

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T007 Průmyslové inženýrství a management

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Zlepšení činnosti výrobní linky BEV2013

Autor: **Bc. Lukáš FOUSEK**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Pavel KOPEČEK, CSc.**

Akademický rok 2018/2019

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat především vedoucímu mé práce, panu Doc. Ing. Pavlu Kopečkovi CSc. za jeho nezměrnou trpělivost a množství užitečných rad jak po stránce technické, tak stylistické.

Dále pak panu Doc. Ing. Zdeňku Ulrychovi, Ph.D. za poskytnutí konzultací a množství cenných rad a informací z oblasti počítačových simulací výrobních a montážních procesů.

V neposlední řadě patří velké díky mým kolegům z oddělení logistiky, řízení výroby a správy podnikových procesů taktéž za poskytnutí množství užitečných informací týkajících obsahu této studie.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

| | | | |
|----------------------|--|-----------------------|---------------------------------|
| AUTOR | Příjmení Fousek | Jméno Lukáš | |
| STUDIJNÍ OBOR | Průmyslové inženýrství a management | | |
| VEDOUcí PRÁCE | Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Kopeček, CSc. | Jméno Pavel | |
| PRACOVISTĚ | ZČU - FST - KPV | | |
| DRUH PRÁCE | DIPLOMOVÁ | BAKALÁŘSKÁ | Nehodící se škrtněte |
| NÁZEV PRÁCE | Zlepšení činnosti výrobní linky BEV2013. | | |

| | | | | | |
|----------------|---------|----------------|-----|--------------------|------|
| FAKULTA | Strojní | KATEDRA | KPV | ROK ODEVZD. | 2019 |
|----------------|---------|----------------|-----|--------------------|------|

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

| | | | | | |
|---------------|----|---------------------|----|--------------------------|---|
| CELKEM | 66 | TEXTOVÁ ČÁST | 61 | GRAFICKÁ ČÁST | 5 |
|---------------|----|---------------------|----|--------------------------|---|

| | |
|--|--|
| STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY | Cílem práce je analyzovat stav výrobní linky a za pomoci vybraných metod průmyslového inženýrství zvýšit její výkon. Na základě dosaženého zlepšení následně rozhodnout, zda je zvýšený výkon z hlediska uvedených požadavků vyhovující, nebo je třeba výstavby nové duplicitní linky. |
| KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE | Výrobní výkon, výrobní kapacita, časový fond, plánování zakázek, vyvážení linky, sériová výroba, metody průmyslového inženýrství, TOC, MES, datová analýza, statistická analýza, simulace výrobního procesu |

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

| | | |
|-------------------------------|---|---|
| AUTHOR | Surname Fousek | Name Lukáš |
| FIELD OF STUDY | Industrial Engineering and Management | |
| SUPERVISOR | Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Kopeček, CSc. | Name Pavel |
| INSTITUTION | ZČU - FST - KPV | |
| TYPE OF WORK | DIPLOMA | BACHELOR Delete when not applicable |
| TYPE TITLE OF THE WORK | Performance improvement of production line BEV2013 | |

| | | | | | |
|----------------|------------------------|-------------------|---|---------------------|------|
| FACULTY | Mechanical Engineering | DEPARTMENT | Dept. of Industrial Eng. and Managament | SUBMITTED IN | 2019 |
|----------------|------------------------|-------------------|---|---------------------|------|

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

| | | | | | |
|----------------|----|------------------|----|-----------------------|---|
| TOTALLY | 66 | TEXT PART | 61 | GRAPHICAL PART | 5 |
|----------------|----|------------------|----|-----------------------|---|

| | |
|---|---|
| BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS | The main goal of this thesis is to analyze the production line and increase the overall production performance with use of common methods of industrial engineering. Secondary goal is to decide if final increased line production performance is acceptable or not in relation to all known requirements. |
| KEY WORDS | Production Performance, Production Capacity, Time Capacity, Order Planning, Line Balancing, Serial Production, Industrial Engineering Methods, TOC, MES, Data Analysis, Statistical Analysis, Production Process Simulation |

Obsah

| | |
|--|----|
| 1. Úvod..... | 3 |
| 1.1. Představení společnosti..... | 3 |
| 1.2. Představení výroby | 4 |
| 1.3. Představení výrobní linky BEV2013 | 5 |
| 1.4. Představení výrobků linky BEV2013 | 8 |
| 1.5. Základní předpoklady | 13 |
| 1.5.1. Vymezení rozsahu projektu..... | 13 |
| 1.5.2. Výpočty a rozsah teoretického základu..... | 13 |
| 1.5.3. Ochrana obchodního tajemství..... | 13 |
| 1.5.4. Datová základna | 14 |
| 2. Analýza současného stavu | 15 |
| 2.1. Analýza zákaznických požadavků | 15 |
| 2.2. Cíle projektu..... | 16 |
| 2.3. Optimalizační metody PI..... | 17 |
| 2.4. Postup analýzy..... | 24 |
| 2.5. Produktová analýza | 26 |
| 2.5.1. Zařazení do produktových rodin | 26 |
| 2.5.2. Rozložení objemu výroby | 27 |
| 2.6. Analýza časového fondu..... | 29 |
| 2.6.1. Obecné rozdělení časového fondu..... | 29 |
| 2.6.2. Rozdělení časového fondu výrobní linky..... | 31 |
| 2.7. Analýza montážního procesu..... | 41 |
| 2.7.1. Skladba výrobních operací | 41 |
| 2.7.2. Časová analýza výrobních operací | 42 |
| 2.7.3. Personální obsazení linky..... | 48 |
| 2.7.4. Automatizace výrobního procesu..... | 49 |
| 2.7.5. Technologičnost výroby | 49 |
| 3. Návrh variantních řešení | 50 |
| 3.1. Zvýšení využití časových kapacit..... | 50 |
| 3.2. Zvýšení stávajících výrobních kapacit | 51 |
| 3.3. Shrnutí nápravných opatření..... | 52 |
| 4. Ověření navržených variant | 54 |

| | |
|-----------------------------------|----|
| 5. Závěr | 57 |
| 6. Seznam zkratek | 58 |
| 7. Zdroje a literatura:..... | 59 |
| 8. Seznam obrázků a tabulek | 60 |
| 9. Přílohy..... | 62 |

1. Úvod

1.1. Představení společnosti

Skupina KOSTAL je nezávislá rodinná firma se sídlem v Německu, která vyrábí technologicky náročné, elektronické a elektromechanické výrobky. Mezi její zákazníky patří celosvětově vedoucí průmyslové podniky z oblasti automobilového průmyslu a jejich dodavatelé, mezi něž patří především Mercedes-Benz, BMW, Jaguar - Land Rover, VW, ZF, BOSCH.



Obrázek 1 - Zákaznické portfolio

Společnost KOSTAL Kontakt Systeme GmbH v Čenkově je firmou skupiny KOSTAL, která se zabývá vývojem, výrobou a prodejem **elektromechanických konstrukčních prvků, zejména konektorů**. Jedná se převážně o výrobky se specifickým použitím v automobilovém průmyslu.

Základní skladbu výroby tvoří vstřikolisování termoplastů a montáž konektorových systémů. Konektorové systémy vyráběné v KOSTAL Kontakt Systeme GmbH (dále jen KOSTAL) lze rozdělit do několika základních skupin. Konektory pro připojení mechatronických periférií, převodovkové konektory a konektory pro vysokonapěťové aplikace.

Tento projekt se zabývá zlepšením výroby na jedné z výrobních linek vysokonapěťových konektorů, které tvoří jeden z nosných pilířů výrobního portfolia a mají významný podíl na ziscích společnosti a zároveň tvoří jeden ze směrů dalšího plánovaného vývoje společnosti KOSTAL.

1.2. Představení výroby

Výroba ve firmě KOSTAL je rozdělena do několika oddělení. Těmi jsou „Lisovna“, „1. patro“, „2. patro“, „Automatizace“ a „PMV“.

Lisovnou je myšleno oddělení vstříkolisovny termoplastových dílů, které částečně slouží jako vstupní díl pro následnou montáž konektorů. Toto pracoviště disponuje 19 vstříkolisy v tonáži 60-240t. Ve vztahu k vysokému množství výrobních požadavků na termoplastové díly a současné dostupné kapacitě výrobní technologie je zde aplikován směnový model 24/7¹. Objem výroby směřuje ke statisícovým sériím týdně.

1. patro je jedním z montážních oddělení zaměřujících se na kompletaci konektorových systémů. Toto patro je charakterizováno manuálními a poloautomatickými montážními pracovišti. Koncepce těchto pracovišť je v převážné většině stejná. Montážní stroj tvaru stojatého kvádrů o rozměrech do 0,5x0,5x1m (HxŠxV) do hmotnosti 120kg, který je umístěn na montážním stole. Obsluha má po stranách zařízení k dispozici zásobníky se vstupním materiálem, který zakládá do přípravku, který následně zasune do zařízení. Po zasunutí „vozíku“ do zařízení dojde k montáži a následně k optické, elektrické, tlakové, případně jiné kontrole.

Ukázku běžného poloautomatického montážního zařízení lze vidět na obrázku č. 2.



Obrázek 2 - Ukázka montážního pracoviště

¹ Směnovým modelem 24/7 je myšlena 12 hodinová pracovní doba – dvě směny denně, sedm dní v týdnu. Viz příloha č.3

Montážní stoly jsou seskupovány do jednotlivých výrobních buněk. Seskupení několika výrobních stolů může tvořit linku s výrobou typu „one piece flow²“. Jedna z těchto výrobních linek je předmětem tohoto projektu.

V tomto oddělení lze výjimečně najít i samostatně stojící výrobní automaty. Směnový model tohoto oddělení je 24/5³. Objem výroby se pohybuje do desítek tisíc kusů týdně.

2. patro je koncipováno obdobně jako 1. patro. Je zde vyšší podíl samostatně stojících výrobních celků a automatizace. Zároveň je toto oddělení rozděleno na standardní čistou, ale i superčistou zónu, kde jsou kompletovány výrobky velmi citlivé na případnou nestabilitu výrobního prostředí (teplotu, vlhkost, znečištění, apod.)

Směnový model tohoto oddělení je 24/7⁴. Objem výroby se pohybuje do desítek tisíc kusů týdně.

Automatizace představuje oddělení sestávající se výhradně z plně automatizovaných montážních celků a linek zaměřených na produkci vysoce žádaných, technologicky náročných výrobků. Směnový model tohoto oddělení je 24/7. Objem výroby směřuje ke statisícovým sériím týdně.

PMV, tedy *Pracoviště Malosériové Výroby* se zabývá montáží náhradních dílů a výrobků ve výběhu. Směnový model tohoto oddělení je 8/5⁵. Objem výroby ve vztahu k typu oddělení se pohybuje od desítek po stovky kusů týdně.

1.3. Představení výrobní linky BEV2013

Linka BEV2013 je koncipována jako pět v řadě uskupených pracovních stolů a na nich umístěných poloautomatických montážních zařízení. Tento koncept je popsán v kapitole *Představení výroby – 1. patro*. Každé z těchto zařízení vykonává jednu z pracovních operací⁶. Na konci linky je umístěno testovací zařízení („EOL tester“).

² Výroba „one piece flow“ znamená výrobní tok jednoho kusu. Postupné zpracovávání jednoho kusu za druhým od první až po poslední operaci v lince bez nadbytečného čekání, přeskokování operací nebo zpracovávání více kusů na jedné výrobní operaci zároveň a jejich následný transport na operaci následující.

³ Směnovým modelem 24/5 je myšlena 8 hodinová pracovní doba – tři směny denně, 5 dní v týdnu. Viz příloha č.1

⁴ Směnovým modelem 24/7 je myšlena 12 hodinová pracovní doba – dvě směny denně, 7 dní v týdnu. Viz příloha č.1

⁵ Směnovým modelem 8/5 je myšlena 8 hodinová pracovní doba – jedna směna denně, 5 dní v týdnu. Viz příloha č.1

⁶ Jde o interní způsob značení operací, kde každé pracoviště linky má své vlastní značení naznačující pořadí umístění pracoviště v lince. Podle tohoto pořadí také danou linkou montovaný díl prochází. Na každém pracovišti linky BEV2013 je však při montáži výrobku ve skutečnosti prováděno několik elementárních operací (010, 020, 030,...), tak jak jsou v průmyslu pro tvorbu výrobních postupů obecně známo.



Obrázek 3 - Výrobní linka BEV2013

Tato linka je tvořena zařízeními, jejichž vnitřní montážní prostor umožňuje modulární přestavbu přípravků dle varianty vyráběného produktu.

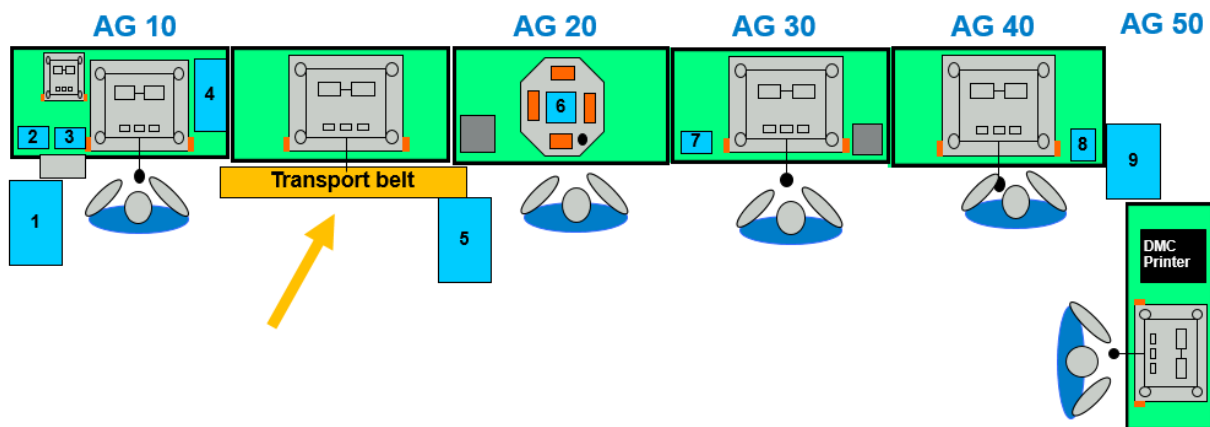
Každé pracoviště disponuje jedním nebo více zásobníky vstupního materiálu, které jsou doplňovány na základě elektronického systému zásobování KANBAN využívající čárové kódy pro značení materiálu a IS SAP⁷ jako zástupce ERP systému.

Jednotlivé vyráběné varianty využívají různé kombinace montážních pracovišť. Bez ohledu na vyráběnou variantu je však vždy vyráběno způsobem *one piece flow*. Ve vztahu k prostorovým dispozicím v místě výrobní linky a samotnému charakteru zařízení je teoreticky možné linku při každé změně varianty přestavit. Nicméně, to je časově i procesně náročná operace. A to i přes to, že většina pracovišť je pro připojení k elektrické síti, rozvodům pracovních médií, ME systému⁸, apod. vybavena rychlospojkami.

⁷ Vnitropodnikový informační systém pro řízení výrobních zdrojů.

⁸ Informační systém pro správu a řízení výrobních zařízení, sloužící převážně k získávání výrobních dat linky (výrobní výkon, efektivita, kvalita,...)

Z tohoto pohledu jde o formu plýtvání a namísto transportu jednotlivých pracovišť za účelem přestavení linky pro danou variantu se aktuálně využívá transportní pás. Tento pás slouží především jako prvek, který umožní obejít resp. vynechat některá z pracovišť v lince a zároveň jako mezioperační zásobník vyráběných dílů. Aplikace transportního pásu je znázorněna na obrázku č. 4.

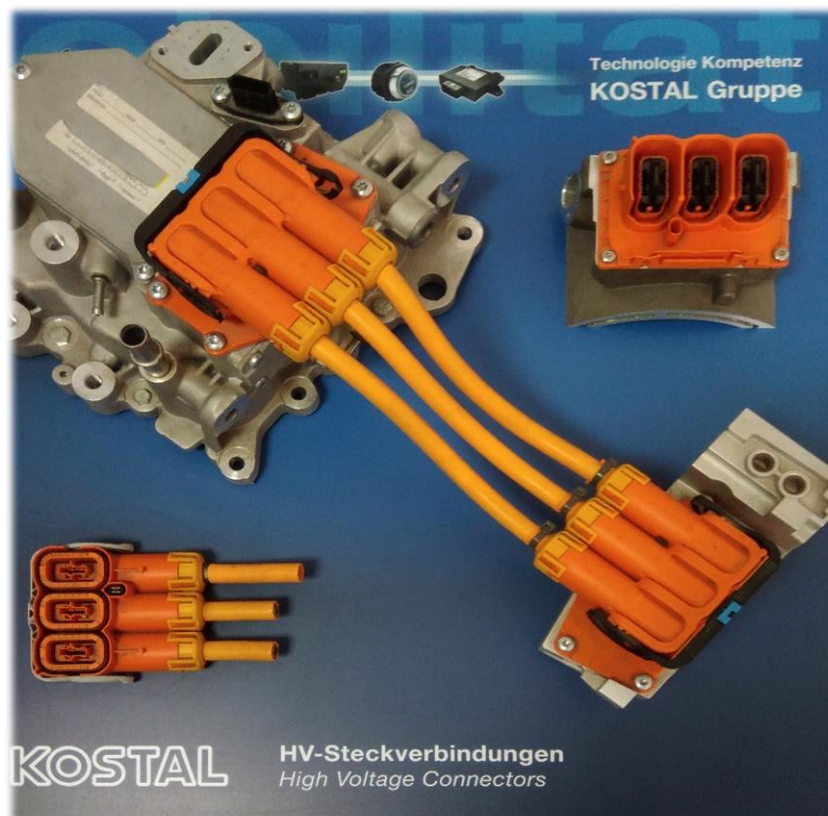


Obrázek 4 - Umístění transportního pásu v lince

1.4. Představení výrobků linky BEV2013

Na lince se aktivně, střídavě vyrábí několik různých modifikací jednoho výrobku dle cílového trhu resp. požadavků zákazníka. Těchto několik výrobních variant lze shrnout do čtyř výrobních řad, které se svým výrobním postupem liší např. ve způsobu balení nebo značení. Výrobní postup a tedy i rozmístění pracovišť v lince je tak pro více variant stejné. Dle požadavku zákazníka je pak na konci linky výrobek balen např. do kartonového nebo plastového boxu⁹.

Ve všech případech jde o dvoupólový¹⁰ konektor pro připojování vysokonapěťových (dále jen HV) periférií hybridních vozidel vyrobený z několika komponent, které jsou z části nakupovány, z části vyráběny interně v rámci společnosti KOSTAL. Na obrázku č. 5 je ukázka aplikace třípólové varianty konektoru.

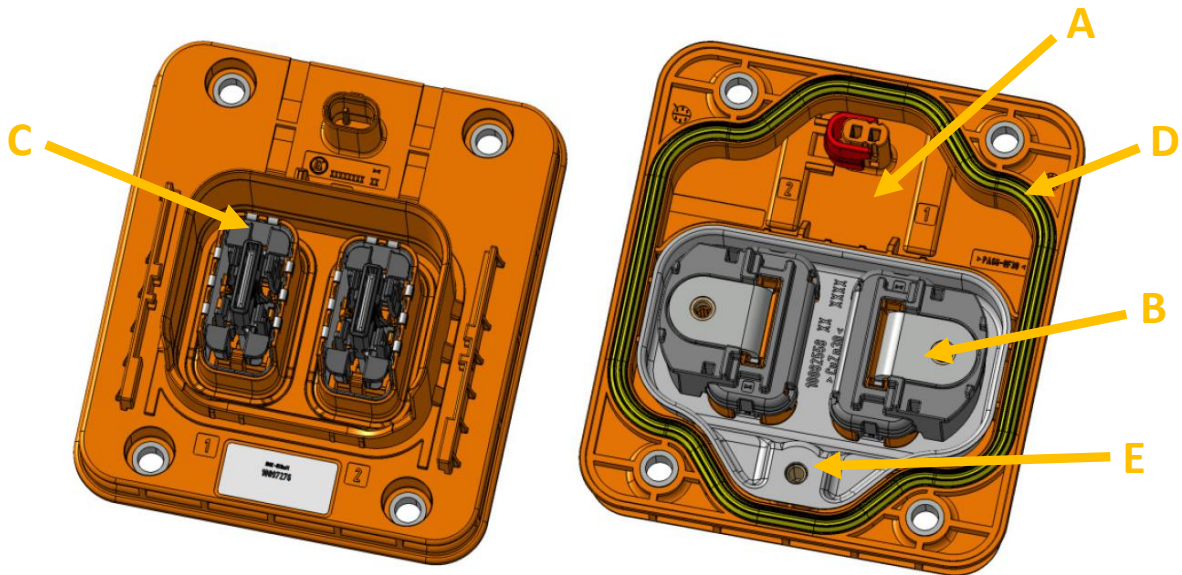


Obrázek 5 – 3-pólová varianta HV konektoru

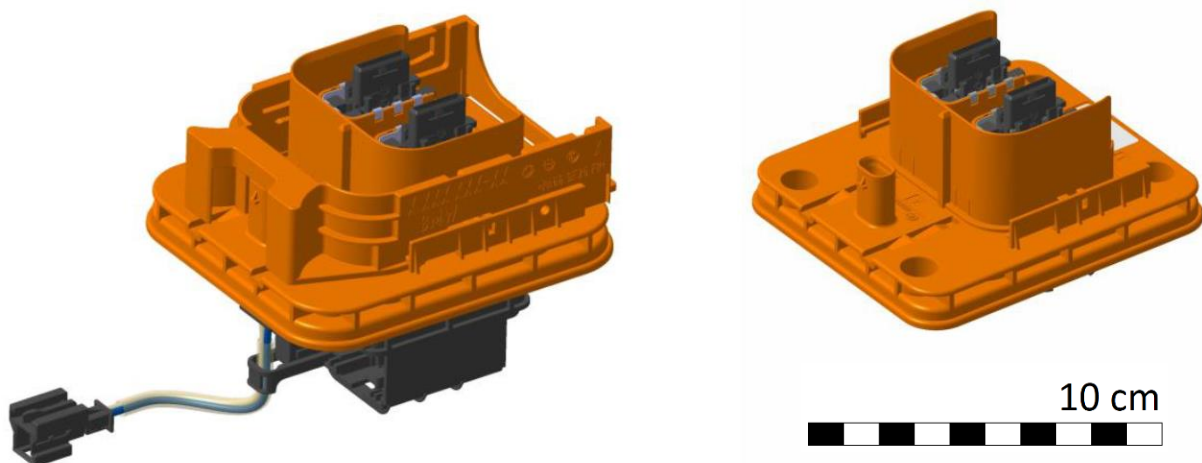
⁹ Plastové boxy jsou používány zejména pro dodavatele v rámci trhu EU, kartonové obaly pak pro zámořské trhy, kde se neočekává jejich navrácení do závodu a jejich opětovné použití.

