



# Efektor pro robotizované pracoviště v CKD centru

## Diplomová práce

*Studijní program:*

N2301 Strojní inženýrství

*Studijní obor:*

Konstrukce strojů a zařízení

*Autor práce:*

**Bc. Dominik Ťok**

*Vedoucí práce:*

Ing. Michal Starý, Ph.D.

Katedra sklářských strojů a robotiky

*Konzultanti práce:*

Ing. Ondřej Matúšek, Ph.D.

Katedra sklářských strojů a robotiky

Ing. Ivan Kvaššay

PLC-CKD Centrum, ŠKODA Auto a.s.





## Zadání diplomové práce

# Efektor pro robotizované pracoviště v CKD centru

*Jméno a příjmení:* **Bc. Dominik Ťok**  
*Osobní číslo:* S19000256  
*Studijní program:* N2301 Strojní inženýrství  
*Studijní obor:* Konstrukce strojů a zařízení  
*Zadávající katedra:* Katedra sklářských strojů a robotiky  
*Akademický rok:* 2020/2021

### Zásady pro vypracování:

Ve ŠKODA Auto je rozvíjen záměr na vytvoření robotizovaného pracoviště v CKD centru, jehož cílem je nahradit monotónní a opakující se činnost přesypání drobných dílů (šroubky, matice) z malých oběhových plastových tzv. KLT palet s hmotností max. 15 kg do velkého obalu určeného pro zámořskou přepravu.

Součástí robotizovaného pracoviště je přiměřeně flexibilní efektor instalovaný na zvoleném paletizačním robotu, který musí být schopen realizovat uchopení KLT přepravky v libovolné pozici na zkompletované podlážce a její přemístění na pomocnou pozici. Zde dojde k opětovnému uchopení přepravky tak, aby umožňoval reorientaci přepravky a její vysypání do velkého obalu (bedny).

*Úkolem vaší diplomové práce bude:*

1. Provedení zevrubné analýzy manipulační úlohy na robotizovaném pracovišti a provedení rešerše problematiky manipulace s plastovými paletami v úlohách jejich paletizace a depaletizace.
2. Koncepční návrh a provedení flexibilního efektoru ve variantách s výběrem optimální varianty.
3. Konstrukční řešení efektoru a jeho optimalizace z hlediska funkčního provedení a minimalizace hmotnosti doplněná kompletní výkresovou dokumentací a příslušnými výpočty.
4. Technickoekonomické zhodnocení předloženého řešení.

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

výkresová dokumentace  
40-50 stran textu vč. výpočtů  
tištěná/elektronická  
Čeština



### **Seznam odborné literatury:**

1. NOVOTNÝ, F. a HORÁK, M.: Konstrukce robotů. TU v Liberci, 2015, 236 s. ISBN 978-80-7494-216-7
2. KOLÍBAL, Z. a kol.: Roboty a robotizované výrobní technologie. VUT v Brně, nakladatelství VUTIUM 2016, 787 s., ISBN 978-80-214-4828-5
3. NOVOTNÝ, F. a HORÁK, M.: Efektory průmyslových robotů, Skripta TU v Liberci, 2015, 116s.
4. NOVOTNÝ, F.: Chapadla pro roboty a automatickou manipulaci. [skripta na CD ROM] Liberec: TU v Liberci, 2009, 75 s.
5. PALKO, A. a SMRČEK, J.: Robotika – Koncové efektory pro priemyselné a servisné roboty. Košice: TU v Košiciach, 2004, 274 s. ISBN 80-8073-218-3
6. HESSE, S.: Grippers and their applications. Esslingen: FESTO AG &Co. KG, 2004, 115 s.

*Vedoucí práce:*

Ing. Michal Starý, Ph.D.  
Katedra sklářských strojů a robotiky

*Konzultanti práce:*

Ing. Ondřej Matúšek, Ph.D.  
Katedra sklářských strojů a robotiky  
Ing. Ivan Kvaššay  
PLC-CKD Centrum, ŠKODA Auto a.s.

*Datum zadání práce:*

24. listopadu 2020

*Předpokládaný termín odevzdání:*

24. května 2022

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld  
děkan

L.S.

Ing. Vlastimil Hotař, Ph.D.  
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.

1. června 2021

Bc. Dominik Ťok

# **Efektor pro robotizované pracoviště v CKD centru**

## **Anotace**

Předkládaná diplomová práce se zabývá problematikou návrhu chapadla pro robotizovanou automatizaci paletizační úlohy v CKD centru ŠKODA AUTO. Obsahem je rozbor současného stavu a řešení paletizace a depaletizace plastových přepravek. Navazuje alternativní studie řešení a praktická část, v které je řešen kompletní mechanický návrh efektoru s potřebnými výpočty. V závěru je pak sepsáno technickoekonomické zhodnocení chapadla.

## **Klíčová slova**

Efektor, návrh, robotizované, pracoviště, CKD, centrum, paletizace, depaletizace

# **Effector for robotic workplace in CKD center**

## **Annotation**

The presented thesis deals with the design of a gripper for robotic automation of a palletizing task in the CKD center ŠKODA AUTO. The content is an analysis of the current state and a search for palletizing and depalletizing of plastic crates. It is followed by an alternative study of the solution and the practical part, in which the complete mechanical design of the effector with the necessary calculations is solved. In the end, the technical and economic evaluation of the gripper is written.

## **Keywords**

Effector, design, robotized, workplace, CKD, center, palletizing, depalletizing

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu své diplomové práce panu **Ing. Michalovi Starému, Ph.D.** za pomoc při její realizaci, za čas strávený při konzultacích, cenné rady a v neposlední řadě za trpělivost.

Dále děkuji **Ing. Ondřeji Matúškovi** za technickou pomoc, konzultace a celkovou podporu.

Poslední poděkování patří mé rodině, přítelkyni a přátelům za psychickou oporu a porozumění.

## Obsah

1.	Rozbor současného stavu pracoviště .....	13
1.1.	Popis vstupní přepravky.....	13
1.1.1.	Rozbor úchopných prvků vstupní přepravky .....	14
1.2.	Popis výstupní přepravky.....	15
1.3.	Popis přepravovaných dílů.....	16
1.4.	Popis layoutu pracoviště .....	16
1.5.	Popis paletizační úlohy .....	16
2.	Paletizace a depaletizace plastových přepravek .....	17
2.1.	Manuální paletizace .....	17
2.2.	Automatizovaná paletizace .....	18
3.	Alternativní studie.....	20
3.1.	Analýza dílčích úloh .....	20
3.1.1.	Uchopení přepravky .....	20
3.1.2.	Mezistanice .....	22
3.1.3.	Vysypání obsahu .....	22
3.1.4.	Odložení přepravky .....	22
3.2.	Návrh variant .....	22
3.2.1.	Varianta 1: Uchopení hran přepravky .....	22
3.2.2.	Varianta 2: Efektor s rotačními háčky .....	23
3.2.3.	Varianta 3: Uchopení pomocí háčků s mezistanicí .....	24
3.3.	Výběr varianty .....	24
4.	Konstrukční návrh efektoru .....	26
4.1.	Návrh umístění a rozměrů úchopných prvků.....	26
4.2.	Dimenzování a výběr pohonů .....	29
4.2.1.	Dimenzování a výběr pohonů prstů .....	29
4.2.2.	Dimenzování a výběr stavěcího válce a lineárního vedení .....	34
4.3.	Výběr PR.....	37
4.4.	Konstrukce efektoru.....	38
4.5.	Simulace vysypávání přepravky PR .....	40
4.6.	Číslování výkresové dokumentace .....	41
5.	Technickoekonomické zhodnocení.....	42
5.1.	Technické zhodnocení .....	42



5.2. Ekonomické zhodnocení.....	42
Závěr .....	44

## Seznam použitých zkratk a značek

Značka	Jednotka	Význam
3D	[-]	Trojrozměrný
$a_{max}$	$[ms^{-2}]$	Maximální zrychlení
$a_x$	$[ms^{-2}]$	Zrychlení PR v ose x
$a_y$	$[ms^{-2}]$	Zrychlení PR v ose y
$a_z$	$[ms^{-2}]$	Zrychlení PR v ose z
CKD	[-]	Z anglického „Completely-Knocked-Down“, ve volném překladu „kompletně rozloženo“
E	[J]	Tlumením absorbovaná energie v stavěcím válci
$E_{max}$	[J]	Maximální dovolená absorbovaná energie v stavěcím válci
$F_{odp}$	[N]	Odpor těsnění lineárního vozíku
$F_U$	[N]	Celková úchopná síla se započtenou bezpečností
$F_{U_k}$	[N]	Celková úchopná síla bez započtené bezpečnosti
$F_{U1}$	[N]	Dílčí úchopná síla 1
$F_{U2}$	[N]	Dílčí úchopná síla 2
$F_{U3}$	[N]	Dílčí úchopná síla 3
$F_{z\_max}$	[N]	Max. zatížení v axiálním směru stavěcího válce
g	$[ms^{-2}]$	Gravitační zrychlení
h	[mm]	Zdvih stavěcího válce
K	[-]	Celkový koeficient bezpečnosti
$K_1$	[-]	Hmotnostní koeficient
$K_2$	[-]	Koeficient způsob uchopení objektu
$K_3$	[-]	Koeficient stavu neopracovaných objektů
$K_4$	[-]	Koeficient kolísání tlaku pracovního média
$K_5$	[-]	Koeficient dynamické charakteristiky robotů
$K_6$	[-]	Koeficient provozních podmínek uživatelů
KLТ	[-]	Z Německého: Kleinladungsträger, ve volném překladu malý nosič nákladu (v práci vstupní přepravka)
L	[m]	Délka hadic k stavěcímu válci
$L_1$	[mm]	Vzdálenost $L_1$

$L_2$	[mm]	Vzdálenost L2
$L_3$	[mm]	Vzdálenost L3
$L_4$	[mm]	Vzdálenost L4
$m$	[kg]	Hmotnost KLT s maximálním nákladem (nosností)
$m_b$	[kg]	Hmotnost KLT
$m_c$	[kg]	Celková hmotnost přesouvaných hmot stavěcím válcem
$M_{c\_max}$	[Nm]	Maximální dovolený statický moment vozíku
$m_m$	[kg]	Maximální nosnost KLT
$M_{pr}$	[Nm]	Statický moment působící od prstů chapadla
$M_y\_max$	[Nm]	Max. momentové zatížení stavěcího válce v ose y
$N$	[N]	Normálová síla
$p$	[MPa]	Pracovní tlak média ve stavěcím válci
PR	[-]	Průmyslový robot
$q$	[dm <sup>3</sup> ]	Spotřeba vzduchu na cyklus stavěcího válce
$R$	[N]	Reakční síla
$R_1$	[mm]	Vzdálenost R1
$R_2$	[mm]	Vzdálenost R2
$R_3$	[mm]	Vzdálenost R3
SW	[-]	Software
$T$	[N]	Tečná síla
$t$	[s]	Požadovaný čas zdvihu stavěcího válce
$T_p$	[°C]	Teplota pracovního média v stavěcím válci
$v_{max}$	[ms <sup>-1</sup> ]	Maximální rychlost stavěcího válce
$v_{max\_c}$	[ms <sup>-1</sup> ]	Maximální rychlost stavěcího válce u konce cyklu
VZV	[-]	Vysokozdvižný vozík
$\beta$	[°]	Úhel klopné úsečky
$\mu$	[1]	Koeficient tření mezi KLT a prsty

## Úvod

V současnosti je trendem automatizovat manipulační procesy pomocí robotů a se souvisejícím problémem se potýká i firma ŠKODA AUTO v CKD centru, sídlící v Mladé Boleslavy. CKD centrum je logistický závod známého předního výrobce automobilů sloužící primárně pro přepravu a expedici autodílů do zahraničí.

Na pracovišti, které je předmětem této práce, dochází k manuálnímu přesypávání více menších plastových přepravek do jedné větší, která je určena pro zahraniční transport. Dodávku a odnímání palet zajišťuje logistický pracovník pomocí VZV. Samotný proces je časově náročný a neergonomický – vyžadující dva pracovníky, aby zvedali a přenášeli až 15 kilogramové přepravky z různých výšek.

Automatizace pracoviště je zajištěna pomocí šestiosého angulárního robotu. Přítomnost a pozice plastových přepravek, ve kterých jsou součástky určené pro přesypání, je detekována pomocí kamery. Chapadlo určené k této úloze musí disponovat dostatečnou nosností a musí mít přívětivý moment setrvačnosti pro příznivé dynamické vlastnosti robotu, aby nedocházelo k jeho nadměrnému přetěžování a tím zkrácování životnosti jeho výkonových členů.

Diplomová práce je rozdělena do šesti kapitol. V první kapitole je proveden rozbor současného stavu pracoviště a uveden popis všech používaných členů úlohy. Druhá kapitola se věnuje rešerši paletizace a depaletizace plastových přepravek. V následující třetí kapitole je zpracována alternativní studie zahrnující návrhy konceptů řešení a výběr nejpříznivější varianty. Samotný konstrukční návrh se všemi potřebnými technickými výpočty je proveden v kapitole 4. V závěrečných kapitolách je provedeno technickoekonomické zhodnocení a závěr.

## 1. Rozbor současného stavu pracoviště

Účelem pracoviště je přesypání obsahu přepravek umístěných v několika patrech, dovezených VZV na dřevěné europaletě, do jedné velké přepravky určené pro mezinárodní přepravu (Obr. 1).



