

# Inovace procesu skládání a dopravy kartonových krabic zavedením jednouúčelového stroje

## Diplomová práce

*Studijní program:*

N2301 Strojní inženýrství

*Studijní obor:*

Inovační inženýrství

*Autor práce:*

**Bc. Lukáš Vávra**

*Vedoucí práce:*

doc. Ing. Michal Petrů, Ph.D.

Katedra částí a mechanismů strojů





## Zadání diplomové práce

# Inovace procesu skládání a dopravy kartonových krabic zavedením jednouúčelového stroje

*Jméno a příjmení:* **Bc. Lukáš Vávra**  
*Osobní číslo:* S19000219  
*Studijní program:* N2301 Strojní inženýrství  
*Studijní obor:* Inovační inženýrství  
*Zadávací katedra:* Katedra částí a mechanismů strojů  
*Akademický rok:* **2020/2021**

### Zásady pro vypracování:

Navrhněte konstrukci inovovaného zařízení pro skládání a dopravu kartonových krabic z předem definovaného speciálního polotovaru. Zařízení musí splňovat požadavky dané geometrií polotovaru kartonové krabice.

Konstrukční návrh musí splňovat následující parametry:

Zařízení bude pracovat v taktu zhotovení dvou kartonových krabic za 9s. Dále je nutné dodržet tyto požadavky:

- Maximální zástavbové rozměry stroje: 1500x3500x2500 mm (ŠxHxV).
- Zařízení musí být schopné pracovat alespoň 20 minut bez dodávky zásoby polotovarů.
- Zhotovené krabice musí ze stroje vystupovat v dané výšce: 660 mm.
- Zhotovené krabice musí ze stroje vystupovat v dané poloze: vždy dvě vedle sebe

### Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s dosavadním stavem řešení konstrukčních systémů pro skládání a dopravu kartonových krabic ve vztahu k tématu práce a tento stav popište.
2. Provedte průzkum potenciálních řešení, včetně patentové rešerše.
3. Navrhněte min. tři koncepty možných řešení odstraňující zjištěné nedostatky, při zachování daných prostorových dispozic. Navržené varianty objektivně zhodnoťte a proveďte výběr nejlepší varianty metodou AHP.
4. Vybraný koncept optimalizujte z hlediska inovačních metod DFX, FMEA a dalších metod v oblasti předvýrobních etap. Využijte 40 invenčních principů pro řešení inovačního projektu.
5. Provedte detailní konstrukci vybrané varianty a pevnostní výpočty vybraných dílů (3D sestava, výkresová dokumentace)
6. Ekonomické zhodnocení
7. Závěrečné zhodnocení

*Rozsah grafických prací:*  
*Rozsah pracovní zprávy:*  
*Forma zpracování práce:*  
*Jazyk práce:*

přílohy dle potřeby  
50  
tištěná/elektronická  
Čeština



### **Seznam odborné literatury:**

- [1] PEŠÍK, L. Části strojů. 1. díl. Liberec: Technická univerzita 2005. ISBN 978-80-7372-573-0
- [2] PEŠÍK, L. Části strojů. 2. díl. Liberec: Technická univerzita 2005. ISBN 978-80-7372-574-7
- [3] MAŠÍN I. a P. JIRMAN. Metody systematické kreativity. Liberec: Technická univerzita v Liberci 2012. ISBN 978-80-7372-853-3
- [4] MAŠÍN I., PETRŮ, M., NOVÁK, O. Metody inovačního inženýrství na mikro-úrovni , Technická univerzita v Liberci v Liberci 2015, str.270, ISBN 978-80-7494-187-0
- [5] MAŠÍN I. a L. ŠEVČÍK. Metody inovačního inženýrství: Inovace, plánování a navrhování výrobku. Vyd. 1. Liberec: Institut technologií a managementu, 2006. ISBN 80-903533-0-4
- [6] MAŠÍN, I. Inovační inženýrství – Plánování a návrh inovovaného výrobku. 1. vydání. Liberec: TUL, 2012. 168s. ISBN 978-80-7372-852-6.
- [7] PETRŮ, M., NOVÁK, O., LEPŠÍK, P., VOSAHLA, J. Modelování textilních útvarů I – příklady pro cvičení , TU v Liberci, str.190, ISBN 978-80-7494-181-8
- [8] LEINVEBER, J. a P. VÁVRA. Strojnické tabulky. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4
- [9] Databáze knihovny TUL

*Vedoucí práce:*

doc. Ing. Michal Petrů, Ph.D.  
Katedra částí a mechanismů strojů

*Datum zadání práce:*

25. listopadu 2020

*Předpokládaný termín odevzdání:*

25. května 2022

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld  
děkan

L.S.

prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.  
vedoucí katedry

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má diplomová práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

26. května 2021

Bc. Lukáš Vávra

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval doc. Ing. Michalu Petřů, Ph.D. za odborné vedení této diplomové práce, ochotu, konzultace a cenné rady. Také bych rád poděkoval pracovníkům TUL za spolupráci na konstrukci zařízení pro zhotovení kartonových krabic. Zároveň bych rád poděkoval své rodině a známým za trpělivost a podporu, kterou mi v době mých studií a při psaní této diplomové práce věnovali.

## **Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá návrhem konstrukce zařízení pro zhotovení kartonových krabic a jejich dopravu do další části výrobní linky. V práci jsou uvedeny vstupní parametry dány požadavky zákazníka. Další část práce je zaměřena na analýzu současného stavu a následně jsou vygenerovány koncepty s pomocí patentové rešerše. Dále byl proveden návrh tří konceptů, jejich princip je vysvětlen a znázorněn pomocí 3D modelů. Poté je uvedeno zhodnocení konceptů a následuje výběr finálního konceptu. Vybraný koncept byl optimalizován pomocí metod DFX a FMEA. Další obsáhlou část práce tvoří detailní konstrukce stroje. V této části jsou vybrány a zkontrolovány jednotlivé prvky stroje. Ke kompletnímu zařízení je vypracován 3D model a k diplomové práci je přiložena výkresová dokumentace.

## **Klíčová slova**

Konstrukce strojů, jednoúčelové stroje, skládání krabic, kartonové krabice, inovace

## **Abstract**

The diploma thesis is aimed at the design of a device for the production of cardboard boxes and their transport to the other parts of the production line. In the thesis, the input parameters of the customer are stated. The next part of the thesis is aimed at the analysis of the current state and then concepts are generated using patent search. Furthermore, the design of three concepts was proven, their principle is explained and illustrated using 3D models. Then the evaluation of concepts is stated and the final concept is selected. The selected concept was optimized using DFX and FMEA methods. The next comprehensive part of the thesis is aimed at the detailed construction of the device. In this part, the individual elements of the device are selected and checked. There is a 3D model constructed for the device and mechanical drawings are attached to the diploma thesis too.

## **Key words**

Machines design, single-purpose machines, folding boxes, cardboard boxes, innovation

## Obsah

<b>1. Úvod</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Cíl práce</b> .....	<b>2</b>
<b>3. Podrobný popis řešeného problému</b> .....	<b>4</b>
3.1. Výchozí polotovar.....	4
3.2. Analýza procesu .....	6
<b>4. Analýza současného stavu</b> .....	<b>7</b>
4.1. Stroje pro skládání kartonových krabic.....	7
<b>5. Generování konceptů</b> .....	<b>11</b>
5.1. Patentová rešerše .....	11
5.1.1. Patent DE102017200507A1.....	12
5.1.2. Patent DE2923909A1.....	14
5.1.3. Patent WO2015039669A1.....	15
<b>6. Návrh konceptů řešení</b> .....	<b>16</b>
6.1. Koncept 1.....	16
6.2. Koncept 2.....	18
6.3. Koncept 3.....	21
<b>7. Výběr finálního konceptu</b> .....	<b>23</b>
<b>8. Optimalizace vybraného konceptu</b> .....	<b>26</b>
8.1. Metody DFX .....	26
8.1.1. Design for Assembly.....	27
8.1.2. Design for Manufacture .....	27
8.1.3. Design for Disassembly.....	27
8.1.4. Design for Environment.....	28
8.1.5. Design for Cost .....	28
8.1.6. Design for Safety .....	28



8.2.	Metoda FMEA-K.....	29
<b>9.</b>	<b>Detailní konstrukce stroje.....</b>	<b>31</b>
9.1.	Výpočet velikosti zásobníku polotovarů.....	31
9.2.	Pohon polotovarů v zásobnících .....	32
9.3.	Kontrola pevného dorazu.....	34
9.4.	Návrh manipulačních přísavek.....	39
9.5.	Pohony křížového manipulátoru .....	41
9.5.1.	3D model skládacího mechanismu .....	42
9.5.2.	Pneumatický pohon křížového manipulátoru .....	43
9.5.3.	Elektrický pohon křížového manipulátoru.....	44
9.5.4.	Kontrola výsledného taktu stroje .....	47
9.6.	Výsledný stroj .....	49
<b>10.</b>	<b>Ekonomické zhodnocení.....</b>	<b>51</b>
<b>11.</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>52</b>
	<b>Použitá literatura .....</b>	<b>54</b>
	<b>Seznam použitých zkratk a symbolů.....</b>	<b>56</b>
	<b>Seznam příloh.....</b>	<b>57</b>

# 1. Úvod

Současnou kulturu všech vyspělých zemí Evropy, USA a velkých světových měst představuje konzumní společnost. Konzumní způsob života lidem přináší dostupnost jakéhokoliv zboží v jakémkoliv objemu. Pokud je ale konzumní společnost chápána ze strany výrobců, znamená to snižování nákladů a sériovou výrobu, což vede k vyšším ziskům [1].

Důsledkem konzumního způsobu života je vysoká poptávka výrobků. Díky technologickému pokroku v posledních letech stále roste objem výroby, zároveň se snižují výrobní náklady a zvyšuje se efektivita výroby. Tyto protichůdné požadavky průmyslu mohou splnit kvalitní, efektivní a spolehlivé jednoúčelové stroje, které se nachází v celém výrobním procesu.

V průmyslové výrobě jsou kladeny vysoké nároky na cenu, čas, přesnost a sériovost, a proto mají stroje v průmyslu své nenahraditelné místo a nahrazují lidskou práci. Všechny tyto skutečnosti vedou k odstranění prostojů, neefektivních, opakujících se činností a zeštíhlování výroby [2].

Nedostatek lidské pracovní síly nahrazují již zmíněné jednoúčelové stroje. Stroje také pomáhají snižovat, eliminovat zátěž na pracovníky, kteří vykonávají monotónní, opakující se činnost. Dalším trendem pro zavádění jednoúčelových strojů do výroby je eliminace škodlivých vlivů, které působí na pracovníka. Největším problémem je častá, opakující se práce nebo práce s malými díly, která může způsobit zdravotní problémy rukou nebo například zrakové problémy pracovníka. Tyto skutečnosti potvrzují, že je vhodné u opakujících se činností výrobu částečně nebo plně automatizovat.

Požadavkem tedy je, aby se jednoúčelové stroje konstruovaly jako bezpečné a samostatně pracující s nízkými nároky na obsluhu kvalifikovanými pracovníky. Samozřejmě vývoj nových jednoúčelových strojů by měl být proveden tak, aby výsledný návrh byl konkurence schopný a umožňoval se přizpůsobit vývoji výrobku a částečným změnám při co nejnižších investicích.

## 2. Cíl práce

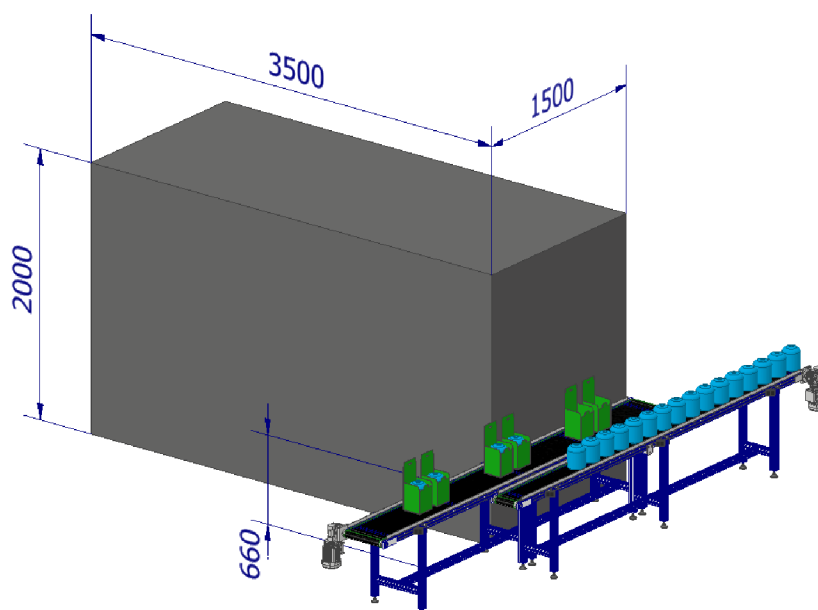
Cílem této diplomové práce je návrh konstrukce zařízení pro zhotovení kartonových krabic a jejich dopravu do další části linky. Toto zařízení bude jednou z částí výrobní linky olejových filtrů do nákladních automobilů.

Vstupními prvky do tohoto stroje budou kartonové polotovary vyrobené z vlnité lepenky tloušťky 2,5 mm. Tento polotovar lze vidět na Obr. 2.1. Polotovary jsou nakupovány od dodavatele a jejich výroba a příprava tedy nejsou součástí této linky.



*Obr. 2.1 Kartonový polotovar*

Hlavní funkcí navrhovaného stroje bude dopravit a rozložit kartonový polotovar, tím zhotovit krabici a následně ji dopravit do další části balící linky. Následná doprava zhotovených krabic bude zajištěna pásovým dopravníkem, který bude součástí další sekce linky. V této části operátor do krabic vkládá olejové filtry pomocí vakuových manipulátorů, proto je požadováno, aby krabice z navrhovaného stroje vystupovaly vždy dvě najednou, stojící vedle sebe a čelem ven z rozkládacího stroje. Tento stav lze vidět na Obr. 2.2.



*Obr. 2.2 Poloha stroje, krabice na výstupu ze stroje*

Jedná se tedy o technický systém, kde na vstupu jsou dodávány polotovary a na výstupu dvě hotové krabice vedle sebe. V Tab. 2.1 jsou uvedeny technické parametry a omezení, které musí navrhované zařízení splňovat.

*Tab. 2.1 Zadané parametry*

Parametr	Hodnota
Rozměry kartonového polotovaru (VxŠxH)	347 x 287 x 10 mm
Rozměry hotové krabice (VxŠxH)	347 x 142 x 142 mm
Hmotnost polotovaru (krabice)	64 g
Tloušťka kartonové lepenky	2,5 mm
Doba cyklu stroje (2 hotové krabice)	9 s
Čas bez dodávky polotovarů do zásobníku	20 min
Zástavbové rozměry stroje (VxŠxH)	2000 x 1500 x 3500 mm
Výška pásového dopravníku v další části linky	660 mm

Následně má být tento návrh optimalizován z hlediska inovačních metod DFX a FMEA-K. Po provedení těchto optimalizací se bude práce zabývat detailní konstrukcí stroje a volbou důležitých komponent, včetně výpočtů hlavních charakteristik. Výsledkem bude 3D model celého stroje a výkresová dokumentace vybraných částí. Na závěr této práce bude uvedeno ekonomické zhodnocení a výsledné celkové zhodnocení.

### 3. Podrobný popis řešeného problému

Pro návrh kvalitního konstrukčního řešení by počáteční fází každého inovačního procesu měla být analýza a identifikace konkrétního problému. Proto se tato kapitola nejprve zaměří na zadaný polotovar a dále na proces, jakým by měla být zhotovena výsledná krabice.

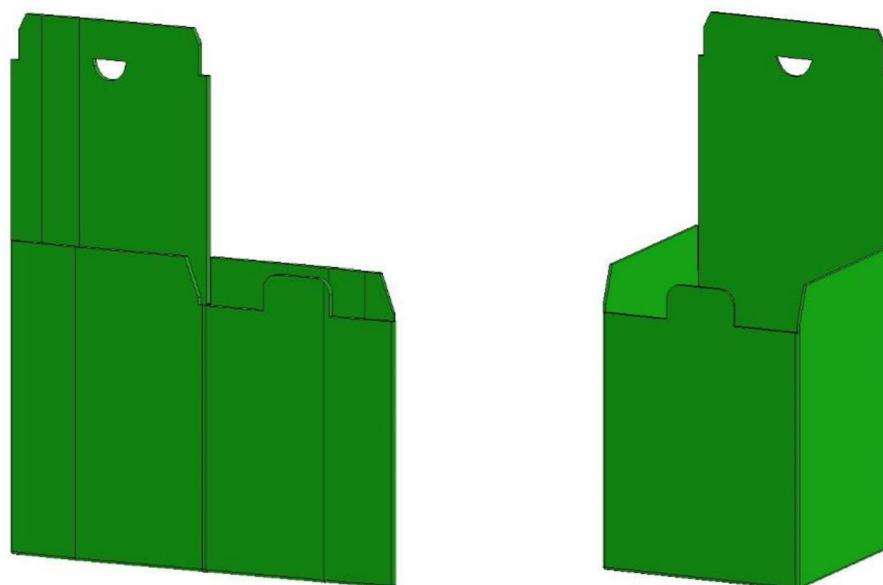
#### 3.1. Výchozí polotovar

Vstupním prvkem do tohoto technického systému je dodávaný polotovar z vlnité lepenky. Jedná se o třívrstvou lepenku tloušťky 2,5 mm. Celková tloušťka polotovaru je  $h = 10\text{ mm}$ . Pro lepší představu je polotovar vyobrazen na Obr. 3.1 ve složeném, částečně rozloženém a úplně rozloženém stavu.



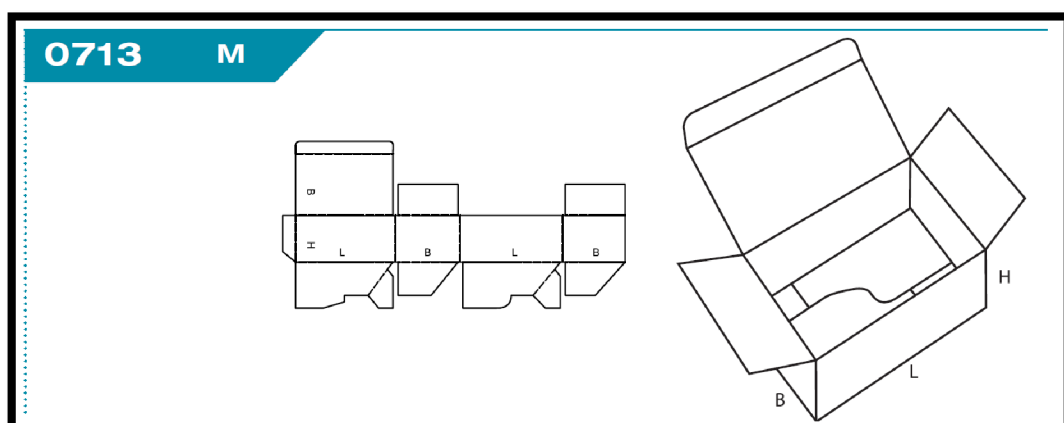
*Obr. 3.1 Výchozí polotovar – částečně rozložený a úplně rozložený stav*

Z tohoto polotovaru byl následně vytvořen 3D model (Obr. 3.2), který bude použit při generování a zpracovávání konceptů.