¹⁰ V rámci výrobního portfolia vysokonapěťových konektorů firmy KOSTAL se vyrábí několik variant vysokonapěťových konektorů s různým počtem pólů (1-pól, 2-pól, 3-pól, 7-pól,...)

Každá varianta 2-pólového HV konektoru je obecně složena z oranžově barveného¹¹ termoplastového skeletu z PA66 30GF¹² (A), měděného vodiče s galvanicky stříbřeným povrchem (B), nosiče kontaktu (C), silikonového těsnění (D) a hliníkového stínění (E).



Obrázek 6 – Ukázka HV konektory



Obrázek 7 – Ukázka HV konektoru

¹¹ Oranžová barva je v automobilovém průmyslu indikace HV komponenty pro její snazší identifikaci v motorovém prostoru automobilu.

¹² Polyamid 66 s 30% příměsí skelného vlákna.

1.4.1. Výrobní portfolio

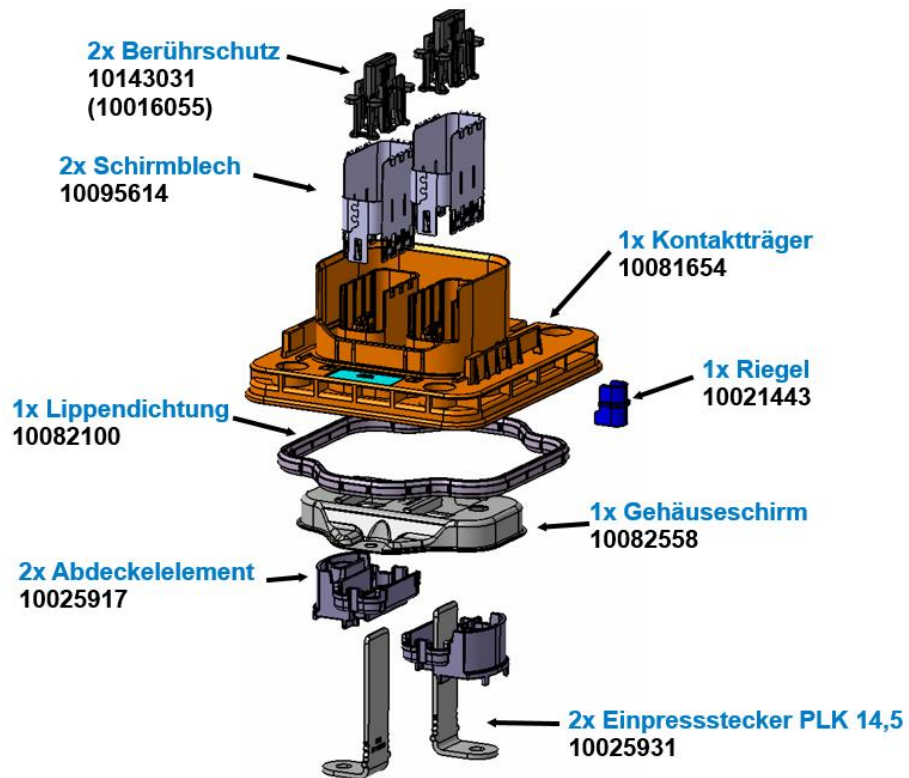
Výrobní linka má ve skutečnosti v ERP systému evidováno 11 možných výrobních variant (značených A1, A2, B1, B2, C1, C2, D1, E1, E2, F1, F2) nicméně tři výrobní varianty zůstávají pouze ve fázi možného konceptu a nebyly nikdy vyráběny.

Příčemž např. výrobní variantu A1 a A2 lze z technologického hlediska pro účely této práce chápat jako jednu variantu – variantu A. Jednotlivé výrobní řady A1 a A2 se svým výrobním postupem liší např. jen ve způsobu balení nebo značení výrobku dle požadavku koncového zákazníka. Obdobnou úvahu lze aplikovat i nad ostatními variantami značenými stejným písmenem a rozdílným indexem.

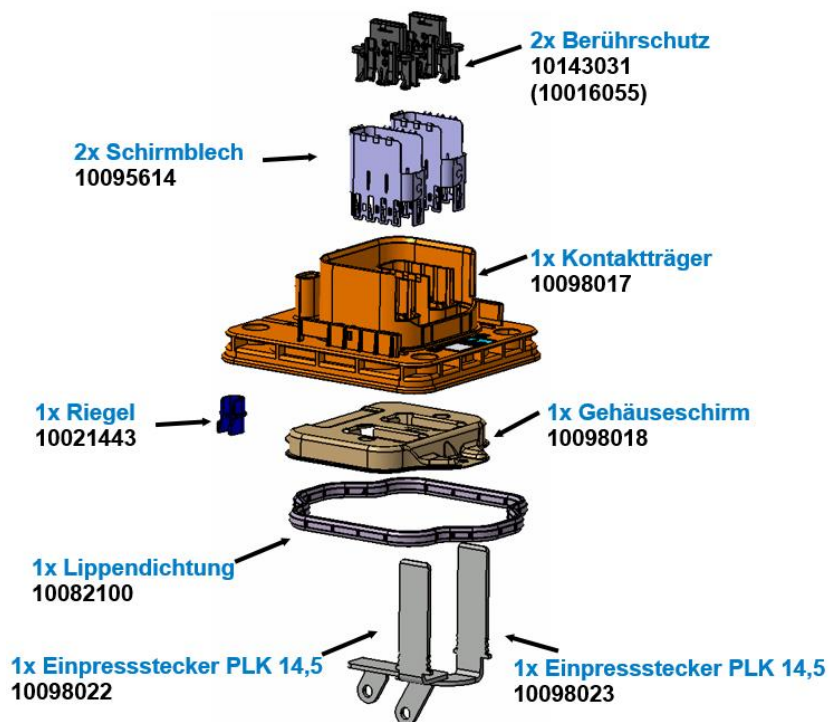
V průběhu tohoto projektu je dle potřeby využíváno výše uvedeného seskupování výrobních variant často za účelem sjednocení z hlediska sdílení technologických nebo ekonomických aspektů.

Ve vztahu k výše uvedenému se na lince se opakovaně aktivně vyrábí pouze osm různých modifikací jednoho výrobku dle cílového trhu a požadavků zákazníka. Těchto osm výrobních variant lze shrnout do čtyř řad z hlediska ekonomické významnosti resp. podílu na zisku (značené dále A, B, C a D) nebo do dvou hlavních výrobních řad z hlediska technologie montáže (značených AD a BC). Výrobní postup a tedy i rozmístění resp. způsob a rozsah využití pracovišť v lince je pro varianty A a D resp. B a C stejný. V rámci projektu je tak věnována pozornost především rozdílům a souvislostem plynoucím právě ze vztahu výrobků k těmto dvěma hlavním výrobním řadám resp. výrobním postupům (značeným také jako výrobní postup #1 pro varianty A, D a výrobní postup #2 pro varianty B, C). Tyto řady budou pro lepší orientaci v textu značeny dle výše uvedených pravidel.

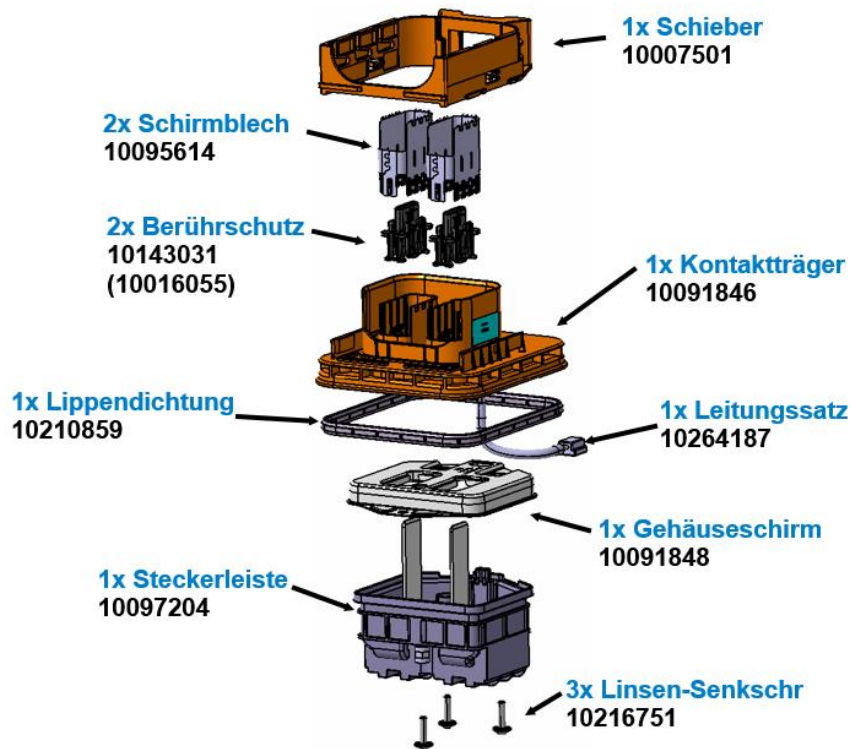
Níže jsou uvedeny modelové sestavy těchto čtyřech hlavních výrobních řad.



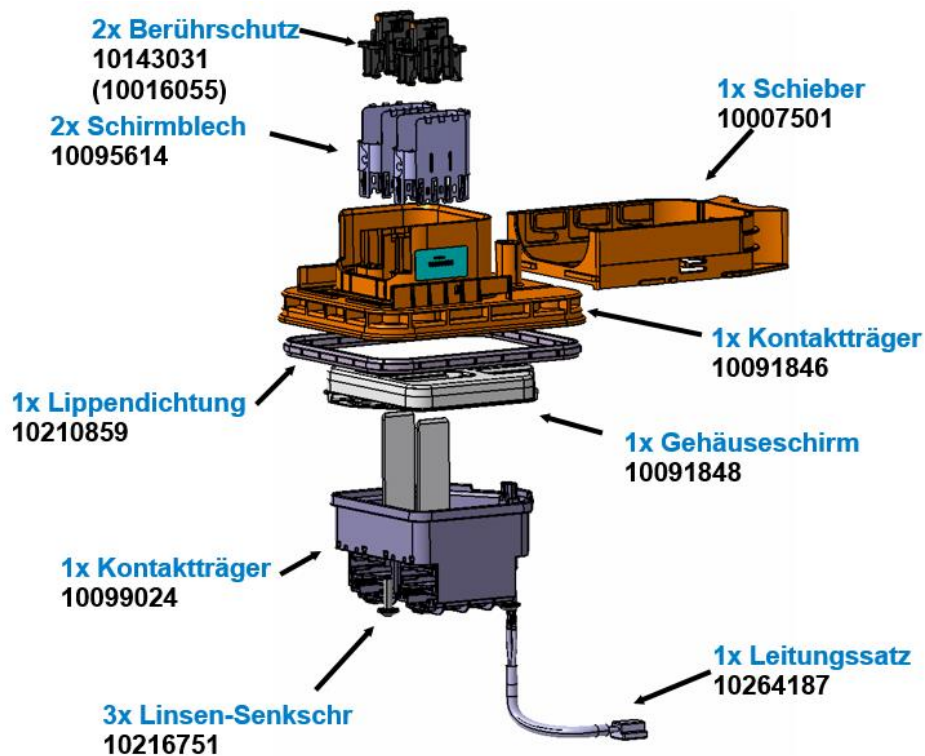
Obrázek 8 – Ukázka HV konektoru – var. A



Obrázek 9 – Ukázka HV konektoru – var. B



Obrázek 10 – Ukázka HV konektoru – var. C



Obrázek 11 – Ukázka HV konektoru – var. D

1.5. Základní předpoklady

1.5.1. Vymezení rozsahu projektu

Vzhledem k výše uvedenému faktu, že linka vyrábí několik systémově rozdílných variant, by bylo velmi obtížné, časově náročné a při bližším pohledu možná až zbytečné analyzovat systém u všech výrobních variant jednotlivě. K tomuto účelu je v další kapitole „Analýza výrobního procesu“ představeno portfolio jednotlivých výrobních variant ve vztahu k četnosti výroby a dále pak ve vztahu k příslušnosti k dané z výrobních řad, které jsou zmíněny v úvodu studie.

1.5.2. Výpočty a rozsah teoretického základu

Vzhledem k charakteru a zaměření tohoto projektu se předpokládá, že čtenář této studie dosahuje základních oborových znalostí průmyslového inženýrství. V rámci této skutečnosti jsou tak pro zachování přijatelného rozsahu studie uvedeny pouze netriviální výpočty nebo výpočty, nutné pro bližší pochopení dané problematiky.

Pomyslná hranice, která říká, co je a co už není základní oborová znalost průmyslového inženýrství, je silně subjektivní. Proto je ve většině případů, kdy je využito těchto znalostí, v průběhu textové části studie komentováno pod čarou, či přímo v textu, pokud to rozsah problematiky přímo vyžaduje.

1.5.3. Ochrana obchodního tajemství

Za účelem ochrany obchodního tajemství společnosti KOSTAL jsou některé údaje záměrně zkresleny. Případné kapacitní výpočty, rozvržení výroby, procesní a technologické skutečnosti jsou ve své korektní podobě.

Některé názvy výrobků, materiálu, procesů apod. jsou pak pozměněny jednak za účelem ochrany obchodního tajemství, jednak za účelem snazší orientace v textu a interpretaci konečných výsledků.

Případné technicko-ekonomické výpočty, hodnocení návratnosti atp. jsou plošně vynásobeny konstantou, která je známa pouze autorovi. To v konečném důsledku nikterak neovlivní účel tohoto projektu. Projekt tak může zůstat k dispozici širší veřejnosti jako vzor metodiky analýzy výrobní linky a zároveň je možné ho po zpětné dekompozici, za předpokladu znalosti dané konstanty, využít pro reálné interní řešení.

1.5.4. Datová základna

Všechny výpočty, datové analýzy a související úvahy, jako je např. počet a rozložení výrobních zakázek, počet vyrobených kusů, zmetkovitost, výkon pracoviště, časy montážních/testovacích cyklů atp., jsou prováděny nad datovou základnou z interního ERP nebo ME systému za období 1. 1. 2018 až 31. 12. 2018 pokud není výslovně uvedeno jinak.

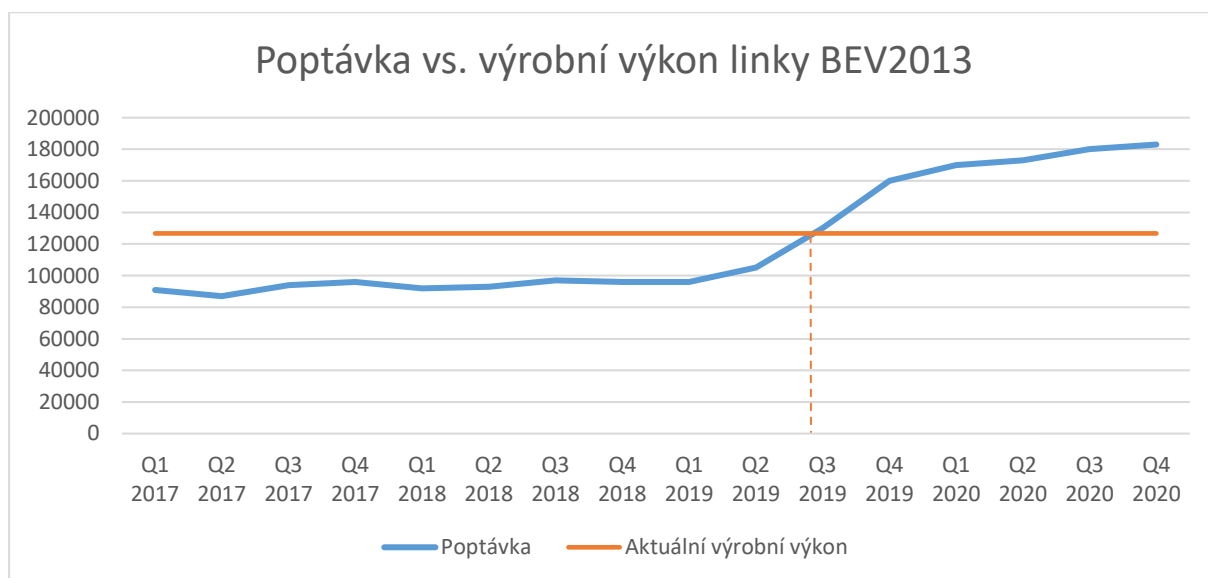
Vzhledem k množství zpracovávaných vstupních dat, čítající řádově stovky tisíc datových polí¹³ a související nutnosti statistické analýzy, je pro jejich zpracování použito dvou typů softwaru. Prvním je Microsoft® Excel 2013 společnosti Microsoft Corporation. Druhým je Minitab® 17 společnosti Minitab, LLC.

¹³ Viz ukázka nezpracovaného datového bloku se záznamem procesních dat montážního pracoviště v příloze č. 4

2. Analýza současného stavu

2.1. Analýza zákaznických požadavků

Výše je v krátkosti představena koncepce linky BEV2013 a portfolia jejích výrobků. Tato linka pracuje s $OEE^{14}=62\%$ při směnnosti 24/5. Aktuální zákaznické požadavky na množství i kvalitu výrobků jsou kontinuálně pokrývány. Nicméně ke konci roku 2019 je očekáván zásadní nárůst poptávky po výrobcích této linky na základě již existujících odvolávek¹⁵ zákazníka. Průběh předchozích a plánovaných odvolávek pro linku BEV2013 je zřetelný z grafu č. 1. Pro názornost a lepší srozumitelnost byla zvolena pouze data pro výrobní variantu A, která představuje z ekonomického hlediska hlavní výrobní pilíř, jak je blíže uvedeno v další analytické části této studie.



Obrázek 12 – Vývoj poptávky výrobků linky BEV2013

Ve výše uvedeném grafu je zřetelný nárůst zákaznických odvolávek koncem roku 2019. S aktuální hodnotou výrobního výkonu $126\,720\text{ks}/\text{Q}^{16}$ a teoretickou 100% kvalitou, je zařízení schopné pokrýt poptávky pouze do Q3 2019. Jak je patrné z grafu č. 1, objem odvolávek i při maximálním výkonu v ideálním výrobním modelu při 100% kvalitě vyráběných produktů v Q2 2020 převyšuje maximální teoretickou výrobní kapacitu linky.

¹⁴ OEE (Overall Equipment Effectiveness) je celková efektivita výrobního celku. V jednoduchosti lze říci, že $OEE = \text{Dostupnost} \times \text{Výkon} \times \text{Kvalita}$

¹⁵ Písemnost, ve které se odběratel odvolává na budoucí objednávku resp. kupní smlouvu

¹⁶ „Q“ – z anglického Quarter tj. čtvrtletí

Z tohoto důvodu je třeba zvážit, zda nebude nutné za účelem pokrytí výrobních požadavků zákazníka postavit novou technologicky ekvivalentní výrobní linku. Aktuální odhadovaná cena nové linky je v rozmezí 7 a 10mil. Kč. Očekávaná návratnost investice do nové výrobní linky je 17 měsíců. Odhadovaný horizont možné realizace externí společností je od 7 do 9 měsíců od zadání projektové dokumentace.

2.2. Cíle projektu

Cílem projektu je analyzovat aktuální průběh výroby na lince pro jednotlivé výrobní varianty. Pomocí relevantních nástrojů průmyslového inženýrství zmapovat výrobní proces na lince BEV2013 a najít možné rezervy výrobního výkonu a kvality výroby.

Dále pak najít alternativní možnosti jak lépe realizovat výrobní proces na lince a zvážit možnosti, které by vedly k lepšímu využití stávajícího celku, aniž by bylo třeba stavět kompletně novou linku.

Nejprve je vhodné najít rezervy ve výrobním výkonu stávající linky. Až poté, v případě, že pokus o zlepšení výroby stávající výrobní linky nepřinese požadované výsledky, stavět linku novou.

Pro řešení se nabízí mnoho již zavedených a úspěšně používaných metod a aktivit průmyslového inženýrství (dále jen PI) majících za cíl zlepšení výrobní či kvalitativní charakteristiky linky. Nicméně je třeba brát v úvahu, že pro řešení výše uvedeného stavu je k dispozici pouze šestiměsíční časové okno. Z tohoto důvodu je nezbytně nutné aplikovat pouze takové metody PI, které jsou časově přijatelné a mají co možná největší efekt na výsledné řešení.

2.3. Optimalizační metody PI

Níže jsou uvedeny vybrané metody PI resp. přístupy k řešení problémů obecně relevantní pro řešení projektů tohoto charakteru. Tedy převážně analytické výrobní, logistické a ergonomické metody¹⁷ pro zlepšování procesů, rozvrhování výroby:

- TOC
- VSM
- DBR
- Heijunka
- A3 report
- One-piece-flow
- Chaku - Chaku
- DMAIC
- MOST
- SMED
- Kanban
- 5S
- TPM
- Vizuální pracoviště

Jak bylo uvedeno v kapitole *Cíle projektu*, pro řešení je k dispozici pouze šestiměsíční časové okno. To je mezní časový horizont (duben 2019), do kterého musí být známy výsledky analýzy linky, pro případné včasné zadání požadavku na stavbu nové duplicitní linky. Z tohoto důvodu budou s ohledem na individuální časové a procesní nároky jednotlivých metod PI použity pouze některé z nich.

Dle povahy výrobní linky BEV2013 a souvisejícího výrobního procesu, jsou pro řešení tohoto projektu s ohledem na očekávanou dobu aplikace jednotlivých metod PI a možným přínosem klíčové především metody TOC, VSM, DMAIC a DBR. K úspěšnému splnění cílů projektu je třeba úspěšně aplikovat některé z vybraných metod PI. Některé další metody PI jsou z historického hlediska již ve výrobním resp. logistickém procesu výrobní linky zavedeny. Jde především o metody 5S a Kanban, One-piece-flow, vizualizace pracoviště.

Níže jsou v krátkosti principiálně popsány vybrané metody PI, které jsou vhodné pro řešení tohoto projektu *Zlepšení činnosti výrobní linky BEV2013*.