*Obr. 1 Vlevo: Vstupní přepravky na europaletě. Vpravo: Výstupní přepravka [1]*

Nejprve je nutné definovat prvky vystupující na pracovišti, kterými jsou:

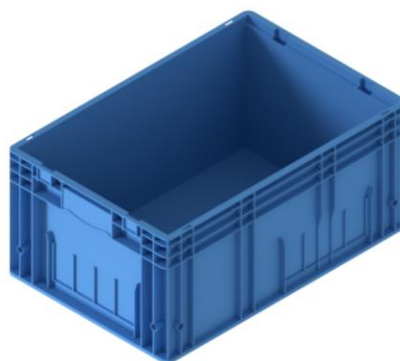
- Vstupní přepravky
- Výstupní přepravka
- Přepravované díly

Následně je zpracován layout celého pracoviště a popis pracovního cyklu paletizační úlohy.

### 1.1. Popis vstupní přepravky

Této kapitole je věnována větší pozornost z důvodu nutnosti definování úchopných prvků pro chapadlo.

Výchozími přepravkami jsou KLT boxy (také označovány jako Euro container) s maximální nosností 15 kg. Jejich konstrukce umožňuje díky horní a spodní geometrii stohování a tím bezpečné umístění přepravek do pater (Obr. 2).

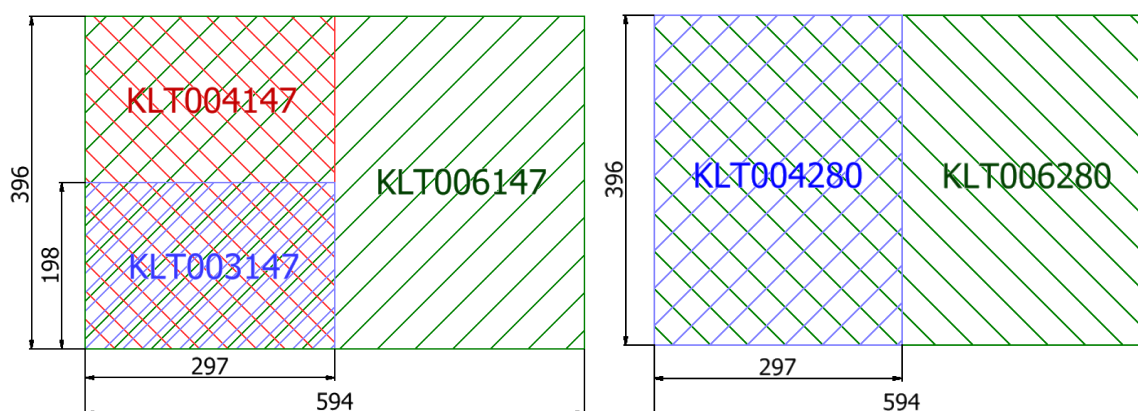


*Obr. 2 KLT přepravka*

Rozměry přepravek jsou dle typu různé a každé patro může obsahovat různou kombinaci typů přepravek se shodnou výškou. Používané typy přepravek jsou znázorněny v tab. 1 a v obr. 3.

Tab. 1 Rozměry a označení používaných KLT přepravek

Označení	Délka [mm]	Šířka [mm]	Výška [mm]	Hmotnost [kg]	Max. nosnost
KLT003147	297	198	147	0,57	15 [kg]
KLT004147	396	297	147	1,0	
KLT004280	396	297	280	1,70	
KLT006147	594	396	147	1,82	
KLT006280	594	396	280	2,67	

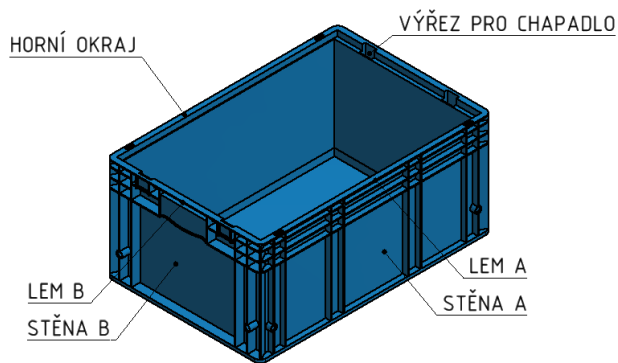


Obr. 3 Grafické znázornění rozměrů používaných přepravek. Výška 147mm vlevo a 280mm vpravo

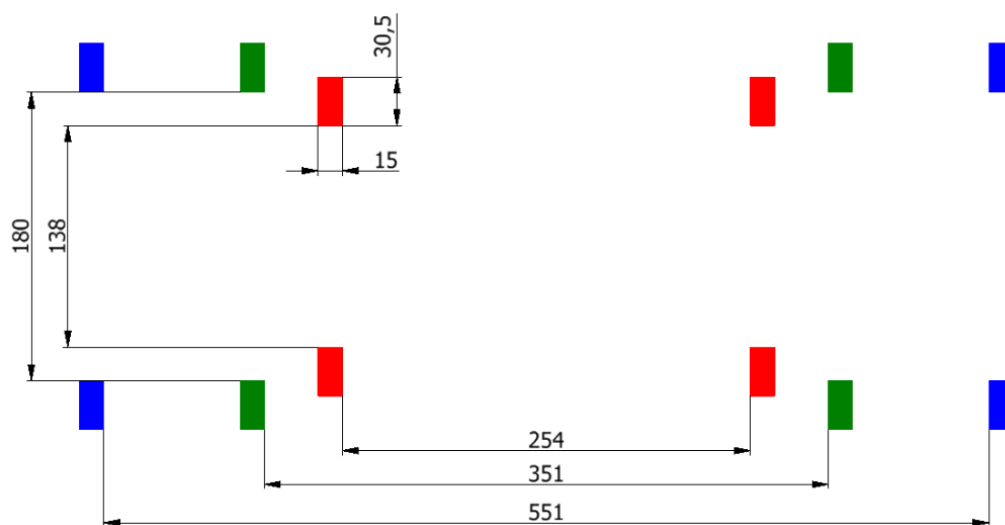
### 1.1.1. Rozbor úchopných prvků vstupní přepravky

Vzhledem k zakrytí spodní hrany a dvou na sebe kolmých stran přepravky z povahy úlohy, lze pro manipulaci využít pouze horní okraj, dvě zbylé volné stěny A, B (označení dle obr. 4) a tvarovaný výřez pro chapadlo (Obr. 4).

Stěny přepravky jsou pak osazeny lemy s označením LEM A, LEM B (označení respektuje značení stran). Geometrické rozměry včetně lemů jednotlivých typů přepravek se nacházejí v příloze 3-DP 19000256-0-0-01. Výřezy pro chapadlo pro všechny typy používaných přepravek jsou schematicky znázorněny v obr. 5 a výkresově v příloze 3-DP 19000256-0-0-02. Vnitřní stěny přepravky jsou hladké s ostrými úhly mezi hranami. Vnější stěny jsou osazeny podélnými i svislými žebry a hrany jsou zaoblené.



Obr. 4 Označení úchopných prvků na vstupní přepravce (KLT006280)



Obr. 5 Schéma umístění a velikosti výřezů pro chapadlo pro jednotlivé přepravky

## 1.2. Popis výstupní přepravky

Je používáno několik typů, a to s označením dle tab. 2. Uvedeny jsou také rozměry a maximální nosnosti všech používaných výstupních přepravek.

Tab. 2 Rozměry a označení používaných přepravek určených pro mezinárodní přepravu

Označení přepravky	Délka [mm]	Výška [mm]	Šířka [mm]	Max. nosnost [kg]
GLT3720	2260	1495	850	230-320
GLT3722	1495	747	850	230-320
GLT3726	1130	747	850	230-320
GLT3729	1130	747	425	230-320
A154754	1495	1130	850	800
A154755	1130	747	850	800

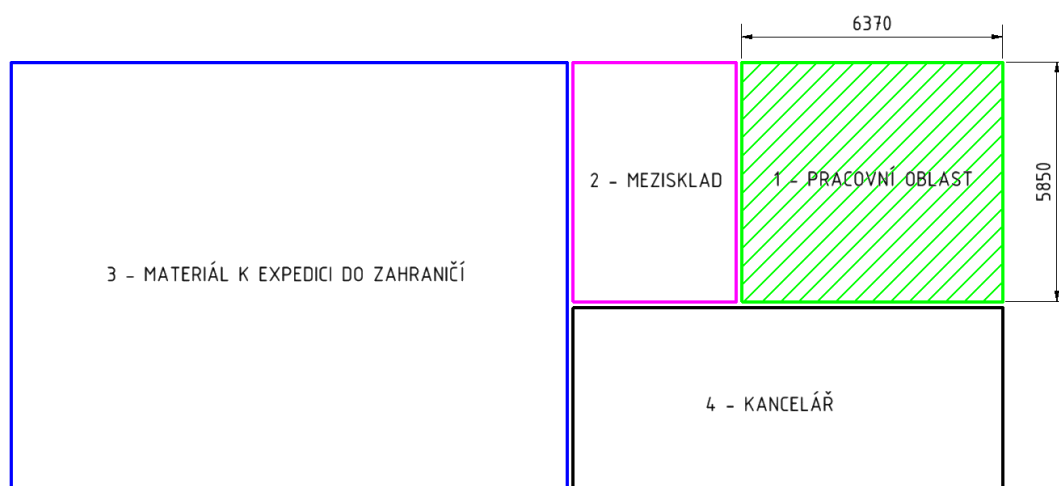
### 1.3. Popis přepravovaných dílů

Přepravovanými díly jsou mechanické součástky nenáchylné na nárazy a otřesy, manipulace s nimi tedy nemusí dbát na šetrném zacházení. V KLT přepravce jsou naskládány/nasypány náhodně, a tedy ani ve výstupní přepravce nemusí být zajištěna stejná orientace a pořadí. Lze je tedy do výstupní přepravky otočením přesypat.

Typů dílů je přibližně 80 a patří mezi ně: Matice, šrouby, podložky, čepy, nýty, spony, zátky, podstavce, nastavovací díly a třmeny.

### 1.4. Popis layoutu pracoviště

Pracoviště se nachází v budově CDK centrum společnosti ŠKODA a je rozděleno dle layoutu na následující sekce (Obr. 6):



Obr. 6 Layout pracoviště

Rozměr pracovní oblasti (1) je 6,37 x 5,85 [m<sup>2</sup>]. Mezisklad (2) tvoří hranici mezi pracovní oblastí a skladem s materiálem určenému k expedici (3) a lze jej využít ke skladování palet se vstupními přepravkami určenými k přesypání. Kancelář (4) pak slouží k administrativní činnosti pracovníků.

### 1.5. Popis paletizační úlohy

Cílem procesu je přesypat dílce ze vstupních přepravek umístěných v několika patrech do připravených palet určených pro mezinárodní přepravu do závodu SAIPL ve městě Pune v Indii a do Šanghaje v Číně. Přesypávání přepravek je realizováno manuálně jednou či dvěma pracovníky a délka procesu se pohybuje kolem jedné hodiny. Dodávku a odebírání přepravek zajišťuje VZV.



## 2. Paletizace a depaletizace plastových přepravek

Nejprve je nutné definovat vystupující pojmy. Paletizace je manipulační úloha, které podstatou je umístit objekt na paletu. Depaletizace je jev opačného charakteru, tedy objekty z palety odebrat. Paletou se rozumí přenosná plošina navržena pro snadnou manipulaci především s VZV, na kterou lze naložit objekty / zboží pro přepravu nebo skladování. Paletizace a depaletizace lze rozdělit do dvou základních skupin dle stupně automatizace do manuálních a automatizovaných. Podrobné rozebrání obou typů následuje v příslušných podkapitolách. Plastová přepravka je pak přepravní box, jehož primární funkcí je držet do něj naskladněné objekty a usnadnit jejich manipulaci / skladování. V této práci jsou plastové přepravky omezeny na v automobilovém průmyslu nejznámější typ, tj. KLT (označovány také jako Euro přepravky). Pojem pochází z německého Kleinladungsträger (malý nosič) a jedná se o stohovací kontejner spadající pod normu VDA 4500. Design přepravek je univerzální a počítá s manipulací jak manuální, tak automatizovanou a disponuje mnoha úchopnými prvky. Existuje široká škála typů KLT přepravek dle speciálních kladených nároků, například:

- R-KLT s pevným kompozitním dnem
- RL-KLT s hladkým dnem a otvory pro odtok vody
- F-KLT se skládací funkcí
- atd.



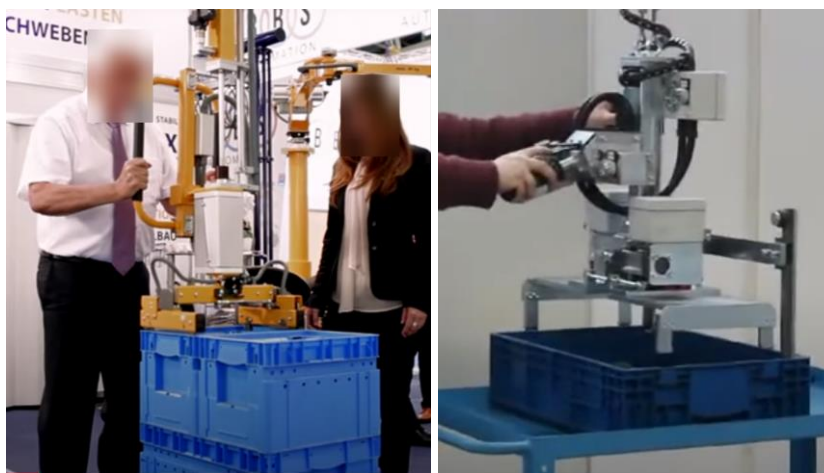
Obr. 7 Příklad sortimentu od firmy ISOCO. R-KLT vlevo, F-KLT vpravo. [2][3]

### 2.1. Manuální paletizace

Využití práce člověka je rychlé a mnohdy levné řešení problematiky pro malé objemy, avšak naráží na značné ergonomické limitace. Příkladem takové limitace je omezení celkové vykonané práce při manipulaci s břemeny za hodinu či za týden. Jeden z možných způsobů výpočtu této práce vychází z hmotnosti břemene, dráhy těžiště těla, koeficientu zapojení těla, počtu přemístění, vertikální dráhy těžiště břemene a

koeficientu držení. Z toho vyplývá, že vhodným řešením může být částečná mechanizace pracoviště, spočívající v minimalizaci výše uvedených faktorů optimalizováním layoutu pracoviště, instalováním pomocných prvků jako jsou různé skluzy, zdvihací prostředky, vozíky, manipulační prostředky atd. [4]

Za zmínku pak stojí pomocné manipulátory s účelem odlehčit přepravku a zajistit ergonomické uchycení v optimální výšce. (Obr. 8).