*Obr. 3.2 3D model výchozího polotovaru*

Kartonové obaly se podle typu konstrukce dělí do různých skupin podle katalogu, který vydala Evropská federace výrobců vlnité lepenky. Tento katalog přiřazuje každému typu konstrukce čtyřmístný číselný kód, tzv. FEFCO kód. FEFCO kód byl původně vyvinut, aby nahradil dlouhý a komplikovaný slovní popis konstrukce obalů odlišnými kódy a vzory, a tím zjednodušil komunikaci mezi zákazníky a výrobci papírových obalů po celém světě. Ukázku jedné položky z tohoto katalogu lze vidět na Obr. 3.3 [3].



*Obr. 3.3 Ukázka položky z katalogu FEFCO [3]*

Z obrázku je zřejmé, že polotovar, kterým se zabývá tato práce, je typu FEFCO 0713, což může být využito při následné analýze současného stavu strojů pro skládání krabic.

### **3.2. Analýza procesu**

Většina současných problémů spojených s konstrukcí inovovaného výrobku je příliš komplexní na to, aby se řešila v jednom kroku, jako jediný velký problém, a proto je vhodné nejprve provést dekompozici problému, tedy rozdělit složitý problém na několik dílčích jednodušších problémů [4].

Hlavním problémem řešeným v této diplomové práci je zhotovení kartonové krabice pro balení olejových filtrů. Tento problém lze rozdělit na tři dílčí problémy. Těmito problémy je doprava kartonového polotovaru na místo, kde bude polotovar rozložen. Dále následuje problém ohledně složení krabice z kartonového polotovaru. Třetím řešeným dílčím problémem je doprava hotové krabice z místa složení na pásový dopravník. Pro řešení těchto dílčích problémů je vhodné tyto procesy co nejobecněji popsat. Následně díky tomuto popisu lze provést funkčně-objektové vyhledávání v kyberprostoru.

#### **Obecný popis dílčích problémů**

1. Doprava kartonového polotovaru na místo složení
  - Manipulace s lepenkou
  - Pohyb plochým předmětem (2D prvkem)
2. Rozložení kartonového polotovaru – zhotovení krabice
  - Napřímení krabice
  - Pohyb plochým předmětem (2D prvkem)
  - Ohýbání lepenkového materiálu
3. Doprava hotové krabice na pásový dopravník
  - Manipulace s kartonovou krabicí
  - Pohyb 3D objektem (objemným objektem)

Všechny tyto obecné popisy lze použít při vyhledávání možných řešení dílčích problémů.

## 4. Analýza současného stavu

Strojů pro skládání a manipulaci s lepenkovým materiálem existuje mnoho, ale pouze některé z nich skládají stejný typ krabic, jako je zadáno v této práci. Proto byl proveden průzkum zařízení pro skládání obdobných krabic. V této kapitole budou popsány vybrané takové stroje, které by mohly mít přínos do nové inovativní konstrukce.

### 4.1. Stroje pro skládání kartonových krabic

#### i. SIAT S.p.A.

Firma Siat je výrobce strojů pro balení výrobků. Siat vyrábí stroje pro skládání krabic z kartonového polotovaru a pro manipulaci se složenou krabicí, dále vyrábí stroje pro páskování samolepicí páskou nebo například stroje pro balení do strečové fólie.

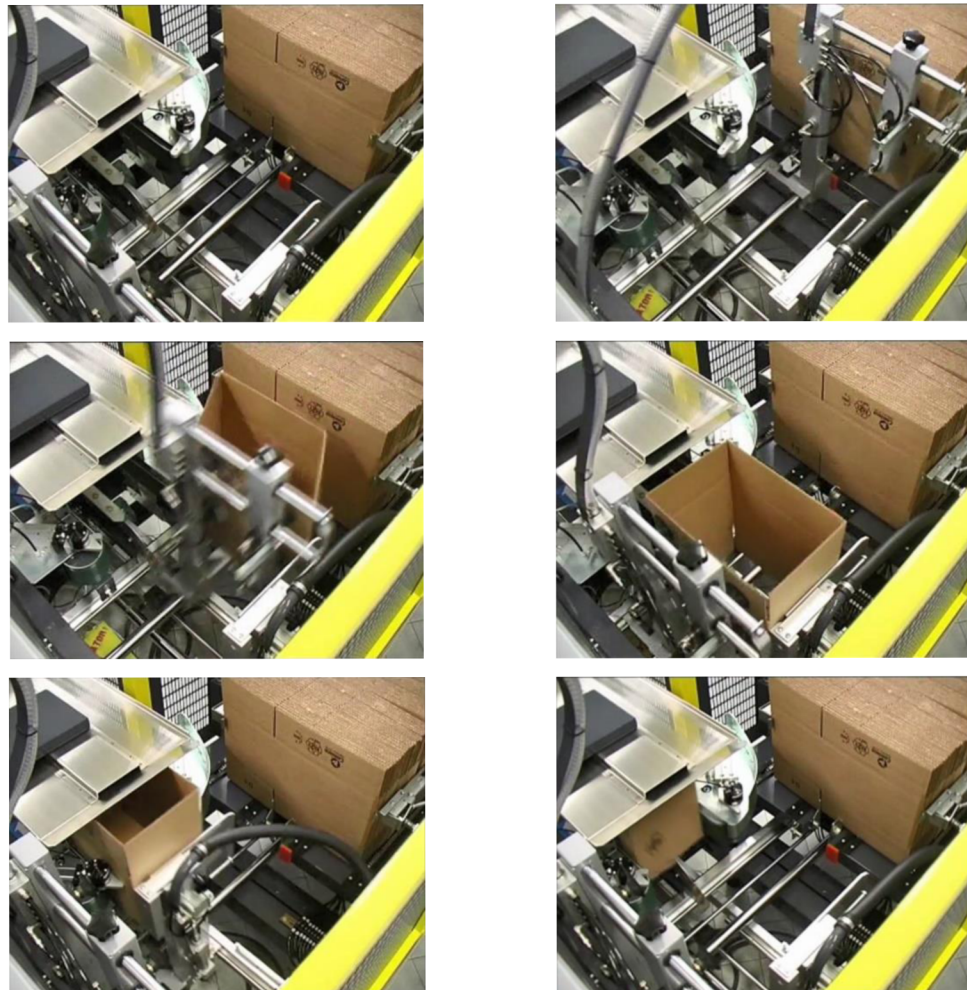
Automatické formátovací stroje, které nabízí firma Siat se principem velmi blíží k řešeným problémům konstrukce jednorúčového stroje v této diplomové práci. Výhodnými konstrukčními řešeními jsou například způsob řešení zásobníku s mechanickým přitlačným prvkem, rozkládání kartonového polotovaru do 3D tvaru pomocí plechového náběhu a doprava hotové krabice z místa skládání pomocí dvou pásových dopravníků umístěných po boku krabice. Celkovou koncepcí stroje lze vidět na Obr. 4.1.



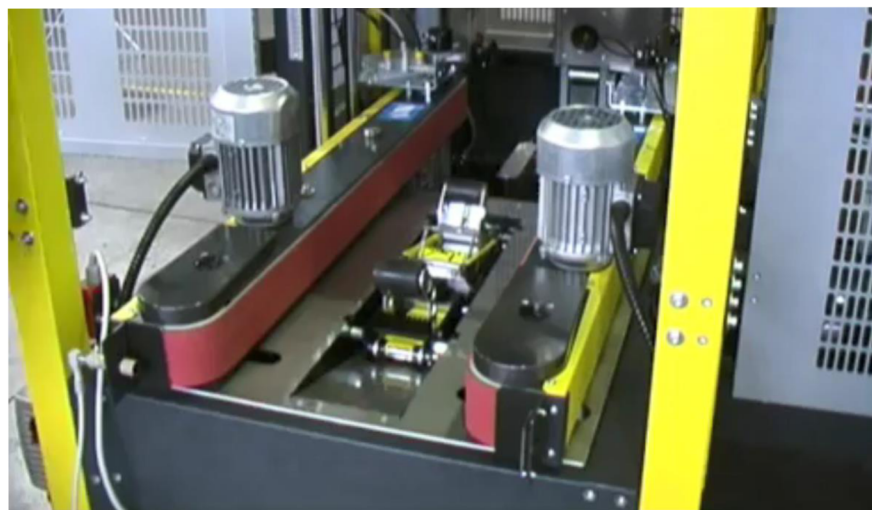
*Obr. 4.1 Automatický skládací stroj Siat [5]*



Podrobný postup činnosti stroje je vyobrazen na Obr. 4.2 a na Obr. 4.3 lze vidět řešení dopravy hotové krabice zajištěné pásovými dopravníky umístěnými po boku krabice na výstupu ze stroje.



*Obr. 4.2 Postup činnosti stroje Siat [5]*



*Obr. 4.3 Siat – výstup ze stroje [5]*

Tyto automatické skládací stroje jsou koncipovány tak, že vstup kartonového polotovaru je vůči výstupu hotové krabice pootočen o 90°. Vyrábějí se ve verzi s levým výstupem (SX) nebo pravým výstupem (DX).

Stroj lze objednat v různých variantách, které se liší podle celkové výkonnosti a podle rozměru skládané krabice.

## ii. COMBI PACKAGING SYSTEMS

Firma Combi packaging systems poskytuje různá řešení strojů pro průmyslové balení. Vyrábí například uzavírače krabic, baličky různých krabic, ruční balící stanice nebo také robotické a zcela automatizované robotické balící systémy.

Pro tuto diplomovou práci jsou nejvíce využitelná automatizovaná balící zařízení, která složením kartonové krabice mohou zvýšit produktivitu výroby a uspořit čas. Tato firma nabízí v rámci těchto automatizovaných balících zařízení různé zásobníky na kartonové polotovary. Jedním ze zajímavých řešení pro návrh stroje je gravitační zásobník, který je viditelný na Obr. 4.4.



*Obr. 4.4 Nakloněný zásobník [6]*

### iii. LANTECH

Společnost Lantech je všeobecně uznávaná jako světový lídr v oblasti technologie manipulace a lepení obalů. Dále se také specializují na manipulaci a obalování palet pomocí tenké fólie.

Stroje pro manipulaci krabic rozdělují do dvou skupin:

- Case erectors – stroje pro stavění krabic
- Case sealers – stroje pro lepení krabic

Ale vyrábí i stroje, které kombinují vlastnosti těchto dvou skupin. Pro tuto práci mohou být přínosné zejména stroje pro stavění krabic. Těchto strojů firma Lantech vyrábí velké množství, pro různé typy krabic a s rozdílnými parametry, například velikost krabic nebo rychlost složení jednoho kusu. Jako příklad lze uvést stroj C-1000, který je schopný složit až 25 kusů krabic za minutu. Stroj je zkonstruován tak, že polotovary vstupují z boční strany oproti výstupu. Zásobník je v tomto případě řešen pomocí pásových dopravníků. K rozložení krabice dojde vlivem působení rozkládacího mechanismu, který je osazen vakuovými savkami. Výstupní pohon je také řešen pomocí pásových dopravníků. Podrobnější informace a fotky stroje lze vidět na Obr. 4.5.



*Obr. 4.5 Ukázka stroje Lantech C-1000 [7]*

## 5. Generování konceptů

Koncept je popisem technologie, funkčních principů a tvaru výrobku, který je inovován. Popisuje, jakým způsobem výrobek uspokojí potřeby a požadavky zákazníka. Při generování konceptu je vhodné postupovat ve čtyřech jednodušších dílčích krocích. Nejprve se provede dekompozice problému, dále průzkum již známých řešení, kreativní řešení dílčích problémů, a nakonec syntéza dílčích řešení [4].

Při generování konceptů výrobku je důležité prozkoumat celý „prostor“ řešení a alternativ a poté se zabývat kreativní tvorbou konceptů. Hledání již známých řešení lze docílit průzkumem odborné literatury, internetových zdrojů, ale také patentů a průmyslových vzorů.

### 5.1. Patentová rešerše

Průzkum patentové databáze se zaměřoval na již zmíněné dílčí problémy stroje pro skládání krabic. Pro vyhledávání bylo využito následujících patentových databází:

- <https://www.upv.cz>
- <https://worldwide.espacenet.com>

Vyhledávání v patentových databázích bylo provedeno pomocí mezinárodního patentového třídění. Mezinárodní patentový třídění slouží jako prostředek pro vyhledávání patentových dokumentů pomocí tzv. úplného třídícího znaku. Tento znak obsahuje informace o sekci, třídě, podtřídě, skupině a podskupině do kterých je dokument zaříděn. Díky tomuto zařídění lze vyhledávat v oblastech, které se týkají řešeného problému. V této diplomové práci bylo vyhledávání v patentové databázi provedeno pomocí třídícího znaku:

- B 31 B – Výroba lepenkových beden, krabic, obálek nebo pytlů
- B 31 B 50/00 – Výroba tuhých nebo polotuhých obalů, např. krabic nebo lepenkových krabic
- B 31 F – Mechanické zpracování nebo deformování papíru nebo kartónu

- B 32 B 38/18 – Manipulace s vrstvami nebo vrstveným materiálem
- B 65 – Doprava, balení, skladování, manipulace s tenkými nebo vláknitými materiály

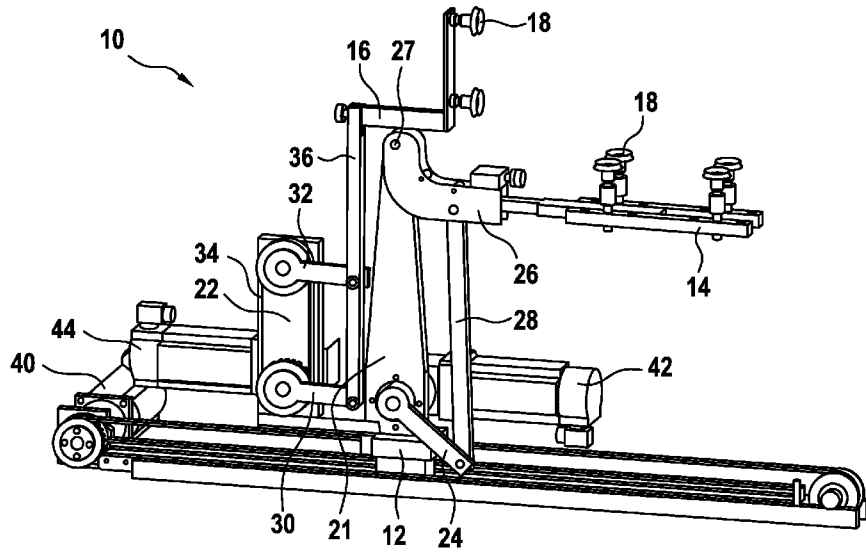
Dále bylo pro vyhledávání v patentových databázích využito následujících klíčových slov:

- Stroj pro skládání krabic
- Stroj pro dopravu krabic
- Automatic case erector / case erector

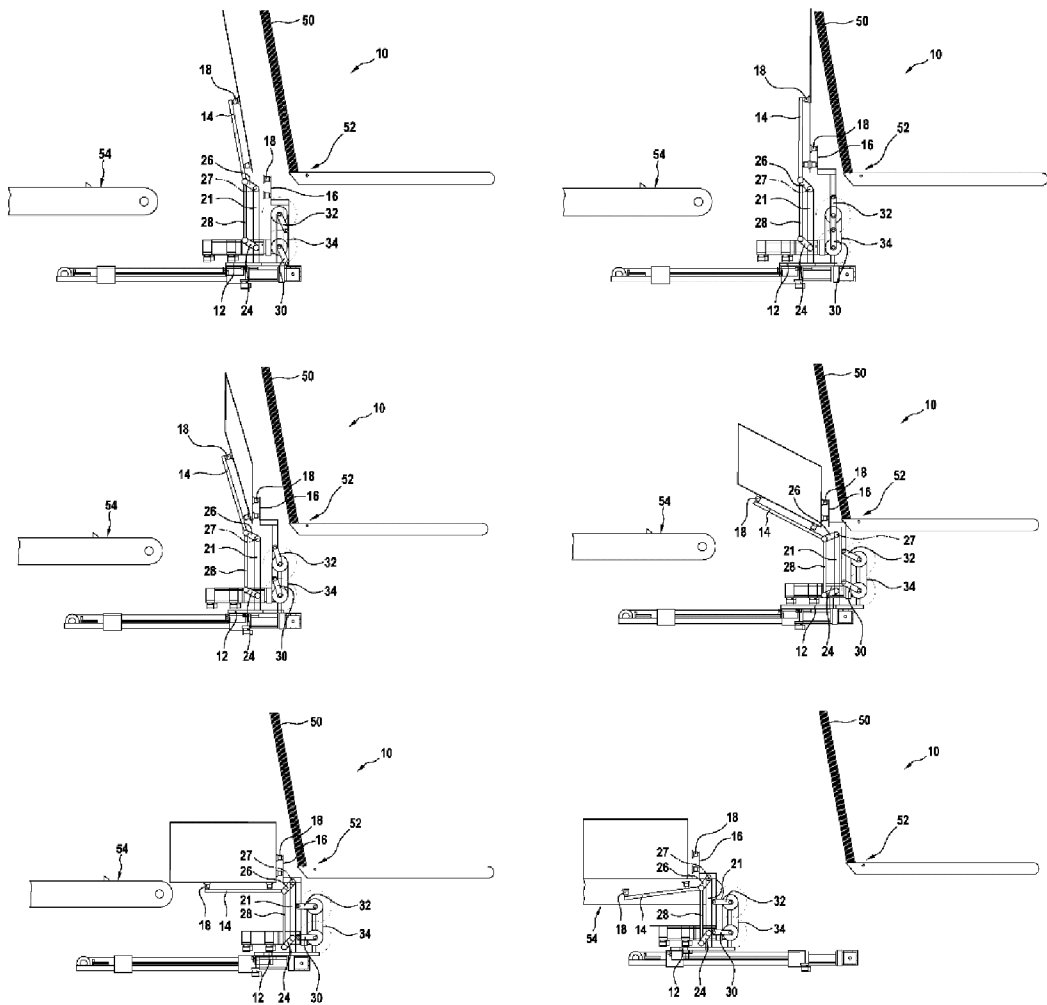
Při průzkumu patentových databází bylo nalezeno několik zajímavých technických řešení, které lze aplikovat při generování konceptů řešených problémů. Dále budou představeny a stručně popsány jednotlivé patenty, které přispěly k tvorbě konceptů.

### **5.1.1. Patent DE102017200507A1**

Patent byl uveřejněn 19.7.2018. Vynález se týká zařízení a způsobu vyjímání a rozkládání kartonového polotovaru (50), přičemž zařízení zahrnuje odnímací rameno (14) pro přidržování jedné strany polotovaru (50) a protikus (16) pro přidržování protilehlé strany polotovaru (50). Dále zařízení obsahuje alespoň jeden přepravní prostředek (12), který pohybuje lineárně s demontážním ramenem (14) a opěrným držákem (16), přičemž demontážní rameno (14) je otočné kolem osy otáčení (27) v přidržovacím prvku (21), který je spojen s dopravním prostředkem (12). Ještě je k dopravnímu prostředku (12) namontován držák protější strany polotovaru (16) tak, aby byl pohyblivý podél kruhové dráhy. Princip vynálezu je podrobně zobrazen na Obr. 5.1 a Obr. 5.2 [8].



