

Analýza chyb a nedostatků v náběhové fázi montážní linky

Adam Porteš

Bakalářská práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta managementu a ekonomiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta managementu a ekonomiky
Ústav průmyslového inženýrství a informačních systémů

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Adam Porteš
Osobní číslo: M210458
Studijní program: B0413P050013 Průmyslové inženýrství
Forma studia: Prezenční
Téma práce: Analýza chyb a nedostatků v náběhové fázi montážní linky

Zásady pro vypracování

Úvod

Definujte cíle práce a použité metody zpracování práce.

I. Teoretická část

- Zpracujte literární rešerši v oblasti celkové efektivity zařízení, FMEA analýzy a štihlé výroby.

II. Praktická část

- Provedte analýzu současného stavu ukazatele CEZ na montážní lince.
- Vytvořte FMEA analýzu a zhodnoťte rizika.
- Na základě výsledků analýzy navrhnete nápravná opatření vedoucí ke zlepšení současného stavu.
- Zhodnoťte navrhovaná řešení.

Závěr

Rozsah bakalářské práce: **cca 40 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

BRAU, Sebastian. *Lean manufacturing 4.0: The technological evolution of lean: Practical guide on the correct use of technology in lean projects Kanban, 5S, TPM, Kaizen, VSM, 6Sigma, SMED OEE, Hoshin Kanri, Gemba, JIT, TPS, PDCA*. Boca Raton: American Lean SD LLC, 2016. ISBN 978-15-393-2294-8.
PASCAL, Dennis. *Lean production simplified: A plain-language guide to the world's most powerful production system*, Boca Raton: London; New York: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2016. ISBN 978-1-4987-0887-6.
PATERMANN, Jiří. *Lean dílenské řízení: Je čas změnit vaši dílnu: Začneme teď!*. Praha: Grada, 2022. ISBN 978-80-271-3534-9.
USTUNDAG, Alp a CEVIKAN, Emre. *Industry 4.0: Managing the digital transformation*. Springer series in advanced manufacturing, Cham, Switzerland: Springer, 2018. ISBN 978-3-319-57869-9.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lucie Hrbáčková, Ph.D.**
Ústav průmyslového inženýrství a informačních systémů

Datum zadání bakalářské práce: **10. února 2025**
Termín odevzdání bakalářské práce: **23. května 2025**

L.S.

doc. Ing. Michal Pilík, Ph.D.
děkan

prof. Ing. Felicita Chromjaková, Ph.D.
garant studijního programu

Ve Zlíně dne 10. února 2025

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení bakalářské práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – bakalářskou práci – nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá; neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že

- jsem na bakalářské práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis autor

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá analýzou chyb a nedostatků vznikajících v náběhové fázi montážní linky ve společnosti HELLA AUTOTECHNIK NOVA s.r.o. Náběhová fáze ve výrobní firmě je důležitým úsekem, kdy se testuje a optimalizuje výrobní proces před přechodem do sériové výroby. Cílem práce je identifikovat hlavní příčiny výrobních prostojů, zhodnotit efektivitu výrobního procesu během výrobních testů pomocí ukazatele Overall Equipment Effectiveness (OEE) a využít metodu Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) k prevenci potenciálních výrobních chyb.

Na základě sběru a vyhodnocení dat jsou identifikována hlavní problematická místa ovlivňující výkon linky, zejména technické prostoje a nesprávné nastavení výrobních parametrů. Výsledky mohou přispět k efektivnějšímu řízení náběhové fáze a zajištění vyšší kvality výroby.

Klíčová slova: OEE, FMEA, náběhová fáze, montážní linka

ABSTRACT

This thesis focuses on the analysis of errors and shortcomings emerging in the start-up phase of the assembly line at HELLA AUTOTECHNIK NOVA s.r.o. The start-up phase in a manufacturing company is an important stage where the production process is tested and optimized before moving into serial production. The objective of this thesis is to identify the main causes of production downtime, to evaluate the efficiency of the production process during production tests using the Overall Equipment Effectiveness (OEE) indicator and to use the Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) method to prevent potential production errors.

Based on the data collection and evaluation, the main bottlenecks affecting the performance of the line are identified, in particular technical downtime and incorrect setting of production parameters. The results can contribute to more efficient management of the ramp-up phase and ensure higher quality production.

Keywords: OEE, FMEA, start-up phase, assembly line

Poděkování

Rád bych vyjádřil své upřímné poděkování vedoucí práce Ing. Lucii Hrbáčkové, Ph.D. za její odborné vedení, vstřícnost a trpělivost. Velmi si cením jejího času, cenných rad a konstruktivní kritiky, které mi pomohly při zpracování této práce

Velké díky patří také mé rodině za jejich neustálou podporu, pochopení a trpělivost, kterou se mnou mají během celého mého studia.

V neposlední řadě chci poděkovat svým přátelům, kteří mi byli oporou nejen během psaní této práce, ale i v celém studijním období. Jejich podpora a povzbuzení pro mě znamenají opravdu mnoho. Děkuji všem, kteří mě na této cestě doprovázeli a pomáhali mi ji zvládnout.

OBSAH

ÚVOD.....	13
CÍLE A METODY ZPRACOVÁNÍ PRÁCE.....	14
I TEORETICKÁ ČÁST.....	15
1 ŠTÍHLÝ PODNIK	16
1.1 VÝVOJ ŠTÍHLÉ VÝROBY	16
1.2 KLÍČOVÉ PRINCIPY A SYSTÉMY LEANU	16
1.2.1 KAIZEN	17
1.2.2 CYKLUS PDCA	17
1.2.3 SYSTÉM KANBAN	18
1.2.4 POKA-YOKE: OCHRANA PROTI CHYBÁM VE VÝROBĚ	19
1.2.5 METODIKA 5S	20
2 FMEA A RISK MANAGEMENT	22
2.1 CHYBA	22
2.2 KONCEPT FMEA	22
2.3 DESIGNOVÁ FMEA	22
2.4 PROCESNÍ FMEA	23
2.5 RPN ČÍSLO	23
2.6 IMPLEMENTACE FMEA ANALÝZY	24
2.7 RISK MANAGEMENT	24
3 PLÝTVÁNÍ.....	25
3.1 MUDA: PLÝTVÁNÍ	25
3.1.1 NADPRODUKCE	25
3.1.2 ČEKÁNÍ	26
3.1.3 ZBYTEČNÉ POHYBY	26
3.1.4 NADMĚRNÁ KOMPLEXITA.....	26
3.1.5 NADBYTEČNÉ ZÁSoby	26
3.1.6 TRANSPORT	26
3.1.7 VADY	27
3.1.8 ZNALOST	27
3.2 MURI: PŘETÍŽENÍ.....	27
3.3 MURA: KONZISTENCE.....	27
4 OEE.....	29
4.1 KPI.....	29
4.2 VÝPOČET DÍLČÍCH SLOŽEK OEE.....	29

4.2.1	VYUŽITÍ.....	29
4.2.2	VÝKON.....	30
4.2.3	KVALITA	30
5	STANDARDIZACE	31
5.1	ISO 9001	31
5.2	KUSOVNÍK	31
5.3	PŘÍNOSY STANDARDIZACE	31
5.4	STANDARDSY PRO POSTUP PRÁCE OPERÁTORA	32
6	VIZUALIZACE	33
6.1	VIZUÁLNÍ ZNAČENÍ.....	33
6.2	VIRTUÁLNÍ SIMULACE	33
7	DIGITALIZACE.....	34
7.1	PRŮMYSL 4.0 A INTELIGENTNÍ VÝROBA	34
7.2	DIGITALIZACE A LEAN	34
7.3	MANUFACTURING EXECUTION SYSTEMS (MES).....	35
7.4	PLÁNOVÁNÍ PODNIKOVÝCH PROCESŮ	36
7.5	INTERNET OF THINGS (IOT).....	36
7.6	AUTOMATIZACE A ROBOTIKA	37
II	PRAKTICKÁ ČÁST	38
8	PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI.....	39
8.1	PŘEDSTAVENÍ ANALYZOVANÉHO PRACOVÍŠTĚ	40
8.1.1	VÝROBNÍ PORTFOLIO LINKY	41
8.2	POPIS ANALYZOVANÉHO PRODUKTU	41
8.3	POPIS PROCESU.....	43
9	ANALÝZA UKAZATELE OEE NA LINCE	46
9.1	SBĚR DAT PRO VÝPOČET CEZ.....	46
9.2	ANALÝZA VÝROBNÍCH TESTŮ	47
9.3	POPIS METRIK	49
9.4	ANALÝZA PROSTOJŮ NA LINCE	52
9.5	ZHODNOCENÍ VÝROBNÍCH TESTŮ	56
10	FMEA ANALÝZA	57
10.1	HODNOCENÍ RIZIK V PROCESU	59
10.1.1	FA080 MONTÁŽ C-PER.....	59
10.1.2	FA030 MONTÁŽ PCBA	60
10.1.3	FA010 ZAKLÁDÁNÍ CHLADIČE.....	62
10.1.4	FA050 ZAKLÁDÁNÍ OPTICKÝCH SKUPIN	63

10.2	ZHODNOCENÍ FMEA ANALÝZY	65
11	SHRNUTÍ ANALYTICKÉ ČÁSTI.....	66
11.1	NÁVRHY NA ZLEPŠENÍ LINKY	67
ZÁVĚR	69	
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	71	
SEZNAM OBRÁZKŮ	74	
SEZNAM TABULEK.....	75	
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	76	
SEZNAM PŘÍLOH.....	77	

ÚVOD

Efektivita výrobních procesů hraje klíčovou roli v současném průmyslovém prostředí, kde neustále roste tlak na optimalizaci nákladů a zkracování výrobních cyklů. Konkurence v průmyslovém sektoru se neustále zvyšuje a firmy jsou nuceny hledat nové způsoby, jak dosáhnout vyšší produktivity při současném snížení nákladů. K tomu přispívají moderní technologie, automatizace a digitalizace, které umožňují detailní monitoring výrobních procesů a rychlejší identifikaci problémů.

Náběhová fáze výrobního procesu je obdobím, kdy dochází k zavádění a odladění nových technologií, procesů a výrobních metod do praxe. Je to fáze, ve které se testuje funkčnost výrobních zařízení, optimalizují pracovní postupy a odhalují možné chyby, které by mohly negativně ovlivnit následnou sériovou výrobu. Hlavním cílem této fáze je identifikovat hlavní chyby a příčiny, aby mohla sériová výroba probíhat plynuleji. Jakákoli chyba nebo nedostatek v této fázi může vést k výrobním zpožděním, zvýšeným nákladům a snížené kvalitě výsledného produktu.

Tato bakalářská práce se zaměřuje na podrobnou analýzu chyb a nedostatků vznikajících během náběhové fáze montážní linky ve společnosti HELLA AUTOTECHNIK NOVA s.r.o. Hlavním cílem této práce je nejen identifikovat hlavní faktory, které ovlivňují efektivitu této kritické fáze, ale také analyzovat konkrétní příčiny výrobních prostojů a dalších komplikací. Analýza se soustředí na různé aspekty výrobního procesu, včetně využití moderních metod sledování a hodnocení efektivitu výroby.

V práci je využita metrika Overall Equipment Effectiveness (OEE), která umožňuje detailní sledování a vyhodnocení výrobních testů a poskytuje metriky o využití výrobních zařízení, jejich dostupnosti a efektivitě. Tato metrika pomáhá identifikovat slabá místa ve výrobním procesu. Kromě toho práce obsahuje metodu Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), která slouží k systematickému vyhodnocení rizik spojených s náběhovou fází. Tato metoda umožnila předvídat možné chyby a jejich dopady na výrobu a navrhnout preventivní opatření k jejich minimalizaci.

CÍLE A METODY ZPRACOVÁNÍ PRÁCE

Hlavním cílem této práce je identifikace a analýza klíčových rizik během náběhové fáze výroby ve vybrané společnosti s využitím metod OEE (Overall Equipment Effectiveness) a FMEA (Failure Modes and Effects Analysis). Na základě těchto analýz bude navržena opatření ke snížení hlavních prostojů a zvýšení efektivity výroby.

V analytické části byla využita analýza prostojů pomocí kontingenční tabulky, pro zhodnocení časově nejvýznamnějších prostojů. Poté bylo analyzováno OEE jakožto hlavní výrobní metrika a zhodnoceny jeho jednotlivé části. Pro měření výroby byly použity metody chronometráže a snímkování. Práce obsahuje FMEA analýzu, která zhodnocuje potencionální rizika. Cílem FMEA analýzy bylo identifikovat hlavní rizika, porovnat je vůči datům ze sledování OEE a prostojů. Následně jsou vyhodnocena hlavní rizika pro budoucí chod linky.

Pro detailnější vyhodnocení efektivity výroby byl využit MES systém, který umožnil přesné sledování prostojů na lince. Kromě toho jsou provedena měření procesních časů, která pomohla identifikovat úzká místa a optimalizovat výrobní operace. Na základě výsledků analýz jsou stanovena opatření ke snížení identifikovaných prostojů a optimalizaci procesů. Doporučená opatření vychází z principů neustálého zlepšování a jsou zaměřena na eliminaci hlavních zdrojů ztrát.

I TEORETICKÁ ČÁST

1 ŠTÍHLÝ PODNIK

1.1 Vývoj štíhlé výroby

Lean je filozofie, která prosazuje kontinuální zlepšování a odstraňování plýtvání veškerého druhu. Mnoho nástrojů, které používáme v průmyslových firmách pochází od firmy Toyota production. Při podrobnějším zkoumání systému můžeme také najít praktiky této filozofie ve firmě Ford, pod vedením jejího legendárního zakladatele, který byl geniálním manažerem a inovátorem v oblasti automotive. První montážní linka v automotive je ovšem ještě starší než firma Ford. Ta vznikla roku 1901 ve firmě Ransom Olds. Ford se ovšem zasloužil o zefektivnění celého procesu. Celková montáž auta byla zkrácena na 93 minut. Takt linky byl nastaven na 6 minut. (Tarantino, 2022)

Velký vliv v oblasti automotive má také W.E. Deming. Podílel se na zefektivnění toků ve firmě a přispěl k japonskému poválečnému rozkvětu v průmyslu. Je autorem PDCA cyklu, a kromě svého působení v Toyotě pracoval jako konzultant ve společnostech jako Ford, Sony, nebo Xerox. (Deming the man, © 2025)

Inženýři z Toyoty, kteří byli na návštěvě v USA v 50. letech, byli ohromeni systémem obchodu Piggly Wiggly, který používal metodu minimalizace skladových prostor. To bylo pro Japonce inspirací a vznikla metodika JIT, jejímiž autory byly Sakichi Toyoda se svým synem Kiichirou a hlavní inženýr Taiichi Ohno. JIT je systém, který se snaží eliminovat meziskladování a zefektivnit výrobní proces. Prvně nebyl systém pozitivně přijímán. V Japonsku byla populární opačná metoda Just in case, která požaduje vyrábět dle potřeby zákazníka a zavádí systém velkých skladovacích ploch. V roce 1955 Ohno přišel se systémem, který se zaměřoval na eliminaci plýtvání. Nazval ho ECRS (eliminate, combine, rearrange, and simplify). (Tarantino, 2022)

1.2 Klíčové principy a systémy leanu

Štíhlý podnik není ovšem jen o nástrojích. Jde především o vytvoření podniku, který má nastavené lean systémy. Lean je především o systémech, a ne o nástrojích. To je časté nedorozumění. Štíhlý podnik také není bezporuchový soubor systémů. Lean filozofie nabízí samozřejmě velké množství nástrojů, záleží ovšem na správném nastavení kdy, jaký nástroj využít. Je potřeba porozumět konceptům štíhlosti, hodnotícím prvek, měření výkonnosti, který umožní měřit dosažené výsledky a poté zvolit patřičný postup. (Artzberger, 2024)

1.2.1 Kaizen

Neustálé zlepšování je základním principem štihlé metodologie. Původ samotné filozofie je zakořeněn již v samotných principech buddhismu, konfucianismu a taoismu. Výskyt této filozofie v moderním prostředí je sporný. Někteří autoři ho připisují Demingovi, jiní zase manažerům Toyota production. (Suárez-Barraza, 2023)

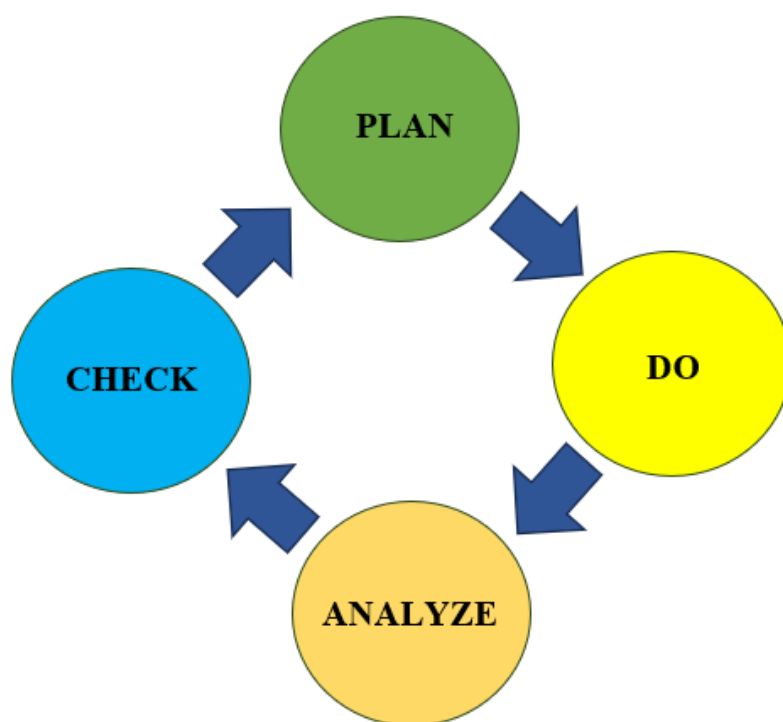
Ve oblasti firemního prostředí lze Kaizen definovat jako kontinuální činnost, kde se zaměstnanci podílí na zlepšení, které přispívá pro dosažení podnikových cílů. Zaměstnanci slouží jako další zdroj pro zlepšení firemních procesů. Podporuje se proto filozofie pro řadové zaměstnance pracovat rukama, ale přemýšlet hlavou. (Suárez-Barraza, 2023)

Lean není konečný stav, je to neustálá cesta sebezdokonalování. Nic v leanu není statické a nehybné. Je to tvůrčí proces, kde se na každém kroku zapojuje každý zaměstnanec do pozorování, vyhodnocování, zvažování alternativních řešení, měření výsledků a zavádění nových procesů. Kombinace nástrojů a jejich použití sice tvoří lean systém, ale bez implementace této filozofie nemůže lean fungovat. (Artzberger, 2024)