*Obr. 8 Ukázky pomocných manipulátorů [5] [6]*

## **2.2. Automatizovaná paletizace**

Snaha o odbourání limitací lidské práce vede k plné automatizaci paletizace. Nahrazujícími prostředky jsou dopravníkové tratě, manipulátory, průmyslové roboty a celá řada periferních zařízení jako jsou váhy, kamerové systémy atd. Pro dopravení palet a přepravku do paletizačních stanic jsou používány buď zmíněné dopravníkové tratě, nebo pro menší objemy VZV či manuální paletové vozíky. Samotná paletizační úloha je pak realizována buď manipulátory nebo PR.

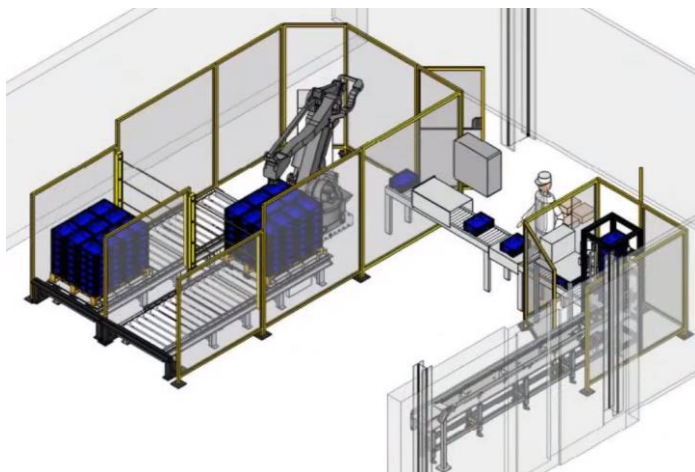
Paletizační stanice/linky nabízí v české republice řada firem, například NT technics s.r.o., SSI SCHAEFER, JVM metal s.r.o., FANUC, AKON Robotics atd. Výrobci zabývající se touto problematikou uvádějí mezi hlavní výhody konstantní výkon bez ohledu na pracovní dobu či ergonomické požadavky, šetrné zacházení s objektem či integraci kontrolních a procesních prvků. Konkrétní řešení jsou v mnoha případech individualizována pro konkrétní aplikaci.

Příklad jednoduché paletizační úlohy řešené PR lze vidět na obr. 9.



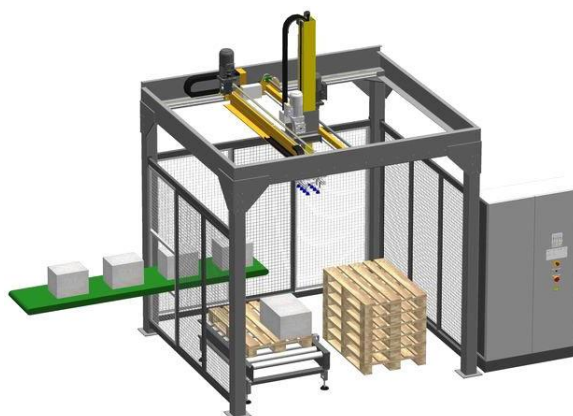
*Obr. 9 Příklad nasazení PR při manipulaci s přepravkami [7]*

Kompletní paletizační linku s PR a dopravníkovou tratí pro dodávání palet s přepravkami nabízí například firma AKON Robotics (Obr. 10).



*Obr. 10 Nabídka robotizované paletizační linky od firmy NT technics s.r.o. [8]*

Řešení s využitím manipulátoru je pak patrné na obr. 11.

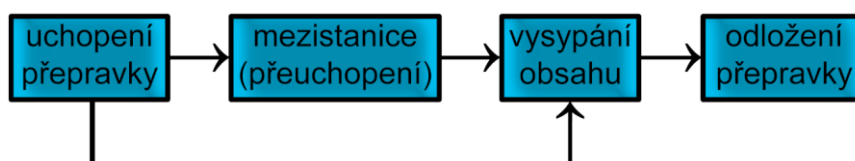


*Obr. 11 Příklad paletizace s využitím manipulátoru [9]*

### 3. Alternativní studie

Samotný proces lze rozdělit do třech úloh. První je uchopení vstupní přepravky, druhá je vysypání jejího obsahu do výstupní přepravky a poslední třetí úloha uzavírá pracovní cyklus odložením uchopené přepravky na výstupní paletu.

Do procesu je zařazena meziúloha po první úloze – odložení do mezistanice (Obr. 12), která slouží k uvolnění dříve blokových hran a následnému přeuchopení jiným chapadlem či jiným prvkem na stávajícím chapadlu. Tuto pozici lze obejít chytrým návrhem chapadla.



Obr. 12 Jednotlivé úlohy procesu

V první podkapitole je analyzována problematika dílčích úloh se zaměřením na manipulaci chapadlem. Následující kapitola se zabývá konkrétním návrhem variant řešení s návazností na kapitolu předchozí. Poslední podkapitola je věnována výběru vhodného řešení.

#### 3.1. Analýza dílčích úloh

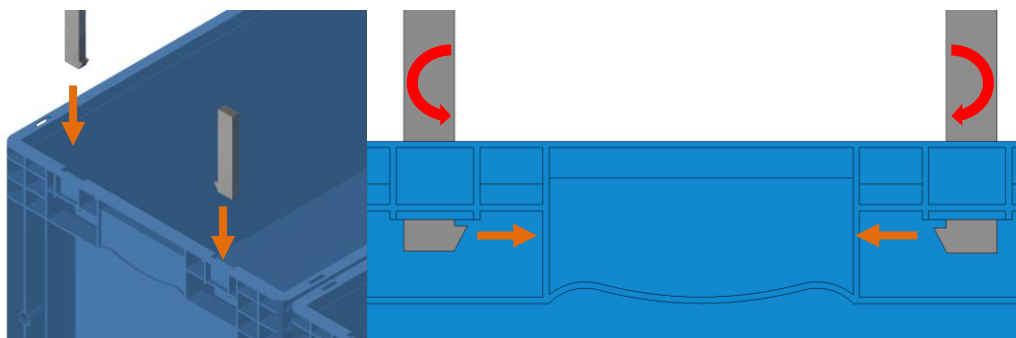
##### 3.1.1. Uchopení přepravky

V závislosti na úchopných prvcích (kapitola 1.1.1.) jsou tři možnosti uchopení přepravky:

- Uchopení přes výřezy
- Uchopení hrany
- Kombinace dvou předchozích

##### A) Uchopení přes výřezy

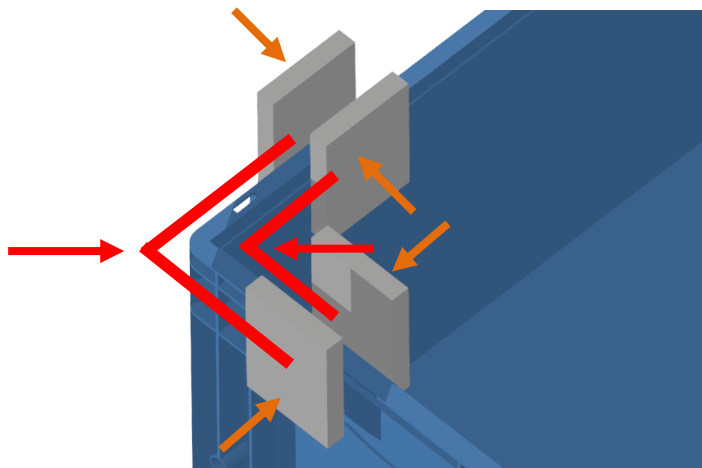
Koncové prvky efektoru jsou ve tvaru čtyřech háčků (pro každý otvor jeden), které nejprve sjedou svislým pohybem realizovaným PR směrem dolů do výřezů a poté upnou přepravku. Úchopný pohyb může být lineární, nebo rotační (Obr. 13). Aby efektor vyhověl všem druhům přepravek, musí disponovat buď stavitelností, nebo více úchopnými prvky v rozteči děr na přepravce.



*Obr. 13 Schéma možnosti uchopení přes výřezy*

### B) Uchopení hrany

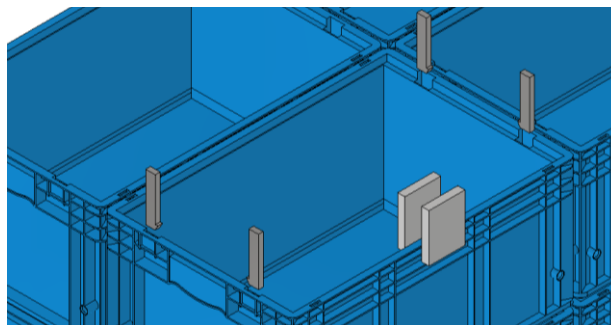
Stěna přepravky je svírána prsty chapadla, které jsou tvarovány do negativu lemu na hřebenu přepravky a vyvozují tak kombinaci silového a tvarového uchopení. Směr uzavírání chapadla může být kolmý na svírající plochy, nebo směřující do rohu přepravky (Obr. 14).



*Obr. 14 Schéma úchopu silového*

### C) Kombinace uchopení přes výřezy s uchopením hrany

Toto uchopení má význam při kombinování výhod a nevýhod úchopů v jednotlivých dílčích úlohách.



*Obr. 15 Schéma kombinovaného uchopení*

### **3.1.2. Mezistanice**

Mezistanice je určena k odložení přepravky a tím uvolnění zbylých předtím zakrytých třech hran pro získání více úchopných možností. Přeuchopení přepravky může být za předpokladu jednoho PR realizováno dvěma způsoby:

- Úchopné čelisti jsou na stávajícím efektoru
- Výměna chapadla přes rychlovýměnný systém

### **3.1.3. Vysypání obsahu**

Pro úspěšné přesypání všech dílů do výstupního boxu je zapotřebí otočit chapadlo s uchopenou přepravkou o přibližně 180° s nutností dbát na případné kolize vysypávaného materiálu s konstrukcí chapadla. Samotné otočení lze realizovat:

- Otočením vhodné osy na PR
- Dodatečným rotačním pohonem na efektoru

### **3.1.4. Odložení přepravky**

Po vysypání materiálu musí být přepravka umístěna na výstupní paletu. Zřetel musí být dán na umístění přepravek do pater. Je také nutné dbát na uspořádání přepravek, kdy dochází k překrytí dvou na sebe kolmých hran (viz první úloha).

## **3.2. Návrh variant**

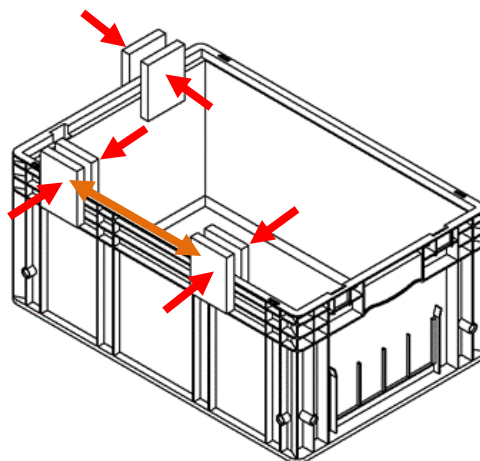
Tato kapitola spojuje předchozí rozbor způsobu úchopu přepravky a účel jednotlivých úloh s kvalifikovaným odhadem návrhu řešení z hlediska konstrukce, funkčnosti a ekonomické náročnosti.

### **3.2.1. Varianta 1: Uchopení hran přepravky**

Hrany přepravky jsou uchopeny prsty lineárních chapadel a přepraveny angulárním PR nad výstupní stanicí, kde je přepravka otočena a její obsah vysypán. Uchopeny jsou dvě na sebe kolmé volné hrany, počet chapadel a nutnosti jejich stavění pak vychází z konkrétního konstrukčního návrhu (Obr. 16).

Výhodou této konstrukce je vysoká míra flexibility chapadla při případné změně přepravek, příznivá hmotnostní charakteristika a možnost přeskočení mezistanice.

Nevýhodou je relativně velké množství aktivních prvků a velké nároky na uzavírací sílu chapadel.



