW nástroje Tecnomatix Plant Simulation, který je součástí produktové řady firmy Siemens PLM Software, která zahrnuje několik softwarových nástrojů pro různé oblasti výroby, které je možné navzájem propojit (Siemens, 2019). Nástroje v řadě Tecnomatix umožňují průmyslovým podnikům využívat v praxi koncept digitálního podniku, tj. plánovat a projektovat výrobu, navrhovat, verifikovat a optimalizovat procesy a výrobní zdroje v digitálním prostředí. Přesné digitální modelování, simulace a 3D prostorová vizualizace dovoluje odborníkům, kteří spolupracují na vývoji, vizualizovat a analyzovat budoucí výrobní procesy a zabránit tak chybám při náběhu výroby.

Plant Simulation je modul pro dynamickou simulaci a tvorbu strukturovaného hierarchického modelu výrobních závodů, linek procesů, dopravy atd. Díky dynamickému ověření návrhu dokáže určit úzká místa, definovat vytížení jednotlivých pracovišť/operátorů a určit propustnost systému (Siemens, 2019).

3.1 Zajištění dat a jejich analýza pro účely simulace

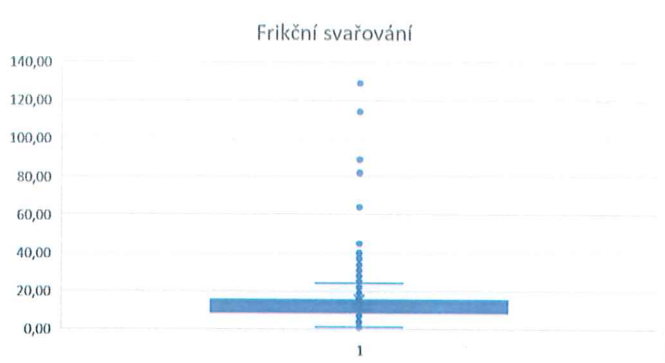
Pro analýzu proměnných modelu byla použita data informačního systému, která byla následně očištěna o odlehlé hodnoty, které byly identifikovány pomocí krabicového grafu časů prostojů pro každé pracoviště zvlášť. Tyto odlehlé hodnoty představovaly například „marná volání“ technika údržby, kdy čas provedené opravy byl vykazován jako nulový. Dále pak byly odstraněny hodnoty, které představovaly extrémně dlouhé prostoje způsobené opomenutím odčipovat provedenou opravu (viz Obr. 17).



Zdroj: (Vlastní zpracování)

Obr. 17 Krabicový graf prostojů sváření před odstraněním odlehlých hodnot

Eliminace odlehlých hodnot byla předem ověřena záznamy výroby za jednotlivé dny, které posloužily k identifikaci maximální možné délky trvání evidovaných prostojů. Takto očištěná data sloužila ke dalšího zpracování pro analýzu průměrných hodnot přejezdů a oprav (viz Obr. 18).



Zdroj: (Vlastní zpracování)

Obr. 18 Krabicový graf prostojů sváření po odstranění odlehlých hodnot

3.2 Pojmový model

Model byl vytvořen jako zjednodušený odraz reálného systému a jako vstupní data byly použity záznamy historických údajů výroby, logistiky, kvality a Lean oddělení.

Stanovení hranic systému a rozhraní systémového okolí

Pro účel této práce je uvažován zjednodušený model pouze montážní linky pro naviják, bez předcházejících submontáží a logistických procesů zásobování polotovary WIP (Work in Process), tj. proces bude zkoumán od momentu vstupu dílu na první pracoviště do momentu opuštění montážní linky.

Pro analýzu proměnných vstupujících do simulace bylo vybráno časové období jednoho roku, a to konkrétně roku 2018.

Míra detailnosti modelu

Pro konstrukci modelu byl vybrán takový úsek výrobního plánu, který reprezentuje obvyklý objem výroby.

Model nezahrnuje simulaci směnného provozu ani plánovaných odstávek a přestávek, jako jsou například sezónní přerušení výroby či přestávka na oběd. Model je uvažován jako 8 hodinový jednosměnný cyklus bez přestávek s celkovým disponibilním časem 21 pracovních dní po 8 hodinách, celkem tedy 7 dní čistého

času 168 hodin. Tento disponibilní čas je ovlivňován časy prostojů, časy seřízení a časy periodických operací.

Výrobní požadavky jsou reprezentovány tabulkou výrobního plánu, která respektuje jednotlivé výrobní dávky sériových i předseriových typů výrobku.

Data odvolávek výrobního plánu nahrazují informační tok mezi jednotlivými pracovišti a zásobováním, a podávají informaci předem o správném množství, správném typu i správném čase, kdy bude vstupní materiál potřeba.

Prostoje za opravy strojů byly identifikovány pro každé pracoviště zvlášť na základě analýzy disponibilního času a průměrných časů oprav.

Prostoje za přesmyky (seřízení) byly definovány pro celý modelovaný systém a byly vyjádřeny konstantou času pro první zařízení v řadě v hodnotě 15 minut.

Výkonnost jednotlivých pracovišť byla stanovena na základě naměřené chronometráže celkového času taktu pracoviště, tj, čas stroje včetně operátora.

Data za šrotaci jsou tříděna podle typu závady, která se může vyskytnout na více pracovištích zároveň. Z toho důvodu nemohou být data přiřazena k jednotlivým pracovištím, a proto pro účely simulačního modelu nebyla šrotace uvažována.

Důležité vstupní proměnné.

Data odvolávek, které byly nasbírány po dobu 4 pracovních týdnů (viz Tab. 3). Vstupní data zohledňují jednotlivé dávky, které jsou přiřazeny k daným typům výrobku. Minimální dávka sériového výrobku pro danou montážní linku byla podnikem stanovena na 1120 kusů nebo násobek této dávky. Pouze předseriová výroba je do doby náběhu serie vyráběna zakázkově a minimální výrobní dávkou je 1 kus.

Historická data odvolávek obsahují informace o odvolaném materiálu, jako jsou:

- datum a čas vytvoření odvolávky,
- označení materiálu,
- montážní linku, pro kterou je výrobek určen,
- množství výrobní dávky.

Tab. 3 Výrobní plán – zadání pro Plant Simulation

Simulace - výrobní plán					
Produkt	KT1	KT2	KT3	KT4	Dávka
type 34201493D	0	1 120	1 120	0	1 120
type 34201494D	0	1 120	1 120	0	1 120
type 34201495D	0	0	320	0	320
type 34201496D	0	320	320	0	320
type 34243863C	0	2 240	2 240	2 240	2 240
type 34243864C	0	0	2 240	4 480	2 240
type 34243865C	0	2 560	0	2 560	2 560
type 34243866C	1 120	1 120	0	0	1 120
type 34272376B	129	0	0	0	1
type 34272377B	108	0	0	0	1
type 34272378C	190	0	0	0	1
type 34272379C	161	0	0	0	1
type 34272593B	0	2 240	0	2 240	2 240
type 34275447C	1 120	1 120	0	1 120	1 120
type 34275448C	1 120	1 120	0	1 120	1 120
type 34279724B	0	149	76	20	1
type 34279725B	0	600	600	600	1
type 34280525C	41	0	0	0	1
type 34280526C	44	0	0	0	1
type 34286732B	0	0	44	0	1
type 34286733B	0	0	61	0	1
type 34286735B	0	0	0	20	1
type 34309023A	4 800	4 480	4 480	5 760	1
type 34309023B	0	0	0	0	2 180
type 34309024A	6 720	2 240	5 440	5 600	1
type 34319045B	0	164	76	20	1
type 34319046B	0	600	600	600	1 260
Suma	15 553	21 193	18 737	26 380	

Zdroj: (Vlastní zpracování)

Linka vždy vyrábí pouze jeden typ výrobku a po naplnění odvolávky dochází k přeseřžení (přejezdu) na jiný typ výrobku, který představuje průměrný prostoj 15 minut, který byl vyjádřen konstantou pro první pracoviště v systému.

