

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ  
FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV PROCESNÍ A ZPRACOVATELSKÉ TECHNIKY

**OPTIMALIZACE BALICÍ LINKY**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2015

Bc. Jakub Maršík

Vysoká škola: ČVUT v Praze  
Ústav: 12118

Fakulta: strojní  
Akademický rok: 2014/2015

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

*pro* **Bc. Jakub Maršík**

*program* N2301 Strojní inženýrství

*obor* 3909T012 Procesní technika

*název česky:*

**Optimalizace balicí linky**

*název anglicky:*

**Packing line optimization**

### *Zásady pro vypracování*

#### **Zadání:**

Popište výrobní technologie a základní výrobní procesy ve společnosti LEGO Production s.r.o. v divizi Balení elementů do sáčků. Proveďte podrobnou analýzu současného stavu vybraných výrobních linek DSPP (Double String PrePack Line). Porovnejte je mezi sebou. Zaměřte se na předem definované TOP produkty. Identifikujte kritická místa s dopadem na výkonnost výrobní linky. Na základě této analýzy navrhnete nápravná opatření. Zhodnoťte navrhané řešení a formulujte závěrečná doporučení na zlepšení výrobních linek ve společnosti LEGO Production s.r.o.

*Rozsah grafických prací:* dle potřeby

*Rozsah průvodní zprávy:* úvod, popis stávajícího stavu linek a řešených problémů, analýza současného řešení, návrh nápravných opatření, závěrečné shrnutí


*Seznam odborné literatury:* dle doporučení vedoucího práce a vlastní rešerše

*Vedoucí diplomové práce:* Ing. Jiří Moravec, Ph.D.


*Konzultant diplomové práce:* Ing. Aleš Sýkora, Engineering Manager – LEGO Production s.r.o.

*Datum zadání diplomové práce:* 1. dubna 2015

*Termín odevzdání diplomové práce:* 19. června 2015

  
prof. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D.  
vedoucí ústavu



  
prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
děkan fakulty

V Praze dne 1. dubna 2015

Neodevzdá-li student bakalářskou nebo diplomovou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské nebo diplomové práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat bakalářskou nebo diplomovou práci podruhé

*Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.*

Zadání diplomové práce převzal dne: 8. 4. 2015

  
Bc. Jakub Maršík

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem „Optimalizace balicí linky“ vypracoval samostatně pod vedením vedoucího a konzultantů diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Praze dne 18.6.2015

Bc. Jakub Maršík

Děkuji za odbornou pomoc vedoucímu diplomové práce Ing. Jiřímu Moravcovi, Ph.D., kterou mi poskytl při řešení mé diplomové práce. Děkuji všem zaměstnancům Ústavu procesní a zpracovatelské techniky a zaměstnancům LEGO Production s.r.o., především Ing. Aleši Sýkorovi a Lukáši Kolátorovi z LEGO Production s.r.o. za rady a ochotnou pomoc při vypracovávání této diplomové práce.

# Anotační list

<b>Jméno autora:</b>	Jakub
<b>Příjmení autora:</b>	Maršík
<b>Název práce česky:</b>	Optimalizace balicí linky
<b>Název práce anglicky:</b>	Packing line optimization
<b>Rozsah práce:</b>	počet stran: 65 počet obrázků: 37 počet tabulek: 22 počet příloh: 12
<b>Akademický rok:</b>	2014/2015
<b>Jazyk práce:</b>	český
<b>Ústav:</b>	Ústav procesní a zpracovatelské techniky (Ú12118)
<b>Studijní program:</b>	N2301 Strojní inženýrství
<b>Vedoucí práce:</b>	Ing. Jiří Moravec, Ph.D.
<b>Oponent:</b>	doc. Ing. Pavel Hoffman, CSc.
<b>Konzultant práce:</b>	Ing. Aleš Sýkora, Engineering Manager – LEGO Production s.r.o.
<b>Zadavatel:</b>	LEGO Production s.r.o.
<b>Anotace česky:</b>	Cílem diplomové práce je popis výrobní technologie a základních výrobních procesů ve společnosti LEGO Production s.r.o. v divizi "Balení elementů do sáčků" a její optimalizace z hlediska výkonu linky. Byla provedena analýza současného stavu vybraných výrobních linek DSPP (Double String PrePack Line), které mezi sebou byly následně porovnány. Testovány byly vybrané TOP produkty. Na základě této analýzy byla navržena nápravná opatření.

Závěrem byla tato opatření zhodnocena a formulována závěrečná doporučení na zlepšení výrobních linek ve společnosti LEGO Production s.r.o.

**Anotace anglicky:**

The aim of the diploma work is to describe production technology and production processes in LEGO Production s.r.o. in division of „Packing elements“ and its optimization in terms of packing lines performance. An analysis of the current status of selected DSPP lines (Double String PrePack Line) were performed and compared. The diploma work tests selected TOP products. Based on this analysis corrections for improvement of performance were proposed. Finally, the corrections were evaluated and final recommendations for improving of production packing lines were formulated.

**Klíčová slova:**

LEGO, optimalizace, prepack line, prepack, element, balení, linka, výkon

**Využití:**

Pro potřeby LEGO Production s.r.o.

## OBSAH

<b>1. ÚVOD A CÍL PRÁCE</b>	10
<b>2. TEORETICKÝ ÚVOD</b>	11
2.1 LEGO Group	11
2.2 Balení do sáčků	11
2.3 Balicí linky	12
2.3.1 Single String PrePack Line	13
2.3.2 Double String PrePack Line	13
2.3.3 Prepack 99	14
2.4 Proces balení	15
2.4.1 Element feeder a kruhový vibrační zásobník	15
2.4.2 Infračervená odpočítávací hlava a capcon hlava	17
2.4.3 Bubnová váha, trychtýře a tubusy	18
2.4.4 Balicí zařízení	20
2.4.5 P – box	20
2.5 Fólie	21
2.5.1 Parametry fólie	22
2.6 LEGO elementy	22
2.6.1 Materiál LEGO elementů	23
2.7 Metody vyhodnocení dat	24
2.7.1 Základní pojmy	24
2.7.2 Statistické charakteristiky	24
2.8 Úspora	26
<b>3. POPIS MĚŘENÍ</b>	27
3.1 Vybrané výrobní linky	27
3.2 Vybrané TOP produkty	28
3.3 Kritická místa balicího procesu	30
3.3.1 Element feeder	31
3.3.2 Kruhový vibrační zásobník	31



3.3.3	Dopravník před capcon hlavou	31
3.3.4	Capcon hlava	31
3.3.5	Klapky	32
3.3.6	Kazeta s elementy	32
3.3.7	Obraceč kazet	32
3.3.8	Klapky před bubnovou váhou	32
3.3.9	Bubnová váha	32
3.3.10	Trychtýř a tubus	33
3.3.11	Balicí zařízení	33
<b>4.</b>	<b>MĚŘENÍ</b>	<b>34</b>
4.1	Doba vážení	34
4.1.1	Ukázka zaznamenaných dat	36
4.2	Pozice trychtýře	37
4.3	Klapky nad bubnovou váhou	38
<b>5.</b>	<b>VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ</b>	<b>39</b>
5.1	Doba vážení	39
5.2	Pozice trychtýře	43
5.2.1	Linka DSPP 65B	43
5.2.2	Linka DSPP 62B	46
5.2.3	Závěrečné doporučení pozice váha – trychtýř	48
5.3	Celková doba balení – DSPP 60B vs. DSPP 62B	49
5.4	Uzavírání klapek	50
5.5	Úspora	52
5.5.1	Celkový výstup	52
5.5.2	Pozice trychtýře	53
5.5.3	Klapky	53
<b>6.</b>	<b>KONSTRUKČNÍ ÚPRAVA</b>	<b>54</b>
6.1	Stávající stav	55
6.1.1	Formátovací límec	56

<b>6.2</b>	<b>Návrh</b>	<b>57</b>
6.2.1	Základní rám	57
6.2.2	Trychtýř s tubusem	58
<b>6.3</b>	<b>Zhodnocení konstrukce</b>	<b>61</b>
<b>7.</b>	<b>ZÁVĚR</b>	<b>62</b>
	SEZNAM SYMBOLŮ	63
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A CITACE	64
	SEZNAM PŘÍLOH	65

## 1. ÚVOD A CÍL PRÁCE

Cílem této práce je optimalizace výrobní linky. Konkrétně se jedná o prepackové linky určené pro balení kostiček LEGO (elementů) do sáčků (*Obr. 1 – 1*). Byl proveden rozbor výrobních procesů a analýza technologie.

Prvotním úkolem je zmapování současného stavu balení elementů, tedy rozbor celého výrobního procesu na prepackové lince. Je zde popsána výrobní technologie a základní výrobní procesy v LEGO Production s.r.o. v divizi Balení elementů do sáčků. V rámci rozboru výrobního procesu jsou uvedeny informace o jednotlivých zařízeních, jejich principech, umístěních a samotném procesu v daném zařízení.

Práce se hlouběji zaměřuje na analýzu současného stavu výrobních linek DSPP (Double String PrePack Line). Na vybraných linkách byla prováděna měření s vybranými TOP produkty. Z analýzy a pozorování balicího procesu jsem identifikoval kritická místa s dopadem na výkonnost výrobních linek.

Další část diplomové práce se věnuje návrhu nápravných opatření a doporučení na základě předešlé analýzy. Je představeno řešení problému a jeho aplikace.

Závěrem je zhodnoceno navržené řešení a jsou formulována doporučení na zlepšení výroby na výrobních linkách.



*Obr. 1 – 1: PrePack Line [1]*

## 2. TEORETICKÝ ÚVOD

### 2.1 LEGO Group

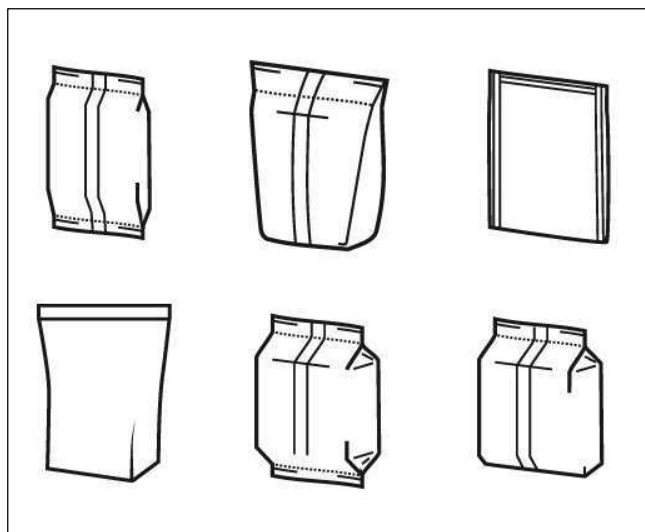
Společnost LEGO Group je rodinnou společností v soukromém vlastnictví se sídlem v Billundu (Dánsko). Byla založena roku 1932 Olem Kirkem Kristiansenem. LEGO® je jedním z největších výrobců hraček pro děti po celém světě. [2]

Výrobní závody LEGO Group jsou rozmístěny tak, aby pokryly svou výrobou všechny světové trhy. Závody se nacházejí v Dánsku, Mexiku, Maďarsku, České republice a nově vznikají také v Číně.

Výrobní haly pro zastoupení České republiky jsou umístěny v Kladně. Probíhá zde především balení LEGO® kostiček, montáž a dekorace LEGO minifigurek a výroba modelů pro marketingové účely po celém světě. Výroba a lisování LEGO® kostiček pro kladenský závod probíhá v Dánsku.

### 2.2 Balení do sáčků

Balení do sáčků je balení s vysokou mírou ochrany produktu před působením nežádoucích vnějších vlivů. Jedná se o dnes velmi rozšířený zpracovatelský proces. Využívá se nejčastěji v potravinářském průmyslu, ale i v mnoha dalších odvětvích spotřebního průmyslu. Samotné balení materiálu do sáčku je rychlým plynulým procesem, kdy některé kontinuální stroje dokážou vyrobit až 300 sáčků za minutu. Sáčky jsou tvořeny z odvíjející se fólie, která je vedena přes formátovací límec a následně svařena, či jinak uzavírána. Existuje mnoho různých typů sáčků (*Obr. 2 – 1*), které jsou uzavírané odlišnými způsoby a jsou vhodné pro různé materiály. V našem případě se bude jednat o sáčky plněné elementy LEGO, dále jen „prepack“, které jsou tvořeny dvěma svary příčnými a jedním svarem podélným. Materiál fólie je polypropylen. Fólie, do které jsou elementy LEGO baleny, má různě tloušťky a je k dispozici v několika rozměrových provedeních. Detailnější popis používané fólie je v kapitole 2.5.



*Obr. 2 – 1: Ukázka typů sáčků [3]*

## 2.3 Balicí linky

Pro balení elementů LEGO do sáčků je ve výrobní hale v divizi balení do sáčků využíváno prepackových linek. Jedná se o linky sestávající z několika zařízení, která nejdříve dávkuje jednotlivé elementy, dále jsou to zařízení, která dopravují kazetu s dávkou elementů a finálním zařízením je balicí zařízení, které vytvoří požadovaný prepack. Je využíváno několik typů těchto linek, které jsou níže uvedeny. Linky jsou odlišné například v typech dávkovacích zařízení, kdy některá zařízení jsou schopna dávkovat již zhotovené prepacky. Rozdíl může být také v počtu kruhových vibračních zásobníků a jejich velikosti.

### Typy prepackových linek a jejich zastoupení v provozu

- **Single String PrePack Line 18/0** – celkem 12 linek
- **Single String PrePack Line 10/8** – celkem 1 linka
- **Double String PrePack Line** – celkem 25 linek (2x s váhou Optima)
- **Prepack 99** – celkem 20 linek
- **Combi Line** – celkem 3 linky
- **Promotion Line** – celkem 2 linky

Z důvodu nejvyššího zastoupení linek Double String PrePack Line se v diplomové práci věnuji měření na linkách DSPP, konkrétně na několika vybraných linkách. Následně je uveden popis tří typů linek, které jsou v nejvyšším zastoupení.

### 2.3.1 Single String PrePack Line

Single String PrePack Line (*Obr. 2 – 2*) je základní prepacková linka, která je tvořena pouze jedním ramenem (string). Rameno je tvořeno 18 malými bubny o průměru 390 mm. Nejlehčí detekovatelné elementy na singlové lince mají hmotnost 200 mg. Výstupem linky jsou především menší prepacky o rozměrech 90 x 70 – 90 x 90 mm a 110 x 70 – 110 x 100 mm, které jsou často použity na dalších prepackových linkách a vkládány jako hotové prepacky do prepacku jiného. Vkládané prepacky obsahují ty nejmenší elementy, které nelze dávkovat s elementy většími, neboť kontrolní systém by nerozeznal případný chybějící malý element. Jmenovitá hodnota výstupu linky je 2400 ks prepacků/hod. K obsluze prepackových linek je využíváno operátorů, u singlové linky je využíváno pouze jednoho operátora.



