

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

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

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Analýza a racionalizace přestaveb výrobní linky

Autor: **Bc. Aleš VILDMAN**  
Vedoucí práce: **doc. Ing. Pavel Kopeček, CSc.**

Akademický rok 2019/2020

## **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**

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Pavlovi Kopečkovi, CSc. za odborné vedení, cenné rady a čas, který mi věnoval při zpracování mé diplomové práce.

# ANOVAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Příjmení Vildman	Jméno Aleš	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	2301T007 „Průmyslové inženýrství a management“		
<b>VEDOUCÍ PRÁCE</b>	Příjmení (včetně titulů) doc. Ing. Kopeček, CSc.	Jméno Pavel	
<b>PRACOVISŤE</b>	ZČU - FST - KPV		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<del>BAKALÁŘSKÁ</del>	Nehodící se škrtněte
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Analýza a racionalizace přestaveb výrobní linky		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KPV	<b>ROK ODEVZD.</b>	2020
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

## POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	76	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	62	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	14
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;"><b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b></p> <p><b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b></p>	<p>Diplomová práce se zabývá analýzou současného stavu přestaveb výrobní linky ve vybrané společnosti a jejich následnou optimalizací. V teoretické části jsou popsány některé metody průmyslového inženýrství včetně metody SMED, která je aplikována v praktické části. V poslední části je provedeno technické zhodnocení aplikace použité metody.</p>
<p style="text-align: center;"><b>KLÍČOVÁ SLOVA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b></p>	<p>Štíhlá výroba, průmyslové inženýrství, plýtvání, SMED, přestavba, interní činnost, externí činnost</p>

## SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Vildman	Name Aleš	
<b>FIELD OF STUDY</b>	2301T007 „Industrial Engineering and management“		
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) doc. Ing. Kopeček, CSc.	Name Pavel	
<b>INSTITUTION</b>	ZCU-FST_KPV		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	Delete when not applicable
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Analysis and improvement of a production line changeovers		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	KPV	<b>SUBMITTED IN</b>	2020
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	76	<b>TEXT PART</b>	62	<b>GRAPHICAL PART</b>	14
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION</b>  <b>TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	The diploma thesis deals with the analysis of the current state of changeovers of the production line in a selected company and their subsequent optimization. The theoretical part describes selected methods of industrial engineering, including the SMED method, which is applied in the practical part. In the last part, a technical evaluation of the application of the used method is elaborated.
<b>KEY WORDS</b>	Lean manufacturing, industrial engineering, waste, SMED, changeover, internal activities, external activities

## Obsah

Seznam obrázků .....	9
Seznam grafů.....	10
Seznam tabulek .....	11
Seznam použitých zkratk.....	12
Úvod.....	13
1. Společnost Mubea .....	14
1.1 Mubea celosvětově .....	14
1.2 Mubea Žebrák.....	15
1.3 Oddělení systémů napínání řemene .....	15
1.4 Systémy napínání řemene pohonů příslušenství spalovacích motorů .....	16
1.4.1 Systémy napínání řemene obecně .....	16
1.4.2 Systémy napínání řemene společnosti Mubea .....	18
2. Štíhlá výroba .....	19
2.1 Plýtvání.....	20
2.2 Metody a nástroje používané k racionalizaci .....	22
2.2.1 Metoda 5S .....	22
2.2.2 Kaizen.....	23
2.2.3 PDCA .....	23
2.2.4 Metody měření času .....	24
2.2.5 Spaghetti diagram.....	26
2.3 SMED .....	27
2.3.1 Definice metody SMED .....	27
2.3.2 Postup SMED .....	28
2.3.3 Přínosy, výhody, nevýhody.....	30
3. Analýza současného stavu.....	31
3.1 Systémy napínání řemene vyráběné společnostmi Mubea .....	31
3.1.1 Kuželové napínací systémy (E3 a E3D).....	31
3.1.2 Válcové napínací systémy (E4 a E4+) .....	31
3.1.3 Napínací systémy pro speciální aplikace (E5 a E8) .....	31
3.1.4 Systémy DAT (dual arm tensioner) .....	31

3.2	Produkce, procesy.....	33
3.2.1	Univerzální linky.....	33
3.2.2	Linky s otočným stolem .....	34
3.3	Současné plánování přestaveb .....	35
3.4	Výběr linky pro implementaci metody SMED.....	35
3.4.1	Krok 1 – Vyčlenění linek s alespoň jednou přestavbou .....	35
3.4.2	Krok 2 – Analýza prováděných přestaveb na linkách.....	35
3.4.3	Krok 3 – Vyhodnocení analýzy prováděných přestaveb.....	38
3.4.4	Krok 4 – Plány do roku 2020 a 2021 .....	40
3.4.5	Krok 5 – Finální vyhodnocení výběru linky .....	40
3.5	Charakteristika výrobní linky a výrobního procesu .....	41
4.	Analýza přestavby linky.....	43
4.1	Popis procesu přestavby vybrané linky .....	43
4.2	Analýza a vyhodnocení současného stavu přestavby .....	44
4.2.1	Zaznamenané činnosti a jejich procentuální zastoupení v procesu přestavby .....	44
4.2.2	Shrnutí současného stavu přestavby linky 02-087 .....	47
5.	Návrhy zlepšení.....	48
5.1	Definování zlepšujících opatření .....	49
5.1.1	Čekání na materiál.....	49
5.1.2	Chůze pro nářadí/ přípravky a jejich hledání .....	50
5.1.3	Čekání na kalibraci.....	51
5.1.4	Kontrola materiálu.....	51
5.1.5	Příprava/ úklid přípravků .....	51
5.1.6	Měření na 3D.....	51
5.1.7	Výroba kontrolních kusů.....	51
5.1.8	Čištění nástrojů na strojích.....	52
5.1.9	Ostatní ztrátové činnosti.....	52
5.2	Shrnutí zlepšujících opatření .....	52
6.	Analýza a vyhodnocení přestavby po optimalizaci.....	53
6.1	Zaznamenané činnosti a jejich procentuální zastoupení v procesu přestavby.....	53
6.2	Shrnutí vyhodnocení přestavby po optimalizaci .....	56
7.	Vyhodnocení .....	57
7.1	Výpočet využitelného časového fondu linky.....	57

7.2	Doba chodu linky.....	58
7.3	Uspořený čas.....	58
7.4	Navýšení kapacity.....	59
7.5	Navýšení objemu vyrobených kusů za rok.....	59
7.6	Shrnutí vyhodnocení.....	60
	Závěr.....	61
	Citovaná literatura.....	62
	Seznam příloh.....	63



## Seznam obrázků

Obrázek 1 - Logo Mubea [1].....	14
Obrázek 2 – Lokality [1] .....	14
Obrázek 3 - Napínák řemene připevněn k motoru [4] .....	16
Obrázek 4 - Lineární napínáky řemene [3] .....	17
Obrázek 5 - Rotační napínák řemene [3] .....	17
Obrázek 6 - Vlevo napínák s krátkým ramenem, vpravo napínák s dlouhým ramenem [3].....	18
Obrázek 7 - Pilíře štíhlého podniku [6].....	19
Obrázek 8 - 3M [8].....	20
Obrázek 9 - 7 základních typů plýtvání [10].....	20
Obrázek 10 - Kroky 5S [9].....	22
Obrázek 11 - Cyklus PDCA [13] .....	24
Obrázek 12 - Spaghetti diagram před a po [15] .....	26
Obrázek 13 - Průběh přestavby [17] .....	27
Obrázek 14 - Separace externích a interních činností [17] .....	28
Obrázek 15 - Redukce času přestavby pomocí SMED [17].....	29
Obrázek 16 - Schéma zapojení DAT [3].....	32
Obrázek 17 - Vlevo klasické provedení, vpravo invertní provedení [4].....	32
Obrázek 18 - Univerzální linka [vlastní tvorba].....	33
Obrázek 19 - Linka s otočným stolem [vlastní tvorba].....	34
Obrázek 20 - 02-087a [vlastní tvorba] .....	41
Obrázek 21 - 02-087b [vlastní tvorba] .....	41
Obrázek 22 - Layout linky 02-087 [vlastní tvorba].....	42
Obrázek 23 - Paleta s materiálem [vlastní tvorba] .....	49
Obrázek 24 - Police s přípravky [vlastní tvorba] .....	50
Obrázek 25 - Vozíky s neroztříděnými přípravky [vlastní tvorba] .....	50
Obrázek 26 - Připravený vozík s přípravky pro daný projekt [vlastní tvorba] .....	50

## Seznam grafů

Graf 1 - Poměr linek s jedním a více projekty [vlastní tvorba].....	35
Graf 2 - Paretův diagram - počty přestaveb [vlastní tvorba].....	36
Graf 3 - Paretův diagram - časy trvání přestaveb [vlastní tvorba] .....	37
Graf 4 - Doba trvání jednotlivých přestaveb linky 02-087 [vlastní tvorba].....	39
Graf 5 - Doba trvání jednotlivých přestaveb linky 02-087 po vyřazení výkyvů [vlastní tvorba]..	39
Graf 6 - Poměr interních a ztrátových činností [vlastní tvorba].....	45
Graf 7 - Procentuální zastoupení jednotlivých činností [vlastní tvorba].....	46
Graf 8 - Navržená optimalizace [vlastní tvorba].....	52
Graf 9 - Poměr interních a externích činností - po optimalizaci [vlastní tvorba].....	54
Graf 10 - Procentuální zastoupení jednotlivých činností - po optimalizaci [vlastní tvorba].....	55

## Seznam tabulek

Tabulka 1 - 10 linek nejvíce zatížených přestavbami [vlastní tvorba].....	38
Tabulka 2 - Seznam činností prováděných při přestavbě a doba jejich trvání [vlastní tvorba] .....	44
Tabulka 3 - Konverze činností [vlastní tvorba].....	48
Tabulka 4 - Seznam činností prováděných při přestavbě po optimalizaci [vlastní tvorba] .....	53
Tabulka 5 - Známé hodnoty pro výpočty .....	57

## Seznam použitých zkratk

5S	-	Metoda pět S – Sort – Straighten – Shine – Standardize – Sustain
apod.	-	a podobně
č.	-	číslo
DAT	-	Dual Arm Tensioner – dvouramenný napínací systém
DP	-	Diplomová práce
E3 a E3D	-	Kuželové napínací systémy
E4 a E4+	-	Válcové napínací systémy
E5 a E8	-	Speciální napínací systémy
kg	-	kilogram
ks	-	kus
mld.	-	miliarda
mm	-	milimetry
např.	-	například
obr.	-	obrázek
PDCA	-	Plan – Do – Check – Act → Demingův cyklus
SMED	-	Single Minute Exchange of Die
Spol. s r.o.	-	Společnost s ručením omezeným
tzv.	-	takzvaný

## Úvod

V dnešní době je pro podniky velmi obtížné udržet si konkurenceschopnost v jakémkoliv odvětví. Díky globalizaci není problém dodávat produkty po celém světě a konkurence může hrozit i z velmi vzdálených krajů, kde je mnohdy levnější pracovní síla. Do jisté míry jsou proto prodejní ceny určovány trhem a zisk je tedy možné zvýšit především tehdy, pokud se podaří snížit náklady na výrobu. To se však nesmí projevit na kvalitě výrobku. Jednou z možností je zvýšení efektivity výroby, k čemuž se používají metody průmyslového inženýrství a zeštíhlovací procesy.

V odvětví auto-průmyslu je velmi časté, že na určité výrobní lince není vyráběn pouze jeden produkt, ale hned několik různých specifikací. Těto možnosti je docíleno pouze malou přestavbou dané linky, například výměnou nástrojů nebo přípravků. Díky tomu se ušetří pořizovací náklady na celou novou linku, ušetří se prostor pro jiné více odlišné projekty a podobně. Ovšem má to i nežádoucí efekt, kterým je nutnost přestavby linky, během které je linka samozřejmě zastavena a neprodukuje výrobky, a tedy nevydělává peníze.

Hlavním cílem této diplomové práce je právě zvýšení efektivity při přestavbě výrobní linky na různé projekty. Pro naplnění tohoto cíle byla implementována metoda SMED (Single Minute Exchange of Die). Tato metoda slouží ke zvýšení efektivity prací při přestavbách strojů, tedy ke zkrácení potřebného času na přestavbu a přispívá k redukci počtu chyb při těchto přestavbách.

Diplomová práce je rozdělena na tři části. V první části bude představena společnost Mubea, s jejíž spoluprací je tato diplomová práce zhotovena. Druhá část je částí teoretickou, v níž je popsán pojem štíhlá výroba a některé metody a nástroje používané pro její dosažení. Třetí v pořadí je praktická část, která se zabývá analýzou výrobní haly, výběrem linky s největší potřebou pro zvýšení efektivity její přestavby, analýzou stávajícího stavu přestavby dané linky a návrhem nových řešení dle principů metody SMED. V závěru praktické části je provedeno hodnocení efektu provedených změn.

## 1. Společnost Mubea

Diplomová práce byla vypracována ve společnosti Mubea, spol. s r.o.



Obrázek 1 - Logo Mubea [1]

### 1.1 Mubea celosvětově

Historie společnosti Mubea sahá do roku 1916, kdy byla založena Josefem Muhrem v Německém Attendornu. V roce 1920 do podniku vstoupil jako společník Ludwig Bender a vzniká tak finální jméno Muhr & Bender, odtud Mubea (Mu(hr), Be(nder), A(ttendorn)). V této době se Mubea zaměřovala na výrobu listových pružin. V roce 1953 společnost expanduje a zakládá svoji první pobočku mimo sídlo firmy v Jihoafrické republice. Již v roce 1966 zaměstnávala okolo 1500 zaměstnanců a exportovala své produkty do 92 zemí světa. Dalším místem, kam společnost expandovala, byla Amerika a následně v roce 1995 do České republiky. Dnes má Mubea 50 výrobních a vývojových míst v 19 zemích po celém světě, kde pracuje cca. 15 000 zaměstnanců. V roce 2018 činil roční obrat 2,4 mld. Eur. [2]



Obrázek 2 – Lokality [1]

Společnost Mubea se zaměřuje především na výrobu pro automobilový průmysl. Paleta výrobků je velmi různorodá a patří sem např.:

- díly motoru (ventilové pružiny, systémy napínání řemenů, vačkové hřídele, hadicové spony),
- podvozkové díly (nápravové pružiny, stabilizátory, systémové komponenty, torzní tyče),
- součásti pohonu (talířové pružiny, hnací hřídele, spojovací hřídele),
- interiér (konstrukční díly sedaček, tyče opěrek hlavy),
- karosérie (díly vyztužené karbonovými vlákny, na míru válcované výrobky).

Zákazníci jsou jak z řad automobilových výrobců (Audi, BMW, Ferrari, Ford, GM, Honda, Hyundai, Jaguar, Kia, Mazda, Mitsubishi, PSA, Porsche, Toyota, VW atd.), tak z řad systémových dodavatelů tzv. Tier1. [1]

## 1.2 Mubea Žebrák

V České republice se nachází hned tři pobočky společnosti Mubea. Závod Dolní Kralovice, závod Prostějov a závod Žebrák, který je České republice nejstarší a největší pobočkou. Již v roce 1995 byla postavena první výrobní hala společnosti Mubea v Žebráku. Dnes tato pobočka disponuje 30 000 m<sup>2</sup> zastavěné plochy, na které stojí 4 výrobní haly a je zde zaměstnáváno kolem 1700 zaměstnanců. [2]

V závodě Žebrák jsou vyráběny systémy napínání řemene, hlavové opěrky a interiérové komponenty, rámy do sedaček, tyčky do stabilizátorů a díly z karbonových vláken.

## 1.3 Oddělení systémů napínání řemene

Firma Mubea má více než dvacetiletou zkušenost s vývojem a výrobou systémů napínání řemene s tlumením vibrací pro pohon příslušenství spalovacích motorů. Díky svým zkušenostem a trvalému růstu se společnost v roce 2011 stala druhým největším výrobcem systémů napínání řemene v Evropě. Ve snaze pokrýt celosvětovou potřebu zákazníků jsou firmou Mubea napínáky řemene vyráběny na pobočce v České republice, Číně a v Mexiku. Za rok 2017 bylo vyprodukováno společností Mubea celkem 10,1 milionu kusů napínáků řemene. Z toho 7,9 milionu kusů bylo vyrobeno v České republice (Žebrák), 2,1 milionu v Číně (Taicang) a 0,1 milionu v Mexiku (Saltillo). [3]

## 1.4 Systémy napínání řemene pohonů příslušenství spalovacích motorů

V této kapitole budou popsány automatické systémy napínání řemene pohonů příslušenství spalovacích motorů tzv. napínáků, hlavní funkce a charakteristiky a jejich druhy. Následně budou popsány některé systémy vyráběné společností Mubea.

### 1.4.1 Systémy napínání řemene obecně

Automatické systémy napínání řemene jsou u spalovacích motorů součástí řemenových převodů. Krouticí moment je přenášen z hnací na hnanou hřídel pomocí řemene. Na hnací a hnané hřídeli jsou namontovány řemenice, které jsou opásány řemenem. Mezi řemenem a řemenicí je třecí vazba. Síla potřebná pro vznik této třecí vazby je vytvářena napnutím řemene pomocí napínáku. [3]



Obrázek 3 - Napínák řemene připevněn k motoru [4]

### Hlavní funkce automatických napínáků

Mezi bezesporu hlavní funkce automatických napínáků patří napínání řemene při různých zatíženích pomocí momentu napínáku, a tím zajistit plynulý rozvod energie z klikové hřídele. Řemen musí být veden ve správné pozici, což je zajištěno vhodnou výškou a sklonem napínáku. Velmi důležitou funkcí je tlumení vibrací řemene. Pokud by bylo tlumení příliš vysoké, hrozí zadíraní nebo zaseknutí napínáku a zároveň dochází ke zkrácení jeho životnosti vlivem nadměrného opotřebování komponentů. Pokud by bylo tlumení příliš nízké, může dojít k rozkmitání řemene, a tedy k nadměrné hlučnosti nebo v horším případě může řemen spadnout. [3]



### Hlavní charakteristiky automatických napínáků:

- Hystereze – u napínáků se jedná o křivku závislosti naměřeného momentu na úhlu natočení ramene. Tato křivka vykazuje hysterezní chování, jelikož směr třecího momentu (tlumení) působí vždy proti směru pohybu napínáku, ať se jedná o napínání nebo uvolňování.
- Design napínáku – je omezen dostupným pracovním místem v motorovém prostoru.
- Výška – je důležitá pro správnou polohu kladky napínáku a pro vedení řemene ve správné pozici. Dále vylučuje kolizi se sousedními díly v motorovém prostoru.
- Sklon – je opět důležitý pro správné vedení řemene. [3]

### Druhy automatických napínáků

Dle kinematického hlediska – napínání dělíme na:

- Lineární – hlavní pohyb napínání je na přímce.



Obrázek 4 - Lineární napínáky řemene [3]

- Rotační – hlavní pohyb napínání je rotační.