¹⁷ Popis všech metod lze nalézt v kapitole *Seznam zkratk*

TOC (Theory of Constraints)

Teorie omezení je univerzální analytická technika, hledající omezení z pohledu definovaných cílů, identifikuje nejužší místo systému resp. nejslabší článek řetězce a to zejména procesního nebo výkonového. Základními kroky při optimalizaci pomocí TOC jsou:

- Nalezení omezení systému
- Rozhodnutí, jak omezení co nejlépe využít
- Vytěžení maxima z tohoto omezení

VSM (Value Stream Mapping)

Mapování toku hodnot je vizuální metoda popisu a následné analýzy stávajícího procesu, díky které je možné rychle získat přehled o ztrátách procesu, umístění úzkého místa systému a případně rozsahu jeho negativního vlivu na zbytek celku.

DMAIC (Do-Measure-Analyze-Improve-Check)

Jde o rozsáhlou systematickou analytickou metodu využívající principů resp. filosofie Lean a Six Sigma vhodnou pro opakující se procesy, u nichž je relevantní řešit především nežádoucí variabilitu nebo plýtvání.

DBR (Drum Buffer Rope)

Jde o logistický koncept pro řízení výroby, který vychází z teorie omezení. Principem je hledání úzkého místa, které udává tempo, a snížení nežádoucích rizik (především logistických) pro zbytek výrobního celku nastavením adekvátních časových mezioperačních materiálových zásob.

5S (Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke)

Metoda 5S je jedním ze základních metod LEAN filozofie a patří do bodového Kaizenu. Je to organizace pracoviště vedoucí k eliminaci plýtvání, zvýšení produktivity a bezpečnosti na pracovišti. Je to typicky první metoda, které se v rámci zavádění LEAN filozofie implementuje. Metoda 5S uvádí základní nástroje pro zavedení veškerých dalších změn a LEAN školení.

Kanban

Logistická metoda, jejímž cílem je co největší harmonizace průběhu výroby s tokem materiálu. Hlavním principem této metody je výroba resp. dodávka na zakázku, což umožňuje

efektivně snižovat zásoby a zvýšit časovou přesnost dodávek materiálu. Metoda je vhodná především pro opakující se logistické procesy.

One-piece-flow

Jde o výrobní metodu, jejímž opakem je dávková výroba. Jejím cílem je rozdělit výrobní proces do několika dílčích operací, které na sebe bezprostředně bez zbytečného plýtvání (čekání, transport,...) navazují. V danou chvíli je během jedné operace vyráběn pouze jeden výrobek.

Vizualizace pracoviště

Jde o ergonomickou metodu poskytování vizuálních informací a instrukcí o dílčích částech pracovního procesu zřejmým, nezaměnitelným, snadno dostupným a srozumitelným způsobem.

Další kroky projektové analýzy určí, které z výše uvedených metod bude vhodné použít.

2.4. Postup analýzy

Prvním krokem je rozčlenění analyzovaného vzorku výrobních variant, protože není z ekonomického hlediska možné, ani z technologického hlediska nutné, provádět každý bod analýzy nad kompletním výrobním portfoliem. Z tohoto důvodu je možné resp. žádoucí výrobní řady rozdělit např. dle ekonomického přínosu či společných technologických vlastností.

Dalším krokem analýzy je definice stávajícího využití výrobní linky. Tedy vyčíslení rozdílu mezi teoretickým plánovaným využitím a skutečným využitím výrobní linky.

To umožní rozdělit tento projekt na dva hlavní myšlenkové pilíře. Tedy oblast:

- a) Věnovanou lepšímu využití stávajícího nevýrobního časového fondu. Tedy té složce časového fondu, kdy by linka měla vyrábět, ale nevyrábí z důvodů prostojů. A to bez ohledu na to, jak kvalitní nebo výkonný je aktuální výrobní proces.
- b) Věnovanou zlepšení stávajícího výrobního procesu resp. výrobního výkonu. A to bez ohledu na to, po jakou část dostupného časového fondu linka tento výkon využívá.

Pro naplnění výše uvedených účelů, je využito interního ME systému využívaného převážně pro sběr výrobních a kvalitativních dat. Každé pracoviště linky je napojeno na informační systém, pomocí kterého jsou zaznamenávána data, která blíže specifikují výrobní proces. Tedy zda linka vyráběla, či nikoliv. Pokud nevyráběla, tak z jakého důvodu a jak dlouhé bylo trvání daného stavu.

Dále jsou zaznamenávána data, která uvádí, kolik bylo vyrobeno dobrých kusů, kolik bylo vyrobeno neshodných kusů (včetně typu neshody) a v jakém časovém cyklu. U některých zařízení lze sledovat i konkrétní výrobní parametry, jako např. sílu zalisování při montáži, teplotu testovaného prvku, apod.

Tento systém nahradí nutnost fyzického náměru v místě obsluhy, který není tak efektivní, jednak co do možnosti zkrácení ručním záznamem, jednak ovlivněním chování obsluhy nebo např. množstvím zaznamenaných měření. ME systém dokáže sledovat všechna pracoviště najednou s vysokou přesností.

Dále je díky ME systému možné určit míru rozpracovanosti na jednotlivých pracovištích v průběhu výrobního procesu např. namísto přímých výpočtů metody VSM. To pomůže lépe definovat, která pracoviště potřebují kapacitně posílit, tak aby průchod materiálu linkou byl co nejplynulejší.

V současné době systém pouze zaznamenává data, která často nejsou dále nijak vyhodnocována. A pokud ano, je často nutné je pro získání většího detailu dát manuálně do souvislosti s jinými událostmi např. pomocí vytváření systémových programových skriptů pro jejich zpracování v kombinaci s jiným SW. Jedním z významných a časově náročných úkolů je tedy dostupná data zpracovat a na základě statisticky významného vzorku dat¹⁸ interního ME systému vhodně interpretovat. Následně je použit jako detailní analytický podklad.

Výstupem aplikace výše uvedených metod je sada konkrétních návrhů a opatření na zvýšení výrobního výkonu, příp. kvality nebo provozuschopnosti výrobní linky.

Pro ověření těchto návrhů je navíc použit simulační software¹⁹, který má za úkol potvrdit nebo vyvrátit tyto návrhy před tím, než by měly být aplikovány přímo ve výrobním závodě.

¹⁸ V souvislosti s teorií testování hypotéz jde o stanovení počtu potřebných náměrů pro určitou míru spolehlivosti (např. 95%). Výsledky nad tímto částečným vzorkem dat lze pak při dané spolehlivosti rozšířit na „celou populaci“ resp. všechny nadcházející náměry.

¹⁹ Siemens - Tecnomatix Plant Simulation

2.5. Produktová analýza

Tato kapitola se zabývá rozdělením všech výrobních variant do jednotlivých produktových rodin (Michael 2010, s. 242), tak aby bylo možné se v rámci projektu soustředit na hodnocení pouze relevantních, reprezentativních a stěžejních produktů výrobní linky.

2.5.1. Zařazení do produktových rodin

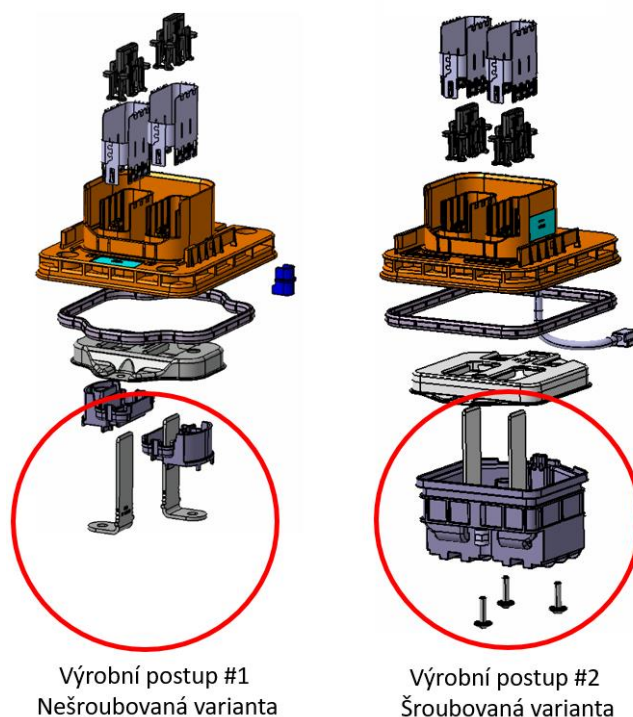
Jak již bylo uvedeno v teoretické části studie, výrobní portfolio linky BEV2013 čítá 11 možných produktů, z nichž tři se nikdy nevyráběly. Zbylých osm se dá na základě společných rysů sloučit do užších skupin. Společným rysem je pak především fyzická podobnost výrobků.

Výrobky, jejichž výrobní postupy jsou 100% shodné a liší se pouze v typu výstupního balení (jednorázové vs. vratné obaly) nebo konstrukčně nevýznamnou částí, která má zanedbatelný vliv na pracovní postup (značení výrobku, typ materiálu, apod.), jsou pro jednoduchost a lepší orientaci v textu značeny stejným písmenem²⁰ (A,B,C,D,E nebo F).

Výrobky z výše uvedených skupin, jejichž výrobní postupy se liší, je možné dále principiálně dělit do dvou hlavní výrobních řad, které odpovídají specifickému rozvržení výrobní linky. Tedy každá z těchto výrobních řad představuje jinou sekvenci využívaných pracovišť celé výrobní linky. Interně označováno jako „*nešroubované*“ (Dále uváděno jako „*varianta #1*“) a „*šroubované*“ (Dále uváděno jako „*varianta #2*“) výrobní varianty.

Toto označení vychází z technologičnosti konstrukce výrobků. Níže je uveden konstrukční rozdíl u dvou z vyráběných variant. Jedné z variant viditelně dominuje černá příruba, jejíž účelem je především změna orientace připojovacích pinů a to metodou přišroubování k nosnému kontaktu. Proto označení „*šroubované*“ a „*nešroubované*“ varianty.

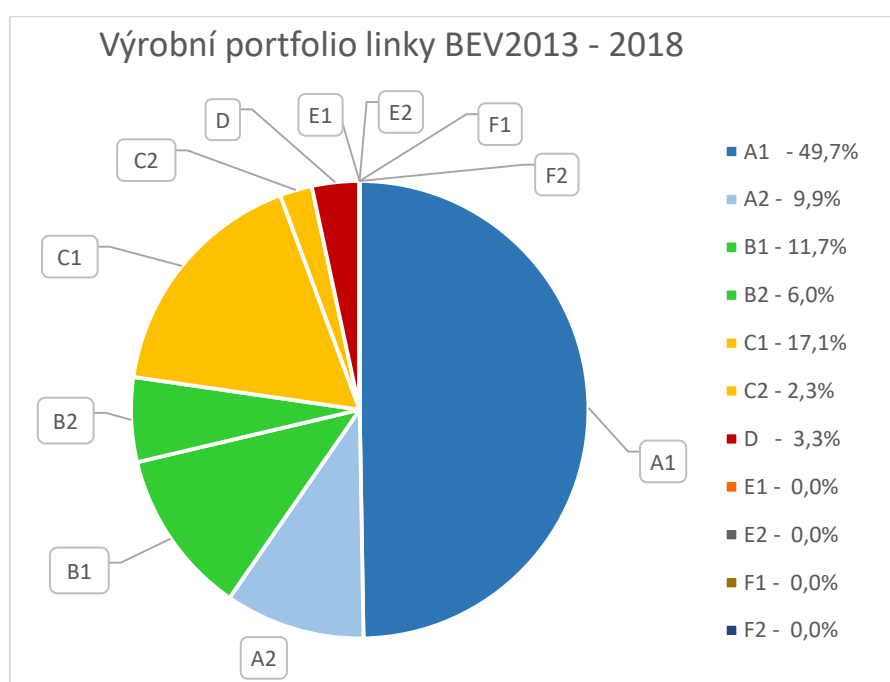
²⁰ Interně jsou výrobní řady značeny osmimístným numerickým značením, např. 09001234 nebo 10001234



Obrázek 13 – Dvě hlavní výrobní varianty

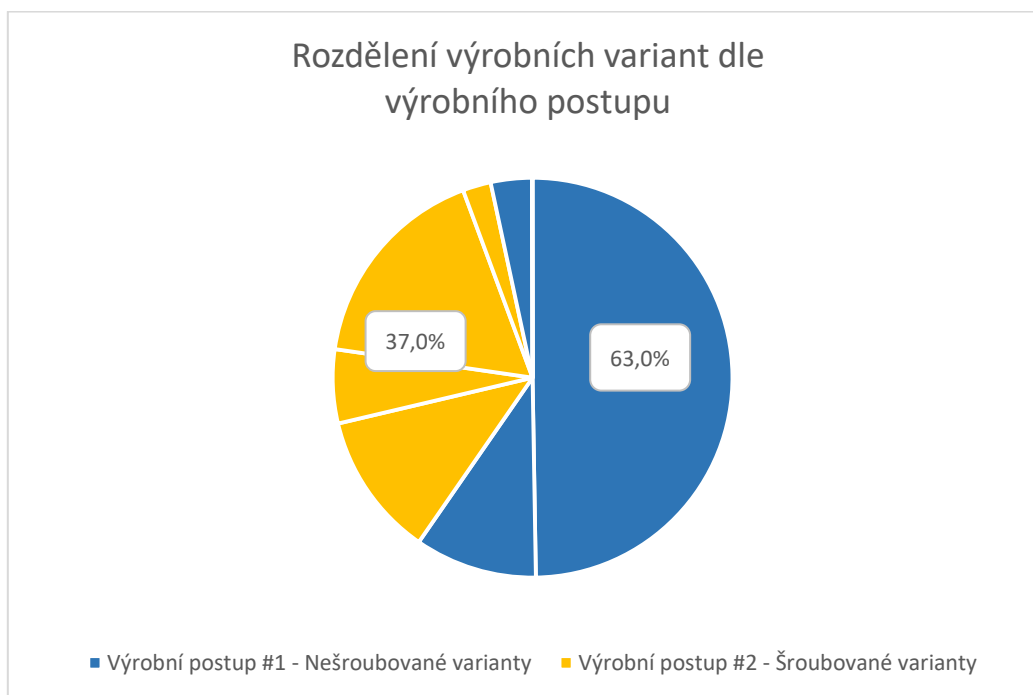
2.5.2. Rozložení objemu výroby

Níže je uvedeno celkové procentuální zastoupení jednotlivých výrobních řad s ohledem na příslušnost ke zvoleným *produktovým rodinám* za výrobní rok 2018.



Obrázek 14 – Výrobní portfolio linky BEV 2013

Následuje graf procentuálního rozložení výroby s ohledem na příslušnost k jednomu ze dvou hlavních výrobních postupů.



Obrázek 15 – Rozdělení výrobních variant dle výrobního postupu

Níže je v detailu uvedeno rozložení i s údajem o objemu výroby za rok 2018, které poukazuje na zásadní skutečnost, že 6 hlavních výrobních řad z 11 dostupných tvoří 96,63% výrobního objemu.

Z tohoto důvodu, se tato studie zabývá analýzou právě těchto šesti variant. Ostatní varianty jsou především z hlediska objemu předchozí produkce zanedbány.

Pravděpodobnost navýšení jejich produkce je dle interní komunikace s oddělením logistiky a odbytu i do budoucna velmi nízká. Je tak možné tyto varianty z hlediska minimálního vlivu na celkový potenciální zisk z analýzy a z ní vyplývajících následných řešení zcela vynechat.

| Výrobní řada | Sjednocující prvek | | Objem výroby r. 2018 | | | |
|--------------|---|-------------------|----------------------|-------|--------|-------|
| | | | [ks] | [%] | | |
| A1 | Stejný výrobek, různé značení vstupního materiálu | Výrobní postup #1 | 217 601 | 49,73 | 96,63% | |
| A2 | | | 43 321 | 9,90 | | |
| B1 | Stejný výrobek, různý obalový materiál na výstupu z linky | Výrobní postup #2 | 51 086 | 11,68 | | |
| B2 | | | 26 149 | 5,98 | | |
| C1 | Stejný výrobek, různý obalový materiál na výstupu z linky | | 74 642 | 17,06 | | |
| C2 | | | 9 980 | 2,28 | | |
| D | N/A | Výrobní postup #1 | 14 617 | 3,34 | | 3,37% |
| E1 | Stejný výrobek, různý obalový materiál na výstupu z linky | Výrobní postup #2 | 131 | 0,03 | | |
| E2 | | | 0 | 0,00 | | |
| F1 | Stejný výrobek, různý obalový materiál na výstupu z linky | Výrobní postup #1 | 0 | 0,00 | | |
| F2 | | | 0 | 0,00 | | |

Tabulka 1 – Přehled výroby jednotlivých variant

2.6. Analýza časového fondu

Tato kapitola se principiálně věnuje oblasti produktivity výrobní linky, aniž by řešila konkrétní možnosti zlepšení samotného výrobního procesu jako např. ergonomičnost a uspořádání pracovišť, technologičnost konstrukce, apod. Pouze dává linku jako celek do vztahu s některými vnějšími okolnostmi, které nedovolují využít celou její výrobní kapacitu nehledě na to, jak produktivní je samotný proces výroby na této lince.

Za účelem lepšího pochopení celkového využití časového fondu linky lze díky internímu ME systému zajišťujícímu mj. i sledování výrobních charakteristik vytvořit poměrně přesné rozložení využití disponibilního času²¹, které je řešeno v následujících podkapitolách.

2.6.1. Obecné rozdělení časového fondu

Disponibilní časový fond výrobní linky lze dle Legáta (2010, s. 270) principiálně vyjádřit především na čas produktivní a neproduktivní, z nichž každý lze dále klasifikovat jako plánovaný či neplánovaný. Vznikají tím následující čtyři základní skupiny rozdělení časového fondu pracoviště:

²¹ Disponibilním časem se pro účely této studie rozumí T_n , tedy nominální čas pracoviště

- a) **Výrobní čas plánovaný** představuje tu část disponibilního časového fondu, která obsahuje stavy pracoviště plánované z hlediska rozsahu i trvání. Výstupem tohoto stavu resp. procesu, či aktivit s ním spojených je produkt, který je určen k vytváření zisku. Je však nutno podotknout, že výstupem tohoto obecně hodnotu-vytvářejícího procesu je jak žádoucí kvalitní, tak i nežádoucí nekvalitní produkt. To je důležitá skutečnost, na kterou je odkazováno v následujících kapitolách v rámci detailní analýzy produktivity pracoviště.

Obecným cílem je, aby co největší možnou část disponibilního časového fondu pracoviště tvořil právě tento čas. **Jedním z cílů této studie je tak analyzovat rozsah tohoto času a případně navrhnout možnosti jeho rozšíření.**

- b) **Výrobní čas neplánovaný** představuje stejný rozsah aktivit, jak je tomu i u výrobního času plánovaného, jen rozdílem, že jde o časově nekoordinovanou část časového fondu pracoviště. V případě výrobní linky, která je předmětem této studie, jde např. o čas strávený výrobou vzorků pro laboratorní účely, jejichž počet je zpravidla různý a vznik potřeby nahodilý. Jde tak o produktivní výrobu produktu, která ale výrobnímu závodu nevytváří žádný zisk.

Jde o část časového fondu pracoviště, která bývá obecně problematická z hlediska nemožnosti plánovat její četnost a rozsah. Nicméně zpravidla tvoří minoritní část z celkového časového fondu a má tak minimální vliv na celkovou produktivitu pracoviště. **Není tedy v rámci této studie řešen.**

- c) **Nevýrobní čas plánovaný** je část časového fondu pracoviště, kterou nelze nikdy zcela odstranit a je v rámci produktivity pracoviště žádoucí ji alespoň minimalizovat. Jde o formu nutného plýtvání, tedy neproduktivní, ale nutnou část časového fondu. Nejčastěji ji tvoří plánovaná údržba, přestavba pracoviště na jinou výrobní variantu, nepodmíněné seřizování, kontrola a čištění pracoviště atp.

Jedním z cílů této studie je analyzovat rozsah této formy nutného plýtvání a případně navrhnout možnosti jeho minimalizace.

- d) **Nevýrobní čas neplánovaný** představuje čisté plýtvání. Jde o tu část časového fondu pracoviště, při které nejsou tvořeny žádné hodnoty, ze kterých by mohl společenosti plynout zisk. Obecně je cílem je úplně odstranit, což není zpravidla

možné. Je možné je pouze minimalizovat. Jde především o prostoje způsobené jednak nesprávně nastaveným procesem, jednak o prostoje vzniklé nahodilou příčinou.

Mezi nesprávně nastavené procesy patří např. **špatné výrobní plánování** (nevhodný rozsah nebo počet výrobních zakázek, nedostatek vstupního materiálu, špatné logistické toky), **nedostatečná údržba** (podcenění preventivní a prediktivní údržby, nedostatek údržbářů), **špatně řízená kontrola vstupního materiálu**, apod.

Mezi nahodilé příčina patří např. **nečekaný vývoj** (především pokles) **zákaznických požadavků** na vyrobené množství, **náhlá porucha stroje** (i přes dodržení dostupných preventivních opatření proti selhání), **nedostatečné personální zajištění obsluhou** (nemocnost, tržní vlivy), apod.

Často jde o největší část časového fondu pracoviště, kterou lze minimalizovat jen velmi složitě nebo zdlouhavě, protože se týká mnoha interních nebo hůře dokonce externích procesů/faktorů procházejících mnoha jednotlivými odděleními společnosti a vyžadují vyšší úroveň kooperace a především zájmu jednotlivých oddělení na vylepšení těchto procesů.

Jedním z cílů této studie je analýza rozsahu této části disponibilního časového fondu pracoviště a případná obecná nápravná opatření pro její minimalizaci. Nikoliv však detailní řešení, které by vzhledem výše uvedenému vyžadovalo zpravidla jednak hlubší procesí znalosti všech příčin, jednak mnohem detailnější analýzu vzájemných souvislostí těchto příčin, která není vzhledem ke svému rozsahu předmětem této studie.