1.2.2 Cyklus PDCA

Cyklus PDCA, který má celkem 4 fáze, je základním konceptem v procesním inženýrství a štihlé výrobě pro řízení neustálého zlepšování. Jedná se o čtyřkrokovou metodu, která umožňuje organizacím systematicky řešit problémy. (Suárez-Barraza, 2023)

První fáze plánovat neznamena pouze naplánovat činnosti, které mají být zrealizovány, ale také definovat rozsah projektu a stanovit komunikační tok projektu. Důležité je také predikovat budoucí problémy a přesně definovat požadavky zákazníků. Druhá fáze Do zahrnuje samotnou realizaci. Následující fáze slouží jako kontrola předešlých kroků. Poslední fáze je pro udržování současného stavu, pokud funguje dobře. Hledat zlepšení a standardizovat procesy. (García-Alcaraz, Oropesa-Vento a Maldonado-Macías, 2017)



Obrázek 1 PDCA cyklus

(zdroj: Brau, 2016)

1.2.3 Systém Kanban

Japonské slovo kanban lze přeložit doslovně jako vývěsní tabule. Původ této metodiky je opět v 50. letech v Japonsku a autorem je Taiichi Ohno. Systém byl vyvinut pro aplikaci metodiky JIT. Přispívá tedy ke snížení skladování ve výrobě a tvorby meziskladů. (Gross a McInnis, 2003)

Rozvrh podle kanban tabule nahrazuje tradiční denní, nebo týdenní plány výroby. Kanban nenahrazuje materiálové plánování, ale spíše přebírá informace z plánování a používá je k vytvoření kanbanu. Vznikají tedy lépe organizované logistické toky, které jsou přizpůsobeny současným potřebám. (Gross a McInnis, 2003)

Kanban přináší postupné evoluční změny do procesu. Náhlé změny mohou sice na první pohled vypadat efektivněji, ale ovšem mají větší riziko selhání. Kanban právě proto podporuje menší postupné změny v systému. (Altman, 2017)

Podle Pascala (2016) může mít kanban v praktické aplikaci mnoho forem:

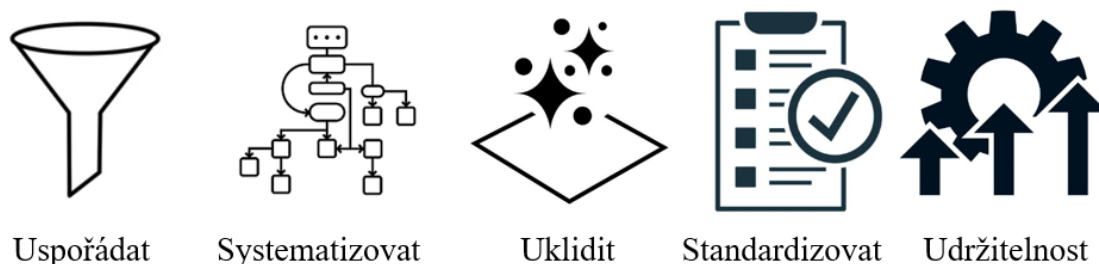
- Volné místo na výrobní ploše, které nám naznačuje, že někdo stáhl výrobek a my musíme tuto mezeru zaplnit.

- Linka s dopravníkem nebo skladovací regál. Když zásoby klesnou pod úroveň, tak se vyrobí náhradní díly.
- Otevřený prostor na dopravním vozíku. Vyrábíme tolik dílů, kolik jich vozík pojme.
- Prázdný zásobník s prostorem pro potřebný počet dílů.
- Elektronický signál z koncového spínače do automatu, který dává stroji pokyn, aby začal vyrábět díly, dokud nebude uspokojen požadavek zákazníka.
- Kontrolka na desce vozíku.
- Prostor na vozíku s díly.

1.2.4 Poka-Yoke: Ochrana proti chybám ve výrobě

V 60. letech vznikla v Toyota Production System technika Poka-Yoke, jejímž autorem je Shigeo Shingo. Doslovně přeloženo poka znamená vyhnout se a yokeru je chyba. Ochrana před chybami je hlavní myšlenkou samotné techniky. Cílem je vytvořit právě takový proces, kde není možnost chybu provést a odhalit chybu ještě předtím, než je způsobena. Metodika by měla být brána najevo už ve fázi návrhu projektu. (García-Alcaraz, Oropesa-Vento a Maldonado-Macías 2017)

Tento přístup prakticky tvrdí, že je nemožné se 100 % vyhnout lidským chybám. Lidským chybám se ovšem dá zamezit skrz chytré designové řešení. Zaměřuje se na eliminaci chyb ještě před jejím vznikem. Poka yoke může mít mnoho podob, ať už se jedná o využití různých barev pro vizualizaci až po sofistikované konstrukční řešení. V oblasti automotive je právě tento přístup často používán. Výrobní linky jsou vybaveny čidly a kamerami, které hned mohou odhalit nepřesnost v procesu a upozornit na ni operátory. (Wolniak, 2024)



Obrázek 3 Části filozofie 5S

(zdroj: vlastní)

1.2.5 Metodika 5S

Seiri (Uspořádání): První krok, známý jako uspořádání, se zaměřuje na identifikaci a potažmo odstranění nepotřebných položek, nástrojů nebo materiálů. Tento proces pomáhá zefektivnit operace a eliminuje překážky, které by mohly bránit produktivitě a bezpečnosti. (Pascal, 2016)

Samotná implementace tohoto kroku spočívá v rozdělení předmětů do tří kategorií. Podle Bauera (2012) je tato metodika obohacena o nalepování kartiček na předměty. Tyto kartičky dělíme na předměty nepotřebné a zbytečné, předměty využívané příležitostně a předměty nezbytné pro výkon práce.

Seiton (Systematizace): Fáze systematizace zahrnuje uspořádání nezbytných položek, nástrojů a zařízení systematicky a efektivně. Veškeré nástroje a materiály mají být dostupné tak, aby se s nimi dalo jednoduše a rychle operovat. Proto je důležité identifikovat nejoptimálnější místo pro každý předmět a uzpůsobit tomu samotný proces. (Pascal, 2016)

Seiso (Uklizenost): Uklizenost zdůrazňuje význam čistoty a pravidelné údržby v pracovním prostoru. Zahrnuje úklid a stabilní čistotu pracoviště a pravidelné údržby zařízení. Dle García-Alcaraz, Oropesa-Vento a Maldonado-Macías (2017) kromě úklidu pracovních ploch a zařízení spočívá Seiso i v návrhu metodiky, která pomůže snížit znečištění a vytvořit bezpečnější pracoviště. Až poté, co je pracovní prostředí čisté, je možné identifikovat další nedostatky.

Seiketsu (Standardizace): Fáze standardizace má za cíl zavést a udržovat stabilitu v pracovních procesech a postupech. Jedná se o standardy, které se týkají umístění pomůcek

na pracovišti, vzhledu a čistoty pracoviště. Pracovní standardy je dobré konzultovat přímo se zaměstnanci daného pracoviště. (Bauer, 2012)

Shitsuke (Udržitelnost): Poslední krok se zaměřuje na udržitelnost zavedených postupů. Proto je potřeba od zaměstnanců vyžadovat respekt k zavedeným standardům a normám. Je nutné pravidelně a neplánovaně kontrolovat jednotlivá pracoviště. Tento bod propojuje také metodiku 5S a kontinuální zlepšení. Výsledným efektem je bezpečné a efektivní pracoviště. (García-Alcaraz, Oropesa-Vento a Maldonado-Macías, 2017)

Zavedení této metodiky do výrobního procesu přináší mnoho výhod. Mezi tyto výhody podle García-Alcaraz, Oropesa-Vento a Maldonado-Macías (2017) patří:

- Vyšší motivace zaměstnanců
- Vyšší úroveň zabezpečení
- Snížení rizik a nehod
- Snížení ztrát způsobených vadnou výrobou
- Vyšší kvalita
- Kratší dodací lhůty
- Rychlé dodávky

2 FMEA A RISK MANAGEMENT

Riziko můžeme definovat jako vliv nejistoty na cíl. Riziko může mít původ v mnoha firemních oblastech a také může vzniknout v jakékoliv fázi projektu, nebo procesu. Řízení rizik je proces, který zahrnuje identifikaci, hodnocení a stanovení priorit rizik. Následně se vyberou požadované kroky a alokují se zdroje s cílem minimalizovat pravděpodobnost a dopad nežádoucích událostí. Cílem řízení rizik je zajistit, aby riziko neovlivnilo stávající procesy, nebo dosažení budoucích cílů. (Green, 2016)

2.1 Chyba

Poruchu nebo chybu lze vnímat neschopnost zařízení, nebo systému, plnit soubor předem stanovených výkonnostních norem. Můžeme se setkávat s chybami, které je jednoduché zpozorovat a identifikovat. Běžný příklad z praxe je nastartování auta, kdy kontrolka začne signalizovat, co je v autě nefunkční. V praxi se ovšem také setkáváme s chybami, které nejsou zjevné a nelze je jednoznačně identifikovat. Výroba může také fungovat bez dané funkce. Jako příklad může sloužit požární čidlo, u kterého zjistíme jeho nefunkčnost až v případě požáru. (Narayan, 2012)

2.2 Koncept FMEA

FMEA konceptu (CFMEA) se soustřeďuje na proveditelnost, inovativnost a aktualizaci návrhů. Používá se také v počáteční fázi projektu, kdy je potřeba identifikovat proveditelnost systému. Metodiku lze také využít jako způsob, jak otestovat nové inovativní řešení. Pomáhá také identifikovat nadbytečné systémy, vybírat optimalizované řešení, nebo identifikovat potencionální nepříznivé účinky. Preferovaným nástrojem jsou počítačové simulace, které pomáhají odhalit slabá místa systému. (Stamatis, 2019)

2.3 Designová FMEA

Účelem této FMEA analýzy je posoudit veškerá rizika, která se týkají konstrukce navrhovaného výrobku před začátkem výroby. Cílem je zamezit výskytu chyb, snížit náklady na výrobu a snížit vadných kusů. Zároveň jde o metodiku, která pomáhá vytvořit seznam priorit pro odladění chyb. (Stamatis, 2019)

2.4 Procesní FMEA

Při návrhu výroby, nebo nových výrobní procesů se často aplikuje FMEA proces. Procesní FMEA, jak už z názvu vyplývá se nezaměřuje na produkt, ale na riziko vzniku vad v samotném procesu. Podle Nenadála (2018) metoda FMEA umožňuje odhalit slabá místa procesu a vést ke zlepšení. Pracovník vývoje technologie je obvykle odpovědný za provedení FMEA a předkládá týmu proces realizace. Všechny fáze výroby by měly být zahrnuty do technologického postupu.

Cílem procesní FMEA dle Stamatis (2019) je identifikovat a eliminovat závady v procesu, který vede k dodání nekvalitního produktu zákazníkovi. K dosažení co nejlepších výsledků upozorňuje tento autor na následující otázky.

- Za předpokladu, že vstupní díly jsou bezchybné, co by mohlo způsobit selhání operace?
- Jaké vstupní odchylky by mohly způsobit selhání operace?

2.5 RPN číslo

Sartor a Orzes (2019) tvrdí, že samotná analýza rizik funguje na principu tří parametrů. První parametr je význam (S), který vyjadřuje závažnost následků. Dalším je výskyt (O), která znamená četnost výskytu vady. Posledním parametrem je detekce (D), která udává, jak dobře jsme schopni identifikovat příčinu. Tyto parametry hodnotíme na stupnici 1-10 bodů. Nejvyšší hodnota vždy znamená nejvyšší riziko pro proces. Parametry mezi sebou násobíme a výsledná hodnota tvoří číslo RPN (risk priority number). Na základě míry čísla RPN přiřazujeme prioritu jednotlivým chybám. Na základě výsledků FMEA analýzy se podniknou patřičná opatření na eliminaci budoucích chyb. Podle Sartora a Orzese (2019) vypadá výpočet následovně:

$$RPN = O * D * S$$

Poté, co riziko obdrží prioritu, tak by se měly podniknout kroky k jeho předcházení. Kontrolní mechanismy můžeme definovat jako postupy, technická řešení a nařízení, které firma aplikuje pro modifikace rizik. Příkladem může být proškolení zaměstnanců, kdy můžeme snížit riziko, nebo alespoň informovat zaměstnance, jak postupovat pro odstranění problému. (Green, 2016)

2.6 Implementace FMEA analýzy

Optimální proces pro adaptaci FMEA analýzy by se dal rozdělit dle Sartora a Orzese (2019) do deseti kroků:

- Definice procesu: Týmu jsou poskytnuty dostupné informace, pro lepší představu.
- Brainstorming selhání: Po brainstormingu se nápady uspořádají do skupin (mechanické, elektrické poruchy) a zapíší do FMEA listu.
- Potencionální důsledky selhání: Určí se důsledky každého způsobu selhání, jelikož jeden způsob může mít různé následky.
- Hodnocení závažnosti potencionálních škodlivých efektů: V tomto kroku se každému potenciálnímu účinku škodlivé události přiřadí hodnocení závažnosti.
- Hodnocení výskytu: Každé chybě v procesu se přidělí číslo, které znázorňuje pravděpodobnost výskytu dané chyby.
- Hodnocení detekce: Ohodnotí se jak je pravděpodobné, že danou chybu můžeme odhalit.
- Výpočet RPN: Ke každé chybě se přidělí RPN číslo

2.7 RISK management

Častokrát se setkáváme spíše s anglickými výrazy jako je risk management, nebo risk control. Podstatou managementu rizik je řízení podniku a vnitřních procesů z hlediska minimalizace rizik. Můžeme řídit procesy a činnosti, které zapříčiní vznik rizika a minimalizovat je, ale nelze přímo řídit samotné riziko. (Kruliš, 2011)

Je důležité identifikovat rizika a události, které mohou vést k jejich potenciálnímu vzniku. Zdrojem rizika je situace kde riziko vzniká. Cílem identifikace je vytvořit seznam rizik, které by mohly mít závažné následky. Seznam by měl obsahovat jaké rizika jsou pod kontrolou společnosti a jaké kontrolovat nemůže. Důležité je však správně identifikovat co může být příčinnou rizika. Každý člověk může situaci vnímat trochu jinak. Původem rizika může být i více faktorů zároveň. (Green, 2016)

3 PLÝTVÁNÍ

Plýtvání brání plynulosti procesu. Odbourání plýtvání urychlí proces tvorby finálního výrobku. Plýtvání je i příčinnou nekonkurenceschopnosti. Pokud konkurenti by byli schopni odstranit plýtvání, tak mohou poskytovat produkt dříve a s nižšími náklady. (Wright, 2017)

3.1 Muda: Plýtvání

Muda pochází z japonštiny a představuje přesný protiklad užitku za který si zákazník platí. Zákazník si přeje zaplatit za výrobek, který si objednal. Zákazník nechce a také nebude platit za čas dělníka, který musí čekat, nebo čas strávený reworkováním dílů. (Pascal, 2015)



Obrázek 5 8 druhů plýtvání

(zdroj: vlastní)

3.1.1 Nadprodukce

Nadprodukce je nejzávažnějším druhem plýtvání, protože často souvisí s dalšími náklady pro podnik, jako jsou nadbytečné zásoby, skladovací náklady a zbytečná manipulace. Příčiny nadprodukce mohou být různé jako předimenzované výrobní plány, neefektivního plánování nebo nedostatečné komunikace s trhem. (Jurová, 2016)

Samotný Taiichi Ohno považoval nadprodukcí jako kořen výrobních problémů (Pascal, 2015)

3.1.2 Čekání

Čekání je často důsledkem neoptimalizovaných procesů. To může být způsobeno špatným plánováním, nedostatečnou kapacitou nebo zpožděním v dodavatelském řetězci. (Jurová, 2016) Eliminace čekání vyžaduje důkladnou analýzu pracovních postupů a toku materiálů, zlepšení koordinace mezi procesy a v krajních případech přepracování výrobních linek pro zvýšení plynulosti pracovních operací.

3.1.3 Zbytečné pohyby

Zbytečné pohyby se často pojí se špatnou ergonomií pracoviště. Špatná ergonomie má vliv jak na produktivitu, tak na kvalitu výroby. Produktivita se snižuje, protože pracoviště nemá optimalizované prostředí a operátor musí dělat zbytečné pohyby těla, aby dokončil úkol. Špatná ergonomie navíc dokáže zapříčinit až 50 % pracovních úrazů. (Pascal, 2015)

3.1.4 Nadměrná komplexita

Tento typ plýtvání se pojí k finálnímu výrobku více než samotný zákazník očekává. Může to znamenat, že výrobní proces se stane příliš složitým, nebo i samotný produkt může být zbytečně sofistikovaný. Jako příklad nám může sloužit oblast automotive, kde na jednu stranu máme kvalitní auto, ale kvůli složité konstrukci je obtížné vyměnit díly. (Pascal, 2015)

3.1.5 Nadbytečné zásoby

Naskladnění velkého množství produktů a materiálu nese riziko znehodnocení zásob. Zároveň se s tím pojí nutnost platit za skladovací prostory a manipulační prostředky. (Jurová, 2016)

3.1.6 Transport

K této chybě se pojí prostoje vzniklé špatným transportem. Můžeme si pod tím představit například špatně navržený layout linky, kdy je potřeba několikrát manipulovat s materiálem. Lze to i aplikovat pro špatné rozvržení skladovacích prostor. (Wright, 2017)

3.1.7 Vady

Vady vedou k dodatečným nákladům na opravy nebo vyřazení. Nekvalita sama o sobě může být způsobena špatnými díly od dodavatelů, ale také může vznikat v samotném procesu. (Jurová, 2016)

3.1.8 Znalost

Tato forma plýtvání vzniká, když se přetrhne tok informací mezi zákazníky, dodavatel, nebo zaměstnanci. Informace nebo znalosti jsou zdrojem nových nápadů, kreativity a nových možností. Zákazník je zdrojem existence firmy a když není přesně vyslyšeno jeho přání, tak nemůže firma vyrobit produkt přesně na míru. (Pascal, 2015)

3.2 Muri: Přetížení

Muri se dá přeložit z japonštiny jako „nad síly člověka“. Tento typ plýtvání se vztahuje na zaměstnance, nebo zařízení, které jsou přetížené. U zaměstnanců, kteří jsou přepracováni hrozí vyšší riziko vyhoření, zranění a chybovosti. Podobně je tomu tak u strojů. Stroje, které jsou přetěžovány se častěji porouchávají, a proto je potřeba je více udržovat. (3M: Muda, Mura, Muri, 2025)

Můžeme identifikovat několik oblastí, které vedou k přetěžování zdrojů:

- Přetížení kapacity pracoviště
- Zvedání těžkých břemen
- Příliš složité výrobní postupy
- Znečištění pracoviště
- Hluk
- Stres (Patermann, 2022)

3.3 Mura: Konzistence

Mura se zaměřuje na oblast konzistence výroby. Identifikuje, zda jednotlivé procesy jsou vyvážené, aby byl dodržen výrobní cyklus. Podle Patermanna (2022) jsou hlavní 4 oblasti pro vyrovnanost systému:

Nerovnoměrný plán výroby – Výrobní podmínky jsou často dynamické. Změny v požadavcích zákazníků musí být tlumeny vyrovnávací zásobou.