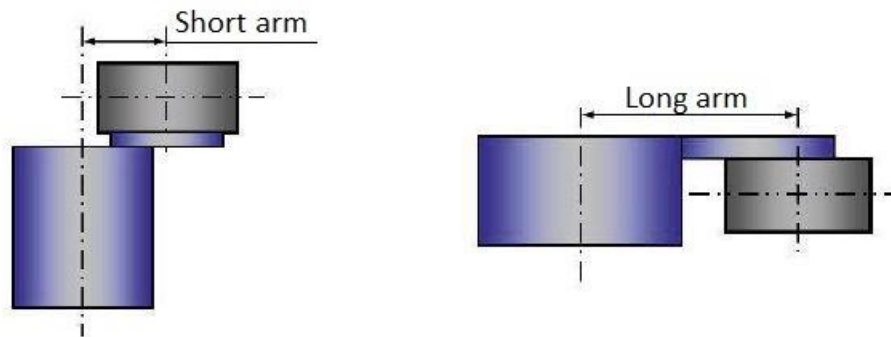


Obrázek 5 - Rotační napínák řemene [3]

Dle fyzikálního hlediska – tlumení dělíme na:

- elektromagnetické,
- hydraulické,
- mechanické tlumení třením,
- kombinované. [3]

Nejčastěji jsou vyráběny napínáky s rotačním mechanickým tlumením, které mohou být ve dvojitým provedení, s tzv. Long arm (dlouhé rameno) nebo Short arm (krátké rameno). Pokud je napínací rameno krátké, tlumicí systém a pružina jsou umístovány za řemenový pohon. Napínáky s dlouhým ramenem umožňují, aby napínací a tlumicí systém byl na stejné úrovni s řemenovým převodem. [3]



Obrázek 6 - Vlevo napínák s krátkým ramenem, vpravo napínák s dlouhým ramenem [3]

#### 1.4.2 Systémy napínání řemene společnosti Mubea

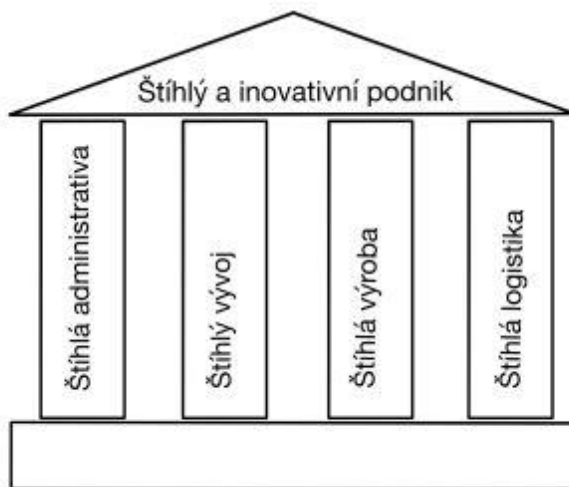
V současnosti jsou firmou Mubea vyráběny pouze rotační napínáky s mechanickým tlumením a jedná se o systémy s označením E3, E3D E4, E4+, E5, E8 a DAT. Tyto napínáky je možné dělit na napínáky konvenční a nekonvenční tzv. DAT (dual arm tensioner), tedy dvou-kladkové napínáky. Detailněji budou popsány v kapitole Analýza současného stavu, kde budou následně představeny také výrobní procesy. [3]

## 2. Štíhlá výroba

Jelikož metoda SMED, která bude použita pro zvýšení efektivity přestavby linky a bude níže detailněji popsána, je jedna z metod používaných při snahách o dosažení štíhlé výroby, je nejprve nutné si definovat pojmy výroba a štíhlá výroba.

Před tím, než bude definován pojem štíhlá výroba, je vhodné definovat samotný pojem výroba. Je to proces, při kterém jsou přetvořeny vstupní materiály, polotovary a součásti na požadované výstupy, tedy na hotové výrobky, uspokojující požadavky zákazníka. [5]

Štíhlá výroba, která je také nazývána lean manufacturing nebo lean production, je jedním ze základních pilířů štíhlého podniku. Dalšími pilíři štíhlého podniku jsou štíhlý vývoj, logistika a administrativa. [6]



Obrázek 7 - Pilíře štíhlého podniku [6]

Klasická definice říká: „Štíhlá výroba znamená vyrábět jednoduše v samořizované výrobě. Koncentruje se na snižování nákladů přes nekompromisní úsilí po dosažení perfekcionismu. Ke každému dni ve výrobě patří principy kaizen aktivit, analýza toků a systémy kanban. Toto úsilí vtahuje do změn všechny pracovníky podniku – od vrcholového managementu až po pracovníky ve výrobě.“ [7]

Ovšem štíhlá výroba není jen o redukci nákladů, jde o maximalizaci činností, které přidávají hodnotu v očích zákazníka. Štíhlá výroba tedy označuje filozofii, kterou se podnik řídí za účelem zvýšení výkonnosti podniku. Toho chce dosáhnout především odstraněním plýtvání, japonsky Muda, což jsou činnosti, které nepřidávají hodnotu produktu a ani nejsou nezbytné pro výrobní proces. Pro podnik jsou to tedy ztrátové činnosti a níže budou detailněji popsány. V co největší míře se je snaží nahradit činnostmi, které produktu přidávají hodnotu, tedy činnostmi, za které zákazník platí. Případně v omezené míře činnostmi, které nepřidávají hodnotu, ale jsou nezbytné pro výrobní proces. [7]

## 2.1 Plýtvání

Plýtvání vychází z konceptu 3M, se kterým přišel Toyota Production system. Koncept 3M označuje tři typy výrobní neefektivity. Jedná se o:

- Muda – plýtvání – činnosti nepřidávající hodnotu,
- Mura – nevyváženost, nevyrovnanost,
- Muri – přetěžování zdrojů (lidských i výrobních). [8]



Obrázek 8 - 3M [8]

Výrobní proces je možné rozčlenit na 3 základní druhy činností. Činnosti přidávající hodnotu, které chceme maximalizovat, tedy chceme, aby pracovník strávil jejich vykonáváním co největší množství času. Dále činnosti nepřidávající hodnotu, které se rozdělí na činnosti nezbytné pro proces, jež chceme maximálně omezit a na činnosti, které jsou zbytečné, a je nutné snažit se je úplně eliminovat. Je rozlišováno 7 základních druhů plýtvání a v posledních letech se k nim přidává jeden další. [9]



Obrázek 9 - 7 základních typů plýtvání [10]

#### 1) Transport (skladování, přemísťování)

Jedná se především o zbytečnou manipulaci s materiálem, polotovary, výrobky apod. V určité míře je samozřejmě nutné výrobky přemísťovat např. z jednoho pracovního místa na další operaci, ale nepřidává produktu žádnou hodnotu a také je možné, že dojde při těchto přepravách k poškození produktu, a proto je nutné tyto pohyby omezit v co největší možné míře. [9]

#### 2) Inventory (skladování)

Příliš velké zásoby materiálu, rozpracované výroby nebo hotových výrobků. Mohou způsobovat delší prodlevy, vyšší dopravní a skladovací náklady, zastarávání zboží nebo jejich poškození apod. Také mohou zakrývat problémy, jako jsou nevyváženost výroby, dlouhé seřizovací časy, zpoždění zásilek od dodavatelů a podobně. [9]

#### 3) Movement (pohyby)

Zbytečné pohyby pracovníků, ať se jedná o zbytečnou chůzi pro nástroje či materiál, nebo o zbytečné pohyby v rámci jeho pracovního místa, jako je např. otáčení se, ohýbání se nebo natahování se pro materiál či jeho vyhledávání. Nejpoužívanější nástroje musí mít pracovník lehce na dosah, aby se nezdržoval zbytečnými pohyby. [9]

#### 4) Waiting (čekání)

Čekání může mít mnoho důvodů. Pracovníkovi mohl například dojít materiál a nemá z čeho vyrábět, poškodil se mu stroj a čeká na údržbu nebo jednoduše čeká, až bude dokončen automatický proces a on mohl pokračovat dalším krokem. [9]

#### 5) Overprocessing (nadměrné zpracování)

Nadměrné zpracování může být chápáno jako vykonávání nepotřebných kroků ke zpracování dílu. Za ztráty může být považováno i vykonávání procesů v příliš vysoké kvalitě, kterou zákazník nevyžaduje. Dále se jedná o neefektivní nebo chybné konstrukční zpracování, které může být příčinou zbytečně složité výroby. [9]

#### 6) Over-Production (nadvýroba)

Tento druh plýtvání je možné považovat za vůbec nejhorší, jelikož pokud se ve výrobě vyskytnou i další druhy plýtvání, pak jsou obsaženy také v nadvýrobě. Čím více se vyrobí, tím více vzniká zmetků, tím více zbytečné manipulace a pohybů, bude nutno uskladňovat více výrobků atd. Jedná se o výrobu produktů v nepotřebně velkém množství. [9]

#### 7) Defect (vady)

Pokud je vyroben neopravitelný zmetek, znamená to, že veškerá námaha vynaložená na tento kus byla pouhé plýtvání zdroji. O plýtvání se jedná, i pokud je zmetek opravitelný, jelikož je nutné provést operace navíc. Patří sem veškeré opravy, předělávky a vyřazené zmetky, ale i kontrola, která znamená další ztrátovou manipulaci a zbytečné úsilí. [9]

#### 8) Non-used talent (nevyužitý potenciál pracovníků)

Tento druh plýtvání je zmiňován spolu se základními sedmi až v posledních letech a jedná se o nevyužití potenciálu pracovníků. To je možné chápat jako ztráty nápadů a dovedností z důvodu nenaslouchání zaměstnancům, nebo jako vykonávání nesprávných činností nesprávnými lidmi – podceňování jejich schopností. Nevyužití jejich potenciálu co se týče učení nových věcí a různých školení. [9]

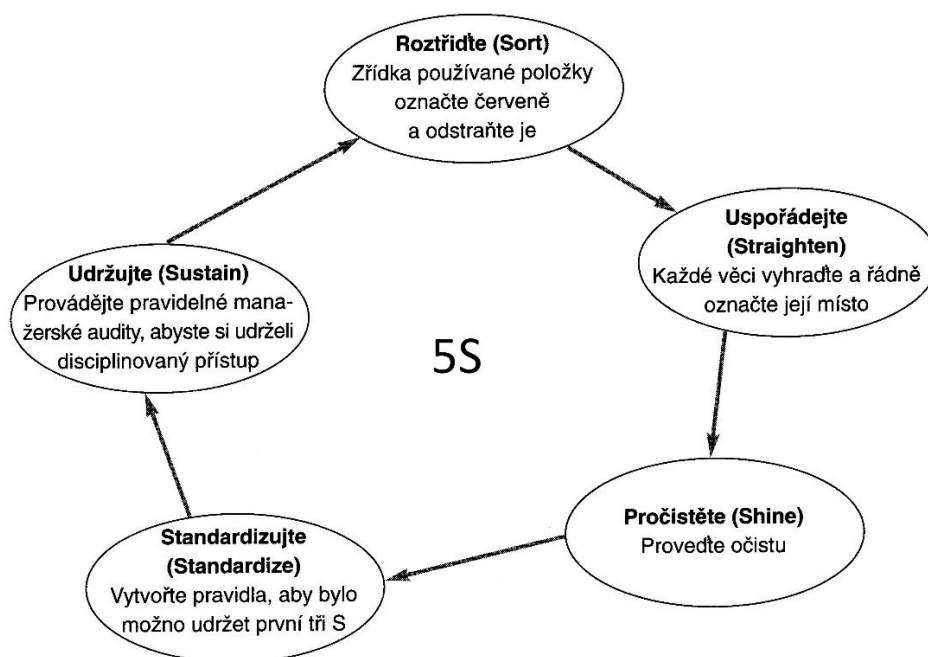
## 2.2 Metody a nástroje používané k racionalizaci

Ve spojení filozofie štíhlé výroby a snahy o eliminaci plýtvání je používána celá škála různých nástrojů a metod průmyslového inženýrství. V této podkapitole bude popsáno několik z nich. Jsou to metody a nástroje buď přímo využité pro řešení zadaného problému, nebo metody a nástroje, které více či méně souvisejí s optimalizací pracovišť a procesů.

### 2.2.1 Metoda 5S

Jednou z metod využívaných pro zavedení štíhlé výroby je v Japonsku vynalezená metoda 5S. Jedná se o 5 kroků prováděných za účelem odstranění plýtvání, zefektivnění výroby a zvýšení bezpečnosti na pracovišti. Cílem tedy je vytvoření a zároveň udržení čistého, organizovaného a vysoce výkonného pracoviště. Tato metoda zohledňuje také psychologický aspekt, a sice že zaměstnanec pracuje efektivněji v čistém a organizovaném prostředí. [9]

5S neboli 5 akcí pro dosažení štíhlého pracoviště:



Obrázek 10 - Kroky 5S [9]

#### 1) Sort (z japonského Seiri)

Jedná se o roztřídění a oddělení používaných položek od těch nepoužívaných. Nástroje, pomůcky, návodky, materiál a další položky, které jsou denně využívány a jsou potřeba pro výkon práce oddělit od těch nepotřebných, které pouze na pracovišti překáží, zabírají místo a zkrátka znesnadňují vykonávání potřebných činností. [9]

#### 2) Straighten (z japonského Seiton)

Druhým krokem je uspořádání všech nezbytných pomůcek. Každému nástroji, dílu nebo jakékoliv jiné používané položce se určí trvalé místo, které se označí, aby bylo zřejmé, jaký nástroj na dané místo patří. Nástroje je nutné setřídít do takového uspořádání, aby v nejbližším dosahu byly nejpoužívanější nástroje a pomůcky. [9]

### 3) Shine (z japonského Seiso)

Čistota, úklid, udržování pořádku na pracovišti. Činnosti tak banální, jako navrácení nástroje na své místo, mohou přispět ke zvýšení efektivity výroby. Zaměstnanec totiž při dalším použití nástroj nebude hledat. Denně prováděný úklid pracoviště a čištění používaných zařízení nejen, že udrží zařízení stále připravené k použití, ale může působit jako určitý druh kontroly. Tyto činnosti mohou odhalit nenormální podmínky a předhavarijní stavy, které by mohly snížit jakost, vést k poškození strojů, nebo hůř k ohrožení bezpečnosti. [9]

### 4) Standardize (z japonského Seiketsu)

Nově vytvořený stav označit za standardní, ne jako činnosti prováděné „navíc“. Vypracují se systémy a postupy, které je nutno dodržovat, a které umožňují snáze sledovat první 3S. [9]

### 5) Sustain (z japonského Shitsuke)

Posledním krokem je udržení stabilizovaného pracoviště s trvalým procesem neustálého zlepšování. Nedovolit, aby došlo k navrácení k původnímu stavu. Cílem tohoto kroku je přeměna řádného dodržování správných postupů na rutinní návyk. [9]

## 2.2.2 Kaizen

Kaizen je výraz pocházející z japonských slov „kai“ – změna a „zen“ – dobrý, lepší. Celý výraz se dá tedy přeložit jako změna k lepšímu. Hlavní podstatou je najít cestu k neustálému zlepšování pomocí malých kontinuálních změn, které udržují podnik v pohybu. [11]

Dá se říct, že Kaizen je filosofie, kterou je vhodné vštípit všem zaměstnancům, aby ji přijali za svou. Jde o snahu začlenit všechny zaměstnance od vrcholového managementu po operátory výroby, aby i oni mohli přispívat ke kontinuálnímu zlepšování svými návrhy a aktivně se tedy podíleli na vylepšení podniku. [12]

Podstatou je neustálé zlepšování pomocí drobných vylepšení.

Výrazně odlišným způsobem zlepšování a růstu podniku je tzv. Reengineering. Jedná se o kompletní změnu stavu od počátku. V tomto případě se jedná o radikální změny skokového charakteru. [12]

Pro maximalizaci růstu podniku je výhodné kombinovat oba dva způsoby. Tedy mezi skokovými radikálními změnami zavést také Kaizen filosofii a udržovat průběžný růst za pomoci malých vylepšení. Jejich kombinací bude dosaženo výraznějšího růstu, než kdyby se používala pouze jedna z metod. [12]

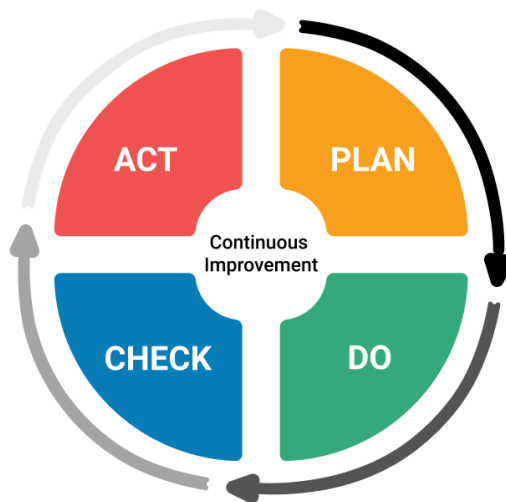
## 2.2.3 PDCA

PDCA neboli Demingův cyklus je nástroj používaný filozofií Kaizen. Je to model kontinuálního zlepšování procesů a může jít o neustále se opakující cyklus. PDCA je zkratka čtyř anglických slov popisujících jednotlivé kroky tohoto modelu. Plan – Do – Check – Act, česky Plánuj – Udělej – Kontroluj – Uskutečni. [12]

- 1) Plan – Plánuj – Uvědomění si, co chceme zlepšovat a vytvoření plánu, jak toho dosáhnout.
- 2) Do – Udělej – Realizace plánů po malých kontrolovatelných krocích.
- 3) Check – Kontroluj – Kontrola, jestli byla realizace plánu úspěšná, porovnání výsledků s plánem, zjištění, zda je problém skutečně řešen.

- 4) Act – Jednej – Nastane-li situace, že se výsledek příliš liší od očekávání, je nutné hledat příčinu problému. Je nutné zahájit nový cyklus se zaměřením na odstranění příčiny. Je-li problém odstraněn, je potřeba dané změny procesu standardizovat. [12]

Výhodou je kontinuální zlepšování po malých krocích, které jsou snadno kontrolovatelné a zaváděné a zároveň vedou i k lepšímu přijetí těchto změn zaměstnanci.



Obrázek 11 - Cyklus PDCA [13]

#### 2.2.4 Metody měření času

Řada metod průmyslového inženýrství bývá implementována na základě určitých analýz stávajících stavů. Mezi metody, jež jsou používány pro provedení takových analýz, patří metody měření času. Cílem metod měření času je určení spotřeby času jednotlivými operacemi. Stanovení spotřeby času pozorováním a měřením se označuje jako časová studie. Měření je možno provést přímým měřením pomocí buď klasického přístroje na měření času, jako jsou stopky nebo hodinky, nebo pomocí přístroje, který zároveň zaznamená obraz a celý proces tím uloží jako film (časy jsou zachycovány nepřímo). Časové studie dělíme na snímky pracovního dne a snímky operace. [14]

##### Snímky pracovního dne

Snímek pracovního dne, respektive směny, je časově náročné měření, jelikož se jedná o nepřerušené pozorování veškeré spotřeby času v celé směně. Díky tomu jsou získány podrobné údaje o průběhu pracovních činností. Dále jsou děleny na:

- Snímek pracovního dne jednotlivce – měří se a zaznamenávají všechny činnosti provedené jedním pracovníkem v průběhu jedné směny, podrobné zachycení informací, obvykle potřeba tří až pěti snímků.
- Snímek pracovního dne čtyry – měření a zaznamenávání všech činností prováděných všemi členy čtyry během jedné směny současně, vykonávají společnou práci, jednotlivé činnosti na sebe obvykle navazují.
- Hromadný snímek pracovního dne – měření a zaznamenávání všech činností v průběhu směny prováděných několika pracovníky, kteří nepracují společně, čím více pozorovaných



pracovníků, tím větší interval pozorování, provádí se za účelem snížení nákladů na pozorování.