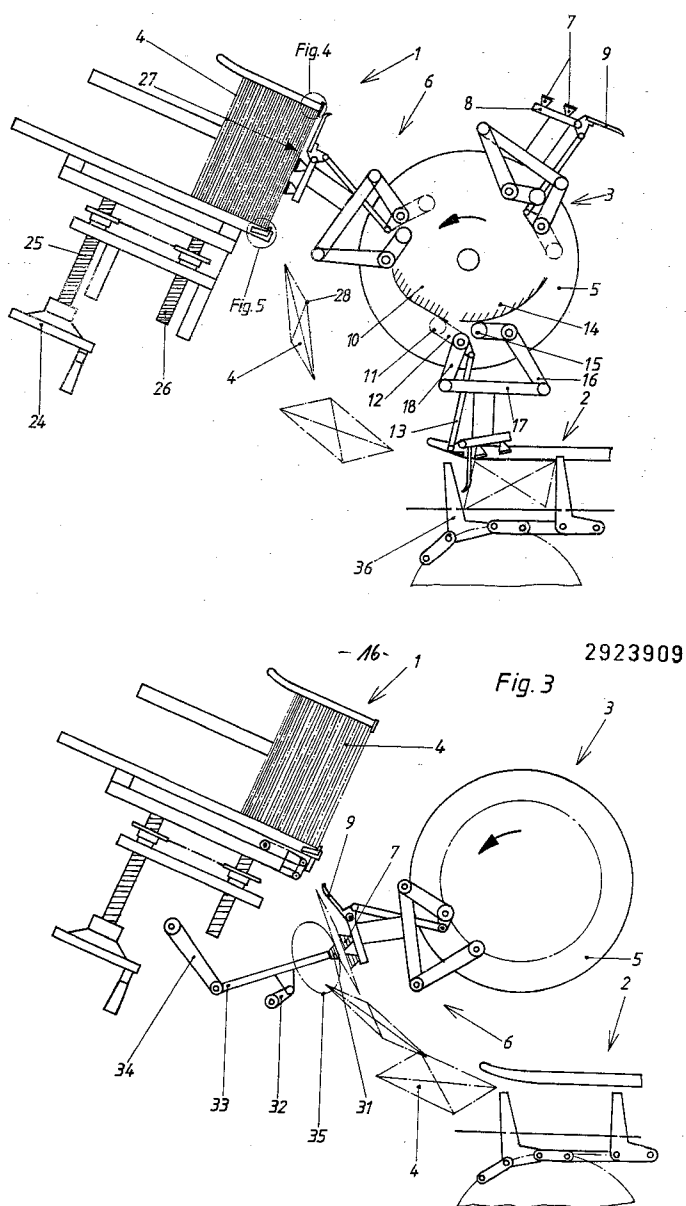
Obr. 5.1 Patent DE102017200507A1\_1 [8]



Obr. 5.2 Patent DE102017200507A1\_2 [8]

### 5.1.2. Patent DE2923909A1

Patent byl uveřejněn 18. 12. 1980. Patent se zabývá strojem pro odebrání polotovaru (4) ze zásobníku (1), jeho vzpřímením a dopravou hotových krabic do přepravního zařízení (2). Zahrnuje vakuové savky (7) namontované na čtyřkloubový mechanismus (16, 17, 18), který je uspořádán na otočném nosiči (5) a je během otáčení nosiče řízen vačkou (14). Polotovar je vzpřímen pomocí napřimovacích pák (9) v momentě, kdy je držen podtlakovými savkami (7) a dále je položen na synchronně se pohybující přepravní zařízení (2). Celý princip je vidět na Obr. 5.3 [9].



Obr. 5.3 Patent DE2923909A1 [9]

### 5.1.3. Patent WO2015039669A1

Patent byl uveřejněn 26. 03. 2015. Vynález se zabývá způsobem sestavování krabic a automatizací tohoto způsobu. Automatizovaná jednotka pro vzpřímení kartonového polotovaru a vytvoření krabice je sestavena z podpěrného zařízení (9) mající podélně a příčně umístěné mezery (9a, 9b) a z manipulačního zařízení (2), kterým je robotické rameno s uchopovacím členem (3). Tyto prvky jsou vidět na Obr. 5.4 [10].

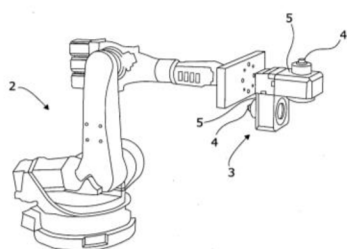


Fig. 3

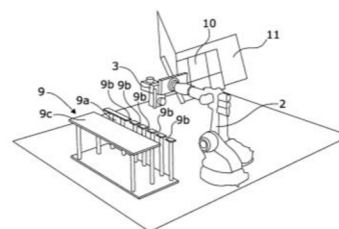


Fig. 5

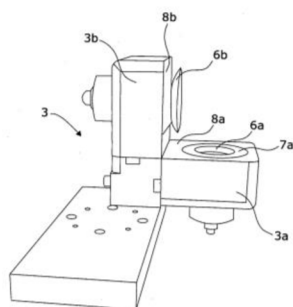


Fig. 4

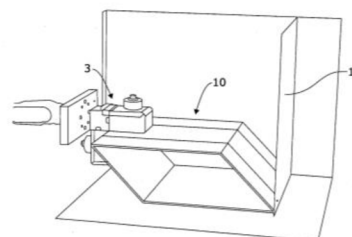


Fig. 6

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

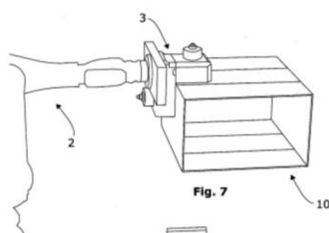


Fig. 7

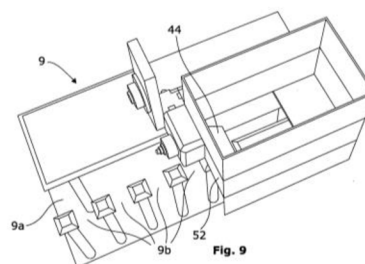


Fig. 9

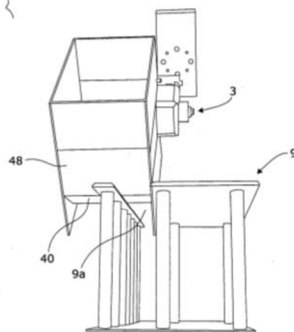


Fig. 8

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

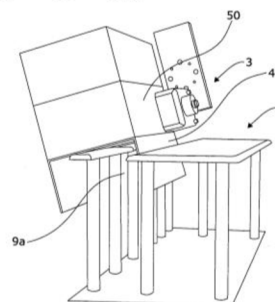


Fig. 10

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

Obr. 5.4 Patent WO2015039669A1 [10]

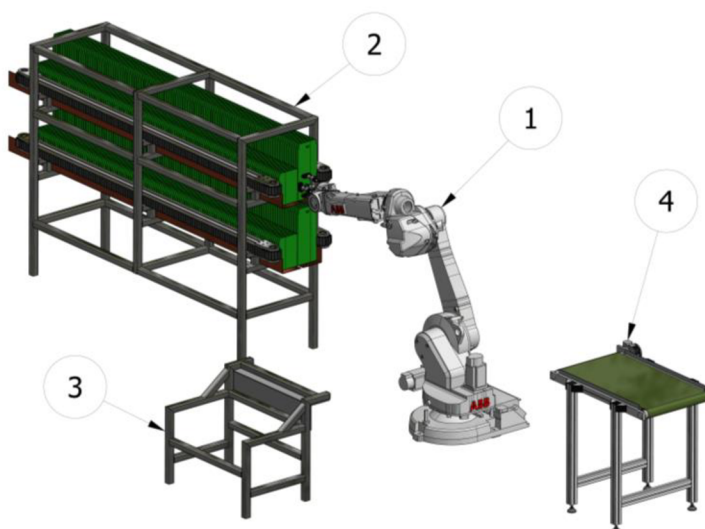


## 6. Návrh konceptů řešení

Díky informacím zjištěným v předchozích kapitolách byly vytvořeny tři koncepty, které jsou představeny v následujících podkapitolách a jejich princip je vysvětlen a znázorněn pomocí 3D modelů. Poté je uvedeno zhodnocení konceptů pro následující výběr nejvhodnějšího konceptu.

### 6.1. Koncept 1

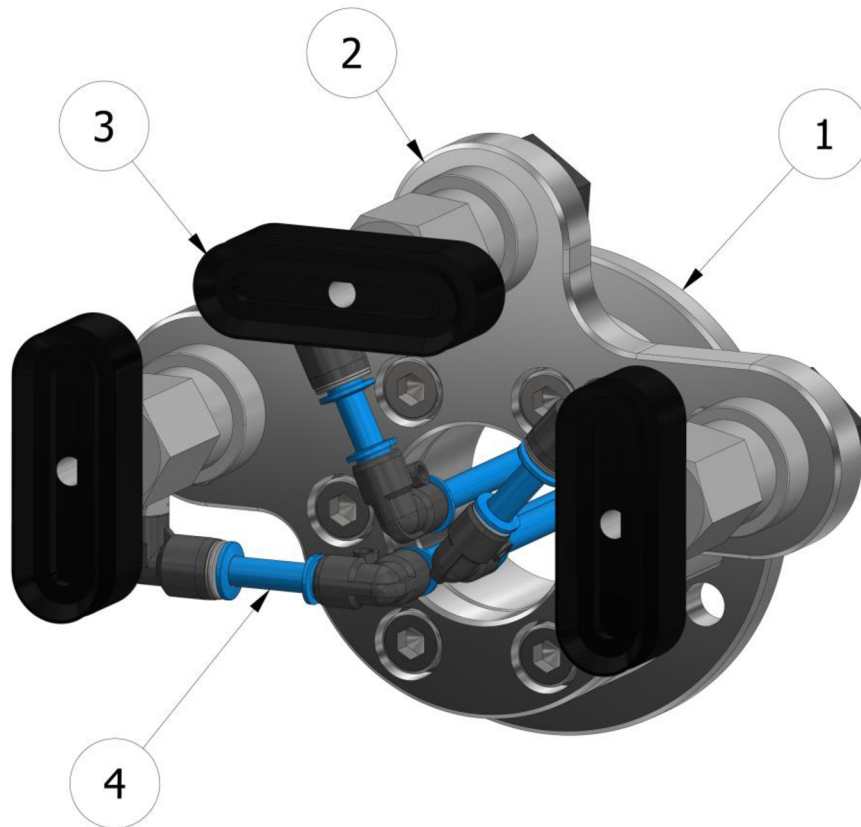
První z konceptů využívá pro složení krabice princip podle patentu Patent WO2015039669A1, tedy pomocí průmyslového robotického ramena osazeného uchopovacím členem a pomocí podpěrného zařízení. Koncept je viditelný na Obr. 6.1. Pro zajištění požadované zásoby polotovarů krabic je před robota umístěn box se dvěma zásobníky na polotovary. Posun polotovarů v zásobnících je zajištěn řemenovými dopravníky. Tyto dopravníky jsou osazeny ozubenými řemeny s oddělovači, aby dávkovaly polotovary vždy po jednom do správné výchozí pozice pro robotické rameno. Dále je potřeba zajistit, aby ze stroje vycházely hotové krabice vždy dvě vedle sebe, proto je za robotem umístěn ještě pásový dopravník, na který budou hotové krabice robotem odkládány a dopravovány do následující sekce linky.



*1 – robot s uchopovacím zařízením, 2 – zásobníky polotovarů,  
3 – podpěrné zařízení, 4 – pásový dopravník*

*Obr. 6.1 Koncept 1*

Uchopovací část robotického ramena je tvořena třemi vakuovými savkami, které jsou připevněné k upínací desce. Tato deska je s robotickým ramenem spojena pomocí válcové příruby. V upínací desce a ve válcové přírubě se nachází otvor pro přivedení vakua k savkám, vše je viditelné na Obr. 6.2.



1 – válcová příruba, 2 – upínací deska, 3 – vakuová savka,  
4 – přívod vakua

Obr. 6.2 Uchopovací zařízení

#### Popis činnosti zařízení:

- 1 – Operátor vloží kartonové polotovary do zásobníků, polotovary se v zásobníku posouvají pomocí řemenových dopravníků směrem k robotickému ramenu až do pozice, ze které je bude robot odebírat.
- 2 – Robot pomocí vakuových savek vyjme ze zásobníku polotovary, přenesení krabici k podpěrnému zařízení a přiloží boční stranu krabice k vodorovné ploše podpěrného zařízení.

- 3 – Boční strana krabice je opřena o podpěrné zařízení a zadní stranu krabice robot napřímí a tím složí krabici.
- 4 – Složená krabice je následně odložena na pásový dopravník a dopravována do další sekce výrobní linky.

Samozřejmostí je potřebné krytí stroje s ohledem na bezpečnost obsluhy. U tohoto konceptu by nevhodnějším krytím bylo bezpečnostní oplocení celého stroje s otvorem na doplňování polotovarů a výstupem hotových krabic. Oplocení stroje zde není vyobrazeno z důvodu přehlednosti a viditelnosti stroje.

Výhody:

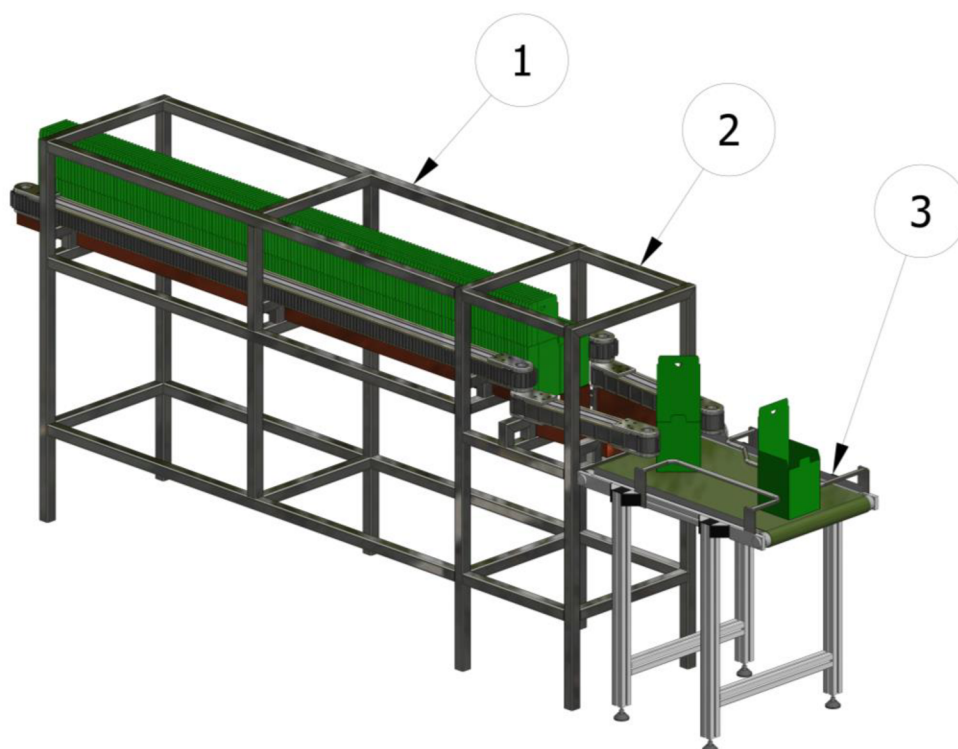
- univerzálnost, snadná adaptace na jiné vstupní a výstupní parametry

Nevýhody:

- velké zástavbové rozměry
- vysoké počáteční náklady
- drahé bezpečnostní opatření

## **6.2. Koncept 2**

Koncept 2 využívá ke skládání kartonového polotovaru princip zužujícího se profilu. Celý koncept je znázorněn na Obr. 6.3. První částí konceptu je zásobník pro zajištění dostatečné zásoby polotovarů, který pracuje na stejném principu jako u konceptu 1. Polotovar krabice se dále přesouvá ze zásobníku do skládacího zařízení, které je řešeno zužujícím se profilem. Zužující se profil je po stranách osazen řemenovými dopravníky s ozubenými řemeny, tentokrát s jinou roztečí oddělovacích členů než u ozubených řemenů v zásobníku. Vše je pro názornost na Obr. 6.4. Za skládací částí stroje následuje výstupní pásový dopravník, který krabice dopravuje do další části linky.

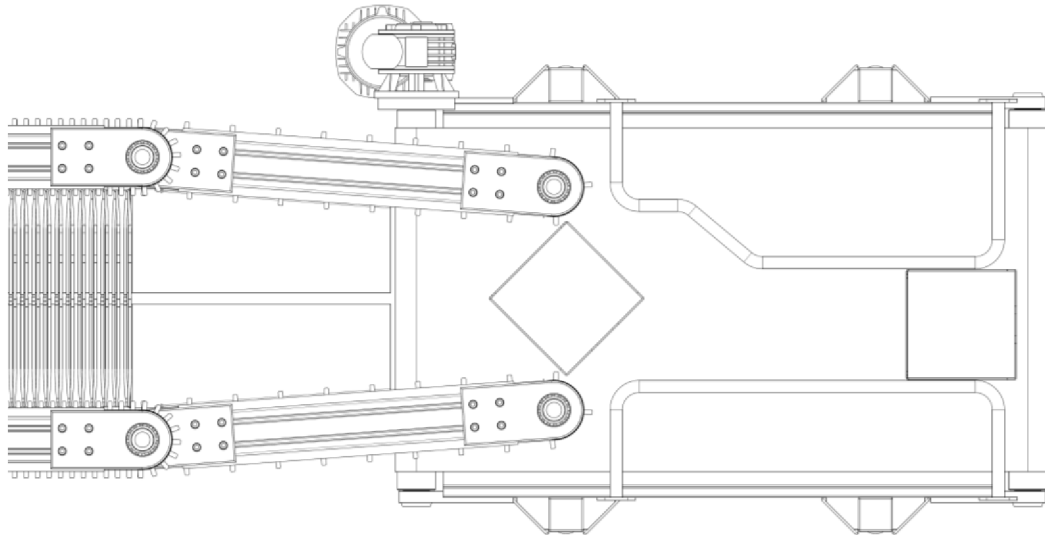


*1 – zásobník polotovarů, 2 – skládací část,  
3 – výstupní pásový dopravník*

*Obr. 6.3 Koncept 2*

#### **Popis činnosti zařízení:**

- 1 – Operátor vloží kartonové polotovary do zásobníku, polotovary se v zásobníku pohybují pomocí řemenových dopravníků s oddělovacími členy.
- 2 – Na konci zásobníku kartonový polotovar spadne o kus níže na pracovní stůl, po kterém se bude polotovar pohybovat dopředu pomocí řemenových dopravníků. Čím dále se bude pohybovat, tím více se bude polotovar pomocí zužujícího se profilu skládat do požadovaného tvaru.
- 3 – Na konci zužujícího se profilu bude krabice ve zcela složeném stavu a bude odložena na pásový dopravník. Nad pásovým dopravníkem je umístěn usměrňovací profil, který krabice pootáčí do správné polohy. Pootočené krabice jsou dopravovány pásovým dopravníkem do další části linky.



*Obr. 6.4 Koncept 2 - zúžená a výstupní část*

**Zhodnocení konceptu:**

Požadavkem je mít na výstupu dvě krabice vedle sebe, a to tímto řešením u konceptu 2 nelze splnit. Takto řešené stroje by musely být dva vedle sebe, aby generovaly dvě krabice, popřípadě tento problém řešit jinou konstrukční úpravou. Oproti konceptu 1 má toto řešení malou zásobu polotovárů, zásobník je poloviční a operátor by musel doplňovat krabice častěji.