Nerovnoměrné rozmístění operátorů – Některé výrobní týmy mají přebytek pracovní síly a jejich potenciál není využíván naplno. U některých týmu právě naopak se může stát, že jsou přetěžovány.

Nekonzistentní rozvržení směn – Směny mohou na jednotlivých pracovištích končit v rozdílný čas. Může to zapříčinit například situaci, že se na výrobní stanici bude čekat na meziprodukt.

Nerovnoměrná pracnost montáže/výroby dílu – Pokud si představíme výrobní linku, kde montáž probíhá manuálně, tak musí být jednotlivé procesy vyvážené. Proces montáže nemůže na prvním stanovišti trvat 10 sekund a proces na posledním stanovišti 30 sekund.

Integrace metodologie 3M do výroby umožňuje podnikům systematicky řešit plýtvání, přetížení a konzistentnost výroby, což vede k lepší produktivitě a snížení nákladů, potažmo zvýšení kvality produktu. To také přispívá ke zvýšení přidané hodnoty pro zákazníka.

4 OEE

Tato kapitola pojednává o výrobních ukazatelích (KPI) a celkové efektivitě zařízení (CEZ, nebo anglické verze OEE). V kapitole je vysvětlen výpočet metriky a popsána jednotlivá odvětví kalkulace.

4.1 KPI

KPI neboli key performance indicator je metrika, kterou firmy používají pro vyjádření efektivity výroby, nebo efektivity jednotlivých procesů. Podle Parmentera (2010) lze rozdělit firemní indexy a ukazatele do tří oblastí:

- Klíčové ukazatele výsledků (KRI) – slouží jako, kdy výroby vykazovala dobré, nebo špatné výsledky
- Ukazatele výkonnosti (PI) – vyjadřují, co bychom měli udělat
- Klíčové ukazatele výkonnosti (KPI) – vyjadřují, co je potřeba udělat, abychom dosáhli zlepšení

4.2 Výpočet dílčích složek OEE

Při snaze o maximální efektivitu se výrobní společnosti spoléhají na klíčové ukazatele výkonnosti. Významným ukazatelem je právě OEE. Podle Vojáčka (2019) je OEE je ukazatel efektivnosti výrobních zařízení, který umožňuje srovnání efektivnosti výrobních zařízení. Kromě jednotlivých výrobních zařízení lze aplikovat na celou linku. Podle Vojáčka (2019) vypadá výpočetní vzorec:

$$OEE = Využití * výkon * kvalita$$

4.2.1 Využití

Využití výroby je metrika, která poukazuje na zastavení výroby. Časové prostoje jsou většinou v řádu několika minut, aby mě mělo smysl je identifikovat a zaznamenat. Lze ji vypočítat jako doba provozu zařízení vůči skutečné době provozu zařízení. Skutečnou dobu provozu lze jednoduše spočítat tak, když vezmeme tu normovanou a odečteme od ní čas prostojů. (Calculate OEE, © 2025).

Vzorec dle stránky Calculate OEE lze interpretovat:

$$využití = \frac{\text{doba provozu zařízení}}{\text{očekávaná doba provozu zařízení}}$$

4.2.2 Výkon

Výkon je metrika, která pojednává o ztrátách spojené se snížením výkonu a rychlosti. Udává poměr mezi skutečným a teoretickým výkonem. (Altman, 2017)

Podle Altmana (2017) můžeme výkon spočítat jako:

$$výkon = \frac{\text{skutečná propustnost zařízení}}{\text{plánovaná propustnost zařízení}}$$

4.2.3 Kvalita

Ukazatel kvality slouží pro vyjádření, kolik bylo vyrobeno kusů odpovídající specifikaci během výroby. Nekvalitní kusy můžeme identifikovat jako ty, které nesplňují výrobní standardy. Naopak dobré díly můžeme identifikovat jako ty, které prošly celým výrobním procesem bez jakékoliv závady. Výpočet lze vyjádřit jako počet dobrých kusů, který je vydělen počtem všech vyrobených kusů (Calculate OEE, © 2025)

Kvalitu můžeme spočítat následovně: (Calculate OEE, © 2025)

$$kvalita = \frac{\text{celkový počet vyrobených kvalitních kusů}}{\text{celkový počet vyrobených kusů}}$$

Pro efektivní průběžné sledování je nutné implementovat informační systém. Data mohou být sbírána skrz kamery, senzory a PLC. Data se následně odesílají do databáze, kde je můžeme sledovat v reálném čase. Díky tomu lze rychle identifikovat problémy ve výrobě a efektivně je řešit. (Vojáček, 2019)

5 STANDARDIZACE

Součástí lean filozofie je i standardizace, která při správné implementaci a dodržování standardů pomáhá ke snížení plýtvání, které může ve výrobním procesu vznikat. (Brau, 2016)

5.1 ISO 9001

ISO 9001 je mezinárodní standard, který vymezuje kritéria pro systém řízení kvality (QMS). Podle charakteristiky Natarajana (2017) tato norma zaručuje zákazníkům výrobky a služby s neměnnou kvalitou a zajišťující dodržování relevantních zákonů a regulací. Tento systém je přijímán a implementován firmami po celém světě. Pro vstup do výběrových řízení a obchodní styk s korporátními firmami je často vyžadováno, aby dodavatelé měli certifikaci dle ISO 9001.

5.2 Kusovník

Dalším příkladem praktického použití standardizace je tvorba kusovníku. Kusovník uchovává informace o materiálu, dílech, sestavy a informace o vzájemných vztazích. Dále nám poskytuje podrobnější informace, k čemu se jednotlivé díly používají, nebo jaké množství je potřeba pro kompletaci výrobku. (Tomek, 2017)

5.3 Přínosy standardizace

Standardizace slouží jako základ pro vytvoření koherentního a strukturovaného přístupu k výrobě. Podle Patermanna (2022) má standardizace tyto výhody:

Zvyšování úrovně kvality – Na základě toho, že operátoři přesně ví, jaké činnosti a v jakém pořadí mají vykonávat. Tímto se redukuje chybovost při samotném procesu a eliminují se chyby jako je zaváhání, špatná interpretace vstupů, nebo záměny materiálu.

Stabilizace procesu – Firemní pracovníci jsou srozuměni se standardem. Na základě toho dokáží zaměstnanci rozlišit co je správně a co je špatné.

Zvýšení bezpečnosti práce na základě ergonomie – Pracoviště je uzpůsobeno tak, aby nepřekážel materiál. Jednotlivé procesy jsou nastaveny tak, aby se nevyvíjela přebytečná zátěž na jednotlivé části těla.

Odhalování problémů – Díky tomu, že standardy nastavují interval, co je přípustné, tak lze jednoduše identifikovat vady a problémy.

Zlepšování práce – Bez standardizace nelze zlepšovat proces ani produkt. Musí být definován cílový stav, abychom věděli, zda se vůbec zlepšujeme.

5.4 Standardy pro postup práce operátora

Tvorba layoutu – Zakreslíme jednotlivé výrobní stanice a zaznačíme materiálový tok.

Definování posloupnosti činností operátora – Vytvoříme diagram, který znázorňuje, v jakém pořadí jdou činnosti po sobě.

Standard rozpracovanosti – Tento standard je obzvláště důležitý, pokud jeden operátor obsluhuje více stanic. Při jakémkoliv přerušení výroby, by chybějící standard rozpracovanosti znamenal ztrátu.

Kontrola kvality – Na pracovišti, kde se kontroluje kvalita, použijeme symbol, který tuto činnost znázorňuje.

Bezpečnost práce – U pracovišť, které zahrnují zvýšené nebezpečí, použijeme symbol, který nebezpečí znázorňuje

Vyhodnocení časových cyklů a počtu dílů – Po vyplnění cílového cyklového času identifikujeme pracoviště, které tvoří bottleneck. Tento krok slouží pro vytvoření kapacitního schématu. (Patermann, 2022)

Pro efektivní implementaci standardizace ve výrobě je důležité dodržovat patřičně postupy. Přehledná dokumentace a srozumitelné definování postupů výroby napomáhá vyšší efektivitě a stabilitě výroby.

6 VIZUALIZACE

V éře Průmyslu 4.0 hraje vizualizace klíčovou roli pro porozumění komplexním výrobním procesům. Metody vizualizace umožňují výrobním společnostem nejen hlubší pochopení svých operačních procesů, ale i identifikaci trendů, jednodušší rozhodování na základě dat. Podle Singha (2021) je vizuální management nástroj, který pomáhá zdůraznit důležité informace. Předání informací pomocí vizuální stránky je nejenom efektivnější, ale pomáhá všem zúčastněným v projektu lépe pochopit situaci.

Pomocí vizuálního managementu lze zlepšit i koordinaci týmu. Mnoho firem dnes pořádá denní schůzky, kde každý může projevit svůj pohled. Tyto schůzky nejenom pomáhají navrhnout robustní řešení, ale také zlepšit vzájemné porozumění mezi jednotlivými odděleními. Lépe se také dodržuje deadline projektu, protože termíny jsou průběžně kontrolovány. Lépe se kontroluje i samotné pracoviště, protože je díky vizuálnímu managementu dobře organizováno. (Singh, 2021)

6.1 Vizuální značení

Dalším využitím vizualizace je tvorba štítků. Různé barvy mohou pomoci pro odlišení činností, nebo procesů. Mohou pomoci také seřizovačům pro správné uskladnění nástrojů. Některá značení jsou ovšem nařízena zákony a vyhláškami státu. Na každém pracovišti proto najdeme minimálně značení pro případ požáru. (Roser, 2019)

Je ovšem důležité mít představu o tom jaké jsou výrobní procesy a jak se pohybuje materiál na lince. Je možné vizualizovat celý materiálový tok výroby. Materiál je možné taky barevně odlišit, aby nedošlo k záměně, nebo aby bylo jasné, kam daný materiál uskladnit. (Roser, 2019)

6.2 Virtuální simulace

Dle Rama a Davima (2018) simulace jsou jedno z nejkompexnějších témat, kterým se zabývá průmyslové inženýrství. Simulace pomáhají odhadnout ekonomický dopad, funkčnost jednotlivých procesů a pomáhají v testování. Jsou také nástrojem, jak si ověřit funkčnost celého procesu bez nutnosti výroby. Rizikem ovšem zůstává, že musíme brát v potaz, že simulace je tak kvalitní, jak jsou kvalitní vstupní data a vždy nemusí být predikce relevantní.

7 DIGITALIZACE

Tato kapitola se zabývá tématem digitalizace a její aplikací v oblasti průmyslové výroby. Dnešní chytré výroby jsou provázány s IT systémem a už během samotné výroby se tvoří data, která se ukládají do těchto systému a lze je nadále používat a analyzovat.

7.1 Průmysl 4.0 a inteligentní výroba

Koncept Průmyslu 4.0, často označovaný jako Čtvrtá průmyslová revoluce, zahrnuje integraci digitálních technologií, automatizace a výměny dat ve výrobních procesech. Inteligentní výroba, klíčová součást Průmyslu 4.0, spoléhá na propojené systémy, analýzu dat v reálném čase a strojové učení, aby umožnila agilní a adaptivní výrobní procesy. Na začátku digitalizace byly výrobní firmy řízeny komerčně orientovanými systémy. Mnoho systémů a procesů se dá automatizovat a digitalizovat. (MES 2007 Jurgnen Kletti)

7.2 Digitalizace a LEAN

Přístup leanu se přelívá i do sféry digitalizace. Známe to pod pojmy, jako je Jidoka, nebo Heijunka. Tyto přístupy počítají z transformací dat z fyzické podoby do digitální a zároveň se opírají o nové možnosti sběru a zpracování dat. Cílem je vytvořit inteligentní továrny, které zabráňují nulovému fyzickému a digitálnímu plýtvání. Následná implementace funguje na bázi tvorby deskriptivních a prediktivních analytických aplikací, jejichž cílem je předcházet nestabilním parametrům a procesům. (Romero, 2018)

Stejně jako v jiných odvětvích se můžeme setkat v rámci digitalizace s plýtváním. Pasivní digitální plýtvání vzniká v důsledku nevyužitých příležitostí k uvolnění dat. Dobrým příkladem může být využití machine learningu a neuronových sítí pro kontrolu kvality produktů. (Romero, 2018)

Aktivní digitální plýtvání nastává jako důsledek výrobního prostředí bohatého na data, které postrádá vhodné přístupy k řízení data. Tyto data poté nedoputují ke správné osobě, ve správný čas, a tak dochází k potencionálnímu plýtvání. Současně se v budoucnu bude ukládat stále více dat během výroby, což vede nutnosti stále větších uložišť dat. Proto je důležité sbírat pouze taková data, která mají výpovědní hodnotu a budou pro nás v budoucnu ještě užitečná. (Romero, 2018)

V současných průmyslových firmách se pracuje s obrovským množstvím a diverzitou dat. Setkáváme se tedy často s pojmem big data. Pokud chceme efektivně přispívat ke

zlepšování, tak musí fungovat cloudové služby, efektivně sesbírat, ukládat výrobní data, následně je zpracovat a analyzovat. (Chromjaková, 2017)

7.3 Manufacturing execution systems (MES)

Systém MES je nezbytný v dnešním dynamickém výrobním prostředí. Systém pro realizaci výroby neboli MES je komplexní databázový systém, který sleduje, dokumentuje a řídí proces výroby. Systém MES představuje funkční vrstvu mezi systémy ERP a systémy řízení procesů. Také poskytuje pracovníkům data na jejichž základě lze optimalizovat výrobu. Data jsou ukládány v reálném čase. (What is MES?, 2025)

V roce 1997 definovala mezinárodní asociace MESA (Manufacturing Enterprise Solutions Association International) 11 funkcí výrobního systému. Ačkoli se model MESA-11 v průběhu času vyvíjel, těchto původních 11 základních funkcí poskytuje základ pro provoz téměř jakéhokoli typu závodu a je nedílnou součástí dnešních systémů pro realizaci výroby. (What is MES?, 2025)

Tyto funkce jsou následující:

- Přidělování a stav zdrojů
- Operace/podrobné plánování
- Dispečink výrobních jednotek
- Řízení dokumentů
- Sběr a pořizování dat
- Řízení práce
- Řízení kvality
- Řízení procesů
- Řízení údržby
- Sledování a genealogie výrobků
- Analýza výkonnosti (What is MES?, 2025)

7.4 Plánování podnikových procesů

Plánování podnikových zdrojů (ERP) označuje typ softwaru, který organizace používají k řízení obchodních činností, jako je účetnictví, zadávání veřejných zakázek, řízení projektů a řízení rizik. Kompletní sada ERP zahrnuje také řízení výkonnosti podniku, tedy software, který pomáhá plánovat, rozpočtovat, předvídat a vykazovat finanční výsledky organizace. (What is ERP, © 2025)

Systémy ERP jsou navrženy na základě datové struktury (schématu), která má obvykle jednotnou databázi. To pomáhá zajistit, aby informace používané v celém podniku byly normalizované. Tyto databáze jsou pak propojeny s podnikovými procesy řízenými pracovními postupy napříč podnikovými odděleními. Jednoduše řečeno, ERP je prostředkem pro propojení lidí, procesů a technologií ve výrobním podniku. (What is ERP, 2025)

Klíčovým principem ERP je centrální sběr dat pro širokou distribuci. Výhodou je, že všichni od generálního ředitele až po mzdové účetní mohou vytvářet, ukládat a používat stejná data získaná společnými procesy. Díky bezpečnému a centralizovanému úložišti dat si všichni v organizaci mohou být jisti, že data jsou správná, aktuální a úplná. (What is ERP, 2025)

7.5 Internet of things (IoT)

Využití internetu věcí (IoT) pro propojení strojů, zařízení a senzorů, která umožňují monitorování v reálném čase a sběr dat. Skládá se z fyzické vrstvy, kam můžeme zařadit senzory, které detekují změny objektu, nebo jeho okolí. Senzory detekují parametry, jako mohou být například teplo, světlo, zvuk, nebo pohyb. Akční členy jsou další zařízení ve fyzické vrstvě, které se používají k vyvolávání změny v prostředí. Dalším vrstvou v IoT je digitální vrstva. Digitální uložště informací slouží pro zpracování velkého množství dat, které se přenáší právě z vrstvy konektivity. Můžeme sem zařadit databáze, cloud computing a modely, které zpracovávají big data. (Ustundag a Cevikcan, 2018)

Tyto 2 vrstvy musí být navzájem propojeny. Konektivita se zabývá propojením zařízení, sítí a servery. Jedná se o sítě jako je například IP, 4G/5G, Bluetooth, nebo wifi. Zařízení poté mezi sebou vytváří vazby. (Ustundag a Cevikcan, 2018)

7.6 Automatizace a robotika

Integrace automatizace a robotiky se implementuje pro zjednodušení opakujících se úkolů a zvýšení výrobní kapacity. Průmysloví roboti byly navrženi, aby dokázali vydržet nehostinné podmínky, rychlé monotónní úkony a velice přesné operace s minimálními odchylkami. Roboti mají ovšem své slabiny. Pokud dojde k implementaci nového produktu do výrobní linky, tak se roboti musí přeprogramovat a seřadit. (Ustundag a Cevikcan, 2018)

II PRAKTICKÁ ČÁST

8 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI

Hella je společností, která působí v oblasti automotive. Zaměřuje se primárně na vývoj a výrobu světlometů, ale také na jiné oblasti, jako je elektronika, řídicí jednotky, senzory a radary v několika divizích. Firmu založil 11. června roku 1899 Sally Windmüller pod původním názvem Westfälische Metall-Industrie Aktien-Gesellschaft (WMI) v německém Lippstadtu. Společnost roku 1908 začala vyrábět karbidové lampy do automobilů. Roku 1926 se společnost přejmenovala na Hella.

Během druhé světové války vyráběla firma pro zbrojní průmysl. Po 2. světové válce se společnost začala rozvíjet a v roce 1951 byla založena první německá dceřiná společnost ve Wembachu. Začátkem 60. let minulého století se společnost začala rozrůstat i mimo hranice Německa. V roce 1961 byl založen první zahraniční výrobní závod v Mentone v Austrálii.

V roce 2002 byla také se společností Stanley Electric Co., Ltd. jakožto společníkem založena společná holdingová společnost Hella Stanley Ltd Pty se sídlem v Melbourne.