- Vlastní snímek pracovního dne – měření všech nebo pouze vybraných dějů prováděných pracovníkem, obvykle se zaznamenávají jen ztrátové časy a jejich příčiny. [14]

### **Snímky operace**

Používá se pro stanovení norem spotřeby práce a pro racionalizace pracovních postupů. Snímky operace jsou děleny na:

- Plynulá chronometráž – měření všech úkonů v operaci, která má pravidelný sled úkonů, sled úkonů se připraví ještě před měřením, zachycují se příčiny odchylek naměřených časů, zjistí se spotřeba času jednotlivých úkonů i celé operace.
- Výběrová chronometráž – měření pouze vybraných úkonů určité operace.
- Snímková chronometráž – měření všech úkonů určité operace s nepravidelným sledem úkonů a nepředvídatelným průběhem, jedná se o kombinace chronometráže a snímku pracovního dne, používá se především v kusové a malosériové výrobě.
- Sumární měření – měření celé operace bez členění na jednotlivé úkony. [14]

V praktické části práce při implementaci metody SMED bude použita snímková chronometráž pro svoji optimální časovou náročnost při dostatečné detailnosti analýzy. Provádění časových analýz má určité zásady, které je vhodné dodržovat, aby nedošlo ke zkreslení výsledků analýzy.

### **Zásady při provádění měření**

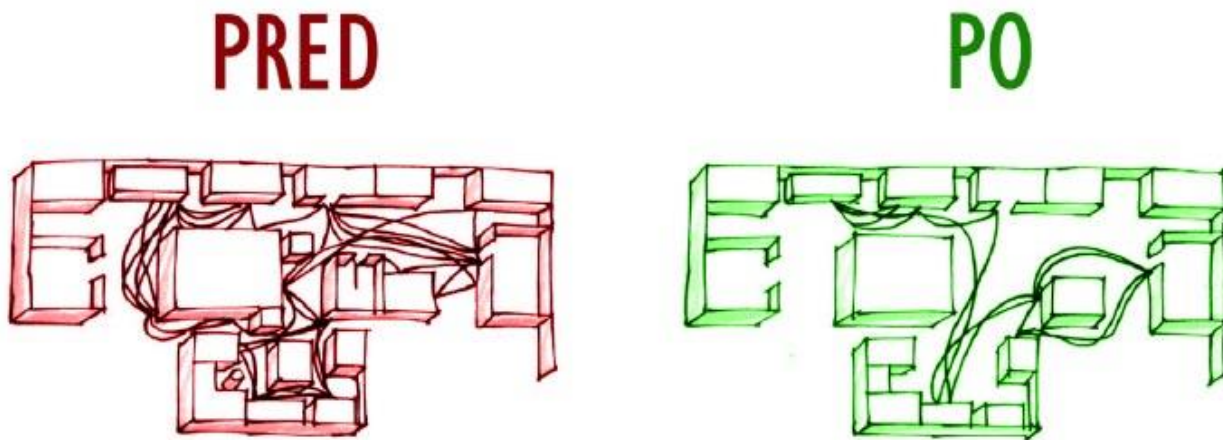
1. *„Pozorovatel musí být odborně schopen rozčlenit a posoudit pracovní proces. Musí ovládat techniku časového snímku a v případě nutnosti i posouzení stupně výkonu.*
2. *Pokud jde o záznam dat přímo na pracovišti, měl by se pozorovatel postavit tak, aby pozorovaného pracovníka co možná nejméně ovlivňoval, ale aby měl zároveň dobrý výhled.*
3. *Pozorovaný pracovník musí být zaškolený.*
4. *Během záznamu času je třeba pokud možno zamezit diskuzím, aby bylo možno plynule sledovat průběh jednotlivých operací.*
5. *Je třeba předem informovat jak nadřízeného daného pracovního místa, tak i pracovníka, kterého se měření času bude týkat.*
6. *Formulář časového snímku představuje listinný doklad, a proto se v něm nesmí nic gumovat. Zápisy musí být provedeny psací tužkou odolnou proti vymazání.*
7. *V neposlední řadě musí být zajištěno dodržení bezpečnostních předpisů.“* [14]

### 2.2.5 Spaghetti diagram

Spaghetti diagram je jedním z nástrojů používaných při snaze o zavedení štíhlé výroby. Napomáhá redukovat plýtvání způsobené zbytečnou přepravou materiálů nebo součástí, zbytečnými pohyby zaměstnanců a čekáním. Jde o grafické znázornění pohybu pracovníka nebo toku materiálu během aktivit probíhajícího procesu. Slouží jako podklad pro optimalizaci výrobního procesu. [15]

#### Postup:

- 1) Nejprve je nutné si nakreslit layout pracoviště, ve kterém by měly být objekty v určitém měřítku.
- 2) Zakreslování každého pohybu pracovníka čarou se šipkou do layoutu (každý pohyb = jedna čára) od začátku až do konce pracovního procesu.
- 3) Analýza diagramu, odhalení zbytečných pohybů. [15]



Obrázek 12 - Spaghetti diagram před a po [15]

Spaghetti diagram může být také použit ve fázi analýzy při implementaci metody SMED.

## 2.3 SMED

V současném globálně konkurenčním prostředí je klíčové uspokojovat neustále se měnící požadavky zákazníků, což v podnikovém prostředí klade důraz především na vysokou flexibilitu podnikových procesů. Požadavky zákazníků jsou stále náročnější. Vyžadují vysokou variabilitu výrobků dodaných v požadovaném čase, množství a kvalitě. Dodavatelé vyrábí tedy pouze takové množství, které si zákazník objednal. Výrazně se zmenšují výrobní dávky, po kterých bývá nutné přestavit linku nebo stroj pro výrobu dalšího produktu. [16]

Se zvyšujícími se nároky na flexibilitu, zvyšující se variabilitou produkce a zmenšujícími se dávkami stoupá četnost přestaveb linek a strojů. Po dobu těchto přestaveb je stroj nebo linka samozřejmě zastavena, a tedy nevydělává peníze. Jelikož je žádoucí, aby využití stroje bylo co nejvyšší, je vyvíjen tlak, aby tyto přestavby byly co možná nejefektivnější a zabíraly co možná nejkratší čas. Asi nejnámější používanou metodou pro zvýšení efektivity přestaveb je metoda SMED (v literatuře bývá také označována jako Quick Changeover - rychlá přestavba). [16]

### 2.3.1 Definice metody SMED

Metoda SMED je jednou z metod průmyslového inženýrství používaných pro omezení plýtvání ve výrobním procesu. SMED je zkratkou pro Single Minute Exchange of Die, což se dá přeložit jako výměna nástroje v jednom okamžiku nebo spíše v jednociferném řádu minut, tedy od 1 do 10 minut. V praxi je však chápáno jako minimalizace časů potřebných na přestavbu. Jde tedy o metodu zkracující a standardizující přestavovací procesy u strojů. [17]

Přestavba, respektive doba jejího trvání, je zahájena ukončením výroby posledního kusu produktu A a trvá do okamžiku výroby prvního kusu produktu B, který splňuje požadavky na jeho kvalitu a dosáhl na požadovaný výkon výroby. Během doby seřízení a doby náběhu jsou prováděny tzv. interní operace, tedy operace, pro jejichž provedení je nutné zastavit stroj. Před ukončením výroby produktu A a po zahájení výroby produktu B probíhají tzv. externí operace, které je možno provádět, aniž by musel být stroj zastavený. [17]



Obrázek 13 - Průběh přestavby [17]

### 2.3.2 Postup SMED

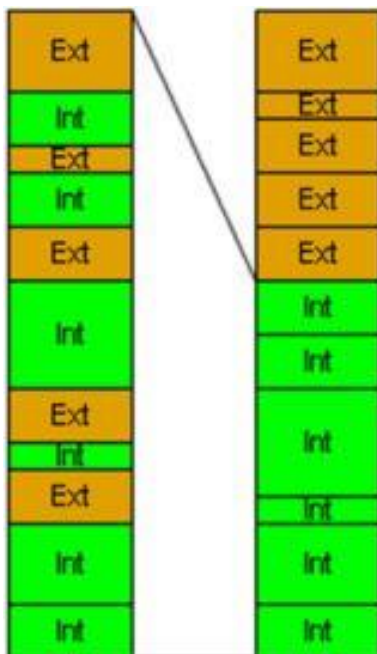
Implementace metody SMED má několik základních kroků

#### 1) Krok 1. – Analýza aktuálního stavu

Základem je porozumění a důkladné zmapování procesu přestavby. Popsat jednotlivé operace prováděné při přestavbě a změřit jejich dobu trvání a rozlišit, které operace jsou interní a které externí. Dále zmapovat pohyb pracovníků, například pomocí spaghetti diagramu a identifikovat tak jejich zbytečné přesuny. Vhodné je pořídit video záznam, který je možné přehrávat vícekrát, pokud vznikne taková potřeba. [3] [17]

#### 2) Krok 2. – Oddělení interních a externích činností

Z prvního kroku máme definováno, které operace jsou interní (operace, pro jejichž vykonání je potřeba zastavit stroj) a které externí (operace možné vykonávat při chodu stroje). V tomto kroku tyto operace od sebe oddělíme. Nejprve se vykonají všechny operace, které je možné provést před tím, než je zastaven stroj a po jeho zastavení už se mohou vykonávat pouze interní činnosti. Obrázek znázorňuje, že již tento prostý krok výrazně zkrátí čas potřebný na zastavení stroje. [17]



Obrázek 14 - Separace externích a interních činností [17]

#### 3) Krok 3. – Konverze interních činností na externí

Úkolem třetího kroku je zvýšit využití času externími činnostmi, aby byla snížena časová náročnost interních činností. Jde o snahu redukovat interní časy seřízení tak, že se bude více úkonů provádět externě. Mezi činnostmi, které je možné konvertovat na externí, patří např. příprava přípravků v předstihu, předem vykonané nastavení rozměrů, zjednodušení upevňování atd. [3] [17]

#### 4) Krok 4. – Racionalizace činností

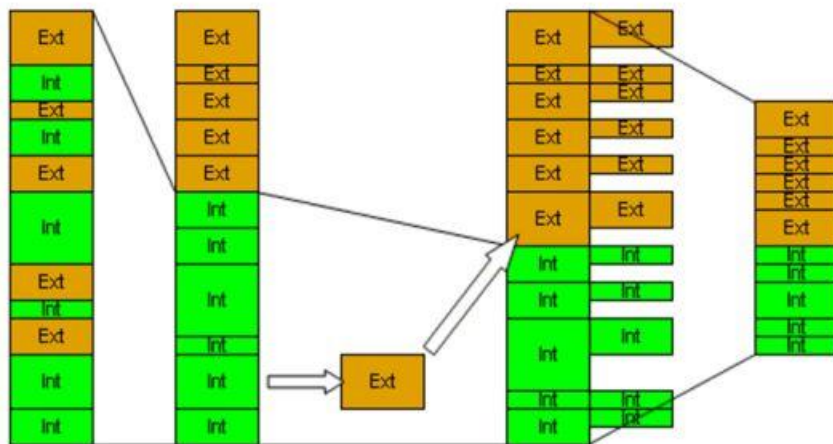
Krok číslo čtyři je zaměřen na zjednodušení a racionalizace všech operací tak, aby trvaly co nejkratší dobu. Největší důraz je kladen na interní operace, které nejvíce ovlivňují využitelnost stroje. [3]

Mezi techniky racionalizace patří:

- Na utažení/uvolnění přípravku místo šroubů používat rychloupínací systémy, pak utažení/povolení šroubu trvá výrazně kratší dobu.
- Rychlé ustavení přípravků pomocí dorazů.
- Eliminace zbytečných pohybů reorganizací pracoviště.
- Standardizace nástrojů a jejich umístění tak, aby je pracovník nemusel hledat.
- Zkracování vzdáleností.

#### 5) Krok 5. – Paralelní aktivity

Rozhodnout, zda je vhodné rozložit aktivity mezi více pracovníků, kteří by pracovali paralelně. Je kladen větší nárok na organizaci a je nutno dbát vyšší opatrnosti při práci. [3]



Obrázek 15 - Redukce času přestavby pomocí SMED [17]

Na obrázku 15 je grafické znázornění celého procesu. Nejprve jsou rozlišeny veškeré činnosti a proběhla identifikace, jestli jsou interní nebo externí. V druhém kroku došlo k oddělení externích od interních činností, následně provedena konverze interní činnosti na externí, což ještě zkrátilo vytížení interními činnostmi. Posledním krokem je racionalizace všech operací a je znázorněn efekt na časové vytížení.

### 2.3.3 Přínosy, výhody, nevýhody

Důvodem pro implementaci metody SMED je narůstající potřeba redukce výrobních dávek a tím narůstající počet přestaveb a redukce ztrát kapacit právě tímto častým přestavováním linek.

Mezi hlavní přínosy tedy patří zkrácení doby přestaveb linek a strojů, což má za následek zvýšení míry vytížení strojů. Dalším přínosem je zjednodušení přestavby, které vede ke snížení počtu chyb při přestavbách a zároveň přispívá ke zvýšení bezpečnosti. [17]

Nespornými výhodami použití této metody je např. zvýšení konkurenceschopnosti díky nárůstu flexibility podniku, snížení průběžných dob výroby, zvýšení míry vytíženosti strojů, snížení chyb při seřizování, zvýšení bezpečnosti práce a úspora finančních prostředků. [17]

Mezi nevýhody je možné zařadit, že SMED nenajde uplatnění vždy. Například v kusové výrobě nemusí být efektivní. Je zbytečné aplikovat SMED tam, kde způsobí prostoje. Další nevýhodou je obecný odpor zaměstnanců k prováděným změnám. [17]

### 3. Analýza současného stavu

V této kapitole bude provedena analýza současného stavu výrobní haly systémů napínání řemene pro pohon příslušenství spalovacích motorů. Budou popsány výrobky produkované v této výrobní hale, druhy výrobních linek a plánování termínů jejich přestaveb. Dále bude proveden výběr linky s největším potenciálem pro zefektivnění její přestavby s její následnou charakteristikou a charakteristikou výrobního procesu na této lince.

#### 3.1 Systémy napínání řemene vyráběné společností Mubea

Jak již bylo řečeno výše, v současnosti jsou firmou Mubea vyráběny pouze rotační napínáky s mechanickým tlumením a jedná se o systémy s označením E3, E3D E4, E4+, E5, E8 a DAT. Tyto napínáky je možné dělit na napínáky konvenční s krátkým ramenem, které využívají třecích prvků pro tlumení a šroubových pružin případně svazků torzních tyčí k vyvození konstantní síly v řemenu. Dalším druhem jsou nekonvenční napínáky tzv. DAT (dual arm tensioner), tedy dvoukladkové napínáky, které jsou nasazovány přímo na alternátor. Posledním druhem je kombinace konvenčního a nekonvenčního napínáku. To znamená, že má jednu kladku jako konvenční napínáky, ale má podobný tvar a nasazuje se přímo na alternátor jako napínáky nekonvenční. [3]

##### 3.1.1 Kuželové napínací systémy (E3 a E3D)

Jedná se o nejjednodušší systémy vyráběné ve společnosti Mubea, jelikož jsou složeny z malého počtu komponent. Jsou to systémy využívající kuželový třecí tlumící element, který potřebuje pro správné plnění své funkce přítláčnou axiální sílu. Ta je vyvolána pružinou, která zároveň vytváří kroučící moment a tvoří spojovací prvek mezi tělem a ramenem napínáku. [3]

Rozdíl mezi E3 a E3D je ve směru axiální síly. U napínáku E3 pružina táhne tělo a rameno směrem k sobě, zatímco u napínáku E3D je tlačí od sebe.

##### 3.1.2 Válcové napínací systémy (E4 a E4+)

V těchto systémech je tlumící element válcového tvaru. Pro svoji funkci potřebuje radiální sílu, která je vyvolána předepjatou tlumící objímkou z pružinového pásu obepnutou kolem tlumícího elementu. Rozdíl mezi E4 a E4+ je ve velikosti vytvořeného tlumení. [3]

##### 3.1.3 Napínací systémy pro speciální aplikace (E5 a E8)

Vzhledem k tzv. downsizingu, tedy zmenšování motorů, jsou řemenové soustavy také zmenšovány a dostupný prostor pro napínáky je výrazně omezen. Pro takové potřeby byly vyvinuty dva systémy napínáků řemene.

Prvním je systém E5 využívající svazek tyčí pro dosažení požadovaného točivého momentu. Na tento svazek působí torzní síla, díky čemuž je svazek zkroucen a chová se jako torzní tyč. Tlumení je provedeno velmi podobně jako u válcových systémů. Druhým napínákem pro speciální aplikace je systém E8. Tento napínák je umístěn přímo na alternátoru a obepíná jeho řemenici. [3]

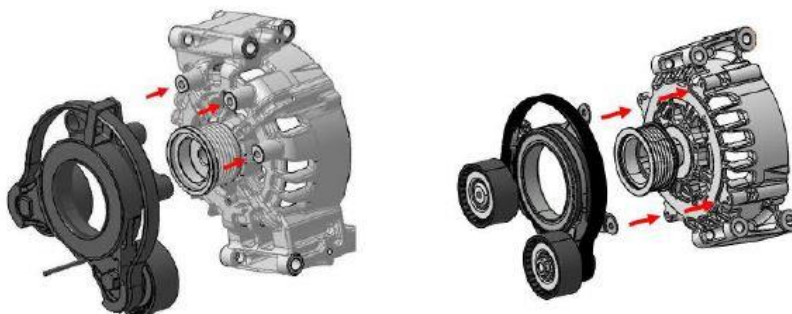
##### 3.1.4 Systémy DAT (dual arm tensioner)

Jedná se o systémy používané v tzv. Mild-Hybridních vozidlech, což jsou vozidla využívající funkci start-stop. Jak už bylo řečeno výše, DAT jsou nekonvenční napínáky, které mají dvě ramena,

a tedy dvě napínací kladky. Požadovaného momentu, a tedy napnutí řemene je dosaženo pomocí pružiny, která propojuje obě ramena napínáku. Systémy DAT jsou vyráběny také v invertním provedení z důvodu snadnější montáže. V klasickém uspořádání je řemen veden mezi alternátorem a napínákem. Invertní uspořádání umožňuje snadnější instalaci řemene při jeho výměně nebo při jeho případném spadnutí. [3]



Obrázek 16 - Schéma zapojení DAT [3]



Obrázek 17 - Vlevo klasické provedení, vpravo invertní provedení [4]

Je pravděpodobné, že v dalších krocích tohoto projektu bude pro optimalizace přestaveb vybrána linka, na které je realizována montáž některého z napínacích systémů DAT pro výrazně vyšší počet dílů, a tedy vyšší počet operací než u konvenčních napínáku. Jako zástupce napínacích systémů pro názornou ukázkou, z jakých dílů jsou napínáky montovány za pomoci montážního kusovníku, byl tedy vybrán napínák DAT 001. V kusovníku (viz Příloha č. 1) je také možné nalézt informaci o hmotnosti kompletního napínáku, která je 1,3 kg. Maximální rozměr napínáku se pohybuje od 150 mm do 250 mm a výška napínáku od 45 mm do 65 mm.