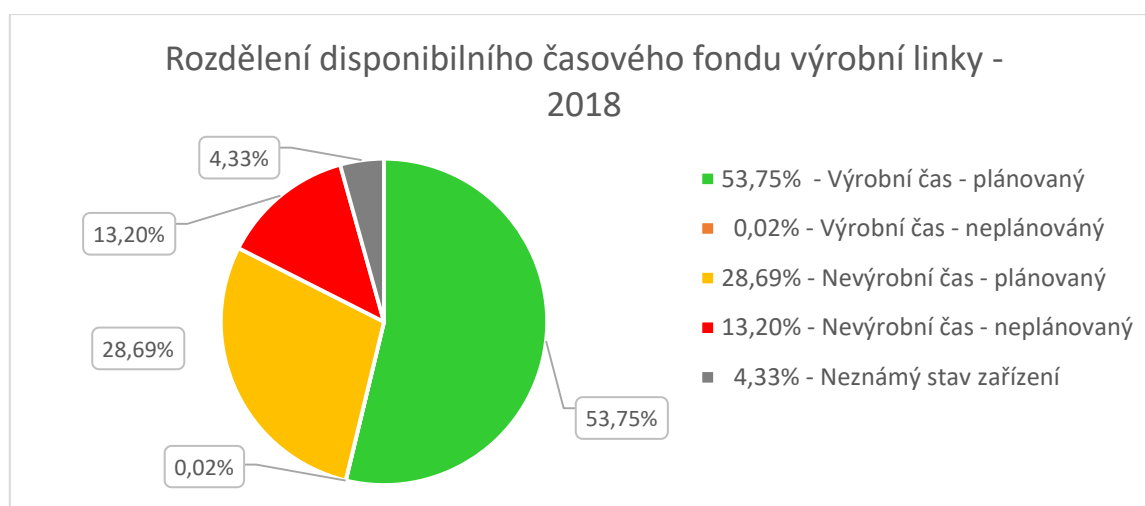
2.6.2. Rozdělení časového fondu výrobní linky

Pro analýzu časového fondu je třeba znát rozložení jednotlivých stavů, ve kterých se pracoviště, resp. výrobní linka nacházela během sledovaného období. Jak bylo zmíněno v úvodu, datová základna pro tuto analýzu vychází z interního ME systému, který po úvodním zpracování vstupních dat poskytuje detailní přehled výrobních charakteristik jednotlivých pracovišť/zařízení ve výrobním závodě.

Je třeba zmínit, že v případě informace o stavu pracoviště nejde o zcela autonomně systémem řízenou informaci, protože vybrané stavy pracoviště nejsou vždy automaticky generované konkrétním pracovištěm resp. zařízením, nýbrž obsluhou. Relevance těchto dat je závislá na lidském faktoru. Z tohoto důvodu mohou být uvedené

informace ne zcela korektní nebo neúplné. Což naznačuje i graf rozdělení disponibilního časového fondu níže, kde je zřetelné, že zhruba 4,33% časového fondu není možné identifikovat a patří do tzv. „šedé zóny“. Zejména proto, že obsluha, která má na starosti případné manuální zadání stavu do ME systému, pochybila a stav pracoviště neuvedla. Zároveň lze říci, že na základě předchozího plošného interního hodnocení mají manuálně zadávaná data o stavu pracoviště na tomto výrobním úseku časovou odchylku do maximálně +4,3% skutečného trvání. Z hlediska správnosti zadaného stavu pracoviště je pak 2,1% stavů zadáno nesprávně²². Podstatný vliv na to má směnový model resp. noční směny, při kterých je relevance zadávaných stavů objektivně nižší a dosahuje právě výše uvedených hodnot.

Níže je uvedeno rozdělení všech známých stavů, ve kterých se nacházela linka za rok 2018.



Obrázek 16 – Rozdělení časového fondu výrobní linky

Z grafu je patrné, že bez ohledu na aktuální výrobní takt linky, tvoří čistý výrobní čas resp. *produktivní čas plánovaný* pouze 53,75% disponibilního časového fondu. To je nečekaný a poměrně slabý výsledek. O to závažnější, když ho dáme do vztahu s jedním ze základních faktů, které iniciovaly vznik tohoto projektu, tedy nedostatečnou výrobní kapacitou linky. Tato skutečnost v první řadě naznačuje, že disponibilní čas výrobní linky není zcela využit.

Jiným pohledem lze říci, že minimálně ve zbylých 41,91% disponibilního času by linka mohla vyrábět, ale nevyrábí, kvůli prostojeům. Nicméně jak již bylo uvedeno,

²² Vnitropodniková studie relevantnosti výrobních dat ME systému za rok 2018

je třeba brát v úvahu, že každé pracoviště bude mít vždy určitý podíl neproduktivních časů, který nelze nikdy zcela odstranit. Cílem tedy je tento podíl alespoň minimalizovat.

K tomuto účelu je nejprve třeba provést detailnější rozdělení jednotlivých stavů, ve kterých se pracoviště, resp. výrobní linka²³ za sledované období nacházela.

Níže uvedená data popisují detail rozdělení stavů u šesti vybraných výrobních variant za rok 2018 a to sestupně dle jejich trvání. Pro doplnění a lepší představu je uvedena i sekce četnosti jednotlivých stavů, která může poukázat na rozsah závažnosti jednotlivých stavů nebo dalších z toho vyplívajících skutečností.

| Stav | | | Trvání | | Četnost | |
|--------------|-------------|----------------------------|------------|-------|---------|-------|
| Časové konto | Třída stavů | Označení | [h:mm:ss] | [%] | [-] | [%] |
| Výrobní | Plánováno | Produkce | 4556:27:07 | 53,75 | 18 408 | 48,79 |
| Výrobní | Neplánováno | Výrobní test, vzorky | 1:25:12 | 0,02 | 4 | 0,01 |
| Nevýrobní | Plánováno | Víkend, volno | 2219:28:17 | 23,39 | 104 | 0,32 |
| Nevýrobní | Plánováno | Příprava výrobního procesu | 373:12:12 | 4,40 | 978 | 2,59 |
| Nevýrobní | Plánováno | Přestavba linky | 76:27:14 | 0,90 | 192 | 0,51 |
| Nevýrobní | Neplánováno | Chybí materiál | 406:26:44 | 4,79 | 68 | 0,18 |
| Nevýrobní | Neplánováno | Krátkodobá porucha | 208:40:21 | 2,46 | 15 779 | 41,82 |
| Nevýrobní | Neplánováno | Chybí personál | 195:25:55 | 2,31 | 138 | 0,37 |
| Nevýrobní | Neplánováno | Chybí zakázka | 137:50:17 | 1,62 | 418 | 1,10 |
| Nevýrobní | Neplánováno | Čekání na elektroúdržbu | 64:16:52 | 0,76 | 44 | 0,12 |
| Nevýrobní | Neplánováno | Seřizování | 44:57:30 | 0,53 | 65 | 0,17 |
| Nevýrobní | Neplánováno | Provádění údržby | 24:59:50 | 0,29 | 20 | 0,05 |
| Nevýrobní | Neplánováno | Čekání na TPV | 17:00:48 | 0,20 | 16 | 0,04 |
| Nevýrobní | Neplánováno | Čekání na nástrojárnu | 15:19:51 | 0,18 | 7 | 0,02 |
| Nevýrobní | Neplánováno | Vadný materiál | 4:59:01 | 0,06 | 4 | 0,01 |
| N/A | N/A | Jiné | 367:12:12 | 4,33 | 1 465 | 3,88 |

Tabulka 2 – Rozvržení využitelného časového fondu

2.6.2.1. Nevýrobní čas plánovaný

Z výše uvedené tabulky je patrné, že významnou část (23,39%²⁴) disponibilního časového fondu tvořily v roce 2018 víkendy a pracovní volno, které představují nevýrobní – tedy neproduktivní – plánovanou složku času.

²³ Jedním ze základních předpokladů je, že jsou v provozu všechna pracoviště linky, nebo žádné. Z toho plyne, že pokud linka stojí kvůli lokální poruše jednoho pracoviště, přenáší se automaticky tento stav na celou linku. Tzn., pokud pro jedno z pracovišť platí např. stav „Čekání na údržbu“, platí to taktéž pro zbylá pracoviště linky.

²⁴ Ve skutečnosti tvoří víkendy v tomto směnovém režimu teoreticky celkem 28,57%, ale v celkovém přehledu je výčet víkendů ponížěn o nestandardní výrobu jako např. práce přesčas na reálných 23,39%

Výrobní linka se aktuálně nachází ve třísměnném režimu provozu 24/5²⁵.

V první řadě se tak obecně nabízí uplatnit u této výrobní linky přesčasový režim. Nicméně to je vhodné spíše pro dočasné pokrytí nadstandardních výrobních požadavků nikoliv jako dlouhodobé řešení. Nehledě na morální a legislativní aspekty této možnosti jde také o dlouhodobě neekonomické řešení především kvůli vícenákladům na personální obsluhu mimo standardní směnový model.

Součástí výrobního závodu je i výrobní úsek s nepřetržitým provozem 24/7²⁶, který disponuje o 28,57% větším využitelným časovým fondem, než provoz 24/5. **Přednostně se tedy nabízí přesun této linky do nepřetržitého provozu, což by umožnilo zvětšit část disponibilního časového fondu o 28,57% a to bez nutnosti přímých zásahů do samotného výrobního procesu, změny technologičnosti výroby apod.**

Po provedení přesunu linky je třeba počítat naopak s dočasným snížením výrobního výkonu v důsledku zaučování nové obsluhy. Ze zkušenosti trvá průměrnému pracovníkovi 120 hodin, než dosáhne alespoň 95% výkonu průměrného pracovníka na daném typu montážních zařízení. To znamená snížený výkon po dobu minimálně 5-6 pracovních dní.

Samotný přesun linky je časově hodnocen na zhruba 750 člověkohodin. Současné oddělení mechanické podpory mající na starosti obdobné přesuny zařízení je schopné tento přesun zvládnout při běžné kapacitě za 5-7 pracovních dní.

Dalším významným stavem, ve kterém se zařízení může obecně nacházet je, jak z hlediska samotného času, tak z hlediska počtu výskytů stav „*Příprava výrobního procesu*“. Tedy stav, kdy seřizovač na začátku každé směny, po změně výrobní varianty nebo jiné vzniklé situaci, která může významně ovlivnit stav stroje a jeho schopnost vyrábět kvalitní výrobky, musí seřadit každý stroj výrobní linky a pomocí specifických kalibrů ověřit funkčnost všech senzorů a dalších výrobních a kontrolních prvků.

Jak uvádí Michael (2010, s. 53), jde o BNVA²⁷ činnost. Tedy činnost, která nepřináší žádnou hodnotu, ale je výrobcem nasazena např. za účelem zvýšení bezpečnosti procesu. Jde vlastně o formu preventivní kontroly provozuschopnosti

²⁵ Směnový provoz „24/5“ představuje výrobu 24 hodin denně, 5 dní v kalendářním týdnu

²⁶ Směnový provoz „24/7“ představuje výrobu 24 hodin denně, 7 dní v kalendářním týdnu

²⁷ Z anglického Business Non Value Added

zařízení, která obecně nepřidává žádnou hodnotu, ale je to prevence proti vícenákladům za případnou zmetkovitost.

Zkušenost ukazuje, že např. po změně výrobní varianty nebo při závažnější poruše zařízení, kdy je nutný zásah uvnitř zařízení a může tak být ovlivněna schopnost vyrábět kvalitní kusy, je vhodné tuto činnost ponechat. Nicméně nepodařilo se prokázat, že by zpětně, za dobu 5 letého provozu, měla změna směny přímý vliv na změnu provozuschopnosti výrobní linky.

Vzhledem k tomu, že nejde o přímý zákaznický požadavek a řízení této aktivity spadá pod vedení výroby závodu, **dalším navrhovaným nápravným opatřením za účelem zvýšení dostupného časového fondu výrobní linky je provádění činnosti přípravy výrobního procesu, pouze na první směně daného dne, při změně výrobní varianty nebo v nestandardních situacích, jak je uvedeno výše.** Základní statistická analýza²⁸ ukazuje, že střední doba trvání této činnosti je 22,8 minut. To by při zohlednění především směnnosti a rozložení počtu změn výrobních variant za rok 2018 ušetřilo minimálně 3,5% času z denního využitelného fondu v provozu 24/5 a 1,7% v provozu 24/7.

Dalším významným stavem, ve kterém se zařízení může obecně nacházet je stav „*Přestavba linky*“. Tedy stav, kdy seřizovač mění vybavení linky včetně specifických přípravků za účelem výroby dané výrobní varianty.

Jak bylo uvedeno v úvodu, jednotlivá zařízení fungují na principu výměnného vnitřního (často lisovacího) přípravku specifického pro danou variantu, který se k nosné konstrukci zařízení upíná zpravidla za pomoci 4 až 8 šroubů s válcovou hlavou M8x30.

Umístění přípravku do zařízení je z ergonomického hlediska přijatelně komfortní a nepřevyšuje hmotnostní limity na manipulaci ani u žen seřizovaček. Nicméně zajištění takového přípravku je často v místech, kde není dost prostoru pro použití standardně dostupných upínacích prostředků. Tzn., seřizovači jsou nuceni zdlouhavě a namáhavě hledat vhodnou polohu, jak se s pomocí šestihranných L-klíčů dostat do vhodné pozice k utažení upínacích šroubů.

²⁸ Příloha č. 1 – Vstupní data o trvání činnosti „Příprava výrobního procesu“ z ME systému zpracovaná v podpůrném softwaru Minitab® 17

To je časově náročně a ergonomicky nepříjemné. **Navrhovaným opatřením je nahrazení standardních šestihranných L-klíčů za flexibilní nástavec s elektrickým šroubovákem o dostatečné torzní tuhosti²⁹, který seřizovači umožní se dostat do těžko přístupných míst.**



Obrázek 17- Sada šestihranných L-klíčů



Obrázek 18 - Flexibilní šroubovací přípravek

15 zkušebních přestaveb linky ukázalo na možnost zkrátit čas přestavby tímto způsobem za využití dvou seřizovačů až o 74%. Tzn., z průměrného času 23,9 min na 6,2 min. V celkovém časovém fondu pak tato úspora tvoří 0,7%.

2.6.2.2. Nevýrobní čas neplánovaný

Jak bylo uvedeno v kapitole 2.2.1 d), jde o část časového fondu, kterou lze označit jako čisté plýtvání. Zároveň je uvedeno, že ji často reprezentují aktivity procesně složitější, jejichž řešení bude v tomto konkrétním případě vzhledem k očekávanému rozsahu a komplexnosti pouze naznačeno případně jako možný návrh pro další samostatné projekty.

Dle tabulky č. 2 lze říci, že v roce 2018 s podílem 11,18% disponibilního časového fondu jsou nejvýznamnějšími stavy výrobní linky chybějící personál/materiál/zakázka a krátkodobá porucha. Pojdme tyto stavy blíže analyzovat.

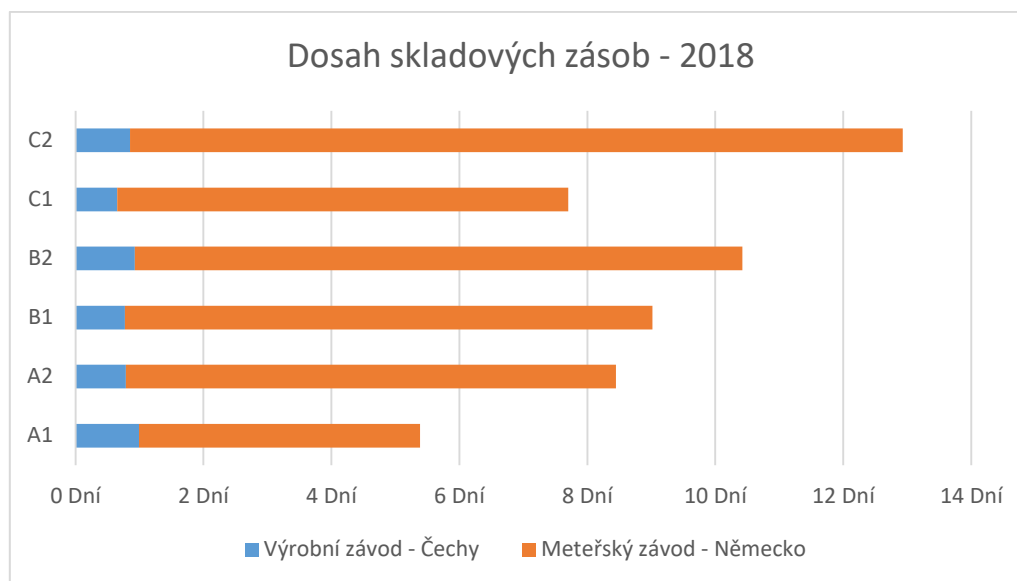
Stav **Chybí materiál** reprezentuje jednak chybějící vstupní materiál, jednak chybějící (vratný) obalový materiál výstupního produktu. Rozdělení těchto stavů aktuálně ME systém neumožňuje a není možné exaktně určit jejich vzájemný podíl.

²⁹ Předepsaný utahovací moment všech upínacích šroubů všech přípravků je 0,7Nm.

Dle interní diskuse s oddělením logistiky a řízení výroby jde v případě chybějícího vstupního materiálu subjektivně většinou o jeden typ interně vyráběného vstupního dílu, nikoliv dílu externího dodavatele. **V průběhu tvorby této studie byl nezávisle spuštěn paralelní projekt, jehož cílem je navýšení výrobní kapacity,** která je kořenovou příčinou chybějícího výrobního dílu společného pro hlavní výrobní varianty výrobní linky. Není tedy třeba v rámci této studie přímo řešit možná nápravná opatření.

V případě chybějícího obalového materiálu na výstupu výrobní linky jde zpravidla o vratné nikoli jednorázové balící jednotky, které obecně kolují mezi výrobcem a dodavatelem. Kmenový výrobní závod, ve kterém se nachází i řešená linka BEV2013, není přímým dodavatelem v rámci JIT. V tomto případě je však ve výše uvedeném logistickém řetězci obalového materiálu další mezičlánek, kterým je mateřský výrobní závod, kam jsou zasílány všechny výrobky před jejich fyzickým prodejem zákazníkovi.

Základními parametry pro řešení nedostatku obalů je sama disponibilita obalů a zároveň jejich celkový počet. Počet je statický a jeho navyšování je schvalováno zákazníkem. Z mnoha interních důvodů se plošné navyšování počtu obalových jednotek neprovádí. Pojďme se tak blíže podívat na disponibilitu. Tu určuje především obsazenost obalové jednotky. Tedy zda je k dispozici pro použití na lince nebo je obsazena. Obsazenost způsobují případné nežádoucí resp. nadbytečné skladové zásoby. Na základě datového výstupu z podnikového ERP systému lze určit aktuální i dlouhodobé vytížení skladů dle jednotlivých výrobků linky. Díky tomu lze vytvořit základní přehledové rozložení dosahu skladových zásob vybraných výrobních variant za rok 2018, které je uvedeno níže.



Obrázek 19 – Průměrné množství skladových zásob

Výše uvedený graf poukazuje pouze aritmetický průměr dosahu zásob. Tzn. pouze naznačuje hrubý poměr rozložení skladových zásob mezi jednotlivými závody v Čechách a v Německu a míru jejich rozsahu. Detailní rozvržení skladových zásob je pak k nahlédnutí v příloze č. 2. To i s přihlédnutím k možnosti nestabilních zákaznických objednávek poukazuje na nevyváženost procesu udržování skladových zásob v mateřském závodě a to i pojistných. Při bližší systémové analýze³⁰ se v 78,5% případů shoduje datum vzniku stavu „Chybí materiál“ ve výrobním závodě v Čechách a datum existence nadprůměrných skladových zásob dané výrobní varianty v mateřském výrobním závodě v Německu. Kvůli netriviálnosti zobrazování závislosti spojitých a diskrétních dat tohoto typu, není uvedena grafická reprezentace výsledků.

Na základě výše uvedeného lze říci, že optimální proces udržování skladových zásob v mateřském závodě může snížit rozsah neproduktivního času výrobní linky o 4,79%. Zároveň je možné tento problém řešit pořízením nových balicích jednotek, u nichž je ale třeba řešit související vzniklé problémy jako zvýšené požadavky na skladovací plochy. Jak bylo zmíněno v kapitole 2.2.1 d), obě navržená řešení vyžadují svým rozsahem samostatný projekt a detailní řešení není součástí této studie.

³⁰ Vnitropodniková analýza dat z ERP systému a ME systému.

Stav **Krátkodobá porucha** se svým zastoupením 2,46% z celkového disponibilního časového fondu a četností 15 779 výskytů tvoří zcela specifický případ nedokonalosti výrobního procesu. Krátkodobou poruchou interní ME systém obecně rozumí poruchu do 5 minut nevýroby, kterou není nikterak třeba systémově zdůvodňovat, např. když jde obsluha pracoviště na toaletu.

Při bližším procesním zkoumání se však ukazuje, že jde ve skutečnosti o nahodilou nutnost opakované zkoušky na posledním výstupním testovacím pracovišti. Výrobek je v takovém případě nad rámec standardního pracovního cyklu nutné opět vložit do zkušebního přípravku a zkoušku opakovat. To linku zpomaluje a dle subjektivního posouzení samotnou obsluhou tato situace nastává zcela nahodile. To se zatím nepodařilo objektivně potvrdit ani vyvrátit. Z tohoto důvodu je toto vhodné téma na řešení formou standardního projektu DMAIC (Lean & SixSigma), který mimo jiné v průběhu několika po sobě jdoucích fází za pomoci týmu a předem definovaných početních metod napomáhá řešit problémy s variabilitou, jejichž kořenová příčina není známa a umožňuje hledat vazby mezi vnějšími faktory a samotným vznikem nežádoucího stavu.

Projekt DMAIC trvá dle Michaela (2010, s. 2) 1 až 4 měsíce. A proto není součástí této studie. **Toto téma bude navrženo k řešení v rámci standardně probíhajících vnitropodnikových projektů typu DMAIC pod vedením interního koordinátora na úrovni Green Belt³¹.**

Stav **Chybí personál** se svými 2,31% představuje další významný potenciál pro snížení neproduktivních časů výrobní linky. Dostupnost resp. nedostupnost personálu je obecně záležitostí zahrnující mnoho vstupních faktorů od dlouhodobé úrovně, kterou představuje samotná tržní dostupnost zaměstnanců až po krátkodobou úroveň jako je například sezónní nemocnost. Nicméně zkušenost říká, že ani jeden z těchto faktorů se netýká výše zmiňovaného stavu. Základní příčinou je, že až 36% výrobních zařízení není v době probíhající pracovní směny napříč všemi výrobními úseky aktivně využíváno. Obsluha strojů zpravidla v rámci firemní kvalifikace disponuje znalostmi pro obsluhu několika rozdílných typů strojů najednou. Je tak možné s personálem manipulovat nejen v rámci jednoho daného výrobního úseku resp. modelu, ale i

³¹ Metodika Lean & SixSigma rozlišuje tři základní zkušenostní úrovně koordinátorů projektů DMAIC – YellowBelt, GreenBelt, BlackBelt

vzájemně mezi jednotlivými úseky resp. směnovými modely dle aktuální nebo dlouhodobé potřeby.