**Výhody:**

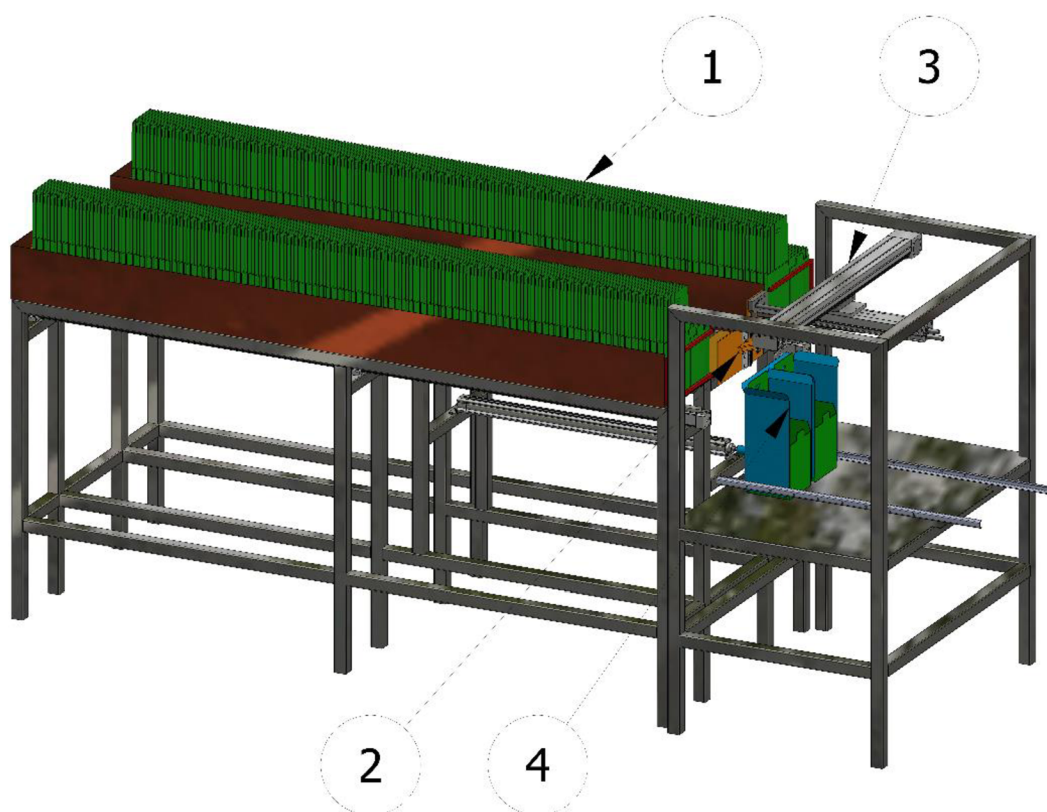
- jednoduchá konstrukce

**Nevýhody:**

- nutnost použití dvou strojů
- malá zásoba polotovárů
- nelze adaptovat pro jiné typy krabic

### 6.3. Koncept 3

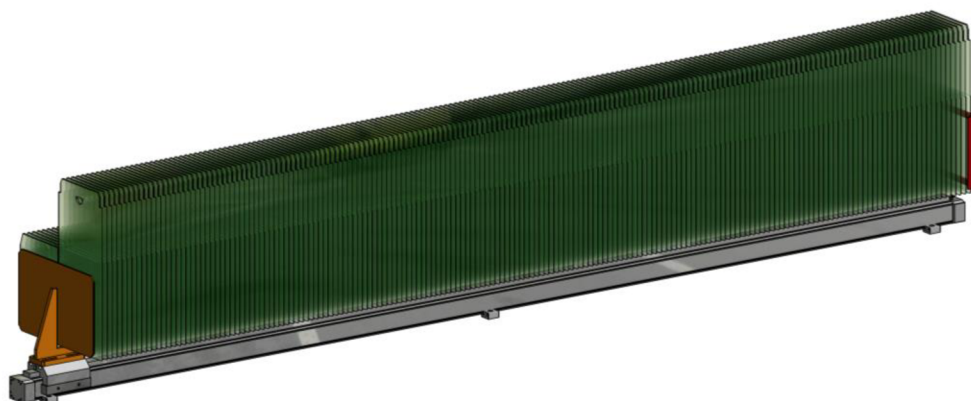
Třetí z konceptů se skládá ze dvou zásobníků na polotovary, skládacího mechanismu a výstupního boxu na hotové krabice. Skládací mechanismus je nesen křížovým manipulátorem, díky kterému může jeden skládací mechanismus obsluhovat oba zásobníky. Celý koncept lze vidět na Obr. 6.5.



*1 – zásobníky polotovarů, 2 – skládací mechanismus,  
3 – křížový manipulátor, 4 – vyhazovací box*

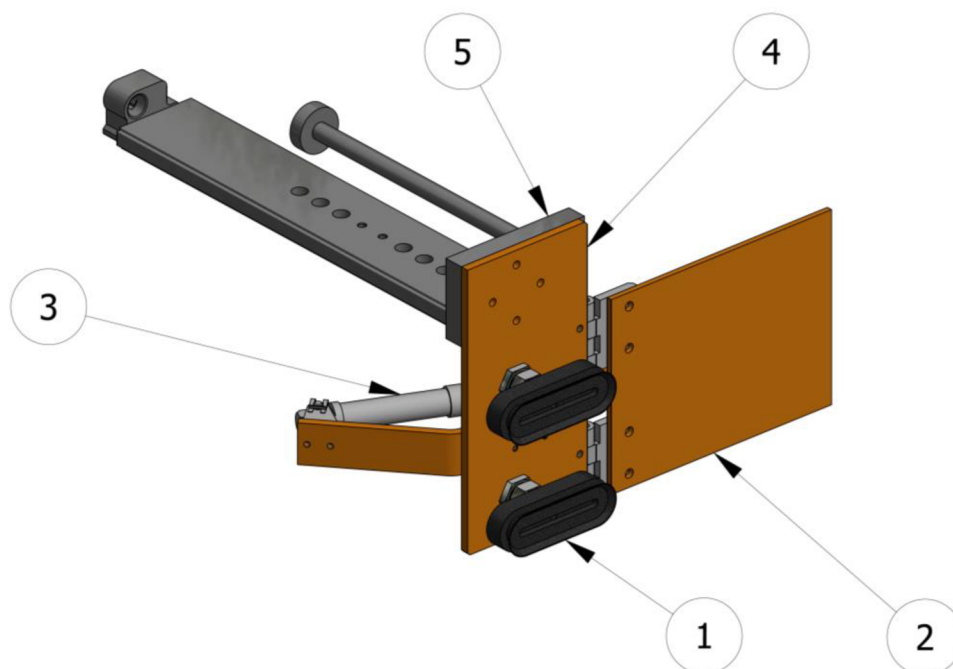
*Obr. 6.5 Koncept 3*

Doprava polotovarů v zásobníku směrem ke skládacímu mechanismu je zajištěna pomocí lineárního bezpístnicového pneumatického pohonu, ke kterému je upnuta přítlačná deska. Tato přítlačná deska posunuje celou zásobu polotovarů k pevnému dorazu na konci zásobníku, odkud jsou polotovary odebírány savkami skládacího mechanismu. Takto řešený zásobník je vyobrazen na Obr. 6.6.



*Obr. 6.6 Zásobník s pohonem pneumatickým válcem*

Mezi hlavní části skládacího mechanismu patří již zmíněné vakuové savky, které slouží pro uchycení polotovaru krabice. Další důležitou částí je sklopná deska poháněná lineárním pneumatickým pohonem, která napřímí boční stranu polotovaru a tím složí krabici. Všechny tyto komponenty jsou připevněny k upínací desce, která je nesena křížovým manipulátorem. Detail skládacího mechanismu lze vidět na Obr. 6.7.



*1 – vakuové savky, 2 – sklopná deska, 3 – pneumatický pohon,  
4 – upínací deska, 5 – část křížového manipulátoru*

*Obr. 6.7 Koncept 3 – skládací mechanismus*

### **Popis činnosti zařízení:**

- 1 – Operátor vloží kartonové polotovary do zásobníku, kde jsou polotovary tlačeny přítlačnou deskou k pevnému dorazu na konci zásobníku.
- 2 – Skládací mechanismus se savkami vytáhne polotovar krabice do strany z pod pevného dorazu na konci zásobníku a přenesse ho na pracovní stůl.
- 3 – Pomocí příklopné desky se složí krabice.
- 4 – Po složení se hotová krabice přemístí pomocí křížového manipulátoru nad výstupní plechový box. Nad boxem vakuové savky pustí krabici a ta následně spadne do plechového boxu.
- 5 – Po naplnění výstupního boxu dvěma krabicemi se pomocí pneumatického pohonu tento box vysune a tím dopraví krabice do další části výrobní linky.

### **Výhody:**

- Využití jednoho skládacího mechanismu pro dva zásobníky
- Dostatečná zásoba polotovarů
- Dobré využití daného prostoru

### **Nevýhody:**

- Doplnování zásobníků z různých stran stroje
- Nelze adaptovat pro jiné typy krabic

## **7. Výběr finálního konceptu**

Pro výběr nejlepšího z konceptů byla využita Saatyho výběrová metoda. Tato metoda slouží k analýze a vícekritériálnímu hodnocení variant a výběru varianty, která nejvíce splňuje stanovené požadavky. Tato metoda se také nazývá AHP – analyticko-hierarchický proces. V této metodě se nejprve provede porovnání kritérií pro získání vah kritérií viz. Tab. 7.2. Následně jsou vůči sobě porovnávány koncepty řešení z hlediska



jednotlivých kritérií: Tab. 7.3, Tab. 7.4, Tab. 7.5, Tab. 7.6, Tab. 7.7. Posledním krokem této metody je vyhodnocení pořadí variant, viz Tab. 7.8.

Koncepty:

- Koncept 1 – robot s podpěrným zařízením
- Koncept 2 – stroj se zužujícím se profilem pásových dopravníků
- Koncept 3 – stroj se skládacím mechanismem

Kritéria:

- Kritérium 1 – rychlost složení dvou krabic (takt)
- Kritérium 2 – kapacita zásobníku
- Kritérium 3 – zástavbové rozměry
- Kritérium 4 – spolehlivost správného složení krabice
- Kritérium 5 – pořizovací cena stroje

*Tab. 7.1 Číselné a slovní měřítko*

Číselné měřítko	Slovní měřítko (platí jak pro kritéria, tak pro koncepty)
1	Kritéria jsou <b>stejně</b> významná.
3	Kritérium je <b>mírně</b> důležitější než jiné kritérium.
5	Kritérium je <b>mnohem</b> důležitější než jiné kritérium.
7	Kritérium je <b>výrazně</b> důležitější než jiné kritérium.
9	Kritérium je <b>extrémně</b> důležitější než jiné kritérium.

*Tab. 7.2 Párové porovnání kritérií:*

kritérium	1	2	3	4	5	
1	1	3	5	1/5	5	
2	1/3	1	5	1/3	7	
3	1/5	1/5	1	1/5	5	
4	5	3	5	1	5	
5	1/5	1/7	1/5	1/5	1	

kritérium	1	2	3	4	5	relativní priority
1	0,149	0,409	0,309	0,103	0,217	0,237
2	0,050	0,136	0,309	0,172	0,304	0,194
3	0,030	0,027	0,062	0,103	0,217	0,088
4	0,743	0,409	0,309	0,517	0,217	0,439
5	0,030	0,019	0,012	0,103	0,043	0,042

*Tab. 7.3 Porovnání konceptů z hlediska rychlosti složení dvou krabic:*

koncept	1	2	3	koncept	1	2	3	relativní priority
1	1	1/5	1	1	0,143	0,130	0,200	0,158
2	5	1	3	2	0,714	0,652	0,600	0,655
3	1	1/3	1	3	0,143	0,217	0,200	0,187

*Tab. 7.4 Porovnání konceptů z hlediska kapacity zásobníku:*

koncept	1	2	3	koncept	1	2	3	relativní priority
1	1	5	1	1	0,143	3,261	0,200	1,201
2	1/5	1	1/5	2	0,029	0,652	0,040	0,240
3	1	5	1	3	0,143	3,261	0,200	1,201

*Tab. 7.5 Porovnání konceptů z hlediska zástavbových rozměrů:*

koncept	1	2	3	koncept	1	2	3	relativní priority
1	1	1/5	1/7	1	0,143	0,130	0,029	0,101
2	5	1	1/3	2	0,714	0,652	0,067	0,478
3	7	3	1	3	1,000	1,957	0,200	1,052

*Tab. 7.6 Porovnání konceptů z hlediska spolehlivosti složení krabice:*

koncept	1	2	3	koncept	1	2	3	relativní priority
1	1	5	1/5	1	0,143	3,261	0,040	1,148
2	1/5	1	1/7	2	0,029	0,652	0,029	0,236
3	5	7	1	3	0,714	4,565	0,200	1,827

*Tab. 7.7 Porovnání konceptů z hlediska složitosti stroje:*

koncept	1	2	3	koncept	1	2	3	relativní priority
1	1	1/5	1/3	1	0,143	0,130	0,067	0,113
2	5	1	5	2	0,714	0,652	1,000	0,789
3	3	1/5	1	3	0,429	0,130	0,200	0,253

*Tab. 7.8 Rozhodnutí o vítězném konceptu*

Relativní prioritita konceptů dle kritérií						Relativní prioritita kritérií	
	kr.1	kr.2	kr.3	kr.4	kr.5	Kriterium 1	0,237
Koncept 1	0,158	1,201	0,101	1,148	0,113	Kriterium 2	0,194
Koncept 2	0,655	0,240	0,478	0,236	0,789	Kriterium 3	0,088
Koncept 3	0,187	1,201	1,052	1,827	0,253	Kriterium 4	0,439
						Kriterium 5	0,042

Tab. 7.9 Výsledné pořadí konceptů

	Priorita	Pořadí
Koncept 1	0,788	2
Koncept 2	0,381	3
Koncept 3	1,182	1

Jako vítězný koncept dle metody AHP vyšel **koncept 3** (viz. Tab. 7.9), tedy koncept skládacího stroje se speciálním skládacím mechanismem.

## 8. Optimalizace vybraného konceptu

V předchozí kapitole byl vybrán koncept 3, tedy koncept stroje se speciálním skládacím mechanismem. Tento vítězný koncept lze optimalizovat pomocí následujících metod:

- metody DFX
- metoda FMEA-K

### 8.1. Metody DFX

Během konstrukčního návrhu stroje lze významně snížit mnoho nákladových položek, které by se v následujících etapách snižovaly velmi obtížně. Pomocí metod DFX (Design for X) lze tyto náklady včas ovlivnit, snížit. Písmeno X je proměnná, která představuje několik vlastností nebo funkcí a vyjadřuje, s jakým ohledem je konstrukce provedena [4]. Tak vznikají pojmy pro:

- DFA (Design for Assembly) – konstrukce provedena s ohledem na montáž
- DFM (Design for Manufacture) – konstrukce provedena s ohledem na výrobu
- DFD (Design for Disassembly) – konstrukce provedena s ohledem na demontáž
- DFMT (Design for Maintainability) – konstrukce provedena s ohledem na snadnou údržbu

- DFE (Design for Environment) – konstrukce provedena s ohledem na životní prostředí
- DFC (Design for Cost) – konstrukce provedena s ohledem na cenu
- DFS (Design for Safety) – konstrukce provedena s ohledem na bezpečnost

V této diplomové práci je konstruován jednoúčelový stroj, který bude vyroben pouze v počtu jednoho kusu, a proto není potřeba metody DFX probírat příliš do detailu.

### **8.1.1. Design for Assembly**

S ohledem na snadnou montáž stroje jsou jednotlivé části spojeny šroubovými spoji, a proto není nutné při montáži používat speciální nářadí nebo zařízení. Výjimkou jsou rámové konstrukce stroje, které nejsou spojeny pomocí šroubových spojů, protože rám byl navržen s ohledem na cenu a pro výrobu byly zvoleny ocelové svařované profily (jekly).

### **8.1.2. Design for Manufacture**

Konstruovaný jednoúčelový stroj je složen z vysokého počtu dílů a komponentů, které byly nakupovány od firem: Festo, Piab atd. a tím je dosaženo principů metody DFM. Příklady nakupovaných komponentů jsou uvedeny níže:

- Vakuové přísavky (firma Piab)
- Pneumatické pohony (firma Festo)
- Elektropohon (firma Festo)
- Polykarbonátové desky, které jsou využity pro zakrytování stoje

### **8.1.3. Design for Disassembly**

Většina komponentů je k rámu stroje připevněna pomocí šroubových spojů, díky čemuž je lze jednoduše demontovat bez poškození a je tím splněn princip metody DFD. V případě poškození některých komponentů, je díky šroubovým spojům zaručena jejich snadná vyměnitelnost.

#### **8.1.4. Design for Environment**

Stroj se skládá z nakupovaných komponentů, které lze jednoduše demontovat bez poškození, a to umožňuje opakované použití těchto komponentů v jiných strojích. Rámová konstrukce stroje, boxy, skládací mechanismus a další části stroje jsou vyrobeny z oceli, která je jednoduše recyklovatelná, takže jsou splněny principy metody DFE.

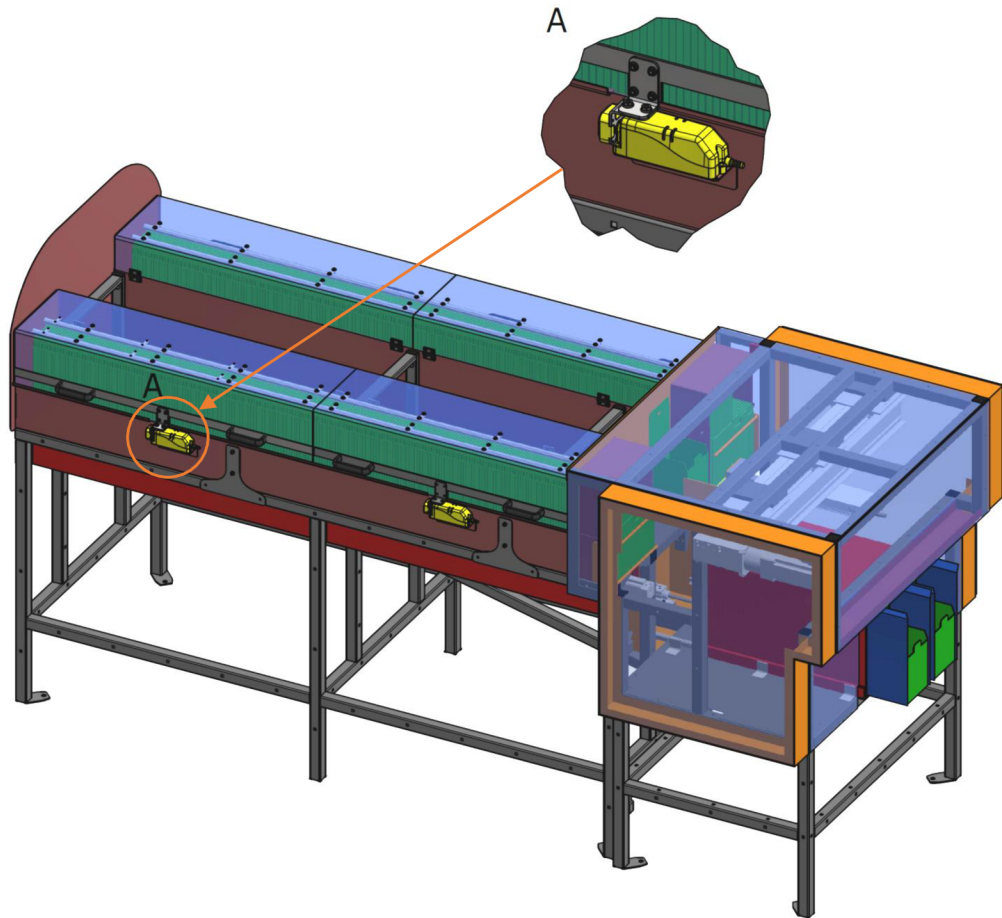
#### **8.1.5. Design for Cost**

S ohledem na principy metody DFC je rámová konstrukce stroje navržena z ocelových svařovaných profilů, což je cenově výhodnější řešení oproti modulárnímu systému hliníkových profilů. Všechny pohony jsou navrženy pro jejich optimální využití a nejsou tedy zvoleny zbytečně předimenzované dražší pohony.

