



**FAKULTA
ŠROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav konstruování a částí strojů

**Pomocný mobilní manipulátor pro ukládání
balíků na europaletu**

**Auxilliary mobile manipulator for boxes
storing on europalet**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2017

Jan FLEJBERK

Studijní program: N2301 STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ

Studijní obor: 2301T047 Dopravní letadlová a transportní technika

Vedoucí práce: Ing. František Lopot, Ph.D.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Flejberk** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **408639**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav konstruování a částí strojů**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní, letadlová a transportní technika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Pomocný mobilní manipulátor pro ukládání balíků na europaletu

Název diplomové práce anglicky:

Auxilliary mobile manipulator for boxes storing on europalet

Pokyny pro vypracování:

Dle požadavků zadavatele práce spol. Chotěbořské strojírny služby a. s. vypracujte konstrukční řešení pomocného mobilního manipulátoru pro ukládání balíků výrobků na europaletu. Návrh bude vycházet z řešení a možností výrobních prostor zadavatele. Uplatněte ergonomické hledisko. Součástí výstupů práce budou nezbytné návrhové a kontrolní výpočty a 3D model sestavení navrženého manipulátoru a případná 2D dokumentace v rozsahu nezbytném pro objasnění principu jednotlivých funkčních uzlů konstrukce.

Seznam doporučené literatury:

ŠVEC, V.: Části a mechanismy strojů. Spoje a části spojovací. Praha: ČVUT, 2008.
Katalogy výrobců řetězů Tsubaki, Diamondd, ČZ řetězy, Rollon LinearEvolution, SKF ložiska, Siemens elektromotory, RAVEO kuželové převodovky

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

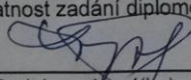
Ing. František Lopot Ph.D., ústav konstruování a částí strojů FS

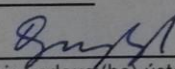
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

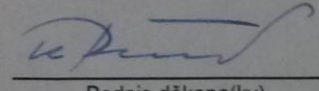
Datum zadání diplomové práce: **27.03.2017**

Termín odevzdání diplomové práce: **09.06.2017**

Platnost zadání diplomové práce: _____


Podpis vedoucí(ho) práce


Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Pomocný mobilní manipulátor pro ukládání balíků na europaletu“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Františka Lopota, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze 26. 6. 2017

Jan Flejberk

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Františku Lopotovi, Ph.D. za poskytnutí odborných rad, věcných připomínek, ochotu a vstřícný přístup během zpracování této práce. Dále velké poděkování náleží mému konzultantovi, Ing. Vladimíru Vackovi, který mi také ochotně zodpověděl všechny mé dotazy. Velké dík patří celé mé rodině, hlavně rodičům, kteří mi umožnili studovat.

Anotační list

Jméno autora: Jan FLEJBERK
Název DP: Pomocný mobilní manipulátor pro ukládání balíků na europaletu
Anglický název: Auxilliary mobile manipulator for boxes storing on europalet
Rok: 2017
Studijní program: N2301 STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ
Obor studia: 2301T047 Dopravní letadlová a transportní technika
Ústav: Ústav konstruování a částí strojů
Vedoucí BP: Ing. František Lopot, Ph.D.
Konzultant: Ing. Vladimír Vacek
Bibliografické údaje: počet stran 67
počet obrázků 66
počet tabulek 24
počet příloh -
Klíčová slova: Manipulátor, Zakladač, Ukládání kartonových balíků
Keywords: Manipulator, Collator, Storing carton boxes

Anotace:

Diplomová práce vznikla za účelem navrhnout mobilní manipulátor, který usnadní práci obsluze stroje při rovnání kartonových krabic na europaletu. V úvodu je zpracován průzkum trhu z hlediska dostupných technologií pro manipulaci s kartonovými balíky. Další řešenou problematikou je pohyb obsluhy po pracovišti a jeho optimalizace. Řešení manipulátoru je zpracováno po konstrukční stránce, kde výstupem je 3D model.

Abstract:

Thesis was formed in order to design a mobile manipulator, which will facilitate the work of the machine operator during the storing of the carton boxes on pallets. In the introduction is elaborated market research, from the point of view of available technology for manipulation carton boxes. Another problem is the movement of the operator around the workplace and optimization. The solution of the manipulator is the after the construction site, where the output is a 3D model.

OBSAH

1. Úvod	2
2. Cíle práce	2
3. Představení společnosti	3
3.1. Historie.....	3
3.2. Současnost firmy Chotěbořské strojírné služby, a.s.	5
4. Popis pracoviště	7
4.1. Cívka H8	7
4.2. Popis stroje.....	7
4.3. Půdorys pracoviště	8
4.4. Popis stávajícího pracovního postupu.....	9
5. Dostupné technologie na trhu.....	12
5.1. Ručně ovládané manipulátory	12
5.2. Robotické manipulátory.....	13
6. Rámec konstrukčního řešení	17
6.1. Optimalizace pracoviště	19
7. Vlastní manipulátor	21
7.1. Válečková trať	25
7.1.1. Válečky	26
7.1.2. U – profil.....	27
7.1.3. Kola	28
7.1.4. Stabilizační podpěry	29
7.2. Hlavní rám	30
7.2.1. Trubka čtvercového průřezu	30
7.2.2. Příruby.....	31
7.2.3. Držák motoru.....	31
7.3. Pohonné ústrojí	32
7.3.1. Řetěz	32
7.3.1.1. Kontrolní výpočet.....	33
7.3.2. Sestava horní řetězky	34
7.3.2.1. Řetězové kolo	35
7.3.2.2. Hřídel.....	35
7.3.2.3. Ložiskové těleso	36
7.3.2.4. U – profil.....	36
7.3.2.5. Kontrolní výpočty.....	36
7.3.3. Dolní řetězka.....	39
7.3.3.1. Kontrolní výpočet upevňovacích šroubů dolní řetězky	40
7.3.3.2. Kontrolní výpočet ložiska.....	42
7.3.4. Motor	43
7.3.4.1. Návrh motoru	43
7.3.5. Kuželové převodovky	45

7.3.6.	Řetězové spojky	46
7.3.7.	Spojovací hřídele.....	47
7.3.8.	Ochranný rám	48
7.4.	Nosič	49
7.4.1.	Rám nosiče	49
7.4.2.	Uchycení a napínání řetězu.....	51
7.4.2.1.	Kontrolní výpočet tlaku v závitech	51
7.4.3.	Hřeben.....	52
7.4.4.	Elektrický výsuvný píst	53
7.4.5.	Lineární vedení.....	54
7.4.5.1.	Návrhový a kontrolní výpočet lineárního vedení	56
7.4.6.	Rozvaděč a koncový spínač.....	57
7.4.7.	Koncový spínač	58
7.5.	Ochranné oplocení.....	59
8.	Závěr.....	62
	Seznam obrázků	63
	Seznam tabulek	64
	Zdroje.....	65

SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

Označení	Jednotka	Popis
p_v	[MPa]	Vypočtený tlak v kloubech řetězu
$F_{řetězka}$	[N]	Síla působící na řetěz
f	[mm ²]	Plocha kloubu řetězu
p_{dov}	[MPa]	Dovolený tlak v kloubech řetězu
D_{min}	[mm]	Nejmenší průměr hřídele
$r_{řetězka}$	[mm]	Poloměr řetězky
τ_{Dk}	[N.mm ⁻²]	Dovolené napětí v krutu
M_k řetězka	[N.mm]	Moment působící na řetězce
τ_k	[N.mm ⁻²]	Vypočtené napětí v krutu
W_k	[mm ³]	Modul průřezu v krutu
D_h	[mm]	Průměr hřídele řetězky
p_D	[N.mm ⁻²]	Dovolený tlak na bocích per a drážek
p	[N.mm ⁻²]	Tlak na bocích per a drážek
l	[mm]	Celková délka pera
$l_{(ČSN)}$	[mm]	Celková délka pera dle ČSN
l'_a	[mm]	Funkční délka pera
l_{Nmin}	[mm]	Minimální délka náboje
F	[N]	Síla působící v ose řetězky
F_1	[N]	Síla působící na šroub
M	[N.m]	Ohybový moment
r_1	[mm]	Rameno, na kterém působí síla F_T
S_3	[mm ²]	Plocha šroubu
n	[-]	Počet střižných rovin
L_{10}	[otáčky]	Základní trvanlivost ložiska
F_a	[N]	Axiální síla v ložisku
L_{10h}	[hod]	Hodinová životnost ložisek
v	[m.s ⁻¹]	Rychlost zdvihu
n_1	[min ⁻¹]	Otáčky řetězky
$F_{bř}$	[N]	Síla od zvedaného břemene
P_{zdvih}	[W]	Výkon pro zdvih břemene
η_c	[-]	Celková účinnost pohonného ústrojí
P_M	[W]	Výkon motoru
M_{zs}	[N.m]	Ohybový moment na nosiči
$F/2$	[N]	Síla působící na nosič
F_ξ	[N]	Síla působící v ose šroubu
σ_ξ	[N.mm ⁻²]	Napětí šroubu od síly F_ξ
f	[-]	Součinitel tření

1. Úvod

Při doručování vyrobených dílů z jakéhokoliv odvětví průmyslu je nezbytná manipulace s těmito díly, která začíná už ve výrobě. Pro spokojenost zákazníka je nezbytné dodržení určitých podmínek od důkladného zabalení, až po šetrnou manipulaci přes pracoviště, expedici a dopravu k zákazníkovi.