Periodické operace představují pravidelné doplňování materiálu či balení hotových výrobků prováděných vždy po určitých dávkách, zpravidla o velikosti přepravní jednotky (bedna KLT). Pro konstrukci modelu byly vyjádřeny v jednicových hodnotách a byly přiřazeny ke každému pracovišti podle míry doplňování zásob.

Prostoje za opravy zařízení byly modelovány pro každé pracoviště zvlášť a pro kalkulaci byla použita data z informačního systému, očištěná o odlehlé

hodnoty a o časy přejezdů (viz Tab. 4). Pomocí průměrů hodnot a disponibilního času bylo u každého pracoviště provedeno relativní vyjádření dostupnosti zařízení a průměrná délka trvání opravy (MTTR) (viz Tab. 4).

Tab. 4 Prostoje pracovišť' - zadání pro Plant Simulation

Pracoviště	Popis pracoviště	MIN	Průměr	MAX	Počet (rok)	Součet (rok)	Počet (měsíc)	Součet (měsíc)	Disp. čas	MTTR
1	Nýtování PT housing	0:00:49	0:17:04	0:46:38	32	550	3	46	-99,55%	0:17:04
2	Montáž fixačních plechů	0:02:02	0:11:35	0:20:50	97	1516	8	126	-98,75%	0:11:35
3	Boční nýtování a laser čištění	0:01:00	0:10:23	0:27:05	34	464	3	39	-99,62%	0:10:23
4	Frikční svařování	0:01:15	0:15:34	2:08:44	319	4969	27	414	-95,89%	0:15:34
5	Nýtování braketu	0:00:52	0:10:51	0:35:36	62	756	5	63	-99,38%	0:10:51
9	Nýtování braketu MQB4	0:03:14	0:05:30	0:10:00	3	16	0	1	-99,99%	0:05:30
6	Šroubování převodovky	0:00:33	0:16:05	1:43:49	217	3700	18	308	-96,94%	0:16:05
7	Navíjení pružiny	0:00:41	0:11:51	0:42:24	73	1007	6	84	-99,17%	0:11:51
8	Montáž krytky senzoru	0:00:44	0:17:31	1:06:53	180	3155	15	263	-97,39%	0:17:31
Průměr		0:01:11	0:12:32	0:59:13	127	2010	11	167	-98,52%	0:12:56
Součet					888	14067	74	1172		

Zdroj: (Vlastní zpracování)

3.3 Simulační model

Simulační model byl vytvořen na základě pojmového modelu v SW Plant Simulation pomocí následujících typů prvků:



- Source – generuje vyráběné jednotky metodou cyklické sekvence, tj. v souladu se zadaným výrobním plánem (tabulka tSekvence).



- SingleProc je jednoduché jednoúčelové výrobní zařízení, ve kterém je možné detailně modelovat procesní časy opracování, seřízení a oprav.



- Connector - slouží k propojení jednotlivých prvků výrobního procesu a zajištění materiálového toku od předchůdce k následujícímu pracovišti.



- Buffer - zásobník rozpracované výroby, v modelu představuje dopravníky mezi jednotlivými pracovišti, které dle délky dopravníku nesou různá množství mezioperační zásoby dle metody FIFO.



- Drain – slouží pro odstranění výrobků ze systému a pro evidenci a statistiku vyrobených kusů.



- Entity – vyráběná jednotka, v modelu představuje 1 kus navijáku



- tSekvence – vnořená tabulka slouží pro simulaci požadavků výrobního plánu a nese i informaci o minimální dávce pro každý typ výrobku.



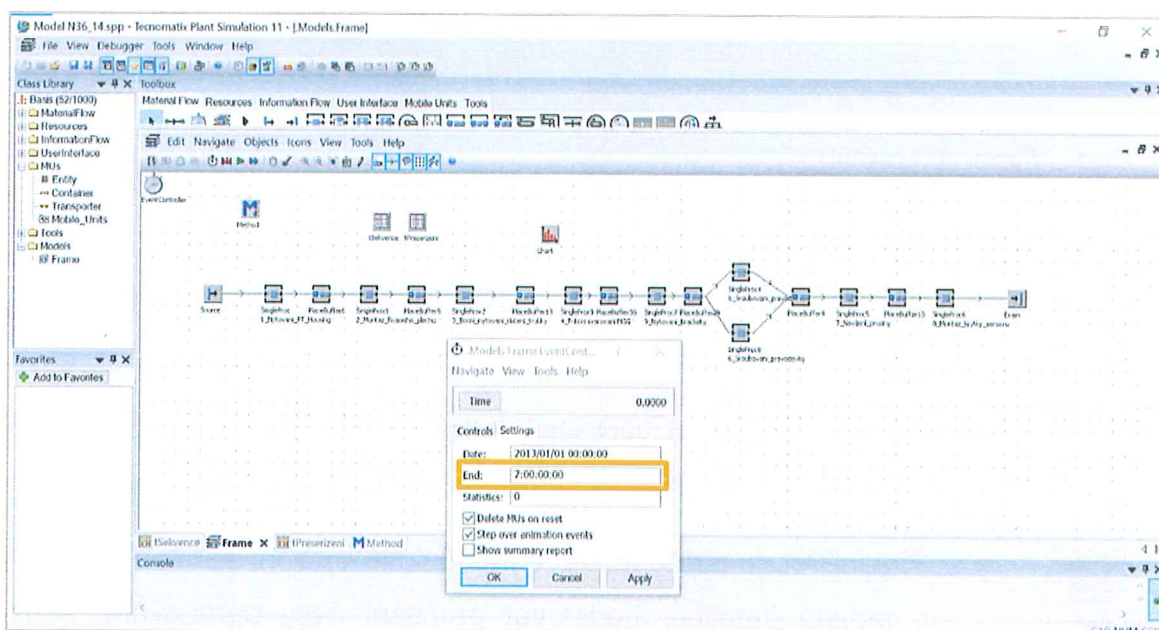
- tPřeseřzení – slouží pro simulaci frekvence seřizení (přejezdů).



- Method – pomocí jazyka „SimTalk“ alouží k programování procedur a definici vlastností SW.



- Event Controller . slouží k nastavení a ovládání času simulace.