#### **8.1.6. Design for Safety**

Tato metoda vysvětluje, jak navrhovat stroje pro maximální bezpečnost a minimální riziko nehod. Použitím metody DFS dojde ke zvýšení konkurenceschopnosti na mezinárodních trzích, protože bezpečnost je nyní důležitým a nezbytným prvkem pro návrhy strojů [11].

Při vypracování návrhu strojních zařízení je třeba dbát na dodržení bezpečnostních předpisů a norem, které vyžadují potřebnou bezpečnost strojů. Na bezpečnost stroje se musí dbát po celou dobu jeho životnosti, musí se tedy zohlednit bezpečnost stroje od jeho návrhu až po likvidaci stroje. Samotná bezpečnostní opatření lze dělit do dvou skupin: konstrukční opatření a použití doplňujících bezpečnostních prvků. S ohledem na principy metody DFS bylo v této diplomové práci využito bezpečnostních opatření z obou těchto skupin. V rámci konstrukčních opatření byly navrženy kryty většiny pohyblivých a nebezpečných částí stroje. Z doplňujících bezpečnostních prvků bylo využito zámků na víka zásobníků od firmy SICK. Na Obr. 8.1 je vidět zakrytovaný stroj s vyobrazeným detailem bezpečnostního zámku.



*Obr. 8.1 Výsledný stroj se zakrytíváním*

## 8.2. Metoda FMEA-K

Konstrukční FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) je metoda, která je používána v předvýrobní etapě, zejména pro preventivní odstranění možných chyb a závad. Pomocí této metody lze identifikovat nejkritičtější místa a nejpravděpodobnější chyby ve výrobku. FMEA-K umožňuje rozeznat co nejdříve možnost vzniku poruch, určit jejich následky a také ohodnotit rizika a najít způsob, jak těmto poruchám bezpečně předejít. Cílem této metody je vypracování podrobného rozboru výrobku (stroje) z hlediska možného výskytu poruch a případně z hlediska nápravných opatření již ve stádiu návrhu konstrukce stroje. Tímto rozbohem se dosáhne produkce výrobku podle předem stanovených požadavků s minimálními ztrátami. Hlavní myšlenkou metody FMEA je, že pro každou poruchu na nejnižší úrovni se analyzují možné následky na lokální nebo systémové úrovni [12].

Tab. 8.1 FMEA-K

Místo poruchy	Možný způsob porchy	Možný důledek	Možné příčiny	Běžné kontroly	Současný stav				Doporučené opatření	Přijaté opatření	Výsledný stav			
					V	Z	D	RPN			V	Z	D	RPN
Doraz na zásobníku	Deformace	Poškození skládacího mechanismu	Nedostatečná ohybová tuhost	Zkušenost, výpočet	5	8	4	160	Výpočet MKP	Volba správného průměru, počtu a materiálu dorazových tyčí	2	8	4	64
Skládací mechanismus - přísavky	Odrhnutí přísavek od polotovaru	Upuštění polotovaru	Poddimenzované přísavky	Výpočet	8	8	2	128	Kontrolní výpočet přísavek	Volba správných přísavek	2	8	2	32
Pohon boxu	Deformace pístnice	Poškození pohonu	Nesouosé vedení boxů	Zkušenost	5	7	4	140	Přidat kompenzátor na pístnici	Navržen kompenzátor od firmy Festo	2	7	4	56
Panty na sklopné desce	Drhnou	Špatná pohyblivost, hluk	Špatné nebo žádné mazání	Mazání	5	5	5	125	Zajistit dostatečné mazání	Zápis do listu údržby stroje	2	5	5	50
Ložiska ve vedení boxu	Drhnou	Špatná pohyblivost, hluk	Nečistoty	Zkušenost	5	5	5	125	Volba vhodných ložisek	Volba ložisek se zakrytím	2	5	5	50

## 9. Detailní konstrukce stroje

Tato kapitola se zabývá návrhem a kontrolou prvků použitých ve vybraném konceptu. V prvním kroku bude vypočtena délka zásobníku a pak bude navržen a zkontrolován pohon kartonových polotovarů v zásobnících. Následně budou zkontrolovány přísavky uchopující polotovary. Poté bude podrobně zpracována část skládacího mechanismu, která je nesena křížovým manipulátorem. Bude provedena kontrola pohonů tohoto manipulátoru. Dále bude proveden návrh pohonu, který pohybuje výstupním boxem na hotové krabice. Výsledkem těchto výpočtů bude kontrola vhodnosti použitých prvků v technickém systému. Při vypracování této kapitoly byly použity informace ze zdrojů [13] a [14].

### 9.1. Výpočet velikosti zásobníku polotovarů

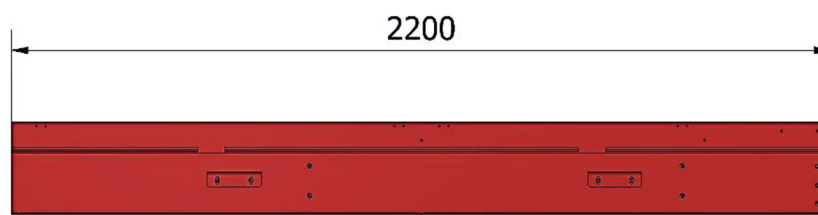
Nejdříve musela být vypočtena délka zásobníku, aby byl splněn požadavek 20 minut bez obsluhy a doplnění zásob polotovarů. Zásobníky musí také splňovat dané zástavbové rozměry. Výpočet délky zásobníku je dle vztahu (9.1).

$$L_{min} = \frac{T}{t} * h \quad (9.1)$$

Kde  $T$  je čas bez obsluhy stroje,  $t$  je takt stroje a  $h$  je tloušťka polotovaru.

$$L_{min} = \frac{1200 \text{ s}}{9 \text{ s}} * 10 \text{ mm} = 1334 \text{ mm} \quad (9.2)$$

Dle výpočtu tedy vyšla minimální délka zásobníku  $L_{min} = 1334 \text{ mm}$ . Zástavbové rozměry umožňují volit větší délku zásobníků, a proto byly zásobníky navrženy o délce  $L = 2200 \text{ mm}$ , viz. Obr. 9.1.

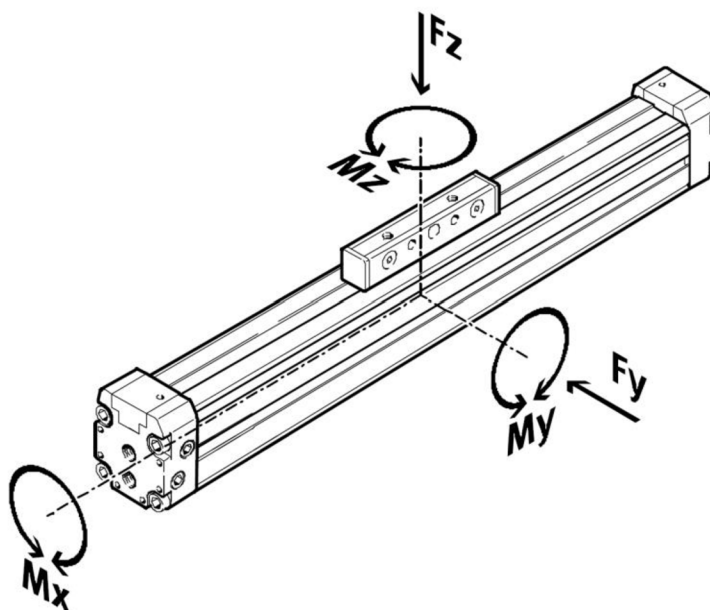


Obr. 9.1 Plechový zásobník polotovarů



## 9.2. Pohon polotovarů v zásobnících

Z důvodu omezených zástavbových rozměrů pod zásobníky byly pro pohon polotovarů zvoleny pneumatické bezpístnicové pohony Festo DGP. Tento typ pohonu kombinuje výhody malé prostorové náročnosti a schopnosti přenášet velké zatížení při vysoké spolehlivosti a dlouhé životnosti pohonu. Pohon DGP lze vidět na Obr. 9.2.



Obr. 9.2 Pohon Festo DGP

Pohon Festo DGP je pro tuto aplikaci vhodný také proto, že zde není potřeba zastavovat pohon jinde než v koncových polohách. Předběžně byly navrženy pohony s průměrem pístu 25 mm. Takový pneumatický pohon je schopný vyvíjet teoretickou sílu na píst  $F_x = 295 \text{ N}$  při 6 barech pracovního tlaku. Třecí síla polotovarů v zásobníku musí být menší než hodnota teoretické síly pohonu. Dále nesmí být překročeny maximální hodnoty zatížení vedení pohonu uvedené v tabulce Tab. 9.1.

Tab. 9.1 Hodnoty maximálního zatížení pohonu DGP

Velikost pohonu	Síla při 6 barech [N]	Zdvih [mm]	$F_{y \max}$ [N]	$F_{z \max}$ [N]	$M_{x \max}$ [Nm]	$M_{y \max}$ [Nm]	$M_{z \max}$ [Nm]
25	295	2100	3080	3080	45	85	85

Zásobníky polotovarů jsou po bocích opatřeny třecími prvky, které slouží pro přidržování polotovarů při jejich doplňování. Součinitel tření mezi kartonovým polotovarem a zásobníkem byl experimentálně zjištěn a jeho naměřená hodnota je  $f_{pZ} = 0,6$ . Naměřená hmotnost polotovaru je  $m_p = 65 \text{ g}$ . Předpokládaný počet kusů polotovarů v jednom zásobníku je  $n = 200 \text{ ks}$ . Z těchto hodnot lze vypočítat přibližnou třecí sílu polotovarů v zásobníku. Tato třecí síla se spočítá dle vztahu:

$$\begin{aligned} F_{TZ} &= n * F_N * f_{pZ} = n * m_p * g * f_{pZ} = \\ &= 200 * 0,065 * 9,81 * 0,6 = 76,52 \text{ N} \doteq 77 \text{ N} \end{aligned} \quad (9.3)$$

Pro zajištění spolehlivé dopravy polotovarů k rozkládacímu mechanismu je potřeba zvýšit výše vypočtenou hodnotu třecí síly pomocí koeficientu bezpečnosti  $k_1 = 3$ . Výsledná hodnota třecí síly tedy bude:

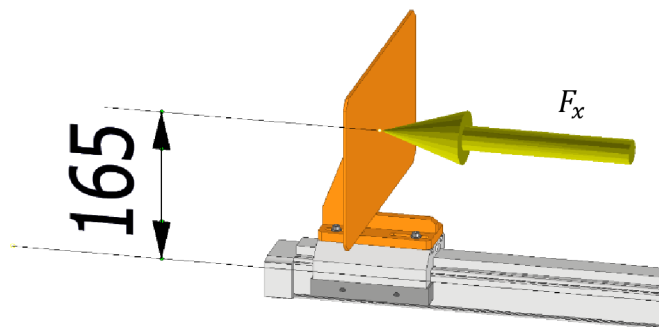
$$F_{TZV} = k_1 * F_{TZ} = 3 * 77 = 231 \text{ N} \quad (9.4)$$

Platí tedy, že:

$$231 \text{ N} \leq 295 \text{ N} \quad (9.5)$$

$$F_{TZV} \leq F_x \quad (9.6)$$

Dále je tento pohon zatěžován momentem  $M_y$ . Tento moment je způsoben přítlačnou deskou, která posune polotovary v zásobníku. Moment  $M_y$  je tedy způsoben silou  $F_x$  na rameni  $z = 165 \text{ mm}$ , což lze vidět na Obr. 9.3.



Obr. 9.3 Rameno momentu  $M_y$

Výpočet momentu  $M_y$  je dle následujících vztahů:

$$M_y = F_x * z = 295 * 0,165 = 48,68 \text{ Nm} \doteq 49 \text{ Nm} \quad (9.7)$$

$$49 \text{ Nm} \leq 85 \text{ Nm} \quad (9.8)$$

$$M_y \leq M_{y \text{ max}} \quad (9.9)$$

Protože je pohon zatížen kombinací dvou zatížení, musí platit i následující rovnice:

$$0,4 * \frac{|F_z|}{F_{z \text{ max}}} + \frac{|M_x|}{M_{x \text{ max}}} + \frac{|M_y|}{M_{y \text{ max}}} + 0,2 * \frac{|M_z|}{M_{z \text{ max}}} \leq 1 \quad (9.10)$$

Hmotnost přítlačné desky nesené pohonem je  $m_{pd} = 1,72 \text{ kg}$ . Svislá síla  $F_z$  působící na pohon je rovna tíhové síle, která se vypočte jako:

$$F_z = m_{pd} * g = 1,72 * 9,81 = 16,87 \text{ N} \doteq 17 \text{ N} \quad (9.11)$$

Vypočtené hodnoty lze dosadit do vztahu (9.10).

$$0,4 * \frac{17}{3080} + 0 + \frac{49}{85} + 0,2 * 0 = 0,579 \doteq 0,58 \quad (9.12)$$

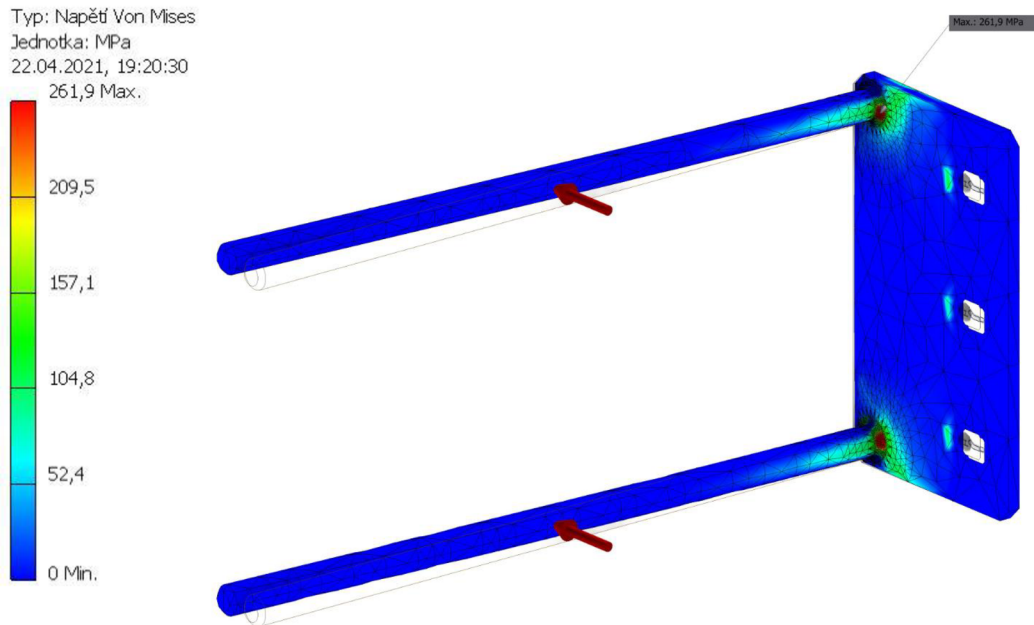
$$0,58 \leq 1 \quad (9.13)$$

Výsledek rovnice (9.13) je vyhovující, a proto je tento pohon vhodný.

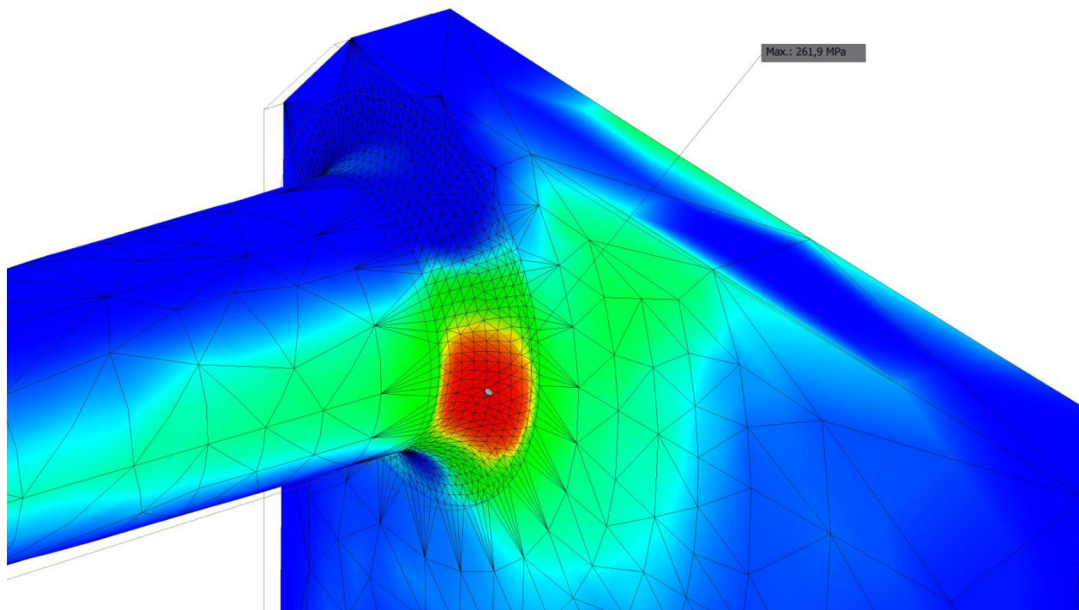
### 9.3. Kontrola pevného dorazu

V kapitole 8.2 jsou popsány vady, které mohou nastat na navrženém stroji. Jednou z vad je deformace pevných dorazů v zásobnících, a proto je provedena pevnostní kontrola a kontrola deformace této součásti. Tyto analýzy byly provedeny metodou konečných prvků (MKP) pomocí softwaru Autodesk Inventor. Pro pevné dorazy byl zvolen materiál 1.4301 (ČSN 17 240), což je běžně používaná svařitelná nerezová ocel. Tento materiál byl zvolen z důvodu dobré korozivzdornosti a otěruvzdornosti,

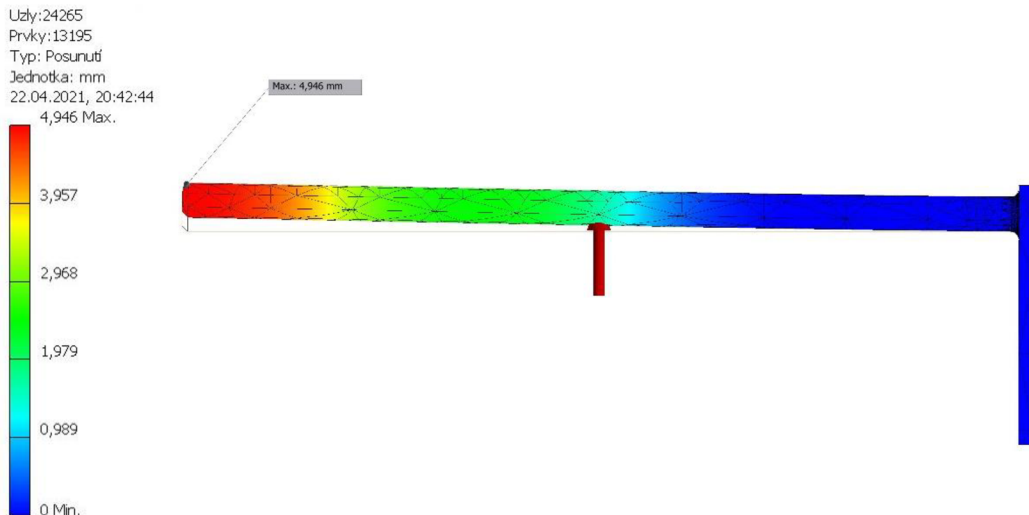
kteřá je vyžadována při vytahování polotovarů ze zásobníku. Předběžně byly navrženy dvě dorazové tyče o průměru  $d = 12 \text{ mm}$ . Na Obr. 9.4, Obr. 9.5 a Obr. 9.6 jsou vidět výsledky kontrol pro tento průměr a počet dorazových tyčí.