*Obr. 2 – 2: Single String PrePack Line*

### 2.3.2 Double String PrePack Line

Double String PrePack Line (*Obr. 2 – 3*) je oproti Single String PrePack Line tvořena dvěma rameny. První rameno – „string 1“ lze poznat dle umístění dvou velkých kruhových vibračních zásobníků o průměru 615 mm na začátku a dvou velkých kruhových vibračních zásobníků na konci ramene, zatímco vedlejší rameno – „string 2“ je osazeno pouze malými zásobníky o průměru 390 mm. Obě ramena jsou svedena do hlavního ramene, které dále vede kazety s elementy na váhu a k finálnímu zhotovení požadovaného prepacku balicím zařízením. Jmenovitý výstup linky je 2400 ks prepacků/hod. Nejlehčí detekovatelné elementy na DSPP lince mají hmotnost 200 mg, tedy shodné jako u SSPP.



Díky vyššímu počtu kruhových vibračních zásobníků lze zpracovávat až 36 různých druhů elementů v jedné zakázce. Celkem 4 velké kruhové vibrační zásobníky umožní zpracovávat i větší a tvarově náročnější elementy. Součástí hlavního ramene Double String PrePack Line je také manuální stanice, kde jsou již zhotovené prepacky nebo nestandardní elementy vkládány ručně operátorem skrze dávkovací stůl do kazety. Skrze manuální stůl lze vkládat dva různé druhy elementů současně.



*Obr. 2 – 3: Double String PrePack Line*

### 2.3.3 Prepack 99

Linka Prepack 99 (*Obr. 2 – 4*) je technologicky nejmladší linkou v závodě. Jedná se o linku s jedním ramenem, která je rozdělena do více sekcí. Na lince je umístěno 6 průběžných vah. V každé sekci je zvážen přírůstek v kazetě, která je vybavena čipem pro identifikaci a přesnější kontrolu obsahu kazety. Díky rozdělení linky do několika sekcí, lze kontrolovat i řádově rozdílné hmotnosti elementů. Maximální výstup linky Prepack 99 je 2880 ks prepacků/hod. Nejlehčí detekovatelný element má váhu 370 mg. Linka je vybavena 8 velkými kruhovými vibračními zásobníky. Linka Prepack 99 je tedy především určena pro balení větších elementů LEGO. Součástí linky je i několik modulárních zařízení.

#### Modulární zařízení linky Prepack 99

- 1x Intelli Feed – dávkování hotových prepacků
- 4x Duplo – dávkování rozměrnějších elementů
- 2x manuální stůl – vkládání operátorem



*Obr. 2 – 4: Prepack 99*

## 2.4 Proces balení

V případě prepackových linek pro balení elementů LEGO se jedná o plynulý proces výroby. Průměrná výrobní norma pro prepackové linky je 2150 ks prepacků/hod. Proces balení začíná vsypáním elementů LEGO na element feeder a končí výstupem hotového prepacku do P – boxu. Samotný proces a popis jednotlivých zařízení bude uveden následovně. Plynulý tok kazet s elementy je ovlivněn mnoha faktory, které budou zmíněny v další kapitole.

### 2.4.1 Element feeder a kruhový vibrační zásobník

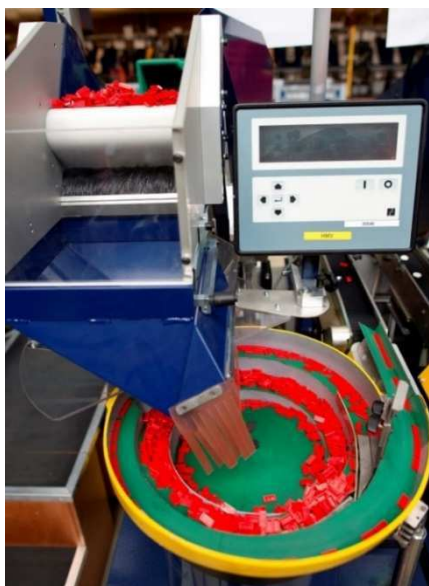
Samotný proces začíná vsypáním materiálu (elementy LEGO) na element feeder (*Obr. 2 – 5*), který dávkuje elementy dále do kruhového vibračního zásobníku. Tento zásobník je osazen sadou fotobuněk, které snímají množství elementů na dně bubnu. Lze nastavit 3 různé úrovně výšky snímání elementů: vysoká, střední a nízká. Pokud již nejsou snímány žádné elementy, dostane element feeder signál a vsype další dávku.





*Obr. 2 – 5: Element feeder s elementy [1]*

V kruhovém vibračním zásobníku (*Obr. 2 – 6*) jsou elementy za pomoci vibrační dopravovány po obvodové spirále. Lze nastavovat sílu vibrační, kde cílem je vytvoření souvislého toku elementů pokračujících na lineární dopravník. K úpravě toku elementů slouží škrabka a stavidlo, které ovlivňují tok elementů tak, aby se na navazující dopravník dávkovaly jednotlivě. Ideální mezera vytvořená správným nastavením pásového dopravníku mezi elementy, je 2 cm. Správné nastavení vibrační, nastavení výšky a úhlu škrabky, šířky stavidla v bubnu a rychlosti navazujícího dopravníku může ovlivnit plynulost procesů celé linky. Nastavení parametrů kruhového vibračního zásobníku a dopravníku provádí operátor před spuštěním zakázky.



*Obr. 2 – 6: Kruhový vibrační zásobník s elementy [1]*

## 2.4.2 Infračervená odpočítávací hlava a capcon hlava

Elementy přiváděné pásovým dopravníkem, procházejí přes infračervenou odpočítávací hlavu, která jednotlivé elementy snímá a počítá. Toto zařízení je součástí předchozích. Po průchodu capcon hlavou (*Obr. 2 – 7*) je vyhodnocena shoda obou kontrolních částí. Při správné dávce propadávají elementy do kazety umístěné na pásovém dopravníku vespod.

Capcon hlava generuje elektromagnetické pole, kterým musí jednotlivé elementy propadnout. Měřeny jsou změny v tomto poli. Capcon hlava rozeznává elementy a jejich počet dle nastavení před spuštěním každé zakázky. Pokud počet souhlasí s nastavenou hodnotou požadovaných elementů, prochází dávka skrze klapky do kazety. Do jedné kazety padají dávky ze dvou kruhových vibračních zásobníků. Právě za pomoci klapky jsou svedeny do jedné kazety. Klapky slouží také jako zásobník elementů pro plynulý tok elementů do kazet, tím pádem i pro plynulý tok na celé lince. Pokud capcon hlava vyhodnotí dávku za nesprávnou, odvedou klapky elementy do vyřazovacího zásobníku, z kterého jsou znovu manuálně přesypány na element feeder umístěný na začátku procesu.



*Obr. 2 – 7: Capcon hlavy*

### 2.4.3 Bubnová váha, trychtýře a tubusy

Kazeta s dávkou putuje dále po dopravníku k obraceči, kde je převrácena, a dávka elementů vsypána do bubnové váhy (*Obr. 2 – 8*), kde je zvážena. Pokud hmotnost dávky vyhovuje zadaným hodnotám s příslušnými tolerancemi, buben se otáčí a dávka padá samovolně dál skrze trychtýř s tubusem do fólie, následně je vytvořen požadovaný prepack. Pokud však hmotnost dávky nevyhovuje, otáčí se buben opačným směrem a dávka elementů padá do připravené kazety, která je následně dopravena k operátorovi, a je nutná manuální kontrola a oprava.



*Obr. 2 – 8: Bubnová váha*

Trychtýř s tubusem se umísťují přímo pod bubnovou váhu. Instalace probíhá před začátkem spuštění procesu balení dané zakázky. Trychtýře a rámy s tubusy mají různé barevné provedení a mají několik průměrů, volí se dle rozměrů požadovaného prepacku. Tubusy pro SSPP a DSPP jsou všechny kruhového tvaru (*Obr. 2 – 9*), avšak dva tubusy pro linku Prepack 99 mají tvar oválný (*Obr. 2 – 10*).

#### **Tubusy a trychtýře pro linky SSPP a DSPP**

- |                        |                    |                        |
|------------------------|--------------------|------------------------|
| • Žlutý držák (kruh)   | šířka fólie 195 mm | průměr tubusu 55,5 mm  |
| • Černý držák (kruh)   | šířka fólie 235 mm | průměr tubusu 68 mm    |
| • Modrý držák (kruh)   | šířka fólie 295 mm | průměr tubusu 87 mm    |
| • Šedý držák (kruh)    | šířka fólie 365 mm | průměr tubusu 107 mm   |
| • Červený držák (kruh) | šířka fólie 420 mm | průměr tubusu 124,5 mm |





*Obr. 2 – 9: Trychtýře s tubusy pro SSPP a DSPP*

### **Tubusy a trychtýře pro linku Prepack 99**

- Zelený držák (ovál)      šířka fólie 365 mm      průměr tubusu 116 mm
- Hnědý držák (ovál)      šířka fólie 420 mm      průměr tubusu 131 mm
- Růžový držák (kruh)      šířka fólie 480 mm      průměr tubusu 138 mm
- Červený držák (kruh)      šířka fólie 540 mm      průměr tubusu 165 mm



*Obr. 2 – 10: Trychtýře s tubusy pro linku Prepack 99*

#### 2.4.4 Balicí zařízení

Jedná se o jedno z nejdůležitějších zařízení v balicím procesu. Dochází zde k vytvoření finálního produktu. Kvalita výsledného produktu, tedy sáčku s elementy LEGO, může být ovlivněna mnoha faktory. Balicí proces začíná přivedením fólie přes formátovací límec a odtažením pomocí čelistí. Odtažením je vytvořen prázdný sáček o příslušné délce, kam samovolně propadávají elementy skrze trychtýř a tubus. Mezi čelistmi je také umístěn stříhací nůž, odřezávající jednotlivé prepacky, které poté padají dále na připojený dopravník. Balicí zařízení (*Obr. 2 – 11*) je vybaveno dvěma příčnými čelistmi, které svařují přiváděnou fólii příčným svarem. Podélným a dvěma příčnými svary je vytvořen prepack s elementy. Přesnost podélného svaru je před spuštěním zakázky kontrolována a přesně na střed nastavena operátorem. Operátor kontroluje i délku prepacku a pevnost svaru. Součástí prepacku jsou i malé průduchy ve svařené části fólie, které jsou vytvořeny při příčném svaření fólie. Průduchy slouží k vypuštění přebytečného vzduchu z prepacku a tím šetření místa při skladování v P – boxu.



*Obr. 2 – 11: Balicí zařízení*

#### 2.4.5 P – box

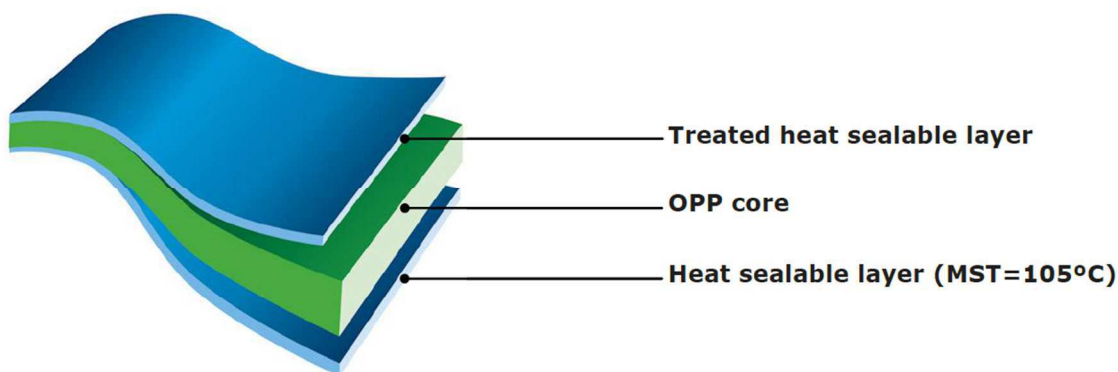
Zhotovený prepack pokračuje na dopravníku do P – boxu, kde je uskladněn. U linky Prepack 99 pokračuje k další váze, kde je převážen. Pokud hmotnost vyhovuje zadaným hodnotám a tolerancím, tak je odveden do P – boxu (*Obr. 2 – 12*). Pokud je však hmotnost prepacku mimo zadané rozmezí padá prepack do boxu pro následné překontrolování. P – box je finální box, ve kterém jsou jednotlivé prepacky uskladněny. P – boxy jsou dále převáženy k další linkám, do skladu a k finální kompletaci stavebnice.



*Obr. 2 – 12: P – boxy pro zhotovené prepacky*

## 2.5 Fólie

Pro balení elementů je využíváno polypropylenové fólie. Fólie je dodávána v různých rozměrech, které jsou uvedeny v tabulce 2 – 1. Samotná fólie se skládá ze tří vrstev (Obr. 2 – 13), kdy jedna strana fólie je upravena tak, aby bylo možné jí svařit a vytvořit tak požadovaný prepack s elementy. Svařitelná je i druhá strana fólie, která je speciálně upravena pro možnost potisku. Svařitelnost druhé strany fólie avšak není tak vysoká, z důvodu speciální úpravy pro potisk, ale pevnost svaření prepacku je dostatečná. Na prepacky s šířkou 365 mm a vyšší je nutno natisknout varovný text dle současných norem. Součástí potisku je také velké číslo uprostřed, které v uživatelském návodu pro sestavení LEGO stavebnice popisuje, ve kterém sáčku lze nalézt elementy potřebné pro vytvoření daného kusu stavebnice.



*Obr. 2 – 13: Jednotlivé vrstvy fólie [4]*



### 2.5.1 Parametry fólie

Sáčky s elementy LEGO jsou vyráběny v několika velikostech. Před spuštěním každé zakázky je instalována odpovídající fólie do balicího zařízení a k tomu také příslušný trychtýř s tubusem. V tabulce 2 – 1 jsou uvedeny rozměry fólie a její tloušťka. S rostoucí šířkou roste i tloušťka fólie, neboť do větších prepacků jsou baleny větší a těžší elementy, které by mohly tenkou fólii poškodit a znehodnotit tak prepack.

Šířka fólie [mm]	Tloušťka fólie [ $\mu\text{m}$ ]
125	25
235	40
365	40
420	40
480	40
540	48

*Tab. 2 – 1: Rozměry fólie*

### 2.6 LEGO elementy

Obsahem jednotlivých prepacků jsou LEGO elementy. V oběhu je zhruba 3 500 tvarů elementů, ze kterých jsou stavebnice tvořeny. Převážnou část tvoří plastové elementy a druhý nejčastěji se vyskytující element jsou gumové pneumatiky.

Jednotlivé prepacky mohou obsahovat elementy jen jednoho druhu nebo v něm mohou být obsaženy elementy všech typů. Složení dávky elementů LEGO, která prochází balicím procesem, může znatelně ovlivnit celkový proces balení. Může zde například docházet k zasekávání dlouhých elementů, odražení gumových a kulatých elementů nebo také k pomalejšímu propadu těch nejlehčích elementů.

## 2.6.1 Materiál LEGO elementů

Jednotlivé prepacky jsou plněny elementy LEGO. Největší zastoupení tvoří plastové elementy, které jsou vyráběny z několika druhů plastů. V následující tabulce 2 – 2 je uveden přehled typů materiálů, ze kterých jsou elementy vyskytující se v zakázkách vyráběny.