Chybějící personál je tak zpravidla způsoben vedoucím dané směny, který má k dispozici rozsah zákaznických zakázek a subjektivně určuje výrobní priority. To znamená, že výrobní linka má v daný moment dostupný všechny vstupní i obalový materiál, jsou systémově vyplánovány výrobní zakázky ke zpracování, ale v rámci výrobního závodu existuje nějaká zakázka s vyšší prioritou, kam je obsluha linky relokalizována.

To znamená, že tento stav a jeho zastoupení v celkovém dostupném časovém fondu lze ovlivnit resp. odstranit vhodnou prioritizací výrobních zakázek, která přináší z hlediska odpovědnosti vedoucímu výrobního oddělení. Ten bude o výsledcích a dalších souvislostech v tomto smyslu informován.

Stav *Chybí zakázka* se svými 1,62% zastoupení v celkovém disponibilním časovém fondu odpovídá stavu výrobní linky, kdy je k dispozici veškerý vstupní materiál, obalový materiál i obsluha, ale v systému nejsou evidovány žádné plánované zakázky, dle kterých by se mělo vyrábět.

To může být obecně způsobeno např. samotným logistikem, který zapomněl vyplánovat výrobu nebo není k dispozici materiál, ze kterého je třeba vyrábět. Dokonce je možné, že daný materiál je skladově fyzicky k dispozici, ale je systémově blokován pro jiné vyplánované zakázky, které tento díl sdílí s výrobky linky BEV2013.

Analýza zákaznických odvolávek³² a skutečně vyplánovaných výrobních dávek tuto skutečnost nepřímo potvrdila, protože za sledované období se v systému kontinuálně nacházely zákaznické odvolávky vždy minimálně na jednu nebo více z vyráběných variant a to včetně vstupního materiálu.

Pro snížení vlivu tohoto stavu na rozsah neplánovaného nevýrobního času linky bude s oddělením logistiky diskutována nutnost stabilizace procesu plánování výrobních zakázek a zvýšení jeho spolehlivosti.

³² Zákaznická předpověď odběru výrobků na nadcházející období, dle kterých se plánuje konkrétní výroba.

2.7. Analýza montážního procesu

Tato kapitola se na rozdíl od analýzy časového fondu principiálně věnuje oblasti efektivity výrobní linky, řešíc konkrétní možnosti zlepšení samotného výrobního procesu bez ohledu na disponibilní časový fond. Tedy zjišťuje aktuální výrobní výkon a řeší možnosti jeho zlepšení.

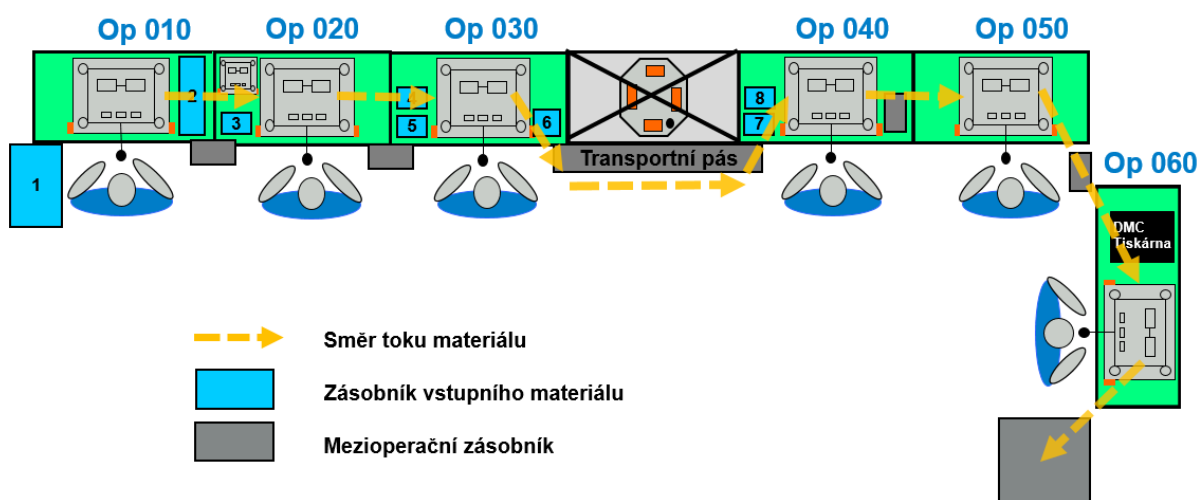
Za účelem lepšího pochopení výrobního výkonu a efektivity výrobní linky lze opět s výhodou použít vnitropodnikový ME systém zajišťující sledování především právě těchto výrobních charakteristik a vytvořit poměrně přesné rozložení výrobního výkonu jednotlivých pracovišť ve vztahu k vyráběné variantě, což je řešeno v následujících podkapitolách.

2.7.1. Skladba výrobních operací

V kapitole 2.1. *Produktová analýza* bylo uvedeno, že budou v závislosti na skladbě výrobního portfolia řešeny dvě hlavní výrobní varianty a jim odpovídající výrobní postup.

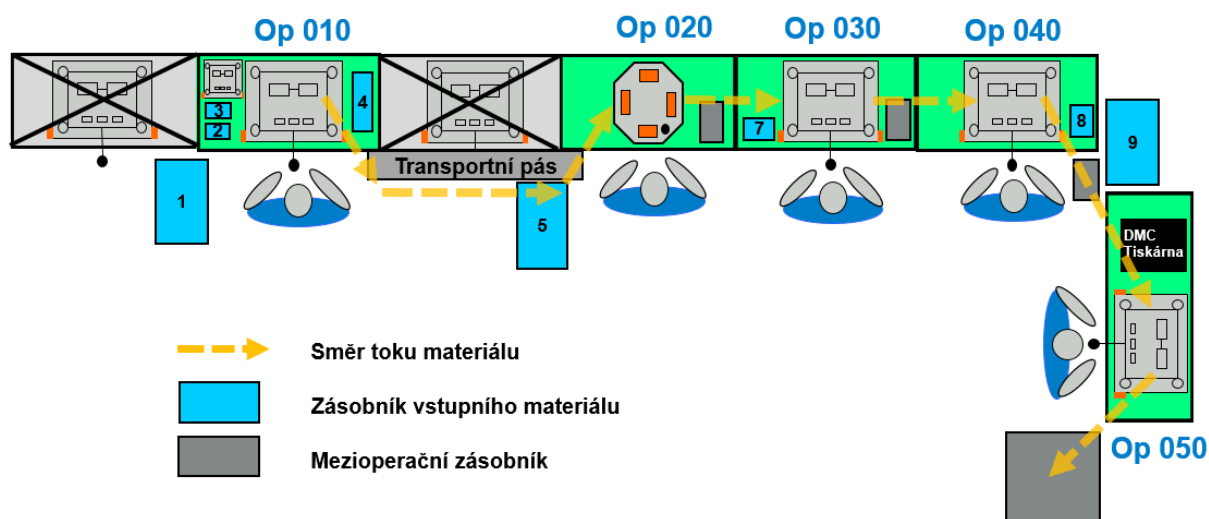
Tabulka č. 1 uvádí, že dvěma hlavními výrobními postupy jsou postup #1 (pro varianty A a B) a výrobní postup #2 (pro varianty C a D).

Výrobní postup #1 využívá šest z celkových sedmi pracovišť výrobní linky, tak jak je schematicky uvedeno na obrázku níže.



Obrázek 20 – Schéma výrobní linky pro výrobní postup #1

Výrobní postup #2 využívá pouze pět z celkových sedmi pracovišť výrobní linky, tak jak je schematicky uvedeno na obrázku níže.



Obrázek 21 – Schéma výrobní linky pro výrobní postup #2

Oba výrobní postupy včetně dekompozice na jednotlivé výrobní kroky jsou uvedeny v příloze č. 3.

2.7.2. Časová analýza výrobních operací

Tato kapitola se zabývá analýzou výrobních operací, převážně z hlediska časových nároků a jejich vlivu na výrobní výkon a propustnost výrobku linkou.

K tomuto účelu je třeba získat časové nároky jednotlivých montážních a testovacích operací každého z pracovišť pro každou výrobní variantu. To je obecně možné provést několika různými metodami od ručního náměru elementárních operací pomocí stopek v přímém výrobním provozu nebo např. metodou předem stanovených časů³³ (MOST, MTM,...). V tomto případě jsou k dispozici výrobní data z ME systému, která po vhodném statistickém zpracování poskytnou přesnou informaci o rozložení časů výrobních a testovacích cyklů jednotlivých pracovišť.

Je nutné podotknout, že každá z metod má své výhody a nevýhody. Mezi nevýznamnější patří například rozdílná statistická významnost resp. přesnost výsledků a celková časová náročnost provedení.

³³ Např. na základě analýzy typu pohybu a jeho vzdálenosti jsou z předem definovaných tabelovaných hodnot vybírány časy elementárních úkonů (uchopit, přemístit,...), z nichž je následně sestaven celkový odhadovaný čas celé operace.

Metodou předem stanovených časů je s pomocí 3D modelu možné stanovit očekávané časové nároky daného pracoviště v podstatě ještě před jeho fyzickou výstavbou, ale výsledek je pouze odhad. Naopak v případě sběru reálných dat skrze ME systém již existujících pracovišť je přesnost velmi vysoká, ale také velmi zdlouhavá. Navíc není možné zjistit detailní poměr strojního a personálního času. Vzhledem k počtu testovaných variant a jim odpovídajícímu počtu pracovišť je v tomto případě stále vhodnější pro účely této studie použít náměr z ME systému.

Aby bylo možné data o rozložení časových cyklů z ME systému vyhodnotit a daný výsledek prohlásit za statisticky významný³⁴, je nutné stanovit rozsah testovaného vzorku dat.

Dle Michaela (2010, s. 85) je minimální velikost statisticky významného vzorku dat vyjádřena následujícím vztahem:

$$n = \left(\frac{1,96 s}{\Delta} \right)^2 [-]$$

n...minimální velikost vzorku [-]

1,96...konstanta představující 95% interval spolehlivosti³⁵ [-]

s...odhadovaná směrodatná odchylka³⁶ [s]

Δ ...úroveň přesnosti měření [s]

$$n = \left(\frac{1,96 \cdot 10}{0,5} \right)^2 = 1537 \text{ náměrů}$$

Pro stanovení střední hodnoty času cyklu s přesností +/-0,5s při odhadovaném maximálním rozptylu času cyklu +/-10s je třeba provést nejméně 1537 náměrů pro každé pracoviště a každou výrobní variantu.

Získané výsledky budou při zachování stejných parametrů výrobního procesu s 95% pravděpodobností stejné pro všechny libovolné nastávající náměry.

³⁴ Obecně platí, čím přesnější a spolehlivější data jsou třeba, tím větší vzorek dat je nutné zpracovat. Závěry z pozorování části celku lze pak s konkrétní pravděpodobností vztáhnout na celou skupinu.

³⁵ Pro 30 a více testovaných náměrů

³⁶ Směrodatná odchylka před měřením není známa a je třeba ji empiricky odhadnout např. na základě znalosti podobně probíhajících procesů nebo alespoň určením minima a maxima očekávané měřené hodnoty

Michael (2010, s. 82) uvádí, že nejde jen o počet náměrů a je také třeba subjektivně posoudit, zda byl testován odpovídající, relevantní, reprezentativní a ideálně nahodilý vzorek dat. Tzn. zajistit, aby měření obsahovalo i všechny potenciálně významné skutečnosti, faktory, vlivy, které běžně vznikají a mohly by významně ovlivnit výsledek měření jak negativně, tak pozitivně.

V případě sběru dat pro tuto studii byla vybrána data silně nad rámec rozsahu statisticky významného vzorku dat. Měřená data pochází z období, během kterého se opakovaně střídali všechny směny, probíhaly všechny standardní procesy, jako je seřizování, neplánované odstávky, nahodilé selhání stroje, logistické zpoždění vstupního materiálu a mnoho dalších, které mají standardně zásadní vliv na výrobní výkon, tak jak je tomu v běžném provozu.

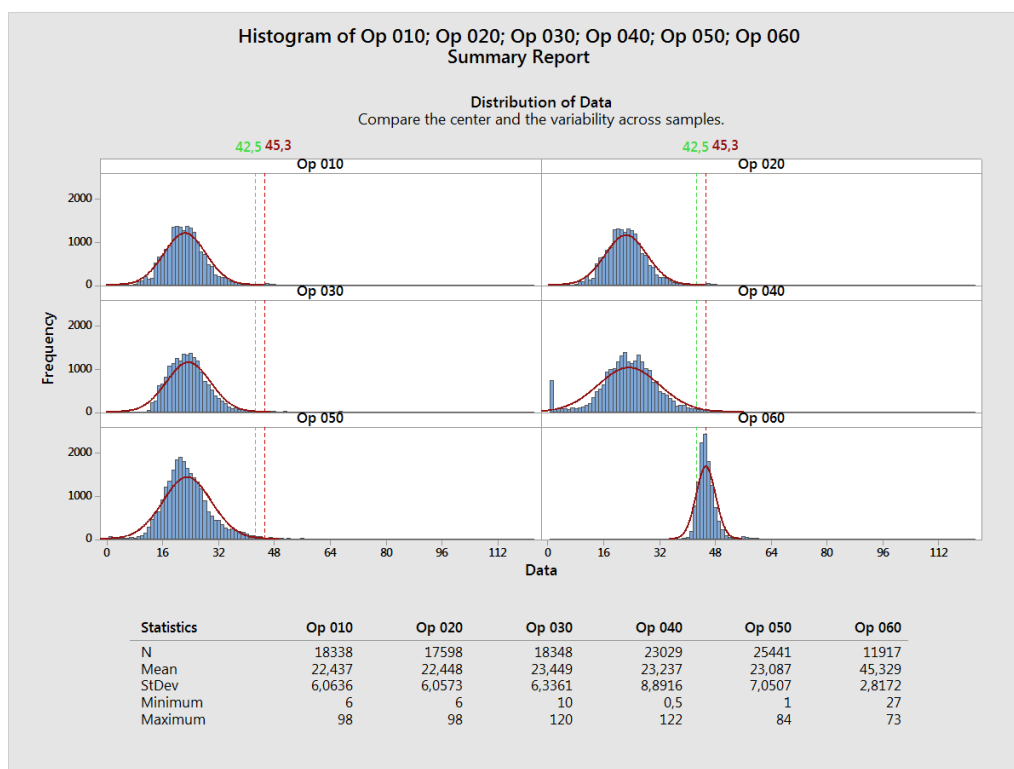
S ohledem na výše uvedené byla provedena statistická analýza na celkovém vzorku větším, než jeden milion výrobních cyklů, která zahrnuje statisticky významný, relevantní a reprezentativní vzorek dat rozložení časů výrobních cyklů jednotlivých pracovišť pro každou vyráběnou variantu. Výsledky této analýzy vzhledem k výskytu konkrétních symetrií výrobních časů mezi jednotlivými variantami zároveň podpořily úvodní teorii o možnosti sloučení resp. rozdělení několika výrobních variant na dva hlavní výrobní postupy, jejichž výsledky jsou prezentovány níže v průběhu této kapitoly.

Před samotnou prezentací výsledků časové analýzy jednotlivých operací je třeba zmínit jednu zásadní skutečnost a to, že nejde o časy elementárních činností, které se v rámci každého výrobního nebo kontrolního pracoviště vykonávají, tak jak je řeší např. metoda předem stanovených časů, ale o celkové časy výrobních cyklů od vstupu po výstup rozpracovaného výrobku jednotlivými pracovišti. Tzn., že konkrétní rozložení času výrobního cyklu daného pracoviště je zpravidla vždy složeno jak ze strojního, tak z personálního času.

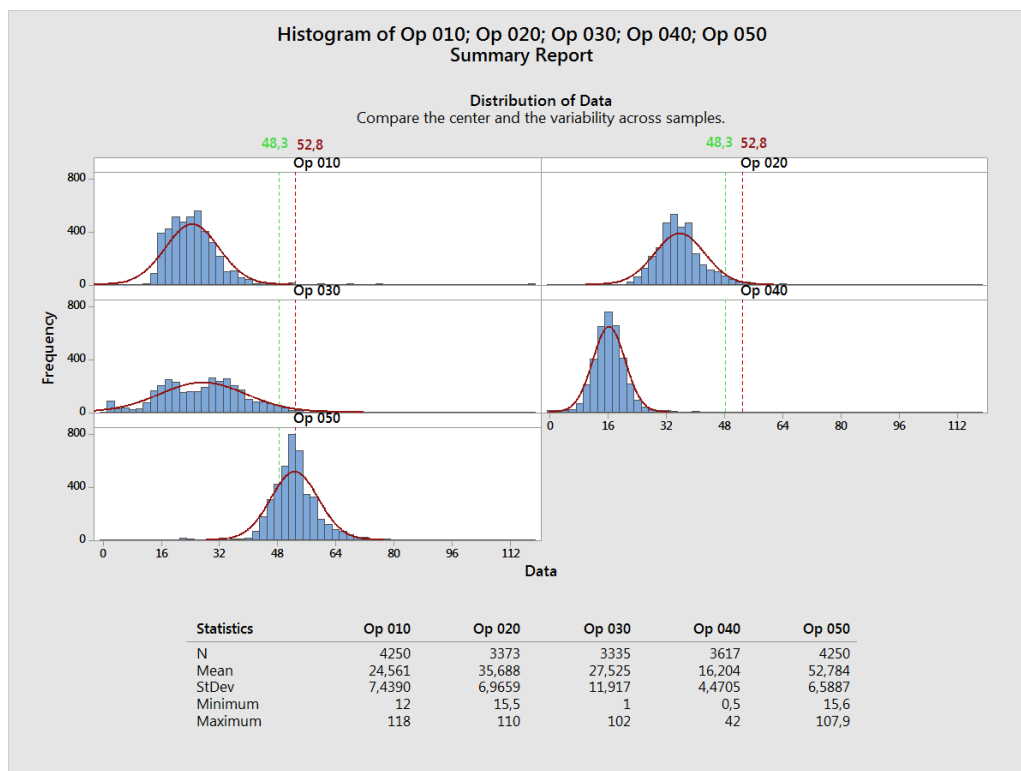
Obecně by bylo vhodné analyzovat a následně případně zlepšit složení jednotlivých kroků výrobních operací, jejich sled apod. Nicméně výrobní postup pro všechny výrobní varianty, tak jak ho popisuje příloha č. 3, je pevně daný, schválený zákazníkem a nelze ho ve vztahu k stávajícím závazkům jednoduše měnit. Proto dává smysl řešit nejprve celkové rozložení výrobních časů jednotlivých výrobních operací a

hledat především možné nesrovnalosti nebo nerovnoměrnosti výrobního taktu. Až poté následně případně řešit detail dekompozicí na jednotlivé úkony výrobní operace a jejich následnou optimalizaci.

Níže jsou uvedeny výsledky datové analýzy rozložení výrobních cyklů jednotlivých pracovišť pro dva hlavní výrobní postupy formou histogramů. Každý z histogramů je označen Op 010 až Op 060 dle operace výrobního postupu, kterou reprezentuje.



Obrázek 22 – Rozložení výrobních časů pro výrobní postup #1



Obrázek 23 – Rozložení výrobních časů pro výrobní postup #2

V případě ideálně vyvážených časů cyklů pracovišť výrobní linky by se výrobní časy měly pohybovat kolem jedné střední hodnoty, stejné pro všechna pracoviště a to co možná nejmenším rozptylem okolo této hodnoty. To se dle výše uvedených údajů na výrobní lince neděje.

V každém histogramu lze vidět barevně zvýrazněné dvě významné hodnoty. Červená přerušovaná čára představuje střední hodnotu času cyklu nejpomalejšího pracoviště, tedy úzkého místa výrobní linky. Červená přerušovaná čára představuje aktuálně požadovaný výrobní čas cyklu linky na výstupu odpovídající technologem nastavenému výrobnímu taktu.

Z výše uvedených faktů lze vyvodit následující základní úvahy:

- a) Úzkým místem výrobní linky je pro oba výrobní postupy poslední operace (Op 060 pro výrobní postup #1 resp. Op 050 pro výrobní postup #2)
- b) Jednotlivá pracoviště výrobní linky nejsou z hlediska rozložení časů výrobních cyklů vyvážená.
- c) Skutečný výrobní takt neodpovídá očekávanému.

Ad a) Úzké místo, tedy nejpomalejší místo, udává takt celé linky a je tak žádoucí ho zrychlit. V tomto případě nelze měnit nebo zrychlit samotný výrobní proces na tomto pracovišti a jediná relevantní možnost je duplikovat tuto pracovní operaci a zdvojnásobit tak průchodnost produktu touto operací výrobního postupu.

Zdvojnásobením Op 060 se u obou výrobních variant zvýší průchodnost produktu linkou o minimálně 24% a maximálně 54% (v závislosti na výrobní variantě). Takt linky se bude řídit novým úzkým pracovištěm výrobní linky. V obou případech je to Op 030 a další možné z toho vyplývající negativní vlivy, které jsou pospány níže.

Ad b) Pro všechna pracoviště platí, že rozptyl hodnot by měl být co nejmenší. Čím menší je rozptyl hodnot, tím stabilnější je proces. Nejvýraznější rozdíl rozptylu je mezi operací Op 060 výrobního postupu #1, která představuje ideální stav a operací Op 030 výrobního postupu #2, která představuje nežádoucí stav.

V případě, že známe střední hodnotu času cyklu nového úzkého místa výrobní linky a vykazuje značný rozptyl, bude tento rozptyl vykazovat celá linka. To neplatí pro stav před případnou úpravou zdvojením kapacity Op 060 obou výrobních postupů, která měla rozptyl minimální. Nově se tak může stát, že reálně bude po úpravě zvýšen takt linky, ale **rozptyl času výrobního cyklu nového úzkého místa způsobí nestabilitu výrobního procesu. Tedy nespolehlivost zajištění dodávek potřebného množství dobrých kusů v očekávaném čase, což může mít značný vliv na zákazníka. Před úpravou zdvojením kapacity původního úzkého místa (Op 060) je doporučeno provést detailní analýzu možných příčin nestability Op 030 výrobního postupu #2.**

Ad c) Aktuálně se interně provádí náměr požadovaného času cyklu statisticky nekorektní metodou, která způsobuje značnou nepřesnost ve výpočtu.