*Obr. 9.4 Výsledky pevnostní analýzy dorazu 1*



*Obr. 9.5 Detail nejvíce namáhaného místa dorazu 1*



Obr. 9.6 Výsledky deformační analýzy dorazu 1

Z výsledků je zřejmé, že největší napětí nastává v místě svaru a jeho hodnota je  $\sigma_{MKP_1 \max} = 262 \text{ MPa}$ . Z důvodu vytahování polotovarů ze zásobníku je pevný doraz namáhám dynamickým zatížením s mívajícím charakterem, proto je nutné vypočtenou hodnotu porovnávat s hodnotou meze únavy dané součástí. Tento případ byl zjednodušen na výpočet meze únavy dorazových tyčí, tedy hladké kruhové nerezové oceli o průměru  $d = 12 \text{ mm}$ . Mez pevnosti v tahu této oceli je dle materiálového listu  $R_m = 600 \text{ MPa}$  [15]. Mez únavy materiálu v ohybu se vypočte podle vztahu (9.14) a dále se vypočte mez únavy reálné součásti dle vztahu (9.15), se kterou následně porovnáme hodnotu napětí vypočtenou softwarem MKP.

$$\sigma_{CO} = 0,43 * R_m = 0,43 * 600 = 258 \text{ MPa} \quad (9.14)$$

$$\sigma_{CO}^* = \frac{\sigma_{CO} * k_S * k_{SF}}{k_f} \quad (9.15)$$

Koeficienty pro výpočet meze únavy dorazových tyčí byly odečteny z tabulek [16].

$$k_f = 1 + q * (k_t - 1) = 1 + \frac{q_1 + q_2}{2} * (k_t - 1) \quad (9.16)$$

$$k_f = 1 + \frac{0,7 + 0,78}{2} * (1,32 - 1) = 1,24 \quad (9.17)$$

$$\sigma_{CO}^* = \frac{258 * 1,13 * 0,9}{1,24} = 211 \text{ MPa} \quad (9.18)$$

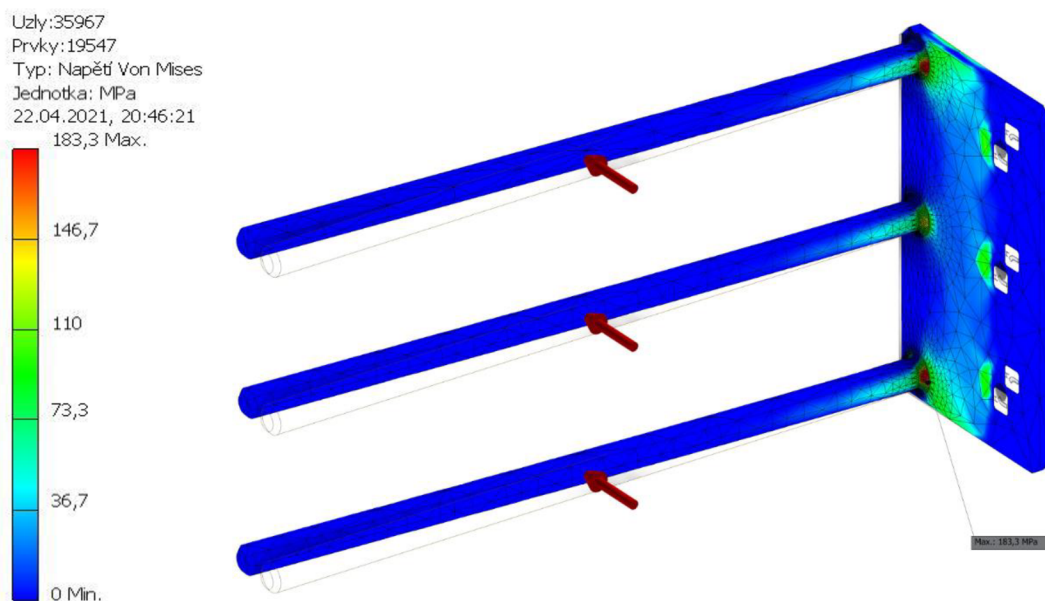
$$261,9 \text{ MPa} > 211 \text{ MPa} \quad (9.19)$$

$$\sigma_{MKP_1 \max} > \sigma_{CO}^* \quad (9.20)$$

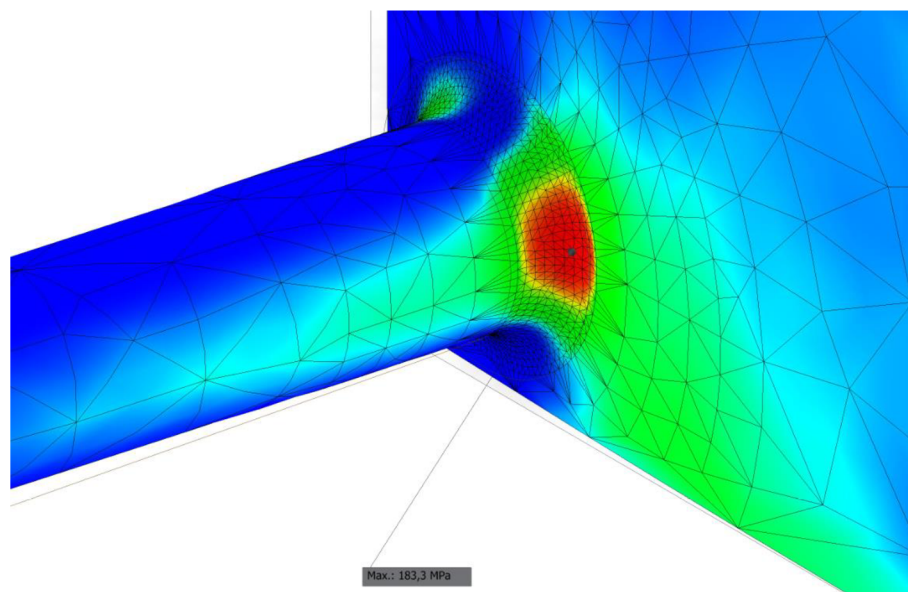
Maximální napětí součásti, které bylo vypočteno pomocí MKP, je větší než mez únavy v ohybu této součásti, a proto je pevný doraz z hlediska pevnostní analýzy nevyhovující.

Z výsledků deformační analýzy bylo zjištěno, že k největšímu posunutí dochází na koncích dorazových tyčí a hodnota tohoto posunutí je 4,95 mm. Tato hodnota je pro správnou funkci pevného dorazu poměrně vysoká a doraz tedy nevyhovuje ani v rámci deformační analýzy.

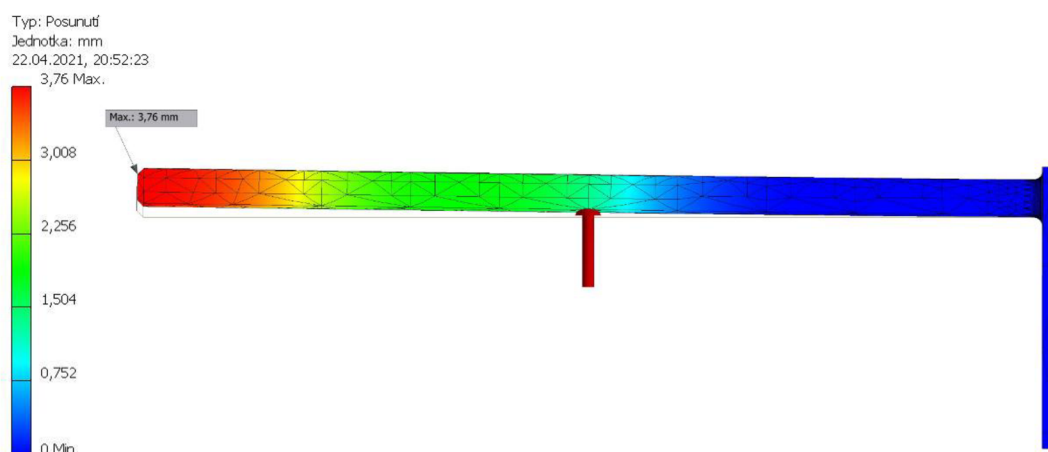
Následně tedy byly navrženy dorazy se třemi dorazovými tyčemi o stejném průměru  $d = 12 \text{ mm}$  a znovu byla provedena pevnostní analýza i kontrola deformace a dílčí výsledky jsou zobrazeny na Obr. 9.7, Obr. 9.8 a Obr. 9.9.



Obr. 9.7 Výsledky pevnostní analýzy dorazu 2



*Obr. 9.8 Detail nejvíce namáhaného místa dorazu 2*



*Obr. 9.9 Výsledky deformační analýzy dorazu 2*

Z výsledků je zřejmé, že nejvíce namáhané místo se stejně jako v přechozím případě nachází v oblasti svaru a maximální hodnota napětí v tomto místě je  $\sigma_{MKP_2 \max} = 183 \text{ MPa}$ . Lze tedy tvrdit, že:

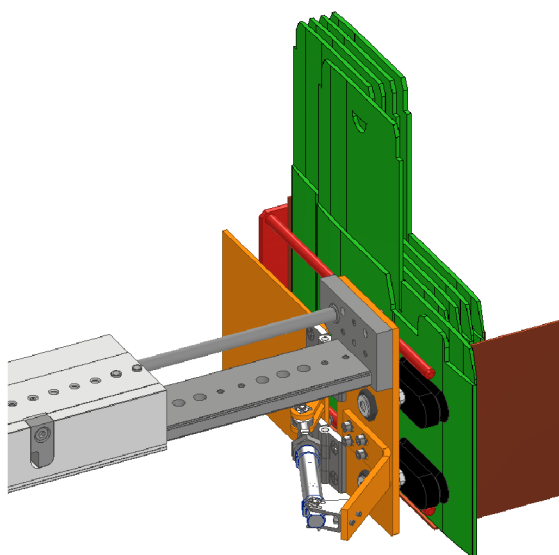
$$183 \text{ MPa} < 211 \text{ MPa} \quad (9.21)$$

$$\sigma_{MKP_2 \max} < \sigma_{CO}^* \quad (9.22)$$

V tomto případě lze tyto dorazy z hlediska pevnostní analýzy považovat za vyhovující. Deformační kontrolou vyšlo posunutí konců tyčí  $3,75 \text{ mm}$ . Tato hodnota je nižší než v předchozím případě a lze ji považovat za vyhovující.

## 9.4. Návrh manipulačních přísavek

Manipulační přísavky musí při vytahování polotovaru ze zásobníku překonat třecí síly, které je nutné znát pro správný návrh těchto přísavek. Tyto síly vznikají mezi vytahovaným polotovarem a ocelovým dorazem a také mezi polotovary navzájem. Tento stav je vyobrazen na Obr. 9.10.



Obr. 9.10 Kritický moment zatížení vakuových přísavek

Koeficienty tření mezi těmito materiály byly zjištěny experimentálně a jejich hodnoty jsou uvedeny v Tab. 9.2.

Tab. 9.2 Koeficienty tření

Materiál 1	Materiál 2	Koeficient tření $f$
Karton	Ocel	0,15
Karton	Karton	0,3

Kartonové polotovary jsou k dorazu přitlačovány silou  $F_x$ , kterou vyvíjí pneumatický pohon zásobníku. Z předchozích výpočtů je známo, že maximální hodnota této síly je  $F_x = 295 \text{ N}$ . Třecí síla  $F_{T1}$  mezi vytahovaným polotovarem a dorazem, který je tvořen ze tří ocelových tyčí, se vypočte jako:

$$F_{T1} = F_x * f_{K-O} = 295 * 0,15 = 44,3 \text{ N} \quad (9.23)$$



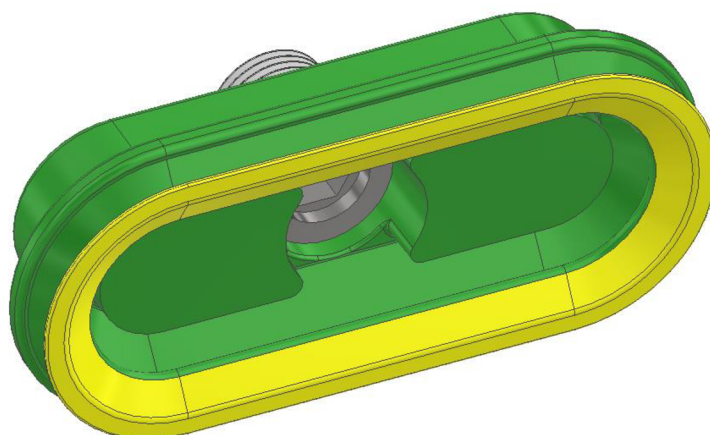
Výpočet síly  $F_{T2}$  se provede obdobným způsobem, pouze s rozdílným koeficientem tření.

$$F_{T2} = F_x * f_{K-K} = 295 * 0,3 = 88,5 \text{ N} \quad (9.24)$$

Výsledná třecí síla působící na polotovar je dána součtem třecích sil  $F_{T1}$  a  $F_{T2}$ :

$$F_{TP} = F_{T1} + F_{T2} = 44,3 + 88,5 \doteq 133 \text{ N} \quad (9.25)$$

Tato síla musí být menší než dovolená radiální síla přísavek. Díky tomuto výpočtu byly navrženy přísavky OB35x90P PU30 PU60 od firmy Piab, přísavka je zobrazena na Obr. 9.11.



*Obr. 9.11 Příklad přísavky PIAB OB35x90P PU30 PU60*

Parametry této přísavky lze vidět v následující tabulce Tab. 9.3.

*Tab. 9.3 Parametry přísavky Piab OB35x90P PU30 PU60*

Podtlak [ $-kPa$ ]	$\hat{\uparrow}$ Axiální síla [ $N$ ]	$\hat{\rightarrow}$ Radiální síla [ $N$ ]
20	42	48
60	119	72
90	174	100

Vakuem pro přísavky lze vytvořit pomocí vakuových ejektorů. Ejektory typu VN od firmy Festo jsou schopny vytvořit vakuem o hodnotě 90 kPa. Z tabulky hodnot přísavek lze tedy uvažovat poslední řádek, kde maximální dovolená síla v radiálním směru má hodnotu 100N.

Třecí síla, kterou je nutné překonat při vytažení polotovaru má hodnotu  $F_{TP} = 133 \text{ N}$ . Pro zajištění spolehlivého vytažení polotovaru ze zásobníku je potřeba zvýšit hodnotu třecí síly  $F_{TP}$  pomocí koeficientu bezpečnosti  $k_2 = 1,5$ . Výsledná hodnota třecí síly tedy bude:

$$F_{TPV} = F_{TP} * k_2 = 133 * 1,5 = 199,5 \text{ N} \quad (9.26)$$

Z toho výpočtu je zřejmé, že musí být použity alespoň dvě přísavky, čímž bude splněna tato rovnice:

$$199,5 \text{ N} \leq 2 * 100 \text{ N} \quad (9.27)$$

$$F_{TPV} \leq 2 * F_{PD} \quad (9.28)$$

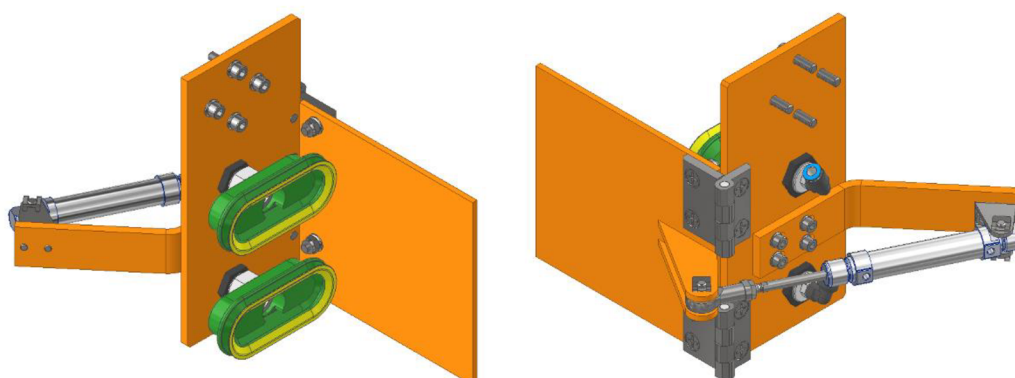
## 9.5. Pohony křížového manipulátoru

Křížový manipulátor bude tvořen pneumatickým a elektrickým pohonem. Pneumatický pohon bude pohybovat s krabicemi v podélném směru vůči zásobníkům. Tento pohon je zde vhodný, protože v tomto směru je potřeba pohybovat s krabicemi pouze do dvou poloh. Tato skutečnost neplatí pro příčný směr vůči zásobníkům, a proto je pro tento směr zvolen elektropohon s možností zastavovat ve více polohách.

Návrh pohonů křížového manipulátoru musí probíhat postupně, a to od kontroly pneumatického pohonu pohybujícího upínací deskou, až po kontrolu elektropohonu, ke kterému je celý mechanismus upnut. Nejprve však musí být detailně vymodelována část skládacího mechanismu nesená těmito pohony v 3D softwaru pro zjištění hmotových vlastností a polohy těžiště této části.

### 9.5.1. 3D model skládacího mechanismu

Pro určení hmotnosti skládacího mechanismu byl vytvořen podrobný 3D model, který lze vidět na Obr. 9.12. Na Obr. 9.13 je vidět výstřižek z tabulky hmotových vlastností ze softwaru Autodesk Inventor. Z této tabulky lze zjistit hmotnost a polohu těžiště vůči souřadnicovému systému. Souřadnicový systém je v této sestavě umístěn tak, aby byl výhodný, pro následnou kontrolu vedení pneumatického pohonu, tzn. že roviny souřadného systému leží ve středu tohoto vedení.