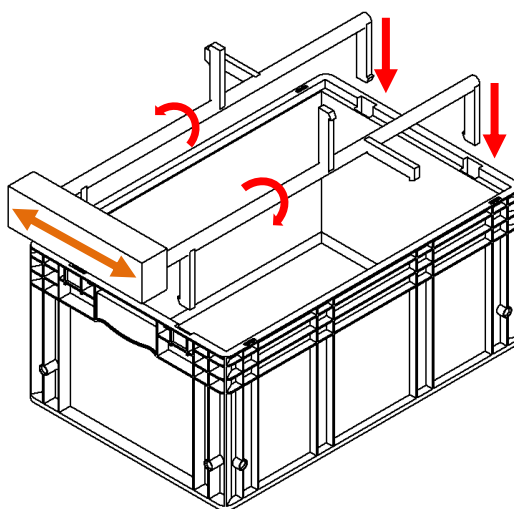
Obr. 16 Schéma varianty 1

### 3.2.2. Varianta 2: Efektor s rotačními háčky

Tato varianta chapadla vychází z uchopení přes výřezy pomocí háčků. Háčky jsou umístěny na dvou hřídelích, které jsou poháněny jedním, případně dvěma rotačními pohony. Nastavitelnost rozteče kratší strany je dosažena dodatečným pohonem. Druhá rozteč je dosažena přidanými háčky umístěnými v různých úhlech, aby nedošlo ke kolizi s jinými přepravkami (Obr. 17). Otočení KLT přepravky je realizováno pomocí PR.

Při zvedání přepravky za zachování její orientace, má tvarové uchopení výhodu menších požadavků na potřebnou sílu úchopu, která je částečně ztracena při úloze přesypávání, stále však příznivá, protože nepracuje s třecími silami.

Nevýhody jsou špatná hmotnostní charakteristika chapadla, nutnost přesného najíždění PR vyžadující výkonný kamerový systém a složitost řešení stavění. Dále je zde složitější řešení otáčení přepravky, kde hrozí kolize obsahu přepravky s efektoem.



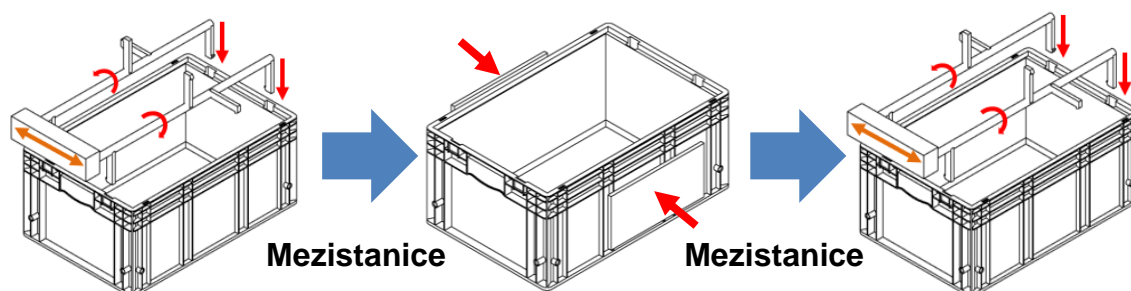
Obr. 17 Schéma varianty 2

### 3.2.3. Varianta 3: Uchopení pomocí háčků s mezistanicí

V první úloze dojde k uchopení přepravky pomocí rotačních háčků a následuje umístění do mezistanice, kde je přeuchopena vyměněným chapadlem, které přepravku svírá na dvou protilehlých vnějších stranách (Obr. 18). Výměna chapadla je realizována pomocí rychlovýměnného systému a musí být provedena dvakrát – před a po vysypání.

Výhoda chapadla je robustnost a maximální optimalizace dílčích částí chapadla pro jednotlivé úlohy bez nutných kompromisů a tím dobrá hmotnostní charakteristika.

Mezi nevýhody patří nutnost více pohonných aktivních členů a tím zvýšená cena a značné prodloužení pracovního cyklu.



Obr. 18 Schéma varianty 3

### 3.3. Výběr varianty

Pro výběr vhodné varianty je použita bodovací rozhodovací metoda, složená z několika na sebe navazujících kroků:

#### 1) Určení kritérií a jejich vah

Tento krok spočívá v určení kritérií, na kterých závisí rozhodnutí a každému kritériu je pak přiřazena váha udávající jeho důležitost. Nejdůležitější určené kritérium je náročnost konstrukce s přiřazenou váhou 100. Toto kritérium zahrnuje odhad náročnosti designu chapadla. Uvažována je složitost mechanismu efektoru a jednotlivých držáků, komplikace možných kolizí vysypávaného materiálu, množství aktivních prvků a náročnost dimenzování akčních prvků. Druhým kritériem jsou pořizovací náklady s váhou 70, v kterém jsou zahrnuty hrubé odhady cen všech členů efektoru a periferií (držáky, mezistanice, PR, kamerový systém atd.). Třetí kritérium je délka pracovního cyklu o váze 40. K nechtěnému prodlužování cyklu dochází primárně při přeuchopování KLT přepravky a výměnou efektoru pomocí rychlovýměnného systému. Posledním kritériem jsou provozní náklady efektoru s nejnižší vahou 20. Uvažovány jsou faktory spotřeby vzduchu a elektrické energie. Kritéria a jejich váhy jsou přehledně zobrazena v tabulce 3.



## 2) Významové přiřazení bodům

Druhý krok je slovní přiřazení. Příznivá charakteristika má větší bodové ohodnocení a naopak (Tab. 4).

## 3) Obodování a výpočet jednotlivých variant

Obodování variant kvalifikovaným odhadem. Po započtení vah kritérií a sečtení bodů každé varianty dostáváme pořadí jejich vhodnosti (Tab. 5).

Tab. 3 Přehled a váha kritérií

Přehled a váha kritérií	Kritéria	Váha	Normovaná váha
K1	Náročnost konstrukce	100	0,43
K2	Požizovací náklady	70	0,30
K3	Pracovní cyklus	40	0,18
K4	Provozní náklady	20	0,09
Celkem		230	1,00

Tab. 4 Významové přiřazení bodům

Bodování kritérií	K1	K2	K3	K4
1 bod	Složitá	Vysoké	Pomalý	Vysoké
2 body	Středně složitá	Střední	Středně rychlý	Střední
3 body	Jednoduchá	Nízké	Rychlý	Nízké

Tab. 5 Bodování variant

Bodování konceptů	K1	K2	K3	K4	K1_n	K2_n	K3_n	K4_n	$\Sigma$ bodů
Varianta 1	3	2	3	3	1,29	0,6	0,51	0,27	<b>2,67</b>
Varianta 2	2	2	3	3	0,86	0,6	0,51	0,27	2,24
Varianta 3	2	1	1	2	0,86	0,3	0,17	0,18	1,51

Varianta 1 má nejvyšší bodové ohodnocení a z alternativní studie tedy vyplývá řešení ve variantě 1: Uchopení hran přepravky.

## 4. Konstrukční návrh efektoru

Systematika návrhu efektoru se skládá z následujících na sebe navazujících kroků s odpovídajícími kapitolami:

- 1) Označení a návrh umístění, rozměrů chapadel s prsty
- 2) Dimenzování pohonů efektoru s výběrem konkrétních modelů a jejich přidružených periferních prvků
- 3) Výběr PR s kontrolou jeho nosnosti a dosahu
- 4) Konstrukce samotného efektoru spojením všech dílčích částí
- 5) Schématická simulace pro kontrolu celého procesu
- 6) Číslování výkresové dokumentace

### 4.1. Návrh umístění a rozměrů úchopných prvků

Úchopné prvky (Chapadla s prsty) musejí vyhovovat všem druhům přepravek a je tedy nutné u každého typu přepravky určit jejich umístění.

#### **KLT006280**

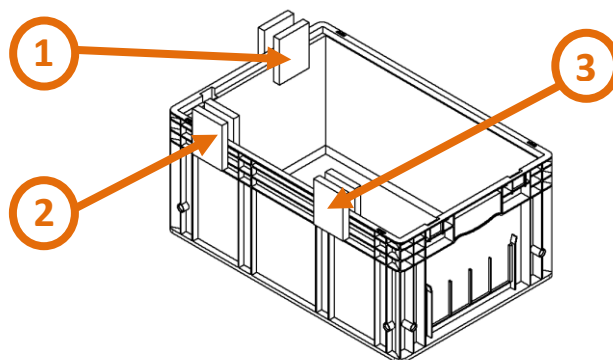
Největší varianta přepravky – je uchopena třemi paralelními chapadly označenými dle obr. 19.

#### **KLT004280**

Uchopení přepravky typu KLT004280 je obdobné, ovšem přepravka je kratší a musí tedy být zajištěna stavitelnost chapadla č. 3 pomocí pneumatického válce.

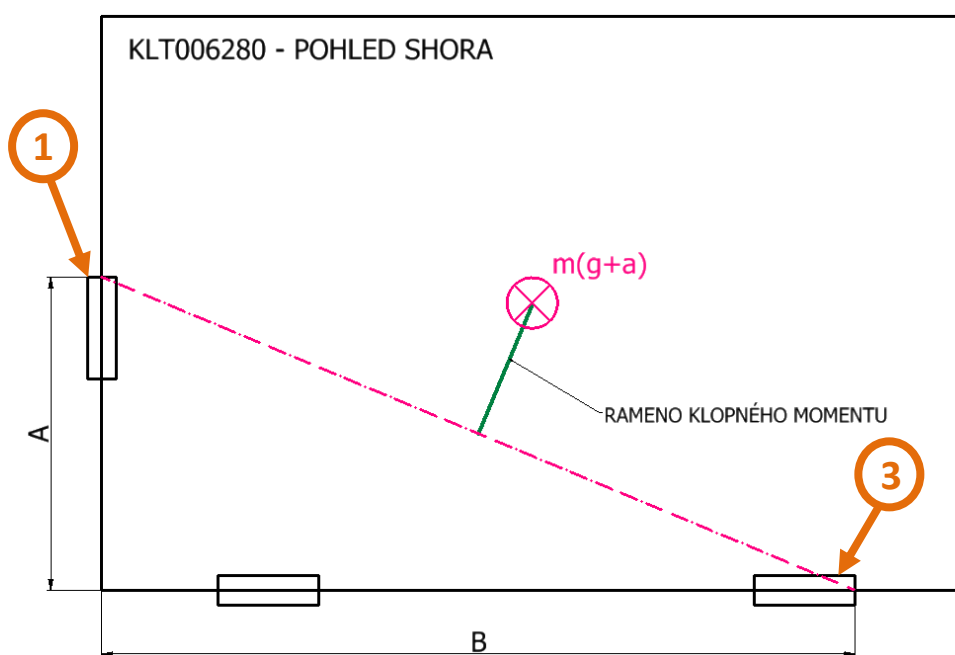
#### **KLT003147**

Nejmenší verze přepravky dovoluje svými malými rozměry a tím vyvoláním menšího klopného momentu použití pouze dvou chapadel. Chapadlo 1 v tomto případě uchopí její delší stranu a chapadlo 2 stranu kratší. Třetí chapadlo v této úloze zůstává otevřené, bez funkce.

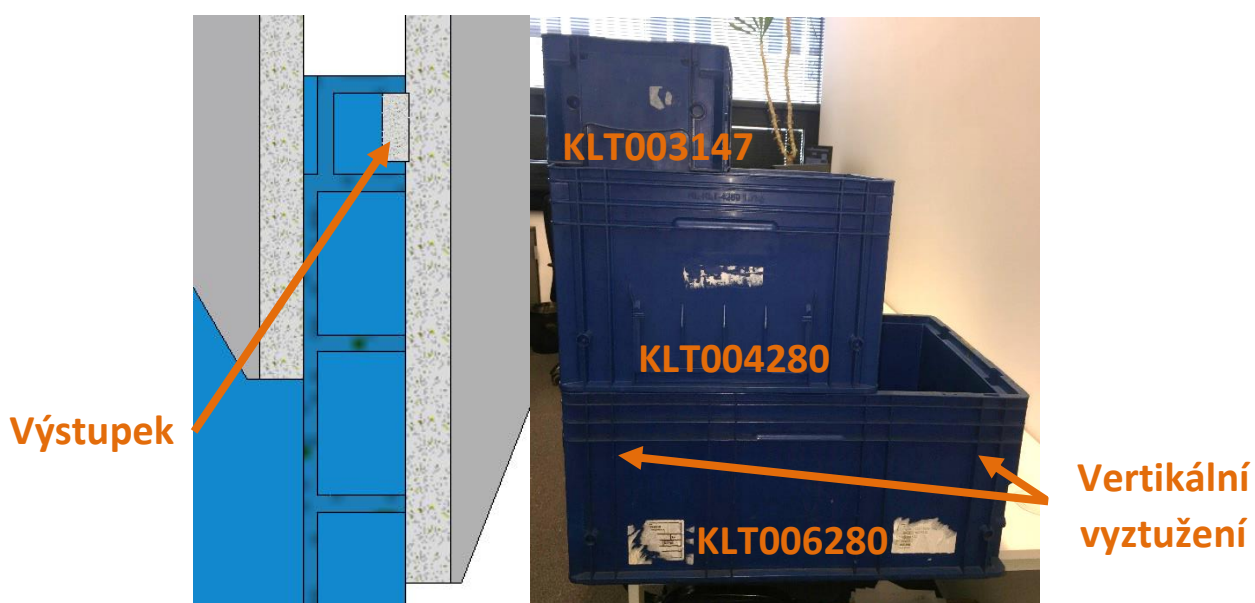


Obr. 19 Schéma rozmístění a označení úchopných prvků pro KLT006280.