Prudké hospodářské výkyvy, které jsou pro automotive jako cyklický business typické, zapříčinily, že společnosti Hella v účetním roce 2005/06 klesl zisk. Program snižování nákladů a zvyšování efektivity schválený vedením společnosti ale rychle přinesl výsledky, a tak hned v následujícím účetním roce 2006/07 společnost Hella opět vykázala provozní zisk. V účetním roce 2007/08, který skončil k 31. květnu 2008, se jí navíc podařilo provozní zisk znovu výrazně zvýšit. 31.1.2022 se většinovým akcionářem Helly stala francouzská společnost Faurecia. Díky této akvizici vznikl 7. největší dodavatel v automotive globálně. Také došlo k vytvoření nové korporátní značky Forvia. Ta celosvětově zaměstnává přibližně 150 000 lidí. Forvia působí ve 35 zemích, kde provozuje přes 100 závodů.

Závod v Mohelnici HELLA AUTOTECHNIK NOVA s.r.o. byl založen roku 1992. Kromě výrobní části disponuje podnik vývojovým a testovacím centrem. S připočítáním agenturních zaměstnanců dohromady společnost zaměstnává 3100 zaměstnanců.

Společnost v dnešní době je jedním z největších výrobců předních a zadních světlometů. Optický výstup moderních světlometů je tvořen kombinací LED modulů s funkcemi BiLED, Matrix, laser nebo HD SSL. Technologie HD SSL patří k tomu nejmodernějšímu, co můžeme ve světlometech nových automobilů najít. Hella patří k průkopníkům této technologie. Světlomety mohou mít funkci AFS – tedy adaptivní systém světlometů, což znamená, že se mohou pozicovat a upravovat svoji světelnou hranici, dle situace na vozovce.

Současné hlavní produkty mohelnického závodu jsou světlomety Škoda Kodiaq, Renault Captur, Audi E6 a Seat Formentor. V předešlém roce byly hlavní zákazníci Audi, Daimler, BMW Renault, Volkswagen, Škoda a Renault.

Společnost HELLA také má zavedený systém ochrany vůči ESD. Jedná se o zkratku pro electrostatic discharge. Protože firma vyrábí elektroniku, tak elektrostatické výboje způsobené třením mohou poškodit produkt. Proto je součástí firemních předpisů nutnost povinně nosit ESD oblečení ve výrobě. Zaměstnanci, kteří pohybují ve výrobě, tak musí povinně nosit nevodivá trička a uzemněné boty. Zóny, kde se manipuluje s ESDS (součástky citlivé na elektrostatické výboje) se nazývají EPA. Ve firmě se také nacházejí non-EPA zóny, kde není nutností nosit ESD oblečení. Na obrázku č. lze vidět elektrostaticky uzemněné oblečení, které je povinné nosit při vstupu do výroby.



Obrázek 7 ESD oblečení společnosti HELLA

(zdroj: vlastní)

8.1 Představení analyzovaného pracoviště

Projekt Flex line vznikl jako krok k dosažení potřebné míry standardizace u výrobních linek pro zmíněné světelné moduly. Jedná se o první linku svého druhu v Helle globálně. To má vést k dosažení vyšší efektivity výroby. Doposud fungoval ve firmě koncept jeden typ produktu pro jednu výrobní linku. Proto bylo potřeba velké míry standardizace, aby bylo

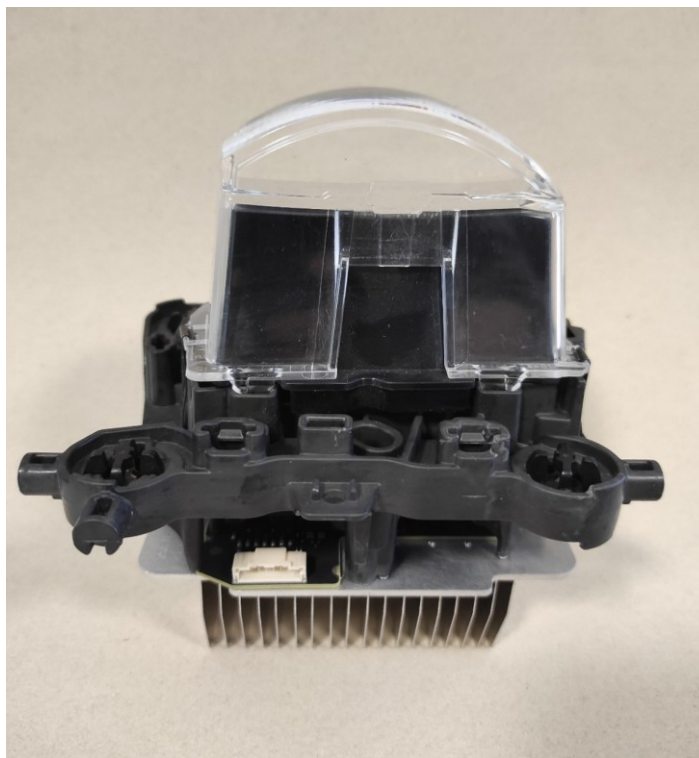
možné snížit variabilitu jednotlivých dílů a přizpůsobit proces. K tomu byla zapotřebí úzká spolupráce s oddělením konstrukce.

8.1.1 Výrobní portfolio linky

Hella vyrábí mnoho typů světelných modulů, ale pro tuto linku jsou důležité BiLED a Matrixové moduly. Principem jsou si všechny typy modulů velice podobné. Konstručně je hlavní rozdíl mezi produkty v typu použité primární optiky, která primárním tvůrcem světelného výstupu. BiLED modul používá optiku z PC. Naopak matrixové moduly používají primární optiku vyrobenou ze silikonu. Silikon se používá z důvodu dosažení matrix funkce, která vyžaduje segmentaci světelného výstupu. Rozdíl mezi Matrixem a Bimatrixovým modulem z procesního hlediska ani neexistují. Bimatrix používá akorát komplexnější silikonový díl, kterým lze ještě více segmentovat trajektorii svícení. Jednotlivé moduly nabízejí různé světelné segmentace.

8.2 Popis analyzovaného produktu

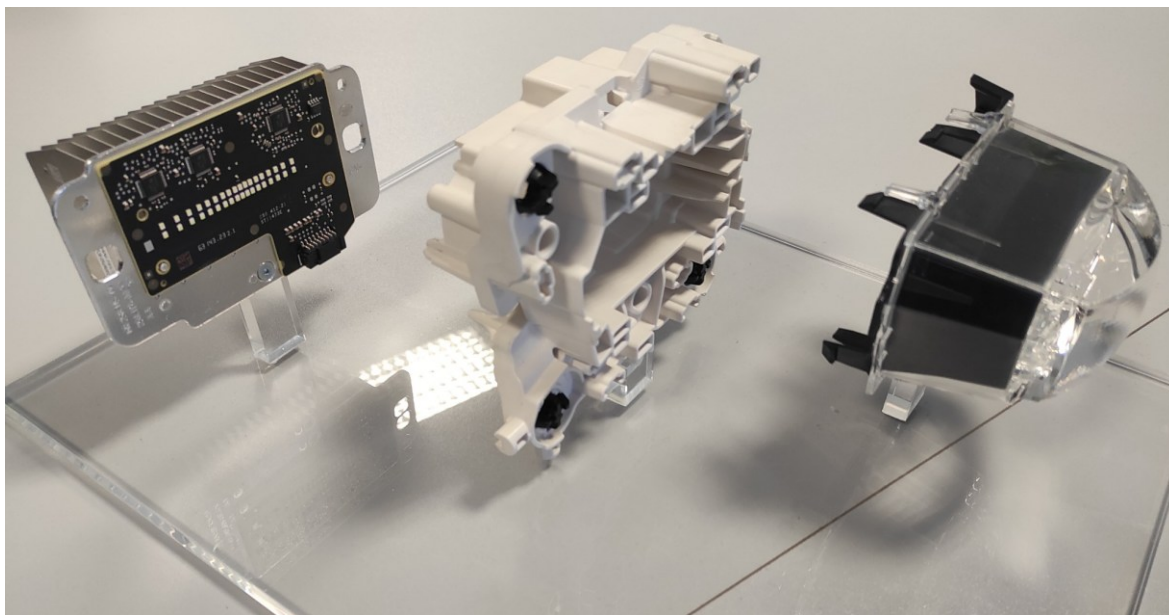
Prvním projektem, na kterém se testoval proces na lince byl modul škoda Kodiaq. Samotný modul se skládá z chladiče, kterým se odvádí teplo z čipu, PCBA, optické skupiny, lensholderu, čočky a c-pera, kterými je čočka fixovaná. Právě na testování tohoto modulu je založena tato práce. Modul Škoda Kodiaq lze vidět níže na obrázku č.5.



Obrázek 8 Světelný modul Škoda Kodiaq

(zdroj: vlastní)

Rozpad modulu můžeme vidět na obrázku níže č.6. Modul se skládá z chladiče, který má důležitou funkci termální regulace a zároveň se jedná o hlavní nosný prvek. Na něj se pokládá PCBA osazené LED diodami a jinými elektronickými komponenty. PCBA je samotným zdrojem světla v modulu. PCBA je k chladiči připevněno speciální směsí lepidla, které pomáhá odvádět z desky teplo. Na PCBA se pokládá optická skupina. Ta se samostatně kompletuje na jiné stanici. Optická skupina určuje, jaké světelné vlastnosti modul bude mít. Podstatný je v optické skupině silikonový díl, který určuje světelnou separaci. Na optické skupině je posazen díl, který se jmenuje lensholder. Lensholder je důležitý, protože určuje vzdálenost pro ostrost a fokusaci mezi optickou skupinou a čočkou. Na vrchu lensholderu je drážka, na kterou se posadí skleněná čočka. Čočka je přichycena k holderu pomocí tří c-per. Holder je přišroubovaný k chladiči.



Obrázek 9 Rozpad světelného modulu Škoda Kodiaq

(zdroj: vlastní)

8.3 Popis procesu

Stanice na lince jsou značeny od FA10, kde proces začíná, až po FA130, kde se produkt balí do finálního balení. Personál linky se skládá ze dvou operátorů, seřizovače, manipulanta a team leadera. Během procesu jsou jednotlivé díly zakládány, nebo montovány do paletky pomocí sendvičového systému. Paletka je poháněna po stanici pomocí pásového dopravníku. Na každé stanici, kde vstupuje materiál je umístěn zásobník, kam manipulant ukládá materiál.

Na první stanici operátor odebere z bedny chladič a založí ho do karuselu. Robot poté založí z karuselu do paletky chladič. Paletka přejede na dopravníku k další stanici. Na další stanici je na chladič nanášeno lepidlo. Lepidlo musí být nanášeno v předem definované trajektorii, aby pokrylo všechny důležité body a pomohlo efektivně odvádět teplo z PCBA do chladiče, tím se zajišťuje termální interface i eliminace případných nerovností způsobených křivostí PCBA. Na další stanici položí robot PCBA na lepidlo. Povrch PCBA i chladiče se před nanášením lepidla očistí ionizovaným vzduchem, aby došlo k odstranění nečistot, které mohou mít negativní vliv na vlastnosti lepidla.

Následně robot založí už zkompletovanou optickou skupinu na PCBA. Paletka pokračuje k operátorovi, který připustí meziprodukt k další montáži. Poté přijede paletka na stanici, kde robot nasadí optic holder na chladič. Následně na dalších stanicích roboti položí na

mezivýrobek optic holder a čočku. Na této stanici se vstupují do linky c-pera, která slouží pro uchycení čočky k holderu. C-pera se do linky vkládají pomocí vibračního bubnu. V bubnu se od sebe pera oddělí a následně putují do separátoru. Ze separátoru odebere robot c-pero a nacvakne ho na modul. Čočka se zafixuje na modul pomocí tří c-per.

Na poslední montážní stanici probíhá šroubení a celý světelný modul je tady zkompleťovaný. Následuje stanice EOT (end of line tester), kde se testují parametry elektrické a světelné vlastnosti modulu. Kamery měří a vyhodnocují zhruba 100 bodů světelného výstupu celého modulu. Pokud nějaký interval, nebo parametr měřené hodnoty není splněn, tak je modul označen za zmetek. Pokud modul splňuje požadované intervaly hodnot, tak se přesune na stanici FA110. Na této stanici operátor zkontroluje zkompleťování a potenciální poškození modulu. Na této stanici tedy probíhá dekorativní kontrola. Ta je společně s EOT testováním provedena na 100 % produktů. Až modul projde kontrolou, tak je do chladiče laserem vypálen DMC kód. Na poslední stanici finálního balení ho robot vyjme z paletky a umístí do traye. Tray vyjíždí z linky, kde ho manipulant předělává na paletu.

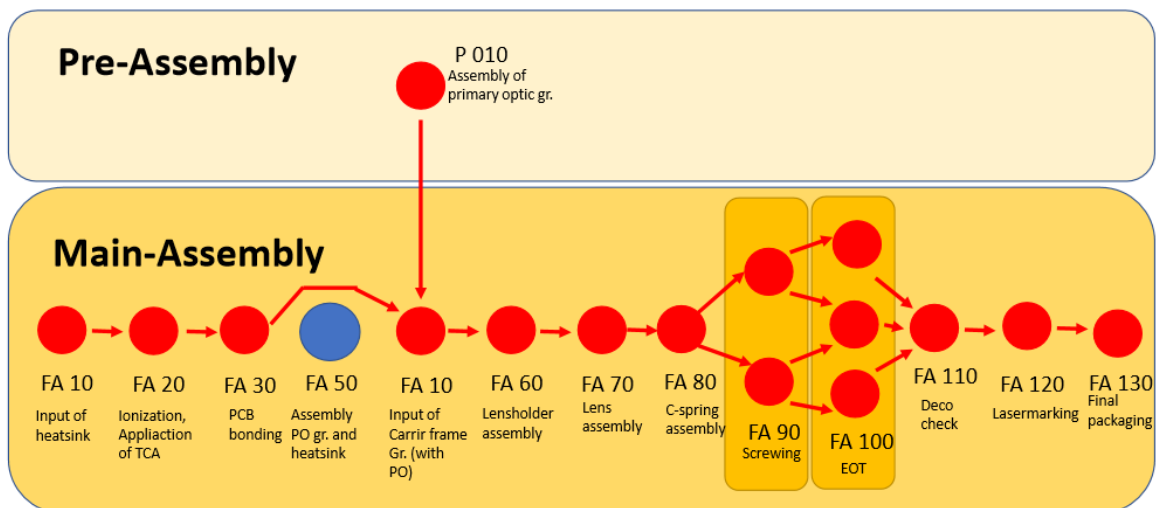
Pokud by na lince vzniknul vadný kus, tak na dvou stanicích může být odebrán seřizovačem. Když vadný kus projede celou linkou, tak ho robot na finální stanici odloží na vedlejší dopravník.

Na několika stanicích, kde do linky vstupuje nový díl je čtečka, která si načte data o dílu. Slouží to zároveň i jako poka yoke řešení, aby nedošlo k záměně dílů. Na stanicích jsou také kamery, které průběžně kontrolují, jestli díly splňují požadované parametry. Data z výroby jsou provázány s MES systémem, kde lze okamžitě vidět výrobní data.



SK 336 - MATRIX

PROCESS FLOW



Obrázek 10 Procesní mapa výrobní linky

(zdroj: vlastní)

9 ANALÝZA UKAZATELE OEE NA LINCE

Tato kapitola se věnuje analýze ukazatelů OEE (CEZ), což je hlavní výrobní metrikou. Linka, kterou se autor zabývá, byla v době přípravy této práce v testovací (před sériové) fázi. Hlavním cílem této fáze je připravit výrobní linku pro úspěšné předání do sériové výroby. Připravenost se ověřuje interním auditem.

Požadavky pro přechod linky k sériové výrobě:

- Linka dosahuje požadovaného OEE
- Splňuje cyklový čas
- Scrap je pod požadovanou úrovní
- Je zaškolený personál (operátoři, seřizovači)
- Je předána dokumentace (výkresy, elektro schémata, návody...)
- Existuje seznam náhradních dílů, který je předaný na údržbu
- Údržba je s linkou seznámena
- CE certifikace
- Produkt je připraven

9.1 SBĚR DAT PRO VÝPOČET CEZ

Data pro analýzu byla sbírána přímo ve výrobě. Z větší části časového intervalu, ve kterém probíhaly výrobní testy nefungovala ještě plynule komunikace s MES systémem. Proto výrobní data byla čerpána přímo z výroby. Délky prostojů a stanice, na kterých daný prostoje vznikl autor zapisoval na tabuli. Na poslední stanici se poté zprovoznilo počítačové, kde bylo kontrolováno, kolik OK modulů a NOK modulů bylo vyrobeno během testu.

Pro následnou analýzu byla data přepsána do excel tabulek. Některé názvy prostojů musely být upraveny, aby se zamezilo duplicitní tvorbě dat. Z vypsání dat poté autor vytvořil kontingenční tabulku, aby identifikoval nejčastější prostoje. Tabulka byla vytvořena, aby bylo možné identifikovat nejčastější prostoje. K vizualizaci také slouží grafy, které znázorňují, jaké prostoje zabraly největší časové úseky a které stanice byly nejproblémovější.

Téměř každá výrobní stanice je opatřena čtečkou. S pomocí PLC se odesílají se výrobní data do MES systému. Společnost Hella používá iTAC jako svůj MES systém. Všechna výrobní data se sice ukládají do iTACu, ale systém bohužel není úplně uživatelsky přívětivý. Když

autor zpracovával analýzu, tak nebylo možné s daty z ITACu efektivně pracovat. Bylo potřeba například ručně přepisovat sériová čísla, protože nebyla povolena funkce kopírování. Analyzovat celý výrobní test bylo tedy poměrně časově náročné. Proto se v průběhu náběhu linky do sériové výroby vytvořila nová aplikace, která umožňuje jednotlivé analýzy výroby a monitoruje výrobní KPI v reálném čase.

Dohromady za celou dobu výrobních testů bylo zaznamenáno 62 druhů prostojů s celkovým časem 851 minut. Protože se jedná o téměř plně automatizovanou výrobní linku, tak většina prostojů je technického rázu. Některé prostoje se vážou ke konkrétní stanici, jako je zasekávání c-per v dopravníku na stanici FA080. Naopak některé typy prostojů se vážou k většímu počtu stanic, jako je špatné zakládání materiálu do paletky, nebo zaseknutí dopravníku.

9.2 Analýza výrobních testů

Tabulka obsahuje kalkulaci OEE ze všech 21 výrobních testů. V před-sériové fázi je množství a délka výrobních testů často přímo řízena dostupností materiálu. U vysoce automatizovaných systémů, je spotřeba materiálu pro odladění zařízení obecně mnohem vyšší než u systémů se spíše ruční prací. Některé testy trvaly proto pouze půl hodiny a nejdelší testy zabraly více než 2 hodiny. Protože se jedná o projekt, který procházel fází náběhu do sériové výroby, tak největší problém tvořily technické prostoje. OEE bylo zpočátku opravdu nízké, proto byla uvažovaná hodnota cílového OEE pouze 50 % pro prvních 5 testů. Hodnota se poté navýšila na 75 %, což je minimální hodnota, které je potřeba dosáhnout během procesního auditu linky.