Obr. 9.12 Detailní 3D model rozkládacího mechanismu

Obecné vlastnosti			
<input type="checkbox"/> Zahrnout kosmetické svary	<input type="checkbox"/> Zahrnout přepsání KS		
	Těžiště*		
Hmotnost	2,778 kg (Relativní ch)	X	198,571 mm (Relativn
Povrch	261778,849 mm <sup>2</sup> (R	Y	22,942 mm (Relativní
Objem	539746,029 mm <sup>3</sup> (R	Z	-73,591 mm (Relativn

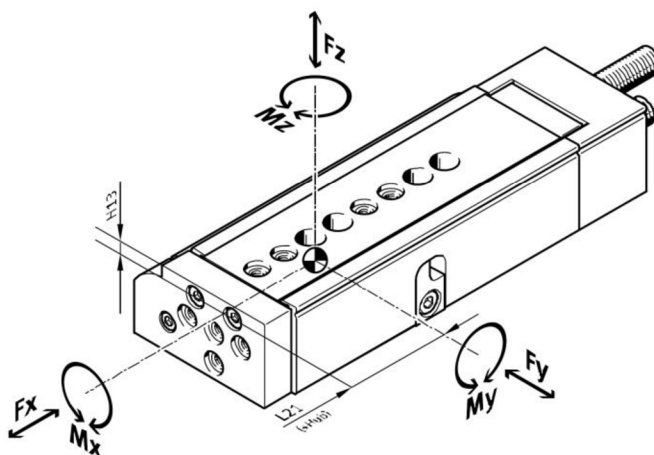
Obr. 9.13 Tabulka hmotových vlastností

Pro následující výpočty bude hmotnost mechanismu ze softwaru navýšena o 10% z důvodu přidané hmotnosti přívodního vedení vakua a hmotnosti kartonového polotovaru krabice.

$$m_m = 2,8 * 1,1 = 3,08 \doteq 3,1 \text{ kg} \quad (9.29)$$

## 9.5.2. Pneumatický pohon křížového manipulátoru

Pro pohyb krabice v podélném směru vůči zásobníku byl navržen pneumatický pohon Festo DGSL, který umožňuje polohování pouze do koncových poloh pohonu. Přesnou pozici v koncových polohách lze nastavit pomocí dorazů nastavitelných šroubem. Pohon Festo DGSL obsahuje lineární vedení provedené kuličkovými oběžnými pouzdry. Toto vedení je dimenzované na určité hodnoty zatížení, a proto je nutné zjistit silové a momentové zatížení působící na toto vedení.



Obr. 9.14 Zatížení pohonu Festo DGSL

Momenty zobrazené v Obr. 9.14 jsou vztaženy na střed vedení. V dynamickém provozu nesmějí být překročeny hodnoty, které jsou uvedeny v Tab. 9.4. Z tabulky lze také zjistit polohu středu vedení od hrany upínací desky pohonu, tzn. hodnoty  $H13$  a  $L21$ .

Tab. 9.4 Hodnoty maximálního zatížení pohonu DGSL

Velikost pohonu	Zdvih [mm]	$F_{y \max}$ [mm]	$F_{z \max}$ [mm]	$M_{x \max}$ [Nm]	$M_{y \max}, M_{z \max}$ [Nm]	H13 [mm]	L21 [mm]
25	200	4800	4800	130	80	8,55	179

Pokud je tento pohon zatížen kombinací různých zatížení, musí dále splňovat tuto rovnici:

$$\frac{|F_y|}{F_{y \max}} + \frac{|F_z|}{F_{z \max}} + \frac{|M_x|}{M_{x \max}} + \frac{|M_y|}{M_{y \max}} + \frac{|M_z|}{M_{z \max}} \leq 1 \quad (9.30)$$

Výpočet rovnice (9.30) bude proveden pro nejhorší možný případ namáhání, který nastane ve chvíli plného vysunutí pneumatického pohonu, když mechanismus odebírá kartonový polotovár ze zásobníku, stejně jako u vakuových přísavek viz. Obr. 9.10.

$$F_z = m * g = 3,1 * 9,81 = 30,4 \text{ N} \quad (9.31)$$

$$M_x = m * g * y = 3,1 * 9,81 * 23 = 699,5 \text{ Nmm} = 0,7 \text{ Nm} \quad (9.32)$$

$$\begin{aligned} M_y &= m * g * (x + zdvih) = \\ &= 3,1 * 9,81 * (206 + 200) = 12\,134 \text{ Nmm} = 12,1 \text{ Nm} \end{aligned} \quad (9.33)$$

$$M_z = 0 \text{ Nm} \quad (9.34)$$

$$F_y = F_{T1} + F_{T2} = 44,3 + 88,5 \doteq 133 \text{ N} \quad (9.35)$$

a moment  $M_z$  lze dopočítat jako:

$$\begin{aligned} M_z &= F_y * (x + zdvih) = 133 * (199 + 200) = \\ &= 53\,067 \text{ Nmm} \doteq 53,1 \text{ Nm} \end{aligned} \quad (9.36)$$

Nyní lze hodnoty dosadit do rovnice (9.30):

$$\frac{133}{4800} + \frac{30,4}{4800} + \frac{0,7}{130} + \frac{12,1}{80} + \frac{53,1}{80} = 0,85 \leq 1 \quad (9.37)$$

Výsledek rovnice (9.37) je vyhovující, a proto je tento pohon vhodný.

### 9.5.3. Elektrický pohon křížového manipulátoru

Pro pohyb krabic v příčném směru vůči zásobníkům byl zvolen elektrický lineární pohon EGC, protože v tomto směru je potřeba zastavovat pohon v různých pozicích. Elektrický přímočarý pohon zastavení v různých pozicích umožňuje. Dále je pohon EGC vhodný pro aplikace, které vyžadují vysoké rychlosti a dynamické pohyby při současném vysokém zatížení, dlouhých zdvích a opakovatelné přesnosti. Konkrétní hodnoty parametrů pohonu EGC lze vidět v Tab. 9.5.

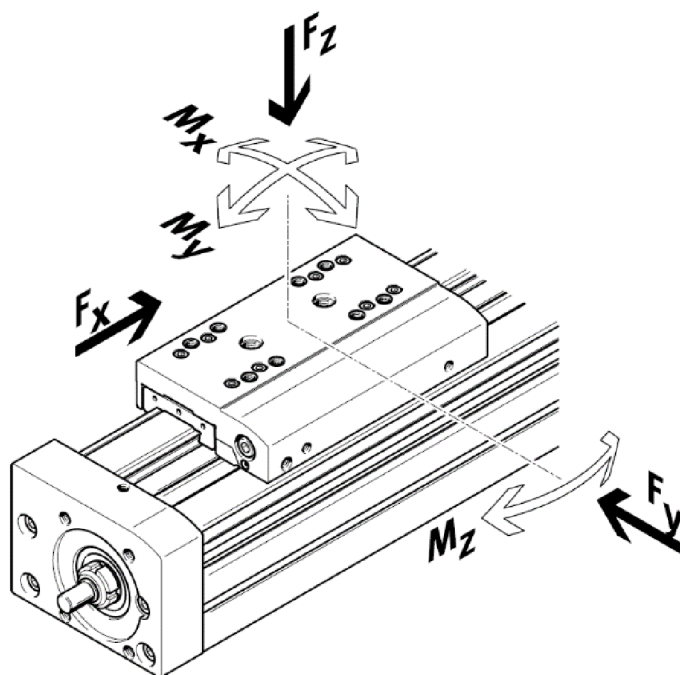
*Tab. 9.5 Parametry pohonu EGC*

Velikost pohonu	Zdvih [mm]	Rychlost [m/s]	Opakovatelná přesnost [mm]	Posuvová síla [N]
120	800	5	±0,08	800

Protože tento pohon nese celý skládací mechanismu, jsou kladeny vysoké nároky i na vedení. To je v tomto případě provedeno pomocí kuličkových oběžných pouzder. Maximální hodnoty zatížení lze vidět v Tab. 9.6 a systém souřadnic na Obr. 9.15.

*Tab. 9.6 Parametry vedení pohonu EGC*

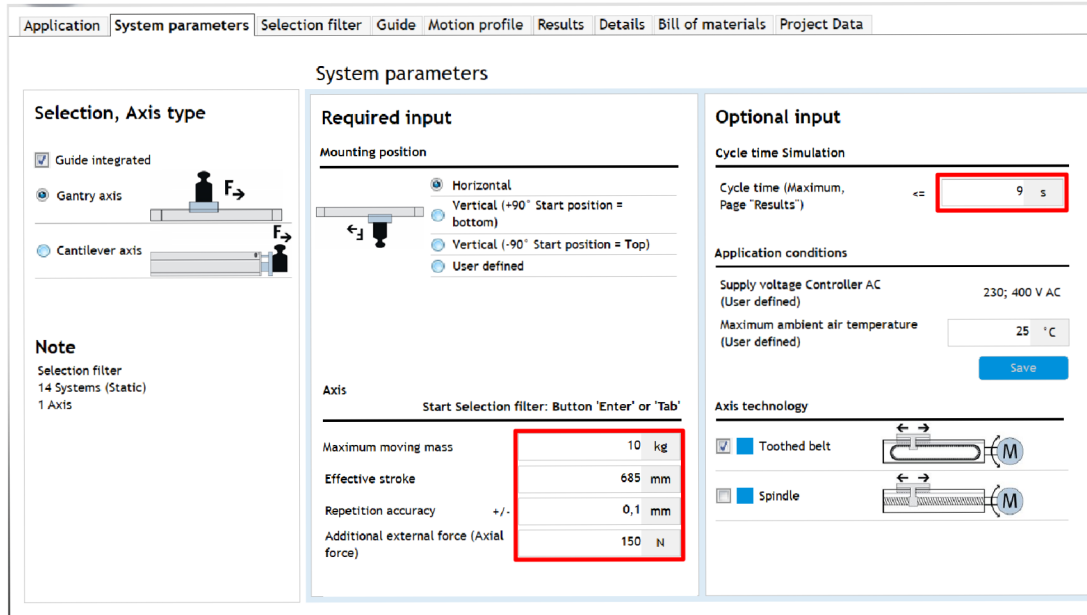
Velikost pohonu	Zdvih [mm]	$F_{y \max}$ [mm]	$F_{z \max}$ [mm]	$M_{x \max}$ [Nm]	$M_{y \max}$ [Nm]	$M_{z \max}$ [Nm]
120	800	6890	6890	144	680	680



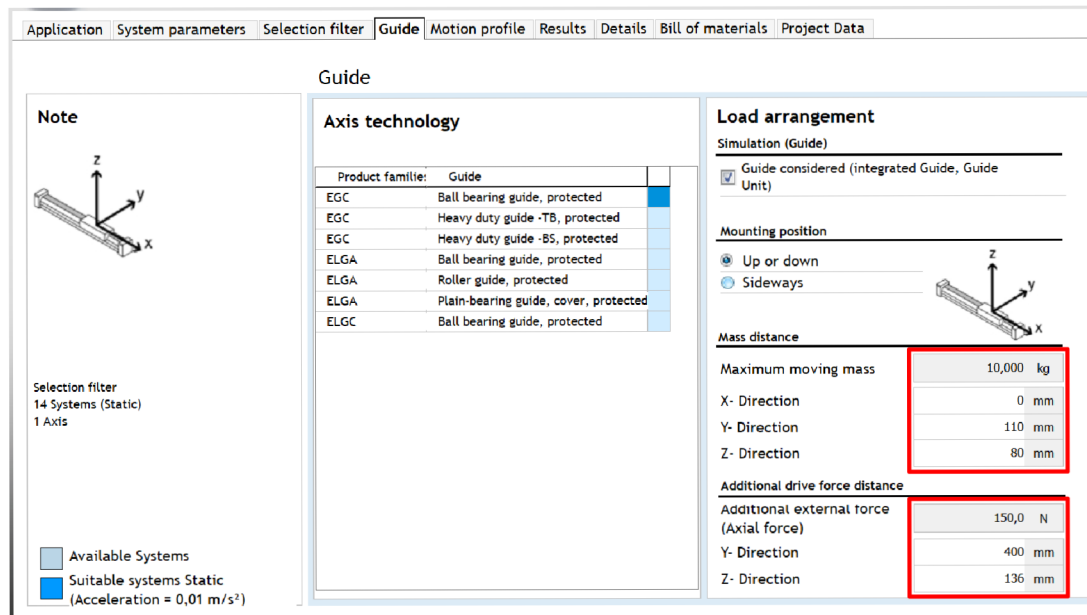
*Obr. 9.15 Zatížení pohonu ESG*

Pro návrh a kontrolu elektropohonu firma Festo vytvořila jednoduchý software, který tento proces zjednodušuje. Postup návrhu a kontroly pohonu a výsledky jsou vyobrazeny na následujících obrázcích Obr. 9.16, Obr. 9.17, Obr. 9.18.

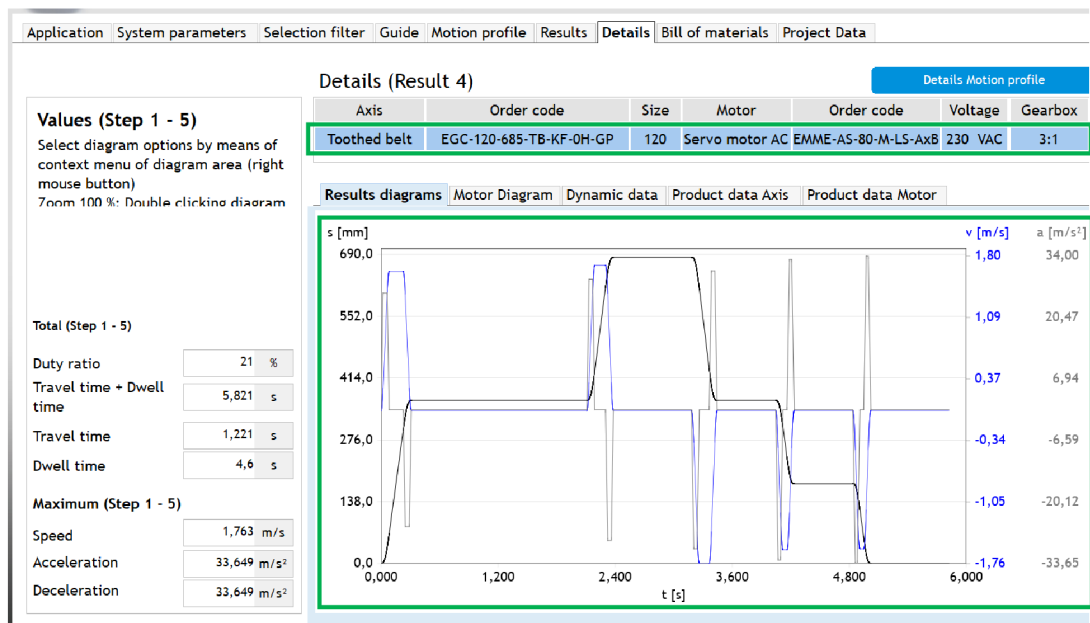
Vstupními hodnotami pro výpočet byly hodnoty ze zadání a dále hodnoty vygenerované z 3D modelů ze softwaru Autodesk Inventor. Vstupní hodnoty jsou v obrázcích označené červenými obdélníky. Na Obr. 9.18 je zelenou barvou vyznačen zvolený pohon a jeho kinematické veličiny.



Obr. 9.16 Požadované parametry elektropohonu



Obr. 9.17 Požadované parametry vedení elektropohonu

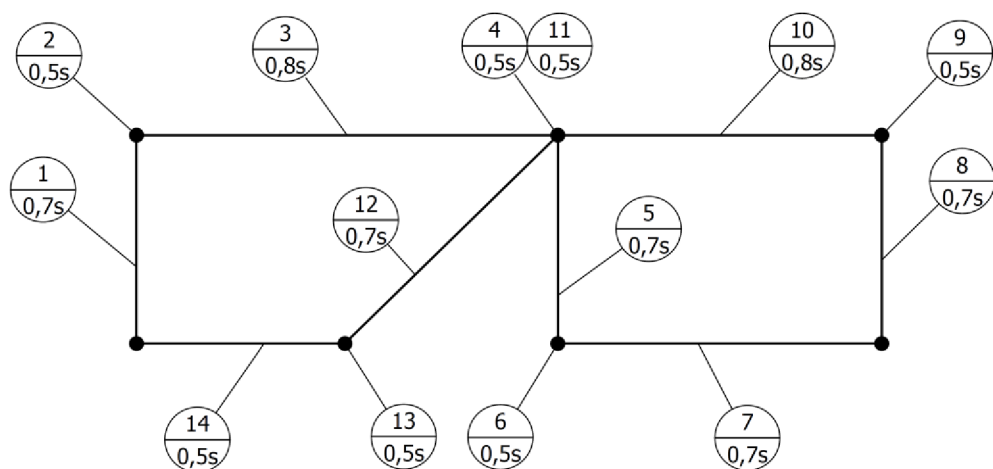


Obr. 9.18 Výsledný zvolený pohon s diagramem průběhů kinematických veličin

Z výsledků je zřejmé, že takto navržený elektrický pohon je vhodnou pro danou aplikaci a zvládne pracovat v požadovaném taktu stroje.

#### 9.5.4. Kontrola výsledného taktu stroje

Závěrem výpočtové zprávy je kontrola taktu stroje. Ta byla provedena vypracováním kinematického schématu a podrobné tabulky, ve které jsou uvedeny jednotlivé procesy a doby jejich trvání. Součtem těchto hodnot získáme výsledný takt stroje, který musí být menší než takt požadovaný zákazníkem.