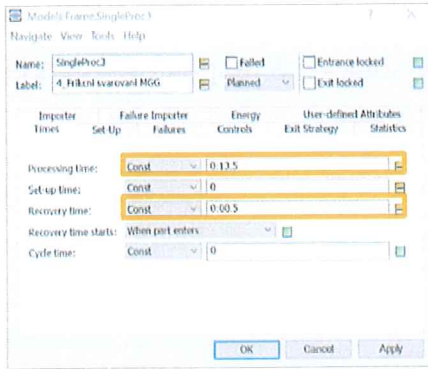


Zdroj: (Plant Simulation, vlastní zpracování)

Obr. 19 Simulační model v Plant Simulation

Na základě předcházející analýzy bylo namodelováno všech 8 pracovišť - byly nastaveny takty zařízení a časy periodických operací a ostatní uvažované proměnné. Doba trvání simulace respektuje čistý pracovní čas 21 pracovních dní při 8 hodinové směně bez přestávek, tj, čistého simulačního času 7 dní (viz Obr. 19).

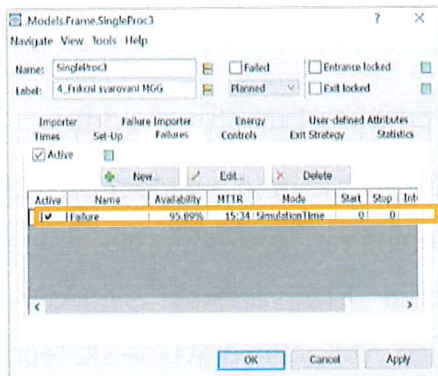
Takt jednotlivých zařízení byl nastaven pomocí functionality processing time a periodické operace zásobování byly namodelovány pomocí funkce recovery time (viz Obr. 20).



Zdroj: (Plant Simulation, vlastní zpracování)

Obr. 20 Nastavení taktu stroje

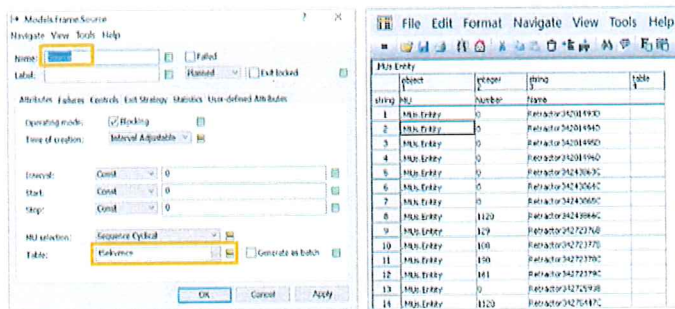
Modelace prostojů jednotlivých zařízení vycházejí z tabulky 4. Obrázek 21 představuje nastavení pracoviště frikčního sváření.



Zdroj: (Plant Simulation, vlastní zpracování)

Obr. 21 Nastavení prostojů

Struktura výrobního plánu je zohledněna pomocí tabulky „tSekvence“ na prvku „Source“ (viz Obr. 22).



Zdroj: (Plant Simulation, vlastní zpracování)

Obr. 22 Nastavení výrobního plánu

Modelace přejíždění je aplikována pouze na první prvek v řadě - prvek „Source“ - pomocí tabulky „tPřeseřzení“ (viz Obr. 23) tak, aby současně respektovala zadaný výrobní plán.

ID	Time
1	0.0000
2	15.30.0000
3	15.30.0000
4	15.30.0000
5	15.30.0000
6	15.30.0000
7	15.30.0000
8	15.30.0000
9	15.30.0000
10	15.30.0000
11	15.30.0000
12	15.30.0000
13	15.30.0000
14	15.30.0000
15	15.30.0000
16	15.30.0000
17	15.30.0000
18	15.30.0000
19	15.30.0000
20	15.30.0000
21	15.30.0000
22	15.30.0000
23	15.30.0000
24	15.30.0000
25	15.30.0000
26	15.30.0000

Zdroj: (Plant Simulation, vlastní zpracování)

Obr. 23 Tabulka tPřeseřzení 1

3.4 Validace pojmového modelu a verifikace simulačního modelu

Funkce a logika pojmového modelu byla průběžně kontrolována a vyhodnocována, zda mírou detailnosti a přesnosti odpovídá reálnému systému. Na základě pojmového modelu byl sestaven simulační model. Pro verifikaci simulačního modelu bylo provedeno porovnání výsledků simulace výchozího stavu se skutečnou produkcí, a byla prokázána shoda (viz Tab. 5). Při zadaných vstupních proměnných a daném časovém fondu dosahuje model před optimalizací taktu 17,70 vteřin (viz Obr. 24), které představují celkový průtok 34.098 ks. Současná norma, která činí 1650 ks/směnu, odpovídá taktu 17,45 vteřin a produkci 34.650 ks za časový fond 21 dní 8 hodinového jednosměnného provozu.

Category	Value
Working:	62.15%
Setting up:	0.07%
Waiting:	27.50%
Stopped:	0.00%
Failed:	0.28%
Paused:	0.00%
Average lifespan:	14.07.1960
Average exit interval:	17.6136
Total throughput:	34098
Throughput per hour:	202.99
Throughput per day:	4871.14

Zdroj: (Plant Simulation, vlastní zpracování)

Obr. 24 Výsledková statistika výchozího stavu modelu

Tab. 5 Verifikace simulačního modelu

	Skutečná produkce:	Norma:	Model:
Takt	16,00 sec	17,45 sec	17,70 sec
Směna v ks	1 800 ks	1 650 ks	1 624 ks
Časový fond (rok)	8 640 hod	8 640 hod	8 640 hod
Časový fond (experiment)	21 dní	21 dní	21 dní
Časový fond v sec. (experiment)	604 800 sec	604 800 sec	604 800 sec
směna	28 800 sec	28 800 sec	28 800 sec
Objem ks experiment	37 800 ks	34 650 ks	34 097 ks

Zdroj: (Vlastní zpracování)

Z uvedených hodnot vyplývá, že stanovené hranice a míra detailnosti pojmového modelu odpovídá reálnému systému. Z tohoto důvodu byla validace pojmového modelu považována za dostatečnou a prokazatelnou pro ověření chodu simulačního modelu.

3.5 Realizace experimentů a analýza výsledků

Modifikací klíčových proměnných – úzkých míst a objemů mezioperačních zásobníků - bylo provedeno celkem 8 experimentů, které byly zaznamenány do matice experimentů (viz Tab. 6). Změněné proměnné jsou zvýrazněny červeným fontem v zeleném poli. Pro identifikaci nejlepšího řešení ze zvolených experimentů byly sledovány zejména parametry výstupů simulačních testů, pak také taktu ve vteřinách, celkového průtoku v kusech a relativní změna celkového průtoku v kusech.