Pro komfortnější a rychlejší přepravu k zákazníkovi se v logistice používají standardizované podlahy, na kterých jsou výrobky převáženy. Tyto podlahy mají vhodný rozměr pro přepravu nákladním automobilem a nazývají se Europalety. Vzhledem k velikosti převážených dílů je možné použít jednu paletu pouze pro jeden díl nebo ji využít k naskládání více dílů, pokud se jedná o menší a lehčí výrobky. Jednou z možností je balení do kartonových krabic, které umožňují snazší a rychlejší manipulaci s výrobky. V jednotlivých krabicích mohou být mezery mezi součástmi vyplněny vhodným materiálem, který zamezuje jejich pohybu a vzájemnému doteku. Samotné kartonové krabice, které se naskládají na europaletu, mohou být obaleny například fólií tak, aby držely pohromadě a tvořily jeden kompaktní kus, se kterým se může dále manipulovat, dle potřeby.

V mé diplomové práci se zabývám návrhem vhodného zařízení, který usnadní rovnání kartonových balíků na europaletu. V současné době celý proces rovnání probíhá manuálně obsluhou stroje. Výrobky skládané do krabic jsou plastové výlisky.

Práce se skládá z rešeršní části, která obsahuje představení firmy, analýzu stávajícího postupu a průzkum technologií, které jsou dostupné na trhu. Praktická část je sestavena z návrhu možných konstrukčních řešení, ze kterých vyplývá konečný návrh. Ten je v dalších kapitolách rozpracován a rozepsán do jednotlivých kapitol, popisujících konstrukční řešení jednotlivých sestav a jejich podsestav.

2. Cíle práce

Cílem práce je návrh pomocného mobilního manipulátoru, který bude schopen zvedat kartonové balíky ve dvou řadách a čtyřech patrech a následně je umístit na europaletu. Toto zadání je sestavené od firmy Chotěbořské strojírny služby, a.s. K tomuto hlavnímu cíli patří další dílčí cíle práce, jako je průzkum dostupných technologií na trhu, které by se pro tento případ hodily a optimalizace pracoviště. Ta spočívá v analýze stávajícího stavu a dalším krokem je návrh na jeho optimalizaci. Tento požadavek je z důvodu plánovaného navýšení výrobní kapacity, což znamená potřebu zlepšit a zrychlit pohyb obsluhy po pracovišti, pokud je to možné. Konkrétní návrh manipulátoru má být zpracován podrobně po konstrukční stránce pomocí 3D modelu v libovolném softwaru.

3. Představení společnosti

3.1. Historie

Diplomová práce je napsána ve spolupráci s firmou Chotěbořské strojírny služby, a.s. Tato akciová společnost sídlí na Vysočině ve městě Chotěboř. Má dlouholetou tradici, a proto bych rád, alespoň stručně, shrnul její historii, poté navázal na aktuální stav a přiblížil zaměření ve strojírenském průmyslu.

První podnikatelské záměry v místě dnešních Chotěbořských strojíren spadá do počátku 20. století. V tuto dobu zde vznikla malá textilní továrna, která je na obrázku (Obr. 1). Zakladatelem byl podnikatel z Vídně, pan Gaininger. Prvním českým majitelem se stal továrník z Brna, pan Klazar, který roku 1906 továrnu koupil. Zaměřil se na výrobu koberců a nábytkových látek. Postupně rozšiřoval a stavěl další budovy až do roku 1934, kdy ve světě vládla hospodářská krize. Z tohoto důvodu výroba stagnovala a byl dán návrh na prodej továrny.



Obr. 1.: Původní textilní továrna [1]

Roku 1936, 17. prosince, továrnu koupila pražská firma Eckhardt a spol. v čele s továrníkem Vilémem Eckhardtem (Obr. 2) za 425 000 Kč. Tato částka dnes působí velice směšně. Provoz byl zahájen se 420 zaměstnanci a každým rokem se počet zvyšoval.

Po zřízení nástrojárny a lisovny se zde vyráběly protiplynové důlní, civilní a vojenské masky, dýchací přístroje, které jsou zobrazeny na obrázku (Obr. 2). Dále probíhala výroba generátorů na dřevoplyn, vrtulových krytů a chladičů pro letadla, topných těles do tanků, konví na mléko, truhlářských výrobků, draselných pohlcovačů.

V roce 1938 byla postavena železniční vlečka a budova dnešní těžké lisovny a slévárny. Vlivem druhé světové války došlo k rozšíření výroby autogenních a řezacích přístrojů. Díky tomuto odvětví našlo ve firmě uplatnění spousta mladých lidí a studentů, kteří nastoupili do továrny místo nucené práce v Říši, to mělo za následek vysoký nárůst zaměstnanců. Před rokem 1945 zde pracovalo 2 500 lidí.



Obr. 2.: Vilém Eckhardt a výroba plynových masek [1]

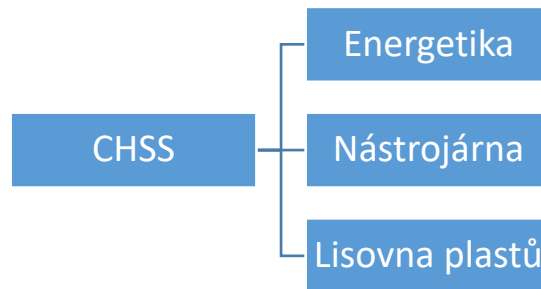
Veškeré zisky továrny Eckhardt vrátil zpět a pracoval na rozšíření. Přestavovaly se a budovaly nové dílny, kanceláře, sklady, kotelna s elektrárnou, která umožňovala další růst továrny a hlavně samostatnost. Roku 1942 byla otevřena učňovská škola s internátem. Po skončení druhé světové války vydává prezident Dr. Beneš dekret o znárodnění ze dne 24. října 1945. Následující den je firma Eckhardt a spol. znárodněna a podnik řídí revoluční závodní rada. Název podniku byl změněn na "Chotěbořské kovodělné závody, národní podnik, Chotěboř". Pan Eckhardt uhlí místo podnikového ředitele.

K velké změně ve výrobní náplni došlo roku 1951, kdy se začaly vyrábět stroje a zařízení pro mlékárny, které byly hlavní částí potravinářského oboru v tomto podniku. Další výroba začala o necelé tři roky později a tentokrát pro pivovary. Chotěbořské kovodělné závody dodávaly jednotlivé stroje i celé výrobní celky nejen pro tuzemsko, ale i pro zahraničí, například do Sovětského svazu, Rumunska, Polska, Bulharska, Egypta a dalších zemí po celém světě. Do výrobního programu patřily obory jako metalurgie, lahvářenské techniky, mycí a plnicí a uzavírací stroje s transportním zařízením, chemický a potravinářský průmysl, svařovací technika a další. Výroba se rozrůstala a do výroby byly zařazovány nové technicky náročné stroje.

Po roce 1990 se chotěbořské strojírný rozdělily na samostatné závody a k 1. 5. 1992 byla založena právní samostatnost firem Chotěbořské strojírný služby, a.s., TENEZ a.s., NATE a.s., GCE Autogen s.r.o. [1].

3.2. Současnost firmy Chotěbořské strojírny služby, a.s.

Dnes akciová společnost podniká ve třech stěžejních oborech.



V oblasti energetiky je dodavatelem veškerých energií do průmyslového regionu, jako elektrické, tepelné energie, teplé užitkové vody, stlačeného vzduchu a pitné užitkové vody. Na obrázcích je místnost s kompresory a sušičkou vzduchu a v levé části můžeme vidět pohled na elektrárnu (Obr. 3). [2]



Obr. 3.: Kompresorová stanice a pohled na elektrárnu [2]

Nástrojárna se zaměřuje na náročný trh dodavatelů do automobilového průmyslu. Konstruuje, vyrábí a modifikuje nástroje na tváření, stříhání plechů, formy na vstřikování plastů, formy na tlakové lití hliníku, vypěňovací formy (Obr. 4) a další speciální nástroje a přípravky dle požadavků zákazníků. V pravé části obrázku (Obr. 4) je rám formy. [4]



Obr. 4.: Vypěňovací forma volantu a rám formy [4, 5]

Lisovna plastů se zaměřuje na dodávky plastových dílů pro automobilový, spotřebitelský a elektrotechnický průmysl. Technologicky je firma vybavena vstřikovacími lisy Arburg (Obr. 5) a Engel (Obr. 5) s uzavírací silou 40 – 220 tun. [3]



Obr. 5.: Vstřikovací lisy ARBURG a Vstřikovací lis ENGEL [3]

Lisovna plastů a nástrojárna jsou certifikovány dle norem ISO 9001/2008.

4. Popis pracoviště

4.1. Cívka H8

Plastový díl, který je vyráběn na stroji Engel, je cívka H8. Tato cívka slouží k návinu skelného vlákna. Cívka je v levé části obrázku (Obr. 6). Délka tohoto vlákna na jedné cívce je 3 až 5 km. Délka záleží na tloušťce vlákna. Hmotnost skelného vlákna na jedné cívce je přibližně 4 kg. Vlákno se navíjí na cívku rychlostí 4000 ot/min. Tato vlákna se dále využívají ke tkaní různých typů perlinek do stavebnictví jak můžeme vidět vpravo na obrázku (Obr. 6).