Tabulka 1 Nasbírané hodnoty z testů

Test	Date	Production Slot (min)	Technical downtime s (min)	Organization downtimes (min)	Real Production (pcs)	NOK (pcs)
PT1	17.08.2023	120	67	0	159	18
PT2	18.08.2023	120	85	0	73	3
PT3	31.08.2023	120	90	0	132	40
PT4	01.09.2023	60	50	0	35	10
PT5	18.09.2023	120	50	0	221	35
PT6	23.10.2023	131	94	0	183	49
PT7	30.10.2023	176	40	10	418	12
PT8	08.11.2023	68	30	9	132	13
PT9	16.11.2023	172	99	5	320	42
PT10	30.11.2023	140	58	12	340	51
PT11	10.01.2024	96	41	0	318	67
PT12	15.01.2024	116	42	0	282	65
PT13	25.01.2024	134	46	0	403	35
PT14	30.01.2024	89	16	0	336	79
PT15	07.02.2024	80	20	0	315	59
PT16	08.02.2024	89	22	0	333	29
PT17	09.02.2024	38	6	0	154	5
PT18	09.02.2024	36	6	0	157	19
PT19	09.02.2024	42	0	0	190	17
PT20	09.02.2024	116	12	0	501	41
PT21	26.02.2024	33	2	6	135	11

(zdroj: vlastní)

Tabulka č.1 obsahuje všechna data sbíraná z výroby pro výpočet OEE. V druhé tabulce níže lze vidět už samotné složky a kalkulaci OEE pro výrobní testy.

Kvalitu firma počítá jako poměr vyrobených kvalitních modulů vůči všem vyrobeným modulům.

Výpočet výkonu je už více spleťitý. Jedná se o hodnotu cyklového času linky, která se vynásobí počtem všech vyrobených kusů. Výsledná hodnota se vydělí časem, kdy linka skutečně vyráběla bez prostojů. Některé hodnoty jako cyklový čas nemohou být v práci zveřejněny z důvodu uchování interních informací.

Poslední hodnota, tedy dostupnost zohledňuje prostoje. Je to poměr času, kdy linka skutečně vyráběla bez prostojů vůči celkové délce výrobního testu.

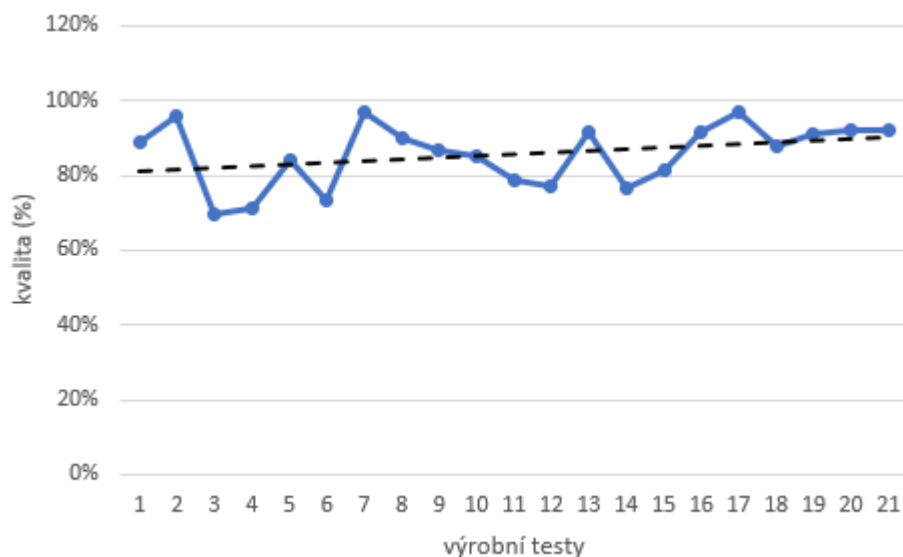
Tabulka 2 Výrobní metriky z testů

Test	OEE (%)	Quality Rate (%)	Performance (%)	Availability (%)
PT1	24%	89%	60%	44%
PT2	12%	96%	42%	29%
PT3	15%	70%	88%	25%
PT4	8%	71%	70%	17%
PT5	31%	84%	63%	58%
PT6	20%	73%	99%	28%
PT7	46%	97%	66%	72%
PT8	35%	90%	91%	43%
PT9	32%	87%	94%	40%
PT10	41%	85%	97%	50%
PT11	52%	79%	116%	57%
PT12	37%	77%	76%	64%
PT13	55%	91%	92%	66%
PT14	58%	76%	92%	82%
PT15	64%	81%	105%	75%
PT16	68%	91%	99%	75%
PT17	78%	97%	96%	84%
PT18	77%	88%	105%	83%
PT19	82%	91%	90%	100%
PT20	79%	92%	96%	90%
PT21	75%	92%	108%	76%

(zdroj: vlastní)

9.3 Popis metrik

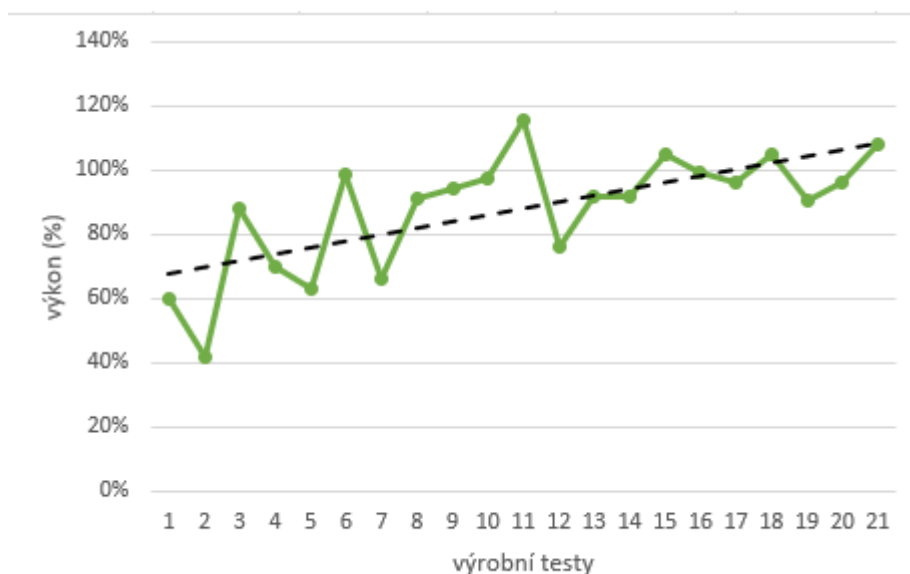
Na grafu níže (obrázek 8) jde vidět postupný vývoj kvality skrz výrobní testy. Čísla 1-21 uvádí o jaký výrobní test se jedná. Průměr má tendenci mírného stoupání a rozptyl hodnot byl zanedbatelný. Větší míra nekvality byla způsobena poškozením dílů a nekonzistencí v procesu. Výkyvy v kvalitě jsou ovšem malé. Spíše se jedná o nekvalitu, která vzniká chybami ve výrobním procesu, než že by do linky vstupoval vadný materiál.



Obrázek 8 Vývoj kvality skrz jednotlivé výrobní testy

(zdroj: vlastní)

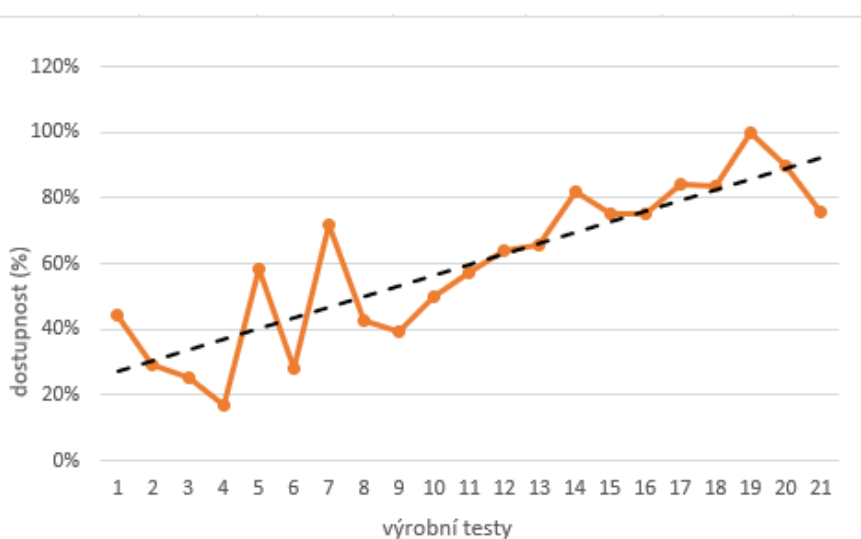
Druhý graf (obrázek 9) ukazuje výrobní výkonnost, tedy ideální výrobní čas v poměru k reálnému výrobnímu času. Nižších hodnot se dosahovalo během prvních testů. Příčinnou byl nižší čas cyklu jednotlivých stanic. V této fázi se ještě testovala správná funkčnost robotů. V prvních testech byl také celý cyklus zpomalený, protože stanice FA100 nebyla plně provozuschopná. Cyklové časy robotů byly záměrně zpomaleny. Dělá se to z důvodů bezpečnosti a zamezení kolizí robotů např. s obalovými jednotkami. Takto se postupovalo do momentu, dokud nebyly dráhy robotů plně optimalizovány. Poměrně rychle se podařilo dostat na požadované hodnoty časů cyklu. Tyto hodnoty se podařilo také překročit a dostat se na nižší čas, než který byl požadovaný. V některých testech se stalo, že linka dokázala vyrobit velký počet kusů i přes to, že během testů byl vysoký počet zastavení určitých stanic z důvodů technických problémů. Právě proto se během některých testů překročila hranice 100 %. Graf má rostoucí tendenci, protože v prvních testech nedosahovali jednotlivé stanice požadovaných cyklových časů. Postupně se dařilo časy vylepšovat, až i některé stanice překročili požadované hodnoty.



Obrázek 9 Vývoj výkonu skrz jednotlivé výrobní testy

(zdroj: vlastní)

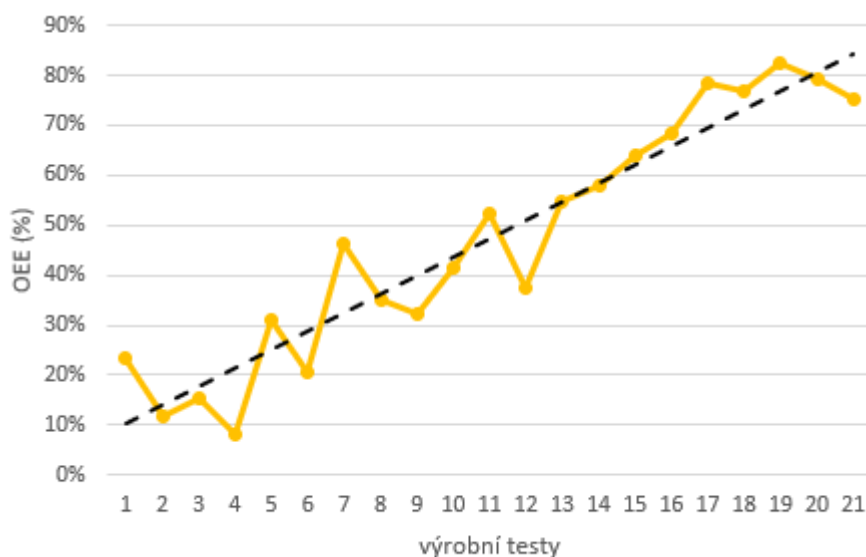
Největší hodnoty rozptylu dosahovala metrika dostupnost. V této metrice se promítá míra prostojů. Technické prostoje byly opravdu velice četné během první poloviny testů. V druhé desítkě testů se podařilo stabilizovat proces a chod zařízení. Z technické náročnosti výroby a vysoké míry automatizace ovšem zůstává tato metrika největším problémem. Čtvrtý graf (obrázek 10) má rostoucí tendenci, protože výroba se během prvních testů potýkala s velkým množstvím technických problémů. Postupně se dařilo odstranit určité technické chyby a najít nápravná opatření pro snížení doby technických prostojů.



Obrázek 10 Vývoj dostupnosti skrz jednotlivé výrobní testy

(zdroj: vlastní)

Klíčovou metrikou pro ohodnocení procesu ve firmě je OEE. OEE je součinem všech předchozích metrik, tedy kvality dostupnosti a výkonu. Metrika, která neměla během testů tak významný vliv na vývoj OEE byla kvalita. Vývoj metriky spíše kopíruje graf výkonu a dostupnosti. Požadovaná minimální konzistentní hodnota OEE na to, aby linka dokázala projít procesním auditem a přejít potenciálně do sériové výroby byla 75 %. Na grafu číslo 4 lze vidět, že v posledních pěti testech se podařilo dosáhnout této požadované hranice.



Obrázek 11 Vývoj OEE skrz jednotlivé výrobní testy

(zdroj: vlastní)

9.4 Analýza prostojů na lince

Na základě sesbíraných dat z výrobních testů autor vytvořil kontingenční tabulku. Během samotných testů se shromažďovala data ohledně prostojů. Důležité bylo identifikovat na jaké stanici prostoj vzniknul, změřit časový interval prostoje a identifikovat původ prostoje.

Tabulka 3 Tabulka s prostoji v minutách

date	station	downtime type	downtime time
10.1.	FA100	zaseklá paletka	2
10.1.	FA090	zaseklá paletka	1
10.1.	FA010	zaseklá paletka	1
10.1.	FA130	otočený tray	2
10.1.	FA080	c-pera	3
10.1.	FA080	c-pera	1
10.1.	FA070	špatně založený materiál	4
10.1.	FA030	špatně založený materiál	2
15.1.	FA050	špatně založený materiál	12
15.1.	FA090	zastavení kvůli vysokému scrapu	6
15.1.	FA050	přeskočení servomotoru	14
15.1.	FA080	zaseklá paletka	4
15.1.	FA030	chybějící materiál	6
25.1.	FA060	nezaložený materiál	5
25.1.	FA120	restart	4
25.1.	FA120	restart	5

(zdroj: vlastní)

Data byla poté očištěna a autor vytvořil kontingenční tabulku, aby bylo možné jednoduše identifikovat časově nejnáročnější prostoj. Na tuto problematiku se můžeme podívat z více pohledů. Některé prostoje musely být přejmenovány, aby nevznikla duplicita, nebo bylo nutné správně pojmenovat data, aby se díky tomu dala lépe analyzovat.

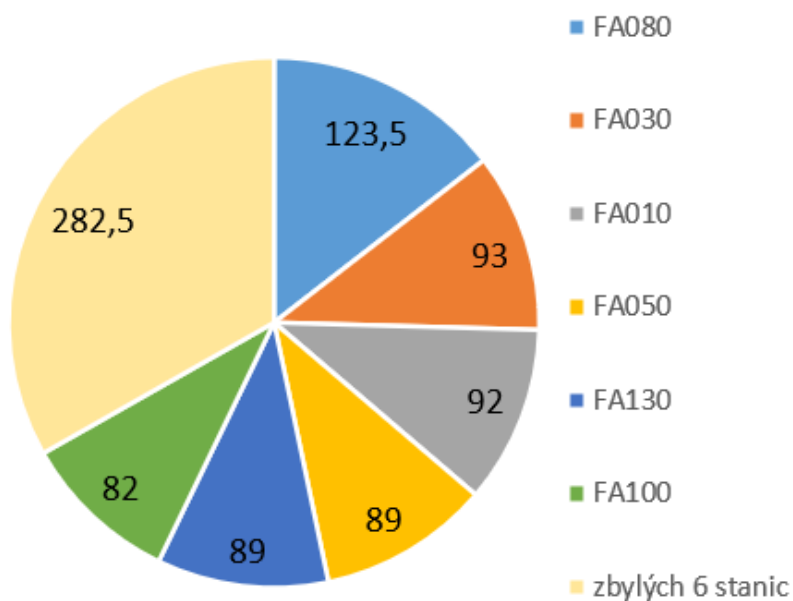
Tabulka 4 Kontingenční tabulka s prostoji v minutách

Popisky řádků	Součet z downtime time
⊕ ?	12
⊕ FA010	92
⊕ FA030	93
⊕ FA040	29
⊕ FA050	89
⊕ FA060	39
⊕ FA070	61,5
⊖ FA080	123,5
c-pera	88,5
doplnění c-per	2
kolize robota	13
oprava robota	8
zaseklá paletka	12
⊕ FA090	68
⊕ FA100	82
⊕ FA110	24
⊕ FA120	49
⊕ FA130	89
Celkový součet	851

(zdroj: vlastní)

První zkoumaný poměr bylo identifikovat, k jaké stanici se vztahuje časově nejvíce prostojů. Autor vyfiltroval data, aby byla zřejmé, které stanice jsou problémové.

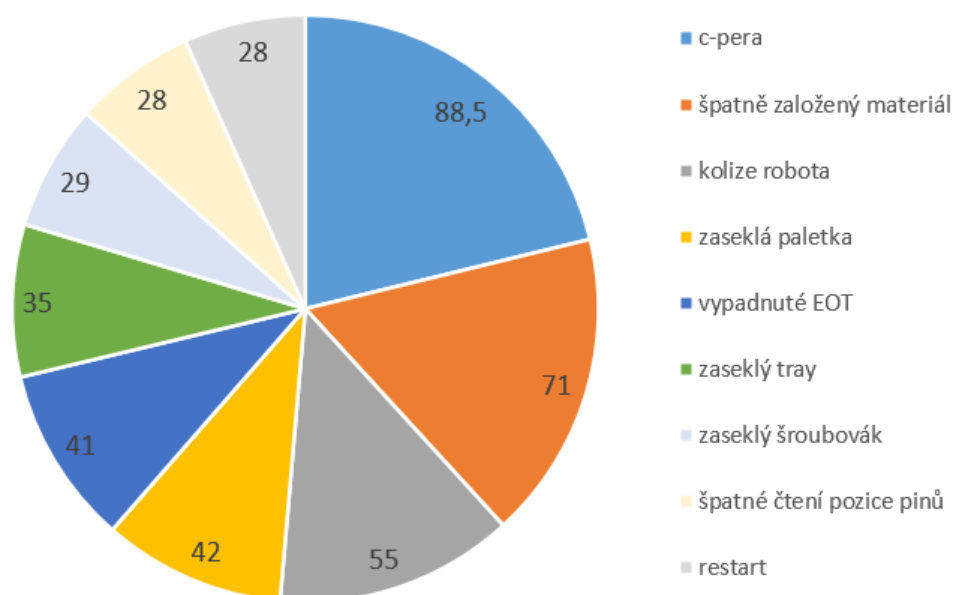
Z obrázku č.12 můžeme vidět, že stanice FA080 je zdrojem časově nejnáročnějších prostojů. Nejvíce prostojů způsobilo vypadávání c-per, jejich zasekávání do dopravníku a občasné kolize robota. První 4 stanice jsou také kvůli vyšší poruchovosti dále analyzovány.