OZNAČENÍ	NÁZEV
ABS	Acrylonitrilebutadienstyrene
HV – ABS	High Viscous – ABS
POM	Polyoxymethylene
HV – POM	High Viscous – POM
PC	Polycarbonate
HV – PC	High Viscous – PC
PP – NB	Polypropylene – Non Break
PP – TR	Polypropylene – Transparent
HI – PA	High Impact – Polyamide
PE – HD	Polyethylene – High Density
PE – LD	Polyethylene – Low Density
MTPO	Metalocene – catalyzed thermoplastic polyolefin
SEBS 16	Styrene – ethylene/butylene – styrene 16
SEBS 40	Styrene – ethylene/butylene – styrene 40
SEBS 60	Styrene – ethylene/butylene – styrene 60
SEBS 78	Styrene – ethylene/butylene – styrene 78
SEBS 85	Styrene – ethylene/butylene – styrene 85
TPU 86	Thermoplastic polyurethane 86

*Tab. 2 – 2: Přehled materiálů*



## 2.7 Metody vyhodnocení dat

Při zpracování měřených dat bylo třeba vyhodnotit experimentálně získaná data z pohledu statistiky. Základní informace uvedené dále byly převzaty z [5].

### 2.7.1 Základní pojmy

**Statistická jednotka** – matematická statistika se zabývá metodami získávání, popisu a analýzy experimentálních údajů. Základním prvkem, na němž zkoumáme konkrétní projevy určitého hromadného náhodného jevu, je statistická jednotka.

**Statistický soubor** – je tvořen souhrnem statistických jednotek. Statistickým znakem rozumíme vyšetřovanou vlastnost statistických jednotek. Tyto znaky mohou být kvalitativní i kvantitativní (barva, rozměr, povolání, vzhled, chuť apod.). V našem případě se jedná o dobu vážení jednotlivých prepacků.

**Výběrový soubor** – jeho prostřednictvím zkoumáme soubor, pokud není možné z technických, organizačních nebo ekonomických důvodů možné provést úplné statistické zjišťování (vyšetřit všechny prvky souboru). Zjištěné závěry pak zobecňujeme na základní soubor, i když jen s omezenou spolehlivostí. V této práci byl výběrový soubor tvořen 50 vzorky TOP produktů, které byly využívány k opakovanému měření.

### 2.7.2 Statistické charakteristiky

Statistickými charakteristikami nazýváme veličiny, které podávají stručnou informaci o souboru základních dat. V rozsahu potřebném pro naše účely vystačíme s charakteristikami polohy a rozptýlení.

Nejdůležitější statistickou charakteristikou je aritmetický průměr  $\bar{x}$ . Je definován jako součet naměřených hodnot, dělený jejich počtem  $n$ :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i . \quad (2 - 1)$$

Aritmetický průměr má řadu vlastností, z nich nejdůležitější jsou:

- matematické vyjádření a stanovení aritmetického průměru je jednoduché a snadno použitelné pro odvození dalších důležitých vztahů;
- výpočet aritmetického průměru je založen na všech zjištěných hodnotách;
- součet odchylek jednotlivých hodnot od aritmetického průměru je vždy roven nule:

$$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) = \sum_{i=1}^n x_i - n\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i - n \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 0; \quad (2-2)$$

- součet čtverců odchylek jednotlivých hodnot od aritmetického průměru je menší než součet čtverců odchylek od jakékoliv jiné hodnoty  $a \neq \bar{x}$ :

$$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 < \sum_{i=1}^n (x_i - a)^2. \quad (2-3)$$

Statistické charakteristiky rozptýlení podávají informaci o tom, jak jsou jednotlivé pozorované hodnoty ve sledovaném souboru rozptýleny. Z této skupiny statistických charakteristik se nejvíce používá rozptylu  $s^2$  a směrodatné odchylky  $s$ , která je odmocninou rozptylu. Rozptyl je definován jako

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \quad (2-4)$$

protože

$$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 - n \cdot \bar{x}^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n}, \quad (2-5)$$

lze vztah upravit na tvar

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n-1}, \quad (2-6)$$

který usnadní výpočet rozptylu.

Další z charakteristik rozptýlení je tzv. populační parametr  $s_1^2$ , který je definován jako průměr čtverců odchylek od aritmetického průměru

$$s_1^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 . \quad (2 - 7)$$

Provedeme – li obdobnou úpravu, která vedla k rovnici (2 – 6), dostáváme

$$\begin{aligned} s^2 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 2x_i\bar{x} + \bar{x}^2) = \\ &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 - 2\bar{x} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i + \frac{1}{n} n\bar{x}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 - 2\bar{x}^2 + \bar{x}^2 , \end{aligned} \quad (2 - 8)$$

tedy:

$$s_1^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 - \bar{x}^2 . \quad (2 - 9)$$

## 2.8 Úspora

Cílem práce je optimalizace linek, která by měla vést k nárůstu výkonnosti linek, a tím zvýšení zisku firmy. Podklady pro ekonomické zhodnocení nemám k dispozici z důvodu ochrany dat společnosti LEGO Production s.r.o. Celková možná úspora po aplikaci navržených řešení bude uvedena z hlediska produktu, konkrétně nárůstu výroby v kusech.

Celkový rozdíl produkce po optimalizaci je dán vztahem:

$$\Delta V = V_O - V_S , \quad (2 - 10)$$

kde  $V_O$  je minutový výstup linky po optimalizaci v [ks/min] a  $V_S$  [ks/min] je stávající minutový výstup linky před aplikací změn.

### 3. POPIS MĚŘENÍ

Cílem měření prováděného na balicích linkách bylo nashromáždění dat z jednotlivých linek, ze kterých byla následně provedena podrobná analýza. Měření proběhla na vybraných linkách, konkrétně se jednalo o výrobní linky DSPP (Double String PrePack Line). Byl také pozorován celý výrobní proces od vysypání LEGO elementů na element feeder až po výstup hotového prepacku z balicího zařízení. Cílem pozorování bylo vytipování slabých míst ve výrobním procesu, tedy najít taková místa, které mohou znatelně ovlivnit produkci a kde dochází ke zpomalení či zastavení procesu balení.

Na jednotlivých linkách byly postupně baleny prepacky TOP produktů, jejichž plánovaná produkce je největší pro následujících 6 měsíců. Na každé z vybraných linek došlo k zabalení 5 odlišných druhů produktů a na závěr bylo provedeno měření bez elementů. Při měření bez elementů jsou kazety prázdné, avšak celý proces probíhá shodně, jako při plných kazetách. Rozdíl je jen v tom, že váha neváží žádné elementy.

V měření se zaměřuji na koncovou část procesu, především tedy vážení a vlivy ovlivňující proces vážení a vytváření finálního prepacku. Cílem je stanovit výkonnost linek, vzájemně je porovnat a následně najít místa, která způsobují ztráty jednotlivých linek a doporučit optimální nastavení.

#### 3.1 Vybrané výrobní linky

Pro měření byly vybrány linky DSPP (Double String PrePack Line). Na níže uvedených prepackových linkách proběhla měření a pozorování. Byly vybrány právě DSPP linky s ohledem na kvantitativní zastoupení v závodě. Na linkách byly vždy proměřeny všechny vybrané TOP produkty.

- Double String PrePack Line – 60B
- Double String PrePack Line – 62B
- Double String PrePack Line – 63B
- Double String PrePack Line – 65B
- Double String PrePack Line – 66B
- Double String PrePack Line – 68B

## 3.2 Vybrané TOP produkty

K měření a následné analýze bylo vybráno 5 druhů prepacků tak, aby byly zastoupeny všechny vyráběné velikosti. Jedná se o TOP produkty, tedy zakázky, které budou vyráběny nejčastěji. Jsou to konkrétně dva velké prepacky s rozměrem 200 x 180 mm, jeden střední prepack o rozměru 140 x 100 mm a dva malé prepacky s rozměrem 100 x 90 mm. Tyto prepacky byly vybrány nejen s ohledem na četnost jejich balení, ale také díky výskytu různých typů elementů, které obsahují. Ve velkých sáčcích se nacházejí především podlouhlé a široké elementy, které jsou dále různě lomené. Celkově zde převažují rozměrnější elementy, zatímco malé prepacky obsahují ty nejmenší a nejlehčí elementy.

### Označení testovaných prepacků:

- Prepack ID – 6104333 (200 x 180 mm)
- Prepack ID – 6103020 (200 x 180 mm)
- Prepack ID – 6107666 (140 x 100 mm)
- Prepack ID – 6070090 (100 x 90 mm)
- Prepack ID – 6115107 (100 x 90 mm)

Následně jsou zobrazeny jednotlivé prepacky, které byly porovnávány na linkách při testovacích měřeních. Je možné vidět samotný obsah prepacku, tedy jednotlivé elementy LEGO. Je vždy znázorněn obsah jednoho velkého prepacku (*Obr. 3 – 1*), jednoho středního prepacku (*Obr. 3 – 2*) a jednoho malého prepacku (*Obr. 3 – 3*). Jsou znázorněny jednotlivé elementy a je uveden jejich počet v prepacku.



Obr. 3 – 1: Velký prepack ID 6104333



Obr. 3 – 2: Střední prepack ID 6107666





Obr. 3 – 3: Malý prepack ID 6115107

### 3.3 Kritická místa balicího procesu

Celková analýza pro stanovení kritických míst byla provedena převážně na základě pozorování. Byl sledován celý proces od počátečního vysypání elementů na element feeder až po vytvoření finálního prepacku v balicím zařízení a následné uložení do P – boxu. V první řadě byl sledován tok jednotlivých elementů, tedy zařízení pro jejich dávkování a dopravu. Na počátku se jednalo například o zjišťování příčin nadměrného počtu kusů elementů ve vyřazovacích zásobnících za capcon hlavou a klapkami. Dále to byla již cesta samotné kazety s elementy až k bubnové váze, do které byly po převrácení kazety elementy vsypány. Jednotlivá místa jsou popsána v následujících kapitolách.

V průběhu samotného procesu balení elementů LEGO do sáčků lze narazit na několik slabých míst, kde dochází ke snížení výstupu. V průběhu pozorování, analýzy a zaznamenávání dat byla část těchto slabých míst nalezena. Následně jsou uvedena jednotlivá místa s posloupností celého procesu, tedy od vsypání elementů až po vytvoření nového prepacku. Jsou zde popsána možná kritická místa procesu. Časová náročnost a rozsah diplomové práce však nepokryla analýzu a řešení všech kritických míst, ale zabývala se jen vybranými místy. Tato vybraná místa byla sledována, byla provedena měření a také detailnější analýza.

### 3.3.1 Element feeder

Jedná se o místo, kde dochází k zasekávání elementů na příčkách, či vzpříčení mezi příčkami. Elementy jsou zde operátory vsypávány na dopravník, který je dávkuje na kruhový vibrační zásobník.

### 3.3.2 Kruhový vibrační zásobník

V kruhovém vibračním zásobníku může docházet k vyskakování elementů z bubnu po vsypání z element feederu. Dochází také ke spojení elementů. Součástí kruhového vibračního zásobníku je škrabka a stavidlo. Tyto součásti slouží k oddělení jednotlivých elementů a následnému dávkování na dopravník. Jejich nesprávné nastavení může vést k nepřesnému dávkování na pásový dopravník. Dalším problémem mohou být dlouhé elementy, které se špatně dopravují po obvodové spirále.

### 3.3.3 Dopravník před capcon hlavou

Jedná se o problém, kde hlavní příčinou je propad více elementů skrze capcon hlavu, která následně vyhodnotí dávku za nesprávnou a odvede elementy do vyřazovacího zásobníku, nikoliv do kazety, čímž se sníží plynulost a rychlost procesu. Některé z příčin lze pozitivně ovlivnit vhodným nastavením rychlosti dopravníku.

#### Hlavní důvody propadu více elementů

1. Zaklínění několika tvarově náročných elementů do sebe. Infračervená odpočítávací hlava je vyhodnotí jako jeden kus elementu.
2. Setrvačnost rotačních elementů, které po zastavení dopravníku samovolně propadnou.
3. Spojení elementů vlivem nevhodného nastavení předchozích částí.

### 3.3.4 Capcon hlava

Problém může také nastat při propadu elementů capcon hlavou. Optimálním místem pro propad skrze capcon hlavu je střed capcon hlavy. Pokud elementy propadávají capcon hlavou v rozích, tak je možné, že je capcon hlava nerozezná a klapky poté odvedou elementy jako nesprávnou dávku. Pro propad elementů středem jsou na dopravníku umístěny nastavitelné vodící plechy, které po vhodném nastavení svedou elementy do středu.



Další možností nesprávného vyhodnocení může být příliš vysoký obsah uhlíku v elementu, který následně není capcon hlavou rozpoznán.

### **3.3.5 Klapky**

Při dopadu elementů na klapky může docházet k jejich odrazu. Děje se tak především při dopadu gumových elementů, jakými jsou gumové pneumatiky různých velikostí. Mimo gumových pneumatik se může jednat také o plastové kulaté elementy, které se od povrchu klapky odrazí a nepropadnou tak do kazety společně s dávkou.

### **3.3.6 Kazeta s elementy**

Při propadu dávky elementů z klapky do kazety může dojít ke vzpříčení elementu mezi klapkami a kazetou, což zapříčiní zaseknutí kazety a zastaví se tak celý tok kazet. Výška kazety odpovídá výšce 11 knobů (1 knob = 1 spojovací segment na elementu). Optimální délka elementů je tedy do 11 knobů, elementy delší než 11 knobů přinášejí možné riziko vzpříčení. Dochází také k přeskokům elementů z kazety do kazety následující. Rychlost odstranění problému závisí na rychlosti a schopnosti operátora.

### **3.3.7 Obraceč kazet**

U některých linek může docházet k zadržování kazet v obraceči. To může být způsobeno opotřebením materiálu kolejnic, po kterých se kazety dopravují.

### **3.3.8 Klapky před bubnovou váhou**

Zde se jedná o obdobný případ, jako u klapky za capcon hlavou, jak je uvedeno v kapitole 3.3.5. Opět zde může docházet k odrazům jednotlivých elementů od klapky. Tyto elementy nepropadnou společně s dávkou do bubnové váhy a ta poté vyhodnotí dávku jako nesprávnou. Může zde také dojít k zaseknutí tenkých elementů nebo již hotových prepacků. Problémem zde může být i nastavení doby otevírání a uzavírání klapky. Na tuto problematiku je také zaměřeno měření.

### **3.3.9 Bubnová váha**

Proces vážení je ovlivněn ustálením elementů v bubnu. Pokud se elementy ustálí, je dávka zvážena a propadá dále do trychtýře s tubusem. Ustálení váhy opět závisí na skladbě elementů. Problematické elementy jsou především gumové pneumatiky, kulaté součásti

a nejlehčí elementy vážící kolem 200 mg. Dalším faktorem, který může ovlivnit vážení dávky, je zaseknutí elementu v rotačním bubnu. Váha poté stále započítává i váhu zaseknutého elementu a odvádí další dávky jako zmetek. Ovlivnit proces vážení mohou také vibrace způsobené chodem linky.