Obr. 6.: Cívka s vláknem a jednotlivé typy perlinek

4.2. Popis stroje

Stroj, na kterém probíhá výroba cívky H8 je lis značky ENGEL a konkrétní typ DUO 4550/600, kde DUO znamená, že stroj je určen pro výrobu velkých dílů. Dále je uveden typ vstřikovací jednotky 4550 a poslední údaj je uzavírací síla, která je 600 tun (Obr. 7). Tento stroj lisuje výrobky z materiálu THERMOPLAST. Stroj má zásuvku pro servis, to znamená napětí 230 V (16 A). Lis je napájen pomocí napětí 400 V a má další dvě zásuvky pro toto napětí.

Díky působení dvěma diagonálními rychlopístům, rychlým synchronním uzamčením a minimální doby potřebné pro vyvinutí uzavírací síly jsou dosaženy nejkratší možné časy jednoho cyklu. Velkou výhodou je prostorově úsporná výroba, která je zajištěna díky spolehlivé dvoudeskové technologii. Tento stroj má vysokou provozní spolehlivost

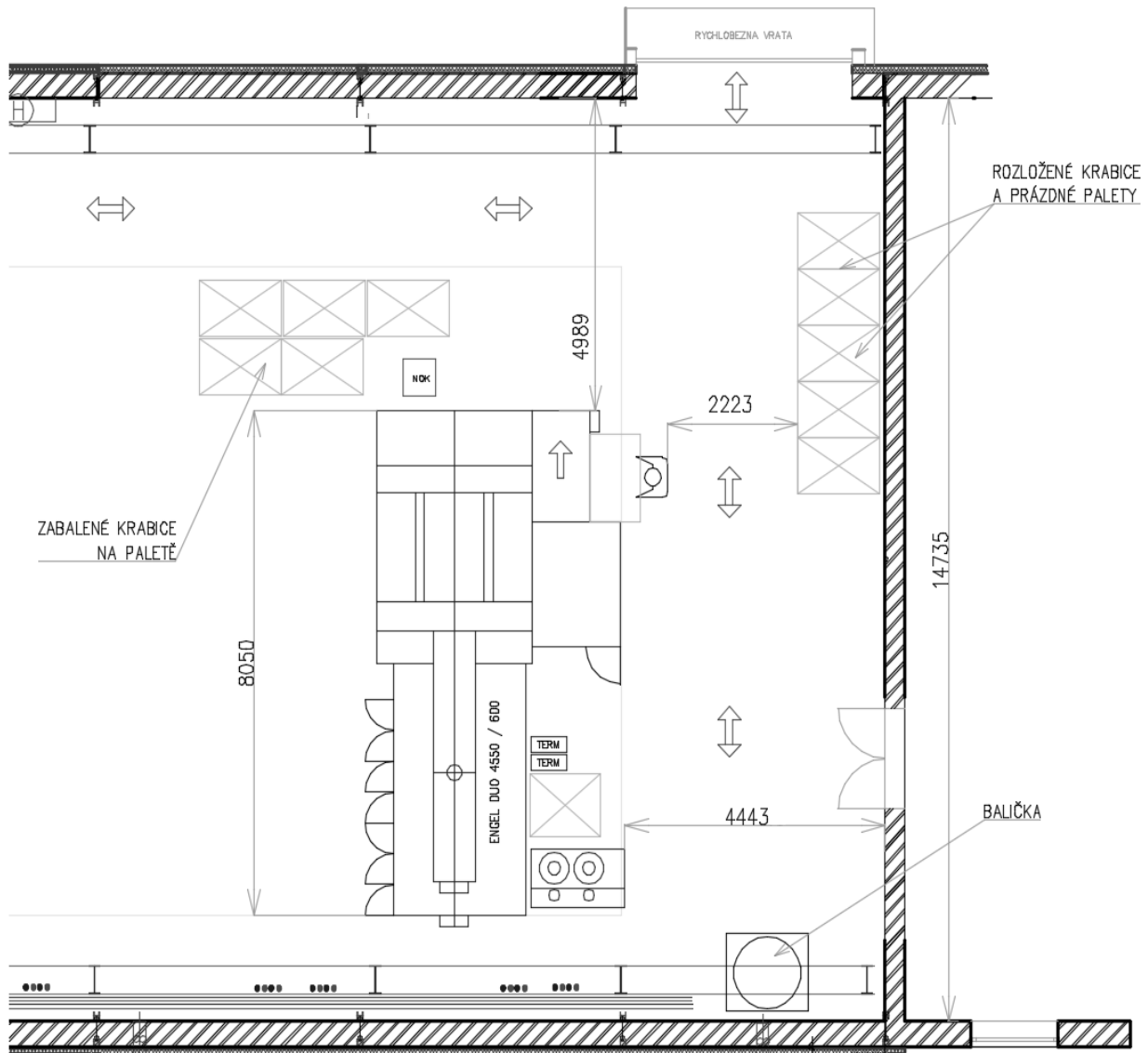
a kvalitu výrobků díky stabilnímu vedení, dokonalé paralelitě desek a citlivé ochraně formy. [6]



Obr. 7.: ENGEL DUO 4550 / 600 V Chotěbořských strojárnách

4.3. Půdorys pracoviště

Pro lepší představu, jak je pracoviště uspořádané, je níže vložen obrázek (Obr. 8). Na něm je vidět umístění stroje v hale. Dále pozice prázdných palet s rozloženými krabicemi a také zabalené krabice na paletě připravené k exportu. Na schématu je též znázorněn jeřáb, který se pohybuje přes celou šířku haly, ale vedení má přibližně 4 metry nad zemí, tudíž nijak neomezuje výrobu při běžném provozu.



Obr. 8.: Půdorys pracoviště

4.4. Popis stávajícího pracovního postupu

Celý proces je ovlivněn taktem stroje, který je dva výlisky za jednu minutu. Obsluha stroje si jako první připraví europaletu, co nejbližší ke stroji pomocí paletového vozíku a poté složí dvě papírové krabice tak, aby byly připraveny na europaletě, na kterou lze umístit dvě vedle sebe. Obsluha poté stojí u pásu, na který vyjíždějí hotové výrobky. Úkolem obsluhy je vizuální kontrola těchto výrobků a následné rovnání do papírových krabic umístěných na europaletě v těsné blízkosti, takže při plnění první krabice se obsluha při rovnání pouze otáčí. Po narovnání první krabice je nezbytné, aby udělala minimálně jeden krok s každou dvojicí výlisků tak, aby je mohla vložit do druhé krabice. Narovnané výlisky jsou vidět vlevo na obrázku (Obr. 9). Jedna plná krabice váží 19 Kg.



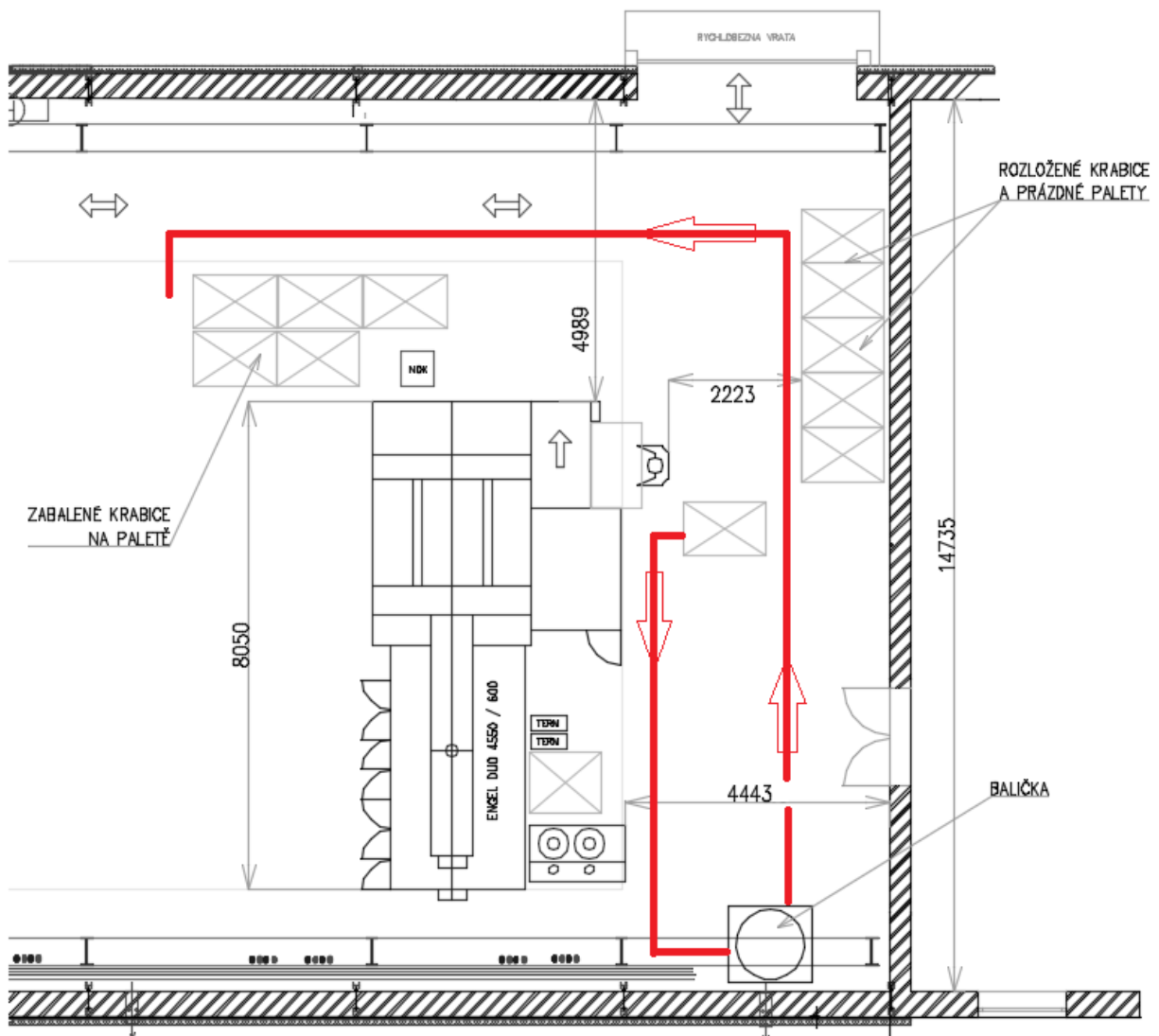
Obr. 9.: Narovnané cívky v krabici a narovnané krabice na europaletě