Tab. 6 Matice experimentů

Modifikovaná pracoviště:	Výchozí stav	Experiment č. 1	Experiment č. 2	Experiment č. 3	Experiment č. 4	Experiment č. 5	Experiment č. 6	Experiment č. 7	Experiment č. 8
Mezioperační zásoba před sváření	13 ks	13 ks	13 ks	13 ks	49 ks	13 ks	49 ks	49 ks	85 ks
Sváření	16 s	13,5 s	16 s	13,5 s	13,5 s	13,5 s	13,5 s	16 s	16 s
Mezioperační zásoba za sváření	30 ks	30 ks	30 ks	30 ks	30 ks	66 ks	66 ks	66 ks	66 ks
Mezioperační zásoba před šroubováním	24 ks	24 ks	24 ks	24 ks	24 ks	24 ks	24 ks	24 ks	60 ks
Šroubování	23,5 s	23,5 s	14,2 s	14,2 s	14,2 s	14,2 s	14,2 s	14,2 s	14,2 s
Mezioperační zásoba za šroubováním	9 ks	9 ks	9 ks	9 ks	9 ks	9 ks	9 ks	9 ks	47 ks
Technomatrix výsledková statistika:									
Průměrný takt (vteřin)	17,70	15,23	17,66	15,14	14,79	15,05	14,71	17,10	16,91
Celkový průtok/čas (ks)	34 098	39 624	34 159	39 856	40 790	40 088	41 010	35 295	35 688
Průtok/hod (ks)	203	236	203	237	243	239	244	210	212
Produktivita	62,2%	64,6%	63,6%	68,6%	45,4%	67,3%	45,0%	38,2%	27,3%
Čekání	37,5%	35,1%	36,1%	31,1%	54,4%	32,3%	54,8%	61,6%	72,6%
Seřízení	0,07%	0,08%	0,08%	0,09%	0,06%	0,1%	0,06%	0,05%	0,03%
Poucha	0,28%	0,28%	0,27%	0,25%	0,16%	0,2%	0,16%	0,16%	0,11%
Δ ks v %		16,21%	0,18%	16,89%	19,63%	17,57%	20,27%	3,51%	4,66%

Zdroj: (Vlastní zpracování)

Pomocí experimentů bylo zjištěno, že nejvýraznější změnu v objemu produkce bude dosaženo posílením úzkého místa, kterým lze dosáhnout zvýšení produkce až o 16,21 %.

Experiment č.2 potvrdil, že posílením místa, které není úzké, nedochází k výraznému zvýšení průtoku celého systému, a při nezměněné konfiguraci zbývajících parametrů tímto posílením může dojít ke zvýšení průtoku až o 0,18 %.

Simulací byl též proveden experiment č.4, č.5 a č.6, který měl za úkol prověřit Goldrattovu metodu DBR, tj. optimalizaci mezioperační zásoby. Tato metoda zvýšila objem produkce experimentu č. 2 o 4,48 %.

3.6 Návrh řešení

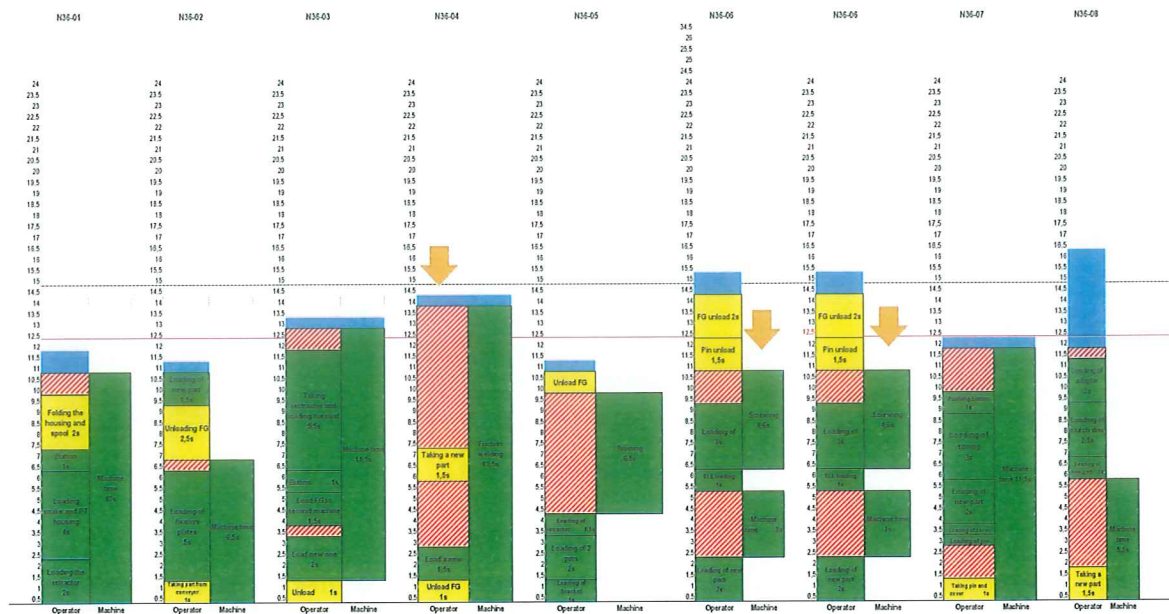
Analýzou matice experimentů byla stanovena nejlepší varianta v rámci experimentů – varianta č. 6 (viz Tab. 7), která představuje posílení dvou stanovišť - sváření a šroubování při současném navýšení zásobníků před i za úzkým místem.

Tab. 7 Matice experimentů - varianta č. 6 – nejlepší v rámci experimentů

Modifikovaná pracoviště:	Výchozí stav	Experiment č.1	Experiment č.2	Experiment č.3	Experiment č.4	Experiment č.5	Experiment č.6	Experiment č.7	Experiment č.8
Mezioperační zásoba před svářením	13 ks	13 ks	13 ks	13 ks	49 ks	13 ks	49 ks	49 ks	85 ks
Sváření	16 s	13,5 s	16 s	13,5 s	13,5 s	13,5 s	13,5 s	16 s	16 s
Mezioperační zásoba za svářením	30 ks	30 ks	30 ks	30 ks	30 ks	66 ks	66 ks	66 ks	66 ks
Mezioperační zásoba před šroubováním	24 ks	24 ks	24 ks	24 ks	24 ks	24 ks	24 ks	24 ks	60 ks
Šroubování	23,5 s	23,5 s	14,2 s	14,2 s	14,2 s	14,2 s	14,2 s	14,2 s	14,2 s
Mezioperační zásoba za šroubováním	9 ks	9 ks	9 ks	9 ks	9 ks	9 ks	9 ks	9 ks	47 ks
Technomatix výsledková statistika:									
Průměrný takt (vteřin)	17,70	15,23	17,66	15,14	14,79	15,05	14,71	17,10	16,91
Celkový průtok/čas (ks)	34 098	39 624	34 159	39 856	40 790	40 088	41 010	35 295	35 688
Průtok/hod (ks)	203	236	203	237	243	239	244	210	212
Produktivita	62,2%	64,6%	63,6%	68,6%	45,4%	67,3%	45,0%	38,2%	27,3%
Čekání	37,5%	35,1%	36,1%	31,1%	54,4%	32,3%	54,8%	61,6%	72,6%
Seřízení	0,07%	0,08%	0,08%	0,09%	0,06%	0,1%	0,06%	0,05%	0,03%
Porucha	0,28%	0,28%	0,27%	0,25%	0,16%	0,2%	0,16%	0,16%	0,11%
Δ ks v %		16,21%	0,18%	16,89%	19,63%	17,57%	20,27%	3,51%	4,66%

Zdroj: (Vlastní zpracování)

Tato varianta představuje zvýšení objemu produkce až o 20,27 % a zvýšení taktu z 17,70 vteřin až na hodnotu 14,71 vteřin. Obrázek 25 vizualizuje stav taktu linky po posílení obou míst.