## 3.2 Produkce, procesy

Výroba je na oddělení systémů napínání řemene omezena prakticky jen na finální montáž. Téměř všechny potřebné materiály, díly a součásti jsou dodávány dodavateli již v hotovém stavu a jsou připraveny k montáži. Pouze některé druhy pružin jsou vyráběny přímo na tomto oddělení. Toto oddělení disponuje více než padesáti montážními linkami, na kterých je možno vyrábět více než sto různých projektů. Z těchto čísel je zřejmé, že ne všechny tyto linky budou pro speciální výrobu jednoho určitého produktu. Některé z linek jsou takzvaně univerzální a po výměně určitých komponent a přípravků jsou připraveny pro výrobu jiného produktu, jiné jsou speciální pouze pro určitý produkt.

### 3.2.1 Univerzální linky

Tyto univerzální linky s možností výroby vícero různých produktů jsou většinou tzv. In-line assembly station. To je montážní linka, na níž jsou jednoúčelové stroje potřebné pro jednotlivé operace řazeny jednotlivě za sebou podle postupu. Je nutné každou tuto operaci spustit operátorem výroby. Jeden pracovník obvykle obsluhuje více jednoúčelových strojů na dané lince. Jednotlivé přípravy jsou snadno přístupné, a proto není těžké je vyměnit a připravit tak linku na výrobu jiného produktu.



Obrázek 18 - Univerzální linka [vlastní tvorba]

Je pravděpodobné, že v dalších fázích projektu bude pro optimalizaci přestaveb vybrána linka univerzální pro realizaci montáže některých z napívacích systémů DAT pro jejich vyšší počet jednoúčelových strojů než v případě linek pro montáž konvenčních napínačů. Jako zástupce pro představení montážního procesu byl tedy vybrán montážní postup napínačku DAT 001 (viz příloha č. 2) na univerzální lince 02-083.

### 3.2.2 Linky s otočným stolem

Druhým typem linek jsou tzv. rotary assembly station, tedy montážní stanice s otočným stolem uprostřed. Kolem tohoto otočného stolu uvnitř stanice jsou rozmístěny jednoúčelové stroje, mezi kterými se výrobek pohybuje v přípravcích připevněných k pohyblivému stolu. Operátor výroby pouze zakládá díly do přípravku a veškeré ostatní operace jsou provedeny automaticky. Většinou jsou to speciální stanice pro výrobu jednoho určitého produktu, ale neplatí to vždy. Na některých těchto otočných stanicích může být vyráběno více produktů, ale jedná se pouze o obměnu některých komponent daného napínáku, případně o změnu některých parametrů. Přípravky a operace však zůstávají stejné a žádná přestavba neprobíhá.



Obrázek 19 - Linka s otočným stolem [vlastní tvorba]

### 3.3 Současné plánování přestaveb

Plán přestaveb je tvořen na základě týdenního plánování, které je prováděno na konci každého týdne. Plán přestaveb je definován pro týden následující. Tyto týdenní plány jsou vytvářeny na základě velikosti odvolávek zákazníků.

Výroba určitého produktu na lince by měla být realizována do určitého počtu kusů. Zbylý nepoužitý materiál je poté poslán zpět na sklad. Následně je podle plánu linka přestavěna a připravena na výrobu dalšího produktu. Ovšem někdy do plánování vstupují další proměnné, jako je nedostatek materiálu na skladu kvůli chybnému plánování výroby a objednávání materiálu. V takovém případě je nutné operativně reagovat přestavbou linky mimo plánovaný termín. Požadovaný počet kusů chybějících do naplnění odvolávky bude nutné vyrobit později, až bude k dispozici potřebný materiál.

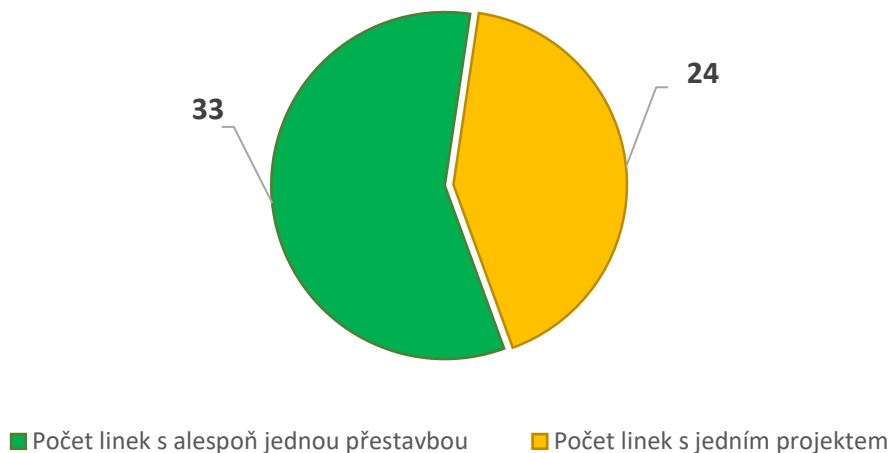
### 3.4 Výběr linky pro implementaci metody SMED

Tato podkapitola se bude zabývat výběrem vhodné linky pro přestavbu. Některé linky mohou být pro racionalizaci přestavby vhodnější než jiné, proto je nutné provést tuto prvotní analýzu.

#### 3.4.1 Krok 1 – Vyčlenění linek s alespoň jednou přestavbou

Jak již bylo zmíněno výše, výrobní hala disponuje více než 50 výrobními linkami, konkrétně se jedná o 57 výrobních linek, z nichž 33 linek bylo v roce 2019 alespoň jednou přestavováno pro výrobu jiného produktu. Zbýlých 24 výrobních linek je specializováno pro výrobu pouze jednoho produktu.

Poměr linek s jedním projektem k linkám s více projekty



Graf 1 - Poměr linek s jedním a více projekty [vlastní tvorba]

V další fázi již budou řešeny pouze linky s alespoň jednou přestavbou.

#### 3.4.2 Krok 2 – Analýza prováděných přestaveb na linkách

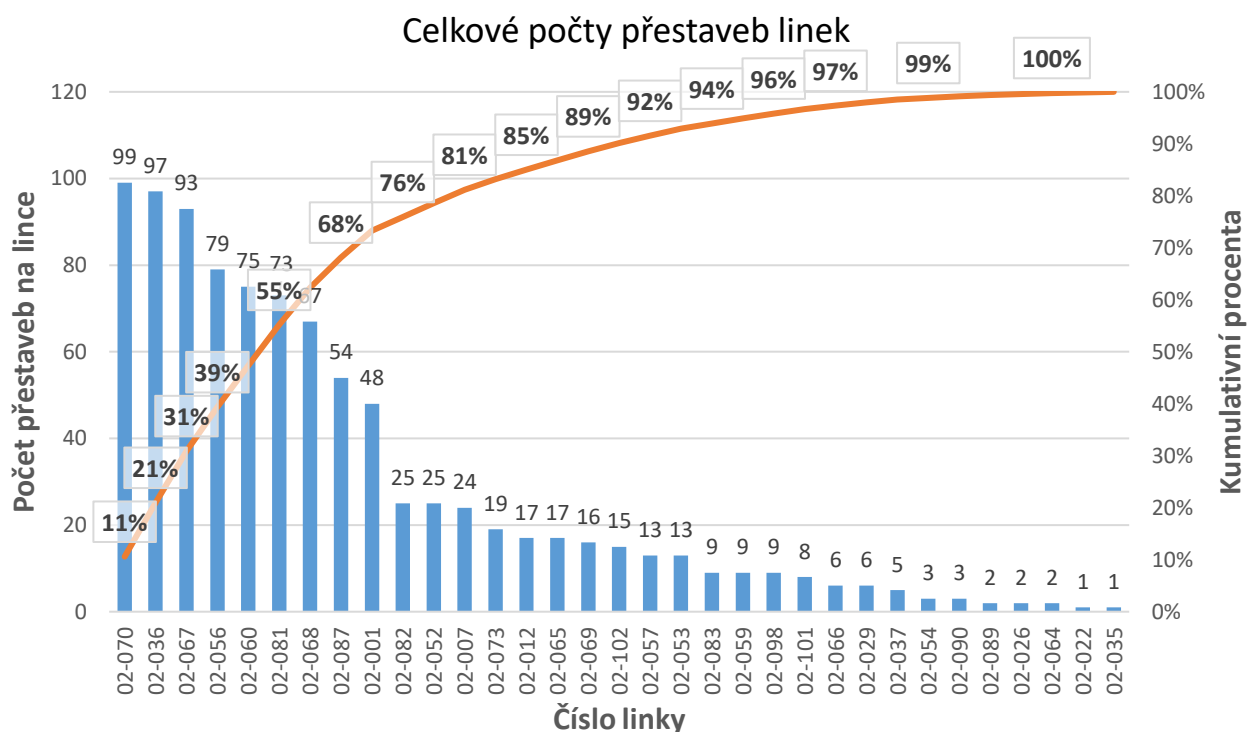
V druhém kroku bylo na problematiku výběru vhodné linky pro optimalizaci přestavby nahlíženo ze dvou různých pohledů. Nejprve z hlediska počtu přestaveb provedených na dané lince za

dosavadní průběh roku 2019 a poté z hlediska celkových časů strávených všemi přestavbami na dané lince během tohoto roku. Pro oba dva pohledy byly vytvořeny Paretovy diagramy.

### Počet přestaveb dané linky

Graf č. 2 zobrazuje Paretoův diagram počtů přestaveb výrobních linek. Na vodorovné ose jsou seřazeny linky podle počtu přestaveb v daném sledovaném období. S levou osou je tvořen sloupcový graf zobrazující počty přestaveb jednotlivých linek. S pravou osou je vytvořen spojnicový graf zobrazující kumulativní procenta počtů přestaveb na všech linkách. Suma všech přestaveb na všech linkách dělá 100 %.

Z grafu č. 2 níže je možné vyčíst, že již první 3 linky, co se týče počtu přestaveb, tvoří přes 30 % celkového počtu přestaveb v tomto roce. Prvních 10 linek tvoří cca. 75 % všech přestaveb.

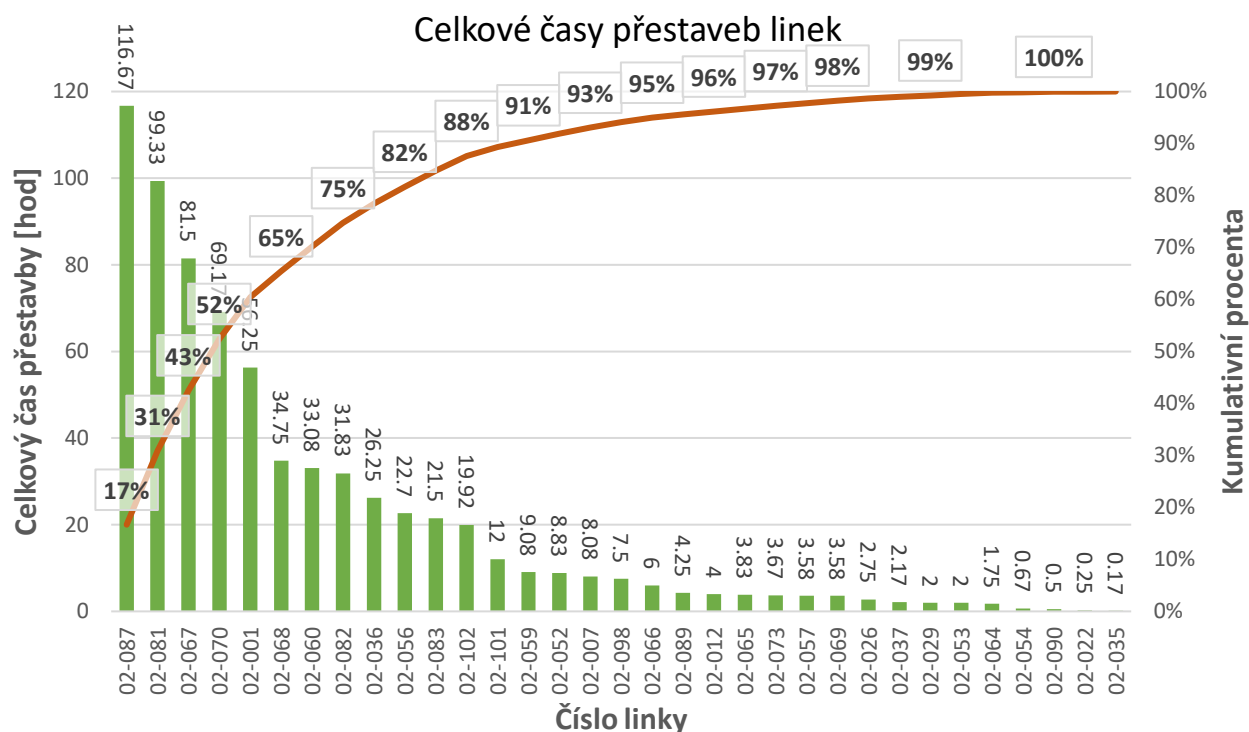


Graf 2 - Paretoův diagram - počty přestaveb [vlastní tvorba]

### Celkové časy přestaveb dané linky

Graf č. 3 zobrazuje Paretův diagram celkových časů přestaveb výrobních linek. Na vodorovné ose jsou seřazeny linky podle celkových časů přestaveb v daném sledovaném období. S levou osou je tvořen sloupcový graf zobrazující časy přestaveb jednotlivých linek. S pravou osou je vytvořen spojnicový graf zobrazující kumulativní procenta časů přestaveb na všech linkách. Suma všech časů přestaveb na všech linkách dělá 100 %.

Z grafu č. 3 je možné vyčíst, že první 3 linky v celkových časech přestaveb tvoří dokonce 43 % podíl sumy všech celkových časů přestaveb ve sledovaném období, nejedná se však o stejné linky jako v případě počtu přestaveb. Prvních 10 linek v celkových časech přestaveb tvoří přes 80 % celkového času stráveného přestavbami linek. Těchto 10 linek je stejných jako v případě celkového počtu přestaveb pouze v jiném pořadí.



Graf 3 - Paretův diagram - časy trvání přestaveb [vlastní tvorba]



### 3.4.3 Krok 3 – Vyhodnocení analýzy prováděných přestaveb

Oba pohledy odhalily 10 stejných linek, které jsou nejvíce zatíženy přestavbami, viz tabulka 1.

Tabulka 1 - 10 linek nejvíce zatížených přestavbami [vlastní tvorba]

Číslo linky	Celková doba přestaveb [hod]	Celkový počet přestaveb	Průměrná doba jedné přestavby [hod/přestavba]
02-087	116,67	54	2,16
02-081	99,33	73	1,36
02-067	81,50	93	0,88
02-070	69,17	99	0,70
02-001	56,25	48	1,17
02-068	34,75	67	0,52
02-060	33,08	75	0,44
02-082	31,83	25	1,27
02-036	26,25	97	0,27
02-056	22,70	79	0,29

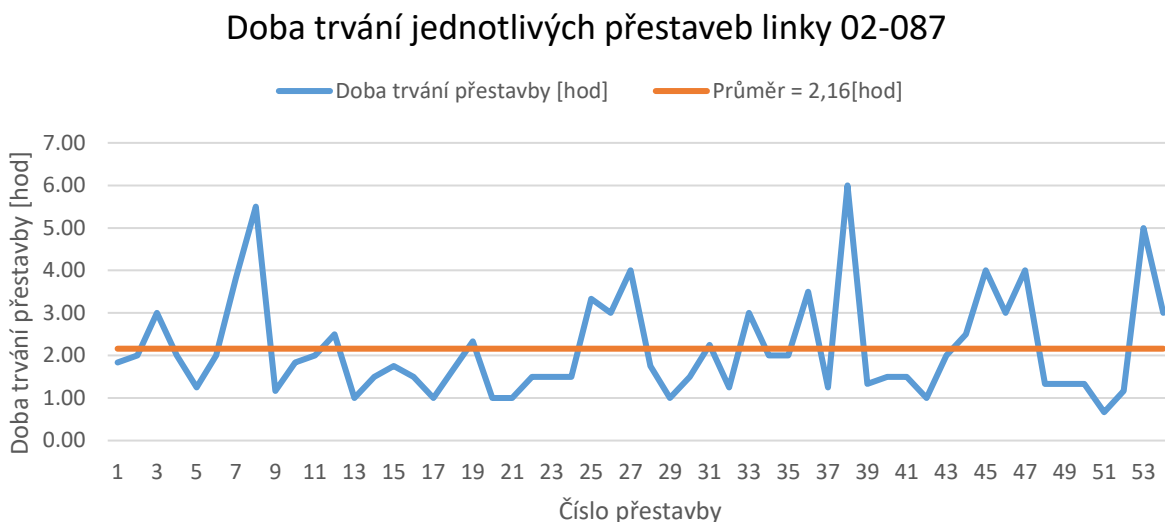
V tabulce 1 je vidět kromě již známých parametrů také průměrný čas trvání jedné přestavby na dané lince. Linka číslo 02-087 má téměř dvojnásobnou průměrnou dobu jedné přestavby než ostatní linky a zároveň na její přestavby bylo spotřebováno nejvíce času.

Důvodem takto výrazně vyšších časů přestavby linky 02-087, ale také linky 02-081 je především to, že na těchto linkách jsou vyráběny nekonvenční napínáky DAT, které se skládají z většího počtu dílů než napínáky konvenční. Proto se linka skládá z více jednoúčelových strojů a mění se tedy více přípravků. Na lince 02-067 jsou však vyráběny konvenční napínáky, a přesto má také vysoké číslo. To je především z důvodu vysokého počtu projektů na této lince. Ostatní linky už mají celkové časy přestaveb výrazně nižší, a proto budou v další fázi řešeny pouze první tři linky.

Průměrný čas přestavby nemusí být tak vypovídající, jak by bylo potřeba, a proto byly vytvořeny grafy pro znázornění časů jednotlivých přestaveb linky s největším potenciálem pro přestavbu.

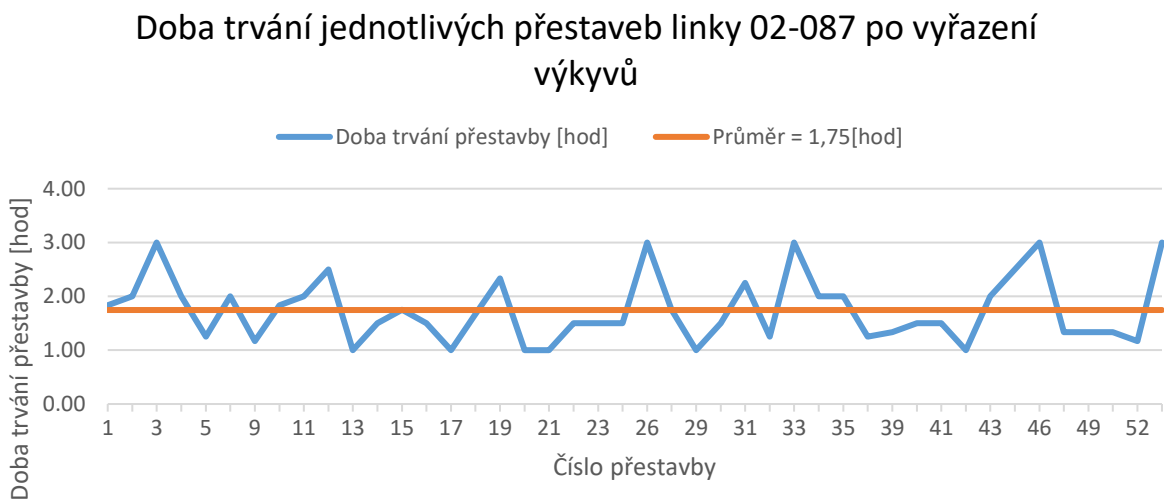
## Linka 02-087

Na grafu 4 je vidět, že průměrná doba přestavby této linky je navyšována několika výraznými výkyvy mnohem delších přestaveb, než je na této lince běžné.