Tento postup obsluha opakuje ještě při rovnání druhé vrstvy na paletu. Z důvodu, že obsluha je většinou ženského pohlaví, tak dle zákona může zvedat břemeno o maximální hmotnosti 15 kg, proto třetí a čtvrtá vrstva se řeší následovně. Obsluha si k paletě přiveze paletový vozík, u kterého si zvedne vidle přibližně půl metru nad zem a na ně položí prázdnou krabici. Do této krabice opět rovná cívky, a když je krabice naplněna, zvedne vidle do požadované výšky, tak aby mohla krabici přesunout na druhou vrstvu krabic, které jsou na paletě. Tento postup se opakuje stejně i pro čtvrtou vrstvu. Pro lepší názornost je výše zobrazeno schéma, jak vypadají narovnané krabice na paletě na obrázku vpravo (Obr. 9) a na obrázku níže (Obr. 10) je pohled na stávající pracoviště, kde v levé části je vidět nízkozdvihový vozík, kterým obsluha zvedá krabice. V pravé části můžeme vidět paletu, na které jsou dvě vrstvy krabic a výlisky na pásu stroje, které obsluha skládá do druhé vrstvy krabic.

Poté, co je na paletě narovnaných všech osm krabic, jak je vidět na schématu výše (Obr. 9), obsluha pomocí paletového vozíku převezde paletu na balící stroj, který je umístěn v rohu haly (Obr. 11). Po zabalení následuje transport palety, opět pomocí paletového vozíku, na určené místo, kde se dočasně skladují připravené palety na odvoz k zákazníkovi. Tento prostor je opět vyznačen na schématu půdorysu pracoviště (Obr. 11). Na schématu (Obr. 11) je zobrazena trasa, kterou musí obsluha s naloženou paletou absolvovat.



Obr. 10.: Foto z pracoviště při dosavadním způsobu



Obr. 11.: Popis cesty naložené palety od lisu ke skladovacímu místu

5. Dostupné technologie na trhu

Pro manipulaci s krabicemi existuje několik typů řešení, které využívají různé technologie k uchopení krabic a jejich pohybu. Jednou z nejčastějších a nejelegantnějších metod je uchopení krabice pomocí vakua. Další možností je teleskopické uchopení. Lze využívat i mechanických prostředků, kde se používají průmyslové řetězy, karabiny, vysokopevnostní závěsy či napínáky. Varianta s vakuem je nejšetrnější vůči krabici, takže nedochází k žádnému poškození. Podtlakové manipulátory využívají podtlaku vzduchu při uchycení krabice a následném zdvih. Tento typ se používá v různém odvětví průmyslu. Manipulátory lze rozdělit na ručně ovládané nebo ovládané pomocí plně automatických řídicích systémů, to znamená průmyslové roboty.

5.1. Ručně ovládané manipulátory

Mezi zástupce tohoto odvětví patří společnost KSK TOOLS. k optimalizaci celého výrobního procesu přispívá i vlastní vytváření funkční analýzy 3D CAD – konstrukcí systémů, prověření různých technicky možných řešení, simulační tvorba prototypů i nepřetržitá kontrola. Konkrétní typ pro manipulaci kartonových krabic je systém Partner, konkrétně PMC. Na obrázku v levé části (Obr. 12) níže je vidět jedno z možných provedení. [7]



Obr. 12.: VacuPowerlift s kloubovým nástavcem a Lineární kleště pantografu [8,9]

Další princip je vidět na obrázku vpravo (Obr. 12), kde k uchopení krabice se využívají lineární kleště pantografu. Tyto kleště se přidělávají na univerzální hlavici manipulátoru Liftronic Easy. Nespornou výhodou tohoto řešení je možnost rychle aplikovat různé svorky, expanzní vřetena a další nástroje pro uchopení různých typů nákladů, jako jsou například kartonové krabice, plastové nebo kovové kazety, základny motoru a mnoho dalších. Detail lineárních kleští je na obrázku níže (Obr. 13). [10]



Obr. 13.: Lineární kleště pantografu [10]

5.2. Robotické manipulátory

Pro velké skladovací kapacity a vysokou vytíženost výrobních linek se pro ukládání zboží na paletu používají roboti. Opět existuje několik druhů pro různé typy zboží. Tyto stroje jsou plně automatické a obsahují manipulátor se dvěma či více pohybovými osami s programovatelným řídicím systémem na uskutečňování pohybových a řídicích funkcí ve výrobním procesu. Průmyslový robot může mít paralelní nebo sériovou kinematiku. Jeho úkolem je úplné nahrazení veškeré analogické funkce člověka při přemísťování předmětů. Tyto robotické manipulátory mohou být dálkově ovládány člověkem, kde pohyb může být kontrolován pomocí kamery. Těmto manipulátorům se říká teleoperátoři. [7]

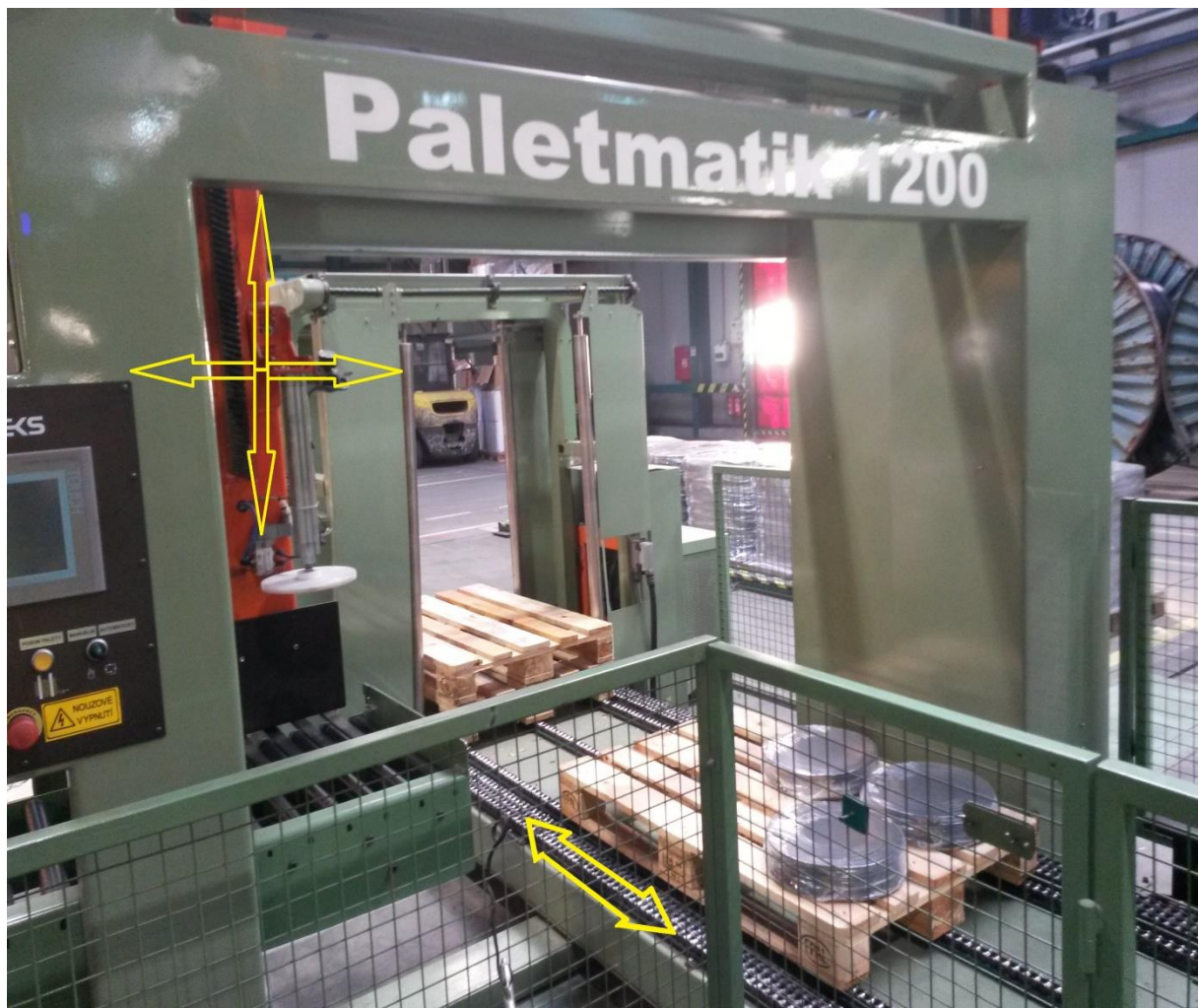
Pro paletování krabic jsou hojně využívány roboti značky KUKA. V tomto oboru je nejrozšířenější typ KR 180 PA (Obr. 14), což je čtyřosý robot s pasivní pátou osou. Zaručuje velmi efektivní procesy paletování, díky své kinematice přizpůsobené dané aplikaci. Tento typ robota používá i firma Nestlé. Tento robot dokáže odebírat krabice z přivádějícího válečkového dopravníku, který může být až tři metry nad zemí a odkládat je na úroveň podlahy. KR 180 PA uchopí krabice najednou a vrství je podle stanoveného způsobu ukládání na europalety. [11]