Zdroj: (Vlastní zpracování)

Obr. 25 Odhad náměrů - experiment č. 6

Tato varianta byla v praxi konzultována a byla následně vyloučena pro specifickou technologii sváření. Prostoje, který představuje naplnění a vyprázdnění stroje, slouží k zároveň k ochlazení svářecí hlavy. Bez této technologické přestávky vzniká riziko vznícení pyrotechnické nálože. Posílení pracoviště by bylo možné za předpokladu, že by svářecí hlava byla vyměněna za jiný typ s kratší dobou chladnutí. Tato varianta ale představuje výraznou investici, a s ohledem na ekonomickou návratnost vložených prostředků, byla vyloučena.

Nicméně ani při této variantě by nemohlo být dosaženo cílového taktu 12 vteřin. Čistý strojní čas úzkého místa je i po posílení vyšší než požadovaný cíl. Navíc takt dále zvyšují prostoje, poruchy, seřízení a nekvalita, které v průměru představují zhoršení taktu o 1,21 sekundy. Z grafu časového snímku je patrné, že pro dosažení požadovaného taktu, by bylo potřeba snížit čas sváření na 10 vteřin a méně.

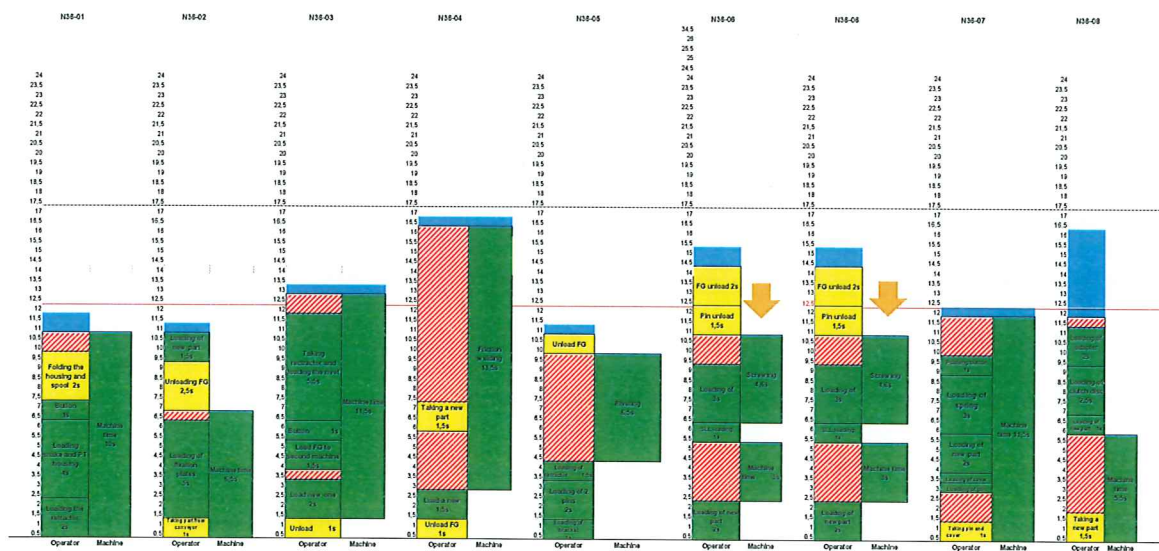
Po vyloučení možnosti posílení úzkého místa bylo díky matici experimentů identifikováno druhé nejlepší možné řešení – experiment č. 8 (viz Tab. 8). Varianta představuje posílení druhého nejpomalejšího pracoviště za současného navýšení celkem 4 mezioperačních zásobníků - před i za úzkým místem (sváření) a před i za pracovištěm šroubování.

Tab. 8 Matice experimentů 1- varianta č. 8 – 2. nejlepší v rámci experimentů

Modifikovaná pracoviště:	Výchozí stav	Experiment č.1	Experiment č.2	Experiment č.3	Experiment č.4	Experiment č.5	Experiment č.6	Experiment č.7	Experiment č.8
Mezioperační zásoba před svážením	13 ks	13 ks	13 ks	13 ks	49 ks	13 ks	49 ks	49 ks	85 ks
Svážení	16 s	13,5 s	16 s	13,5 s	13,5 s	13,5 s	13,5 s	16 s	16 s
Mezioperační zásoba za svážením	30 ks	30 ks	30 ks	30 ks	30 ks	66 ks	66 ks	66 ks	66 ks
Mezioperační zásoba před šroubováním	24 ks	24 ks	24 ks	24 ks	24 ks	24 ks	24 ks	24 ks	60 ks
Šroubování	23,5 s	23,5 s	14,2 s	14,2 s	14,2 s	14,2 s	14,2 s	14,2 s	14,2 s
Mezioperační zásoba za šroubováním	9 ks	9 ks	9 ks	9 ks	9 ks	9 ks	9 ks	9 ks	47 ks
Technomatix výsledková statistika:									
Průměrný takt (vteřin)	17,70	15,23	17,66	15,14	14,79	15,05	14,71	17,10	16,91
Celkový průtok/čas (ks)	34 098	39 624	34 159	39 856	40 790	40 088	41 010	35 295	35 688
Průtok/hod (ks)	203	236	203	237	243	239	244	210	212
Produktivita	62,2%	64,6%	63,6%	68,6%	45,4%	67,3%	45,0%	38,2%	27,3%
Čekání	37,5%	35,1%	36,1%	31,1%	54,4%	32,3%	54,8%	61,6%	72,6%
Seřizení	0,07%	0,08%	0,08%	0,09%	0,06%	0,1%	0,06%	0,05%	0,03%
Porucha	0,28%	0,28%	0,27%	0,25%	0,16%	0,2%	0,16%	0,16%	0,11%
Δ ks v %		16,21%	0,18%	16,89%	19,63%	17,57%	20,27%	3,51%	4,66%

Zdroj: (Vlastní zpracování)

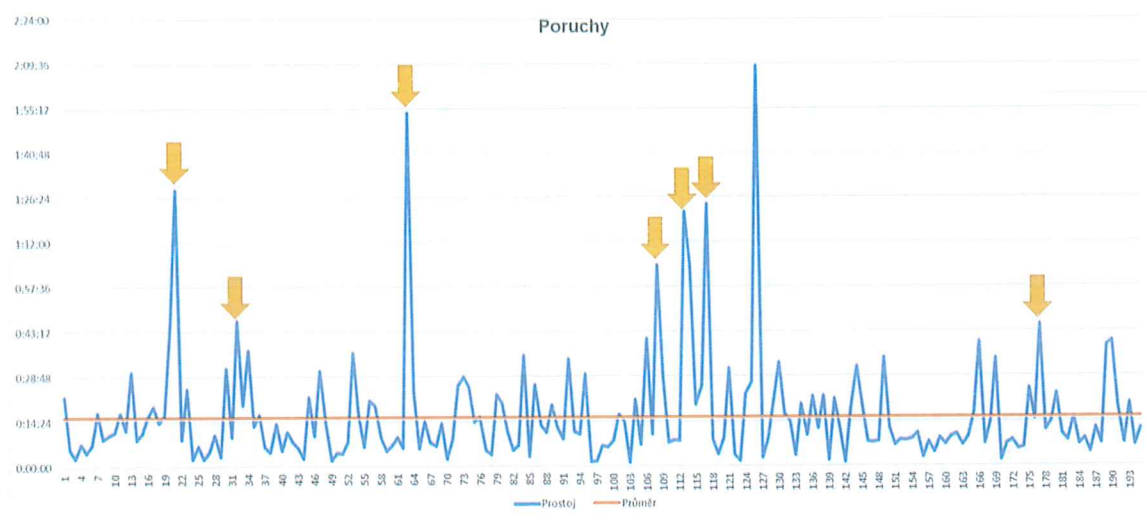
Tato varianta by představovala zlepšení taktu o 0,79 vteřiny a zvýšení průtoku o 1.590 kusů za dobu experimentu, které představují objem produkce jedné směny za 21 pracovních dní jednosměnného provozu. Obrázek 26 vizualizuje stav taktu linky po posílení pracoviště šroubování.