Graf 4 - Doba trvání jednotlivých přestaveb linky 02-087 [vlastní tvorba]

Graf 5 znázorňuje výskyt trvání přestaveb po zanedbání velkých výkyvů. Nejsou brány v potaz přestavby trvající déle než 3 hodiny a méně než 1 hodinu. Průměrný čas přestaveb klesl na 1,75 hodiny. Po porovnání s ostatními linkami, viz tabulka 1, zjistíme, že i přes odmyšlení výrazných výkyvů, má tato linka stále průměrně nejdelší přestavby. Není proto nutné dělat grafy pro zbylé linky.



Graf 5 - Doba trvání jednotlivých přestaveb linky 02-087 po vyřazení výkyvů [vlastní tvorba]

I přesto, že byly zanedbány nejvíce odlišné hodnoty, tato linka stále vykazuje výrazné rozpětí, co se týče trvání jednotlivých přestaveb, konkrétně od 1 do 3 hodin. Dle mého názoru to má jeden hlavní důvod. Na této lince jsou montovány 4 různé projekty. Některé mají více rozdílů od

ostatních než jiné, a proto, když je naplánována přestavba na produkt, který je více odlišný od předchozího a je nutné měnit vícero přípravků, bude přestavba trvat déle, než když jsou 2 po sobě jdoucí produkty podobné. Strídání produktů není pravidelné, jednou se může přestavovat téměř celá linka a jindy pouze její část. Bohužel data, která jsou k dispozici, neobsahují informace o tom, z jakého na jaký produkt byla provedena přestavba. Proto je toto pouze moje domněnka nepodložená skutečnými daty.

#### **3.4.4 Krok 4 – Plány do roku 2020 a 2021**

V roce 2019, ze kterého vychází veškeré analýzy provedené v rámci této DP, byly na lince 02-087 vyráběny 4 různé projekty, z nichž jeden byl spojen s dalším projektem, a tedy ten původní zanikl a jeden byl v průběhu roku 2019 přesunut. Další dva z těchto projektů budou během první poloviny roku 2020 přesunuty na nové linky. Tyto linky budou specializovány právě na tyto konkrétní projekty.

Další změny na této lince jsou plánovány v podobě přidání jiných projektů na tuto linku. První z těchto změn bude přesun již zaběhlého projektu ze specializované linky s otočným stolem z důvodu úprav této linky u dodavatele. V roce 2020 bude zahájena výroba dvou úplně nových projektů, z nichž jeden je naplánován na začátek druhého čtvrtletí a druhý do druhé poloviny roku. Na přelomu roku 2020 a 2021 je naplánováno zahájení výroby dalšího z úplně nových projektů.

I přes přesun stávajících projektů na jiné linky je na tento rok naplánováno dostatek projektů, aby tato linka byla vytížena přestavbami alespoň ve stejné míře jako v roce 2019.

#### **3.4.5 Krok 5 – Finální vyhodnocení výběru linky**

Jako linka s největším potenciálem pro optimalizaci přestavby se jeví linka 02-087. I přesto, že na ní neproběhlo nejvíce přestaveb, v dosavadním průběhu roku 2019 její přestavby dohromady trvaly přes 116 hodin, a i přes zanedbání přestaveb s výrazně odlišnými dobami, průměrný čas jedné přestavby byl výrazně vyšší než u ostatních linek. To je zapříčiněno pravděpodobně tím, že tato linka je univerzální montážní linkou systémů napínání řemene DAT. Tyto napínáky se skládají z většího počtu dílů než konvenční napínáky, linku tedy tvoří větší počet jednoúčelových strojů a při přestavbách je měněn větší počet přípravků než v případě linek pro montáž konvenčních napínáků.

Dalším faktorem je, že na této lince bude v letech 2020 až 2021 i přes přesun stávajících projektů na jiné linky ještě větší počet projektů. Projekty také budou odlišnější, tzn., že bude přestavována celá linka ne pouze její část, jako tomu bývalo doposud u některých přestaveb. Na dalších linkách, které byly nejvíce vytíženy přestavbami v roce 2019, se změny projektů na nejbližší budoucnost neplánují, tudíž se nepředpokládá větší vytížení přestavbami.

Po zohlednění těchto faktorů byla jako linka s největším potenciálem pro optimalizaci přestavby vybrána linka 02-087. Další fáze této DP budou zaměřeny na analýzu této konkrétní linky včetně jejích přestaveb.



### 3.5 Charakteristika výrobní linky a výrobního procesu

Byla vybrána linka 02-087, viz obrázky 20 a 21. Jde o montážní linku s liniovým uspořádáním – jednotlivé stroje jsou řazeny za sebou podle montážního postupu. Jedná se o univerzální linku, tedy o linku, kde je možné po výměně přípravků na jednoúčelových strojích vyrábět jiný projekt. Přípravky na strojích jsou snadno přístupné, a proto není těžké je vyměnit a připravit tak linku na výrobu jiného projektu.

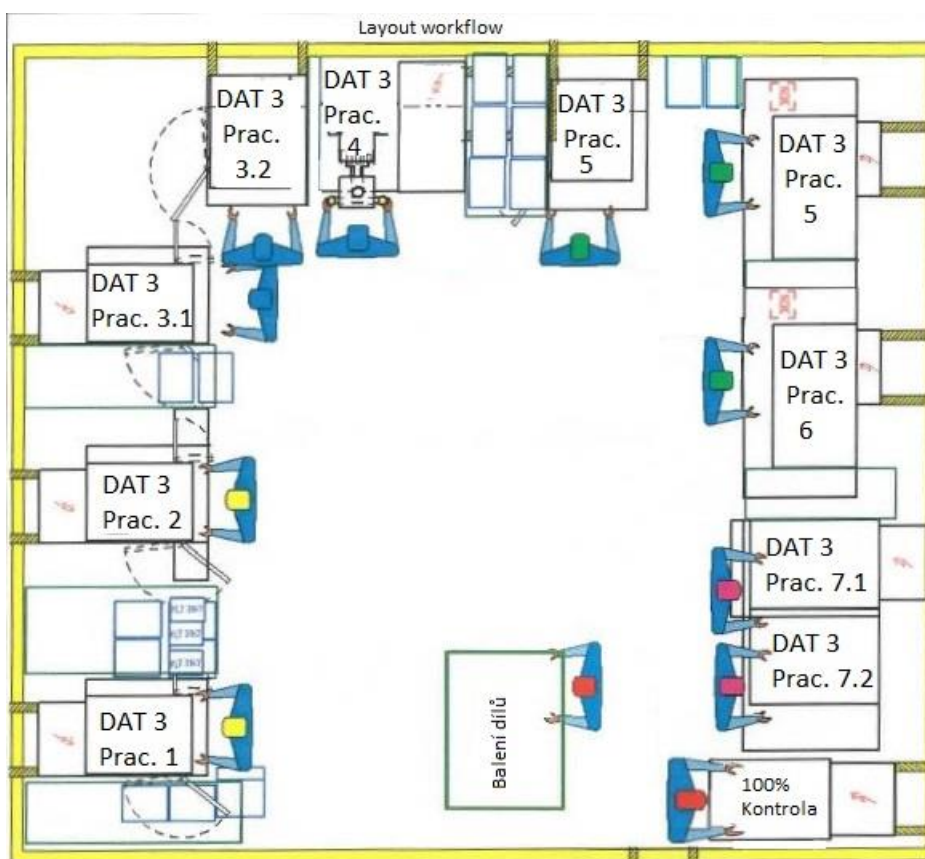


Obrázek 20 - 02-087a [vlastní tvorba]



Obrázek 21 - 02-087b [vlastní tvorba]

Tato linka je uspořádána do tvaru U a je zde celkem deset pracovišť (viz obr. 22). Pracoviště 3.1 a 3.2 a pracoviště 5 jsou používána v závislosti na montovaném projektu. To znamená, že v daný moment je vždy používáno osm z těchto deseti stanic. Každá stanice obsahuje jeden jednoúčelový stroj. Operátor obsluhuje alespoň dva stroje najednou. Na této lince je běžně pět operátorů výroby. Čtyři z nich na obsluhu strojů a pátý je na konci montážního procesu a provádí 100% vizuální kontrolu a balení výrobků. První operátor obsluhuje první dva stroje, které slouží jako stanice pro předmontáž v podobě lisování dílů. Druhý operátor ovládá stanici 3.1 a 4 nebo 3.2 a 4 v závislosti na vyráběném projektu. Pracoviště 3.1 je další druh lisování, 3.2 slouží pro získání správné výšky napínáku a pracoviště 4 slouží pro zarolování komponent, tak aby držely pohromadě. Třetí pracovník ovládá pracoviště 5 a 6. Obě pracoviště 5 slouží pro nasazení pružiny, používá se opět v závislosti na vyráběném projektu. Na pracovišti 6 jsou přišroubovány kladky k napínáku. Čtvrtý operátor ovládá stanici 7.1 pro měření hystereze napínáku a 7.2 pro gravírování čísla. Pátý operátor provádí 100% kontrolu a balení dílů.



Obrázek 22 - Layout linky 02-087 [vlastní tvorba]

## **4. Analýza přestavby linky**

V této kapitole je popsána provedená analýza přestavby výše vybrané a charakterizované linky. Nejprve jsou popsány základní kroky procesu přestavby. Dále byla provedena analýza a vyhodnocení konkrétní přestavby za současného stavu s následným definováním hlavních ztrátových činností.

### **4.1 Popis procesu přestavby vybrané linky**

Na přestavbě linky pro produkci jiného projektu se na tomto oddělení za normálních okolností podílí 3 pracovníci. Hlavní část přestavby má na starosti určený pracovník údržby (seřizovač), dále se na přestavbě podílí skladník a pracovník laboratoře.

Jakmile je ukončena produkce stávajícího projektu, pracovník údržby by měl zahájit své práce. Je zodpovědný za výměnu přípravků na jednoúčelových strojích a přenastavení jejich výrobního programu z předchozího na následující projekt. Dalším jeho úkolem je uvolnění linky pro produkci. To obnáší kontrolu parametrů na jednoúčelových strojích podle uvolňovacího dokumentu. Pokud je vše v pořádku provede odzkoušení montážní linky na prvním vyrobeném kusu.

Spolu s pracovníkem údržby zahajuje svoji práci také skladník. Ten má za úkol odvézt materiál, který byl potřeba pro produkci předchozího projektu a zavézt materiál potřebný pro produkci následujícího projektu. Materiál musí být vyměněn dostatečně rychle, aby pracovník údržby na materiál nečekal a mohl provést odzkoušení linky na prvním montovaném dílu.

Tento první vyrobený díl je následně přenesen do laboratoře, kde pracovník laboratoře zkontroluje jeho rozměry pomocí 3D měřicího přístroje. Pokud je díl podle předepsaných parametrů, je spuštěna produkce na této lince.



## 4.2 Analýza a vyhodnocení současného stavu přestavby

Průběh přestavby byl změřen stopkami a sledované činnosti byly zapisovány na připravený záznamový arch. Přestavba byla následně vyhodnocena pomocí Excel tabulky. Postup přestavby včetně časů trvání jednotlivých činností je zaznamenán v tabulce, viz příloha 3 - Analýza současného stavu přestavby linky 02-087. Veškeré činnosti byly zahájeny až po zastavení produkce předchozího projektu, proto jsou všechny činnosti zaznamenány jako interní (zelená barva) a některé z nich byly vyhodnoceny jako plýtvání (červená barva). Přestavba byla zahájena v 6:11:00 bez jakékoliv předchozí přípravy ze strany pracovníka provádějícího přestavbu. Přestavba trvala celkem 3 hodiny a 19 minut.

### 4.2.1 Zaznamenané činnosti a jejich procentuální zastoupení v procesu přestavby

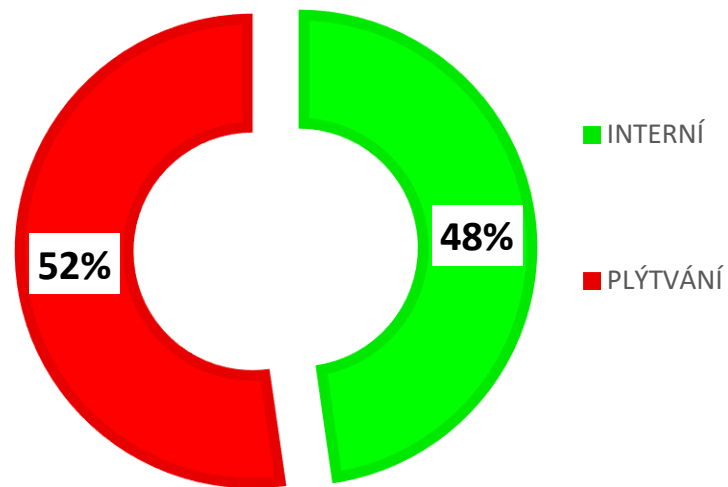
V následující tabulce jsou zaznamenány veškeré činnosti provedené seřizovačem při procesu přestavby a doba jejich trvání. Jak bylo napsáno výše, všechny činnosti byly provedeny až po zastavení linky bez předchozí přípravy, a proto jsou všechny činnosti klasifikovány jako interní (zelená barva) tedy činnosti, které lze vykonat pouze při zastavení stroje. Některé činnosti byly vyhodnoceny jako plýtvání a v tabulce jsou označeny červenou barvou.

Tabulka 2 - Seznam činností prováděných při přestavbě a doba jejich trvání [vlastní tvorba]

Demontáž přípravku	Montáž přípravku	Šroubování	Nastavování programu/seřizování	Čištění nástrojů na strojích	Zkouška stroje	Kontrola/uvolňování	Výroba kontrolních kusů	Měření výrobků na 3D
1	2	4	6	8	9	11	13	15
0:03:20	0:03:30	0:06:10	0:09:50	0:02:50	0:01:40	0:08:20	0:17:30	0:37:00
Příprava/úklid přípravku	Chůze pro nářadí/přípravky	Kontrola materiálu	Čekání na materiál	Hovor	Chyba při výrobě kontrolních kusů	Jiná činnost	Hledání (přípravků, nářadí)	Čekání na kalibraci stroje
3	5	7	10	12	14	16	17	18
0:04:50	0:10:40	0:05:00	1:05:00	0:00:30	0:01:20	0:00:30	0:06:00	0:15:00

Z grafu č. 6 je možné vyčíst, že ztrátové činnosti v této přestavbě převládají nad ostatními činnostmi. Konkrétně v poměru 52 % činností vyhodnocených jako plýtvání ku 48 % činností, které je potřeba vykonat. Jak již bylo zmíněno, všechny operace byly provedeny až po zastavení linky, proto zde nefiguruje externí činnosti. Pouze eliminací ztrátových činností bychom se dostali z 3 hodin a 19 minut na 1 hodinu a 35 minut, a to bez konverze interních činností na externí a bez optimalizace interních činností.

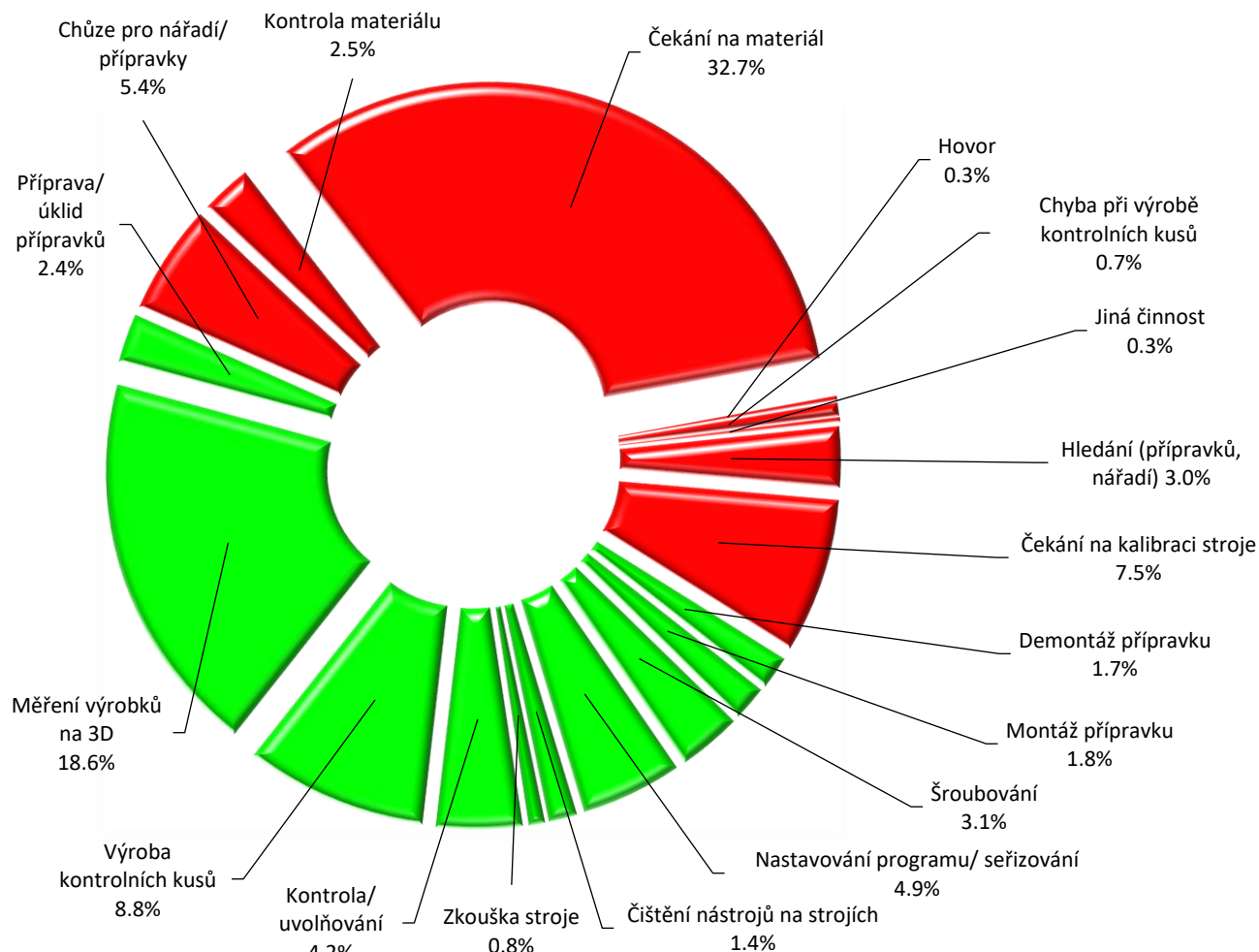
#### GRAFICKÉ ZNÁZORNENÍ POMĚRU INTERNÍCH A ZTRÁTOVÝCH ČINNOSTÍ



Graf 6 - Poměr interních a ztrátových činností [vlastní tvorba]

Graf č. 7 znázorňuje procentuální zastoupení jednotlivých činností. Je možné z něj vyčíst, že největší podíl na interních činnostech má měření výrobku na 3D měřicím přístroji, konkrétně jde o 37 minut a dále výroba kontrolních kusů (17 minut a 30sekund). Největší podíl na ztrátových časech má bezesporu čekání na materiál potřebný pro montáž výrobků, jedná se o 1 hodinu a 5 minut. Druhým velmi zbytečným plýtváním se jeví hledání přípravků a chůze pro nářadí a přípravky (dohromady 16 minut a 40 sekund). Jako další druh plýtvání bylo vyhodnoceno čekání na provedení kalibrace stroje (15 minut), ta ale běžně není potřeba a při přestavbě linky je prováděna jen výjimečně.