### **3.3.10 Trychtýř a tubus**

Trychtýř s tubusem může ovlivnit především kvalitu produktu. Propad skrze trychtýř s tubusem není nijak spojen s řídicím procesem, tudíž se při chybném propadu elementů proces nezastaví a pokračuje dál. Chyby lze odhalit jen výstupní kontrolou prepacku. Dochází zde opět k odrazům a rotaci elementů, které poté nepropadnou do správného prepacku.

### **3.3.11 Balicí zařízení**

Posledním místem, které může výrazně ovlivnit, či zastavit balicí proces je balicí zařízení. Konkrétně se jedná o elementy zaseknuté v čelistech, které svařují prepack příčnými svary. To bývá nejčastěji způsobeno nízkou váhou elementu, který tak nestihne propadnout do připraveného sáčku. V průběhu letu je zachycen svařujícími čelistmi.

Může zde také dojít k neúplnému propadu všech elementů z dávky. Některé z lehčích elementů nepropadnou a zůstanou v následujícím prepacku. Tím je tedy ovlivněna výsledná kvalita. Tuto chybu lze odhalit jen výstupní kontrolou. Z důvodu nekompletního propadu a nemožného odhalení přítomnosti elementů váhou, se všechny elementy s hmotností nižší jak 200 mg duplikují, aby nedošlo k tomu, že ve finálním prepacku bude tento nejlehčí element chybět.

## 4. MĚŘENÍ

Z analýzy kritických míst jsem vybral finální proces vážení na bubnové váze a související operace, kterými jsou převrácení kazety s elementy v obraceči, otevírání a uzavírání klapky před bubnovou váhou, proces vážení a pozice umístění trychtýře pod bubnovou váhou. Byly proměřovány doby vážení elementů, doby otevírání a uzavírání klapky a doby vážení při odlišných pozicích trychtýře.

### 4.1 Doba vážení

Jednotlivá měření probíhala shodně na každé z vybraných prepackových linek. Vždy byly baleny vzorky vybraných prepacků na každé lince a na závěr bylo provedeno měření bez vzorků, tedy jen s prázdnými kazetami.

#### 1. Příprava elementů do kazet

Předvyrobené prepacky s odpovídajícím vzorkem byly postupně rozbaleny a vsypány do prázdných kazet, které se následně umístily na pás před bubnovou váhu. Měření tedy probíhalo bez dávkování elementů a dávkování do kazet.

#### 2. Nastavení váhy

Při nastavení váhy byla nastavena hodnota váhové tolerance na  $\pm 500$  mg, neboť elementy byly správně nadávkovány do kazet. Rychlost linky byla nastavena na 44 ks/min. Váha zvažila vsypanou dávku elementů a byla vytárována na nulovou hodnotu.

#### 3. Příprava fólie a trychtýře s tubusem

Před spuštěním procesu balení je nutné nainstalovat fólii o odpovídající šířce. Dle šířky fólie a velikosti požadovaného prepacku je také volen trychtýř s tubusem, přes který je fólie vedena. Popis tubusu je názorný v kapitole 2.3.3. Dále byly nastaveny výtlačníky do pozice „2“.

#### 4. Nastavení kamery

Jednotlivé doby vážení a další informace byly zaznamenávány na GoPro kameru, která byla umístěna tak, aby snímala obrazovku váhy, kde byla doba vážení zobrazována.

## **5. Spuštění balení**

Po kompletní přípravě byl spuštěn balič v automatickém režimu, spuštěn pás dopravující kazety a spuštěna váha. Následně byly vytvořeny prepacky, které byly dále znovu rozbaleny a použity na dalších linkách.

## **6. Záznam a přepis dat**

Jednotlivé časy byly zaznamenávány na kameru a přepsány do elektronické podoby. Dále se s nimi pracovalo v analýzách a hodnoceních.

### 4.1.1 Ukázka zaznamenaných dat

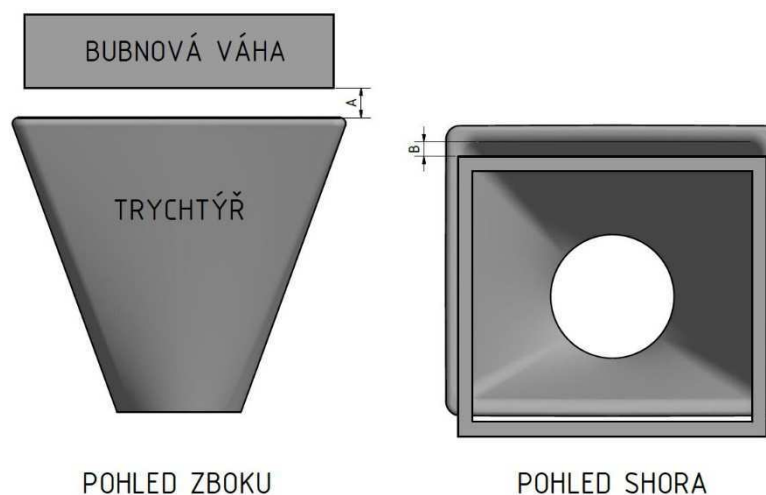
V následující tabulce 4 – 1 je ukázka hodnot, které byly zaznamenávány. V tabulce je vždy uveden typ prepacku, který byl testován, dále jsou to nastavené parametry bubnové váhy. Jsou také uvedeny informace o instalovaném tubusu a rozměr výsledného prepacku. Další část tvoří data přepsaná z displeje váhy, konkrétně doba mezi váženími, doba vážení a doba propadliště, jejichž hodnoty jsou uváděny v milisekundách.

<b>Linka</b>	DSPP 62B	
<b>Prepack ID</b>	6104333	
<b>Tolerance váhy</b>	±500 mg	
<b>Rychlost</b>	44 ks/min	
<b>Tubus</b>	červený - 200 mm	
<b>Rozměr prepacku</b>	200 x 180 mm	
<b>Pozice výtlačníků</b>	2	
<b>Rozteč pacek</b>	150 mm	
<b>Výška nad trychtýřem</b>	8 mm	
<b>Posunutí trychtýře</b>	2 mm	
<b>Doba mezi váženími [ms]</b>	<b>Doba vážení [ms]</b>	<b>Doba propadliště [ms]</b>
1132	400	732
1549	515	1034
1431	418	1013
1467	445	1022
1561	547	1014
1593	590	1003
1514	515	999
1456	450	1006
1457	448	1009
1615	582	1033
1608	611	997
1451	451	1000
1537	517	1020
1536	503	1033
1527	491	1036
1452	443	1009
1561	542	1019
1534	504	1030
1656	632	1024
1544	534	1010
1497	500	997
1487	457	1030
1541	519	1022
1546	534	1012
1585	573	1012
1566	555	1011
1648	615	1033
1587	571	1016
1578	238	1340
1611	598	1013
1520	490	1030
1591	561	1030
1601	570	1031
1723	694	1029
1519	495	1024
<b>Průměr [ms]</b>	<b>Průměr [ms]</b>	<b>Průměr [ms]</b>
1536,6	517,4	1019,2
<b>Výstup [ks/min]</b>	<b>Min [ms]</b>	<b>Max [ms]</b>
39,1	238	694

*Tab. 4 – 1: Ukázka zaznamenaných dat*

## 4.2 Pozice trychtýře

Jako faktor ovlivňující produkci linek byl zkoumán vliv pozice trychtýře vůči bubnové váze. Měření proběhlo jen na vybraných linkách. Konkrétně se jedná o linku Double String PrePack Line 62B a Double String PrePack Line 65B. Bylo provedeno několik měření s odlišnou pozicí trychtýře. Na obrázku 4 – 1 je ukázka vzájemné pozice bubnové váhy a trychtýře. Parametry, které byly měněny, jsou označeny písmeny *A* a *B*. Měření proběhlo také s kompletním utěsněním, kdy byl prostor mezi trychtýřem a váhou utěsněn izolační páskou.

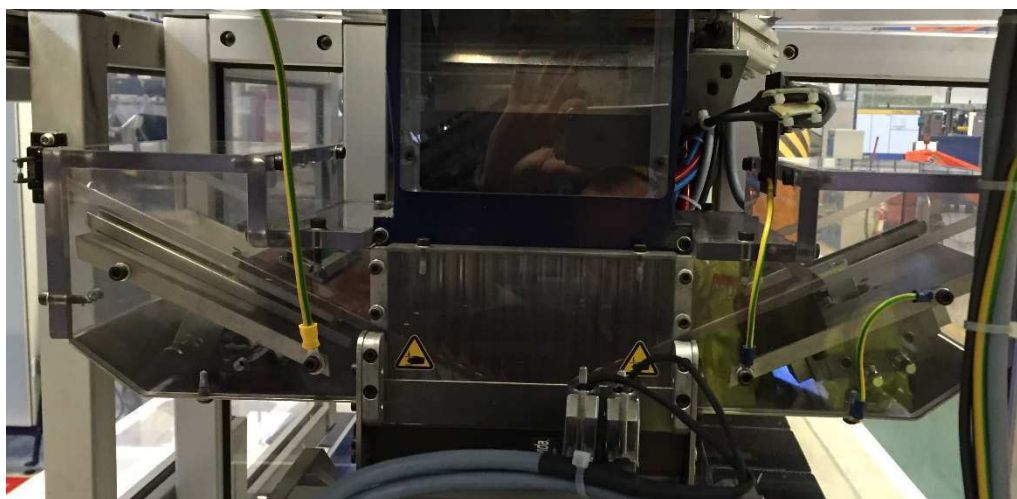


**Obr. 4 – 1:** Pozice váhy a trychtýře

Při měření s rozdílnými pozicemi bubnové váhy a trychtýře se postupovalo obdobně, jako tomu bylo v předchozím měření v kapitole 4.1. Navíc zde bylo manipulováno s balicím zařízením tak, aby byla nastavena odlišná vzdálenost mezi váhou a trychtýřem. Pro měření bylo využito jen jednoho typu prepacku, konkrétně *Prepack ID 6104333*, tedy jeden z největších prepacků. Opět byla zaznamenávána doba vážení, která byla následně analyzována. Výsledky měření jsou uvedeny v kapitole 5.2.

### 4.3 Klapky nad bubnovou váhou

Dalším procesem, který byl sledován a proměřen, bylo otevírání a uzavírání klapek. Jsou to klapky umístěné před bubnovou váhou (*Obr. 4. – 2*). Jedná o jeden pár klapek, které postupně propouštějí dávku elementů přivedených z kazety. Standartní hodnoty, které by měly být nastaveny, jsou *200 ms* pro otevírání klapek a *200 ms* pro uzavírání klapek. Celkově by tedy celý proces měl proběhnout maximálně za *400 ms*. Předpokládá se, že časy nebudou totožné, ani nebudou dávat hodnotu přesně nastavených *200 ms*. Hlavní tedy je, aby celková doba nepřesahovala uvedených *400 ms*.



*Obr. 4 – 2: Klapky nad bubnovou váhou*

Hodnoty byly zaznamenávány současně s dobou vážení jednotlivých linek. Z displeje váhy byly současně zaznamenávány celkem 4 hodnoty, konkrétně se jedná o dobu otevírání a dobu zavírání klapek (*Obr. 4 – 3*).

Hlavní větev
185mS Doba otevírání klapky 1 (Normálně cca. 200mS)
177mS Doba zavírání klapky 1 (Normálně cca. 200mS)
192mS Doba otevírání klapky 1 (Normálně cca. 200mS)
177mS Doba zavírání klapky 1 (Normálně cca. 200mS)

*Obr. 4 – 3: Ukázka zaznamenávaných dat – klapky*

## 5. VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ

Při vyhodnocování měření se postupovalo tak, že prvně byly z naměřených dat stanoveny výkonnosti jednotlivých linek. Byl vyhodnocen minutový výstup každé linky a následně byly tyto hodnoty porovnány mezi sebou. Součástí vyhodnocení doby vážení bylo také porovnání jednotlivých průběhů, tedy jakých odchylek se dosahuje při vážení. Ze všech linek byla poté vybrána linka s nejvyšším a nejnižším minutovým výstupem a tyto linky byly dále porovnávány a hledaly se možné příčiny rozdílných výstupů. Z jednotlivých měření vyplynula konkrétní doporučení.

### 5.1 Doba vážení

Pro každý prepack byly porovnány jednotlivé linky. Porovnávala se průměrná doba vážení stanovená ze 46 měření, tedy ze zvážení 46 dávek elementů. Následně bylo stanoveno pořadí jednotlivých linek pro proměřovaný prepack. Názorná ukázka pro vybraný prepack je v tabulce 5 – 1. Jedná se o průměrnou hodnotu všech 46 měření.

PREPACK 6104333		
LINKA	Průměrná doba vážení [ms]	Pořadí
DSPP 60B	691,20	6.
DSPP 62B	503,91	2.
DSPP 63B	600,83	5.
DSPP 65B	569,74	3.
DSPP 66B	573,38	4.
DSPP 68B	423,93	1.

*Tab. 5 – 1: Ukázka porovnání doby vážení*

Byla také zaznamenávána poloha bubnové váhy vůči trychtýři. Detailnější měření s odlišnými mezerami je uvedeno v následující kapitole 5.2. V tabulce 5 – 2 jsou uvedeny jednotlivé konfigurace. Pozice parametrů *A* a *B* je patrná z obrázku 4 – 1.



PARAMETRY LINEK		
LINKA	A [mm]	B [mm]
DSPP 60B	5	-2
DSPP 62B	8	2
DSPP 63B	4	3
DSPP 65B	2	2
DSPP 66B	4	0
DSPP 68B	6	2

*Tab. 5 – 2: Hodnoty parametrů A, B*

Bylo provedeno vyhodnocení pro všechny prepacky a následně stanoveno pořadí jednotlivých linek. Bylo vždy porovnáno 46 měření s elementy a 46 měření bez přítomnosti elementů.

V následující tabulce 5 – 3 je uvedena četnost umístění jednotlivých linek, tedy počty umístění na jednotlivých příčkách 1. – 6., kde 1. je brána jako nejvýkonnější a 6. naopak nejméně výkonná. Pozice byly obodovány a poté bylo stanoveno pořadí dle udělených bodů (*Tab. 5 – 4*).

ČETNOST UMÍSTĚNÍ							
LINKA	1.	2.	3.	4.	5.	6.	Bodování
DSPP 60B	0	1	0	0	1	4	1. = 6b.
DSPP 62B	1	3	1	0	0	1	2. = 5b.
DSPP 63B	0	0	3	2	1	0	3. = 4b.
DSPP 65B	0	1	2	1	2	0	4. = 3b.
DSPP 66B	0	0	0	3	2	1	5. = 2b.
DSPP 68B	5	1	0	0	0	0	6. = 1b.

*Tab. 5 – 3: Četnost umístění linek*

VYHODNOCENÍ		
LINKA	Celkem bodů	Umístění linky
DSPP 60B	11	6.
DSPP 62B	26	2.
DSPP 63B	20	3.
DSPP 65B	18	4.
DSPP 66B	14	5.
DSPP 68B	35	1.