Obr. 9.19 Kinematické schéma



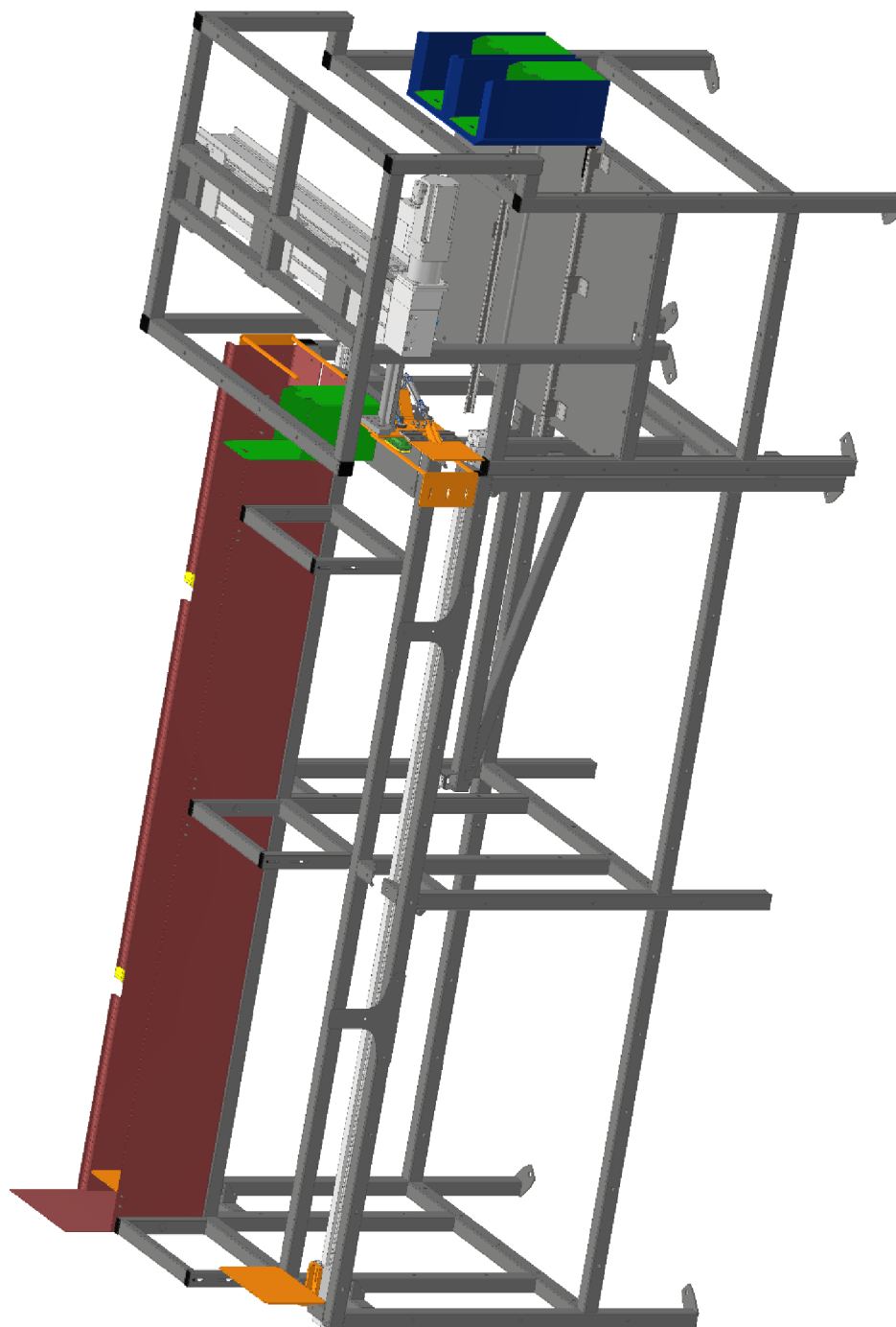
Tab. 9.7 *Kontrola taktu stroje*

	Proces	Vzdálenost [mm], [°]	Schéma	Čas [s]
1	Posuv v podélném směru	180 mm	↑	0,7
2	Přichycení polotovaru krabice	-	↓	0,5
3	Posuv v příčném směru	364 mm	→	0,8
4	Pohyb příklopné desky	90°	↷	0,5
5	Posuv v podélném směru	180 mm	↓	0,7
6	Upuštění hotové krabice do boxu	-	↑	0,5
7	Posuv v příčném směru + pohyb příklopné desky	320 mm, 90°	→ + ↷	0,7
8	Posuv v podélném směru	180 mm	↑	0,7
9	Přichycení polotovaru krabice	-	↓	0,5
10	Posuv v příčném směru	320 mm	←	0,8
11	Pohyb příklopné desky	90°	↷	0,5
12	Posuv v příčném i podélném směru	186 mm, 164°	← + ↓	0,7
13	Upuštění hotové krabice do boxu	-	↑	0,5
14	Posuv v příčném směru + pohyb příklopné desky	178 mm, 90°	← + ↷	0,5
<b>Výsledný takt stroje:</b>				<b>8,6 s</b>

Výsledný takt stroje vyšel 8,6 s, což je méně než požadovaných 9 s a byl tedy splněn požadavek zákazníka.

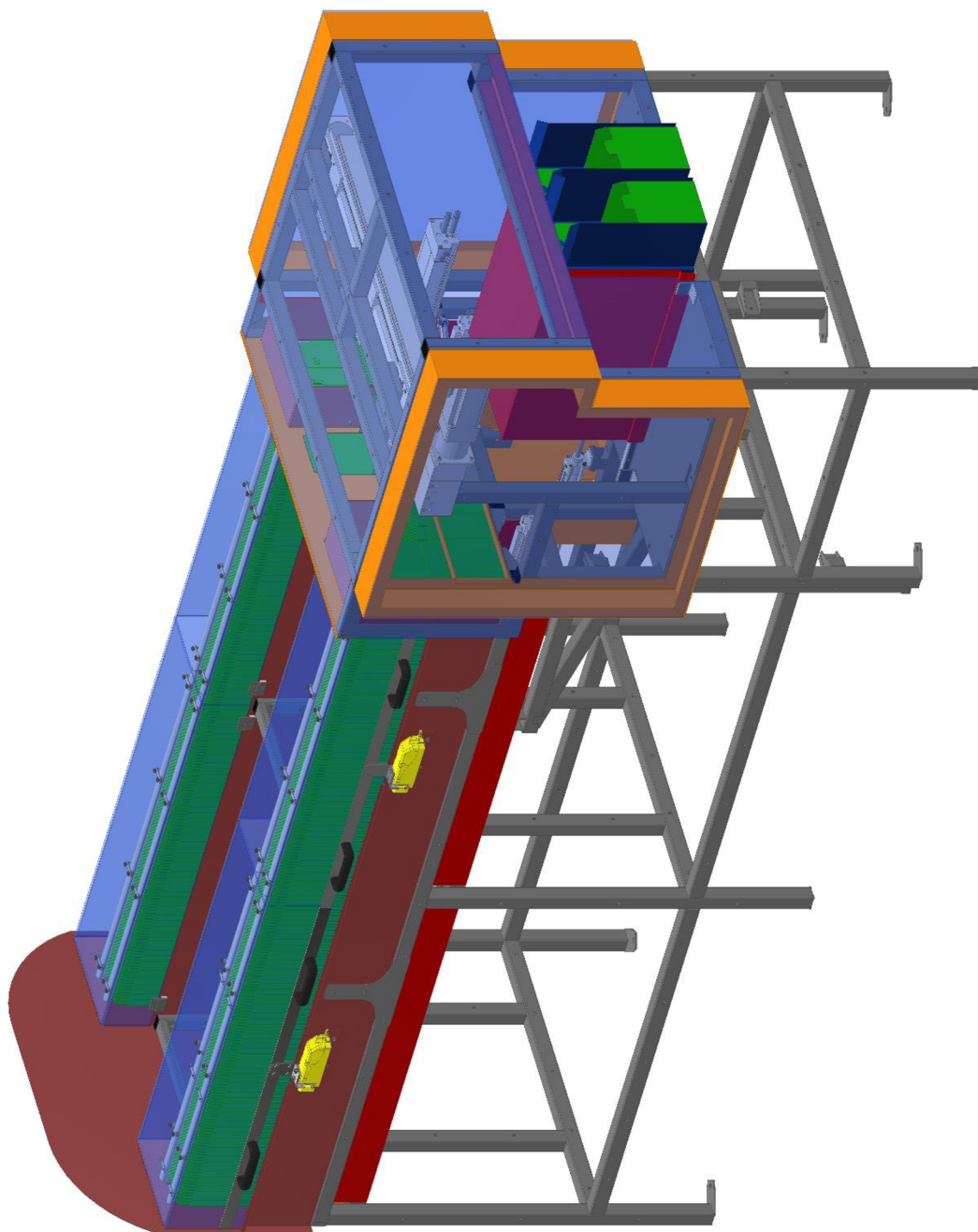
## 9.6. Výsledný stroj

Na následujícím obrázku Obr. 9.20 je vidět 3D model výsledného stroje bez zakrytování tak, aby byly vidět funkční části stroje.



*Obr. 9.20 Výsledný stroj bez zakrytování*

Na Obr. 9.21 je vyobrazen 3D model výsledného stroje se zakrytováním.



*Obr. 9.21 Výsledný stroj*

## 10. Ekonomické zhodnocení

Do ekonomického zhodnocení byly zahrnuty všechny funkční části stroje. Nejnákladnější částí stroje jsou pohony nakupované od firmy FESTO, jejichž cena vyšla přibližně na 340000 Kč. Další nákladnou položkou jsou bezpečnostní prvky a senzory, které byly spočítány na 105000 Kč. Dále je na stroji mnoho dílů, které musí být vyrobeny na zakázku. Takovými díly jsou například rámové konstrukce, kde rám A byl spočítán na 22000 Kč a rám B na 18000 Kč. Další součásti vyráběné na zakázku vyšly na 56000 Kč. Všechny položky lze vidět v Tab. 10.1.

Tab. 10.1 Ekonomické zhodnocení

Součást	Cena
Rámová konstrukce A	22 000,-
Rámová konstrukce B	18 000,-
Festo prvky	
- Pohony zásobníků	100 000,-
- Křížový manipulátor	150 000,-
- Pohon příklopné desky	1 000,-
- Pohon výstupních boxů	3 000,-
- Jednotka pro úpravu vzduchu	8 000,-
- Ventilový terminál	23 000,-
- Ejektory	15 000,-
- Příslušenství pohonů	40 000,-
Vakuové přísavky PIAB	3 000,-
Součásti vyráběné zakázkově (výpalky, obráběné a svařované díly skládacího mechanismu, pevné dorazy, přítlačné desky, zásobníky, deska stolu, výstupní box, ...)	56 000,-
Bezpečnostní elektrické prvky, senzory	105 000,-
Části zakrytování	30 000,-
Další nakupované díly (lineární vedení, panty, madla, ...)	47 000,-
Spojovací materiál	3 000,-
<b>Celková suma:</b>	<b>624 000,-</b>

## 11. Závěr

V rámci této diplomové práce byla provedena inovace procesu skládání a dopravy kartonových krabic. Tato inovace byla řešena zavedením jednoúčelového stroje. Zařízení pro skládání krabic se skládá z rámu, zásobníků polotovarů, elektrických a pneumatických pohonů, skládacího mechanismu a výstupního boxu. Návrh stroje vyplývá ze zákaznickem zadaných parametrů.

První částí práce byl podrobný popis řešeného problému – analýza polotovaru a analýza procesu. Na základě zjištěných informací byl proveden průzkum trhu a patentová rešerše.

Další částí práce byl návrh konceptů řešení, ke kterým byly vytvořeny 3D modely. První z konceptů využívá pro složení krabice robotické rameno, které je osazeno uchopovacím členem. Koncept 2 využívá ke skládání krabic principu zužujícího se profilu, který je po stranách osazen řemenovými dopravníky s ozubenými řemeny. Třetí koncept se skládá z dvou zásobníků, skládacího mechanismu a výstupního boxu. Krabice jsou skládány pomocí skládacího mechanismu, který je tvořen vakuovými savkami a sklopnou deskou, která napřímí boční stranu polotovaru a tím dojde ke složení krabice.

V další části práce byl proveden výběr finálního konceptu. Pro výběr byla použita Saatyho výběrová metoda, nebo také AHP. Koncepty řešení vůči sobě byly porovnány z hlediska jednotlivých kritérií. Jako vítězný koncept dle metody AHP vyšel koncept 3, tedy koncept skládacího stroje se speciálním skládacím mechanismem. Vítězný koncept byl dále optimalizován pomocí metod DFX a metody FMEA-K.

Další obsáhlou částí práce byla detailní konstrukce stroje. V této kapitole byl proveden návrh prvků použitých ve vybraném konceptu a jejich kontrola. Nejprve byla vypočtena délka zásobníků z důvodu požadavku času bez obsluhy stroje – 20 minut. Dále byl navržen a zkontrolován pohon kartonových polotovarů v zásobnících. Byla také

provedena kontrola pevného dorazu v zásobníku pomocí MKP, protože v kapitole optimalizace výsledného konceptu byla jednou z vad deformace pevných dorazů v zásobnících. Následně byly zkontrolovány přísavky, které uchopují polotovary a vytahují ho ze zásobníku. Poté byla podrobně zpracována část skládacího mechanismu, která je nesena křížovým manipulátorem a pohony (pneumatický a elektrický) tohoto manipulátoru byly zkontrolovány. Další pohon, který byl navržen, byl pohon, který pohybuje výstupním boxem. Výsledkem těchto výpočtů byla kontrola vhodnosti použitých prvků v technickém systému. Závěrem výpočtové části práce byla kontrola taktu stroje, protože takt stroje byl jedním z požadavků zákazníka. Stroj má výsledný takt 8,6 s a tím byl tedy splněn zákazníkuv požadavek.

Závěrem práce bylo provedeno ekonomické zhodnocení, do kterého byly zahrnuty všechny funkční části stroje. Celkový návrh byl zpracován pomocí softwaru Autodesk Inventor Professional. Byly vypracovány 3D modely a výkresy vybraných částí jednoúčelového stroje.

## Použitá literatura

- [1] Evropská agentura pro životní prostředí: Život ve spotřební společnosti [online]. [cit. 2021-02-02]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/cs/signaly/signaly-2012/clanky/zivot-ve-spotrebni-spolecnosti>
- [2] MAŠÍN, Ivan a Jaroslav MAŠÍN. Analýza procesův. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2012. ISBN 978-80-7372-865-6.
- [3] The Federation of Corrugated Board Manufacturers: FEFCO Code [online]. [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: <https://www.fefco.org/technical-information/fefco-code>
- [4] MAŠÍN, Ivan. Inovační inženýrství: plánování a návrh inovovaného výrobku. 1. vydání. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2012, 178 s. ISBN 978-80-7372-852-6.
- [5] Siat Spa: Case Erectors [online]. [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: [https://www.siat.com/product\\_category/products/case-handling/case-erectors/](https://www.siat.com/product_category/products/case-handling/case-erectors/)
- [6] Combi Packaging Systems: Case Erectors [online]. [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: <https://www.combi.com/case-erectors-automated-packaging-equipment>
- [7] Lantech: Case Erectors [online]. [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: <https://www.lantech.com/r2/explore-case-equipment/case-erectors/>
- [8] Vorrichtung und Verfahren zur Entnahme eines Zuschnitts. DE. DE102017200507A1 Patentový spis. Uděleno 19.7.2019.
- [9] VORRICHTUNG ZUM ENTNEHMEN VON FALTSCHACHTELZUSCHNITTEN O.DGL. AUS EINEM FESTSTEHENDEN MAGAZIN. DE. DE2923909A1 Patentový spis. Uděleno 18.12.1980.

- [10] A METHOD OF ERECTING A CASE AND AN AUTOMATED CASE ERECTING UNIT. DK. WO 2015/039669 A1 Patentový spis. Uděleno 26.3.2015.
- [11] J. GULLO, Louis a Jack DIXON. Design for Safety. 1. Wiley, 2017. ISBN 978-1-118-97431-5.
- [12] Svět produktivity: FMEA Analýza příčin a důsledků [online]. [cit. 2021-04-16]. Dostupné z: <https://www.svetproduktivity.cz/slovník/FMEA-Analyza-pricin-a-dusledku.htm?fbclid=IwAR2iLLV-kBgf-Y3euZpTFAdtL58G7oF992TWN51V0hHpNqGNiTVwgkdmS0k>
- [13] Festo [online]. [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cms/cs\\_cz/index.htm](https://www.festo.com/cms/cs_cz/index.htm)
- [14] Vakuové přísavky PIAB [online]. [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: <https://www.piab.com/suction-cups-and-soft-grippers/oval-suction-cups/>
- [15] Materiálový list 1.4301. Techportál [online]. [cit. 2021-04-27]. Dostupné z: [https://www.techportal.cz/searchcontent.phtml?getFile=2AXR\\_TUAMiBFGAgUc6BzY5pKR4a\\_RmSdJyeRJhvvhWt6GT3USXlrODF32bS3UUhLnzl00RA9x7p75N8MGgz73w](https://www.techportal.cz/searchcontent.phtml?getFile=2AXR_TUAMiBFGAgUc6BzY5pKR4a_RmSdJyeRJhvvhWt6GT3USXlrODF32bS3UUhLnzl00RA9x7p75N8MGgz73w)
- [16] Únava materiálu strojních součástí při periodickém zatěžování. Katedra částí a mechanismů strojů TUL [online]. Liberec [cit. 2021-04-27]. Dostupné z: [http://www.kst.tul.cz/podklady/casti\\_fs/podklady//Unava\\_materialu\\_strojnich\\_soucasti\\_pri\\_periodickem\\_zatezovani.pdf](http://www.kst.tul.cz/podklady/casti_fs/podklady//Unava_materialu_strojnich_soucasti_pri_periodickem_zatezovani.pdf)



## Seznam použitých zkratk a symbolů

$h$	Tloušťka polotovaru	[ $mm$ ]
$T$	Čas stroje bez obsluhy	[ $min$ ]
$t$	Takt stroje	[ $s$ ]
$L_{min}$	Minimální délka zásobníků	[ $mm$ ]
$L$	Výsledná délka zásobníků	[ $mm$ ]
$F_x, F_{x max}$	Síla ve směru osy x	[ $N$ ]
$F_y, F_{y max}$	Síla ve směru osy y	[ $N$ ]
$F_z, F_{z max}$	Síla ve směru osy z	[ $N$ ]
$M_x, M_{x max}$	Moment okolo osy x	[ $Nm$ ]
$M_y, M_{y max}$	Moment okolo osy y	[ $Nm$ ]
$M_z, M_{z max}$	Moment okolo osy z	[ $Nm$ ]
$f_{PZ}$	Součinitel tření mezi polotovarem a zásobníkem	[ $-$ ]
$m_p$	Hmotnost polotovaru	[ $kg$ ]
$n$	Počet kusů polotovarů v zásobníku	[ $-$ ]
$F_{TZ}$	Třecí síla mezi polotovarem a zásobníkem	[ $N$ ]
$F_N$	Normálová síla	[ $N$ ]
$g$	Gravitační zrychlení	[ $m * s^{-2}$ ]
$k_1, k_2$	Součinitel bezpečnosti 1,2	[ $-$ ]
$F_{TZV}$	Třecí síla polotovarů v zásobníku výsledná	[ $N$ ]
$x, y, z$	Vzdálenosti od počátku souřadného systému	[ $mm$ ]
$m_{pD}$	Hmotnost přítlačné desky	[ $kg$ ]
$d$	Průměr dorazových tyčí	[ $mm$ ]
$\sigma_{MKP max}$	Maximální napětí zjištěné metodou MKP	[ $MPa$ ]
$R_m$	Mez pevnosti	[ $MPa$ ]
$\sigma_{CO}$	Mez únavy v ohybu zkušební součásti	[ $MPa$ ]
$\sigma_{CO}^*$	Mez únavy v ohybu skutečné součásti	[ $MPa$ ]
$k_S$	Součinitel vlivu velikosti součásti	[ $-$ ]
$k_{SF}$	Součinitel vlivu jakosti povrchu součásti	[ $-$ ]

$k_f$	Vrubový součinitel	[-]
$q, q_1, q_2$	Vrubová citlivost materiálu	[-]
$k_t$	Součinitel vlivu koncentrace napětí	[-]
$f_{K-o}$	Koeficient tření karton – ocel	[-]
$f_{O-o}$	Koeficient tření ocel – ocel	[-]
$F_{T1}$	Třecí síla mezi polotovarem a dorazy	[N]
$F_{T2}$	Třecí síla mezi polotovary	[N]
$F_{TP}$	Třecí síla působící na poloměr při vytahování polotovaru	[N]
$F_{TPV}$	Výsledná třecí síla působící na poloměr při vytahování polotovaru	[N]
$m_m$	Hmotnost skládacího mechanismu	[kg]

## Seznam příloh

DP-001-000-000 – Sestava stroje-krytování

DP-002-000-000 – Sestava stroje-bez krytů

DP-002-002-000 – Pevný doraz

DP-002-002-001 – Upínací plech

DP-002-002-002 – Dorazová tyč

DP-002-004-000 – Skládací mechanismus