Zdroj: (Vlastní zpracování)

Obr. 26 Odhad náměrů - experiment č. 8

Neméně významným faktorem, ovlivňujícím výkonnost zařízení, jsou prostoje způsobené poruchou zařízení. Na obrázku 27 graf znázorňuje prostoje za poruchy na úzkém pracovišti a zvýrazňuje plýtvání.



Zdroj: (Vlastní zpracování)

Obr. 27 Lineární graf poruch – identifikace plýtvání (výchozí stav)

Tato plýtvání za prostoje zhoršují disponibilitu zařízení o 4,11 % (viz Tab. 9).

Tab. 9 Detail poruch úzkého místa – výchozí stav

Pracoviště	Popis pracoviště	MIN	Průměr	MAX	Počet (rok)	Součet (rok)	Počet (měsíc)	Součet (měsíc)	Disp. čas	MTTR
4	Frikční svařování	0:01:15	0:15:34	2:08:44	319	4969	27	414	-95,89%	0:15:34

Zdroj: (Vlastní zpracování)

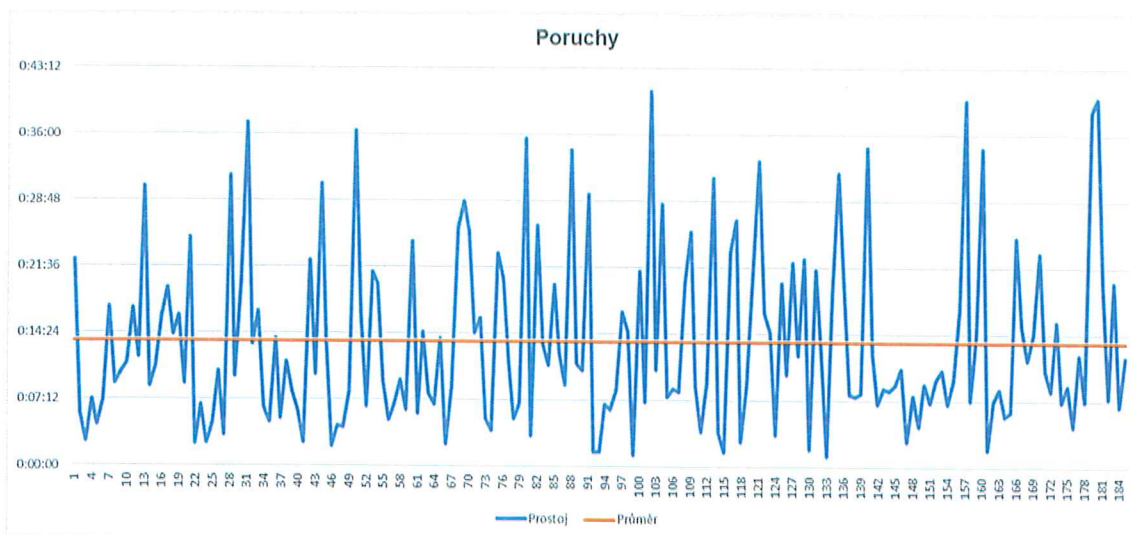
Odstraněním příčin prostojů s délkou trvání větší než 43 minut by došlo ke snížení průměrné délky oprav o téměř dvě minuty a zvýšení disponibility zařízení o 0,63 % (viz Tab. 10).

Tab. 10 Detail poruch úzkého místa – po odstranění plýtvání

Pracoviště	Popis pracoviště	MIN	Průměr	MAX	Počet (rok)	Součet (rok)	Počet (měsíc)	Součet (měsíc)	Disp. čas	MTTR
4	Frikční svařování	0:01:15	0:13:36	0:40:46	309	4205	26	350	-96,52%	0:13:36

Zdroj: (Vlastní zpracování)

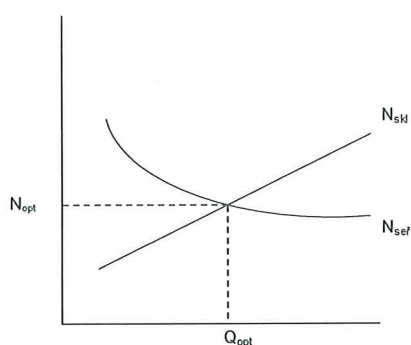
Výsledná křivka prostojů za poruchy (viz Obr. 28) vykazuje po úpravě menší variabilitu a znázorňuje novou nižší průměrnou dobu oprav.



Zdroj: (Vlastní zpracování)

Obr. 28 Lineární graf poruch - stav po eliminaci plýtvání

Další možnou optimalizaci může představovat úprava výrobní dávky. Časté přejíždění zhoršuje produktivitu celého zařízení, proto by bylo vhodné zároveň prověřit ekonomickou dávku při dané skladbě požadavků a zaměřit se na minimalizaci dopadu kusové předseriové výroby. K propočtu optimální výrobní dávky lze použít Harris-Wilsonův logistický model (viz. Obr. 29), který Keřkovský upravil pro výpočet optimální výrobní dávky následovně (Keřkovský a Valsa, 2012, str. 108):



$$Q_{opt} = \sqrt{\frac{2 * N_{seř} * s}{N_{skl}}} \quad (1)$$

$N_{seř}$ – variabilní náklady plynoucí ze seřizování

N_{skl} – variabilní náklady plynoucí z udržování zásob

S – spotřeba v kusech za jednotku času

Q_{opt} – optimální velikost výrobní dávky v kusech

Zdroj: (Keřkovský a Valsa, 2012, str. 108, vlastní zpracování)

Obr. 29 Graf průběhu nákladů dle Wilsonova modelu

3.7 Přínos provedené simulace

Hlavním přínosem provedené počítačové simulace bylo zjištění, jaká by mohla být výkonnost celého systému, pakliže by došlo ke zvýšení mezioperační zásoby před a za úzkým místem, která představuje minimální náklady implementace změny.

Vedlejší přínos provedené simulace tkví v propočtu výkonnosti linky vyjádřený v kusech v případě posílení dvou pracovišť. Výsledková analýza může sloužit jako podklad ke kalkulaci návratnosti investice do posílení systému, pakliže by se firma rozhodla pro investici do zařízení.

Závěr

V teoretické části byla představena teoretická východiska, která jsou používána ve zkoumaném podniku, a která byla použita pro analýzu dat a konstrukci modelu.