*Tab. 5 – 4: Vyhodnocení*

Z tohoto vyhodnocení tedy vyplývá, že nejvýkonnější linkou, co se umístění týče, je zde linka DSPP 68B a naopak nejméně výkonnou linka DSPP 60B.

Dalším kritériem pro hodnocení celkové výkonnosti byl minutový výstup linky. V následující tabulce 5 – 5 jsou uvedeny hodnoty minutové výkonnosti jednotlivých linek.

VÝKONNOST LINKY [ks/min]					
LINKA	6140333	6103020	6107666	6070090	6115107
<b>DSPP 60B</b>	35,1 ± 4,5	37,1 ± 6,5	40,7 ± 4,2	40,8 ± 3,1	40,8 ± 2,9
<b>DSPP 62B</b>	39,2 ± 3,1	40,0 ± 2,1	41,6 ± 4,3	44,3 ± 3,3	44,2 ± 3,3
<b>DSPP 63B</b>	36,9 ± 1,3	39,1 ± 1,5	40,5 ± 1,9	40,5 ± 1,0	40,0 ± 1,4
<b>DSPP 65B</b>	37,8 ± 2,4	39,5 ± 4,3	42,1 ± 3,9	42,3 ± 2,4	42,0 ± 2,4
<b>DSPP 66B</b>	37,4 ± 3,8	37,9 ± 2,6	40,8 ± 5,9	42,3 ± 3,6	41,2 ± 2,9
<b>DSPP 68B</b>	40,6 ± 4,3	41,7 ± 3,3	41,1 ± 5,5	41,4 ± 2,5	41,3 ± 3,0

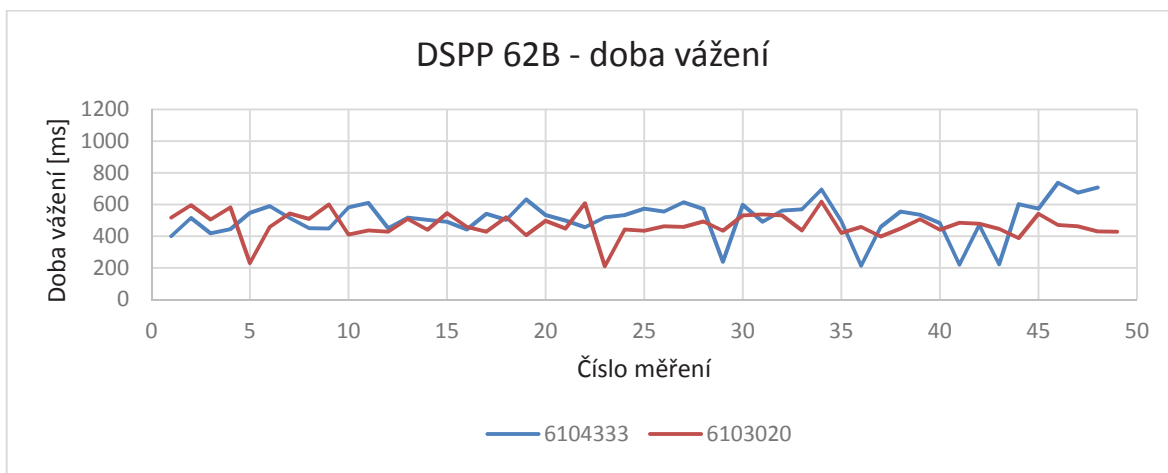
*Tab. 5 – 5: Vyhodnocení dle výkonnosti linky*

Jak je vidět z tabulky 5 – 5, při zpracování malých prepacků (6070090, 6115107) pracuje nejlépe linka DSPP 62B. U větších prepacků (6140333, 6103020) je to linka DSPP 68B. Pokud bychom uvažovali stejné váhové kritérium pro každý prepack a také stejnorodé zastoupení prepacků v celkové produkci, můžeme hodnoty výkonnosti pro jednotlivé prepacky vždy pro danou linku zprůměrovat a získáme celkové porovnání nastavení jednotlivých linek. To ukazuje tabulka 5 – 6.

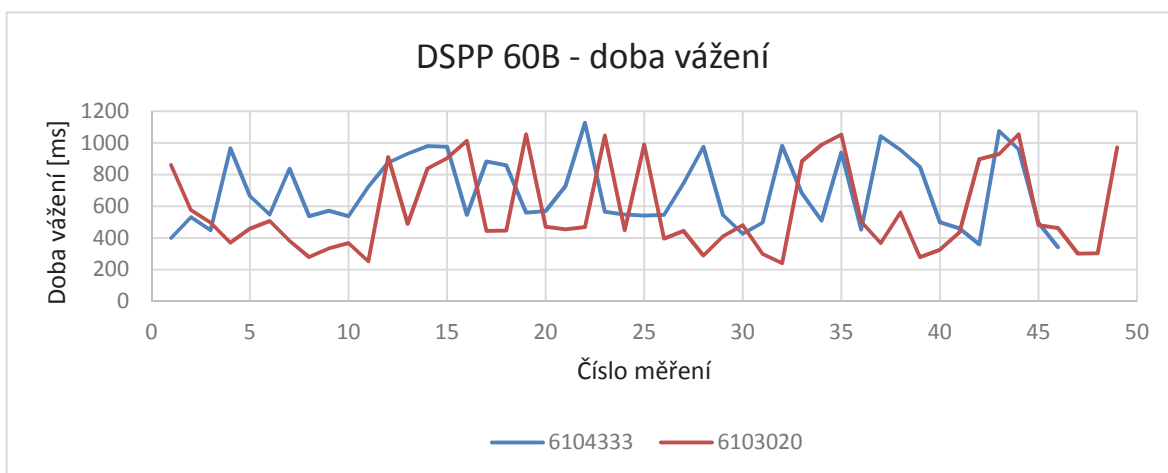
VYHODNOCENÍ		
LINKA	Výstup [ks/min]	Pořadí
<b>DSPP 60B</b>	38,9	6.
<b>DSPP 62B</b>	41,9	1.
<b>DSPP 63B</b>	39,4	5.
<b>DSPP 65B</b>	40,7	3.
<b>DSPP 66B</b>	39,9	4.
<b>DSPP 68B</b>	41,3	2.

*Tab. 5 – 6: Vyhodnocení minutových výstupů linek*

Dalším bodem vyhodnocení bylo také porovnání jednotlivých průběhů doby vážení. Byly porovnávány vždy shodné velikosti prepacků, tedy dva velké prepacky a dva malé prepacky. Sledovala se plynulost procesu a vzájemné rozdíly na konkrétní lince. Na ukázkou jsou uvedeny grafy pro nejvýkonnější linku DSPP 62B (*Obr. 5 – 1*) a nejméně výkonnou linku DSPP 60B (*Obr. 5 – 2*).



**Obr. 5 – 1:** Průběh doby vážení – velký prepack – DSPP 62B



**Obr. 5 – 2:** Průběh doby vážení – velký prepack – DSPP 60B

Z grafů je jasně patrný rozdíl mezi linkami. U linky DSPP 62B je průběh poměrně plynulý, celkově se hodnoty pohybují kolem 500 ms a nedochází k žádným častým výkyvům. Zatímco u linky DSPP 60B je chod nerovnoměrný, je zde vysoký rozptyl hodnot a dochází k častým výkyvům nad 800 ms. Tato nerovnoměrnost je způsobena dalšími faktory, které jsou obsahem následujících měření.

### Celkové pořadí linek dle výkonnosti

- |             |             |
|-------------|-------------|
| 1. DSPP 62B | 4. DSPP 66B |
| 2. DSPP 68B | 5. DSPP 63B |
| 3. DSPP 65B | 6. DSPP 60B |

Při měření celkové doby vážení byly proměřovány všechny linky, na kterých byly postupně měřeny jednotlivé TOP produkty. Při vyhodnocení se došlo k závěru, že nejvýkonnější linkou je linka DSPP 62B s výstupem  $41,86 \text{ ks/min}$ . Naopak nejméně výkonná linka je DSPP 60B, která dosáhla průměru  $38,83 \text{ ks/min}$ . Cílem je nalezení takového optimálního nastavení, které zajistí nejvyšší hodinový výstup linky a posléze se aplikuje na většinu DSPP.

## 5.2 Pozice trychtýře

Jako další kritické místo byla vyhodnocena pozice trychtýře vůči bubnové váze a její možný vliv na celkový výstup balicí linky. Byly vyhodnoceny jednotlivé výstupy pro dané konfigurace. Konkrétně se jednalo o linku DSPP 65B a DSPP 62B. Na závěr byla stanovena neoptimálnější varianta s ohledem na další vlivy.

### 5.2.1 Linka DSPP 65B

První měření bylo provedeno pro DSPP 65B. V následující tabulce 5 – 7 jsou uvedeny hodnoty parametrů, které byly během měření měněny. Vzdálenost se měnila jak ve vertikálním, tak i v horizontálním směru. Ilustrace pozice a jednotlivých parametrů je uvedena v předchozí kapitole 4.3 na obrázku 4 – 1.

PARAMETRY – LINKA DSPP 65B		
Měření	A	B
1.	utěsněno	utěsněno
2.	8 mm	0 mm
3.	8 mm	10 mm
4.	10 mm	20 mm
5.	11 mm	30 mm
6.	13 mm	40 mm

Tab. 5 – 7: Hodnoty parametrů A, B na lince DSPP 65B

Po zaznamenání všech dat bylo provedeno vyhodnocení, kde nejdůležitější byly průměrné hodnoty doby mezi váženími (doba propadu elementů) a hodnoty celkového minutového výstupu linek. Dále byl také hodnocen celkový rozptyl hodnot. Optimální hodnoty doby mezi váženími jsou hodnoty co nejnižší, tedy i nejnižší průměrná doba mezi váženími. Žádanou křivkou s hodnotami doby mezi vážení je hladká křivka, kde dochází k minimálním výkyvům.

Na grafu 5 – 3 je porovnání středních hodnot s příslušnými odchylkami. Na dalším grafu 5 – 4 jsou již srovnány průběhy, při kterých docházelo k minimálním a maximálním výkyvům, tedy průběhy pro hodnoty  $B = 30 \text{ mm}$  a  $40 \text{ mm}$  v porovnání s utěsněnou mezerou.

### Ukázka výpočtu směrodatné odchylky

Dle vztahů uvedených v kapitole 2.7 byly provedeny výpočty pro jednotlivé konfigurace. Výpočty byly prováděny s ohledem na plynulost balicího procesu. Optimální konfigurací je taková, při které je dosaženo nejnižší odchylky a proces je tak plynulý bez větších výchylek. Následně je uvedena ukázka postupu při výpočtu směrodatné odchylky pro linku DSPP 65B při konfiguraci, kde mezera byla  $0 \text{ mm}$ .

Jako první byl dle vztahu (2 – 1) vypočten aritmetický průměr doby vážení:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{48} \sum_{i=1}^{48} x_i = 1\,541,50 \text{ ms} ,$$

dále byl počítán součet čtverců odchylek jednotlivých hodnot. Na ukázkou je vypočtena jen jedna hodnota čtverců odchylek dle následujícího vztahu:

$$(x_i - \bar{x})^2 = (x_1 - \bar{x})^2 = (1482 - 1541,50)^2 = 3\,540,25 .$$

S vypočtenými hodnotami čtverců odchylek lze stanovit celkový rozptyl dle (2 – 4):

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \frac{1}{48-1} \sum_{i=1}^{48} (x_i - 1541,50)^2 = 13\,369,36$$

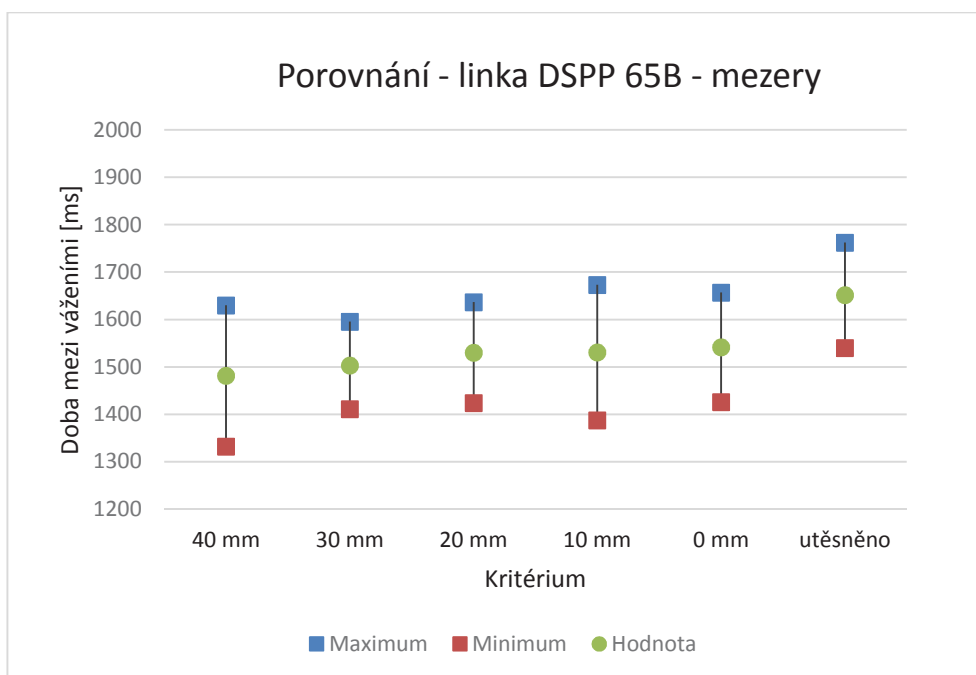
a finální hodnota směrodatné odchylky je tedy určena jako:

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{13\,369,36} = 115,63 .$$

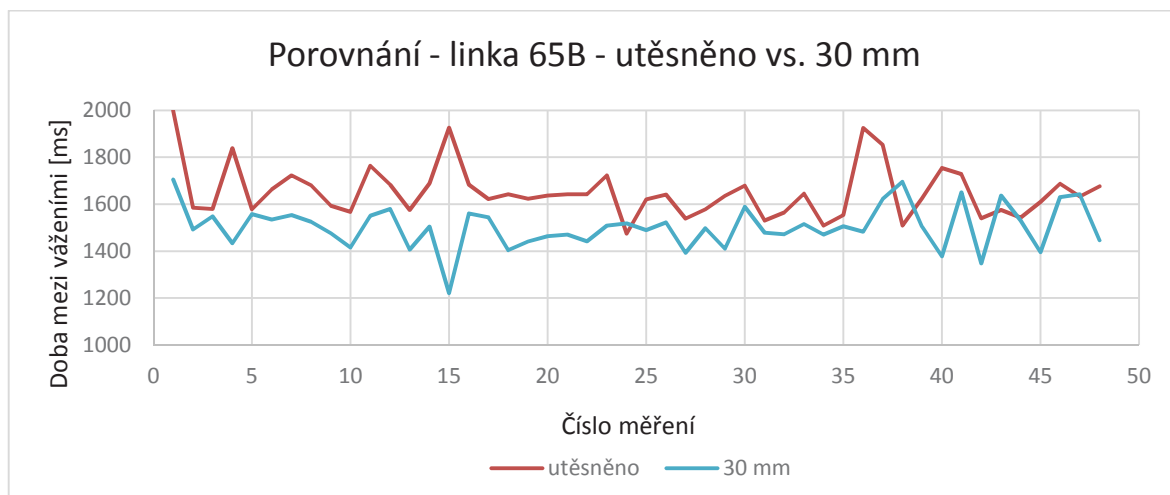
Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 5 – 8. Z naměřených dat vyšla nejlépe pozice váhy a trychtýře s mezerou  $A = 40 \text{ mm}$ . Avšak s ohledem na možné vypadnutí, či odražení elementů mimo prostor tubusu, se tato konfigurace nedoporučuje. V úvahu nelze brát ani variantu, kdy byl prostor utěsněn. Celkový výstup při tomto nastavení je značně nedostačující oproti ostatním. Byly tedy vybrány dvě varianty, z kterých bude následně vybrána jedna finální hodnota. Je nutné zohlednit pozici bubnové váhy při vysypání dávky elementů do trychtýře. Toto zohlednění je uvedeno následovně. Dvě neoptimálnější nastavení jsou tedy s mezerou  $20 \text{ mm}$  a  $30 \text{ mm}$ .