Obrázek 12 Poruchovost výrobních stanic v minutách

(zdroj: vlastní)

Aby bylo možné identifikovat konkrétní prostoje, tak autor odfiltroval data podle samotného typu prostoje. Největším zdrojem chyb a prostojů se bylo špatné zakládání z obalu do paletky. Toto třídění není ovšem přesné, protože tento prostoj se stával na šesti stanicích. Druhý prostoj, tedy zasekávání c-per se ovšem váže pouze ke stanici FA080. Dohromady autor identifikoval 62 typů prostojů. Proto polovina prostojů není pojmenovaná, protože se jedná se o mikroprostoje v délce trvání do 1-2 minut, které je těžké u takto vysoce automatizovaného systému s nízkým cyklovým časem v prvních fázích ladění procesu zachytit a identifikovat. Na obrázku č.13 jsou zobrazeny prostoje dle časové náročnosti.



Obrázek 13 Časová náročnost nejdelších prostojů v minutách

(zdroj: vlastní)

Tato data mohou být ovšem lehce zkreslující, protože problém se zasekáváním dopravníku, nebo kolize robota se stával na více stanicích. Proto autor vytvořil tabulku, kde je možné vidět 17 časově nejnáročnějších prostojů, které se přímo vážou ke konkrétní stanici. Z těchto dat můžeme vidět, že je problematická manipulace s c-pery na stanici FA080. Problémové je také zakládání optických skupin na stanici FA050.

Tabulka 5 Tabulka s časovou náročností prostojů ke konkrétní stanici

Stanice	prostoj (min.)	procento (%)	kumulace (%)
FA080	123,5	14,51%	14,51%
FA030	93	10,93%	25,44%
FA010	92	10,81%	36,25%
FA050	89	10,46%	46,71%
FA130	89	10,46%	57,17%
FA100	82	9,64%	66,80%
FA090	68	7,99%	74,79%
FA070	61,5	7,23%	82,02%
FA120	49	5,76%	87,78%
FA060	39	4,58%	92,36%
FA040	29	3,41%	95,77%
FA110	24	2,82%	98,59%
neurčeno	12	1,41%	100,00%

(zdroj: vlastní)

9.5 Zhodnocení výrobních testů

Protože se jedná o náběhovou fázi linky, tak je potřeba brát v potaz, že se děje mnoho nahodilých jevů a samotný proces není konzistentní. U samotného produktu se může stát, že jednotlivé komponenty mohou mít drobné nepřesnosti, které komplikují montáž modulu. Autor si pro další analýzu zvolil stanice FA010, FA030, FA050 a FA080 z důvodu vyššího výskytu vad a poruch. Největším problémem je montáž c-per na stanici FA080, která je příčinnou zhruba 10 % prostojů. Jedná se o vypadávání c-per z gripperu robota, nebo neschopnosti nacvaknout c-pero na lensholder, což je často způsobeno nekonzistencí vstupního materiálu. Vypadnutí c-per z gripperu robota také může potenciálně zapříčinit zaseknutí c-pera do dopravníku. Chyby jako například vypadnuté EOT, nebo zasekávání šroubováku se podařilo odladit v rámci testovací fáze. V posledních testech se podařilo dosáhnout konzistentní výroby na lince a překročit minimální požadovanou hranici OEE.

10 FMEA ANALÝZA

Jak už bylo zmíněno v teoretické části procesní FMEA se zabývá hodnocením rizik. Výsledná hodnota je číslo RPN, které se skládá ze tří hodnot, a to výskyt, detekce a význam. Tyto hodnoty se mezi sebou násobí a jejich výsledná hodnota je právě číslo RPN. Pokud každé riziko zkoumáme z každého faktoru na stupnici 1-10, tak maximální možné RPN číslo je 1000. Čím vyšší je číslo RPN, tím je chyba závažnější pro chod linky. V rámci FMEA analýzy byla vytvořena tabulka pro zjednodušenou kategorizaci závažnosti jednotlivých faktorů.

První tabulka určuje, jak moc jsou kritické jednotlivé chyby podle čísla RPN.

Tabulka 6 Hodnocení rizik pomocí RPN

Klasifikace rizika		
Hodnota	RPN	Slovní definice závažnosti rizika
101-1000	Vysoké (H)	Chyba je kritická
51-100	Střední (M)	Chyba je středně kritická
1-50	Nízké (L)	Chyba není kritická

(zdroj: vlastní)

První zkoumaný faktor je význam. Velmi nízká závažnost znamená, že vada nemá žádný vliv na výrobu. Číslo 10 znamená pravý opak, tedy, že vliv závady má zásadní dopad na provozuschopnost. Možné je i vznik bezpečnostního rizika pro personál linky, v případě porušení BOZP či jiných předpisů.

Tabulka 7 Hodnocení významu

Kritéria pro hodnocení významu (S) pro proces		
S	Význam	Dopad na výrobu
10	Vysoký	zdravotní/bezpečnostní riziko
9		nedodržení právních předpisů
8	Středně vysoký	znehodnocení celé výroby
7		nutnost roztřídit výrobu
6	Středně nízký	celé upravení produktu mimo linku
5		částečné upravení produktu mimo linku
4		celé upravení produktu na lince
3	Nízký	částečné upravení produktu na lince
2		mírné nepříjemnosti v procesu
1	Velmi nízký	žádný dopad

(zdroj: vlastní)

Druhým faktorem je výskyt vady. Čísla 10 znamenají vysokou četnost vady. Je tedy velice pravděpodobné, že se vady vyskytují během téměř každé směny a nelze ji nijak preventivně eliminovat. Minimum stupnice naopak představuje vysokou nepravděpodobnost vzniku vady. Preventivní opatření v tomto případě dokáže zabránit jakémukoliv vzniku vady.

Tabulka 8: Hodnocení výskytu

Potencionální výskyt pro (O) pro proces		
O	Předpoklad výskytu	Slovní definice výskytu
10	Extrémně vysoký	žádné preventivní opatření
9	Velmi vysoký	preventivní opatření je neefektivní
8		
7	Vysoký	preventivní opatření je středně efektivní
6		
5	Střední	preventivní opatření je efektivní
4		
3	Nízký	preventivní opatření je vysoce efektivní
2	velmi nízký	
1	Extrémně nízký	preventivní opatření je extrémně efektivní

(zdroj: vlastní)

Posledním faktorem pro FMEA analýzu je detekce, tedy jak je pravděpodobné, že vadu jsme schopni detekovat. Na stupnici znamená číslo 1, že je téměř 100 % pravděpodobnost detekce chyby. Lze často použít automatické metody pro detekci chyby. Naopak na opačné straně stupnice je velice těžké chybu vůbec detekovat.

Tabulka 9: Hodnocení detekce (vlastní zpracování)

Potencionální detekce (D) pro proces		
D	Schopnost odhalit vadu	Možnost odhalování
10	Velmi nízká	vadu nelze odhalit
9		vadu lze odhalit s malou pravděpodobností
8	Nízká	kontrola člověkem a ruční měření
7		použití technického zařízení
6	Střední	kontrola člověkem a ruční měření
5		použití technického zařízení
4	Vysoká	automatická metoda odhalování
3		automatická metoda odhalování během výroby
2		automatická metoda pro zabránění příčiny
1	Velmi vysoká	díl s vadou nelze fyzicky vyrobit

(zdroj: vlastní)

10.1 Hodnocení rizik v procesu

10.1.1 FA080 montáž c-per

Na stanici FA080 dochází k fixaci c-per k čočce a lensholderu. C-pera jsou malé kovové díly, které se nacvaknou robotem a slouží pro uchycení čočky k lensholderu.

Na každé stanici začíná proces tím, že přijede paletka na dopravníku a načte se RFID kód. Tím pádem se zamezí tomu, aby se pokračovalo v montáži, kdyby přijel špatný díl. V tomto kroku může nastat chyba v přečtení kódu. V tomto případě by buď nefungovala správně čtečka a bylo by potřeba ji jinak nastavit, nebo opravit. Nápravným opatřením je proškolení seřizovače o možnosti této chyby a zahrnutí kontroly čteček do údržbového plánu. Dalším důvodem může být nečitelný kód na štítku. V tomto případě by bylo potřeba vytvořit nové štítky, nebo upravit světelné podmínky pro to, aby kód bylo možné přečíst.

V následujícím kroku dojde k přitlačení čočky k lensholderu, aby bylo jednodušší nacvaknutí c-per k fixaci čočky. Chybou v tomto procesním kroku může být, že čočka není dostatečně přitlačena. Chyba by mohla vzniknout špatným nastavením parametrů zařízení. Robot poté odebere c-pera a přiloží je k čočce a holderu. Zde jsou 4 scénáře možných chyb. První možností je, že c-pero nebude založeno k holderu. Občas se stane, že vypadne z gripperu robota, špatně se naorientuje pozice c-pera v podavači, nebo samotný robot bude mít špatně nastavené parametry. Nápravná opatření jsou opět zahrnutí kontroly této chyby během preventivní údržby a komplexní kontrola procesů a linky, aby se zkontrolovalo, zda jsou všechny parametry správně nastavené.

Další chybou v tomto procesním kroku je, že c-pero je špatně založené do pozice. V tomto případě může být příčinou špatná tolerance geometrie robota. Zabránit tomu lze komplexní kontrolou linky a kontrolou tohoto problému během preventivní údržby. Další příčinou je špatná pozice c-pera v separátoru. Do stanice se vpravuje materiál pomocí vibračního bubnu, na jehož konci je separátor, kde se napozicují c-pera pro odebrání robotem. V případě jeho nefunkčnosti by se musela udělat jeho úprava.

Třetí chybou v procesu je poškození čočky, které je způsobeno nesprávným nastavením geometrie robota. Chyba nemusí být na první pohled zřejmá, protože se může jednat o drobné oděrky. V samotném procesu linky je stanice FA110, kde operátor provádí dekorativní kontrolu na 100 % produkce. Proces je ovšem kontrolován manuálně, takže existuje riziko, že vada může být přehlédnuta.

Následuje samotné nacvaknutí c-per pomocí robota. C-pero může být špatně upnuto, což může způsobit špatné nastavení robota, nebo senzorů. Může se také stát, že c-pero bude

chybět. Příčinu je potřeba odhalit ještě v předešlých procesech, protože vada je způsobena buď špatným nastavením gripperu robota, nebo podavače. Pokud se chyba bude nadměrně opakovat, tak má smysl uvažovat o novém designu gripperu. C-pera mohou mít také odchylky a poškození. Pro tento vysoce automatizovaný systém může jakékoliv nekonzistence ve vstupním materiálu znehodnotit finální výrobek.

V posledním kroku po upnutí c-per se přesune po dopravníku paletka na následující stanici. Pokud by se porouchal dopravník, tak paletka nepřesune do další pozice. Kontrolu dopravníku je dobré přidat do preventivní údržby.

Tabulka 10 FMEA pro stanici FA080

stanice FA080					
chyba	důvod	výskyt (O)	detekce (D)	závažnost (S)	RPN
kód není přečten	čtečka nefunguje	2	3	4	24
	kód není čitelný	2	2	4	16
čočka není přitlačena na lensholder	špatné nastavení parametrů zařízení	2	3	8	48
c-pero není založeno na čočku/holder	špatná tolerance geometrie gripperu	2	4	10	80
	špatná orientace c-per v separátoru	2	3	6	36
	špatná pozice c-pera v gripperu	2	3	6	36
	špatné nastavení parametrů robota	2	3	8	48
c-pero je přiloženo do špatné pozice	špatná tolerance geometrie gripperu	6	3	10	180
	špatné nastavení pozice v separátoru	2	3	10	60
	nesprávné parametry robota	2	3	10	60
dekorativní poškození čochy	nesprávné parametry robota	2	5	5	50
elektrické poškození chladiče	stanice nesplnila ESD požadavky	2	4	5	40
neprávné nacvaknutí c-pera	robot nefunguje dle požadavků	2	10	5	100
	nesprávně nastavené senzory	2	5	6	60
chybějící c-pero	robot nebo podavač nefungují správně	2	3	10	60
paletka se neposunula na další stanici	zařízení nefunguje podle požadavků	2	2	4	16

(zdroj: vlastní)

10.1.2 FA030 montáž PCBA

Na stanici FA030 začíná proces stejně jako u předešlé stanice. Paletka dojde po dopravníku na pozici, kde dojde k její aretaci. Následně se načte RFID kód přípravku čtečkou a na základě toho pokračuje proces. Pokud by se jednalo o vadný díl, u kterého byl proces přerušen na některé z předchozích stanic, je nutné díl dopravit na konec linky. Při tomto průchodu již dochází pouze k indexaci paletky, ale montážní proces již ve zbytku linky není aktivován. Zde je opět riziko, že čtečka nefunguje nebo RFID kód není čitelný. Pokud by čtečka nefungovala, tak by měl být proces nefunkční. Pokud by tedy nefungovala čtečka, tak by bylo dobré přidat údržbu čteček do plánu preventivní údržby.

Následně robot vezme z paletky PCBA a napozicuje jí ke čtečce. Riziko tohoto kroku je úplně stejné jako v minulém procesním kroku. Čtečka se může rozbít, nebo kód nemusí být čitelný. Předpokládaným nápravným opatřením je vytvoření údržbového plánu a proškolení

seřizovače o možnosti této závady. Dále může být závada, že do stanice je vložen buď špatný materiál, nebo materiál je špatně srovnán v trayi. Robot by měl poté problém odebrat PCBA gripperem. Prevenci této chyby by pomohl poka yoke design traye. Manipulant by nemohl do stanice založit špatný materiál a zároveň by nebylo možné, aby se materiál rozsypal v trayi.

Existuje i možnost, že PCBA by nebylo založeno na přípravek. Pokud by vznikla nějaká nepřesnost, tak by robot se mohl nesprávně napozicovat vůči PCBA a špatně by ho uchopil. PCBA by mohlo vypadnout z gripperu. Pokud by byl špatně odladěný gripper na této stanici, tak by také mohlo dojít od vypadnutí PCBA z gripperu. Může se také stát, že gripper špatně uchopí PCBA a založí ho špatně na chladič. Možností nápravných opatření je více. Lze uvažovat o nové technologii gripperu a použít přísavky na uchycení PCBA k hlavě robota. Kdyby PCBA vypadávalo, tak by šlo přidat kameru, nebo čidlo pro kontrolu přítomnosti. Samotný gripper může být také vyroben z flexibilnějšího materiálu, aby vždy došlo k uchopení PCBA.

V rámci manipulace s PCBA může robot špatně odebrat díl a poškodit ho. PCBA je nejcitlivější díl v celém modulu. Pokud by došlo pouze k lehkému poškození, tak by nebyly splněny normy pro výrobu modulu. V případě, že by se tento jev opakovat často, tak by mělo smysl uvažovat o změně designu gripperu na již zmíněné přísavky. Zároveň by se provedlo testování robota, jestli jeho pohyby os odpovídají požadavkům.

Rizikem této stanice je i elektrické poškození materiálu. Největší riziko zůstává vznik výboje v rámci tření. Proto personál linky musí nosit elektricky uzemněnou obuv a oblečení. Během standardního procesu by se neměl nikdo dotýkat PCBA, protože může dojít k znehodnocení dílu. Opět, pokud by byl poškozen tento díl, tak není možné zkompletovat funkční modul.

V dalším kroku robot napozicuje PCBA k vysavači, kde dojde k jeho očištění. Protože se jedná o jemnou elektroniku, tak je nutné eliminovat mikropach k zajištění správné funkčnosti lepidla. Zde jsou možné 2 typy chyb. Buď PCBA není vůbec očištěno, nebo není dostatečně očištěno. Při vyšším výskytu mikropachu by byl opět smontován nekvalitní modul. Především těmto závadám ofukovacího zařízení lze opět pomoci preventivní údržbou zařízení. V rámci analýzy FMEA dostala závada s nedostatečným prouděním vzduchu vysoké RPN číslo především kvůli špatné detekci vady.

Po očištění PCBA robot přiloží díl na chladič. V předešlé stanici FA020 robot aplikuje na chladič dvousložkové lepidlo. Lepidlo musí být nanášeno ve specifickém tvaru a hmotnosti, aby docházelo k efektnímu odvodu tepla z PCBA. Tady hrozí riziko předčasněho tuhnutí lepidla, kdyby deska plošných spojů nebyla efektivně přichycena na chladič. Toto riziko

ovšem vzniká až kdyby byl proces na lince zastaven na dobu delší než 15 minut. Zamezit by tomu šlo kvalifikačním otestováním stanice s lepidlem. V nanášení lepidla by také mohlo dojít k odchylkám dráhy.

V posledním procesním kroku se paletka přesune po dopravníku na další stanici. Potencionálně může vzniknout závada dopravníku. Proto je potřeba zahrnout kontrolu dopravníku do preventivní údržby.

Tabulka 11 FMEA pro stanici FA030

stanice FA030					
chyba	důvod	výskyt (O)	detekce (D)	závažnost (S)	RPN
kód není přečten	čtečka nefunguje	2	3	4	24
	kód není čitelný	2	2	4	16
kód není přečten	čtečka nefunguje	2	2	4	16
	kód není čitelný	2	2	4	16
robot nemůže odebrat díl	špatná pozice PCBA v trayi	2	3	4	24
PCBA není založeno na přípravek	špatné uchopení PCBA robotem	2	3	10	60
	PCBA vypadlo z gripperu robota	2	2	10	40
	špatná pozice PCBA v trayi	2	3	4	24
PCBA je špatně založeno na přípravek	špatné uchopení PCBA robotem	2	3	10	60
	PCBA vypadlo z gripperu robota	2	2	10	40
Mechanické poškození PCBA	špatné uchopení PCBA robotem	2	3	10	60
	PCBA vypadlo z gripperu robota	2	2	10	40
	PCBA bylo poškozeno gripperem	2	4	10	80
elektrické poškození PCBA	nebyly splněny požadavky na ESD	2	4	10	80
PCBA není předpozicováno	zařízení nefunguje správně	2	4	4	32
PCBA není očištěno	zařízení nefunguje správně	2	5	8	80
	nesprávné nastavení čistícího zařízení	2	5	8	80
PCBA není dostatečně očištěno	průtok vzduchu není dostatečný	2	10	8	160
	čas čištění není dostatečný	2	5	8	80
PCBA není umístěno na přípravek	robot nefunguje správně	2	5	4	40
	špatné nastavení kamery	2	5	4	40
PCBA je špatně umístěno na přípravek	předčasné tuhnutí lepidla	2	4	10	80
	špatné rozmístění lepidla	2	3	10	60
	robot nefunguje správně	2	5	8	80
paletka se neposunula na další stanici	zařízení nefunguje podle požadavků	2	2	4	16

(zdroj: vlastní)

10.1.3 FA010 zakládání chladiče

Stanice FA010 je první stanicí výrobní linky. Proces začíná tak, že operátor odebere z balení chladič, který umístí na otočný stůl. Po založení chladiče zmáčkne tlačítko, zavřou se dvířka a stůl se otočí. První chybou může být, že operátor založí do zásobníku špatný díl. Redukci chybovosti napomůže proškolení manipulanta. Druhou uvažovanou chybou je, že operátor založí nesprávně do pozice chladiče. Proškolením personálu lze opět snížit chybovost. Lze také vytvořit poka yoke řešení, kdy nelze špatně založit díl do pozice. Během špatné manipulace s materiálem je možné, že dojde k mechanickému poškození chladiče.