Obr. 14.: Robot KUKA KR 180 PA [12]

Při exkurzi v pražské firmě Prakab, která se zabývá výrobou různých typů kabelů, jejíž největší doménou jsou nehořlavé kabely, mne zaujala výrobní linka, která balí svazek kabelů do igelitového pytle. Poté svazek pokračuje dále po lince, kde na konci dopravníku je stroj Paletmatik 1200, který má za úkol rovnat zabalené svazky kabelů na přistavenou paletu.

Princip tohoto stroje je znázorněn na obrázku (Obr. 15) níže. Vše začíná tak, že svazek kabelů je dopraven pomocí válečkového dopravníku na konec trati, kde speciální vidle, které vyjedou mezi válečky, zvednou svazek a z horní části je balík přidržen pístem, který má na konci plastový kotouč, aby ho nepoškodil. Po uchycení a zvednutí se balík přemísťuje po rameni stroje na europaletu, která je umístěna na speciálním řetězovém dopravníku. Poloha svazku na europaletě je zajištěna pohybem palety, protože Paletmatik 1200 se může pohybovat pouze ve dvou osách. Znázornění kinematiky pomocí žlutých šipek je na obrázku (Obr. 15).



Obr. 15.: Paletmatik 1200 ve firmě Prakab

Poté, co je europaleta naskládána, přesune se pomocí řetězového dopravníku do poslední části linky, kde je celá zabalena, tak aby se zabránilo ztrátě nějakých svazků a lépe se s paletou manipulovalo při transportu k zákazníkovi. Poté je paleta pomocí paletového vozíku přesunuta na expediční místo. Na obrázku (Obr. 16) je detail systému uchopení svazku kabelů.



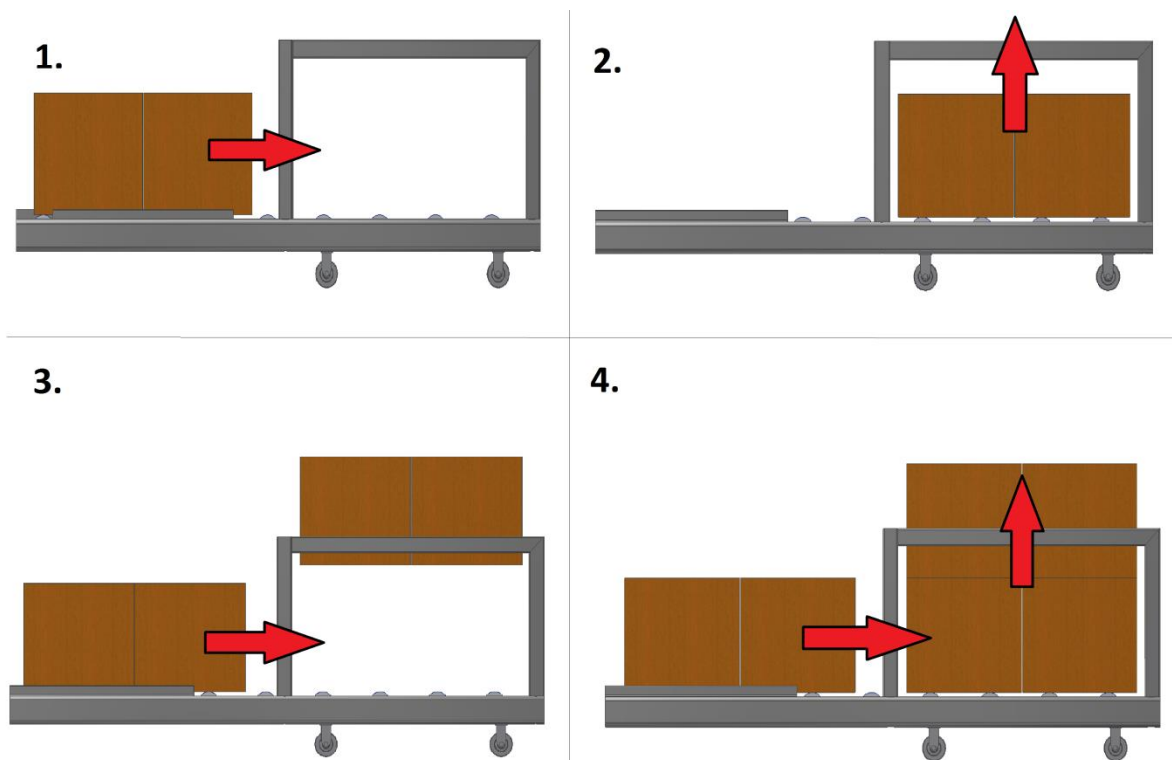
Obr. 16.: Manipulátor se svazkem kabelů

Všechny uvedené možnosti jsou pro firmu příliš nákladné a mají zbytečně velkou kapacitu, která by nebyla využita a tím pádem návratnost takových strojů by byla nereálná. Dalším důvodem, proč tyto varianty nelze uplatnit, je požadavek, aby zařízení, které se zvolí, bylo mobilní, kvůli manipulaci s halovým jeřábem. Z těchto důvodů tyto možnosti uvádím pouze jako inspiraci pro další vlastní konstrukční návrhy.

6. Rámec konstrukčního řešení

Na základě diskuse se zadavatelem práce, po představení možností využít výše popsané komerčně dostupné prostředky bylo rozhodnuto o návrhu vlastního jednoduchého manipulátoru maximálně přizpůsobeného potřebám zadavatele a možnostem jeho výrobních prostor.

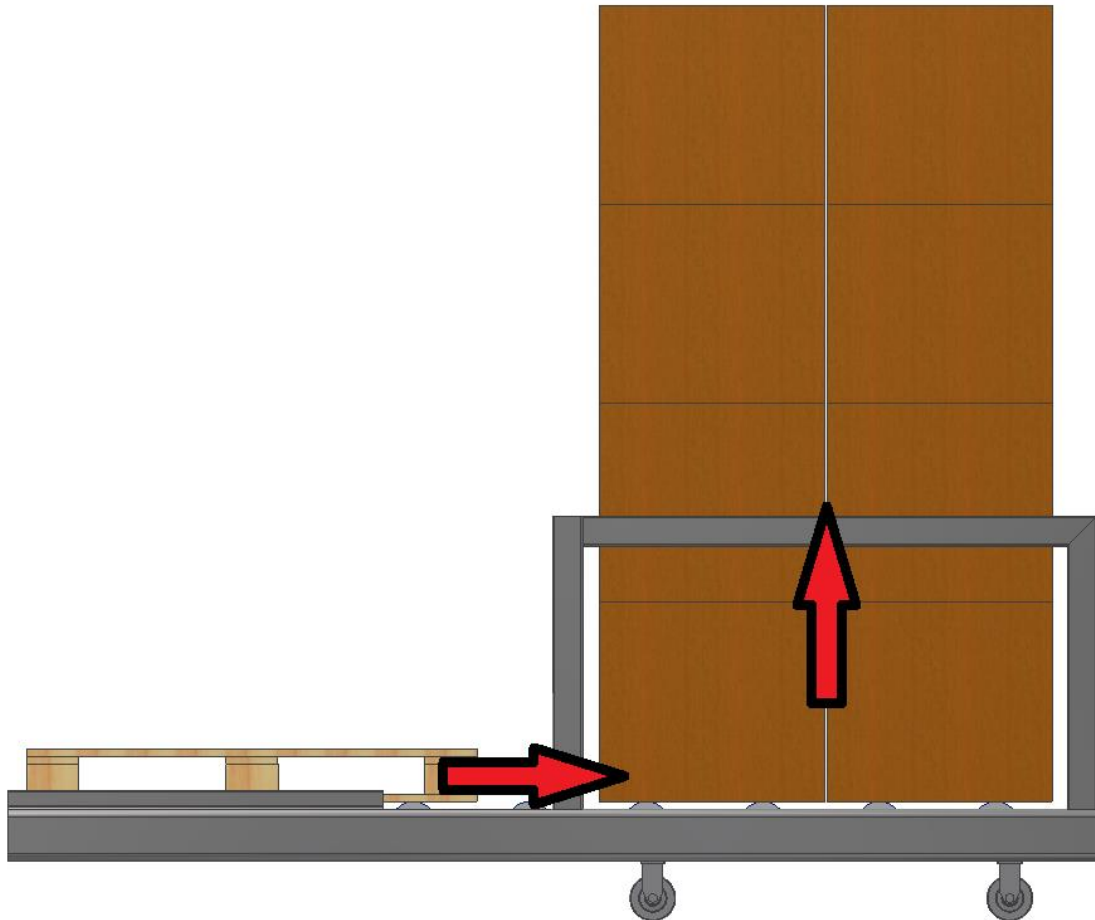
Hlavní myšlenka, která určuje koncepci návrhů je zvedání krabice tak, že manipulátor bude konat pouze svislý, přímočarý pohyb. To znamená, že naplněná krabice se nebude vrstvit na již naplněné a umístěné krabice v pravé části manipulátoru, ale naopak tyto krabice se zvednou a pod ně se zasune právě naplněná krabice. Zvedání probíhá vždy po dvou krabicích. Tímto se odstraní nutnost pohybu v další rovině, a proto může být mechanismus jednodušší. Princip lze vidět na obrázku (Obr. 17).