### Procentuální zastoupení jednotlivých činností



Graf 7 - Procentuální zastoupení jednotlivých činností [vlastní tvorba]

#### **4.2.2 Shrnutí současného stavu přestavby linky 02-087**

Přestavba za současného stavu trvala 3 hodiny a 19 minut. Před zastavením linky neproběhla žádná příprava ze strany pracovníka údržby provádějícího přestavbu, tudíž byly všechny činnosti zaznamenány jako interní činnosti a některé vyhodnoceny jako činnosti zbytečné a označeny jako plýtvání. Jako plýtvání bylo označeno 52 % činností (1 hodina a 44 minut). Největší podíl na těchto ztrátových časech má čekání na dovezení materiálu. Po rozhovorech s pracovníky bylo zjištěno, že se nejedná o výjimečnou záležitost, ale o pravidelný problém. Druhým nejdelším časem v kategorii ztrátových bylo čekání na kalibraci stroje, ta však běžně není potřeba provádět a stává se to pouze výjimečně. Jsou zde i další činnosti, kterými je potřeba se zabývat ať už z hlediska optimalizace nebo úplné eliminace. Detailním popisem se zabývá následující kapitola.

## 5. Návrhy zlepšení

Tato kapitola je zaměřená na eliminaci plýtvání, na konverzi interních činností na externí a optimalizaci interních činností, které nelze konvergovat na externí s následným vyhodnocením přestavby po zavedení těchto optimalizací.

Tabulka 3 přehledně zobrazuje činnosti zaznamenané při přestavbě, jejich kategorii, možnou změnu a důvod této změny.

Tabulka 3 - Konverze činností [vlastní tvorba]

Činnost	Kategorie	Čas [h:m:s]	Změna	Problém
Demontáž přípravku	Interní	0:03:20	-	-
Montáž přípravku	Interní	0:03:30	-	-
Šroubování	Interní	0:06:10	-	-
Nastavování programu/ seřizování	Interní	0:09:50	-	-
Čištění nástrojů na strojích	Interní	0:02:50	Paralelizace	Činnost možné provést v jiné části přestavby
Zkouška stroje	Interní	0:01:40	-	-
Kontrola/ uvolňování	Interní	0:08:20	-	-
Výroba kontrolních kusů	Interní	0:17:30	Zkrátit	Pracovník vyráběl hned 3 kusy najednou
Měření na 3D	Interní	0:37:00	Zkrátit	V laboratoři byla rozdělena jiná práce – delší čekání na měření dílu z linky
Příprava/ úklid přípravků	Interní	0:04:50	Externí	Příprava a úklid přípravků probíhaly v době zastavení stroje
Chůze pro náradí/ přípravky	Plýtvání	0:10:40	Eliminovat	Potřebné vybavení nebylo připraveno
Kontrola materiálů	Plýtvání	0:05:00	Eliminovat	Zbytečné zdržování kontrolou práce někoho jiného
Čekání na materiál	Plýtvání	1:05:00	Eliminovat	Špatné plánování materiálového toku
Hovor	Plýtvání	0:00:30	Eliminovat	Vyrušení kolegou
Chyba při výrobě kontrolních kusů	Plýtvání	0:01:20	Eliminovat	Špatné založení dílů při výrobě
Jiná činnost	Plýtvání	0:00:30	Eliminovat	Úklid palety z pracovního prostoru
Hledání přípravků/ náradí	Plýtvání	0:06:00	Eliminovat	Nestandardizované umístění vybavení
Čekání na kalibraci stroje	Plýtvání	0:15:00	Zkrácení / zaškolení	Čekání na provedení kalibrace procesním inženýrem



## 5.1 Definování zlepšujících opatření

Zde budou definovány zlepšující opatření pro výše zmíněné problematické činnosti.

### 5.1.1 Čekání na materiál

Čekání více než hodinu na materiál, aby bylo možné dokončit přestavbu linky, je nepřijatelné a je nutné zlepšit sladění procesu s logistikou. O to více, když bylo zjištěno, že se nejedná o ojedinělý případ, ale o běžnou záležitost. Plán přestaveb je tvořen většinou ve čtvrtek nebo pátek pro následující týden. Během týdne sice může dojít ke změnám a operativním úpravám plánu, ale pro produkci je materiál objednávaný také na dvou hodinové zásoby, neměl by tedy být problém materiál zajistit. I při operativních změnách týdenního plánu je přestavba naplánována alespoň 16 hodin dopředu, tudíž je dostatek času na zajištění materiálu.

Pro prokázání tohoto problému a demonstraci výrazného zkrácení přestavby díky včasnému dodání materiálu byl materiál zajištěn a dovezen na výrobní halu s výrazným předstihem (viz obr. 23). Následně pouze stačilo při zahájení přestavby připravit materiál na správné místo. Tímto způsobem byl tento druh plýtvání úplně eliminován.



Obrázek 23 - Paleta s materiálem [vlastní tvorba]

### 5.1.2 Chůze pro nářadí/ přípravky a jejich hledání

Hledání přípravků a nářadí a jejich obstarávání až po zastavení linky není vhodný postup a pracovník touto činností ztratil více než čtvrt hodiny. Přípravky jsou sice uloženy v poličkách poblíž linky, avšak v tomto skladování není žádný řád (viz obr. 24 a 25).

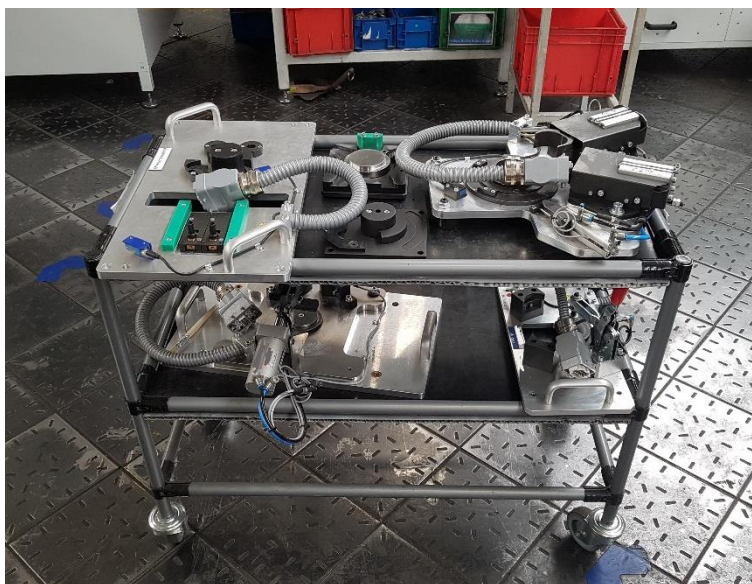


Obrázek 25 - Vozíky s neroztříděnými přípravky [vlastní tvorba]



Obrázek 24 - Police s přípravky [vlastní tvorba]

Vhodné by bylo přípravky uspořádat podle daného projektu nejlépe na pojízdné poličky, aby si je mohl pracovník pouze převézt na danou linku. Důležité je vstřípit pracovníkům přípravu před samotnou přestavbou, aby měli potřebné pomůcky připraveny ještě před zastavením linky a nezdržovali se tím při přestavbě. Taková příprava proběhla před druhou kontrolní přestavbou, viz obr. 26 a došlo tedy k úplné eliminaci tohoto plýtvání.



Obrázek 26 - Připravený vozík s přípravky pro daný projekt [vlastní tvorba]

### 5.1.3 Čekání na kalibraci

Potřeba kalibrace stroje není při přestavbách úplně běžná, avšak někdy k této situaci dochází. V takovém případě musí pracovník údržby vyhledat pomoc procesního inženýra a čekat, až bude tato činnost vykonána. V tomto případě bylo z důvodu kalibrace ztraceno 15 minut a alespoň polovina z tohoto času byla strávena vyhledáním procesního inženýra a čekáním, než vůbec kalibraci zahájí. Proto by bylo vhodné pracovníky údržby zaškolit v provádění kalibrací a přispět tak k optimalizaci přestaveb. Samozřejmě nějaký čas zabere samotná kalibrace, ale odpadne čekání na zahájení kalibrace a dojde alespoň k ušetření nějakého času a pracovník provádějící přestavbu bude stále vytížen prací.

### 5.1.4 Kontrola materiálu

Během sledování přestavby za současného stavu bylo 5 minut stráveno kontrolou zavezeného materiálu. Tato činnost se jeví jako zbytečná z pohledu toho, že byla prováděna kontrola práce někoho jiného. Skladník by měl materiál zavést kompletně, a pokud bude nějaký materiál chybět, je povinen o takovém stavu informovat on. Pracovník provádějící přestavbu by se měl soustředit pouze na svoji práci. Tím by bylo toto plýtvání eliminováno.

### 5.1.5 Příprava/ úklid přípravků

Příprava a úklid přípravků byly provedeny během prací na přestavbě linky. Čas potřebný na zastavení linky se touto činností tedy protáhl téměř o 5 minut. Přípravky by měly být pouze odloženy na připravený vozík a odvezeny až po dokončení prací na přestavbě. V případě této přestavby je vhodné využít dobu, kdy pracovník čeká na provedení 3D měření prvního vyrobeného kontrolního kusu

### 5.1.6 Měření na 3D

V takto nastaveném procesu se jedná o nezbytnou součást prováděnou při každé přestavbě za účelem zajištění kvality a zabránění případné výrobě zmetků od prvního kusu. Ovšem v tomto případě kontrola trvala zbytečně dlouho a bylo by vhodné zavést lepší komunikaci s laboratoří. Před zahájením přestavby je třeba zde oznámit, že během cca 30 až 45 minut bude potřeba přeměřit kontrolní díl, aby na to v laboratoři byli připraveni. Lepší komunikací by se čas potřebný na jeho přeměření dal zkrátit, jelikož po rozhovorech s pracovníky bylo zjištěno, že samotné měření trvá do 15 minut. Započítáme-li případnou rezervu na dokončení rozdělané práce cca 10 minut, dojde k ušetření alespoň 12 minut čekání.

### 5.1.7 Výroba kontrolních kusů

V rámci snímkové přestavby za současného stavu byly vyrobeny hned tři kontrolní výrobky a hned první byl podle předepsaných parametrů. Argument pro výrobu tří dílů byl takový, že kdyby náhodou ten první neodpovídal předepsaným parametrům, jsou připraveny další. Tato kontrola je dělána z důvodu zjištění nesrovnalostí na strojích po přestavbě linky. Pokud by k něčemu takovému došlo a některý ze strojů by nebyl seřízen správně, je velmi pravděpodobné, že by všechny tři kusy byly smontovány se stejnou vadou a po seřízení by musel být vyroben další. Druhý důvod, proč není potřeba montovat hned tři výrobky, je ten, že k takovému vyhodnocení dochází jen velmi zřídka. Proto bylo rozhodnuto, že bude montován pouze jeden kontrolní výrobek, tím by se čas spotřebovaný na výrobu kontrolních dílů měl teoreticky zkrátit na třetinu.



### 5.1.8 Čištění nástrojů na strojích

Po konzultacích bylo vyhodnoceno, že očištění nástrojů (jedná se pouze o očištění lisovacích hlavic) není nutné provést před vyrobením kontrolního výrobku. Znečištění je minimální a je děláno pouze jako preventivní údržba, aby se znečištění nekumulovalo. Toto očištění je možné provést v době čekání na provedení kontrolního 3D měření. Tento čas bude eliminován v podobě paralelizace.

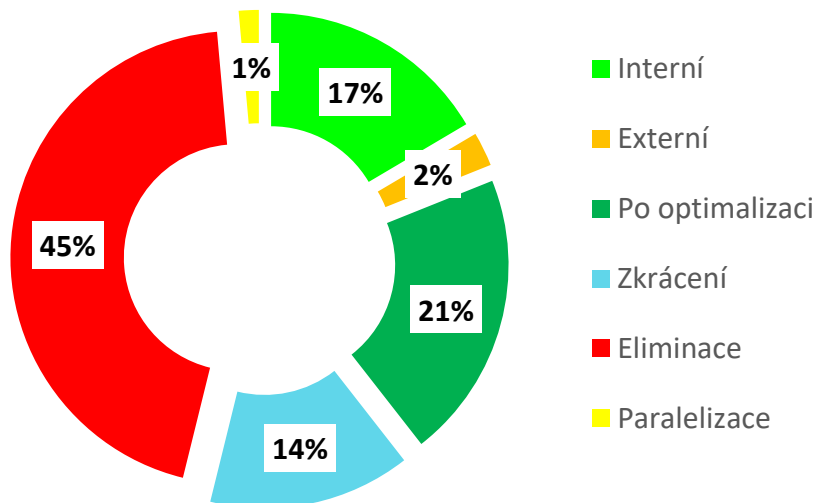
### 5.1.9 Ostatní ztrátové činnosti

Zbylé ztrátové činnosti mají už pouze minoritní podíl na celkovém čase plýtvání a jedná se o problémy nepravidelného charakteru, avšak i těchto drobností je dobré se vyvarovat. Dojde-li k chybě při výrobě kontrolních napínáků vlivem nepozornosti a špatného založení dílů do přípravku, časová ztráta není velká, ale stále je naprosto zbytečná. Jako další ztrátový čas byl označen hovor, ačkoliv se jednalo o hovor pracovní. Posledním úkonem označeným jako ostatní činnost bylo odstranění palety, která blokovala jednu z výrobních stanic.

## 5.2 Shrnutí zlepšujících opatření

Graf 8 znázorňuje teoretické procentuální rozdělení činností po navržené optimalizaci. Z celkového času bude 45 % činností zcela eliminováno (červená barva), 2 % budou prováděny externě (oranžová barva) a o 1 % bude přestavba zkrácena v podobě paralelizace (žlutá barva). Některé činnosti budou optimalizovány, díky čemuž bude celkový čas přestavby zkrácený o dalších 14 % (modrá barva). Zbylých 38 % činností se skládá ze 17 % interních činností, které zůstaly beze změny a 21 % činností, které jsou po optimalizaci. Dohromady došlo ke zkrácení o 62 % tedy o 2 hodiny 5 minut a 20 sekund.

**GRAF ČINNOSTÍ - NAVRŽENÁ OPTIMALIZACE**



Graf 8 - Navržená optimalizace [vlastní tvorba]

## 6. Analýza a vyhodnocení přestavby po optimalizaci

Snímek přestavby a jeho vyhodnocení proběhlo obdobně jako v případě současného stavu přestavby. Postup přestavby včetně časů trvání jednotlivých činností je zaznamenán v tabulce, příloha 4 – Analýza přestavby linky 02-087 po optimalizaci.

Samotná přestavba doznala určitých změn. Tou hlavní z nich je, že proběhla příprava (vyhodnocena jako externí činnosti) ještě před zastavením linky. Z těchto externích činností byla zaznamenána pouze příprava přípravků a pomůcek. Zásadní pro demonstraci optimalizace přestavby bylo zajištění potřebného materiálu, aby opět nedošlo k prostojům z důvodu chybějícího materiálu. Ten byl zajištěn a fyzicky připraven na výrobní hale s výrazným předstihem, a po zahájení přestavby byl pouze připraven na linku. Také byla kontaktována laboratoř, že cca během půl hodiny bude potřeba přeměřit první vyrobený kontrolní napínák. Dále bylo podle zlepšujícího opatření rozhodnuto o výrobě pouze jednoho kontrolního napínáku. Rozdílem od původní přestavby je také absence kalibrace stroje. Jak bylo naznačeno výše, ne vždy je tato kalibrace potřeba, a to se také ukázalo jako pravda při přestavbě po navržených optimalizacích.

Tentokrát proběhla příprava v podobě externích činností, které jsou označeny oranžovou barvou. Interní činnosti tedy činnosti, které je možné vykonávat pouze po zastavení linky, zůstaly označeny zelenou barvou a činnosti probíhající paralelně jsou označeny žlutou barvou.

Příprava přestavby byla zahájena ve 13:55:00 a samotná přestavba byla zahájena ve 14:00:00. Přestavba po optimalizaci trvala včetně externích příprav 53 minut a 30 sekund. Část, kdy byla zastavena linka, trvala 48 minut a 30 sekund.

### 6.1 Zaznamenané činnosti a jejich procentuální zastoupení v procesu přestavby

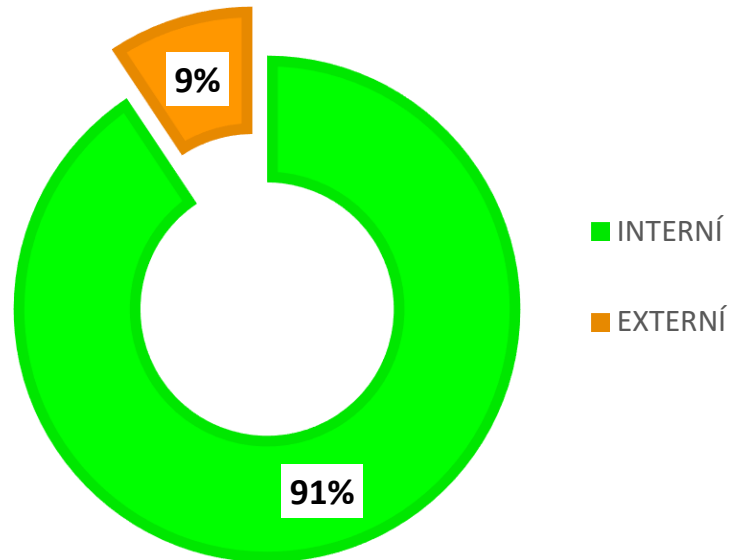
Tabulka č. 4 zobrazuje všechny činnosti provedené při přestavbě linky po navržených optimalizacích a dobu jejich trvání. Oranžově je označena externí činnost, tedy provedená příprava před zastavením linky. Zeleně jsou označeny interní činnosti a žlutou barvu mají činnosti prováděné paralelně s interními činnostmi. Na rozdíl od předchozího měření během této přestavby nebylo zaznamenáno žádné plýtvání.