VYHODNOCENÍ – LINKA DSPP 65B			
Pořadí	Doba mezi váženími [ms]	Kritérium	Výstup [ks/min]
1.	1481,32 ± 148,80	40 mm	40,50
2.	1503,23 ± 92,21	30 mm	39,91
3.	1530,38 ± 106,37	20 mm	39,21
4.	1530,56 ± 142,95	10 mm	39,20
5.	1541,50 ± 115,63	0 mm	38,92
6.	1651,65 ± 111,15	utěsněno	36,33

*Tab. 5 – 8: Vyhodnocení – linka DSPP 65B*



*Obr. 5 – 3: Porovnání – linka DSPP 65B – mezery*



*Obr. 5 – 4: Porovnání – linka DSPP 65B – utěsněno vs. 30 mm*

### 5.2.2 Linka DSPP 62B

Shodné měření bylo provedeno i pro DSPP 62B. Opět byly měněny parametry *A* a *B*, jejichž hodnoty jsou uvedeny v tabulce 5 – 9. V další tabulce 5 – 10 je celkové vyhodnocení, kde je uvedena průměrná doba mezi vážením, celkový výstup a také odchylka od průměrné hodnoty pro dané kritérium.

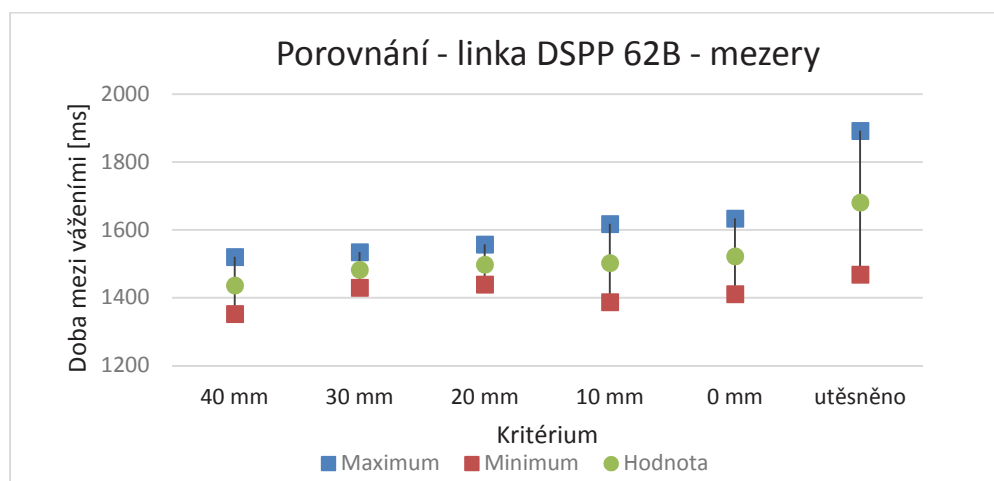
PARAMETRY – LINKA DSPP 62B		
Měření	A	B
1.	utěsněno	utěsněno
2.	1 mm	0 mm
3.	4 mm	10 mm
4.	5 mm	20 mm
5.	7 mm	30 mm
6.	8 mm	40 mm

*Tab. 5 – 9: Hodnoty parametrů A, B na lince DSPP 62B*

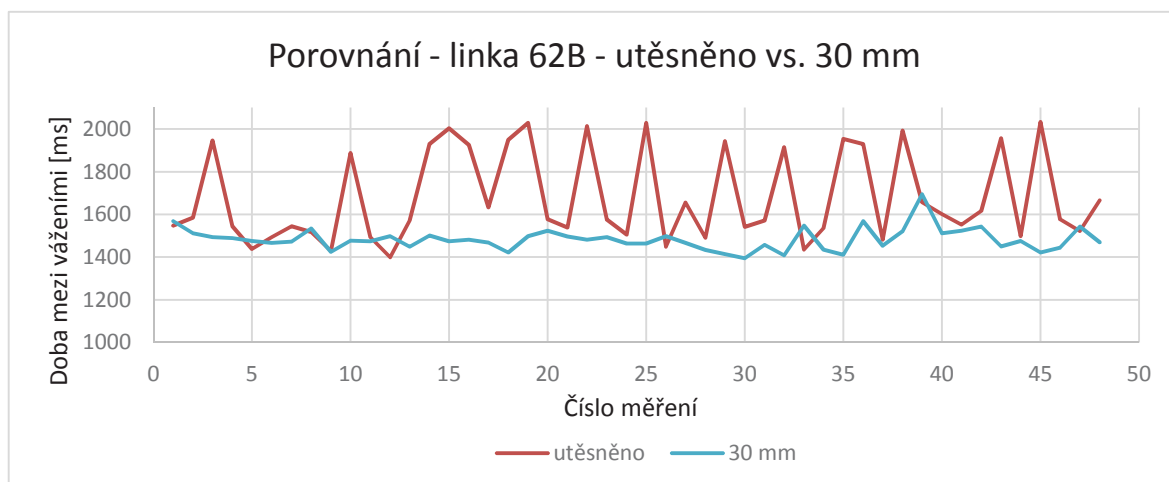
VYHODNOCENÍ – LINKA DSPP 62B			
Pořadí	Doba mezi váženími [ms]	Kritérium	Výstup [ks/min]
1.	1436,90 ± 83,61	40 mm	41,76
2.	1482,94 ± 52,16	30 mm	40,46
3.	1498,38 ± 58,86	20 mm	40,04
4.	1502,81 ± 114,92	10 mm	39,93
5.	1522,60 ± 111,56	0 mm	39,41
6.	1680,79 ± 211,86	utěsněno	35,70

*Tab. 5 – 10: Vyhodnocení – linka DSPP 62B*

Vyhodnocením měření na lince DSPP 62B jsem dospěl ke shodným výsledkům, jako u linky DSPP 65B. Nejvyšší hodnoty výstupu bylo dosaženo při konfiguraci 40 mm a naopak nejnižší hodnota byla opět u pozice, kdy byl prostor utěsněn. Stejně jako v předchozím případě se opět nedoporučuje konfigurace při 40 mm. S ohledem na plynulost procesu vychází jako neoptimálnější řešení varianta 20 mm a 30 mm. Shodné jako při měření na lince DSPP 65B. Při těchto konfiguracích docházelo k nejnižším výkyvům v průběhu měření. Lze to také vyčíst z odchylek pro jednotlivé konfigurace, kde právě pro variantu s mezerou 20 a 30 mm je odchylka od průměrné hodnoty nejnižší. Celkové porovnání jednotlivých konfigurací, konkrétně dob mezi váženími a jejich odchylek je na grafu 5 – 5. Na dalším grafu 5 – 6 je porovnání konfigurace s největší odchylkou při utěsnění prostoru a neoptimálnější variantou 30 mm, při které je odchylka výsledných hodnot nejnižší.



Obr. 5 – 5: Porovnání – linka DSPP 62B – mezery



Obr. 5 – 6: Porovnání – linka DSPP 62B – utěsněno vs. 30 mm



### 5.2.3 Závěrečné doporučení pozice váhy – trychtýř

Na následujících obrázcích je zobrazena pozice trychtýře vůči váze. Jsou zde uvedeny obě varianty s nejvyšším výstupem, tedy konfigurace s mezerou 20 mm (Obr. 5 – 7) a 30 mm (Obr. 5 – 8). Tyto dvě varianty vyšly jako nejoptimálnější. Při rozhodování o finální hodnotě je nutné brát v úvahu také možnost vypadnutí elementů při vsypávání dávky do trychtýře. Z obrázků lze vidět, že při obou konfiguracích je buben váhy při zastavení a vysypání dávky do trychtýře stále v takové pozici, při které by nemělo dojít k vysypání elementů mimo trychtýř.



*Obr. 5 – 7: Pozice 20 mm*



*Obr. 5 – 8: Pozice 30 mm*

Výsledným doporučením pro pozici bubnové váhy vůči trychtýři vzhledem k natočení bubnové váhy je mezera 20 mm. Tato konfigurace se doporučuje pro nastavení na linkách DSPP. Doporučuji však provést i další měření s odlišnými prepacky.

### 5.3 Celková doba balení – DSPP 60B vs. DSPP 62B

Z naměřených a následně vyhodnocených dat byly vybrány dvě prepackové linky. Jako nejvýkonnější linka byla vybrána DSPP 62B a nejméně výkonnou je linka DSPP 60B. Tyto dvě linky byly porovnány z hlediska celkových dob balení pro 46 měření, tedy pro zabalení 46 sáčků od každého vybraného typu z TOP produktů. Celková doba je dána součtem doby vážení a doby propadu. Charakterizuje tedy výslednou výkonnost linky. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v následujících tabulkách. Jsou vyhodnoceny jednotlivé doby procesu, tedy celková doba balení (*Tab. 5 – 11*), celková doba vážení (*Tab. 5 – 12*) a celková doba propadu (*Tab. 5 – 13*).

CELKOVÁ DOBA BALENÍ [ms]			
Prepack	DSPP 60B	DSPP 62B	Rozdíl (60B - 62B)
6104333	78631	70383	8248
6103020	74359	68919	5440
6107666	67858	66371	1487
6070090	67726	62323	5403
6115107	67612	64035	3577
BEZ EL.	68312	62663	5649

*Tab. 5 – 11: Celková doba balení*

DOBA VÁŽENÍ [ms]			
Prepack	DSPP 60B	DSPP 62B	Rozdíl (60B - 62B)
6104333	31795	23180	8615
6103020	26661	21754	4907
6107666	13244	20181	-6937
6070090	13348	11200	2148
6115107	14199	10820	3379
BEZ	9222	6813	2409

*Tab. 5 – 12: Celková doba vážení*

DOBA PROPADU [ms]			
Prepack	DSPP 60B	DSPP 62B	Rozdíl (60B - 62B)
6104333	46836	47203	-367
6103020	47698	47165	533
6107666	54614	46190	8424
6070090	54378	51123	3255
6115107	53413	51690	1723
BEZ	55850	59090	-3240

*Tab. 5 – 13: Celková doba propadu*

Z výsledných hodnot jsou jasně patrné rozdíly především v době vážení, což způsobí i rozdíl v celkové době měření. Největší rozdíly byly naměřeny při balení velkých prepacků (6104333, 6103020), naopak při porovnání dalších menších prepacků (6107666, 6070090, 6115107) již není rozdíl tak markantní. Rozdíl mezi linkami při balení velkých prepacků vychází kolem 5 – 9 sekund. Tento rozdíl může při objemu zakázky například 15 000 sáčků způsobit až téměř 1 hodinovou ztrátu výroby mezi linkami DSPP 60B a DSPP 62B.

Celková doba vážení vyšla u všech prepacků, kromě středního prepacku 610766 lépe u linky DSPP 62, než u linky DSPP 60B. Doba vážení středního prepacku vyšla překvapivě u linky DSPP 60B lépe o téměř 7 sekund na 46 prepacků. Tento rozdíl se vyrovnal v době propadu a celková doba balení byla vždy lepší pro linku DSPP 62B.

## 5.4 Uzavírání klapek

Dalším procesem, který by mohl ovlivnit celkovou dobu procesu je uzavírání a otevírání klapek. Toto měření proběhlo opět na všech vybraných linkách. Celkem bylo provedeno opět 46 měření pro každý prepack.

V následující tabulce 5 – 14 je uvedena ukázka vyhodnocení hodnot získaných při měření doby vážení. Doby otevírání a uzavírání klapek byly zaznamenávány společně s dobou vážení. Je vždy uveden součet všech hodnot ze 46 měření.

DSPP 62B - PREPACK 6104333 - CELKOVÝ SOUČET [ms]						
Otevírání 1	Zavírání 1	Součet 1	Otevírání 2	Zavírání 2	Součet 2	Celkem
8665	8664	17329	9162	8973	18135	35464
VÝSLEDEK PŘI STANDARDNÍCH 200 MS						
9200	9200	18400	9200	9200	18400	36800
ROZDÍL						
-535	-536	-1071	-38	-227	-265	-1336

*Tab. 5 – 14: Ukázka vyhodnocení – klapky*

Celkové průměrné doby otevírání a uzavírání jsou uvedeny následovně. V tabulce 5 – 15 jsou porovnány všechny proměřované linky a je uvedeno jejich výsledné pořadí. Pro nejvýkonnější linku DSPP 68B jsou jednotlivé průměrné hodnoty pro každý prepack uvedeny v tabulce 5 – 16 a pro linku DSPP 60B v tabulce 5 – 17.

LINKA	PRŮMĚRNÁ DOBA [ms]	Pořadí
DSPP 60B	420,1	6.
DSPP 62B	392,3	5.
DSPP 63B	372,0	2.
DSPP 65B	382,0	4.
DSPP 66B	380,0	3.
DSPP 68B	364,7	1.

*Tab. 5 – 15: Průměrné hodnoty – klapky*

LINKA DSPP 68B	
Prepack	Průměr [ms]
6104333	364,0
6103020	366,7
6107666	363,8
6070090	363,2
6115107	366,1

*Tab. 5 – 16: Průměrné hodnoty – DSPP 68B*

LINKA DSPP 60B	
Prepack	Průměr [ms]
6104333	420,6
6103020	419,5
6107666	416,6
6070090	421,1
6115107	422,6

*Tab. 5 – 17: Průměrné hodnoty – DSPP 60B*

Z výsledku je patrné, že linka DSPP 60B pracuje s dobou kolem 420 ms pro otevření a uzavření klapky. Naopak linka DSPP 68B dosahuje nižších hodnot kolem 365 ms. Vhodné nastavení klapky linky DSPP 68B je patrné i z jednotlivých časů v průběhu měření, které jsou pro většinu hodnot při otevírání jedné i druhé klapky či zavírání klapky shodné. Naopak u linky DSPP 60B jsou tyto hodnoty často odlišné.