Obr. 17.: Postup zvedání krabic

Tímto způsobem se krabice skládají do čtyř vrstev, takže na každé paletě je osm krabic. Poté, co jsou krabice na sobě, obsluha stroje umístí europaletu na válečkovou trať a posune jí pod zvednuté krabice, jak je vidět na obrázku (Obr. 18). Po složení krabic na paletu je cyklus na manipulátoru dokončen. V této fázi obsluha zdvihne a odveze naloženou paletu pomocí nízkozdvíhacího vozíku, který bude přistaven ze zadní části, která je otevřená a konstrukce nebrání vyjmutí europalety. Nízkozdvíhací vozík je od firmy STILL a je takové konstrukce, že je schopný zajet spodními vidlemi pod válečkovou trať a horní vidle jsou nad válečky a mohou zvednout europaletu.

Poté zbývá odvést naloženou europaletu na baličku a z baličky na určené místo pro zabalené krabice.



Obr. 18.: Vložení palety pod krabice

Z tohoto provedení vyplývá, že základem budou čtyři pilíře a válečková trať, po které bude obsluha krabice posouvat. Základní rozdíl v jednotlivých variantách je způsob zvedání krabic, respektive pohon zvedání určité součásti, která bude držet krabice.

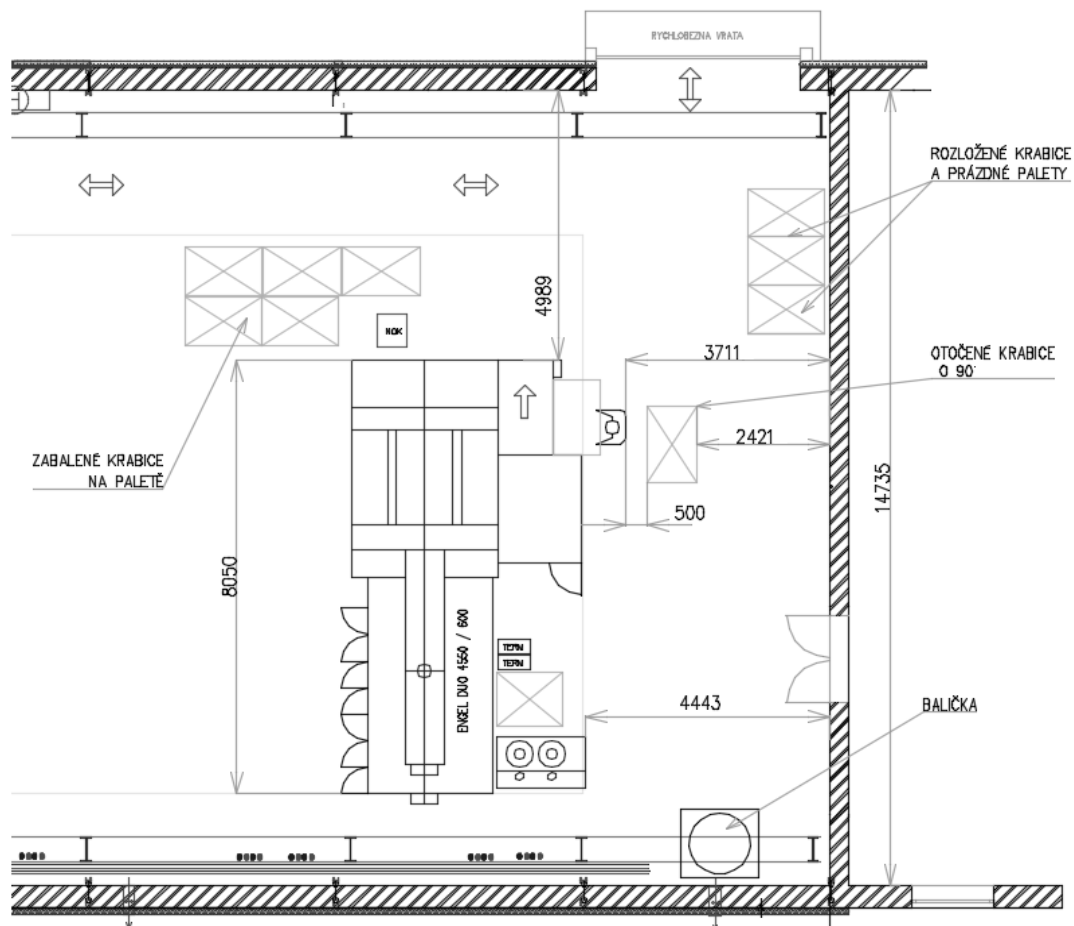
Při návrhu variant jsem pracoval s možnostmi pohonu pomocí řetězu nebo skupiny řetězů kombinovaných s pohybovými šrouby.

6.1. Optimalizace pracoviště

V rámci vlastního návrhu je rovněž zpracována analýza pohybu kartonů a krabic výrobní halou. Na jejím základě s přihlédnutím k potřebnému umístění manipulátoru je představeno doporučení pro optimalizaci pracoviště v tomto ohledu.

Pro lepší pohyb obsluhy po pracovišti je možné umístit menší počet rozložených krabic dále od prostoru, kde probíhá rovnání kusů do krabic, tím pádem vznikne větší prostor pro umístění nového manipulátoru a zároveň vznikne větší průjezd pro nízkozdvihový vozík, který musí projet od baličky k místu expedice zabalených krabic.

Další optimalizací je poloha europalety, na kterou se skládají krabice. Nyní je umístěna delší stranou kolmo ke stroji, tím pádem obsluha při plnění vzdálenější krabice musí vykonat pohyb navíc, aby mohla umístit cívku do krabice. Proto je vhodné paletu umístit delší stranou rovnoběžně se strojem a obsluha může vkládat cívky bez pohybu navíc. Jednotlivé optimalizace jsou vidět na obrázku (Obr. 19).