Náměr obecně interně probíhá tak, že normovač naměří 25 po sobě jdoucích hodnot časů cyklů průměrného pracovníka, z výběru odstraní jednu dolní a horní extrémní hodnotu a vytvoří aritmetický průměr zbylého výběru 23

hodnot, což je zcela nekorektní postup z hlediska statistické přesnosti. Viz kapitolu 2.3.2 zabývající se velikostí minimální vzorku náměrů.

Jako nápravné opatření bude s oddělením přípravy výroby odpovědným za normování výrobních postupů konzultována nutnost změny metodiky náměrů.

Toto je jedna z příčin, která mohla v prvotní fázi způsobit mylné nadhodnocení maximálních možných dosažitelných kapacit výrobní linky, jak je z hlediska možných rizik blíže rozebíráno v teoretické části této studie.

2.7.3. Personální obsazení linky

Vliv na výkonnost může mít i personální obsazení. Tedy obsluha jednotlivých pracovišť zejména s ohledem na směnnost. Obecně se ukazuje, že noční směny bývají méně produktivní než denní. Vzhledem k potřebě nepřetržitého provozu, ale nemá smysl tuto skutečnost v detailu analyzovat.

Mnohem větší smysl má z hlediska možného zvýšení efektivity řešit přidělení personálu na jednotlivá pracoviště dle jejich individuálního výkonu na daném pracovišti.

Vnitropodniková studie z roku 2017 poukazuje na podávání individuálních výkonů nejen v rámci směnnosti a vlivů souvisejících s únavou, ale také ve vztahu obsluhy k jednotlivým pracovištím. Základním předpokladem je, že různí pracovníci na stejném pracovišti vykazují jiný výkon především s ohledem na zručnost.

Výsledky studie ukazují, že maximální výkonnostní rozdíly mezi montážními dělníky po zapracování se za běžných podmínek neliší o více než 7,3%.

To znamená, že při vhodně sestaveném týmu obsluhy linky by bez jakékoliv změny výrobního procesu mohlo být dosaženo zlepšení výkonu linky do řádově 10%.

Analýza pracovních výkonů jednotlivých pracovníků a jejich vhodné přerozdělení v rámci linky tak bude navržena jako další možné řešení pro zrychlení výrobní linky.

Rozsah takového řešení převyšuje možnosti této studie, nicméně obecně lze jako poměrně snadné a rychlé řešení vždy aplikovat postup, kdy na prokazatelně úzké místo linky (tedy Op 060) nikdy není vhodné umístit obsluhu s nejnižší úrovní kvalifikace nebo subjektivně nejnižším výkonem.

2.7.4. Automatizace výrobního procesu

Z hlediska výkonu obsluhy se s narůstajícím trendem automatizace výrobní a montážní techniky nabízí možnost automatizované obsluhy. Tato možnost byla interně komunikována se specializovaným oddělením majícím na starosti standardní proces automatizování vybraných produktových sérií v rámci podniku. **Tato možnost byla ve vztahu k sofistikovanosti výrobního procesu, plánované životnosti stávající linky a dalším aspektům vyhodnocena jako silně neekonomická a není uvažována.**

2.7.5. Technologičnost výroby

V neposlední řadě se za účelem zlepšení výrobní efektivity nabízí možnost změny technologičnosti konstrukce výrobku. Nicméně jde o zákaznickem řízenou a schvalovanou aktivitu. Ze zkušenosti, kdy bylo např. nevyhnutelně nutné změnit konstrukci výrobku z bezpečnostního hlediska, je známo, že jde o jeden z nejsložitějších změnových procesů z hlediska finanční a časové náročnosti.

Po konzultaci s oddělením konstrukce byla pro nepřijatelný poměr složitosti změny technologičnosti konstrukce ku případnému zisku z hlediska potenciálního zvýšení produktivity linky tato aktivita zamítnuta.

3. Návrh variantních řešení

3.1. Zvýšení využití časových kapacit

Na základě výsledků analytické části studie v oblasti zvýšení využitelného časového fondu je za účelem zvýšení využitelného časového fondu žádoucí fyzicky přesunout výrobní linku včetně všech souvisejících periférií do jiného výrobního úseku závodu využívajícího jiný směnový model. Přesunem ze stávajícího směnového modelu 24/5 do směnného modelu 24/7 je s ohledem na specifické interní procesy týkající se např. rozložení a rozsahu přestávek obsluhy nad rámec legislativních požadavků možné zvýšit využitelný časový fond o 28,6%.

Přesun výrobní linky je z hlediska náročnosti na realizaci hodnocen 750 člověkohodinami. Přesun dále vyžaduje nákup a realizaci vybraného HW, kterým je nutné linku osadit pro možnost využití v novém výrobním úseku. Náklady na tento HW a personální náklady na přesun jsou stanoveny ve výši 245 000,- Kč.

Přesun je zároveň spojen s dočasným snížením výrobního výkonu v souvislosti se zaškolením nové obsluhy. Rozsah tohoto snížení výrobního výkonu je díky unifikaci výrobní technologie napříč výrobním závodem pro přímou obsluhu (výrobní operátoři) 5-7 pracovních dní a 15-30 dní pro podpůrnou obsluhu (seřizovači, elektrikáři). V tomto období lze z historické zkušenosti s podobnými aktivitami očekávat zvýšenou náběhovou zmetkovitost v rozsahu 5-9%, která s sebou nese vícenáklady v maximální výši 350 000,- Kč.

Využitelný časový fond lze dále rozšířit o 4,2% snížením délky a počtu seřízení, do nichž spadá především příprava linky po změně výrobní varianty.

Jak je uvedeno v analytické části, snížení počtu přestaveb lze dosáhnout jednak odstraněním přebytečné potřeby seřizování na začátku každé směny a ponechat pouze seřizování na ranní směně, jednak lepším plánováním výrobních zakázek resp. zvětšením počtu výrobních dávek tak, jak je popsáno v kapitole 2.6.2.1 – *Nevýrobní čas plánovaný*. Z hlediska plánování je v tomto případě nutné zajistit větší množství po sobě jdoucích zakázek stejného výrobku nikoliv však větší množství plánovaného počtu kusů v dané výrobní dávce. Větší počet menších výrobních dávek³⁷ je výhodnější z hlediska

³⁷ Standardní výrobní dávka odpovídá velikosti nejmenší manipulační jednotky. V případě linky BEV2013 je to „paletové množství“, které se liší dle výrobní varianty, viz. příloha č. 3

snížení nákladů na případnou reklamaci manipulační jednotky o menším manipulačním množstvím.

Ve vztahu k optimálním hladinám skladových zásob jednotlivých variant výrobků stanovených na základě výpočtu SW SAP a sdílení některých vstupních dílů výrobků linky BEV2013 s jinými výrobky je při ponechání stejného dávkového množství dané výrobní varianty možné zvýšit počet ze 4 na 10 po sobě jdoucích plánovaných zakázek. Tento krok sníží počet nutných seřízení minimálně o 63%.

Snížení délky trvání seřízení lze pak dosáhnout implementací elektrického šroubováku se speciálním flexibilním nástavcem pro rychlejší způsob ustavení a zajištění jednotlivých přípravků nutných k výměně výrobní varianty tak, jak je uvedeno v kapitole 2.6.2.1 – *Nevýrobní čas plánovaný*. Dále je žádoucí při seřizování využít volných kapacit některého z dalších dvou dostupných seřizovačů pro daný výrobní úsek. Tím je možné díky synergickému efektu za současného využití výše uvedeného přípravku zkrátit dobu seřízení o 74%. Tedy z průměrného času 23,9 minut na 6,2 minut.

Náklady na speciální přípravek jsou 3 500,- Kč

Návratnost všech výše uvedených opatření je 4-5 měsíců³⁸ od jejich realizace.

3.2. Zvýšení stávajících výrobních kapacit

Na základě výsledků analytické části studie v oblasti zvýšení stávajících výrobních kapacit lze poslední pracoviště linky provádějící testovací operaci výrobního postupu #1 i #2 prokazatelně označit za úzké místo výrobní linky. Toto úzké místo lze vzhledem k charakteru pracoviště a jeho možným úpravám odstranit pouze jeho duplikací a tedy zdvojnásobením jeho výrobní resp. testovací kapacity

Zároveň je možné některé ze vstupních NVA³⁹ činností tohoto testovacího pracoviště, jako je příprava výrobku před testováním a vizuální kontrola, přesunout procesně na výstup pracoviště předcházejícího. Ve vztahu ke stávajícímu sdílení mezioperačních zásobníků rozpracovaných výrobků mezi těmito pracovišti se tato změna obejde bez nutnosti jakékoliv fyzické úpravy pracoviště.

³⁸ Založeno na vývoji průběhu výroby resp. zisků od 1.1.2017 do 1.4.2018

³⁹ NVA z anglického Non Value Added, tedy nepřidávající hodnotu

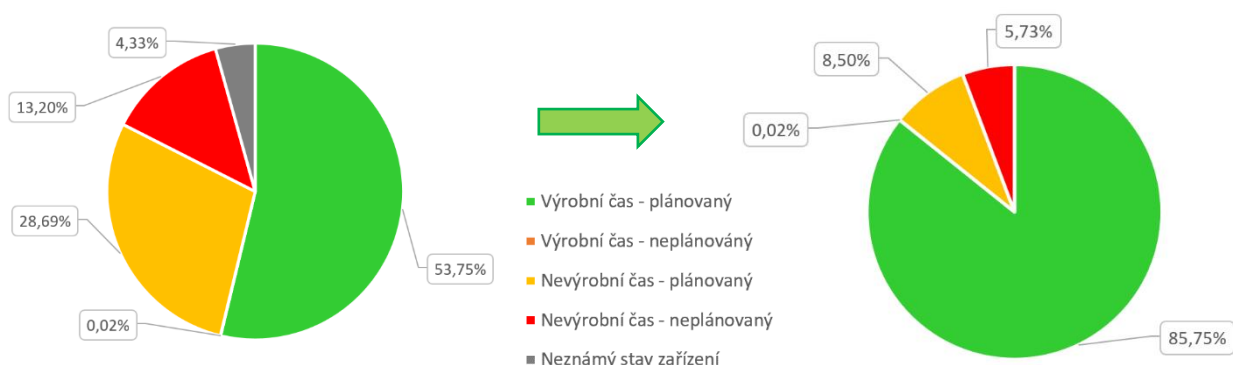
Po zdvojnásobení kapacity daného pracoviště se pro oba výrobní postupy stane novým úzkým místem pracoviště provádějící operaci Op 030.

Rozsah zvýšení produktivity linky na základě výše uvedených kroků je 49% +/- 5% pro výrobní postup #1 a 33% +/- 9% pro výrobní postup #2. Maximální náklady na realizaci tohoto řešení jsou 2 130 000,- Kč. Očekávaná návratnost nápravných opatření je 7-9 měsíců⁴⁰ od jejich realizace.

3.3. Shrnutí nápravných opatření

V rámci této studie je navrženo několik nápravných opatření, které vedou jednak k lepšímu využití stávajícího využitelného fondu výrobní linky, jednak k přímému zlepšení výkonnosti samotné výrobní linky.

Realizací navrhovaných nápravných opatření, uvedených v kapitole a 3.1 – *Zvýšení využití časových kapacit*, je možné dosáhnout celkového zvětšení využitelného časového fondu o 59,6% z 90,3 hodin na 144,1 hodin za pracovní týden, což blíže popisuje graf níže.

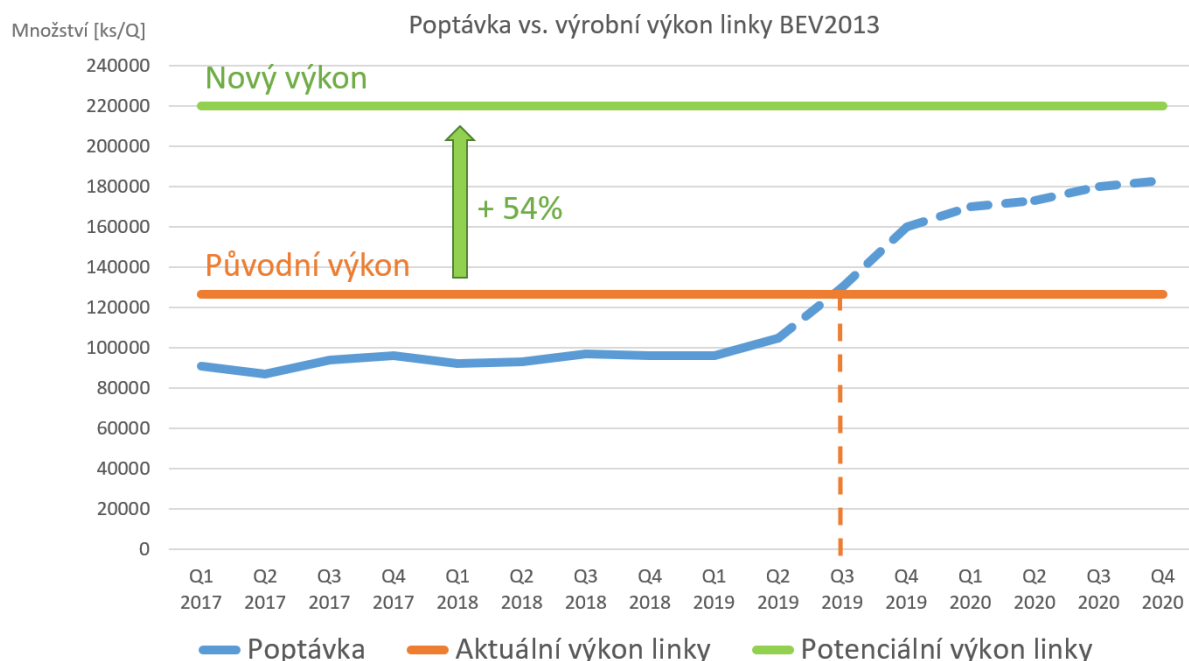


Obrázek 24 - Graf nominálního časového fondu výrobní linky BEV2013 před úpravou a po úpravě

⁴⁰ Založeno na vývoji průběhu výroby resp. zisků od 1.1.2017 do 1.4.2018

Za předpokladu současné aplikace nápravných opatření uvedených v kapitole 3.2 – *Zvýšení stávajících výrobních kapacit* je možné dosáhnout zvětšení celkového výrobního výkonu až o 54%.

To poskytuje dostatečný výkon linky pro pokrytí zákaznických výrobních požadavků za sledované období, jak je uvedeno v kapitole 2.1. – *Analýza zákaznických požadavků*. Níže je v grafu uveden vztah mezi poptávkou, stávajícím výrobním výkonem linky a novým potenciálně dosažitelným výkonem výrobní linky pro výrobní variantu #1.



Obrázek 25 - Graf aktuálního a nově dosažitelného výkonu výrobní linky pro variantu #1

4. Ověření navržených variant

V úvodu této studie je zmíněna nutnost rychlého nalezení možných nápravných opatření nedostatečného výrobního výkonu linky a jejich co možná nejrychlejší přímá aplikace. Z hlediska časových nároků zadavatele této studie je třeba vybrat především ta nápravná opatření, která budou realizovatelná v požadovaném časovém horizontu a budou mít předem prokazatelný vliv na zlepšení linky. Není prostor pro testování všech nalezených zlepšujících návrhů a následně průběžného sledování a zpětné kontroly očekávaných přínosů.

Z tohoto hlediska je velmi užitečná možnost počítačové simulace. Na základě již dostupných dat o rozdělení časů výrobních cyklů jednotlivých pracovišť, informací o směnnosti, plánovaných pauzách, historického profilu poruch včetně jejich délky trvání, znalosti střední doby trvání seřízení resp. změny výrobní varianty apod. je možné sestavit celkem přesný simulační model výrobní linky pro jednotlivé výrobní varianty.

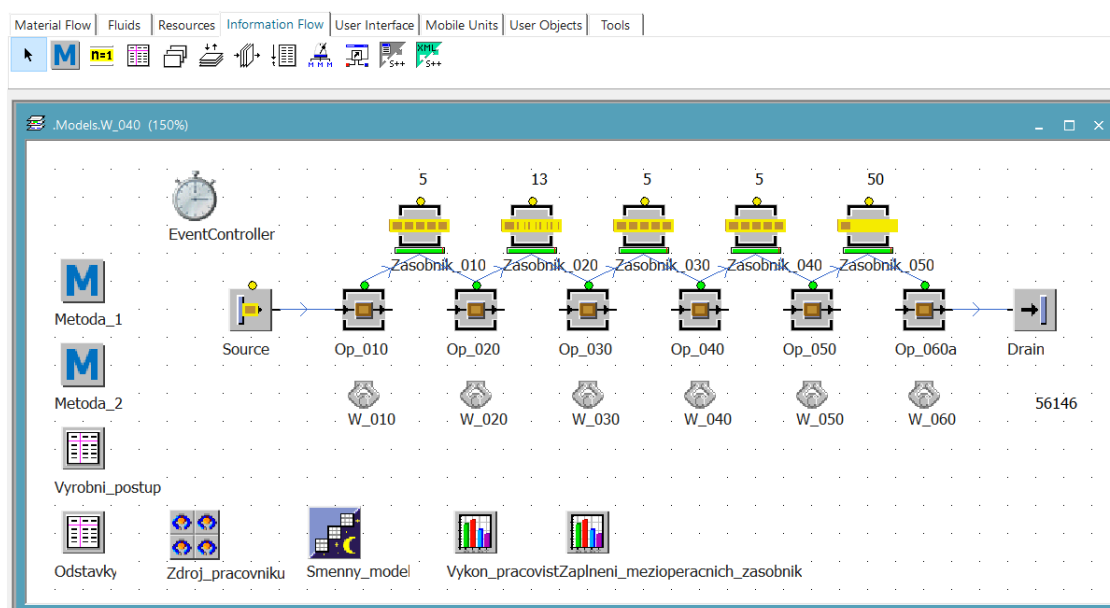
Nejen nad výše uvedenými, ale i dalšími procesními parametry byl postaven model výrobní linky v podpůrném softwaru Technomatix – Plant Simulation 14 společnosti Siemens, jehož trvání elementární simulace bylo stanoveno na dobu 1 měsíce.

Pro ověření správnosti simulačního modelu byly výsledky iniciální simulace nejdříve opakovaně porovnávány⁴¹ se skutečnými výsledky reálné výroby s výslednou odchylkou +8% v neprospěch simulačního modelu. Reálný výkon byl tedy vyšší než simulací předpokládaný. Simulační model je z hlediska výskytu poruch přísnější, než byla realita po dobu testování. Z hlediska dlouhodobé simulace je však třeba držet tyto vstupní podmínky nadále na stejné nebo horší úrovni. Jde o jeden ze vstupních parametrů simulace, který byl statisticky vyhodnocen na základě systémové historie výskytu poruch na lince a lze předpokládat, že bez výrazné změny resp. vylepšení technologie nebo výrobního procesu bude mít linka nadále stejnou nebo vyšší úroveň odstávek.

⁴¹ Čtyři zkušební náměry výroby na lince o časovém intervalu 5 dnů. Celkem tedy 4x 120h.

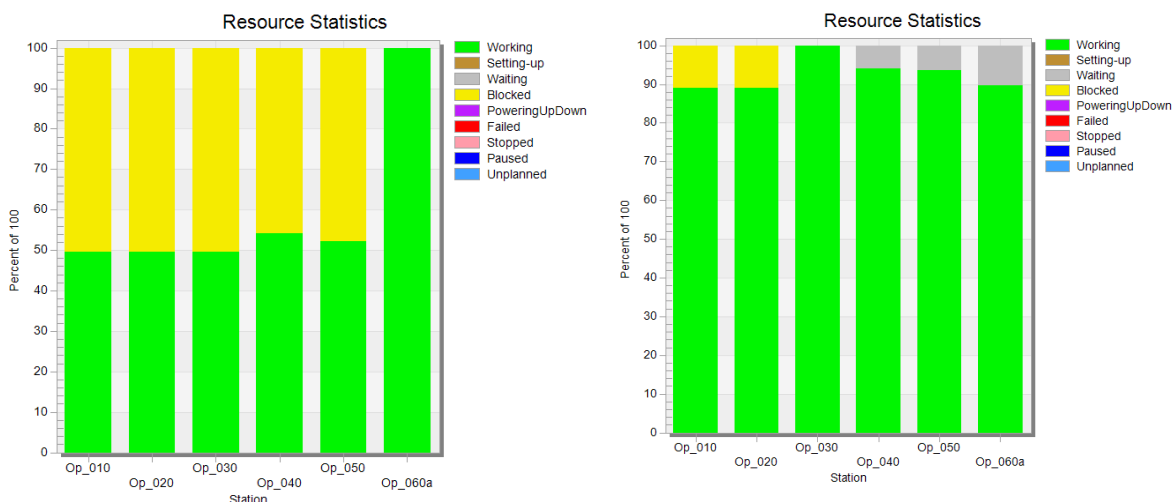
Výše uvedené skutečnosti napovídají, že model je možné použít pro ověřování navrhovaných modifikací pracoviště představujícího úzké místo linky a sledovat výslednou propustnost výrobku linkou. Výsledky mohou být za dodržení vstupních parametrů a okrajových podmínek simulace stejné nebo horší než skutečnost. To je žádoucí stav a znamená to, že pokud je výsledek na konci simulace přijatelný, lze nápravná opatření aplikovat přímo ve výrobním závodě s vědomím, že reálný výsledkem může být jen lepší.

Níže je uvedena ukázka ze simulačního prostředí SW Technomatix – Plant Simulation 14



Obrázek 26 – Ukázka iniciálního simulačního modelu výrobní linky

Níže jsou uvedeny grafy vytížení jednotlivých pracovišť před úpravou a po úpravě duplikováním poslední výstupní testovací operace. Tato skutečnost potvrzuje efektivnost odstranění úzkého místa zdvojnásobením jeho kapacity a zároveň potvrzuje úvodní tezi o tom, že po úpravě se stane novým úzkým místem výrobní linky operace Op 030.



Obrázek 27 - Graf vytížení jednotlivých výrobních operací výrobního postupu #1 před a po úpravě

Simulace potvrdila předchozí ruční početní prognózy zlepšení výrobního taktu. I se započtením možné negativní 8% odchylky výsledku simulace je výsledný výkon pro výrobní variantu #1 roven 216 000ks/Q a pro výrobní variantu #2 roven 174 000ks/Q.