Tabulka 4 - Seznam činností prováděných při přestavbě po optimalizaci [vlastní tvorba]

Demontáž přípravku	Montáž přípravku	Šroubování	Nastavování programu/ seřizování	Zkouška stroje	Kontrola/ uvolňování	Výroba kontrolních kusů	Měření výrobků na 3D	Příprava přípravku/ pomůcek	Úklid přípravku/ pomůcek	Čištění nástrojů na strojích
1	2	4	6	9	11	13	15	3	5	8
0:03:45	0:04:50	0:05:15	0:05:20	0:01:50	0:04:40	0:06:20	0:16:30	0:05:00	0:05:40	0:03:20

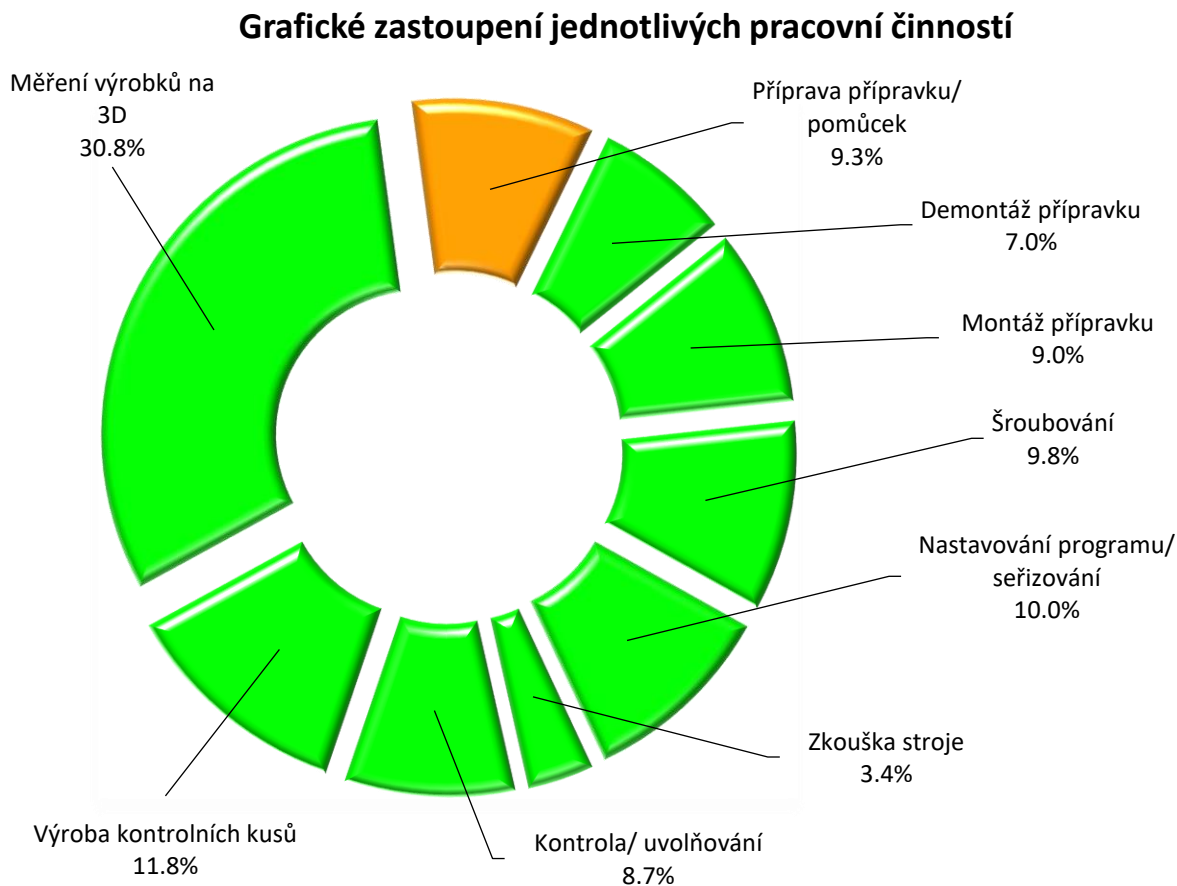
Z grafu č. 8 je možné vyčíst, že během přestavby po optimalizaci nebyly zaznamenány žádné ztrátové činnosti. Při měření bylo zaznamenáno 9 % externích a 91 % interních činností. Některé činnosti byly prováděny paralelně, ty však nejsou v tomto grafu zaznamenány, protože byly provedeny během probíhající hlavní interní činnosti.

#### GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ POMĚRU INTERNÍCH A EXTERNÍCH ČINNOSTÍ



Graf 9 - Poměr interních a externích činností - po optimalizaci [vlastní tvorba]

Graf č. 10 znázorňuje procentuální rozložení jednotlivých činností přestavby po optimalizaci. Je možné z něj vyčíst, že i po zkrácení má činnost Měření výrobku na 3D výrazně největší podíl na celkové době trvání přestavby (16 minut a 30 sekund), do budoucna by mohlo být vhodné se touto kontrolou zabývat a dále ji optimalizovat. Další činnosti mají podobné podíly na celkovém čase přestavby.



Graf 10 - Procentuální zastoupení jednotlivých činností - po optimalizaci [vlastní tvorba]

## 6.2 Shrnutí vyhodnocení přestavby po optimalizaci

Přestavba linky 02-087 po zavedení navržených optimalizací včetně externích příprav trvala 53 minut a 30 sekund. Potřebná doba na zastavení linky, tedy čas, který zabraly interní činnosti, dělá 48 minut a 30 sekund.

Došlo k úplné eliminaci plýtvání zaznamenaného v první přestavbě. Další výrazné zkrácení bylo zaznamenáno v podobě přesunu příprav před zastavením linky a vykonání některých činností během čekání na kontrolní měření. Ke zkrácení celkové doby trvání také přispěla optimalizace některých interních činností, jako je výroba kontrolního napínáku a kontrolní měření napínáku. Na rozdíl od první měřené přestavby nyní nebylo nutné provádět kalibraci stroje. Oproti přestavbě za současného stavu došlo také ke zkrácení činností Nastavování programu/seřizování a Uvolňování. V případě uvolňování to je pravděpodobně dáno tím, že při první sledované přestavbě pracovník údržby věděl, že stále čeká na materiál, a proto činnost mohl vykonávat pomaleji. V případě Nastavování programu/ seřizování pravděpodobně v průběhu první sledované přestavby došlo k výjimečnému seřízení některé z výrobních stanic, které během druhé sledované přestavby nebylo potřeba.

První přestavba trvala 3 hodin a 19 minut. Pokud bude odmyšlena kalibrace, která při druhé přestavbě nebyla potřeba provést, přestavba by trvala 3 hodiny a 4 minuty. Na zastavení linky v případě přestavby po optimalizaci bylo potřeba 48 minut a 30 sekund. Došlo ke zkrácení o 2 hodiny 15 minut a 30 sekund tedy o téměř 74 %. Pokud by v kapitole 5 Návrhy zlepšení byla také odmyšlena kalibrace stroje, bylo by dosaženo teoretického zkrácení přestavby o 65 %. Ve skutečnosti bylo dosaženo ještě o 9 % většího zkrácení, než bylo předpokládáno. K tomu přispělo zkrácení činností Nastavování programu/seřizování a Uvolňování (vysvětlení viz výše) a velký podíl na této skutečnosti má také výrazně kratší kontrolní měření oproti předpokladu. Pro zajištění stejných výsledků při přestavbě i v budoucnu byl vytvořen standard přestavby, viz příloha č. 5.



## 7. Vyhodnocení

V této kapitole je provedeno vyhodnocení optimalizace přestaveb montážní linky 02-087 pro montáž systémů napínání řemene DAT. Aplikací metody SMED došlo ke zkrácení doby přestavby linky a tím k ušetření času, který je možné využít pro výrobu většího počtu kusů.

Nejprve je nutné zjistit a stanovit potřebné hodnoty pro prvotní výpočty. Prvotní analýzy byly provedeny pro období od 1. 1. 2019 do 31. 10. 2019. To je celkem 210 pracovních dnů. Následující výpočty jsou vztaženy k tomuto období. Za toto sledované období bylo provedeno 54 přestaveb. Plánované prostoje na lince se skládají ze tří krátkých přestávek po 10 minutách, jedné delší 30 minutové přestávky a 10 minut úklidu na konci směny. Dohromady se jedná o 70 minut plánovaných prostoje. Dále se počítá ještě s neplánovanými prostoji (5 % z reálně využívaného času směny). Jedná se o třisměnný provoz, jedna směna tedy má 8 hodin (480 minut). Původní doba trvání přestavby po odmyšlení kalibrace jednoho ze strojů, která není běžně potřeba, je 184 minut. Doba potřebná na zastavení linky z důvodu přestavby po aplikaci metody SMED je 48,5 minuty. Cyklový čas na výrobu jednoho napínáku je 45,5 s.

Tabulka 5 - Známé hodnoty pro výpočty

Veličina	Zkratka	Hodnota
Počet pracovních dnů za sledované období	-	210 dnů
Počet pracovních dnů za rok 2019	-	251 dnů
Počet směn	-	3 směny/ den
Počet přestaveb	-	54 přestaveb
Čas směny	T	480 min
Plánované prostoje	$T_{pp}$	70 min
Neplánované prostoje	$T_{np}$	5 % z reálně využívaného času
Souč. stav přestavby	$T_{přsouč}$	184 min
Přestavba po optimalizaci	$T_{přopt}$	48,5 min
Čas cyklu	CT	45,5 s

### 7.1 Výpočet využitelného časového fondu linky

Pro výpočet využitelného časového fondu linky je vycházeno z nominálního časového fondu a plánovaných a neplánovaných prostoje.

**Nominální časový fond linky:**

$$T_{fn} = 210 * 3 * 8 * 60 = 302\,400 \text{ min} \quad (7.1)$$

**Plánované prostoje celkem:**

$$T_{ppc} = 210 * 3 * 70 = 44\,100 \text{ min} \quad (7.2)$$

### Využitelný časový fond výrobní linky:

$$T_{fv} = (T_{fn} - T_{ppc}) - T_{np} = (302\,400 - 44\,100) - 5\% = 245\,385 \text{ min} \quad (7.3)$$

### Koeficient směnového času:

$$k_c = \frac{T}{T - T_{pp}} = \frac{480}{480 - 70} = 1,17 \quad (7.4)$$

## 7.2 Doba chodu linky

Současný stav počítá se současnou dobou přestavby  $T_{souč}$ , která je odečtena od využitelného časového fondu linky. Tím je získán celkový čas chodu linky za současného stavu.

### Čas přestavby současného stav:

$$T_{c_{souč}} = T_{př_{souč}} * k_c = 184 * 1,17 = 215,28 \text{ min} \quad (7.5)$$

### Celkový čas přestaveb za sledované období současného stav:

$$T_{c_{souč}}^{celk} = \text{počet přestaveb} * T_{c_{souč}} = 54 * 215,28 = 11\,625,12 \text{ min} \quad (7.6)$$

### Čas chodu linky současného stav:

$$T_{ch_{souč}} = T_{fv} - T_{c_{souč}}^{celk} = 245\,385 - 11\,625,12 = 233\,759,88 \text{ min} \quad (7.7)$$

Nový stav po optimalizaci počítá s dobou přestavby po aplikaci metody SMED  $T_{opt}$ , která je odečtena od využitelného časového fondu linky. Tím je získán celkový čas chodu linky po zavedení optimalizace.

### Čas přestavby stav po optimalizaci:

$$T_{c_{opt}} = T_{př_{opt}} * k_c = 48,5 * 1,17 = 56,75 \text{ min} \quad (7.8)$$

### Celkový čas přestaveb za sledované období stav po optimalizaci:

$$T_{c_{opt}}^{celk} = \text{počet přestaveb} * T_{c_{opt}} = 54 * 56,75 = 3\,064,5 \text{ min} \quad (7.9)$$

### Čas chodu linky po optimalizaci:

$$T_{ch_{opt}} = T_{fv} - T_{c_{opt}}^{celk} = 245\,385 - 3\,064,5 = 242\,320,5 \text{ min} \quad (7.10)$$

## 7.3 Uspořené čas

Celkový uspořené čas za sledované období se vypočítá jako rozdíl doby chodu linky po optimalizaci a doby chodu linky za současného stavu. Přepočtení uspořené času na směnu je proveden dvěma způsoby. Vydělením celkové časové úspory počtem směn ve sledovaném období nebo rozdílem doby trvání přestavby před a po optimalizaci po přepočtu na jednu směnu.

### Celkový uspořené čas za sledované období:

$$T_{uspo} = T_{ch_{opt}} - T_{ch_{původ}} = 242\,320,5 - 233\,759,88 = 8\,560,62 \text{ min} \quad (7.11)$$

### Počet směn za sledované období:

$$P_s = 210 * 3 = 630 \text{ směn} \quad (7.12)$$

#### Doba přestavby na směnu současný stav:

$$T_{pr_{souč}}^{směna} = \frac{T_{c_{souč}}^{celk}}{P_S} = \frac{11\,625,12}{630} = 18,5 \text{ min} \quad (7.13)$$

#### Doba přestavby na směnu po optimalizaci:

$$T_{pr_{opt}}^{směna} = \frac{T_{c_{opt}}^{celk}}{P_S} = \frac{3\,064,5}{630} = 4,9 \text{ min} \quad (7.14)$$

#### Uspořené čas na směnu:

$$T_{uspo}^{směna} = \frac{T_{uspo}}{P_S} = T_{pr_{souč}}^{směna} - T_{pr_{opt}}^{směna} = \frac{8\,560,62}{630} = 18,5 - 4,9 \cong 13,6 \text{ min} \quad (7.15)$$

### 7.4 Navýšení kapacity

Pro výpočet kapacity současného a nového stavu bude vycházeno ze směnového času ( $T = 480$  min), od kterého budou odečteny plánované ( $T_{pp} = 70$  min) a neplánované prostoje ( $T_{np} = 5\%$  skutečně využitého času směny) a následně také doba přestavby přepočtená na jednu směnu. Tento čas bude vydělený časem cyklu ( $CT = 45,5$  s), a tím bude získána kapacita linky na jednu směnu.

#### Kapacita na směnu současný stav:

$$Q_{S_{souč}} = \frac{(T - T_{pp} - T_{np} - T_{pr_{souč}}^{směna})}{CT} = \frac{(480 - 70 - (410 * 0,05) - 18,5) * 60}{45,5} \cong 490 \text{ ks} \quad (7.17)$$

#### Kapacita na směnu stav po optimalizaci:

$$Q_{S_{opt}} = \frac{(T - T_{pp} - T_{np} - T_{pr_{opt}}^{směna})}{CT} = \frac{(480 - 70 - (410 * 0,05) - 4,9) * 60}{45,5} \cong 508 \text{ ks} \quad (7.18)$$

#### Navýšení kapacity:

$$QI = \frac{Q_{S_{opt}}}{Q_{S_{souč}}} = \frac{508}{490} \cong 1,037 \quad (7.19)$$

### 7.5 Navýšení objemu vyrobených kusů za rok

Výpočet, o kolik kusů více je možné vyrobit za rok, vychází z počtu pracovních dní v celém kalendářním roce, počtu směn za pracovní den a navýšení počtu vyrobených kusů za směnu.

#### Navýšení objemu vyrobených kusů za směnu:

$$\Delta Q_{směna} = Q_{S_{opt}} - Q_{S_{souč}} = 508 - 490 = 18 \text{ ks} \quad (7.20)$$

#### Navýšení objemu vyrobených kusů za rok:

$$\Delta Q_{rok} = \Delta Q_{směna} * \text{počet prac. dní/rok} * \text{směny/den} = 18 * 251 * 3 = 13\,554 \text{ ks/rok} \quad (7.21)$$

## 7.6 Shrnutí vyhodnocení

Optimalizací přestaveb za pomoci implementace metody SMED dojde za sledované časové období 210 dní k celkové časové úspoře 8 560 minut. To znamená úsporu 13,6 minuty na směnu. Za směnu je tak možné vyrobit 508 ks namísto původních 490 ks, tedy o 18 ks více. Došlo k navýšení kapacity montážní linky o 3,7 %. Za rok je tedy možné vyrobit o 13 554 ks více než před optimalizací přestaveb dané linky. Lze předpokládat, že o stejné procento dojde k navýšení profitu zkoumané linky.

## Závěr

Hlavním cílem této diplomové práce bylo zvýšení efektivity přestaveb výrobní linky, tedy zkrácení doby trvání těchto přestaveb. Pro naplnění tohoto cíle byla implementována metoda SMED používaná právě pro tyto účely.

Tato diplomová práce byla rozdělena na tři části. V první části je představen zadavatel tématu společnost Mubea s.r.o. Druhá část je část teoretická a popisuje pojem štíhlá výroba a některé metody a nástroje používané pro její dosažení. Třetí část je praktická.

V praktické části byla provedena analýza výrobní haly s následným výběrem výrobní linky, na kterou byly zaměřeny další analýzy. Z více než padesáti linek byla vybrána linka s číslem 02-087 především na základě nejvyššího celkového času všech přestaveb ve sledovaném období. Jedná se o montážní linku dvouramenných napínáků. Pro tuto linku byla implementována metoda SMED. Nejprve byla provedena analýza současného stavu přestavby dané linky. Přestavba linky před optimalizací trvala (po odmyšlení ne vždy potřebné kalibrace) 3 hodiny a 4 minuty. Z této doby byla zaznamenána asi polovina činností, které byly označeny jako plýtvání. Druhou polovinu měřeného času tvořily interní činnosti. Největší podíl na ztrátových časech mělo čekání na materiál, konkrétně se jednalo o 1 hodinu a 5 minut. Dalším krokem bylo navržení zlepšujících opatření se snahou o úplnou eliminaci ztrátových činností, o převedení některých interních činností na externí, o optimalizaci interních činností tak, aby trvaly kratší dobu nebo byly prováděny paralelně s jinými. Následovala analýza přestavby po zavedení zlepšujících opatření. Přestavba po optimalizaci se skládala z 91 % interních činností a 9 % externích činností. Doba potřebná na zastavení linky byla 48 minut a 30 sekund. Došlo tedy ke zkrácení času přestavby o 2 hodiny 15 minut a 30 sekund. Posledním krokem bylo vyhodnocení. Za sledované období 210 dnů došlo k úspoře 8560 minut, což na jednu směnu dělá 13,6 minuty, přičemž došlo k navýšení kapacity o 3,7 %. Za rok je tak možné vyrobit o 13 554 kusů více než před optimalizací přestaveb dané linky. Navýšení výrobní kapacity o 3,7% tedy znamená stejné navýšení počtu vyrobených kusů, případně o stejné procento snížení lidských zdrojů, tedy ušetření nákladů na lidské zdroje. Lze předpokládat, že dojde k navýšení profitu dané linky o 3,7 %.

## Citovaná literatura

- [1] Mubea. [Online] [Citace: 15. 11 2019.] <https://www.mubea.com/cz/home/>.
- [2] Práce Mubea. [Online] [Citace: 15. 11 2019.] <https://www.pracemubea.cz/>.
- [3] *Interní dokumenty Mubea*. Žebrák : Mubea.
- [4] Grach, Luboš. *Stanovení tribologických vlastností třecího uložení*. Praha, Diplomová práce : ČVUT, Fakulta strojní, Ústav strojírenské technologie, 2018. Vedoucí práce doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc..
- [5] BusinessDictionary. [Online] [Citace: 23. 11 2019.] <http://www.businessdictionary.com/definition/manufacturing.html>.
- [6] Academy of Productivity and Innovations. [Online] [Citace: 23. 11 2019.] <https://www.e-api.cz/25786n-stihla-vyroba-pouzivane-metody-a-nastroje>.
- [7] Košturiak, Ján a Frolík, Zbyněk. *Štíhlý a inovativní podnik*. Praha : Alfa Publishing, , 2006. ISBN 80-86851-38-9.
- [8] Mudamasters. [Online] 12. 8 2013. [Citace: 15. 11 2019.] <https://www.mudamasters.com/en/lean-production-theory/toyota-3m-model-muda-mura-muri>.
- [9] Liker, Jeffrey K. *Tak to dělá Toyota: 14 zásad řízení největšího světového výrobce*. Praha : Management Press, 2010. ISBN 978-80-7261-173-7.
- [10] LeanGuru. [Online] [Citace: 23. 11 2019.] <http://leanguru.pro/graphic-7-types-of-waste-in-manufacturing/>.
- [11] Lean-Fabrika. [Online] [Citace: 23. 11 2020.] [http://www.lean-fabrika.cz/terminologie/kaizen#.XdrBA\\_IKhPY](http://www.lean-fabrika.cz/terminologie/kaizen#.XdrBA_IKhPY).
- [12] Kozel, Petr. Přednášky předmětu KPV/MPI. *Keizen*. Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, FST, KPV, 2018.
- [13] Kanbanize. [Online] [Citace: 22. 11 2019.] <https://kanbanize.com/lean-management/improvement/what-is-pdca-cycle/>.
- [14] Bureš, Marek. Přednášky předmětu KPV/ŘOP. *Normování práce*. Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, FST, KPV, 2019.
- [15] APOS CONSULTING. *Spaghetti diagram*. [Online] [Citace: 24. 11 2019.] <http://apos.sk/metody/stihla-vyroba-lean/spaghetti-diagram/>.
- [16] Kormanec, Peter. *SMED*. Žilina : IPA Slovakia, 2008.
- [17] Kozel, Petr. Přednášky předmětu KPV/MPI. *Single Minute Exchange of Die*. Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, FST, KPV, 2019.