Z těchto výsledků vyplývá, že klapky mohou pracovat s dobou nižší než doporučených 200 ms, tedy s hodnotami, se kterými pracuje linka DSPP 68B a to přibližně kolem 185 ms.

Doporučuji provést další měření s ohledem na propad dalších typů elementů. Pro DSPP linky předběžně doporučuji nastavení doby otevírání a uzavírání klapky na 185 ms.

## 5.5 Úspora

Na ukázkou zde uvedu možnou úsporu při vhodném nastavení některých parametrů ověřených na základě měření. Rozdíly jednotlivých linek jsou často uváděny v milisekundách, či výstupu ks/min. Při odlišných konfiguracích lze dosáhnout například rozdílu 1 ks/min při odlišné pozici trychtýře vůči bubnové váze. Vyšší výroba o 1 ks/min zvedne celkovou výrobu na všech DSPP linkách i o několik tisíc kusů prepacků. Pro ukázkou uvažuji reálný stav, tedy 21 hodin nepřetržitého provozu v 1 den s danými hodnotami.

### 5.5.1 Celkový výstup

Při porovnání celkového výkonu z hlediska vyšší výroby byla vždy porovnána nejvýkonnější linka DSPP 62B s výstupem 41,86 ks/min se všemi ostatními proměřovanými linkami. Byl stanoven rozdíl minutového výstupu mezi nejvýkonnější linkou DSPP 62 B a dalšími linkami a následně byly tyto hodnoty sečteny, jak je uvedeno v tabulce 5 – 18.

ROZDÍLY	
Linka	Výstup [ks/min]
62B - 68B	0,5
62B - 65B	1,1
62B - 66B	1,9
62B - 63B	2,4
62B - 60B	3,0
<b>Celkem</b>	<b>8,0</b>

Tab. 5 – 18: Rozdíly výstupů linek

Uvažuji obdobné rozložení výkonností zařízení mezi linkami DSPP odpovídající rozložení výkonností z testovaných linek. Celkový rozdíl ve výkonnosti 20 linek, které pracují 21 hodin denně lze pak určit ze vztahu:

$$V_{CV} = 8 \cdot 60 \cdot 21 \cdot 4 = 40\,320 \text{ ks/den}$$

Při vyladění všech linek na úroveň odpovídající lince 62B by se tak výkonnost linek DSPP zvýšila přibližně o 40 000 ks prepacků/den.

### 5.5.2 Pozice trychtýře

Z měření pro linku DSPP 65B vyšlo jako neoptimálnější nastavení mezera  $30\text{ mm}$ . Při této mezeře je minutový výstup linky  $39,91\text{ ks/min}$ . Naopak při pozici, kdy je mezera  $0\text{ mm}$  je výstup  $38,92\text{ ks/min}$ . Opět uvažuji provoz linek celkem 21 hodin denně. Výpočet dle vztahu (2 – 10).

$$V_{30} = 39,91 \cdot 60 \cdot 21 \doteq 50\,286\text{ ks/den}$$

$$V_0 = 38,92 \cdot 60 \cdot 21 \doteq 49\,039\text{ ks/den}$$

$$V_R = V_{30} - V_0 = 50\,286 - 49\,039 \doteq 1\,247\text{ ks/den}$$

Uvažujeme – li 22 DSPP linek, poté je výsledný počet kusů:

$$V_C = V_R \cdot n_L = 1\,247 \cdot 22 = \underline{\underline{27\,434\text{ ks/den}}}$$

Celkový rozdíl při neoptimálnější konfiguraci s mezerou  $30\text{ mm}$  může přinést oproti mezeře  $0\text{ mm}$  při uvažování všech 22 DSPP linek nárůst výroby o  $27\,000\text{ ks/den}$ .

### 5.5.3 Klapky

Při vyhodnocení doby otevírání a uzavírání klapky nad bubnovou váhou jsem došel k závěru, že rozdíl mezi linkou s nejrychlejšími a nejpomalejšími klapkami je přibližně  $50\text{ ms}$ .

Na ukázkou uvádím zakázku o 15 000 kusech a porovnání linky DSPP 68B a DSPP 60B. Na lince DSPP 60B jsou hodnoty dle standartního nastavení, konkrétně  $210\text{ ms}$ . Naopak na lince DSPP 68B uvažuji  $185\text{ ms}$ . Celkový rozdíl na otevření a uzavření tak činí  $50\text{ ms}$ . Celkově tak lze na zakázce o velikosti 15 000 kusů ušetřit přibližně  $12,5\text{ minuty}$ .

## 6. KONSTRUKČNÍ ÚPRAVA

V další části diplomové práce se věnuji konstrukční úpravě trychtýře s tubusem a rámu. Tato úprava je provedena s ohledem na výslednou kvalitu produktu a usnadnění práce operátora. Úprava tak nesouvisí s předchozím měřením a získanými výsledky. Jedná se o prvek používaný na všech linkách.

Této úpravě se týká rám, se kterým se tubus s trychtýřem instalují do balicího zařízení. Současný model trychtýře nemá nejvhodnější konstrukční uspořádání. Díky jeho současným parametrům může docházet k ovlivnění kvality výsledného produktu. K tomuto ovlivnění dochází především nekompletním propadem dávky skrze trychtýř do připraveného sáčku. Hlavní důvody nekompletního propadu dávky jsou způsobeny tvarem trychtýře, díky kterému může docházet k častému odražení elementů od stěn a rotaci kulatých elementů po obvodu stěn. Pokud se takto začne odrážet, či rotovat lehký element, tak je pravděpodobné, že nepropadne kompletně s dávkou. Problémové jsou také hrany spoje tubusu a trychtýře, od kterých se mohou elementy odrazit. Může také dojít k záměně a nesprávné instalaci tubusu a k němu odpovídajícímu trychtýře operátorem.

Dalším cílem konstrukční úpravy je také částečné snížení celkové hmotnosti. Jedná se o prvek, se kterým často manipuluje operátor, tudíž snížení hmotnosti je zde žádoucí. Ušetrí se poté manipulace při případně zakázce před spuštěním balicího procesu.

Významnou roli zde hraje také bezpečnost. Neměly by se tedy vyskytovat žádné ostré hrany a další rizikové prvky, o které by se mohl operátor při manipulaci poranit.

### Cíle nového návrhu

- **Nížší celková hmotnost** – snadná manipulace
- **Nerozebíratelný celek trychtýře s tubusem** – méně operací operátora na lince
- **Zamezení rotace elementů** – kvalita produktu

### Konstrukční návrhy

- **Základní rám**
- **Trychtýř s tubusem**
- **Držák pavec**
- **Držák trychtýře s tubusem**
- **Madlo**
- **Packa**



## 6.1 Stávající stav

Na následujících obrázcích (*Obr. 6 – 1*), (*Obr. 6 – 2*) a (*Obr. 6 – 3*) je názorná ukázka současného stavu. Trychtýř a tubus jsou zde samostatné prvky. Jedním z cílů nového konstrukčního řešení je tyto prvky spojit v jeden nerozebíratelný celek. Spojením se usnadní práce operátora, který musí s trychtýřem manipulovat.



*Obr. 6 – 1: Pohled na umístění trychtýře v balicím zařízení*



*Obr. 6 – 2: Pohled z boku*



*Obr. 6 – 3: Pohled shora*

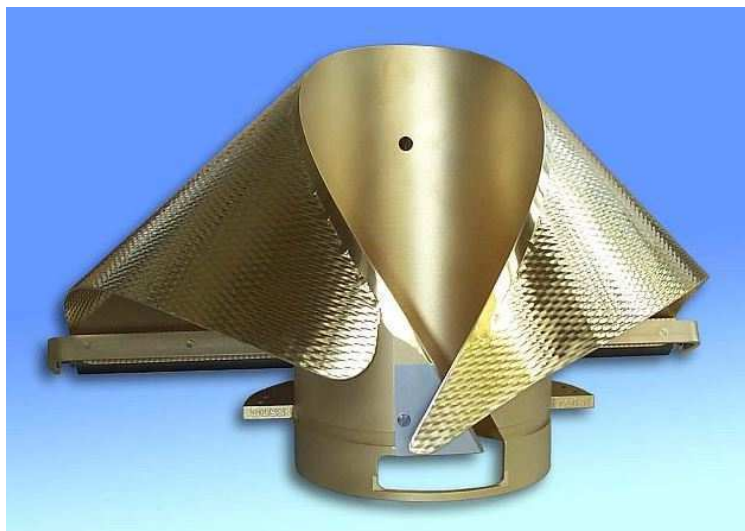


### 6.1.1 Formátovací límec

Přes formátovací límec je vedena fólie, ze které je následně vytvořen požadovaný sáček. Na obrázku sestavy (*Obr. 6 – 10*) není formátovací límec zobrazen, neboť se jedná o díl, který je dodáván samostatně a jeho tvar není dostupný pro zakreslení do 3D. V konstrukci jsou uvažovány jen díry v základním rámu pro uchycení formátovacího límce. Na obrázku *6 – 4* je uvedena ukázka formátovacího límce. S rostoucím průměrem vnitřního válce roste i velikost límce, tedy i podélná šířka límce, přes který je vedena fólie. Celkem je 5 možných variant, které jsou využívány pro balení. Parametry tubusu a límce jsou uvedeny v tabulce *6 – 1*.

PARAMETRY		
Rám	Průměr tubusu [mm]	Šířka límce [mm]
Žlutý	55,5	224,5
Černý	68	265
Modrý	87	330
Šedivý	107	386
Červený	124,5	443

*Tab. 6 – 1: Parametry tubusů a límců*

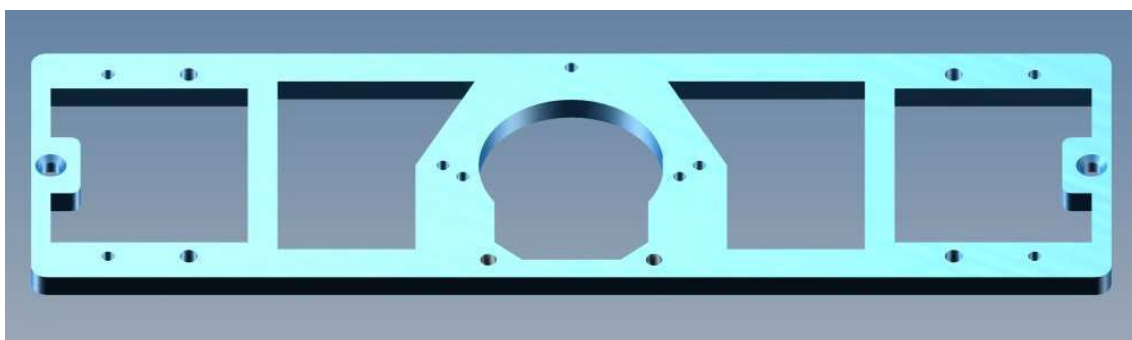


*Obr. 6 – 4: Ukázka formátovacího límce [6]*

## 6.2 Návrh

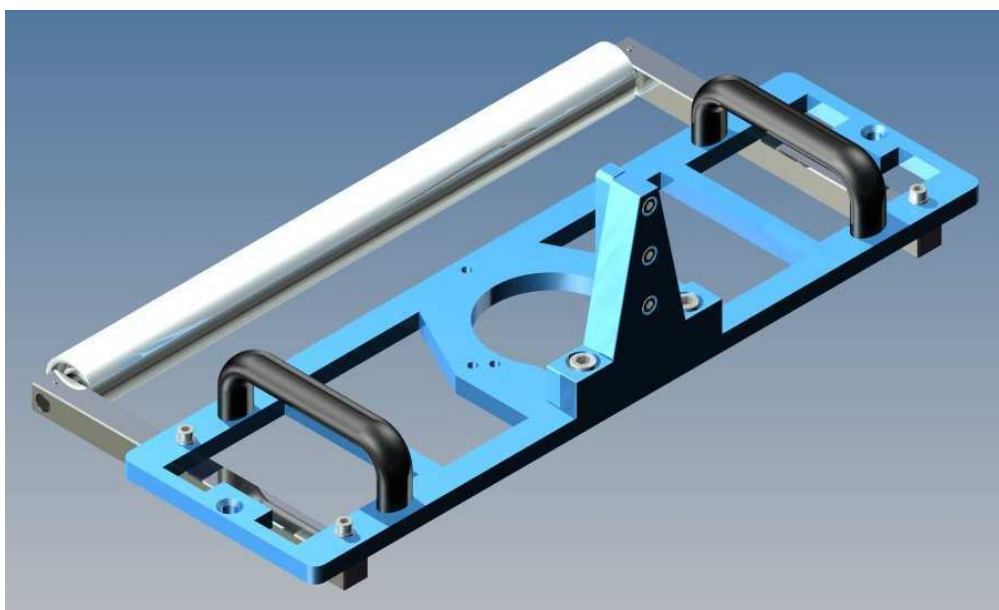
### 6.2.1 Základní rám

Jako první prvek, který byl konstrukčně upraven, je základní rám tubusu s trychtýřem (*Obr. 6 – 5*), ke kterému jsou přimontovány všechny další prvky. Ke změně zde došlo především ve snížení hmotnosti zvětšením plochy výřezů. Původní plocha výřezů byla přibližně  $17\,800\text{ mm}^2$ , zatímco současná plocha výřezů je  $39\,200\text{ mm}^2$ , tedy více jak dvojnásobek.



*Obr. 6 – 5: Model základního rámu*

Z hlediska bezpečnosti a zamezení poranění byly zaobleny rohy rámu a zkoseny veškeré hrany. Většina spojovacích šroubů byla s ohledem na možnost poranění zapuštěna. Na následujícím obrázku *6 – 6* lze vidět základní rám s dalšími prvky.