Následuje krok, kde je načten kód přípravku. Poté robot odebere z otočného stolu chladič a založí ho do paletky. Zde může nastat situace, že se robot v rámci opotřebení vychýlí z os pohybu. Gripper také v rámci opotřebení se může vychýlit od požadovaných hodnot. Toto riziko lze ovšem eliminovat pomocí preventivní údržby.

Na této stanici se také po dopravníku vrací zpět paletka s chladičem, na kterém je již umístěné PCBA přichycené lepidlem. Operátor založí carrier frame na paletku. Na další stanici robot přesně umístí carrier frame na přípravek. Opět existuje riziko, že manipulant založí špatnou bednu s materiálem do stanice. Relevantní řešení použití vizualizace a tvorba návodek. Operátor může mechanicky a elektricky poškodit PCBA. Poškozen také může být samotný carrier frame. To je zapříčiněno buď operátorem, který založí špatně do pozice samotný díl nebo založí špatný díl. Lze tomu zapříčinit přidáním čtečky pro vstupní materiál a kamery pro kontroly pozice dílu. Pak se načte kód RFID na přípravku. Pokud se nenačte kód, tak výroba je zastavena pomocí dat z MES systému. Po úspěšném načtení kódu se přesune paletka na další stanici.

Tabulka 12: FMEA pro stanici FA010

stanice FA010					
chyba	důvod	výskyt (O)	detekce (D)	závažnost (S)	RPN
je založen špatný díl	chyba manipulanta	2	3	4	24
díl je špatně založen	chyba operátora	2	3	6	36
mechanické poškození dílu	chyba operátora	2	4	8	64
kód nelze přečíst	čtečka nefunguje	2	4	8	64
	špatné nastavení čtečky	2	5	4	40
	kód není čitelný	2	3	4	24
špatné napozicování na paletku	špatná pozice gripperu	3	3	4	36
	špatná tolerance geometrie gripperu	3	3	6	54
	špatně nastavený senzor	2	5	4	40
mechanické poškození gripperem	špatná tolerance geometrie gripperu	2	3	4	24
špatná varianta carrier framu	založený špatný tray carrier framu	2	2	5	20
mechanické poškození PCB carrier framu	PCB bylo poškozeno operátorem	2	3	10	60
	špatný díl na paletce	2	2	6	24
mechanické poškození carrier framu	špatná pozice carrier framu	2	2	6	24
	špatný díl na paletce	2	2	4	16
elektrické poškození PCB	nebyly splněny požadavky na ESD	2	4	8	64
kód není přečten	čtečka nefunguje	2	3	4	24
	kód není čitelný	2	3	4	24
paletka se neposunula na další stanici	zařízení nefunguje podle požadavků	2	2	4	16

(zdroj: vlastní)

10.1.4 FA050 zakládání optických skupin

Na stanici FA050 se zakládá na přípravek zkompleťovaná primární optika. Přípravek v této fázi se skládá z chladiče a nalepeného PCBA. Paletka opět přijede do pozice, kde se načte RFID kód přípravku. Poté robot odebere optickou skupinu a načte kód skupiny. Existuje možnost, že čtečka nebude moct přečíst kód dílu, protože operátor založí špatný materiál do

linky. V tomto případě je dobré proškolit manipulanta a vytvořit poka yoke řešení, aby se materiál nezamíchal.

Před načtením kódu musí robot odebrat gripperem díl. Pokud robot nefunguje podle požadavků, tak mohou být špatně nastavené jeho senzory. Může být opět problém i samotné konstrukci gripperu. Nápravná opatření pro tyto situace jsou návrh nové konstrukce gripperu. Pokud nebudou fungovat podle požadavků senzory na gripperu, tak je lze nahradit kamerou pro přesnější hledání pozice dílu.

Po načtení RFID kódu je optická skupina očištěna. Není-li správně očištěna, tak je to ze dvou důvodů. Zařízení buď nefunguje, čemuž lze zabránit v rámci preventivní údržby. Druhá možnost je, že průtok vzduchu, který čistí mikropach na optické skupině, není dostatečný, nebo samotný časový interval není dostatečně dlouhý. Předějit se tomuto problému dá pomocí zahrnutí kontroly v rámci údržbového plánu.

Následně robot umístí optickou skupinu do paletky. Nelze vyloučit riziko, že optická skupina nebude založena správně. Špatně nahráný může být samotný program, nebo definovaná trajektorie seřizovače. V tomto případě je dobré zkontrolovat vzorky optických skupin, jestli jsou správně zkompletované.

Samotný gripper může poškodit optickou skupinu při špatném úchopu. Je potřeba zvážit, jestli má smysl zvolit nový design gripperu. Optická skupina může být poškozena také elektrostatickým výbojem. Je důležité prověřit i tento krok během ESD auditu. Po skončení procesu se paletka po dopravníku opět přesune na vedlejší stanici.

Tabulka 13 FMEA pro stanici FA050

stanice FA050					
chyba	důvod	výskyt (O)	detekce (D)	závažnost (S)	RPN
kód není přečten	čtečka nefunguje	2	3	4	24
	kód není čitelný	2	2	4	16
verze optické skupiny není zkontrolována	robot nefunguje správně	2	3	10	60
	čtečka nefunguje	2	4	6	48
robot nemůže odebrat optickou skupinu	robot nefunguje správně	2	3	10	60
	nesprávné nastavení senzoru robota	2	4	10	80
verze optické skupiny není správná	zamíchaná silikonová optika	1	3	10	30
silikonový díl není očištěn	zařízení nefunguje správně	2	5	10	100
	nesprávná funkčnost a nastavení zařízení	2	5	8	80
silikonový díl není dostatečně očištěn	průtok vzduchu není dostatečný	2	5	8	80
	čas čištění není dostatečný	2	4	8	64
optická skupina není umístěna správně	špatně nahráný program	2	3	6	36
	špatně definovaná trajektorie robota	2	3	6	36
poškození optické skupiny gripperem	robot nefunguje správně	2	2	4	16
paletka se neposunula na další stanici	zařízení nefunguje podle požadavků	2	2	4	16

(zdroj: vlastní)

10.2 Zhodnocení FMEA analýzy

Na základě provedené analýzy FMEA bylo identifikováno několik klíčových rizikových faktorů, které mohou negativně ovlivnit kvalitu a efektivitu výrobního procesu. Nejvýznamnější identifikované chyby souvisí se stanicí FA080. Technické prostoje této stanice spočívají v samotném konstrukčním řešení linky. Jedná se o c-pera. To jsou malé kovové spony, které se do linky vpraví pomocí vibračních bubnů. Z bubnu vyjede c-pero do lišty, kde se na pozicuje do odebírací pozice.

Tyto pozice jsou dvě. Z hlediska cyklu linky jsou na stanici 2 roboti, kteří upnou 3 c-pera. Robot odebere gripperem z připravené pozice c-pero a přiloží ho do pozice na lensholderu a čočce. Robot poté přicvakne c-pero a tím upne čočku s holderem. Problém tohoto dílu spočívá v tom, že často vypadává z pozice. Ať už z pozice podavače, nebo z gripperu a z pozice na holderu. To zapříčiní nekompletní modul. Vysoké RPN číslo dostala tato chyba pro její význam.

To, že c-pero vypadne z pozice může zapříčinit zaseknutí dopravníku. Tento typ prostoje potencionálně může trvat několik minut, protože je nutné vyjmout c-sponu ručně z dopravníku. Každá stanice je opatřena světelnou signalizací, takže téměř okamžitě upozorní seřizovače na prostoj. Vydělání zaseklého c-pera trvá zhruba 2 minuty. Tento prostoj je poměrně častý, takže díky svojí četnosti se jedná o celkový časově nejnáročnější prostoj.

Vysoké RPN číslo se vyskytovalo i při stanici FA030, konkrétně v procesním kroku pro očištění PCBA. Může se to stát buď, protože proud vzduchu není dostatečně silný, nebo protože PCBA není dostatečně dlouho přiloženo u ofukovacího zařízení. Vysoké RPN číslo vzniklo na základě toho, že by bylo těžké detekovat původ chyby.

Na stanici FA050 je podobná situace ohledně silikonové optické skupiny, která se před následnou montáží očistí. Pokud by ofukovací zařízení nefungovalo správně, tak by bylo opět poměrně těžké najít chybu.

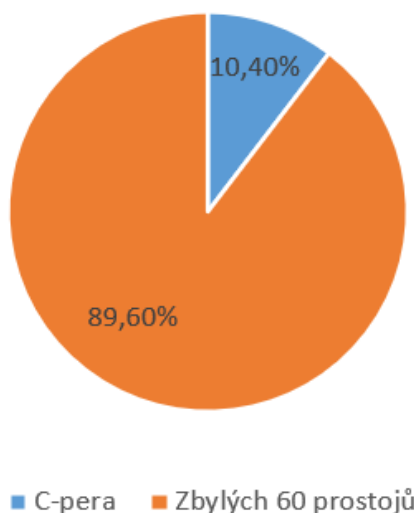
Vyšší RPN čísla získalo i ESD, kvůli riziku vzniku elektrického výboje. V praxi je ovšem tento krok ošetřen a linka musí splnit ESD audit před přechodem do sériové výroby, proto je toto riziko velice nepravděpodobné.

11 SHRNU TÍ ANALYTICKÉ ČÁSTI

Na základě sledovaného OEE v testovací fázi došel autor k závěru, že nízké hodnoty OEE pochází především z:

- Vysoká četnost technických prostojů.
- Nesprávné nastavení výrobních parametrů.
- Zmetkovitost způsobená nedostatečnou kalibrací výrobních zařízení.

Poslední dva problémy jsou ovšem jevy, které nelze úplně eliminovat v rámci testovací fáze. Nejproblematičtější místem výrobního procesu byla stanice FA080, která souvisí s montáží c-per pro fixaci čočky. Na této stanici docházelo k častým prostojům, které významně ovlivňovaly celkovou dostupnost zařízení. Jak lze vidět na obrázku č.14, tak problém s nacvakáváním c-per je příčinou 10,4 % prostojů. Potencionálně k tomuto číslu můžeme připočítat další prostoje, které souvisí se zasekáváním c-pera v dopravníku. Z celkových 851 minut tvoří problém s c-pery 88,5 minuty.



Obrázek 14 Porovnání chyb c-per s ostatními prostoji
(zdroj: vlastní)

Dalším významným faktorem byla nekonzistence výkonu na jednotlivých pracovních stanicích, což vedlo ke vzniku úzkých míst ve výrobním procesu. Prostoje na většině stanicích ovšem vznikly jako chyby, které se pojí s testovací fází.

Výsledky FMEA analýzy ukázaly, že největší hodnoty RPN byly zaznamenány u chyb souvisejících opět s montáží c-per. Dále se vyšší RPN číslo vyskytovalo u stanic, kde se díly ofukují proudem vzduchu. Vyšších hodnot se dosahovalo především kvůli špatné detekci vady.

FMEA ovšem také ukázala, že nejvyššího průměrného RPN čísla dosahuje také stanice FA080. Výsledky analýzy byly poměrně vyrovnané, ale opět největším rizikem zůstávají problémy spojené s montáží c-per. V tabulce č.14 jsou obsaženy všechny možnosti potencionálních chyb pro montáž c-per. Všechny z nich překračují zelený rozptyl pro FMEA analýzu.

Tabulka 14 FMEA analýza stanice FA080 pro chyby s montáží c-pera

FA080					
chyba	důvod	výskyt (O)	detekce (D)	závažnost (S)	RPN
c-pero není založeno na čožku/holder	špatná pozice c-pera v gripperu	2	3	6	36
	špatné nastavení parametrů robota	2	3	8	48
c-pero je přiloženo do špatné pozice	špatná tolerance geometrie gripperu	6	3	10	180
	špatné nastavení pozice v separátoru	2	3	10	60
	nesprávné parametry robota	2	3	10	60
neprávné nacvaknutí c-pera	robot nefunguje dle požadavků	2	10	5	100
	nesprávně nastavené senzory	2	5	6	60
chybějící c-pero	podavač nefunguje správně	2	3	10	60

(zdroj: vlastní)

11.1 Návrhy na zlepšení linky

Na základě získaných poznatků byla navržena následující opatření ke zvýšení efektivity linky a snížení zmetkovitosti:

- Zavedení pravidelného monitorování kritických komponent. V tomto případě stanice pro montáž c-per, aby bylo možné identifikovat a eliminovat potenciální poruchy.
- Implementace systémů prediktivní údržby s využitím dat z MES systému.
- Zavedení pravidelné validace výrobních parametrů s využitím kamerových systémů a senzorů.
- Snížení prostojů a zvýšení dostupnosti zařízení.
- Implementace vizuálního managementu pro rychlejší detekci problémů a efektivnější řešení poruch.
- Lepší koordinace mezi operátory a údržbou, aby bylo možné minimalizovat dobu potřebnou pro opravy a úpravy linky.
- Zlepšení kontroly kvality.
- Zavedení pokročilé analýzy dat pro identifikaci vzorců vzniku vad a jejich eliminaci.
- Simulační tréninky na kritických stanicích, kde je nejvyšší pravděpodobnost vzniku chyb.

Prováděná analýza ukázala, že hlavní výzvy v náběhové fázi linky souvisí s technickými postoji, nastavováním parametrů a kvalitou výroby. Implementace navržených opatření by měla vést ke zvýšení celkové efektivity linky, snížení výskytu vadných výrobků a optimalizaci celkového výrobního procesu. Průběžné sledování OEE a dodržování návrhů FMEA by mělo umožnit zlepšení výrobních výsledků.

Autor pro problémy se stanicí FA080 pro montáž c-per doporučuje jiné konstrukční řešení pro uchycení čočky. Například některé výrobní linky využívají koncept nacvaknutí čočky, kde se čočka protlačí skrz lensholder. Lensholder musí být přizpůsoben tomuto procesnímu kroku, aby čočka byla řádně upevněna. Je důležité podotknout, že tento návrh nemusí být efektivní pro linku, která kombinuje výrobu několika druhů modulu.

ZÁVĚR

V této práci byla analyzována efektivita montážní linky ve společnosti HELLA AUTOTECHNIK NOVA s.r.o. za využití ukazatele OEE a FMEA analýzy. Cílem bylo identifikovat hlavní problémové oblasti, které ovlivňují výkon linky, a navrhnout opatření ke zvýšení produktivity a snížení zmetkovitosti.

Analýza ukazatele OEE odhalila několik klíčových faktorů snižujících efektivitu linky, mezi které patří časté technické prostoje, nesprávné nastavení výrobních parametrů a vysoká zmetkovitost způsobená nedostatečnou kalibrací zařízení. FMEA analýza pak poukázala na nejkritičtější body procesu s vysokým rizikem výskytu chyb, zejména v oblasti manipulace s materiálem, detekce vadných komponent a lidských chyb při manuálních operacích.

Na základě těchto zjištění byla navržena konkrétní opatření ke zlepšení, včetně optimalizace preventivní údržby, automatizace kalibračních sekvencí, implementace vizuálního managementu, zlepšení kontroly kvality a pravidelného školení operátorů. Zavedení těchto opatření by mělo vést k vyšší stabilitě a efektivitě výrobního procesu, snížení prostojů a zlepšení kvality finálních produktů.

Celkově lze říci, že systematické sledování OEE a pravidelné provádění FMEA analýzy umožní nejen udržení dosažených výsledků, ale i jejich další zlepšování. Tímto způsobem se podaří zvýšit konkurenceschopnost společnosti a zajistit vyšší spolehlivost a kvalitu výroby.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

3M: *Muda, Mura, Muri.* Online. 2025. Dostupní z: <https://www.creativesafetysupply.com/glossary/muri-muda-mura/>. [cit. 2025-03-30].

ALTMAN, Harry, 2017. *Lean: this book includes Lean Six Sigma, Lean startup, Lean enterprise, Lean analytics, Agile project management, Kanban, Scrum.* CreateSpace Independent Publishing Platform. ISBN 9781978348684.

ARTZBERGER, Bill, 2024. *Powering the lean enterprise: how to streamline operations, improve quality, and gain customer loyalty.* Online, PDF. New York, NY: Routledge, Taylor & Francis Group. ISBN 9781003507420. Dostupné z: <https://doi.org/9781040131367>. [cit. 2024-10-24].

BAUER, Miroslav, 2012. *Kaizen: cesta ke štíhlé a flexibilní firmě.* Brno: BizBooks. ISBN 978-80-265-0029-2.

BRAU, Sebastian J., 2016. *Lean manufacturing 4.0: the technological evolution of lean : practical guide on the correct use of technology in lean projects Kanban, 5S, TPM, Kaizen, VSM, 6Sigma, SMED OEE, Hoshin Kanri, Gemba, JIT, TPS, PDCA...* Boca Raton: American Lean SD. ISBN 9781539322948.

Calculate OEE. 2025 Online. Dostupné z: <https://www.oee.com/calculating-oee/>. [cit. 2025-02-05].

CHROMJAKOVÁ, Felicity; TUČEK, David a BOBÁK, Roman, 2017. *Projektování výrobních procesů pro Průmysl 4.0.* Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. ISBN 9788074546808.

Deming The Man, 2025. Online. The Deming Institute. Dostupné z: https://deming.org/deming-the-man/?_cf_chl=tk=6c.AZVZnGFpCHaB5Brh2Mbi5x79B2Vrq43aQA8MKDJw-1735810501-1.0.1.1-X.RSv4sxt78XmEEyE5n1sCoDx8JewTH6WsBRtm4Xq44. [cit. 2024-10-13].

GARCÍA-ALCARAZ, Jorge Luis; OROPESA-VENTO, Midiala a MALDONADO-MACÍAS, Aidé Aracely, 2017. *Kaizen planning, implementing and controlling. Management and industrial engineering,* Online, PDF. Cham: Springer. Dostupné z: <https://doi.org/9783319477473>. [cit. 2024-11-19].

GREEN, Philip E. J., 2016. *Enterprise risk management: a common framework for the entire organization*, Online, PDF. Oxford: Elsevier. ISBN 9780128006764. Dostupné z: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&AN=1051256&authtype=ip,shib&custid=s3936755>. [cit. 2024-11-25].

GROSS, John M. a MCINNIS, Kenneth R., 2003. *Kanban made simple: demystifying and applying Toyota's legendary manufacturing process*. Online, PDF. New York: AMACOM. ISBN 0814427111. Dostupné z: <https://proxy.k.utb.cz/login?url=https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpKMSDATL1/kanban-made-simple?kpromoter=marc>. [cit. 2024-11-30].