Při nesymetrickém uchopení přepravky vzniká klopný moment (Obr. 20), který je možné minimalizovat posunutím chapadel 1 a 3 co nejdále k okrajům přepravky (zvětšením vzdáleností A, B na obr. 20). Ideální poloha chapadla 3 je tedy pro minimalizaci klopného momentu co nejdále od pozice 2 tak, aby zároveň nedošlo ke kolizi vertikálního vyztužení s výstupkem na vnějším prstu chapadla (Obr. 21).



Obr. 20 Schéma zobrazující vznikající klopný moment

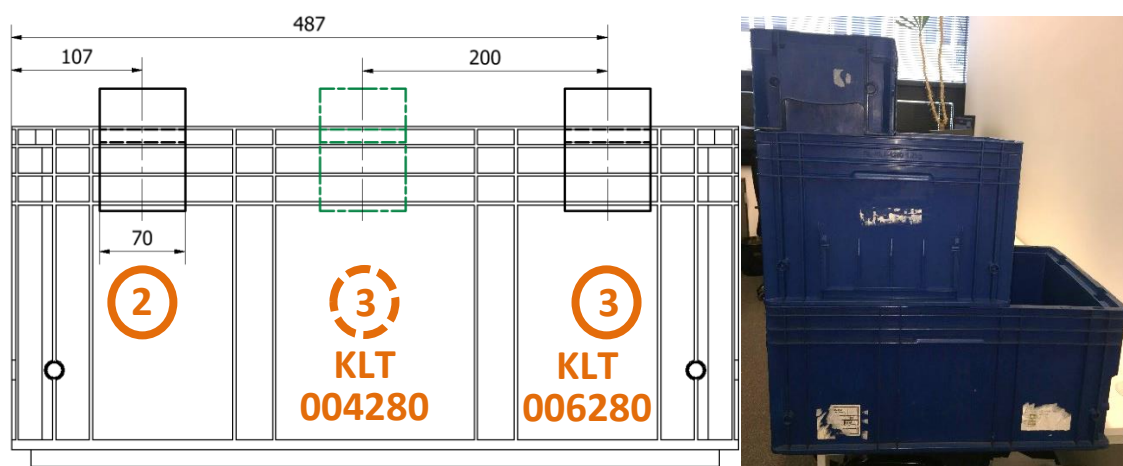


Obr. 21 Znárodnění výstupku pro tvarové uchopení vlevo. Ukázka jednotlivých přepravek a vyznačení vertikálního vyztužení vpravo.

Geometrie prstů chapadel je dána rozměry jednotlivých přepravek a umístěním vyztužovacích žebér viz příloha 1: Výkres P2 – 001.

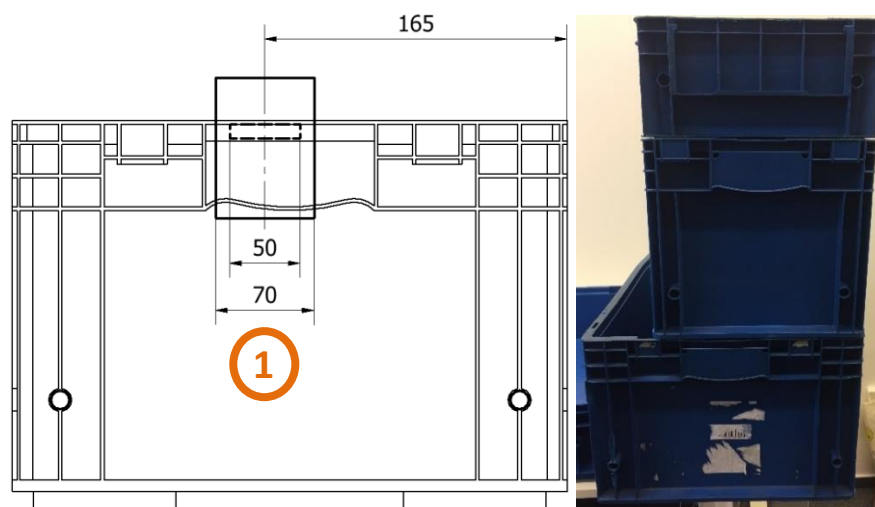
Při zvolené šířce prstu chapadla 70 mm je pro zabránění kolize výčnělku s žebry minimální vzdálenost osy chapadla 2 od kraje přepravky  $66,25 + 35 = 101,25$  mm. S rezervou pro najíždění PR je zvoleno 110 mm.

Maximální vzdálenost osy chapadla 3 pro přepravku KLT006280 činí  $527,75 - 35 = 492,75$  mm – pro bezpečný nájezd robotu je zvoleno 485 mm. U KLT004280 je vzdálenost menší, stavěcí válec tedy musí disponovat příslušným zdvihem 200 mm.



Obr. 22 Rozmístění úchopných prvků 2 a 3

Pro chapadlo 1 je zvolena stejná šířka – 70 mm. Maximální vzdálenost osy prstu od kraje přepravky je vypočtena z přepravky KLT003147 ( $33,5 + 3 * 57,5 - 35 = 171$ ) mm – s rezervou voleno 165 mm. Výčnělek pro tvarové uchopení je zkrácen na 50 mm kvůli kolizi s vertikální výztuhou přepravky.



Obr. 23 Umístění úchopného prvku 1

## 4.2. Dimenzování a výběr pohonů

Aktivní prvky jsou tvořeny třemi shodnými paralelními chapadly 1-3 a jedním stavěcím pneumatickým válcem s přidruženým lineární vedení.

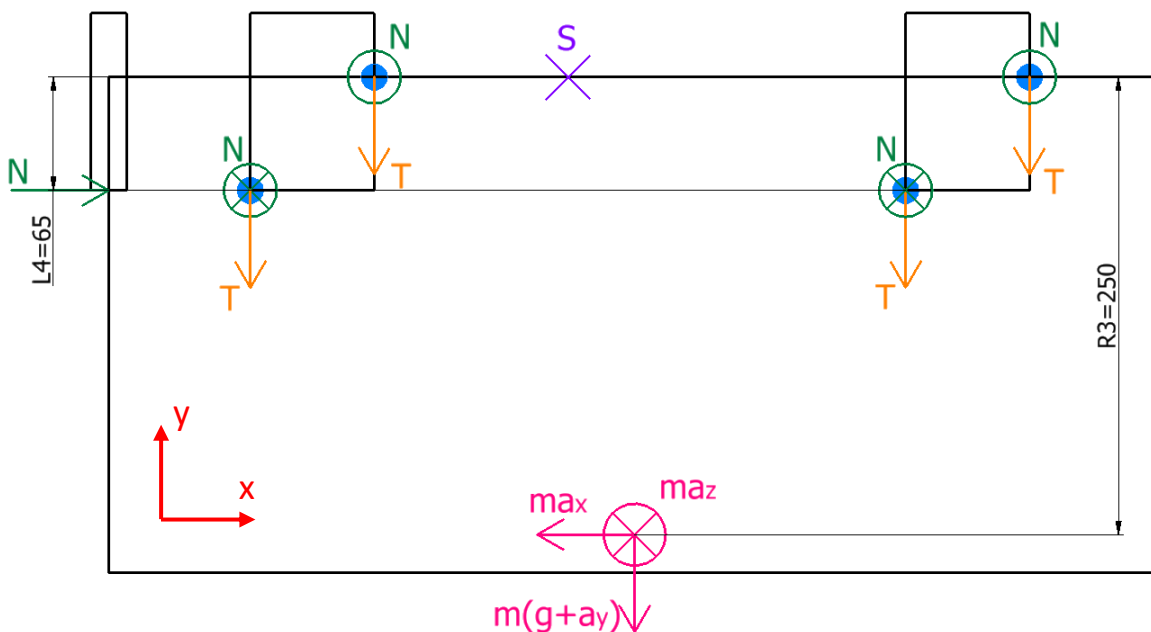
### 4.2.1. Dimenzování a výběr pohonů prstů

Úchopné a reakční síly jsou dány gravitačním zrychlením, zrychlením PR a již zmíněným klopným momentem. Dimenzování je provedeno pro největší variantu přepravy v obecném pohybu v prostoru, kde nastávají nejnepříznivější podmínky uchopení.

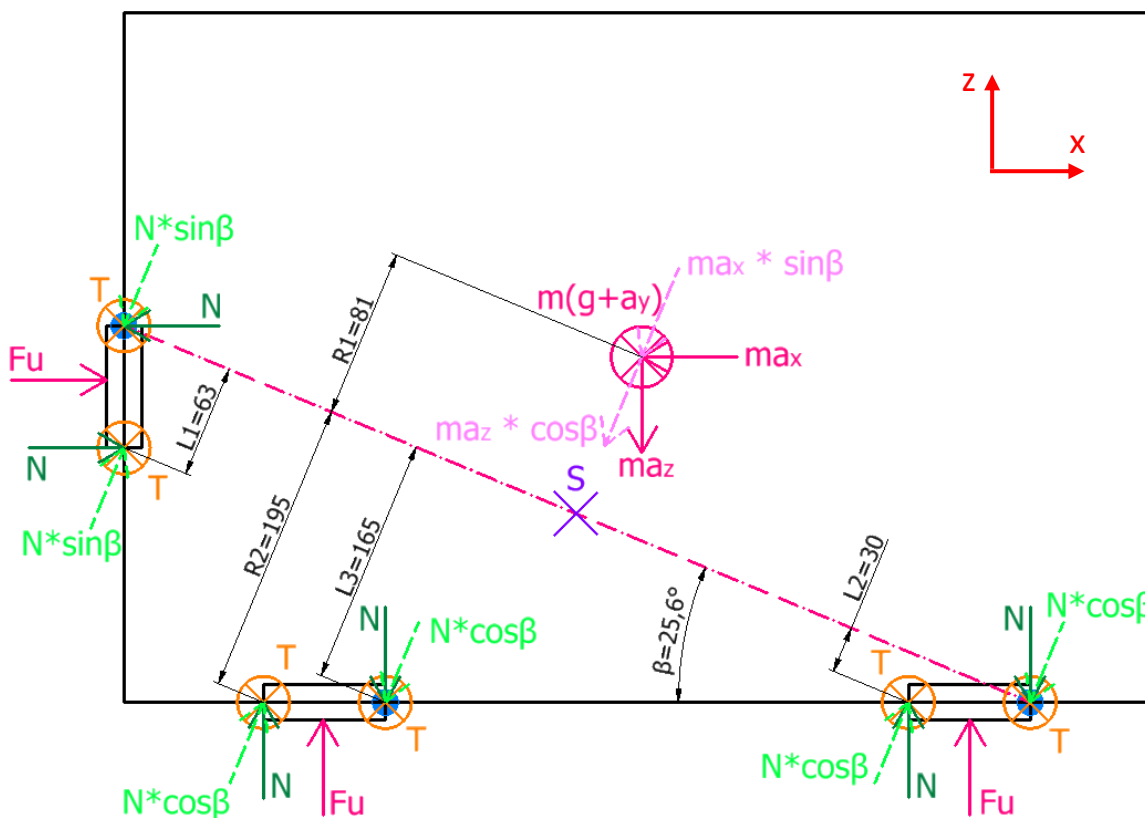
Geometrické hodnoty vzdáleností a úhel klopného momentu pro následný výpočet byly zjištěny přesným náčrtem v kreslicím softwaru. Zrychlení PR je omezeno na  $5 \text{ ms}^{-2}$  ve všech kartézských osách jeho pohybu. Koeficient tření mezi přepravkou vyrobenou z polypropylenu a prsty ze slitiny hliníku se velmi liší v závislosti na zdroji, pohybující se v rozmezích 0,1-0,4. Je zvolena hodnota 0,1 pro zaručení funkce. Vstupní hodnoty pro výpočet jsou přehledně uvedeny v tab. 6.

Tab. 6 Vstupní hodnoty pro výpočet chapadel 1-3

Vstupní hodnoty	
Hmotnost KLT	$m_b = 2,67 \text{ [kg]}$
Maximální nosnost KLT	$m_m = 15 \text{ [kg]}$
Zrychlení PR v ose x	$a_x = 5 \text{ [ms}^{-2}\text{]}$
Zrychlení PR v ose y	$a_y = 5 \text{ [ms}^{-2}\text{]}$
Zrychlení PR v ose z	$a_z = 5 \text{ [ms}^{-2}\text{]}$
Gravitační zrychlení	$g = 9,81 \text{ [ms}^{-2}\text{]}$
Koeficient tření mezi KLT a prsty	$\mu = 0,1 \text{ [1]}$
Úhel klopné úsečky	$\beta = 21 \text{ [}^\circ\text{]}$
Vzdálenost R1	$R_1 = 81 \text{ [mm]}$
Vzdálenost R2	$R_2 = 195 \text{ [mm]}$
Vzdálenost R3	$R_3 = 250 \text{ [mm]}$
Vzdálenost L1	$L_1 = 63 \text{ [mm]}$
Vzdálenost L2	$L_2 = 30 \text{ [mm]}$
Vzdálenost L3	$L_3 = 165 \text{ [mm]}$
Vzdálenost L4	$L_4 = 65 \text{ [mm]}$



Obr. 24 Rovnováha sil působících na KLT přepravku v rovině XY



Obr. 25 Rovnováha sil působících na KLT přepravku v rovině XZ

Výpočet je rozdělen dle rovnic rovnováhy do os  $x$ ,  $y$ ,  $z$  a jedné momentové rovnice k ose klopného momentu. Z rovnic pro osu  $y$  je získána reakční síla  $R$  od tvarové vazby výčnělku. Následně jsou obdobným způsobem získány složky úchopné síly v osách  $x$ ,  $z$  a momentové rovnice. Ty jsou následně sečteny a vynásobeny bezpečnostním koeficientem  $k$ .