## **Seznam příloh**

Příloha č. 1 – Kusovník DAT 001

Příloha č. 2 – Montážní postup

Příloha č. 3 – Analýza současného stavu přestavby linky 02-087

Příloha č. 4 – Analýza přestavby linky 02-087 po optimalizaci

Příloha č. 5 – Standard přestavby linky 02-087

## **PŘÍLOHA č. 1**

### **Kusovník DAT 001**



<b>DAT 001</b>					
<b>Číslo</b>	<b>Díl</b>	<b>KS</b>	<b>Číslo dílu</b>	<b>Číslo výkresu</b>	<b>Hmotnost [g]</b>
	Kompletní napínák	1	000	DRAWING_000	1301,60
1	HOUSING Tělo napínáku	1	001	DRAWING_001	246,00
2	LEVER ARM 1 Napínací rameno 1	1	002	DRAWING_002	300,00
3	LEVER ARM 2 Napínací rameno 2	1	003	DRAWING_003	256,00
4	AXIAL SAFETY ELEMENT Axiální pojistka	1	004	DRAWING_004	31,00
5	SPRING Pružina	1	005	DRAWING_005	132,00
6	CLAMPING SLEEVE 1 Upínací objímka 1	1	006	DRAWING_006	16,00
7	CLAMPING SLEEVE 2 Upínací objímka 2	1	007	DRAWING_007	30,00
8	SPACER 1 Vymezovací prvek 1	1	008	DRAWING_008	12,00
9	SPACER 2 Vymezovací prvek 2	1	009	DRAWING_009	2,60
10	PULLEY Kladka	2	010	DRAWING_010	94,00
11	FLAT ROUNDHEAD SCREW Šroub s kulatou hlavou	1	011	DRAWING_011	17,00
12	HEXAGON SCREW Šroub se šestihranou hlavou	1	012	DRAWING_012	43,00
13	COVER DISC TOP Krytka horní	1	013	DRAWING_013	7,00
14	COVER DISC BOTTOM Krytka spodní	2	014	DRAWING_014	6,00
15	DUST COVER Prachovka	1	015	DRAWING_015	4,00
16	MOUNTING PIN Montážní kolík	1	016	DRAWING_016	5,00

## **PŘÍLOHA č. 2**

### **Montážní postup**

MUBEA		PRACOVNÍ POSTUP			
ŽEBRÁK / LINKA / DAT / MONTÁŽ				Číslo / index - datum	
				001 / 29.11.2019	
Číslo:	001	Výkresové číslo:	DRAWING_000		
Zákazník:	XYZ	Název / Materiál:	DAT	Invent. číslo stroje:	02-083
Symbol	Krok	Vysvětlení (JAK) (Zkouška: kdo? Kolik? Jak často? S čím? Dokumentace?)		Opatření při chybách, případně vysvětlení	
<b>Montáž</b>					
POZICE 1					
	01	Založit díl Vymezovací prvek 2 orientovaně do zakládacího přípravku			
	02	Založit díl Upínací objímka 2 orientovaně do zakládacího přípravku			
	03	Založit díl Napínací rameno 2 do zakládacího přípravku			
	04	Oběma rukama stisknout a podržet startovací tlačítka dokud stroj nezalisuje díl Upínací objímku 2 do Vymezovacího prvku 2 a do Napínací rameno 2			
	05	Vyjmout Podsestavu 1 z přípravku. OK Podsestavu 1 odložit na odkládací plochu		NOK Podsestavu 1 odložit do KLT pro zmetky	
POZICE 2					
	06	Založit díl Tělo napínáku orientovaně do zakládacího přípravku			
	07	Založit díl Napínací rameno 1 orientovaně do zakládacího přípravku			
	08	Založit díl Pružina do dílu Napínací rameno 1			
	09	Přichytit Podsestavu 1 k dílu Pružina a dotlačit k dílu Napínací rameno 1			
	10	Založit díl Axiální pojistka do dílu Tělo napínáku			
	11	Vyjmout Podsestavu 2 z přípravku. OK Podsestavu 2 odložit na odkládací plochu		NOK Podsestavu 2 odložit do KLT pro zmetky	
POZICE 3					
	12	Založit Podsestavu 2 orientovaně do zakládacího přípravku			
	13	Oběma rukama stisknout a podržet startovací tlačítka dokud stroj nedokončí operaci			
	14	Vyjmout Podsestavu 2 z přípravku. OK Podsestavu 2 odložit na odkládací plochu		NOK Podsestavu 2 odložit do KLT pro zmetky	
POZICE 4					
	15	Založit Podsestavu 2 do zakládacího přípravku a pootočit do správné polohy			
	16	Spustit stroj tlačítkem Automatik start			

	17	Založit díl Montážní kolík a opět spustit stroj tlačítkem Automatík start	
	18	Vyjmout Podsestavu 3 z přípravku. OK Podsestavu 3 odložit na odkládací plochu	NOK Podsestavu 3 odložit do KLT pro zmetky
		POZICE 5	
	19	Založit díl Vymezovací prvek 1 orientovaně do zakládacího přípravku	
	20	Založit Podsestavu 3 do zakládacího přípravku	
	21	Založit díl Upínací objímka 1 do Podsestavu 3	
	22	Oběma rukama stisknout a podržet startovací tlačítka dokud stroj nedokončí operaci	
	23	Vyjmout Podsestavu 4 z přípravku. OK Podsestavu 4 odložit na odkládací plochu	NOK Podsestavu 4 odložit do KLT pro zmetky
		POZICE 6	
	24	Založit Podsestavu 4 do zakládacího přípravku	
	25	Založit díl Krytka spodní (2x) do zakládacího přípravku	
	26	Založit díl Kladka (2x)	
	27	Založit díl Krytka horní do dílu Kladka vlevo	
	28	Založit díl Šroub s kulatou hlavou do dílu Kladka vpravo a díl Šroub se šestihrannou hlavou do dílu Kladka vlevo	
	29	Spustit stroj tlačítkem Automatík start	
	30	Po dojetí stroje nacvaknout díl Prachovka (plastová) na díl Kladka vpravo	
	31	Vyjmout kompletní díl z přípravku. OK kompletní díl odložit na odkládací plochu	NOK kompletní díl odložit do KLT pro zmetky
		POZICE 7	
	32	Založit kompletní díl do zakládacího přípravku	
	33	Spustit stroj tlačítkem Automatík start	
	34	Stroj otevře díl, vyjmout díl Montážní kolík	
	35	Opět spustit stroj tlačítkem Automatík start	
	36	Po změření dílu vložit díl Montážní kolík	
	37	Opět spustit stroj tlačítkem Automatík start	
	38	Vyjmout kompletní díl z přípravku. OK kompletní díl odložit na odkládací plochu	NOK kompletní díl odložit do KLT pro zmetky
		POZICE 8	
	38	Založit a upnout rychloupínkami kompletní díl do zakládacího přípravku	
	39	Spustit stroj tlačítkem Automatík start	
	40	Přilepit vytisknutou etiketu a naskenovat skenerem	
	41	Vyjmout hotový kompletní díl. OK kompletní díl odložit na odkládací plochu	NOK kompletní díl odložit do KLT pro zmetky
Vypracoval:	Vildman	dne: 30. 11. 2019	
Zkontroloval:	Trejbalová	dne: 30. 11. 2019	

## **PŘÍLOHA č. 3**

### **Analýza současného stavu přestavby linky 02-087**

Pořadí	Čas konec	Doba trvání	Č.	Činnost
0	6:11:00			Zahájení přestavby
1	6:12:30	0:01:30	8	Čištění nástrojů na strojích
2	6:12:50	0:00:20	6	Nastavování programu/seřizování
3	6:13:00	0:00:10	8	Čištění nástrojů na strojích
4	6:13:10	0:00:10	6	Nastavování programu/seřizování
5	6:14:00	0:00:50	8	Čištění nástrojů na strojích
6	6:14:10	0:00:10	9	Zkouška stroje
7	6:16:20	0:02:10	5	Chůze pro nářadí/přípravky
8	6:16:50	0:00:30	1	Demontáž přípravku
9	6:17:10	0:00:20	8	Čištění nástrojů na strojích
10	6:17:30	0:00:20	2	Montáž přípravku
11	6:20:30	0:03:00	4	Šroubování
12	6:20:50	0:00:20	6	Nastavování programu/seřizování
13	6:21:20	0:00:30	16	Jiná činnost
14	6:21:50	0:00:30	6	Nastavování programu/ seřizování
15	6:27:50	0:06:00	17	Hledání (přípravků, nářadí)
16	6:28:40	0:00:50	3	Příprava/úklid přípravku
17	6:29:20	0:00:40	4	Šroubování
18	6:29:40	0:00:20	1	Demontáž přípravku
19	6:30:30	0:00:50	2	Montáž přípravku
20	6:31:10	0:00:40	4	Šroubování
21	6:31:40	0:00:30	6	Nastavování programu/seřizování
22	6:33:10	0:01:30	9	Zkouška stroje
23	6:33:40	0:00:30	1	Demontáž přípravku
24	6:34:30	0:00:50	2	Montáž přípravku
25	6:36:00	0:01:30	3	Příprava /úklid přípravku
26	6:36:50	0:00:50	1	Demontáž přípravku
27	6:38:50	0:02:00	5	Chůze pro nářadí/přípravky
28	6:39:50	0:01:00	1	Demontáž přípravku
29	6:41:00	0:01:10	2	Montáž přípravku
30	6:41:30	0:00:30	6	Nastavování programu/seřizování
31	6:42:20	0:00:50	4	Šroubování
32	6:42:30	0:00:10	1	Demontáž přípravku
33	6:42:50	0:00:20	2	Montáž přípravku
34	6:43:50	0:01:00	4	Šroubování
35	6:46:00	0:02:10	6	Nastavování programu/seřizování
36	6:52:00	0:06:00	10	Čekání na materiál
37	6:55:00	0:03:00	11	Kontrola/uvolňování
38	6:55:30	0:00:30	12	Hovor
39	6:57:20	0:01:50	11	Kontrola/uvolňování
40	07:00:00	0:02:40	10	Čekání na materiál
41	07:01:00	0:01:00	3	Příprava /úklid přípravku
42	07:04:10	0:03:10	5	Chůze pro nářadí/přípravky
43	07:04:50	0:00:40	10	Čekání na materiál

44		07:06:20	0:01:30	3	Příprava /úklid přípravku
45		07:19:00	0:12:40	10	Čekání na materiál
46		07:20:00	0:01:00	10	Čekání na materiál
47		08:02:00	0:42:00	10	Čekání na materiál
48		08:07:00	0:05:00	7	Kontrola materiálu
49		08:11:00	0:04:00	13	Výroba kontrolních kusů
50		08:11:40	0:00:40	5	Chůze pro nářadí/ přípravky
51		08:13:20	0:01:40	13	Výroba kontrolních kusů
52		08:14:00	0:00:40	5	Chůze pro nářadí/přípravky
53		08:14:30	0:00:30	13	Výroba kontrolních kusů
54		08:15:10	0:00:40	6	Nastavování programu/seřizování
55		08:15:40	0:00:30	13	Výroba kontrolních kusů
56		08:17:10	0:01:30	11	Kontrola/ uvolňování
57		08:19:00	0:01:50	13	Výroba kontrolních kusů
58		08:21:00	0:02:00	6	Nastavování programu/seřizování
59		08:22:00	0:01:00	14	Chyba při výrobě kontrolních kusů
60		08:23:00	0:01:00	13	Výroba kontrolních kusů
61		08:24:00	0:01:00	11	Kontrola/ uvolňování
62		08:25:00	0:01:00	13	Výroba kontrolních kusů
63		08:26:10	0:01:10	6	Nastavování programu/seřizování
64		08:28:10	0:02:00	13	Výroba kontrolních kusů
65		08:29:40	0:01:30	6	Nastavování programu/seřizování
66		08:30:00	0:00:20	14	Chyba při výrobě kontrolních kusů
67		08:32:00	0:02:00	5	Chůze pro nářadí/přípravky
68		08:47:00	0:15:00	18	Čekání na kalibraci stroje
69		08:49:30	0:02:30	13	Výroba kontrolních kusů
70		08:50:30	0:01:00	11	Kontrola/uvolňování
71		08:53:00	0:02:30	13	Výroba kontrolních kusů
72		09:30:00	0:37:00	15	Měření výrobků na 3D

## **PŘÍLOHA č. 4**

### **Analýza přestavby linky 02-087 po optimalizaci**



Pořadí	Čas konec	Doba trvání	Č.	Činnost
0	13:55:00			Zahájení přestavby
1	14:00:00	0:05:00	3	Příprava přípravku/pomůcek
2	14:01:00	0:01:00	1	Demontáž přípravku
3	14:02:30	0:01:30	2	Montáž přípravku
4	14:03:15	0:00:45	6	Nastavování programu/seřizování
5	14:03:55	0:00:40	1	Demontáž přípravku
6	14:05:00	0:01:05	2	Montáž přípravku
7	14:05:40	0:00:40	6	Nastavování programu/seřizování
8	14:06:40	0:01:00	4	Šroubování
9	14:07:00	0:00:20	1	Demontáž přípravku
10	14:07:10	0:00:10	2	Montáž přípravku
11	14:07:45	0:00:35	4	Šroubování
12	14:09:10	0:01:25	6	Nastavování programu/seřizování
13	14:09:20	0:00:10	9	Zkouška stroje
14	14:10:00	0:00:40	1	Demontáž přípravku
15	14:10:30	0:00:30	4	Šroubování
16	14:10:45	0:00:15	1	Demontáž přípravku
17	14:11:10	0:00:25	2	Montáž přípravku
18	14:11:30	0:00:20	4	Šroubování
19	14:12:20	0:00:50	2	Montáž přípravku
20	14:13:10	0:00:50	6	Nastavování programu/seřizování
21	14:13:40	0:00:30	1	Demontáž přípravku
22	14:15:20	0:01:40	4	Šroubování
23	14:15:50	0:00:30	2	Montáž přípravku
24	14:16:10	0:00:20	1	Demontáž přípravku
25	14:16:40	0:00:30	4	Šroubování
26	14:16:50	0:00:10	2	Montáž přípravku
27	14:17:30	0:00:40	4	Šroubování
28	14:17:40	0:00:10	2	Montáž přípravku
29	14:18:40	0:01:00	6	Nastavování programu/seřizování
30	14:21:30	0:02:50	11	Kontrola/ uvolňování
31	14:23:10	0:01:40	9	Zkouška stroje
32	14:25:00	0:01:50	11	Kontrola/ uvolňování
33	14:28:10	0:03:10	13	Výroba kontrolních kusů
34	14:28:50	0:00:40	6	Nastavování programu/seřizování
35	14:32:00	0:03:10	13	Výroba kontrolních kusů
36	14:35:20	0:03:20	15/8	Měření výrobků na 3D
37	14:41:00	0:05:40	15/5	Měření výrobků na 3D
38	14:48:30	0:07:30	15	Měření výrobků na 3D

## **PŘÍLOHA č. 5**

### **Standard přestavby linky 02-087**

MUBEA				PRACOVNÍ POSTUP	
ŽEBRÁK / BT / DAT / Standard přestavby					Číslo / index - datum
					001 / 20. 05. 2020
Číslo:	001	Číslo dokumentu	Standard 001	Invent. číslo stroje:	02-087
Z projektu	A	Na projekt:	B	Název / Materiál:	DAT
<b>Standard přestavby</b>					
Externí činnosti - příprava před zastavením linky					
	Objednání materiálu			Mistr (16 hodin před přestavbou)	
	Kontrola přítomnosti materiálu v meziskladě			Mistr (4 hodiny před přestavbou)	
	Příprava přípravků			Seřizovač (30 minut před přestavbou)	
	Příprava nástrojů			Seřizovač (10 minut před přestavbou)	
	Upozornění laboratoře na zahájení přestavby			Seřizovač (5 minut před přestavbou)	
	Příprava uvolňovacího listu			Seřizovač (3 minuty před přestavbou)	
Minuta	Zastavení linky - zahájení interních činností				Minuta
	Seřizovač - Demontáž přípravku AP1 - 1 min			Skladník - Odvoz zbylého materiálu z linky - 8 min	
	Seřizovač - Montáž přípravku AP1 - 1,5 min				
	Seřizovač - Nastavování programu/seřizování AP1 - 0,5 min				
	Seřizovač - Demontáž přípravku AP2 - 1 min				
5	Seřizovač - Montáž přípravku AP2 - 1,5 min				5
	Seřizovač - Nastavování programu/seřizování AP2 - 0,5 min				
	Seřizovač - Demontáž přípravku AP4 - 1,5 min				
	Seřizovač - Montáž přípravku AP4 - 1 min				
10	Seřizovač - Nastavování programu/seřizování AP4 - 2 min			10	
	Seřizovač - Zkouška stroje + nastavení programu AP5 - 0,5 min			Skladník - Závoz materiálu pro následující produkci - 12 min	
	Seřizovač - Demontáž AP6 - 1 min				
	Seřizovač - Montáž AP6 - 1 min				
	Seřizovač - Nastavování programu/seřizování AP6 - 1 min				
15	Seřizovač - Demontáž AP7.1 - 1,5 min				15
	Seřizovač - Montáž AP7.1 - 1,5 min				
	Seřizovač - Nastavování programu/seřizování AP7.1 - 1 min				
	Seřizovač - Demontáž AP7.2 - 1 min				
20	Seřizovač - Montáž AP7.2 - 1 min			20	
	Seřizovač - Nastavování programu/seřizování AP7.2 - 1 min				
	Seřizovač - Uvolnění linky 4,5 min				

25			25
30	Seřizovač - Výroba kontrolního kusu 6,5 min		30
35	Seřizovač - Čištění nástrojů na strojích - 5 min		35
40	Seřizovač - Úklid přípravků a pomůcek 7 min	Laboratoř - Měření kontrolního výrobku na 3D měřícím přístroji - 15 minut	40
45			45
		Laboratoř - Předání seřizovači výsledek měření - 1 min	
	Seřizovač - Uvolnění linky pro produkci - 0,5 min		
50	<b>Čas přestavby 48 minut a 30 sekund</b>		50