To je více než požadavek zákazníka, který je pro výrobní variantu #1 roven 185 000ks/Q a pro výrobní variantu #2 roven 152 000ks/Q. Výsledky shrnuje tabulka níže.

| Výpočet očekávané kapacity | | | | |
|----------------------------|--------------|-----------------|----------------|---------------------|
| Plán | | | | Požadavek zákazníka |
| Výrobní postup | Ručně [ks/Q] | Simulace [ks/Q] | | |
| | | Bez korekce | S odchlkou -8% | |
| #1 | 196 000 | 233 000 | 216 000 | 185 000 |
| #2 | 163 000 | 188 000 | 174 000 | 152 000 |

Tabulka 3 - Předpokládaný výkon výrobní linky vs. zákaznické požadavky

5. Závěr

Tato studie obsahuje analýzu výrobní linky a blíže se věnuje dvěma stěžejním oblastem zlepšení jejích výrobních charakteristik.

První oblastí je stávající využitelný časový fond výrobní linky. Ten představuje oblast zlepšení výrobní linky bez nutnosti přímého zásahu do výrobního procesu. V rámci studie je navrženo několik nápravných opatření, která mohou v součtu zajistit podstatné zvýšení využitelného časového fondu o 59,6% z 90 hodin na 144 hodin týdně.

Druhou oblastí je zlepšení přímého výrobního procesu bez ohledu na využití stávajícího využitelného časového fondu. V rámci studie je navrženo několik nápravných opatření, z nich nejvýznamnějším je snížení vlivu úzkého místa výrobní linky jeho identifikací a znásobením jeho průchodnosti.

Kombinací všech navrhovaných nápravných opatření lze dosáhnout zvýšení produktivity linky o minimálně 54% pro výrobní postup #1 a minimálně 43% pro výrobní variantu #2. Realizace těchto zlepšovacích opatření zajistí kapacitní pokrytí navyšujících se zákaznických potřeb týkajících se požadovaného množství vyrobených produktů pro rok 2019 a 2020. Není tak nutné pro toto sledované období stavět kompletně novou duplicitní výrobní linku, jak se před provedením této studie předpokládalo. Ekonomická návratnost realizace všech navrhovaných řešení je v horizontu 7-9 měsíců od realizace.

6. Seznam zkratk

5S – Metoda Lean managementu řešící uspořádání a čistotu pracoviště

A3 report – Metoda Lean managementu

DBR (Drum Buffer Rope) - Logistická metoda řešící úzké místo výrobního procesu

DMAIC – Komplexní metoda Lean & Six Sigma řešící variabilitu

EOL (End Of Line) – Konec výrobní linky

ERP (Enterprise Resource Planning) – Informační systém pro plánování podnikových zdrojů

HV (High Voltage) – Vysoké napětí

Kanban – Logistická metoda PI

N/A – z angl. Not Applicable tj. neaplikovatelný; v tomto případě irelevantní

MES (Manufacturing Execution System) - Výrobní informační systém

One piece flow – výroba, při níž výrobek postupuje výrobním procesem a stává se z něj stále vyšší montážní celek s vyšší přidanou hodnotou

PDCA (Plan-Do-Check-Act) - Metoda PI

PI – Průmyslové inženýrství

PMV – Pracoviště Malosériové Výroby

SAP – Informační systém ERP

SMED – Metoda Lean managementu řešící rychlost výměny nástroje.

TOC (Theory of Constraints) – Teorie omezení – metoda PI

TPM – (Total Productive Maintenance) – Systém řízení a výkonu údržby

7. Zdroje a literatura:

- [1] GEORGE, Michael L. Kapesní příručka Lean Six Sigma: rychlý průvodce téměř 100 nástroji na zlepšování kvality procesů, rychlosti a komplexity. Brno: SC&C Partner, 2010. ISBN 978-80-904099-2-7
- [2] EDL, M., KUDRNA, J. Metody průmyslového inženýrství. 1. vyd. Plzeň: Smart Motion, s.r.o., 2013, ISBN: 978-80-87539-40-8
- [3] MAŠÍN, Ivan. Nové cesty k vyšší produktivitě: metody průmyslového inženýrství. Liberec: Institut průmyslového inženýrství, 2000. ISBN 80-902235-6-7
- [4] ČERNÝ, Jaromír. Úvod do studia metod průmyslového inženýrství a systémů služeb. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2004. ISBN 80-7318-227-0
- [5] BASL, Josef, Pavel MAJER a Miroslav ŠMÍRA. Teorie omezení v podnikové praxi: zvyšování výkonnosti podniku nástroji TOC. Praha: Grada, 2003. Management v informační společnosti. ISBN 80-247-0613-X
- [6] KOŠTURIÁK, Ján a Zbyněk FROLÍK. Štíhlý a inovativní podnik. Praha: Alfa Publishing, 2006. Management studium. ISBN 80-86851-38-9
- [7] LEGÁT, Václav. Management a inženýrství údržby. Praha: Professional Publishing, 2013. ISBN 978-80-7431-119-2
- [8] ERLACH, Klaus. Value stream design: the way towards a lean factory. New York: Springer, 2013. Lecture notes in logistics. ISBN 978-3-642-43645-1

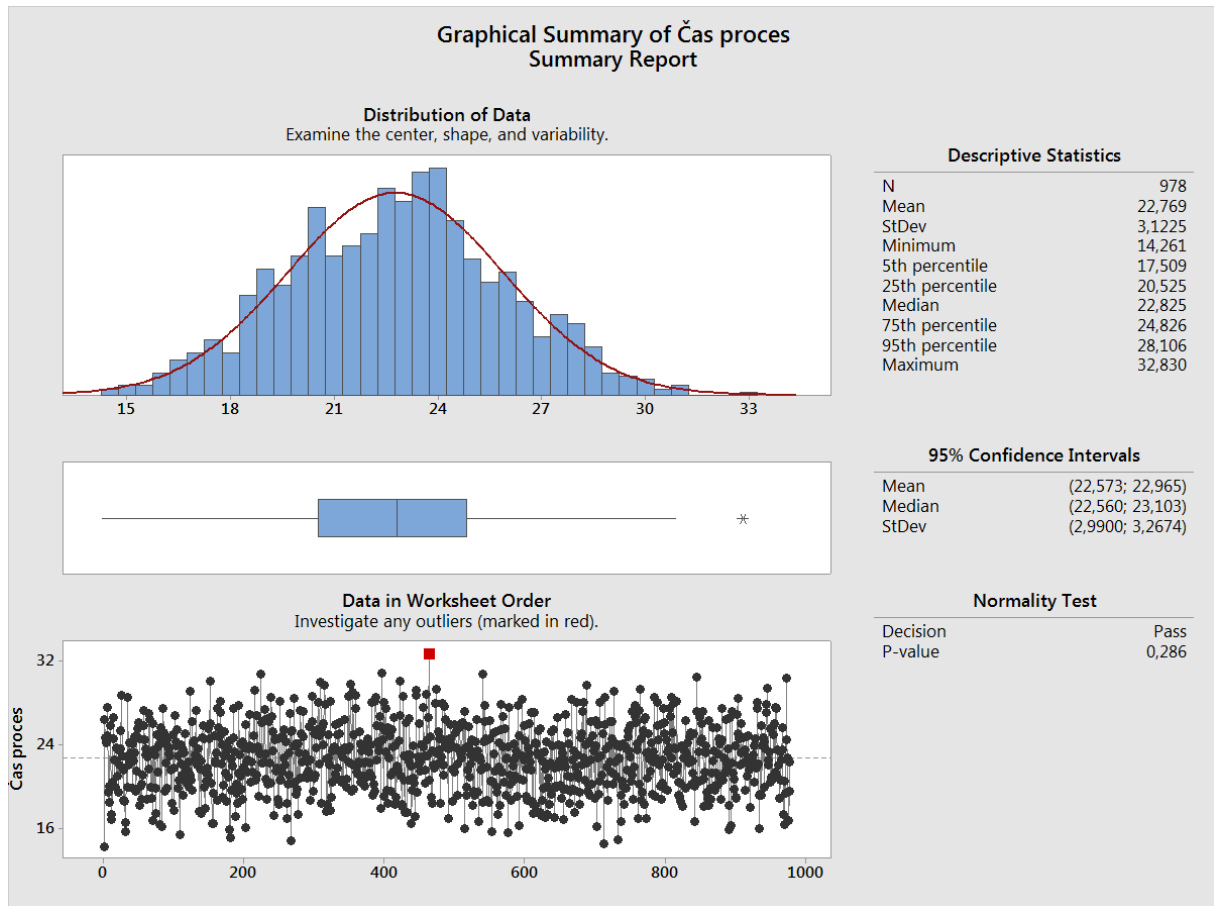
8. Seznam obrázků a tabulek

| | |
|---|----|
| Obrázek 1- Zákaznické portfolio..... | 3 |
| Zdroj: Autor (Vnitropodniková databáze) | |
| Obrázek 2 - Ukázka montážního pracoviště..... | 4 |
| Zdroj: Autor (Vnitropodniková databáze) | |
| Obrázek 3 - Výrobní linka BEV2013..... | 6 |
| Zdroj: Autor (Vnitropodniková databáze) | |
| Obrázek 4 - Umístění transportního pásu v lince..... | 7 |
| Zdroj: Autor (Microsoft Office - PowerPoint 2013) | |
| Obrázek 5 – 3-pólová varianta HV konektoru..... | 8 |
| Zdroj: Autor (Vnitropodniková databáze) | |
| Obrázek 6 – Ukázka HV konektoru..... | 9 |
| Zdroj: Autor (Vnitropodniková databáze) | |
| Obrázek 7 – Ukázka HV konektoru..... | 9 |
| Zdroj: Autor (Vnitropodniková databáze) | |
| Obrázek 8 – Ukázka HV konektoru – var. A..... | 11 |
| Zdroj: Autor (Vnitropodniková databáze) | |
| Obrázek 9 – Ukázka HV konektoru – var. B..... | 11 |
| Zdroj: Autor (Vnitropodniková databáze) | |
| Obrázek 10 – Ukázka HV konektoru – var. C..... | 12 |
| Zdroj: Autor (Vnitropodniková databáze) | |
| Obrázek 11 – Ukázka HV konektoru – var. D..... | 12 |
| Zdroj: Autor (Vnitropodniková databáze) | |
| Obrázek 12 – Vývoj poptávky výrobků linky BEV2013..... | 15 |
| Zdroj: Autor (Microsoft Office - Excel 2013) | |
| Obrázek 13 – Dvě hlavní výrobní varianty..... | 27 |
| Zdroj: Autor (Vnitropodniková databáze) | |
| Obrázek 141 – Výrobní portfolio linky BEV 2013..... | 27 |
| Zdroj: Autor (Microsoft Office - Excel 2013) | |
| Obrázek 15 – Rozdělení výrobních variant dle výrobního postupu..... | 28 |
| Zdroj: Autor (Microsoft Office - Excel 2013) | |
| Obrázek 16 – Rozdělení časového fondu výrobní linky..... | 32 |
| Zdroj: Autor (Microsoft Office - Excel 2013) | |
| Obrázek 17- Sada šestihranných L-klíčů..... | 38 |

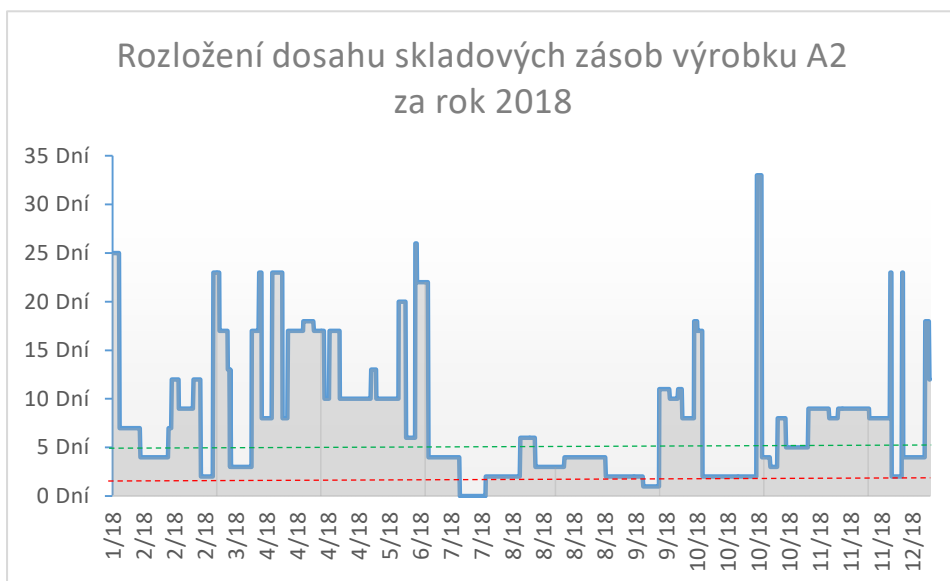
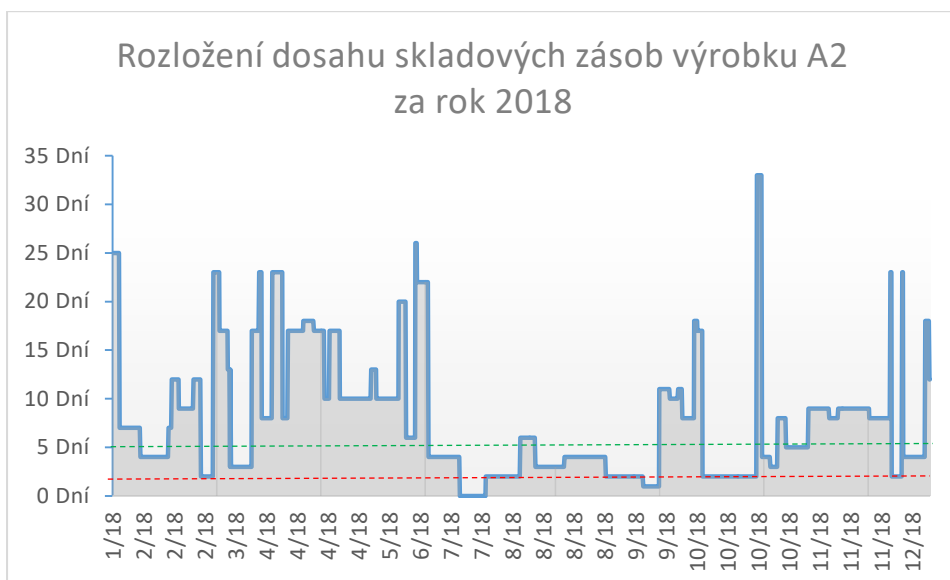
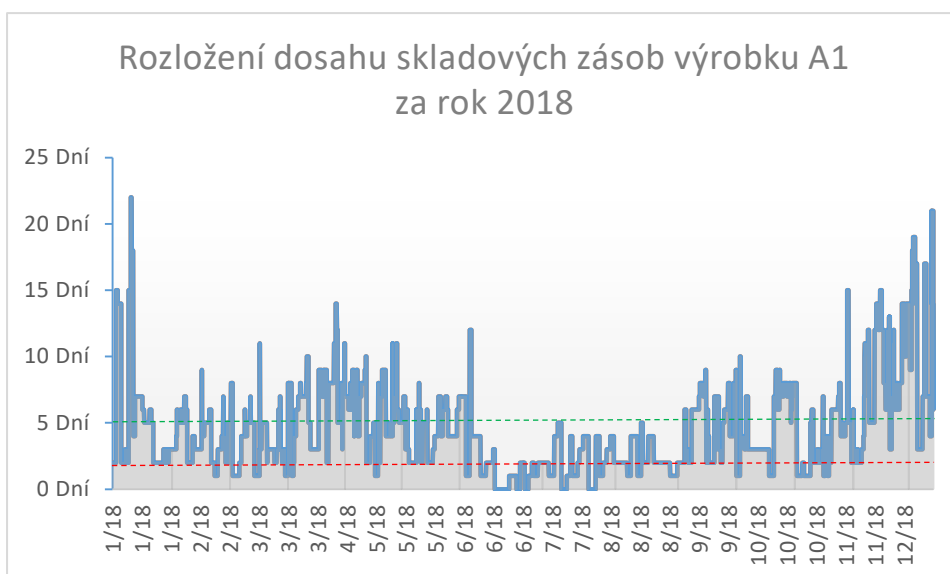
| | |
|--|----|
| Zdroj: https://www.obi.cz/klice-a-stahovaky/lux-sada-sestihrannych-klicu-9dilna/p/5476742 | |
| Obrázek 18 - Flexibilní šroubovací přípravek | 36 |
| Zdroj: https://www.fonetip.cz/flexibilni-nastavec-pro-bity-6-3-mm-1-4-p35877 | |
| Obrázek 19 – Průměrné množství skladových zásob | 38 |
| Zdroj: Autor (Microsoft Office - Excel 2013) | |
| Obrázek 20 – Schéma výrobní linky pro výrobní postup #1..... | 41 |
| Zdroj: Autor (Microsoft Office - PowerPoint 2013) | |
| Obrázek 21 – Schéma výrobní linky pro výrobní postup #2..... | 42 |
| Zdroj: Autor (Microsoft Office - PowerPoint 2013) | |
| Obrázek 22 – Rozložení výrobních časů pro výrobní postup #1..... | 45 |
| Zdroj: Autor (Minitab® 17) | |
| Obrázek 23 – Rozložení výrobních časů pro výrobní postup #2..... | 46 |
| Zdroj: Autor (Minitab® 17) | |
| Obrázek 24 - Graf nominálního časového fondu výrobní linky BEV2013 před úpravou a po úpravě... 52 | |
| Zdroj: Autor (Microsoft Office - Excel 2013) | |
| Obrázek 25 - Graf aktuálního a nově dosažitelného výkonu výrobní linky | 53 |
| Zdroj: Autor (Microsoft Office - Excel 2013) | |
| Obrázek 26 – Ukázka iniciálního simulačního modelu výrobní linky..... | 55 |
| Zdroj: Autor (Siemens - Tecnomatix Plant Simulation 14) | |
| Obrázek 27 - Graf vytížení jednotlivých výrobních operací výrobního postupu #1 před a po úpravě.. 56 | |
| Zdroj: Autor (Siemens - Tecnomatix Plant Simulation 14) | |
| | |
| Tabulka 1 – Přehled výroby jednotlivých variant | 29 |
| Zdroj: Autor (Microsoft Office - Excel 2013) | |
| Tabulka 2 – Rozvržení využitelného časového fondu..... | 33 |
| Zdroj: Autor (Microsoft Office - Excel 2013) | |
| Tabulka 3 - Předpokládaný výkon výrobní linky vs. zákaznické požadavky..... | 56 |
| Zdroj: Autor (Microsoft Office - Excel 2013) | |

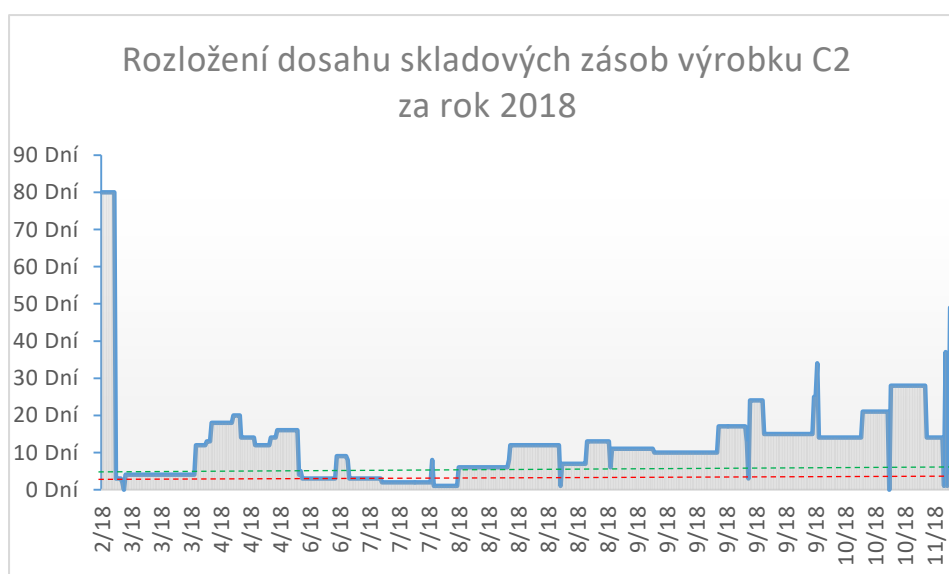
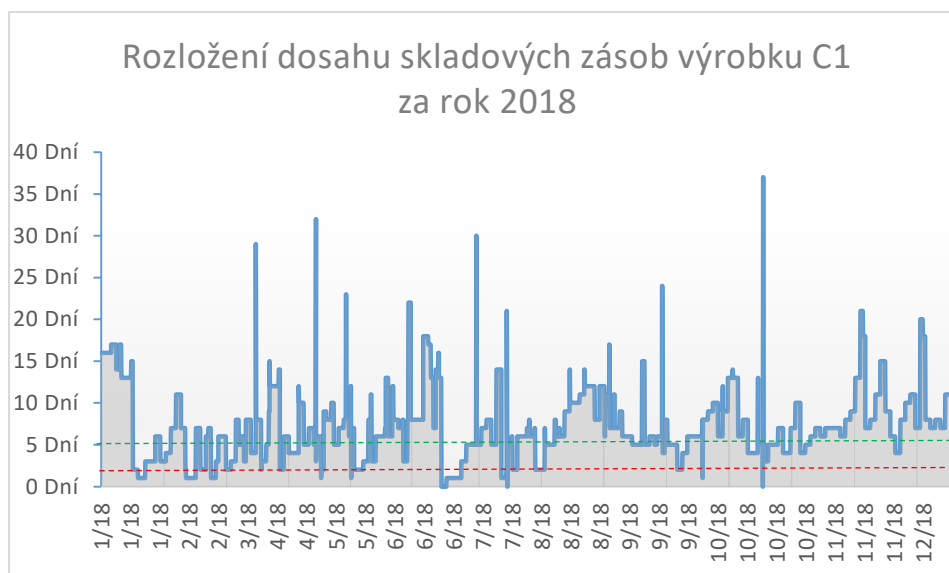
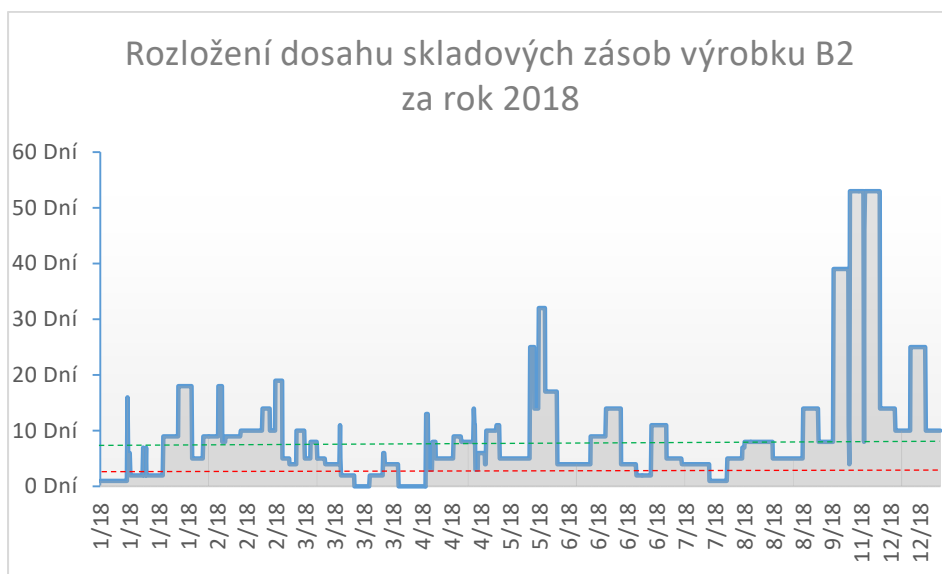
9. Přílohy