### Vztahy nutné pro další výpočet

Celková hmotnost přepravky s přenášenými díly

$$m = m_b + m_m = 17,67 \text{ [kg]}$$

Zátěžná síla je převedena třením vztahem

$$T = N * \mu$$

### Rovnice rovnováhy v ose y

Pro výpočet reakční síly  $R$  na chapadlo z rovnice rovnováhy v ose y platí

$$3R - m(a_y + g) = 0$$

$$3R = m(a_y + g)$$

$$R = \frac{m(a_y + g)}{3}$$

### Rovnice rovnováhy v ose x

První dílčí úchopná síla  $F_{U1}$  vychází z rovnice rovnováhy v ose x

$$N + 4T - ma_x = 0$$

$$N + 4N\mu = ma_x$$

$$F_{U1} = N = \frac{ma_x}{1 + 4\mu}$$

### Rovnice rovnováhy v ose z

Druhá dílčí úchopná síla  $F_{U2}$  vychází z rovnice rovnováhy v ose z

$$2N + 2T - ma_z = 0$$

$$2N + 2N\mu = m * a_z$$

$$F_{U2} = N = \frac{ma_z}{2 + 2\mu}$$

### Momentová rovnice

Pro výpočet třetí dílčí úchopné síly  $F_{U3}$  z momentové rovnováhy platí

$$m(g + a_y) * R1 + ma_z * \cos\beta * R3 + ma_x * \sin\beta * R3$$

$$= 2N * \cos\beta * L4 + N * \sin\beta * L4$$

$$m(g + a_y) * R1 + ma_z * \cos\beta * R3 + ma_x * \sin\beta * R3 = 2\cos\beta * L4 + \sin\beta * L4)$$

$$N = F_{U3} = \frac{m(g + a_y) * R1 + ma_z * \cos\beta * R3 + ma_x * \sin\beta * R3}{2\cos\beta * L4 + \sin\beta * L4}$$

Celková úchopná síla bez bezpečnosti je rovna sečtením dílčích úchopných sil

$$F_{U_k} = F_{U1} + F_{U2} + F_{U3} \cong 370 \text{ N}$$

## Bezpečnost

Celková bezpečnost pro chapadlo je dosažena násobením dílčích  $k_n$ , kde:

$k_1$  – hmotnostní koeficient (při 120 % max. hmotnosti) = 1,2

$k_2$  – způsob uchopení objektu (třístranné uchopení) = 1,2

$k_3$  – stav neopracovaných objektů (opracované) = 1,0

$k_4$  – kolísání tlaku pracovního média = 1,1

$k_5$  – dynamické charakteristiky robotů = 1,3

$k_6$  – provozní podmínky uživatelů (běžné) = 1,0

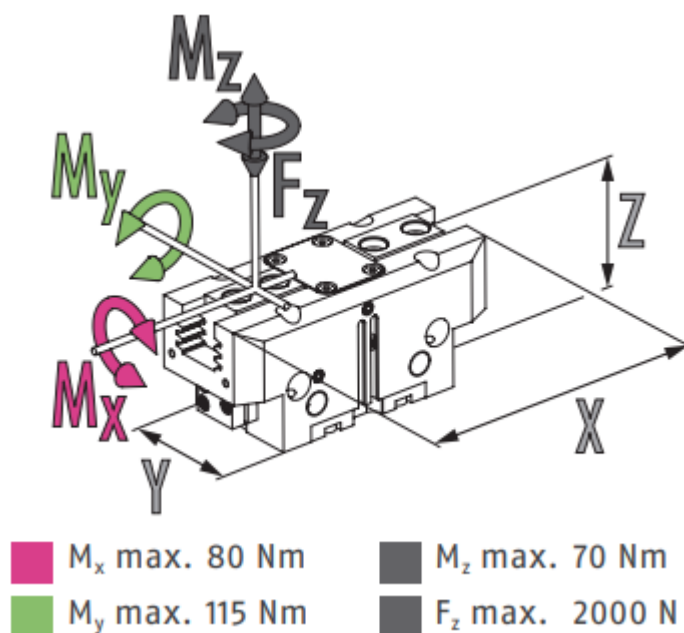
S bezpečností  $k = k_1 * k_2 * k_3 * k_4 * k_5 * k_6 = 2,06$  je potřebná úchopná síla rovna:

$$F_U \cong 760 \text{ N}$$

## Výběr pohonu

Potřebný zdvih chapadla je dán tloušťkou stěn přepravek, výčnělku pro tvarové uchopení a rezervou pro najíždění robotu. Minimální tloušťka stěny činí 15 mm, maximální 25,8 mm a délka výčnělku je zvolena 3,5 mm. Celkový zdvih bez rezervy je tedy  $(25,8 + 3,5 - 15 = 14,3)$  mm. Celkový zdvih je zvolen 20 mm.

Je zvolen pohon PGN-plus 100-1-AS-KVZ od firmy SCHUNK (Obr. 26) s udržováním uchopovací síly při výpadku energie a posilovačem uchopovací síly s relevantními technickými parametry dle tab. 7.



Obr. 26 SCHUNK PGN-plus 100-1-AS-KVZ s maximálními zátěžemi [10]

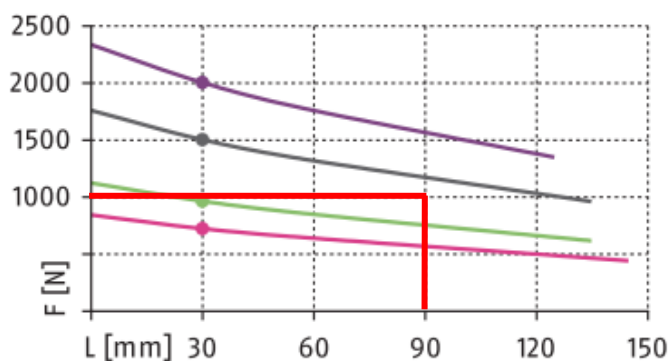


Tab. 7 Vybrané technické parametry pro PGN-plus 100-1-AS-KVZ [10]

PGN-plus 100-1-AS-KVZ	
ID	0372402
Zdvih na čelist [mm]	10
Zavírací síla při délce prstů 30 mm [N]	1280
Hmotnost [kg]	1,3
Max. přípustná hmotnost každého prstu [kg]	1,1
Délka X [mm]	120
Šířka Y [mm]	50
Výška Z [mm]	107,5
Max. axiální síla Fz max. [N]	2000
Max. moment My_max [Nm]	115

### Kontrola pohonu

Uchopovací síla klesá v závislosti na délce chapadel dle obr. 27. Červeně vyznačen pracovní bod – vyhovuje.



Obr. 27 Pracovní bod pohonu PGN-plus 100-1-AS-KVZ [10]

Pro maximální přípustný moment působící na chapadlo lze dle obr. 24 na str. 27 psát:

$$M_{y\_max}(115 \text{ Nm}) > L4 * \frac{F_U}{2}$$

$$M_{y\_max}(115 \text{ Nm}) > 26 \text{ [Nm]} \quad - \text{vyhovuje}$$

Reakční síla R od tvarového uchopení musí být menší než maximální povolená axiální síla Fz chapadla.

$$R (87 \text{ N}) < F_z (2000 \text{ N}) \quad - \text{vyhovuje.}$$

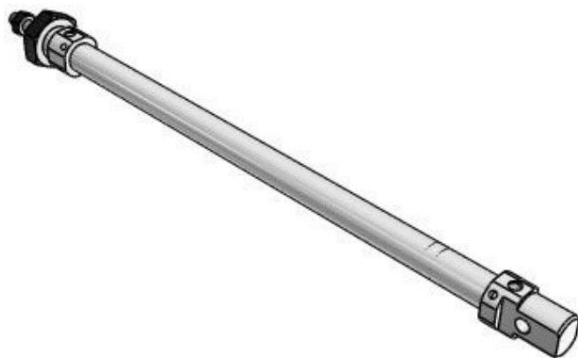
#### 4.2.2. Dimenzování a výběr stavěcího válce a lineárního vedení

Pro výpočet válce je zvolen konfigurační program ‚Modelování a výpočet pneumatických systémů v.4.0.22‘ od společnosti SMC.

Software pro návrh a výpočet pohonu vyžaduje následující hodnoty:

- celkovou hmotnost přesouvaných hmot (chapadlo s přírubou, vnitřní prst, vnější prst a vozík lineárního vedení)  $m_c \cong 2 [kg]$
- vnější síly působící proti válci – v tomto případě odpor těsnění lineárního vozíku, který je roven  $F_{odp} = 1,3 [N]$
- požadovaný čas zdvihu válce – je zvolena dostačující hodnota  $t = 1 [s]$
- pracovní tlak – po provedené iteraci je zvolena hodnota  $p = 0,15 [Mpa]$
- pracovní teplotu – zvolena  $T_p = 20 [^{\circ}C]$
- délka hadic přívodu vzduchu – zvoleno  $L = 5 [m]$
- Zdvih válce –  $h = 200 [mm]$

Po provedení výpočtů je doporučen dvojčinný lineární pneumatický válec s označením C85N12-200C (obr. 28), kterého relevantní technické parametry viz tabulka 8. Vypočtené hodnoty jsou zobrazeny v tabulce 9. Diagram vývoje rychlosti a zrychlení v čase je pak vyobrazen v obr. 29.



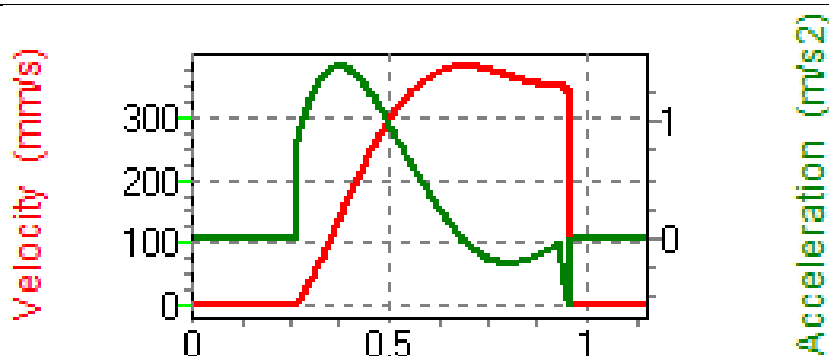
Obr. 28 Pnev válec C85N12-200C od společnosti SMC [11]

Tab. 8 Vybrané technické parametry pro C85N12-200C [11]

C85N12-200C	
Průměr pístu [mm]	12
Průměr pístnice [mm]	6
Zdvih válce [mm]	200
Hmotnost [kg]	0,22
Maximální dovolená rychlost pístnice [ $ms^{-2}$ ]	1,5
Tlumení krajních poloh	Nastavitelné vzduchové
Minimální / Maximální operační tlak [Mpa]	0,08 / 1
Teoretická síla zasouvání válce (při 0.5 MPa) [N]	42,4

Tab. 9 Softwarem vypočtené hodnoty

Softwarem vypočtené hodnoty	
Maximální zrychlení	$a_{max} = 1,4 [ms^{-2}]$
Maximální rychlost	$v_{max} = 0,38 [ms^{-1}]$
Rychlost před koncem cyklu	$v_{max\_c} = 0,36 [ms^{-1}]$
Spotřeba vzduchu na cyklus	$q = 0,173 [dm^3]$
Tlumením absorbovaná energie	$E = 0,14 [J]$
Maximální dovolená absorbovaná energie	$E_{max} = 0,19 [J]$



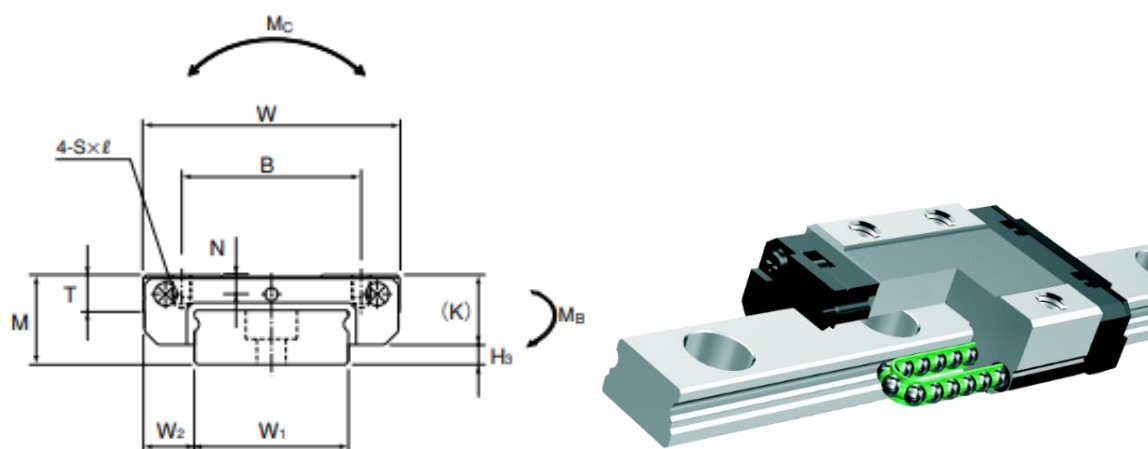
Obr. 29 Diagram zrychlení a rychlosti válce

Kontrolu vyžaduje zrychlení válce, které musí být menší než maximální dovolené zrychlení pístnice. Taktěž tlumením absorbovaná energie  $E$  nesmí přesahovat povolenou hodnotu  $E_{max}$ . Válec vyhovuje.