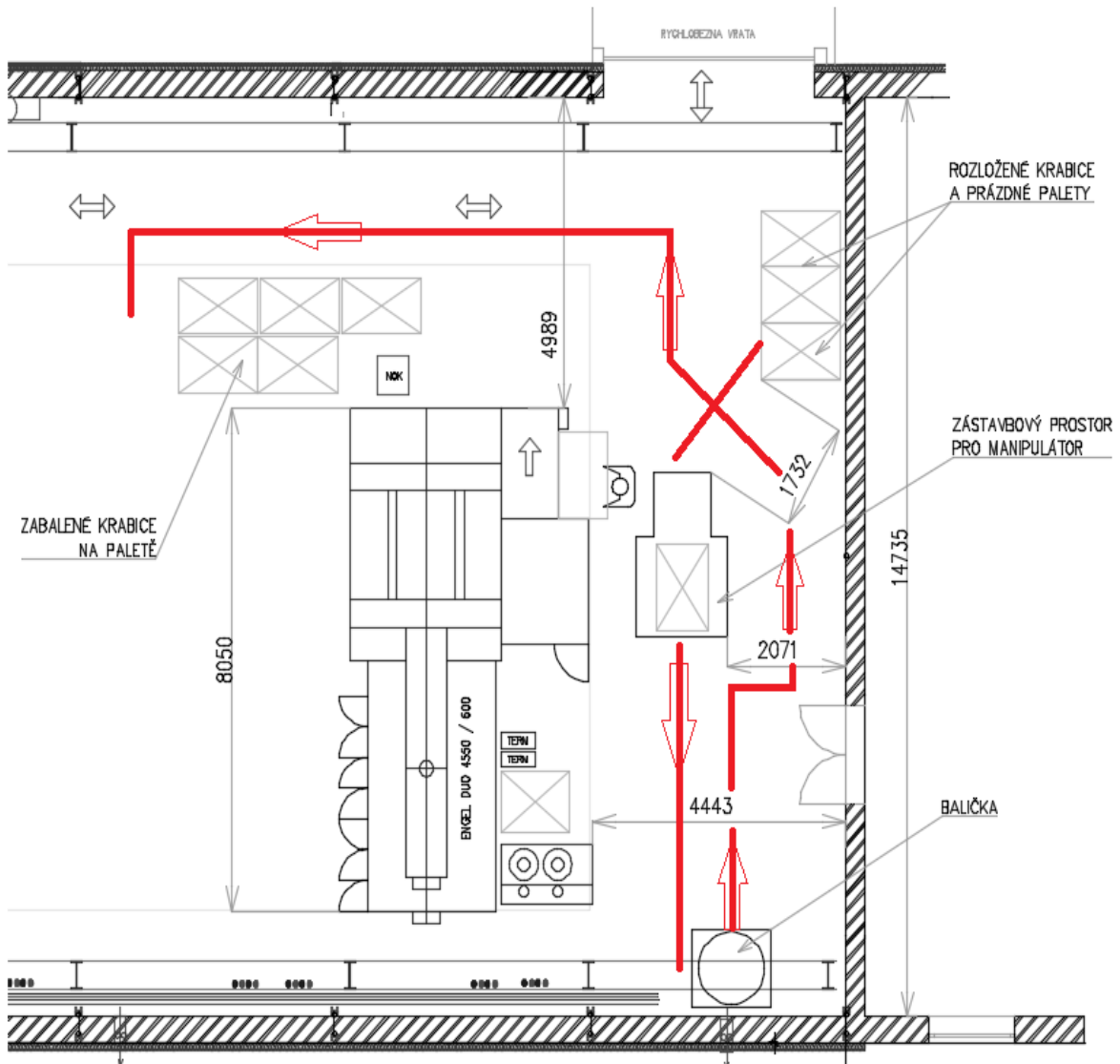


Obr. 19.: Optimalizovaný půdorys pracoviště

Další vhodným řešením by bylo přemístění baličky na stejnou stranu haly, jako jsou rozložené krabice a expediční místo zabalených krabic. Po konzultaci ve firmě jsem však

zjistil, že balička musí zůstat na svém místě a není ji možné přemístit, kvůli elektrickému napájení a využití i pro jiné balení, než jsou tyto krabice s cívkou H8.

Po úpravách pracoviště bude obsluha vykonávat jednotlivé pracovní úkony popsané níže. Pro lepší názornost je zde obrázek (Obr. 20). Po naplnění krabic a umístění na europaletu (postup je popsán v samostatné kapitole) je tato paleta přemístěna pomocí nízkozdvižného vozíku k baličce a po zabalení následuje převoz na určené místo pro zabalené krabice, které jsou připraveny k odvozu z firmy.



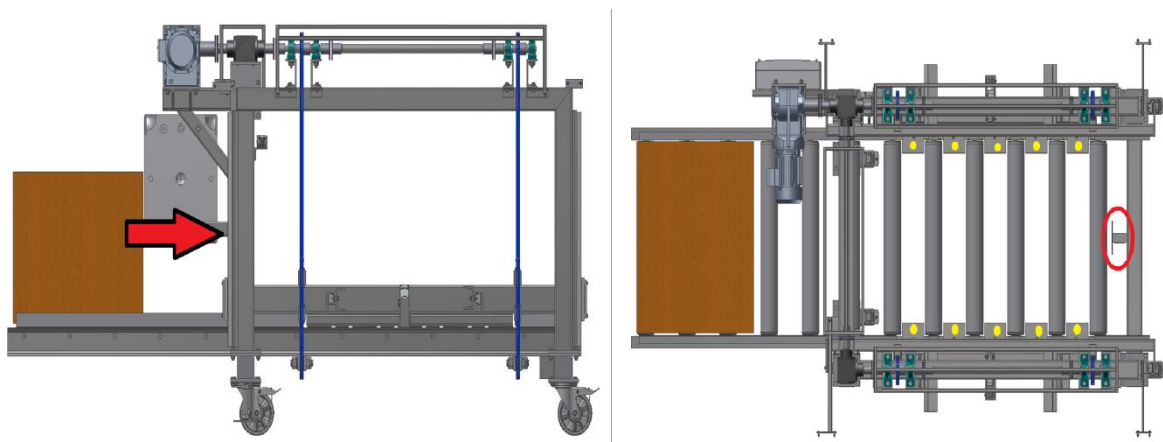
Obr. 20.: Trasa europalety

7. Vlastní manipulátor

Zadavatel požadoval, aby konstrukce byla co nejvíce demontovatelná a jednotlivé součásti byly bez problémů vyměnitelné při případném poškození či opotřebení. Dalším kritériem byla mobilita manipulátoru. Vzhledem k těmto požadavkům jsem zvolil řešení se čtyřmi řetězy, které zastávají funkci zvedání dvou nosičů, umístěných na boku válečkové trati. Tyto nosiče zvedají krabice za dno. O uchopení krabic se stará pneumaticky ovládaná výsuvná část nosiče. Princip fungování manipulátoru je zřejmý z následujících obrázků a popisu.

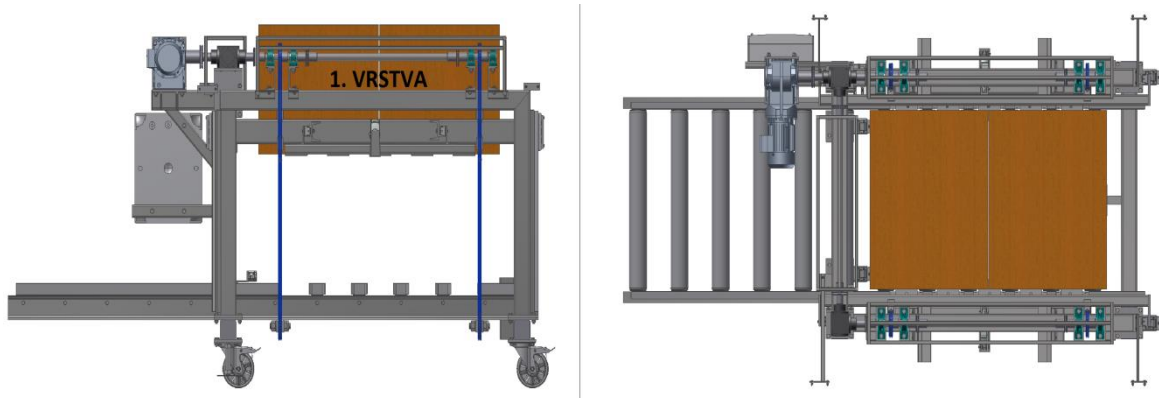
Válečková trať byla zkrácena z důvodu odlehčení manipulátoru a lepší ovladatelnosti. To znamená, že na válečkové trati, kde obsluha plní krabice, je umístěna pouze jedna a ne dvě krabice, jak bylo naznačeno v předběžných návrzích.

V první fázi obsluha umístí prázdnou složenou krabici na válečkovou trať do takové polohy, aby ji mohla naplnit výlisky. Po naplnění krabice a jejím zavření ji obsluha manuálně přemístí po trati na cílovou pozici, která je dána dorazem zvýrazněným červeně v pravé části obrázku (Obr. 21). Stejným způsobem zopakuje postup u druhé krabice. V pravé části obrázku (Obr. 21) je dále zakreslen prvek nosiče žlutými body, ten nese krabice při zdvihání.



Obr. 21.: Fáze 1 pracovního cyklu na manipulátoru

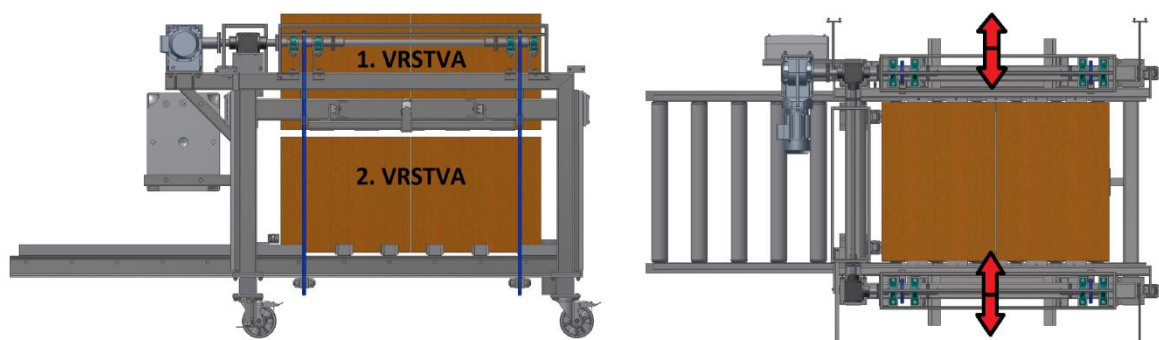
Druhou fází je zvedání první vrstvy krabic. Obsluha má narovnané dvě krabice za sebou na válečkové trati v požadované pozici, jak můžeme vidět na obrázku (Obr. 32). Nyní stiskne tlačítko pro zdvih na ovládacím panelu a krabice jsou nosiči zvedány do výšky jedné krabice tak, aby pod nimi mohl projet po válečkové trati další pár krabic. Horní poloha nosičů je určena koncovým spínačem, který zastaví jejich pohyb. Manipulátor s nosiči v horní pozici je vidět na obrázku (Obr. 32) v levé části a v pravé je pohled na umístěné krabice v cílové pozici.



Obr. 22.: Fáze 2 pracovního cyklu na manipulátoru

Třetí fáze spočívá v sesunutí krabic první vrstvy na druhou vrstvu. Tomuto úkonu předchází fáze jedna, kde se naplní a posunou dvě krabice na cílovou polohu pod první vrstvu, ta je stále zvednutá nosiči. Poté, co obsluha umístí krabice na cílovou pozici, stiskne tlačítko pro pohyb dolů. Po stisknutí nejprve nastane pohyb části nosičů, která drží krabice. Tato část se pomocí pneumatického pístu vysune směrem od válečkové trati a to způsobí sesunutí první vrstvy na druhou.