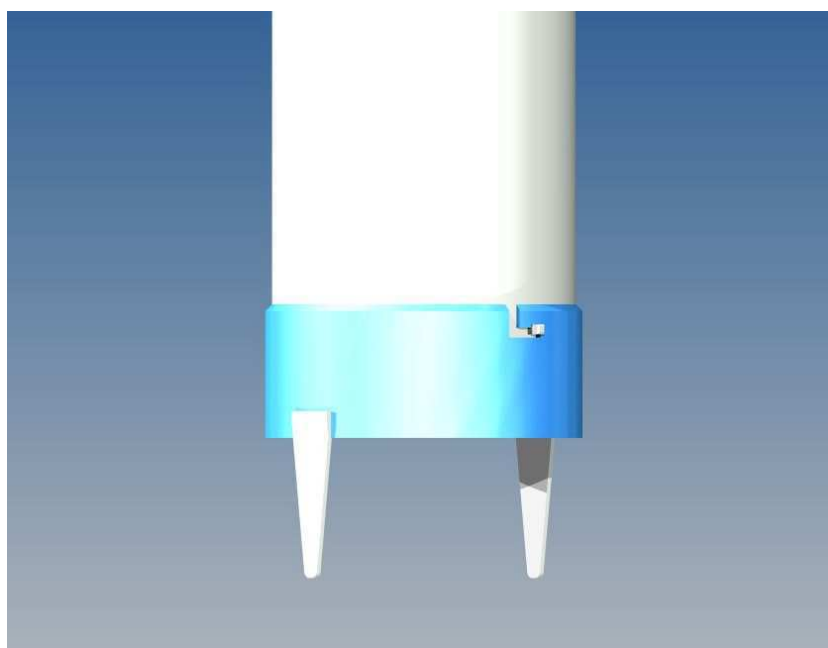


*Obr. 6 – 6: Základní rám s dalšími prvky*

## 6.2.2 Trychtýř s tubusem

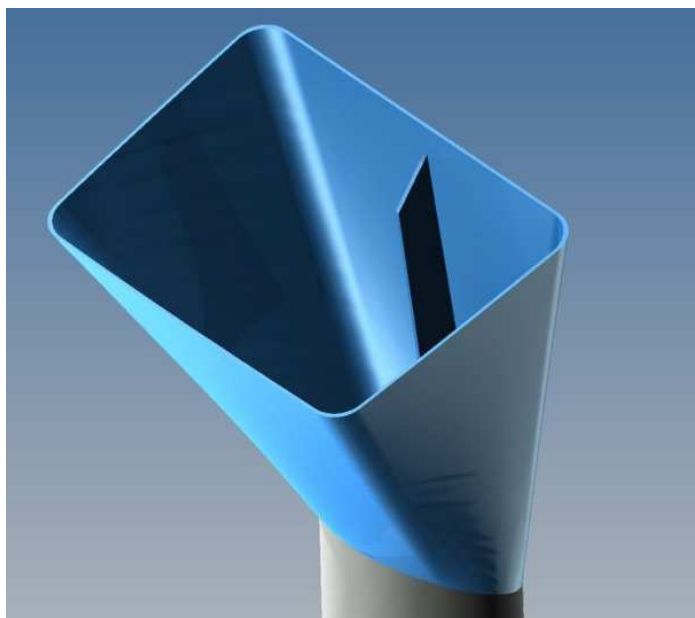
Hlavní změna se týkala především samotného trychtýře, který je umístěn v rámu. Původní trychtýř byl samostatný díl (*Obr. 6 – 2*), tudíž bylo nutné instalovat do balicího zařízení nejdříve rám s tubusem a poté v dalším kroku trychtýř. Navržený model však tvoří jeden celek. Je zde zapotřebí jen jedna operace pro instalaci do balicího zařízení. Ve výsledku tedy ubude operátorovi jedna pracovní operace. K tomuto celku je na zadní část přivařena podélná součást se třemi závitovými dírami. Tímto prvkem je trychtýř a tubus spojen s držákem, který je přimontován na základní rám.

Na konci tubusu jsou na výměnnou součást (*Obr. 6 – 7*), která je k tubusu připevněna pomocí bajonetového závitu, přivařeny dva elementy – packy, jejichž vzájemná vzdálenost je nastavena na požadovanou rozteč s ohledem na velikost prepacku. V původním provedení byly tyto packy přímo přivařeny na tubus. Jelikož dochází k časté manipulaci a dodatečnému ohýbání těchto pacek, jsou přivařeny na výměnnou součást.



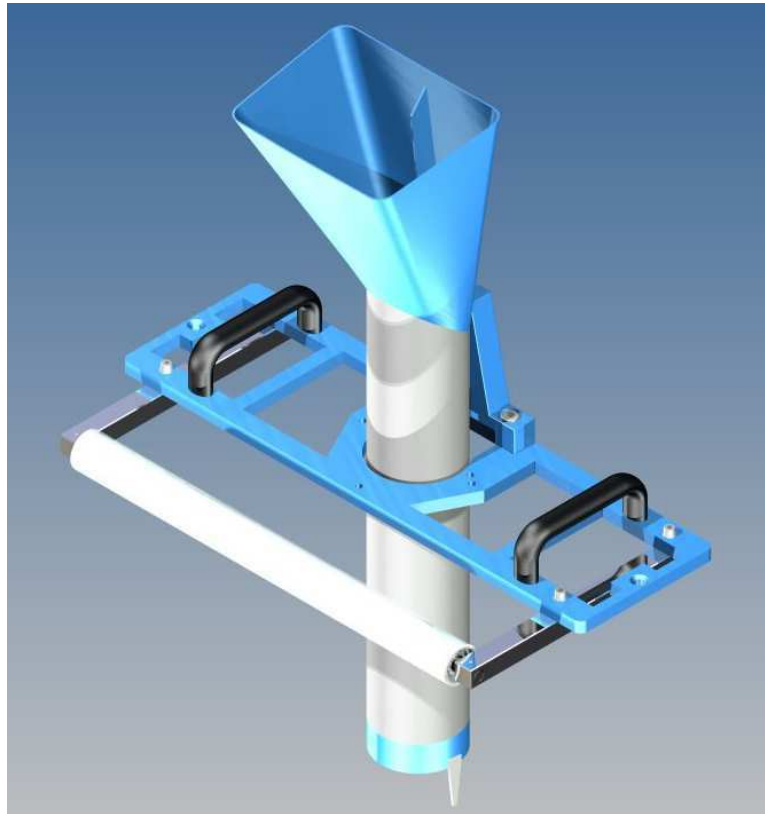
*Obr. 6 – 7: Výměnný držák – bajonetový závit*

Dalším cílem konstrukčních úprav bylo zabránění rotaci elementů při vsypání dávky elementů z bubnové váhy. Docházelo k tomu především při přítomnosti kulatých elementů či gumových pneumatik, které rotovaly po povrchu stěn a nestihly tak propadnout do sáčku společně s vsypanou dávkou. Tomu bylo zabráněno umístěním přepážky uvnitř trychtýře. Detail přepážky lze vidět na obrázku 6 – 8. Došlo také k plynulejšímu napojení a přechodu trychtýře v tubus. Stěny trychtýře jsou nyní přímější, než tomu bylo v původním provedení. Celkově je část trychtýře delší a stěny jsou plynuleji napojeny na tubus. Úhel rozevření trychtýře klesl přibližně o  $10^\circ$ . S rostoucím průměrem tubusu jsou stěny trychtýře více přímé a je tak zajištěn lepší propad elementů.



*Obr. 6 – 8: Detail trychtýře – přepážka*

Hlavními prvky tvořícími celou sestavu jsou tedy: základní rám, jezdce pro umístění do balicího zařízení, válec pro vedení fólie, madla pro manipulaci, držák trychtýře s tubusem, packy pro napnutí prepacku a trychtýř s tubusem. Celá sestava je znázorněna na obrázku 6 – 9.



*Obr. 6 – 9: Celková sestava*

Celkově je pro balení využíváno 5 typů trychtýřů s límci. Celkem je tedy pět variant, které se liší velikostí a jsou barevně odlišené. V rámci konstrukce jsem se zabýval jen konstrukcí bez formátovacího límce. Formátovací límce je detailněji popsán v předchozí kapitole 6.1.1. Navrhl jsem základní rámy pro všechna provedení. Trychtýř s tubusem jsem navrhl jen v jednom provedení. Pro finální konstrukci trychtýře s tubusem by byly nutné testy mého návrhu z hlediska propadu elementů.

Při aplikaci na všechny využívané typy se mění jen některé prvky. Následně jsou uvedeny proměnné a shodné prvky konstrukce pro všechny typy používaných trychtýřů a tubusů.

**Proměnné prvky:**

- Jezdec pro umístění do balicího zařízení – délka
- Základní rám – průměr pro tubus
- Trychtýř s tubusem – průměr tubusu

### **Shodné prvky:**

- Madla pro manipulaci
- Držák tubusu s trychtýřem
- Válec pro odvíjení fólie

## **6.3 Zhodnocení konstrukce**

Návrhem nové konstrukce by mělo dojít k celkovému zjednodušení výroby základních ráků a dalších prvků. Usnadněna by měla být i manipulace při instalaci. Ve výkresové dokumentaci jsou uvedeny celkem tři varianty pro základní rám. První varianta je pouze pro žlutý tubus s rozměrem 55,5 mm, další varianta je univerzální pro dvě provedení, konkrétně pro černý tubus s průměrem 68 mm a pro modrý tubus s průměrem 87 mm. Třetí varianta je opět použitelná pro dvě varianty, tedy pro šedivý tubus s průměrem 107 mm a červený tubus s průměrem 124,5 mm.

Trychtýř s tubusem se liší jen průměrem tubusu. Horní část, do které jsou vsypávány elementy má rozměry vstupujících hran u všech provedení totožné. S rostoucím průměrem tubusu se mění jen tvar přechodové části, která je u větších průměrů více přímá. Celková délka je také neměnná. To samé platí pro prvek uchycený bajonetovým závitem, na který jsou přivařovány packy, u tohoto prvku se mění jen průměr.

Dalším shodným prvkem pro všechny provedení je držák trychtýře s tubusem, který je upevněn na základní rám. Tento prvek je shodný pro všech pět variant. Tubus s trychtýřem je k držáku připevněn pomocí destičky se třemi závitovými dírami, která je přivařena na zadní část tubusu. Madla pro manipulaci jsou pro všechny varianty také totožné. Jezdce pro umístění do balicí linky a trubka, přes kterou je odvíjena fólie přiváděná na formátovací límec, jsou převzaty ze stávajícího řešení.

## 7. ZÁVĚR

Předmětem této diplomové práce byl popis výrobní technologie a základních procesů ve společnosti **LEGO Production s.r.o.** v divizi Balení elementů do sáčků. V první části jsem provedl popis celého výrobního procesu a uvedl jsem popis jednotlivých zařízení, ze kterých je balicí linka tvořena. Dále jsem se věnoval popisu měření a analýze kritických míst. Z těchto kritických míst byla vybrána konkrétní místa, na která jsem se zaměřil. V poslední části jsem se věnoval konstrukční úpravě trychtýře s tubusem a základního rámu.

Při měření byly proměřované následující prepackové linky:

- **DSPP 60B, DSPP 62B, DSPP 63B, DSPP 65B, DSPP 66B, DSPP 68B**

Na vybraných linkách byly testovány vybrané TOP produkty:

- **Prepack ID – 6104333, 6103020, 6107666, 6070090, 6115107**

Měřením byly stanoveny **výstupy** jednotlivých linek:

- **Nejvýkonnější linka – DSPP 62B** s výstupem **41,1 ks/min**
- **Nejméně výkonná linka – DSPP 60B** s výstupem **38,9 ks/min**

Na základě rozdílné výkonnosti linek byla proměřována **kritická místa**:

- **Doba vážení**
- **Pozice trychtýře vůči bubnové váze**
- **Doba otevírání a uzavírání klapek**

Navrhl jsem následující doporučení:

- **Pozice trychtýř – bubnová váha: Mezera 20 mm**
- **Klapky nad bubnovou váhou: Seřízení klapek na 185 ms**

Provedl jsem konstrukční úpravu stávajícího řešení a dosáhl tím následujícího:

- **Nižší celková hmotnost** – snadná manipulace
- **Nerozebíratelný celek trychtýře s tubusem** – méně operací
- **Zamezení rotace elementů** – lepší propad elementů

Celkovou možnou úsporu jsem vyčíslil v kusech prepacků za den.

- Celková úspora při vyladění linek na výkonnost DSPP 62B: **40 000 ks/den**
- Úspora při mezeře 30 mm oproti 0 mm: **27 000 ks/den**

Celkově však doporučuji provést další měření s odlišnými prepacky.

Součástí diplomové práce je výkresová dokumentace konstrukčního návrhu.



## SEZNAM SYMBOLŮ

$\bar{x}$	aritmetický průměr	[-]
$n$	počet hodnot	[1]
$x_i$	hodnota doby vážení	[ms]
$a$	libovolná hodnota	[1]
$s^2$	rozptyl	[1]
$s$	směrodatná odchylka	[1]
$s_i^2$	populační parametr	[1]
$\Delta V$	rozdíl výstupu linky oproti stávajícímu stavu	[ks/min]
$V_O$	výstup linky po optimalizaci	[ks/min]
$V_S$	stávající výstup linky	[ks/min]
$V_1$	celkový výstup linky DSPP 62B	[ks/den]
$V_2$	celkový výstup linky DSPP 60B	[ks/den]
$V_{CV}$	celkový výstup s ohledem na výkonnost linek	[ks/den]
$V_0$	výstup linky DSPP 65B při mezeře 0mm	[ks/den]
$V_{30}$	výstup linky DSPP 65B při mezeře 30mm	[ks/den]
$V_R$	rozdíl výstupu linky DSPP 65B s odlišnou mezerou	[ks/den]
$V_C$	nárůst výroby při 30 mm oproti 0 mm	[ks/den]
$n_L$	počet DSPP linek	[ks]
$t$	doba výroby	[hod]

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A CITACE

- [1] LEGO Factory Billund. In: *LEGO.com* [online]. [cit. 2014-12-12]. Dostupné z: <http://aboutus.lego.com/cs-cz/news-room/media-assets-library/images>
- [2] About us. ©2015 *The LEGO Group*. [online]. 23.6.2015 [cit. 2015-06-23]. Dostupné z: <http://www.lego.com/cs-cz/aboutus>
- [3] Typy hadicových sáčků. In: VELTEKO – packing machines [online]. [cit. 2014-12-12]. Dostupné z: <http://www.velteko.cz/sacky/prehled-typu-sacku/>
- [4] Taghleef Industries Group. Taghleef Industries. [online]. 5.4.2015 [cit. 2015-04-05]. Dostupné z: [https://www.ti-films.com/pages/products/PDF\\_products/TSS\\_ME.pdf](https://www.ti-films.com/pages/products/PDF_products/TSS_ME.pdf)
- [5] Ambros, F., Dufek, M.: Experimentální metody. Cvičení. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1990 - 148 s.
- [6] Round forming shoulders. Toss machine components. [online]. 16.6.2015 [cit. 2015-06-16]. Dostupné z: [http://www.tossformers.com/standard/Round\\_forming\\_shoulders/formschulter1413.jpg](http://www.tossformers.com/standard/Round_forming_shoulders/formschulter1413.jpg)

## SEZNAM PŘÍLOH

### CD

#### Výkresová dokumentace

#### DATA NA CD:

#### Výkresová dokumentace

- 2015\_DP\_1 – (1, 2, 3) – rám (žlutá, černá a modrá, šedivá a červená)
- 2015\_DP\_2 – trychtýř s tubusem
- 2015\_DP\_3 – držák trychtýře s tubusem
- 2015\_DP\_4 – madlo
- 2015\_DP\_5 – držák pacek
- 2015\_DP\_6 – packa
- 2015\_DP\_7 – držák – packy
- 2015\_DP\_8 – sestava
- 2015\_DP\_9 – kusovník

#### „DSPP\_TESTING\_ALL“

V tomto souboru jsou uvedena data jednotlivých měření pro všechny linky a jejich vyhodnocení. Jsou zde porovnány průběhy jednotlivých vážení, dále jsou porovnány rozdílné prepacky. Součástí jsou také data z měření při odlišných pozicích bubnové váhy a trychtýře a také samotné vyhodnocení.

#### „DSPP\_KLAPKY\_ALL“

Soubor obsahuje naměřená data a vyhodnocení z měření doby otevírání a uzavírání klapek nad bubnovou váhou.

#### „DP\_JM\_2015“

Text diplomové práce.