Pro správnou funkci je válec upevněn v uložení s válcovou vazbou z jedné strany a v kompenzační hlavici na straně druhé. Oba prvky jsou nakupované od SMC pro zaručenou kompatibilitu. První prvek s válcovou vazbou má označení C85C16 a kompenzační hlavice je výrobcem označována JA15-6-100.

### Výběr a kontrola lineárního vedení

Lineární vedení je zvoleno od firmy THK – typ SRS20M (Obr. 30). Jedná se o miniaturní verzi pro příznivou hmotnostní charakteristiku a malou zástavbu. Relevantní technické parametry viz tab. 10.



Obr. 30 Lineární vedení od firmy THK – typ SRS20M [12]

Tab. 10 Vybrané technické parametry pro SRS20M [12]

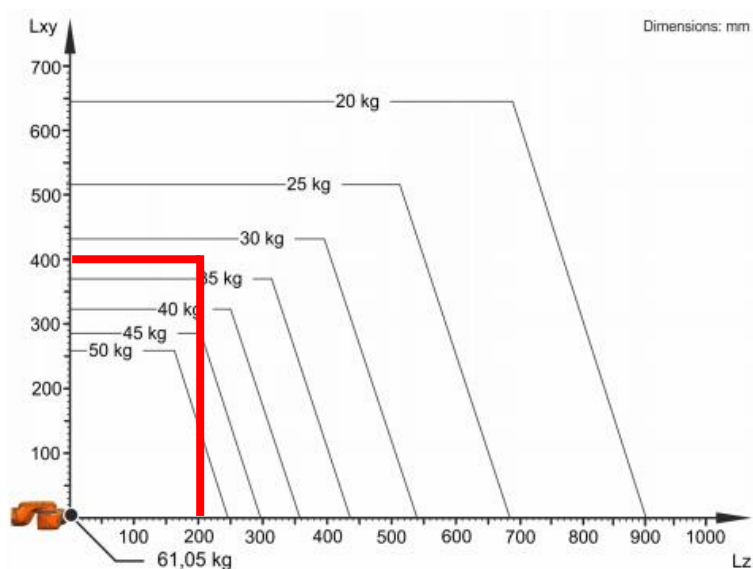
SRS20MSS1	
Hmotnost vozíku [kg]	0,22
Hmotnost kolejnice [kg/m]	1,68
Nosnost [N]	7750
Maximální statický moment $M_{c\_max}$ [Nm]	104

Nosnost vozíku je výrazně předimenzovaná. Statický moment působící od prstů chapadla je pak v souladu se schématem v obr. 24 na straně 30 ve tvaru:

$$M_{pr} = L4 * \frac{F_U}{2} = 26 [Nm] - \text{vyhovuje}$$

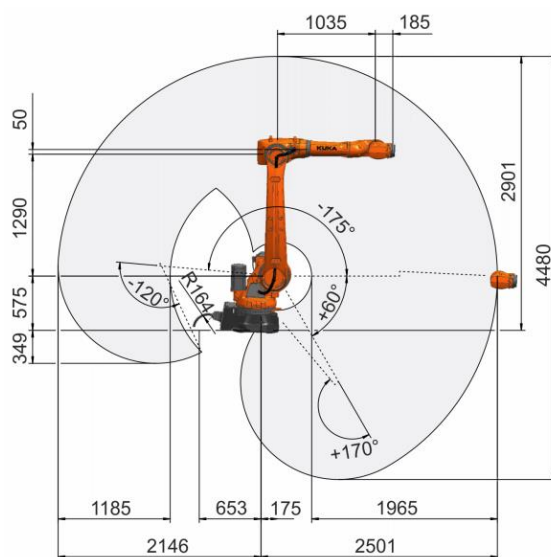
### 4.3. Výběr PR

Je zvolen PR od firmy KUKA, model KR 50 R2500 z modelové řady IONTEC pro střední zatížení. Jmenovitá nosnost robotu je 50 kg, s klesající charakteristikou v závislosti na vzdálenosti těžiště – maximální pracovní bod vyznačen v diagramu v obr. 31. Hmotnost efektoru s maximální hmotností přepravky s nákladem činí 24,67 kg – robot vyhovuje.



Obr. 31 Diagram nosnosti s vyznačeným max. pracovním bodem PR KUKA KR 50 R2500 [13]

Maximální dosah robotu činí 2501 mm. Pracovní oblast robotu (obr. 32) je vizuálně zkontrolována v CAD softwaru a následně je provedena schématická simulace úchopu přepravky a jejího vysypání (Obr. 35 na straně 40).



Obr. 32 Pracovní oblast PR KUKA KR 50 R2500 [13]

#### **4.4. Konstrukce efektoru**

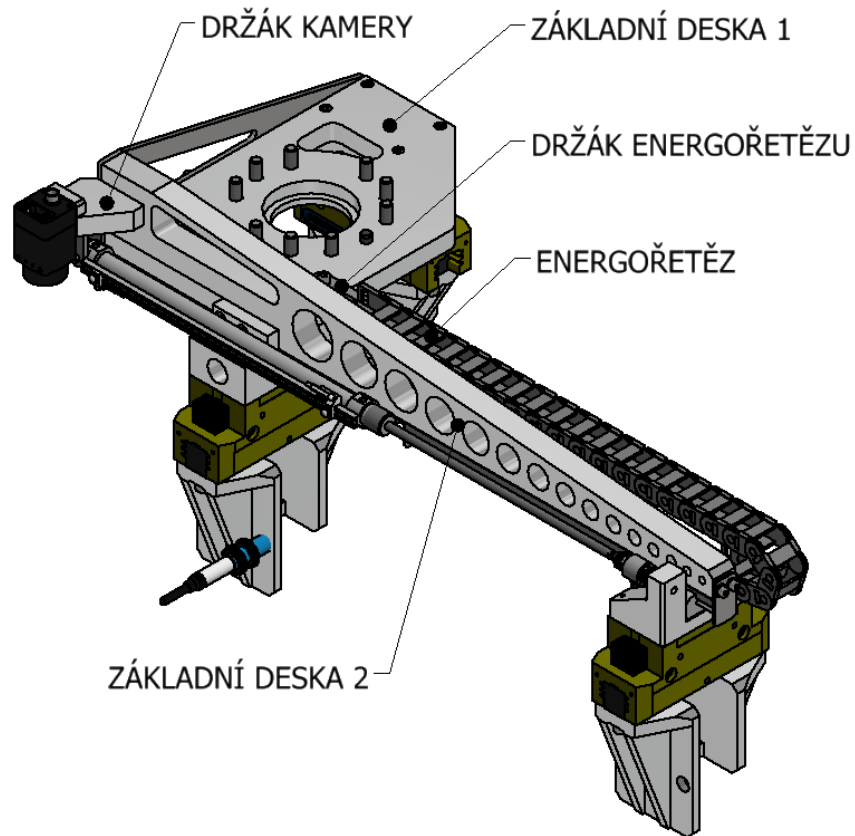
Základním prvkem efektoru je dvoudílná základní deska z hliníkové slitiny spojující koncový člen PR s ostatními dílčími prvky. Oba díly základní desky jsou odlehčeny sérií tvarovaných otvorů a pro zpevnění je deska vyztužená plechem.

Dalšími nosnými prvky jsou dva držáky paralelních chapadel 1, 2 a jeden držák kamery spolu se stavěcím válcem. Dále pak kolejnice pro vozík lineárního vedení, ke kterému je přišroubována příruba spojující třetí chapadlo, konec pístnice stavěcího válce a energetický řetěz, který je z druhé strany zajištěn podpurným plechem. Pro zabránění vyjetí vozíku jsou použity dva plechy na koncích kolejnice.

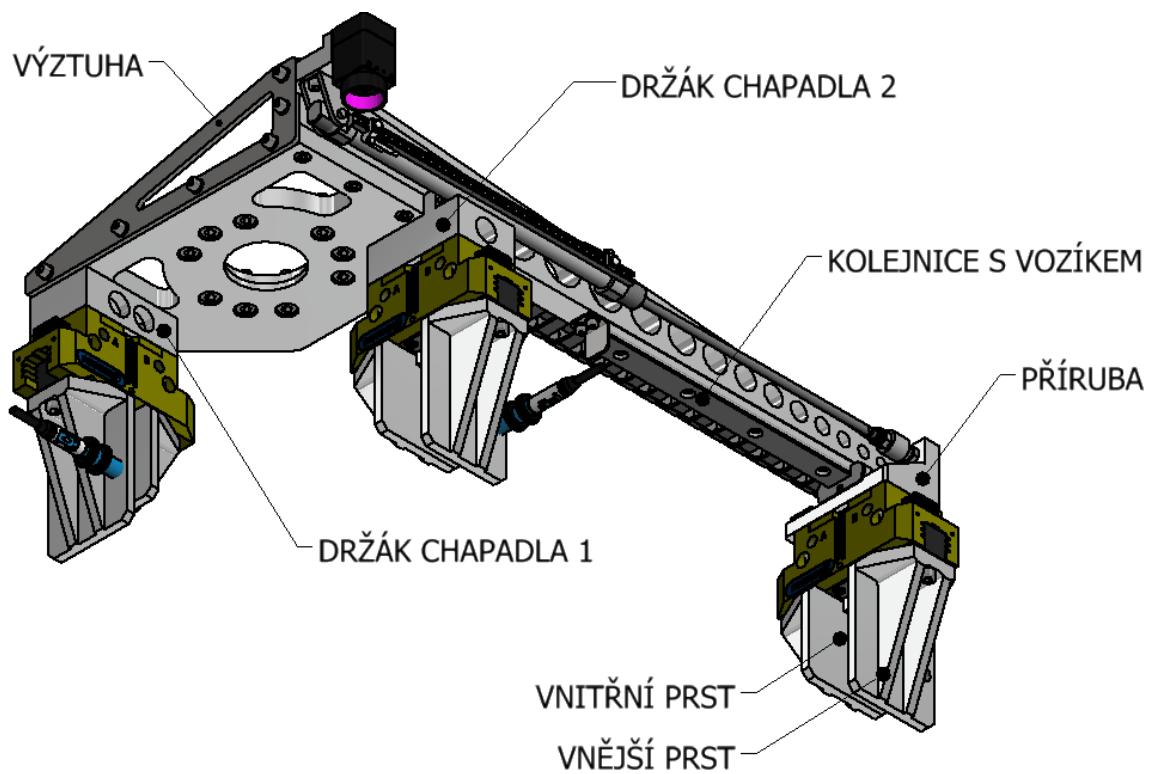
Lineární chapadla pak disponují prsty pro chycení přepravky. Vnitřní prst je kratší s čistou dosedací plochou. K vnějšímu prstu je přišroubován výčnělek pro tvarové uchopení přepravky a je vybaven dírou na kapacitní snímače pro detekci správného sevření přepravky. Držáky a prsty chapadel jsou opět odlehčeny pro příznivější hmotnostní charakteristiku efektoru.

Pro zajištění správné montáže jsou jednotlivé prvky přesně lícovány buď válcovými kolíky nebo středícími kroužky.

Materiálem pro základní desky, držáky, přírubu a prsty je hliníková slitina EN AW 2017 - AlCuMg1. Jedná se o základní dural s malou měrnou hmotností a vysokou pevností. Plechové díly jsou z nerezové oceli ČSN 17 240.



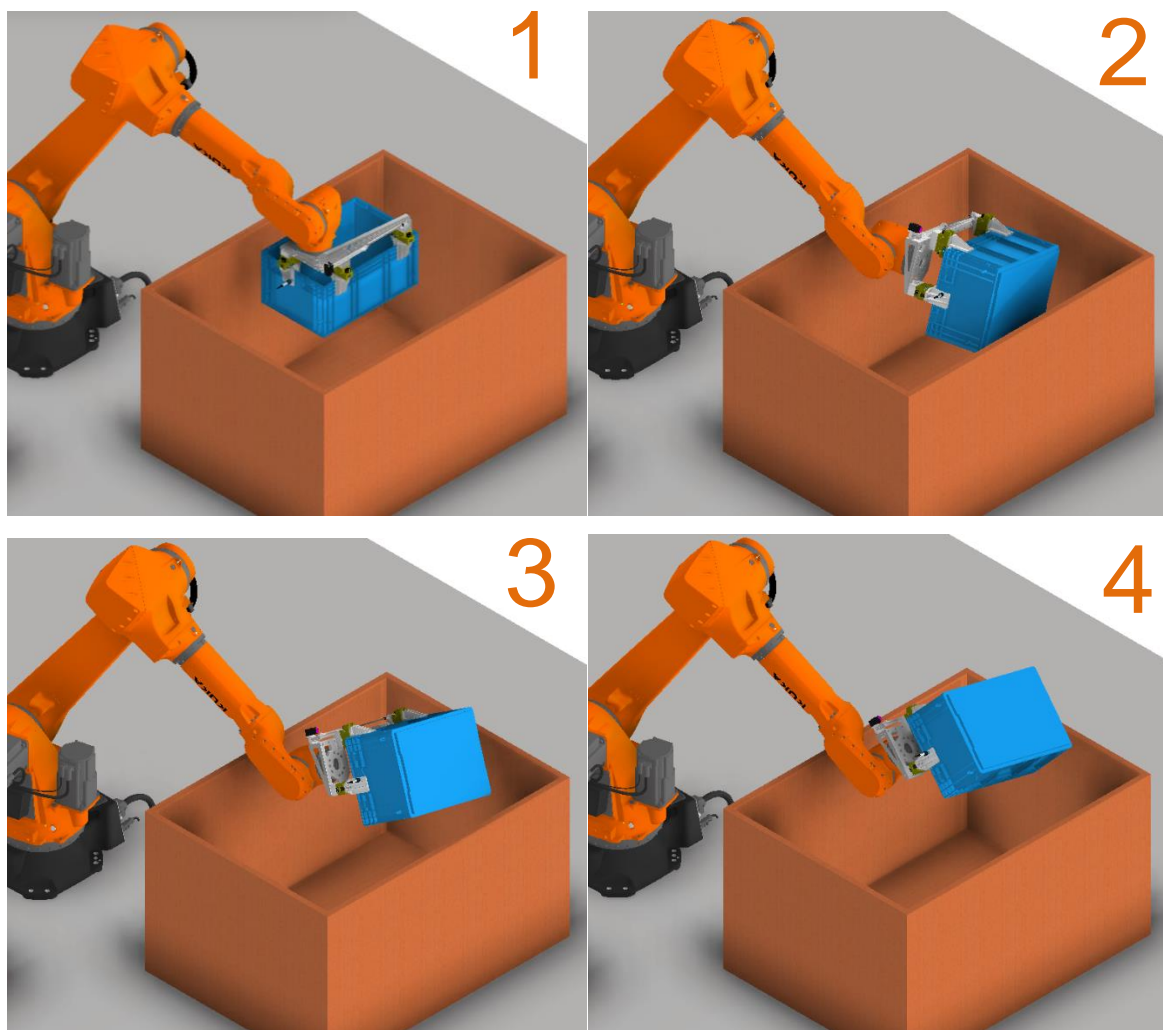
Obr. 33 Konstrukce efektoru – 3D pohled shora



Obr. 34 Konstrukce efektoru – 3D pohled zespodu

#### 4.5. Simulace vysypávání přepravky PR

Pro kontrolu funkčnosti zařízení a dosahu průmyslového robotu byla vytvořena schématická simulace vysypávání přepravky (Obr. 35). Jedná se o orientační zobrazení jedné z možností řešení, kde konkrétní pohyby by bylo vhodné realizovat odborným SW pro simulaci robotů.