Praktická část byla rozdělena na analýzu výchozího stavu montážní linky a na konstrukci simulačního modelu. Analýza výchozího stavu zahrnovala především časové náměry jednotlivých pracovišť, a dále pak analýzu dalších faktorů, které ovlivňují takt linky, jako např. opravy, seřízení, nekvalita a struktura výrobního plánu, která úzce souvisí se seřízením (přesmyky). Na základě výsledků analýz byl sestaven pojmový model, který posloužil jako základ pro simulační model v programu Technomatix Plant Simulation. V simulačním modelu bylo provedeno několik experimentů, kdy byly modifikovány parametry dvou nejméně výkonných pracovišť a jejich zásobníků rozpracované výroby. Z těchto experimentů byly vybrány a následně zhodnoceny dva experimenty, které představovaly nejlepší možné řešení z provedených experimentů

Z hlediska vytyčených cílů výsledky práce nesplnily očekávání a nepřinesly řešení zkoumaného systému pro dosažení požadovaného taktu 12 vteřin. Navržení simulačního modelu a provedené experimenty však přinesly několik dílčích cílů – optimalizace objemu mezioperační zásoby, která by vedla ke zvýšení průtoku o 4,48 % za současné minimální investice. A dále odhad výsledku optimalizace pracoviště šroubování převodovky, které představuje druhé nejužší místo systému.

Predikce by byla prováděna na základě jak výrobní sekvence, tak stavu zásob v místech spotřeby.

Data získaná z výsledků analýz a simulačních testů mohou být dále prakticky využita pro kalkulace návratnosti případných investic a pro vizualizaci potenciálů zlepšení systému, jako např. prostojů a nekvality, které významně ovlivňují takt linky.

Seznam literatury

CIGÁNEKOVÁ, Monika. 2007. www.ipaczech.cz. *IPA Czech, s.r.o.* [Online] IPA Czech, s.r.o., 31. 1 2007. [Citace: 18. 11 2019.] <https://www.ipaczech.cz/cz/ipa-slovník/milk-run>.

GOLDRATT, Eliyahu M. , Jeff COX. 2001. *Cíl, 2. přepracované vydání.* [překl.] Libuše a Luboš Trávníčkovi. Praha : Interquality, spol. s r.o., 2001. str. 335. ISBN 80-902770-2-0.

GOLDRATT, Eliyahu M. 2017. Basics of Theory of Constraints. www.youtube.com. [Online] 2019 YouTube, LLC, 7. 6 2017. <https://www.youtube.com/watch?v=5HStf-XbsSo>.

KAVAN, Michal. 2002. *Výrobní a provozní management., 1. vydání.* Praha : Grada Publishing, spol. s r.o., 2002. str. 424. ISBN 80-247-0199-5.

KEŘKOVSKÝ, Miloslav a Ondřej VALSA. 2012. *Moderní přístupy k řízení výroby. 3. doplněné vydání.* Praha : C.H.Beck, 2012. str. 176. ISBN 978-80-7179-319-9.

KOŠTURIÁK, Ján a Zbyněk FROLÍK. 2006. *Štíhlý a inovativní podnik.* Praha : Alfa Publishing, 2006. ISBN 80-868-5138-9.

MAŠÍN, Ivan a Milan VYTLAČIL. 1996. *Cesty k vyšší produktivitě: strategie založená na průmyslovém inženýrství. 1. vydání.* Liberec : Institut průmyslového inženýrství, 1996. str. 254. ISBN 80-902-2350-8.

MAŠÍN, Ivan. 2000. *Nové cesty k vyšší produktivitě: metody průmyslového inženýrství. 1. vydání.* Liberec : Institut průmyslového inženýrství, 2000. ISBN 80-902-2356-7.

NENADÁL, Jaroslav a David VYKYDAL. 2012. *Systémy managementu jakosti.* Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2012. str. 138. ISBN 978-80-248-2586-1.

Report, ZF Annual. 2019. ZF Annual Report. zf.com. [Online] ZF Friedrichshafen AG, 3 4 2019. [Cited: 20 5 2019.] https://annualreport.zf.com/site/annualreport/en/annual_report.html.

ROSENTHAL, Mark. 2002. The Essence of Jidoka. *SME Lean Directions Newsletter.* [Online] Society of Manufacturing Engineers, 2002 <http://www.sme.org/cgi-bin/get-newsletter.pl?LEAN&20021209&1&>.

Siemens. 2019. www.plm.automation.siemens.com. *Siemens.* [Online] Siemens Industry Software Inc., 2019 <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/manufacturing-planning/plant-simulation-throughput-optimization.html>.

SUTHERLAND, Joel a Bob BENNETT. 2007. The seven deadly wastes of logistics: applying Toyota Production System principles to create logistics value. <https://scholar.google.com>. [Online] 08 2007. [Cited: 11 14, 2019.] https://scholar.google.com/scholar?hl=cs&as_sdt=0,5&qsp=4&q=taiichi+ohno+7+wastes&qst=ib.701:40-50.

TOMEK, Gustav a Věra VÁVROVÁ. 2000. *Řízení výroby.: 2. rozšířené a doplněné vydání.* Praha : Grada Publishing, spol. s r.o., 2000. str. 412. ISBN 80-7169-955-1.

Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků

Obr. 1	Struktura skupiny ZF.....	20
Obr. 2	Technologické portfolio skupiny ZF.....	21
Obr. 3	Globální působení divize bezpečnostních pásů.....	22
Obr.4	Model navijáku bezpečnostního pásu.....	57
Obr. 5	Layout montážní linky.....	25
Obr.6	Náměry pracovišť č. 1, 2 a 3.....	27
Obr. 7	Náměry pracovišť č. 4, 5 a 9... ..	28
Obr. 8	Náměry pracovišť 6, 7 a 8.....	30
Obr. 9	Graf výrobních požadavků	31
Obr. 10	Paretův diagram výrobních požadavků... ..	32
Obr. 11	Paretův diagram nekvality v Kč... ..	32
Obr. 12	Paretův diagram nekvality v ks.....	33
Obr. 13	Koláčový graf nekvality v ks.....	33
Obr. 14	Lineární graf přejiždění.....	34
Obr. 15	Lineární graf poruch -sváření 1.....	35
Obr. 16	Chronometráž pracovišť... ..	36
Obr. 17	Krabicový graf prostožů sváření před odstraněním odlehlých hodnot... ..	37
Obr. 18	Krabicový graf prostožů sváření po odstranění odlehlých hodnot.....	38
Obr. 19	Simulační model v Plant Simulation... ..	42
Obr. 20	Nastavení taktu stroje.....	43
Obr. 21	Nastavení prostožů.....	43
Obr. 22	Nastavení výrobního plánu.....	43
Obr. 23	Tabulka tPřeseřízení	44
Obr. 24	Výsledková statistika výchozího stavu modelu.....	44

Obr. 25 Odhad náměrů - experiment č. 6.....	47
Obr. 26 Odhad náměrů - experiment č. 8.....	48
Obr. 27 Lineární graf poruch – identifikace plýtvání (výchozí stav).....	49
Obr. 28 Lineární graf poruch - stav po eliminaci plýtvání.....	50
Obr. 29 Graf průběhu nákladů dle Wilsonova modelu.....	50