Příloha č. 1 – Základní statistická analýza doby trvání „Přípravy výrobního procesu“



Příloha č. 2 – Rozdělení skladových zásob v německém mateřském závodě





Příloha č. 3 – směnový rozvrh:

| | Pondělí | | Úterý | | | Středa | | | Čtvrtek | | | Pátek | | | Sobota | | Neděle | |
|------------|---------|-----|-------|-----|-----|--------|-----|-----|---------|-----|-----|-------|-----|-----|--------|-----|--------|--|
| Směna 24/7 | 12h | 12h | 12h | 12h | 12h | 12h | 12h | 12h | 12h | 12h | 12h | 12h | 12h | 12h | 12h | 12h | 12h | |
| Směna 24/5 | 8h | 8h | 8h | 8h | 8h | 8h | 8h | 8h | 8h | 8h | 8h | 8h | 8h | 8h | | | | |
| Směna 8/5 | 8h | | 8h | | 8h | | 8h | | 8h | | 8h | | 8h | | | | | |

| Středa | | | |
|--------------|---------------|--------------|--|
| 6:10 - 18:10 | | 18:10 - 6:00 | |
| 6:10 - 14:10 | 14:10 - 22:10 | 22:10 - 6:10 | |
| 6:10 - 14:10 | | | |

Příloha č. 4a – strojně zpracovávané datové bloky procesních dat:

| |
|---|
| 17-11-09 17:44:30.428[+Loc] 4616:#002# DLG=IST_ZAEHLMENGE C:141=1.000000 C:141.B=GUT C:141.T=T C:141.G= C:141.V= C:141.VT= C:141.VD= C:141.BEZ=Zyklus C:141.EINH=ST HUB=1.000000 MNR=410141 IZY=6850.00 |
| 17-11-09 17:44:30.453[+Loc] 4616:#002# DLG=IST_ZAEHLMENGE C:41=1.000000 C:41.B=GUT C:41.T=T C:41.G= C:41.V= C:41.VT= C:41.VD= C:41.BEZ=Zyklus C:41.EINH=ST HUB=1.000000 MNR=410135 IZY=0.00 |
| 17-11-09 17:44:35.660[+Loc] 4616:#002# DLG=IST_ZAEHLMENGE C:131=1.000000 C:131.B=GUT C:131.T=T C:131.G= C:131.V= C:131.VT= C:131.VD= C:131.BEZ=Zyklus C:131.EINH=ST HUB=1.000000 MNR=410141 IZY=6650.00 |
| 17-11-09 17:44:35.685[+Loc] 4616:#002# DLG=IST_ZAEHLMENGE C:51=1.000000 C:51.B=GUT C:51.T=T C:51.G= C:51.V= C:51.VT= C:51.VD= C:51.BEZ=Zyklus C:51.EINH=ST HUB=1.000000 MNR=410134 IZY=0.00 |
| 17-11-09 17:44:41.926[+Loc] 4616:#002# DLG=IST_ZAEHLMENGE C:151=1.000000 C:151.B=GUT C:151.T=T C:151.G= C:151.V= C:151.VT= C:151.VD= C:151.BEZ=Zyklus C:151.EINH=ST HUB=1.000000 MNR=410141 IZY=6600.00 |
| 17-11-09 17:44:41.951[+Loc] 4616:#002# DLG=IST_ZAEHLMENGE C:31=1.000000 C:31.B=GUT C:31.T=T C:31.G= C:31.V= C:31.VT= C:31.VD= C:31.BEZ=Zyklus C:31.EINH=ST HUB=1.000000 MNR=410136 IZY=0.00 |
| 17-11-09 17:44:46.118[+Loc] 4616:#002# DLG=IST_ZAEHLMENGE C:141=1.000000 C:141.B=GUT C:141.T=T C:141.G= C:141.V= C:141.VT= C:141.VD= C:141.BEZ=Zyklus C:141.EINH=ST HUB=1.000000 MNR=410141 IZY=6550.00 |
| 17-11-09 17:44:46.143[+Loc] 4616:#002# DLG=IST_ZAEHLMENGE C:41=1.000000 C:41.B=GUT C:41.T=T C:41.G= C:41.V= C:41.VT= C:41.VD= C:41.BEZ=Zyklus C:41.EINH=ST HUB=1.000000 MNR=410135 IZY=16000.00 |
| 17-11-09 17:44:52.418[+Loc] 4616:#002# DLG=M_MST MNR=410134 MST=30000 DAT=11/09/2017 ZEI=63892 IZY=0.000000 Time:174452 |
| 17-11-09 17:44:54.769[+Loc] 4616:#002# DLG=IST_ZAEHLMENGE C:131=1.000000 C:131.B=GUT C:131.T=T C:131.G= C:131.V= C:131.VT= C:131.VD= C:131.BEZ=Zyklus C:131.EINH=ST HUB=1.000000 MNR=410141 IZY=6650.00 |
| 17-11-09 17:44:54.796[+Loc] 4616:#002# DLG=M_MST MNR=410134 MST=1 DAT=11/09/2017 ZEI=63894 IZY=0.000000 Time:174454 |
| 17-11-09 17:44:55.122[+Loc] 4616:#002# DLG=IST_ZAEHLMENGE C:51=1.000000 C:51.B=GUT C:51.T=T C:51.G= C:51.V= C:51.VT= C:51.VD= C:51.BEZ=Zyklus C:51.EINH=ST HUB=1.000000 MNR=410134 IZY=0.00 |
| 17-11-09 17:44:59.016[+Loc] 4616:#002# DLG=M_MST MNR=410136 MST=30000 DAT=11/09/2017 ZEI=63899 IZY=0.000000 Time:174459 |
| 17-11-09 17:45:01.346[+Loc] 4616:#002# DLG=IST_ZAEHLMENGE C:151=1.000000 C:151.B=GUT C:151.T=T C:151.G= C:151.V= C:151.VT= C:151.VD= C:151.BEZ=Zyklus C:151.EINH=ST HUB=1.000000 MNR=410141 IZY=6750.00 |
| 17-11-09 17:45:01.374[+Loc] 4616:#002# DLG=M_MST MNR=410136 MST=1 DAT=11/09/2017 ZEI=63901 IZY=0.000000 Time:174501 |
| 17-11-09 17:45:01.699[+Loc] 4616:#002# DLG=IST_ZAEHLMENGE C:31=1.000000 C:31.B=GUT C:31.T=T C:31.G= C:31.V= C:31.VT= C:31.VD= C:31.BEZ=Zyklus C:31.EINH=ST HUB=1.000000 MNR=410136 IZY=0.00 |
| 17-11-09 17:45:05.224[+Loc] 4616:#002# DLG=M_MST MNR=410135 MST=30000 DAT=11/09/2017 ZEI=63905 IZY=0.000000 Time:174505 |
| 17-11-09 17:45:08.464[+Loc] 4616:#002# DLG=IST_ZAEHLMENGE C:141=1.000000 C:141.B=GUT C:141.T=T C:141.G= C:141.V= C:141.VT= C:141.VD= C:141.BEZ=Zyklus C:141.EINH=ST HUB=1.000000 MNR=410141 IZY=6700.00 |
| 17-11-09 17:45:08.492[+Loc] 4616:#002# DLG=M_MST MNR=410135 MST=1 DAT=11/09/2017 ZEI=63908 IZY=0.000000 Time:174508 |
| 17-11-09 17:45:08.831[+Loc] 4616:#002# DLG=IST_ZAEHLMENGE C:41=1.000000 C:41.B=GUT C:41.T=T C:41.G= C:41.V= C:41.VT= C:41.VD= C:41.BEZ=Zyklus C:41.EINH=ST HUB=1.000000 MNR=410135 IZY=0.00 |
| 17-11-09 17:45:11.698[+Loc] 4616:#002# DLG=M_MST MNR=410134 MST=30000 DAT=11/09/2017 ZEI=63911 IZY=0.000000 Time:174511 |
| 17-11-09 17:45:13.872[+Loc] 4616:#002# DLG=IST_ZAEHLMENGE C:131=1.000000 C:131.B=GUT C:131.T=T C:131.G= C:131.V= C:131.VT= C:131.VD= C:131.BEZ=Zyklus C:131.EINH=ST HUB=1.000000 MNR=410141 IZY=6550.00 |
| 17-11-09 17:45:13.898[+Loc] 4616:#002# DLG=M_MST MNR=410134 MST=1 DAT=11/09/2017 ZEI=63913 IZY=0.000000 Time:174513 |
| 17-11-09 17:45:14.234[+Loc] 4616:#002# DLG=IST_ZAEHLMENGE C:51=1.000000 C:51.B=GUT C:51.T=T C:51.G= C:51.V= C:51.VT= C:51.VD= C:51.BEZ=Zyklus C:51.EINH=ST HUB=1.000000 MNR=410134 IZY=0.00 |
| 17-11-09 17:45:18.132[+Loc] 4616:#002# DLG=M_MST MNR=410136 MST=30000 DAT=11/09/2017 ZEI=63918 IZY=0.000000 Time:174518 |
| 17-11-09 17:45:22.405[+Loc] 4616:#002# DLG=IST_ZAEHLMENGE C:151=1.000000 C:151.B=GUT C:151.T=T C:151.G= C:151.V= C:151.VT= C:151.VD= C:151.BEZ=Zyklus C:151.EINH=ST HUB=1.000000 MNR=410141 IZY=6700.00 |
| 17-11-09 17:45:22.433[+Loc] 4616:#002# DLG=M_MST MNR=410136 MST=1 DAT=11/09/2017 ZEI=63922 IZY=0.000000 Time:174522 |
| 17-11-09 17:45:22.769[+Loc] 4616:#002# DLG=IST_ZAEHLMENGE C:31=1.000000 C:31.B=GUT C:31.T=T C:31.G= C:31.V= C:31.VT= C:31.VD= C:31.BEZ=Zyklus C:31.EINH=ST HUB=1.000000 MNR=410136 IZY=0.00 |
| 17-11-09 17:45:25.621[+Loc] 4616:#002# DLG=M_MST MNR=410135 MST=30000 DAT=11/09/2017 ZEI=63925 IZY=0.000000 Time:174525 |
| 17-11-09 17:45:30.048[+Loc] 4616:#002# DLG=IST_ZAEHLMENGE C:141=1.000000 C:141.B=GUT C:141.T=T C:141.G= C:141.V= C:141.VT= C:141.VD= C:141.BEZ=Zyklus C:141.EINH=ST HUB=1.000000 MNR=410141 IZY=6850.00 |
| 17-11-09 17:45:30.072[+Loc] 4616:#002# DLG=M_MST MNR=410134 MST=30000 DAT=11/09/2017 ZEI=63930 IZY=0.000000 Time:174530 |
| 17-11-09 17:45:30.987[+Loc] 4616:#002# DLG=M_MST MNR=410135 MST=1 DAT=11/09/2017 ZEI=63930 IZY=0.000000 Time:174530 |
| 17-11-09 17:45:31.326[+Loc] 4616:#002# DLG=IST_ZAEHLMENGE C:41=1.000000 C:41.B=GUT C:41.T=T C:41.G= C:41.V= C:41.VT= C:41.VD= C:41.BEZ=Zyklus C:41.EINH=ST HUB=1.000000 MNR=410135 IZY=0.00 |
| 17-11-09 17:45:35.877[+Loc] 4616:#002# DLG=IST_ZAEHLMENGE C:131=1.000000 C:131.B=GUT C:131.T=T C:131.G= C:131.V= C:131.VT= C:131.VD= C:131.BEZ=Zyklus C:131.EINH=ST HUB=1.000000 MNR=410141 IZY=6850.00 |
| 17-11-09 17:45:35.904[+Loc] 4616:#002# DLG=M_MST MNR=410134 MST=1 DAT=11/09/2017 ZEI=63935 IZY=0.000000 Time:174535 |
| 17-11-09 17:45:36.232[+Loc] 4616:#002# DLG=IST_ZAEHLMENGE C:51=1.000000 C:51.B=GUT C:51.T=T C:51.G= C:51.V= C:51.VT= C:51.VD= C:51.BEZ=Zyklus C:51.EINH=ST HUB=1.000000 MNR=410134 IZY=0.00 |

Příloha č. 4b – strojně zpracovávané datové bloky procesních dat:

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|--------|-------|---|--------|-------|-------|-------|-------|------|--------|-------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|---------|--|--|--|
| 7,62E+27 | 180814 | 24512 | DC | 2700.0 | 0.005 | 0.500 | 0.300 | 0.200 | PASS | 2696.0 | 0.000 | 0,213; | 0,221; | -0,142; | 0,066; | 0,050; | 0,283; | -0,211; | | | |
| 7,62E+27 | 180814 | 24724 | DC | 2700.0 | 0.005 | 0.500 | 0.300 | 0.200 | PASS | 2696.0 | 0.000 | 0,158; | 0,173; | -0,109; | 0,046; | 0,017; | 0,194; | -0,186; | | | |
| 7,62E+27 | 180814 | 24750 | DC | 2700.0 | 0.005 | 0.500 | 0.300 | 0.200 | PASS | 2696.0 | 0.000 | 0,162; | 0,198; | -0,072; | 0,064; | 0,057; | 0,266; | -0,197; | | | |
| 7,62E+27 | 180814 | 24820 | DC | 2700.0 | 0.005 | 0.500 | 0.300 | 0.200 | PASS | 2696.0 | 0.000 | 0,169; | 0,155; | -0,129; | 0,075; | 0,065; | 0,194; | -0,165; | | | |
| 7,62E+27 | 180814 | 24847 | DC | 2700.0 | 0.005 | 0.500 | 0.300 | 0.200 | PASS | 2696.0 | 0.000 | 0,190; | 0,173; | -0,118; | 0,072; | 0,057; | 0,183; | -0,196; | | | |
| 7,62E+27 | 180814 | 24920 | DC | 2700.0 | 0.005 | 0.500 | 0.300 | 0.200 | PASS | 2696.0 | 0.000 | 0,154; | 0,173; | -0,137; | 0,063; | 0,054; | 0,287; | -0,207; | | | |
| 7,62E+27 | 180814 | 24948 | DC | 2700.0 | 0.005 | 0.500 | 0.300 | 0.200 | PASS | 2696.0 | 0.000 | 0,161; | 0,168; | -0,001; | 0,050; | 0,035; | 0,175; | -0,164; | | | |
| Bad | 180814 | 25013 | Mechanic Testtp Maske_2 = 0,204mm (-0,500..0,500mm)tp Maske_1 = 0,183mm (-0,500..0,500mm)tp Hauptkontaktbohrung_1 = 0,019mm (-0,500..0,300mm)tp Hauptkontaktclip_1 = 0,051mm (-0,45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bad | 180814 | 25039 | Mechanic Testtp Maske_2 = 0,200mm (-0,500..0,500mm)tp Maske_1 = 0,172mm (-0,500..0,500mm)tp Hauptkontaktbohrung_1 = 0,012mm (-0,500..0,300mm)tp Hauptkontaktclip_1 = 0,052mm (-0,45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7,62E+27 | 180814 | 25112 | DC | 2700.0 | 0.005 | 0.500 | 0.300 | 0.200 | PASS | 2696.0 | 0.000 | 0,154; | 0,165; | -0,136; | 0,051; | 0,042; | 0,257; | -0,170; | | | |
| 7,62E+27 | 180814 | 25138 | DC | 2700.0 | 0.005 | 0.500 | 0.300 | 0.200 | PASS | 2696.0 | 0.000 | 0,183; | 0,191; | 0,009; | 0,040; | 0,044; | 0,291; | -0,191; | | | |
| Bad | 180814 | 25203 | Mechanic Testtp Maske_2 = 0,162mm (-0,500..0,500mm)tp Maske_1 = 0,180mm (-0,500..0,500mm)tp Hauptkontaktbohrung_1 = -0,101mm (-0,500..0,300mm)tp Hauptkontaktclip_1 = 0,061mm (-0,4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7,62E+27 | 180814 | 25322 | DC | 2700.0 | 0.005 | 0.500 | 0.300 | 0.200 | PASS | 2696.0 | 0.000 | 0,192; | 0,192; | -0,071; | 0,068; | 0,059; | 0,238; | -0,194; | | | |
| Bad | 180814 | 25422 | Mechanic Testtp Maske_2 = 0,159mm (-0,500..0,500mm)tp Maske_1 = 0,170mm (-0,500..0,500mm)tp Hauptkontaktbohrung_1 = -0,102mm (-0,500..0,300mm)tp Hauptkontaktclip_1 = 0,068mm (-0,4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7,62E+27 | 180814 | 25521 | DC | 2700.0 | 0.005 | 0.500 | 0.300 | 0.200 | PASS | 2696.0 | 0.000 | 0,159; | 0,180; | -0,031; | 0,041; | 0,035; | 0,260; | -0,180; | | | |
| 7,62E+27 | 180814 | 30152 | DC | 2700.0 | 0.005 | 0.500 | 0.300 | 0.200 | PASS | 2696.0 | 0.000 | 0,198; | 0,198; | -0,056; | 0,060; | 0,055; | 0,214; | -0,202; | | | |
| Bad | 180814 | 30226 | Mechanic Testtp Maske_2 = 0,173mm (-0,500..0,500mm)tp Maske_1 = 0,189mm (-0,500..0,500mm)tp Hauptkontaktbohrung_1 = -0,038mm (-0,500..0,300mm)tp Hauptkontaktclip_1 = 0,032mm (-0,4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7,62E+27 | 180814 | 30259 | DC | 2700.0 | 0.005 | 0.500 | 0.300 | 0.200 | PASS | 2696.0 | 0.000 | 0,213; | 0,221; | -0,124; | 0,073; | 0,055; | 0,184; | -0,225; | | | |
| Bad | 180814 | 30337 | Mechanic Testtp Maske_2 = 0,153mm (-0,500..0,500mm)tp Maske_1 = 0,166mm (-0,500..0,500mm)tp Hauptkontaktbohrung_1 = -0,104mm (-0,500..0,300mm)tp Hauptkontaktclip_1 = 0,068mm (-0,4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bad | 180814 | 30418 | Mechanic Testtp Maske_2 = 0,225mm (-0,500..0,500mm)tp Maske_1 = 0,203mm (-0,500..0,500mm)tp Hauptkontaktbohrung_1 = -0,119mm (-0,500..0,300mm)tp Hauptkontaktclip_1 = 0,064mm (-0,4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7,62E+27 | 180814 | 30454 | DC | 2700.0 | 0.005 | 0.500 | 0.300 | 0.200 | PASS | 2696.0 | 0.000 | 0,223; | 0,200; | -0,088; | 0,071; | 0,061; | 0,294; | -0,213; | | | |
| 7,62E+27 | 180814 | 30522 | DC | 2700.0 | 0.005 | 0.500 | 0.300 | 0.200 | PASS | 2696.0 | 0.000 | 0,182; | 0,205; | -0,114; | 0,072; | 0,060; | 0,264; | -0,200; | | | |
| 7,62E+27 | 180814 | 30551 | DC | 2700.0 | 0.005 | 0.500 | 0.300 | 0.200 | PASS | 2696.0 | 0.000 | 0,181; | 0,192; | -0,089; | 0,080; | 0,056; | 0,271; | -0,197; | | | |
| 7,62E+27 | 180814 | 30618 | DC | 2700.0 | 0.005 | 0.500 | 0.300 | 0.200 | PASS | 2696.0 | 0.000 | 0,188; | 0,198; | -0,127; | 0,057; | 0,049; | 0,224; | -0,201; | | | |
| 7,62E+27 | 180814 | 30646 | DC | 2700.0 | 0.005 | 0.500 | 0.300 | 0.200 | PASS | 2696.0 | 0.000 | 0,217; | 0,241; | -0,078; | 0,046; | 0,047; | 0,178; | -0,235; | | | |
| 7,62E+27 | 180814 | 30718 | DC | 2700.0 | 0.005 | 0.500 | 0.300 | 0.200 | PASS | 2696.0 | 0.000 | 0,178; | 0,212; | -0,137; | 0,074; | 0,067; | 0,269; | -0,203; | | | |
| 7,62E+27 | 180814 | 30747 | DC | 2700.0 | 0.005 | 0.500 | 0.300 | 0.200 | PASS | 2696.0 | 0.000 | 0,223; | 0,224; | -0,097; | 0,059; | 0,051; | 0,159; | -0,232; | | | |
| 7,62E+27 | 180814 | 30822 | DC | 2700.0 | 0.005 | 0.500 | 0.300 | 0.200 | PASS | 2696.0 | 0.000 | 0,208; | 0,236; | -0,068; | 0,065; | 0,058; | 0,243; | -0,221; | | | |
| 7,62E+27 | 180814 | 30849 | DC | 2700.0 | 0.005 | 0.500 | 0.300 | 0.200 | PASS | 2696.0 | 0.000 | 0,212; | 0,231; | -0,020; | 0,045; | 0,047; | 0,221; | -0,217; | | | |