*Obr. 35 Schématická simulace vysypávání obsahu KLT do výstupní přepravky*



#### 4.6. Číslování výkresové dokumentace

System číslování výkresové dokumentace je proveden dle vzoru:

**A – DP XXXXXXXXX – Y – Z – VV**

kde A značí	formát
XXXXXXXXXX	osobní číslo studenta
Y	číslo sestavy
Z	číslo podsestavy podle pozice na sestavě
VV	číslo výrobního výkresu podle pozice na podsestavě

Číslo sestavy efektoru je 1 a k jeho modelování je využita pouze jedna podsestava s označením 1. Seznam výkresů efektoru je přehledně zobrazen v tab. 11. Výkresy přepravek jsou pak číslovány 3-DP 19000256-0-0-01 a 3-DP 19000256-0-0-02.

Tab. 11 Číslování výkresové dokumentace efektoru

Číslování výkresové dokumentace	
EFEKTOR – HLAVNÍ SESTAVA	0-DP 19000256-1-1-00
ZÁKLADNÍ DESKA 1	3-DP 19000256-1-1-01
ZÁKLADNÍ DESKA 2	2-DP 19000256-1-1-02
VÝZTUHA	3-DP 19000256-1-1-03
DRŽÁK CHAPADLA 1	3-DP 19000256-1-1-04
DRŽÁK CHAPADLA 2	3-DP 19000256-1-1-05
VNITŘNÍ PRST	3-DP 19000256-1-1-06
DRŽÁK KAMERY	3-DP 19000256-1-1-07
PŘÍRUBA	3-DP 19000256-1-1-08
VNĚJŠÍ PRST	3-DP 19000256-1-1-09
VÝČNĚLEK KRÁTKÝ	4-DP 19000256-1-1-10
VÝČNĚLEK DLOUHÝ	4-DP 19000256-1-1-11
ZAJIŠTĚNÍ VOZÍKU 1	4-DP 19000256-1-1-12
ZAJIŠTĚNÍ VOZÍKU 2	4-DP 19000256-1-1-13
DRŽÁK ENERGOŘETĚZU	4-DP 19000256-1-1-14

## **5. Technickoekonomické zhodnocení**

Účelem práce bylo navrhnout efektor, který zajistí depaletizaci různých typů přepravek naskládaných v patrech na paletu. Úloha spočívá v uchopení přepravky, přesypání jejího obsahu do výstupního boxu a následné odložení přepravky na výstupní paletu.

Technické zhodnocení aplikace rozebírá výsledný návrh z konstrukčního hlediska a ekonomické hodnocení z hlediska pořizovacích nákladů.

### **5.1. Technické zhodnocení**

Základním požadavkem na efektor je dobrá hmotnostní charakteristika zahrnující malou hmotnost a pozici těžiště co nejbliže k přírubě robotu. Ke snížení hmotnosti efektoru je docíleno volbou vhodného materiálu pro nosné prvky, disponujícího vysokou pevností a nízkou hustotou – hliníkové slitiny a také odlehčením méně zatížených částí konstrukce tvarovými otvory. Pozice těžiště co nejbliže k přírubě je dosažena díky L tvaru nosné části a nachází se ve vzdálenosti 130 mm od středu koncové příruby PR. Dále efektor disponuje relativně vysokou mírou flexibility při změně přepravek danou možností stavění třetího chapadla.

Pro přesnou montáž jsou klíčové prvky vzájemně lícované středícími kroužky a kolíky. Správná montáž stavěcího válce a kolejnice spočívá v nejprve přibližném přichycení prvků bez dotáhnutí šroubových spojů, následně zkoušce pohybu, který srovná prvky do přesné pozice a poté jejich dotažení.

Kontrolu správné pozice či sevření chapadla po najetí k přepravce provádí dva kapacitní snímače.

### **5.2. Ekonomické zhodnocení**

Součástí konstrukce efektoru jsou obráběné a nakupované díly, u kterých je potřeba udělat ekonomické zhodnocení, mezi tyto díly neuvažují hadice, kabely a kamerový systém. Ceny součástí jsou stanoveny kvalifikovaným odhadem a přehledně zobrazeny v tab. 12.

Tab. 12 Kvalifikovaný odhad pořizovacích nákladů

Název součásti	Počet ks	Cena za ks [Kč]
PR KUKA KR 50 R2500	1	1 500 000
Paralelní chapadlo SCHUNK PGN-plus 100-1-AS-KVZ	3	40 000
Stavěcí válec SMC C85N12-200C + periferie	1	1 500
Lineární vedení SRS20M	1	4 000
Kapacitní snímač	2	2 500
Energetický řetěz	1	500
Obráběné díly – celkem	(14)	15 000
<b>Celková cena:</b>		<b>1 646 000</b>

Celková pořizovací cena zahrnující efektor a PR činí odhadem 1 646 000 Kč. Návratnost finanční investice s ohledem na charakter úlohy zde není účelná vzhledem k její malé četnosti. Hlavní výhoda automatizace spočívá v eliminaci ergonomicky nevhodné práce s těžkými přepravkami v různých výškách.

## Závěr

Diplomová práce předkládá kompletní konstrukční řešení paletizační úlohy. Řešení spočívá v uchopení dvou nezakrytých hran přepravky, její přemístění pomocí robotu nad výstupní přepravku a následné vysypání obsahu. Prázdná přepravka je pak v poslední části úlohy odložena na výstupní paletu.

V první části práce byla provedena analýza současného stavu pracoviště se všemi vystupujícími členy a byly definovány funkční podmínky, které vstupují do následného návrhu automatizovaného procesu.

Dále byla provedena rešerše problematiky paletizační úlohy s plastovými přepravkami se základním rozdělením na manuální a automatizovanou. Z vypracované rešerše vyplývají značné ergonomické limity manuální metody, které směřují vývoj k plně automatizovaným linkám. Pořizovací náklady na automatizaci paletizace však v mnoha fabrikách stále vedou k upřednostňování práce člověka, případně doplněnou pomocnými zařízeními.

Možné varianty řešení paletizační úlohy pak vychází z alternativní studie uvedené ve třetí kapitole. Obsahem studie byly především možnosti uchopování přepravky a účel jednotlivých stanovišť. Pro výběr nejvhodnější varianty byla použita rozhodovací analýza zahrnující všechny klíčové aspekty.

Kapitola 4 se zabývá vlastním konstrukčním návrhem a skládá se z několika na sebe navazujících částí vedoucích k úspěšnému návrhu flexibilního efektoru s nízkou hmotností a dostatečnou bezpečností pro spolehlivou manipulaci. Kapitola je také opatřena schématickou simulací vysypávání přepravky pro doložení funkce efektoru. Poslední podkapitola je věnována číslování výkresové dokumentace.

V poslední kapitole byl efektor posouzen z technického a ekonomického hlediska. V technickém zhodnocení byly porovnány základní požadavky s výstupem konstrukčního návrhu a v ekonomickém zhodnocení byl proveden kvalifikovaný odhad pořizovací ceny efektoru.

## Seznam použité literatury

- [1] *STRATEGIE BALENÍ VE ŠKODA AUTO: Konference SpeedChain 2016* [online]. In: Mladá Boleslav, 2016, 03.11.2016 [cit. 2021-02-13]. Dostupné z: <https://syba.cz/Media/Default/dokumenty/Packsummit/2016/08-radek-hruska.pdf>
- [2] *ISOCO Plastics Technology GmbH: F-KLT Behälter* [online]. ISOCO Plastics Technology GmbH, 2021 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://www.isoco-alpina-shop.com/collections/f-klt-behalter>
- [3] *ISOCO Plastics Technology GmbH: R-KLT Behälter* [online]. ISOCO Plastics Technology GmbH, 2021 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://www.isoco-alpina-shop.com/collections/klt-behalter-r-klt-behalter>
- [4] CHUNDELA, Lubor. *ERGONOMIE*. V Praze: Vydavatelství ČVUT, 2001, s. 113-119.
- [5] *KLT Behälter Handling • TYP 1*. In: Youtube [online]. 19.8.2016 [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=YzWSMD8PhIA>. Kanál uživatele StroedterGmbH.
- [6] *Manipulator für KLT (Klein Ladungs Träger)*. In: Youtube [online]. 8.7.2019 [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=NAkN6bECQYw>. Kanál uživatele Handhabungstechnik Winter.
- [7] *End-of-Arm-Tool für Klappsteigen, KLT-Kisten, Stapelbehälter, ....* In: Youtube [online]. 8.5.2019 [cit. 2021-05-18]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=MkxspB0-w3g>. Kanál uživatele Anlagenbau Habeck GmbH & Co. KG.
- [8] *KLT Behälter Handling, Palettieren und Depalettieren mit AKON Robotics* In: Youtube [online]. 2.3.2018 [cit. 2021-05-18]. Dostupné z: [https://www.youtube.com/watch?v=eViJcU\\_wZUs](https://www.youtube.com/watch?v=eViJcU_wZUs). Kanál uživatele AKON Robotics.
- [9] *EKOBAL: Paletizační manipulátor* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.ekobal.cz/balici-technika/paletizace/paletizacni-manipulator-manipulator>
- [10] *SCHUNK: PGN-plus 100-1-AS-KVZ* [online]. [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: [https://schunk.com/dk\\_en/clamping-technology/product/557-0372402-pgn-plus-100-1-as-kvz/](https://schunk.com/dk_en/clamping-technology/product/557-0372402-pgn-plus-100-1-as-kvz/)
- [11] *C(D)85, Kruhový válec, ISO 6432, dvojčinný, jednostranná pístnice, standardní provedení C85N12-200C Technické údaje*. SMC, 2021.
- [12] *THK SRS: dvouřadé kompaktní vedení generace s kuličkovým řetězem* [online]. HENNLICH s.r.o. [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: [https://www.hennlich.cz/fileadmin/\\_migrated/lin\\_vedeni\\_kap4\\_SRS\\_2014\\_02E.pdf](https://www.hennlich.cz/fileadmin/_migrated/lin_vedeni_kap4_SRS_2014_02E.pdf)
- [13] *KR 50 R2500 Datový list*. KUKA Deutschland GmbH, 2021.

## Seznam příloh

### Výkresová dokumentace

- ROZMĚRY A LEMY KLT: 3-DP 19000256-0-0-01
- KLT – VÝŘEZY PRO CHAPADLO: 3-DP 19000256-0-0-02
- EFEKTOR – SESTAVA: 0-DP 19000256-1-1-00
  - ZÁKLADNÍ DESKA 1: 3-DP 19000256-1-1-01
  - ZÁKLADNÍ DESKA 2: 2-DP 19000256-1-1-02
  - VÝZTUHA: 3-DP 19000256-1-1-03
  - DRŽÁK CHAPADLA 1: 3-DP 19000256-1-1-04
  - DRŽÁK CHAPADLA 2: 3-DP 19000256-1-1-05
  - VNITŘNÍ PRST: 3-DP 19000256-1-1-06
  - DRŽÁK KAMERY: 3-DP 19000256-1-1-07
  - PŘÍRUBA: 3-DP 19000256-1-1-08
  - VNĚJŠÍ PRST: 3-DP 19000256-1-1-09
  - VÝČNĚLEK KRÁTKÝ: 4-DP 19000256-1-1-10
  - VÝČNĚLEK DLOUHÝ: 4-DP 19000256-1-1-11
  - ZAJIŠTĚNÍ VOZÍKU 1: 4-DP 19000256-1-1-12
  - ZAJIŠTĚNÍ VOZÍKU 2: 4-DP 19000256-1-1-13
  - DRŽÁK ENERGOŘETĚZU: 4-DP 19000256-1-1-14