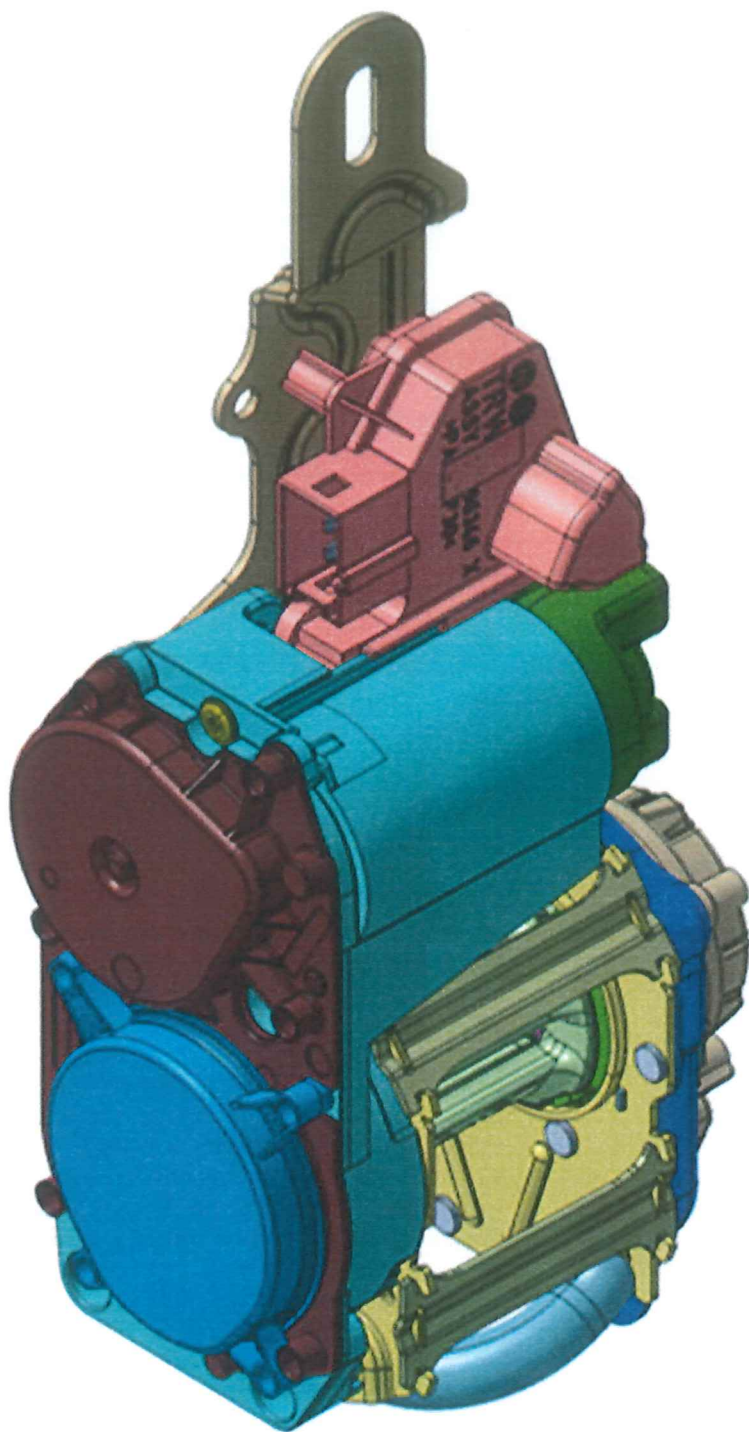
Seznam tabulek

Tab. 1 Nekvalita sváření.....	34
Tab. 2 Prostoje pracovišť - poruchy.....	35
Tab. 3 Výrobní plán – zadání pro Plant Simulation.....	40
Tab. 4 Prostoje pracovišť - zadání pro Plant Simulation.....	41
Tab. 5 Verifikace simulačního modelu.....	45
Tab. 6 Matice experimentů	45
Tab. 7 Matice experimentů - varianta č. 6 – nejlepší v rámci experimentů.....	46
Tab. 8 Matice experimentů 1- varianta č. 8 – 2. nejlepší v rámci experimentů	48
Tab. 9 Detail poruch úzkého místa – výchozí stav... ..	49
Tab. 10 Detail poruch úzkého místa – po odstranění plýtvání.....	49

Seznam příloh

Příloha 1 Model navijáku bezpečnostního pásu.....	56
---	----

Příloha 1 Model navijáku bezpečnostního pásu



Zdroj: (ZF Passive Safety Czech, s.r.o. – podnikový informační systém)

Obr.4 Model navijáku bezpečnostního pásu

ANOTAČNÍ ZÁZNAM

AUTOR	Šárka Suchánková		
STUDIJNÍ PROGRAM/OBOR/SPECIALIZACE	6208R186 Podniková ekonomika a řízení provozu, logistiky a kvality		
NÁZEV PRÁCE	ANALÝZA VÝROBNÍ KAPACITY MONTÁŽNÍ LINKY		
VEDOUČÍ PRÁCE	doc. Ing. Jan Fábry, Ph.D.		
KATEDRA	KRVLK - Katedra řízení výroby, logistiky a kvality	ROK ODEVZDÁNÍ	2019
POČET STRAN	57		
POČET OBRÁZKŮ	29		
POČET TABULEK	10		
POČET PŘÍLOH	1		
STRUČNÝ POPIS	<p>Tato práce se zabývá problematikou balancování výrobních linek a jejím cílem je nastudovat problematiku štíhlé výroby, popsat důležité metody průmyslového inženýrství, které zeštíhlování výroby napomáhají. Dále je věnována značná pozornost metodám na měření času operací. V praktické části je na základě analýzy proměnných navržen pojmový model, který slouží k sestavení simulačního modelu v programu Technomatix Plant Simulation a k realizaci experimentů. Na základě výsledkových analýz provedených experimentů je vypočítána jejich průměrná procentuální odchylka a navrženo nejlepší možné řešení v rámci provedených experimentů.</p>		
KLÍČOVÁ SLOVA	Analýza, výroba, stroj, proces, zlepšení, model, Plant Simulation, taktování linky		

ANNOTATION

AUTHOR	Šárka Suchánková		
FIELD	6208R186 Business Administration and Operations, Logistics and Quality Management		
THESIS TITLE	Capacity analysis of an assembly line		
SUPERVISOR	doc. Ing. Jan Fábry, Ph.D.		
DEPARTMENT	KRVLK - Department of Production, Logistics and Quality Management	YEAR	2019
NUMBER OF PAGES	57		
NUMBER OF PICTURES	29		
NUMBER OF TABLES	10		
NUMBER OF APPENDICES	1		
SUMMARY	<p>This thesis focuses on production lines balancingis and a technological arrangement of machines and workplaces in production. The aim of this thesis is to evaluate the change in the technological arrangement of assembly line of retractor in ZF Passive Safety Czech s.r.o.</p> <p>The theoretical part describes the basic theory of the production process, the theory of typology of the production processes according to various criteria, and the basic types of machinery and workplaces deployment.</p> <p>The practical part analyzes original statusof the line and then creates conceptual model and subsequently simulation model in Technomatix Plant Simulation and compares results of experiments made. The comparison was made on the basis of the occurrence of production faults, production plan and work times of the machines.</p>		
KEY WORDS	Analysis, production, machine, process, improvement, model, Plant Simulation, line balancing		