JUROVÁ, Marie, 2016. *Výrobní a logistické procesy v podnikání*. Expert. Praha: Grada Publishing. ISBN 9788024757179.

KLETTI, Jürgen, 2007. *Manufacturing execution systems – MES*. Berlin: Springer. ISBN 978-3-540-49743-1.

KRULIŠ, Jiří, 2011. *Jak vítězit nad riziky: aktivní management rizik – nástroj řízení úspěšných firem*. Praha: Linde. ISBN 978-80-7201-835-2.

NARAYAN, V., 2012. *Effective Maintenance Management: risk and reliability strategies for optimizing performance*. Online, PDF. 2nd ed. New York: Industrial Press. Dostupné z: <https://proxy.k.utb.cz/login?url=https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpEMMRRS01/effective-maintenance-management?kpromoter=marc>. [cit. 2024-11-30].

NATARAJAN, Dhanasekharan, 2017. *ISO 9001 quality management systems. Management and industrial engineering*. Cham, Switzerland: Springer. Dostupné z: <https://doi.org/9783319543833>. [cit. 2024-12-08].

NENADÁL, Jaroslav, 2018. *Management kvality pro 21. století*. Praha: Management Press. ISBN 9788072615612.

PARMENTER, David, 2010. *Key performance indicators: developing, implementing, and using winning KPIs*. 2nd edition. Hoboken, N.J.: John Wiley. ISBN 9780470545157.

PASCAL, Dennis, 2016. *Lean production simplified: a plain-language guide to the world's most powerful production system*. Third edition. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group. ISBN 9781498708876.

PATERMANN, Jiří, 2022. *Lean dílenské řízení: je čas změnit vaši dílnu : začněme teď!*. Praha: Grada. ISBN 978-80-271-3534-9.

- RAM, Mangey a DAVIM, J. P., 2018. *Modeling and simulation in industrial engineering. Management and industrial engineering*. Cham: Springer. ISBN 978-3-319-60431-2.
- ROMERO, D., GAIARDELLI, P., POWELL, D., WUEST, T., THÜRER, M., 2019. *Digital Lean Cyber-Physical Production Systems: The Emergence of Digital Lean Manufacturing and the Significance of Digital Waste*. Springer, Online, PDF. Cham. ISBN 978-3-319-99704-9. Dostupné z: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-99704-9_2. [cit. 2024-11-26].
- STAMATIS, D. H., 2019. *Risk management using failure mode and effect analysis (FMEA)*. Online, PDF. Second edition. Milwaukee, Wisconsin: ASQ Quality Press. ISBN 9781951058692.
- TARANTINO, Anthony, 2022. *Smart manufacturing: the lean six sigma way*. Online. Hoboken, New Jersey: John Wiley. Dostupné z: <https://doi.org/9781119846642>. [cit. 2024-10-19].
- USTUNDAG, Alp a CEVIKCAN, Emre. 2018. *Industry 4.0: managing the digital transformation*. Cham, Switzerland: Springer. ISBN 9783319578699.
- VOJÁČEK, Antonín, 2019. *OEE = celková efektivnost zařízení a výroby*. Online. 2019. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/oee-celkova-efektivnost-zarizeni-a-vyroby.html> [cit. 2025-01-29].
- What is ERP?*. 2025. Online. Dostupné z: <https://www.oracle.com/erp/what-is-erp/> [cit. 2024-12-27].
- What is MES?*. 2025. Online. Dostupné z: <https://www.sap.com/products/scm/execution-mes/what-is-mes.html>. [cit. 2025-02-08].
- WOLNIAK, Radosław, 2024. *The usage of Poka-Yoka in industry 4.0 conditions*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Online. PDF. Dostupné z: <https://managementpapers.polsl.pl/wp-content/uploads/2024/02/191-Wolniak-1.pdf>. [cit. 2025-03-19].
- WRIGHT, Christopher, 2017. *Fundamentals of Assurance for Lean Projects*. Ely: IT Governance Publishing, Online. ISBN 9781849288996.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 PDCA cyklus	18
Obrázek 2 Části filozofie 5S	20
Obrázek 3 8 druhů plýtvání.....	25
Obrázek 4 ESD oblečení společnosti HELLA	40
Obrázek 5 Světelný modul Škoda Kodiaq	42
Obrázek 6 Rozpad světelného modulu Škoda Kodiaq.....	43
Obrázek 7 Procesní mapa výrobní linky	45
Obrázek 8 Vývoj kvality skrz jednotlivé výrobní testy	50
Obrázek 9 Vývoj výkonu skrz jednotlivé výrobní testy	51
Obrázek 10 Vývoj dostupnosti skrz jednotlivé výrobní testy	51
Obrázek 11 Vývoj OEE skrz jednotlivé výrobní testy.....	52
Obrázek 12 Poruchovost výrobních stanic v minutách.....	54
Obrázek 13 Časová náročnost nejdelších prostojů v minutách.....	55
Obrázek 14 Porovnání chyb c-per s ostatními prostoji	66

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Nasbírané hodnoty z testů.....	48
Tabulka 2 Výrobní metriky z testů	49
Tabulka 3 Tabulka s prostoji v minutách.....	53
Tabulka 4 Kontingenční tabulka s prostoji v minutách	53
Tabulka 5 Tabulka s časovou náročností prostoje ke konkrétní stanici	55
Tabulka 6 Hodnocení rizik pomocí RPN.....	57
Tabulka 7 Hodnocení významu	57
Tabulka 8 Hodnocení výskytu	58
Tabulka 9 Hodnocení detekce.....	58
Tabulka 10 FMEA pro stanici FA080	60
Tabulka 11 FMEA pro stanici FA030	62
Tabulka 12 FMEA pro stanici FA010	63
Tabulka 13 FMEA pro stanici FA050	64
Tabulka 14 FMEA analýza stanice FA080 pro chyby s montáží c-pera	67

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CEZ	Celková Efektivita Zařízení
ESD	Electrostatic discharge/ Elektrostatický výboj
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis/ Analýza možného výskytu a vlivu vad
LED	Varianta světelného modulu
MES	Manufacturing Execution Systém/ Výrobní informační systém
OEE	Overall Equipment Effectiveness/ Celková Efektivita Zařízení
PCBA	Printed Circuit Board Assembly/ Deska plošných spojů
PLC	Programovatelný logický automat

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: FMEA pro stanici FA010

Příloha P II: FMEA pro stanici FA030

Příloha P III: FMEA pro stanici FA050

Příloha P IV: FMEA pro stanici FA080

PŘÍLOHA P I: FMEA PRO STANICI FA010

stanice FA010							
procesní krok	chyba	důvod	následek	nápravné opatření	výskyt (I)	detekce (I)	závažnost (S)
špatné napojování na karusel	je založen špatný díl	chyba manipulanta	výroba není splněna v požadované kvalitě a čase	proškolení manipulanta	2	3	4
špatné napojování na karusel	díl je špatně založen	chyba operátora	výroba není splněna v požadované kvalitě a čase	poka yoke řešení	2	3	6
špatné napojování na karusel	mechanické poškození dílu	chyba operátora	nesplnění požadavků zákazníka v LB nebo HB	proškolení operátora	2	4	8
přičtení kódu na chladíči	kód nelze přičíst	čtečka nefunguje	výroba není splněna v požadované kvalitě a čase	vytvoření údržbového plánu	2	4	8
		špatné nastavení čtečky	výroba není splněna v požadované kvalitě a čase	vytvoření údržbového plánu	2	5	4
		kód není čitelný	výroba není splněna v požadované kvalitě a čase	výroba je zastavena MES systémem	2	3	4
požicování chladíče z karuselu na paletku	špatné napojování na paletku	špatná pozice gripperu	výroba není splněna v požadované kvalitě a čase	nastavení gripperu	3	3	4
		špatná tolerance geometrie gripper	vzniknul scrap v rámci výroby	senzory v gripperu - detekce pozice	3	3	6
		špatně nastavený senzor	výroba není splněna v požadované kvalitě a čase	vytvoření údržbového plánu	2	5	4
požicování chladíče z karuselu na paletku	mechanické poškození gripperem	špatná tolerance geometrie gripperu	výroba není splněna v požadované kvalitě a čase	seřízení gripperu	2	3	4
			vzniknul scrap v rámci výroby	vytvoření údržbového plánu			
umístění carrier framu na paletku	špatná varianta carrier framu	založený špatný tray carrier framu	výroba není splněna v požadované kvalitě a čase	poka yoke řešení	2	2	5
umístění carrier framu na paletku	mechanické poškození PCB carrier framu	PCB bylo poškozeno operátorem	LB není funkční	proškolení operátora	2	3	10
		špatný díl na paletce	LB se vyplně	vytvoření údržbového plánu	2	2	6
			elektrické vlastnosti LB a HB nejsou požadované	poka yoke řešení			
			výroba není splněna v požadované kvalitě a čase				
			vzniknul scrap v rámci výroby				
umístění carrier framu na paletku	mechanické poškození carrier framu	špatná pozice carrier framu	elektrické vlastnosti LB a HB nejsou požadované	vytvoření údržbového plánu	2	2	6
		špatný díl na paletce	nesplnění požadavků zákazníka v LB nebo HB	přidat čtečku pro vstupní materiál	2	2	4
			výroba není splněna v požadované kvalitě a čase				
			vzniknul scrap v rámci výroby				
umístění carrier framu na paletku	elektrické poškození PCB	nabyly splněny požadavky na ESD	elektrické vlastnosti LB a HB nejsou požadované	vytvoření údržbového plánu	2	4	8
			nesplnění požadavků zákazníka v LB nebo HB	proškolení operátora a seřizovače			
			výroba není splněna v požadované kvalitě a čase	ESD audit			
			vzniknul scrap v rámci výroby				
načtení RFID kódu na přípravku	kód není přičten	čtečka nefunguje	výroba není splněna v požadované kvalitě a čase	vytvoření údržbového plánu	2	3	4
		kód není čitelný	výroba je zastavena MES systémem		2	3	4
paletka se posune na další stanici	paletka se neposunula na další stanici	zařízení nefunguje podle požadavků	výroba není splněna v požadované kvalitě a čase	vytvoření údržbového plánu	2	2	4

(zdroj: vlastní)

PŘÍLOHA P II: FMEA PRO STANICI FA030

proces		stanice FA030				návrhové opatření			
proces	chyba	důvod	následek				výskyt (O)	detekce (D)	závažnost (S)
načtení RFID kódu na přípravku	kód není přečten	čtečka nefunguje	výroba není splněna v požadované kvalitě a čase			proces je zastaven přes data z MES systému	2	3	4
		kód není čitelný				vyvoření údržbového plánu	2	2	4
načtení kódu PCB a napozicování	kód není přečten	čtečka nefunguje	výroba není splněna v požadované kvalitě a čase			proškolení seřizovače	2	2	4
		kód není čitelný				vyvoření údržbového plánu	2	2	4
načtení kódu PCB a napozicování	robot nemůže odebrat díl	špatná pozice PCB a v traví	výroba není splněna v požadované kvalitě a čase			vyvoření údržbového plánu	2	3	4
načtení kódu PCB a napozicování	PCBA není založeno na přípravku	špatné uchopení PCB a robotem	výroba není splněna v požadované kvalitě a čase			vyvoření údržbového plánu	2	3	10
		PCBA vypadlo z gripperu robota	vzniknul scrap v rámci výroby			použití přísavek pro uchopení	2	2	10
		špatná pozice PCB a v traví				přidání senzoru pro kontrolu	2	3	4
načtení kódu PCB a napozicování	PCBA je špatně založeno na přípravku	špatné uchopení PCB a robotem	výroba není splněna v požadované kvalitě a čase			použití flexibilnějšího materiálu pro gripper	2	3	10
		PCBA vypadlo z gripperu robota	vzniknul scrap v rámci výroby			vyvoření údržbového plánu	2	2	10
načtení kódu PCB a napozicování	Mechanické poškození PCB a	špatné uchopení PCB a robotem	elektrické vlastnosti LB a HB nejsou požadované			nastavení pozice gripperu a palety	2	3	10
		PCBA vypadlo z gripperu robota	nespĺnění požadavků zákazníka v LB nebo HB			použití přísavek pro uchopení	2	2	10
		PCBA bylo poškozeno gripperem	výroba není splněna v požadované kvalitě a čase			použití pružného materiálu pro gripper	2	4	10
			vzniknul scrap v rámci výroby			test trajektorie a os			
načtení kódu PCB a napozicování	elektrické poškození PCB a	nabylý splněn požadavky na ESD	elektrické vlastnosti LB a HB nejsou požadované			ESD audit	2	4	10
			nespĺnění požadavků zákazníka v LB nebo HB			vyvoření údržbového plánu			
			výroba není splněna v požadované kvalitě a čase			EOT test			
			vzniknul scrap v rámci výroby						
přidopozicování PCB a	PCBA není přidopozicováno	zařízení nefunguje správně	výroba není splněna v požadované kvalitě a čase			seřízení robota	2	4	4
očštění PCB a	PCBA není očistěno	zařízení nefunguje správně	elektrické vlastnosti LB a HB nejsou požadované			vyvoření údržbového plánu	2	5	8
		nepřávné nastavení čistícího zařízení	nespĺnění požadavků zákazníka v LB nebo HB			proškolení seřizovače	2	5	8
			výroba není splněna v požadované kvalitě a čase			kontrola ionizačního zařízení			
			vzniknul scrap v rámci výroby						
očštění PCB a	PCBA není dostatečně očistěno	přítok vzduchu není dostatečný	elektrické vlastnosti LB a HB nejsou požadované			definovat ve specifikaci toleranci pro mikropřítok	2	10	8
		čas čistění není dostatečný	nespĺnění požadavků zákazníka v LB nebo HB			zadržet do údržbového plánu	2	5	8
			výroba není splněna v požadované kvalitě a čase			kontrola ionizačního zařízení			
			vzniknul scrap v rámci výroby						
napozicování PCB a na přípravku	PCBA není umístěno na přípravku	robot nefunguje správně	výroba není splněna v požadované kvalitě a čase			získat informace od dodavatele o údržbě	2	5	4
		špatné nastavení kamery				proškolení seřizovače	2	5	4
napozicování PCB a na přípravku	PCBA je špatně umístěno na přípravku	špatné rozmiřštění lepidla	elektrické vlastnosti LB a HB nejsou požadované			vyvoření kvalifikačních testů pro lepidlo	2	4	10
		robot nefunguje správně	nespĺnění požadavků zákazníka v LB nebo HB			přidání kamery pro kontrolu trajektorie	2	3	10
			výroba není splněna v požadované kvalitě a čase			přeměřování zařízení	2	5	8
			vzniknul scrap v rámci výroby			preventivní údržba			
paleta se posune na další stanici	paleta se neposunula na další stanici	zařízení nefunguje podle požadavků	výroba není splněna v požadované kvalitě a čase			vyvoření údržbového plánu	2	2	4

(zdroj: vlastní)

PŘÍLOHA P III: FMEA PRO STANICI FA050

[illegible]

(zdroj: vlastní)

PŘÍLOHA P IV: FMEA PRO STANICI FA080

proces		stanice FA080						
	chyba	důvod	následek	návravné opatření	výšvt (O)	detekce (D)	závažnost (S)	
nacetení RFID kódu na přípravku	kód není přičten	čtečka nefunguje	výroba není splněna v požadované kvalitě a čase	vytvoření údržbového plánu	2	3	3	4
	kód není čitelný			proškolení seřizovače	2	2	2	4
přítlačení čochy na lensholder	čochka není přítlačena na lensholder	špatné nastavení parametrů zařízení	elektrické vlastnosti LB a HB nejsou požadované	vytvoření údržbového plánu	2	3	3	8
			nespříšení požadavků zákazníka v LB nebo HB	proškolení seřizovače				
			výroba není splněna v požadované kvalitě a čase	ujistit se, že downholder je správně nastavený				
			vzniknul scrap v rámci výroby					
odebrání 2x c-per a přiloženo k čočce/holderu	c-pero není založeno na čočku/holder	špatná tolerance geometrie gripperu	poškození LB vlastností modulu	vytvoření údržbového plánu	2	4	4	10
		špatná orientace c-per v separátoru	výroba není splněna v požadované kvalitě a čase	proškolení seřizovače	2	3	3	6
		špatná police c-pera v gripperu	vzniknul scrap v rámci výroby	komplexní kontrola procesů linky a produktu	2	3	3	6
		špatné nastavení parametrů robota		nastavení police gripperu a paletky	2	3	3	8
odebrání 2x c-per a přiloženo k čočce/holderu	c-pero je přiloženo do špatné police	špatná tolerance geometrie gripperu	elektrické vlastnosti LB a HB nejsou požadované	úprava výročního podavače	6	3	3	10
		špatné nastavení police v separátoru	nespříšení požadavků zákazníka v LB nebo HB	proškolení seřizovače	2	2	3	10
		nesprávné parametry robota	výroba není splněna v požadované kvalitě a čase	vytvoření údržbového plánu	2	3	3	10
			vzniknul scrap v rámci výroby	komplexní kontrola procesů linky a produktu				
odebrání 2x c-per a přiloženo k čočce/holderu	dekorativní poškození čočky	nesprávné parametry robota	výroba není splněna v požadované kvalitě a čase	dekorativní kontrola	2	5	5	5
			vzniknul scrap v rámci výroby					
odebrání 2x c-per a přiloženo k čočce/holderu	elektrické poškození chladíče	stanice nespílnila ESD požadavky	elektrické vlastnosti LB a HB nejsou požadované	komplexní kontrola procesů linky a produktu	2	4	4	5
			nespříšení požadavků zákazníka v LB nebo HB	proškolení seřizovače				
			výroba není splněna v požadované kvalitě a čase	ESD audit				
			vzniknul scrap v rámci výroby					
nacvaknutí c-per	neprávně nacvaknutí c-pera	robot nefunguje dle požadavků	elektrické vlastnosti LB a HB nejsou požadované	dekorativní kontrola	2	10	10	5
		nesprávné nastavení senzorů	nespříšení požadavků zákazníka v LB nebo HB	podčištění při návrhu designu gripperu	2	5	5	6
			výroba není splněna v požadované kvalitě a čase	komplexní kontrola procesů linky a produktu				
			vzniknul scrap v rámci výroby	proškolení seřizovače				
nacvaknutí c-per	chybějící c-pero	robot nebo podavač nefungují správně	výroba není splněna v požadované kvalitě a čase	přídání senzorů pro kontrolu	2	3	3	10
			vzniknul scrap v rámci výroby	úprava výročního podavače				
paletka se posune na další stanici	paletka se neposunula na další stanici	zařízení nefunguje podle požadavků	výroba není splněna v požadované kvalitě a čase	vytvoření údržbového plánu	2	2	2	4

(zdroj: vlastní)