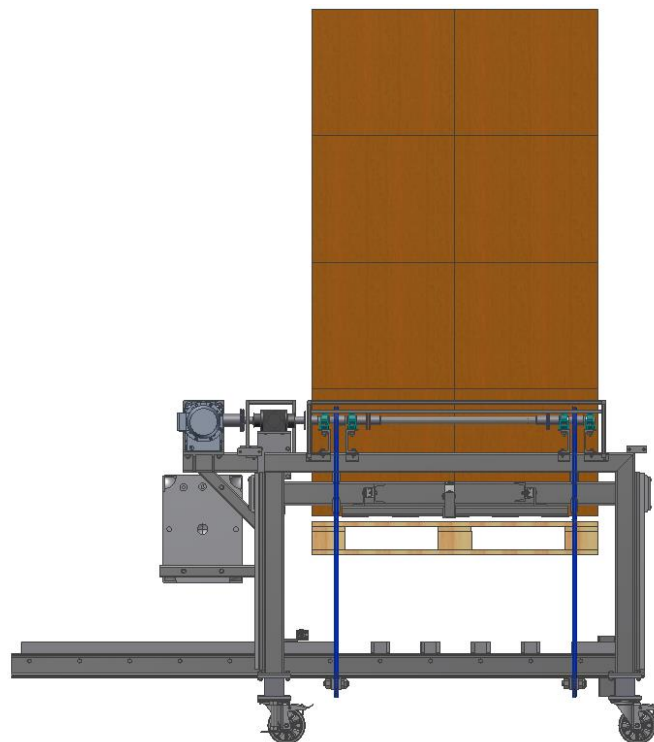
Vzhledem k tomu, že první vrstva je nad druhou vrstvou přibližně dvacet milimetrů, není problém s malým pádem, který krabice absolvují. Výlisky jsou plastové, jak jsem zmínil dříve, takže nejsou křehké a nehrozí jejich poškození. Toto řešení výrazně přispěje ke zjednodušení konstrukce a celého ovládání manipulátoru. Na obrázku (Obr. 32) vlevo jsou vidět dvě vrstvy krabic a vpravo vysunutá část nosičů.



Obr. 23.: Fáze 3 pracovního cyklu na manipulátoru

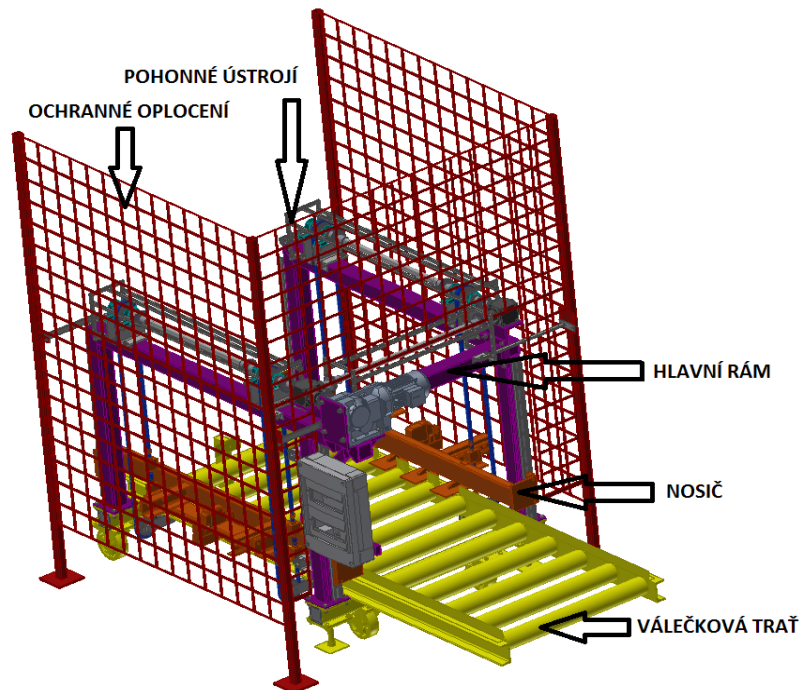
Posledním úkonem třetí fáze a zároveň celého cyklu je sjetí nosičů, které mají vysunuté části držící krabice tak, že mohou projet kolem narovnaných dvou vrstev až na dolní pozici, jež je opět určena koncovým spínačem. Po dojetí a zastavení pohybu nosičů následuje zasunutí části držící krabice do takové polohy, aby byly připraveny opět zvednout další vrstvu poté, co jsou krabice naplněny a připraveny ke zvednutí.

Po naskládání čtyř vrstev následuje vložení europalety. Obsluha paletu přiveze na nízkozdvíhacím vozíku k manipulátoru. Krabice ve čtyřech vrstvách jsou zvednuty v horní poloze. Obsluha zvedne vidle vozíku těsně pod části nosičů, které drží krabice, ale tak, aby bylo možné části vysunout a tím byl umožněn sesun krabic na paletu. Po složení krabic na europaletu obsluha odjede od manipulátoru a spustí vidle s krabicemi dolů tak, aby je mohla převést na baličku. Pro lepší názornost je zde umístěn obrázek (Obr. 32), na kterém je vyobrazena paleta pod nosiči. Paleta je zakreslena pouze ilustrativně bez nízkozdvíhacího vozíku, kterým je zvedána.



Obr. 24.: Umístění palety pod nosiče pomocí nízkozdvíhacího vozíku

Detailní představu o konstrukčním řešení si lze udělat na základě obrázku (Obr. 25).

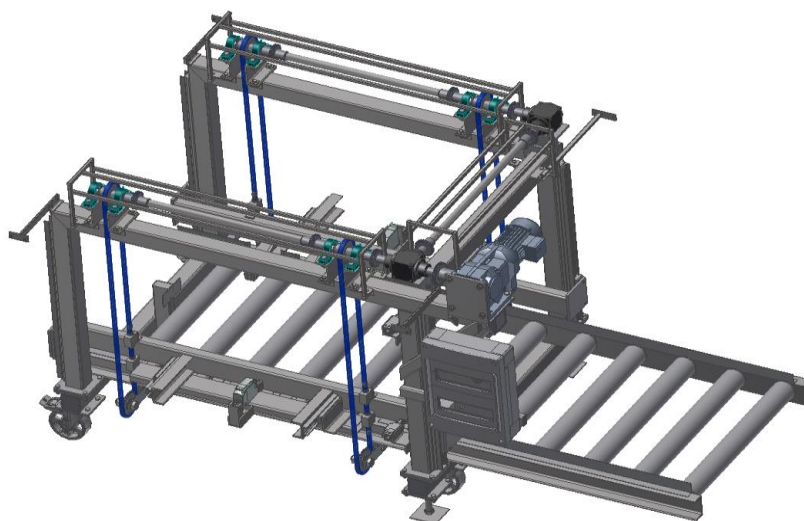


Obr. 25.: Model manipulátoru

Manipulátor se skládá z pěti hlavních částí:

1. Válečková trať (žlutá barva)
2. Hlavní rám (fialová barva)
3. Pohonné ústrojí a elektrický rozvaděč (šedá barva)
4. Nosiče (oranžová barva)
5. Ochranné oplocení (červená barva)

kteří jsou podrobně popsány v následujících kapitolách. Na obrázku (Obr. 32) je umístěn pohled na manipulátor bez ochranné mříže, tak aby byly lépe vidět jednotlivé konstrukční části.



Obr. 26.: Model konstrukce manipulátor

7.1. Válečková trať

Základním prvkem manipulátoru je válečková trať, ke které jsou přidělané ostatní konstrukční součásti. Model této trati můžeme vidět na obrázku (Obr. 27).

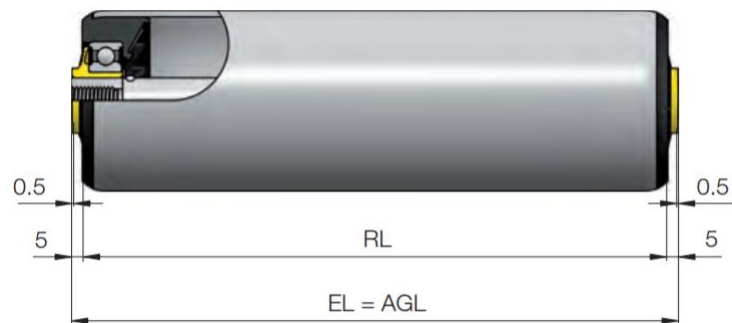


Obr. 27.: Model kompletní válečkové trati

Válečková trať je vlastní konstrukce. Skládá se z U – profilů, které zastávají funkci nosných rámců, a kupovaných válečků. Další součástí této podstavy jsou dvě trubky čtvercového průřezu, které jsou umístěny napříč k U – profilům. Na koncích mají z horní a dolní strany navařené příruby. K horním přírubám je přišroubován hlavní rám. K dolním přírubám jsou přišroubována kola a na jedné straně i stabilizační podpěry. Další součástí válečkové trati je doraz, který zastavuje krabice při posouvání obsluhou. Poslední částí této podstavy je postranní vedení, které zajišťuje správnou pozici při posouvání krabic po trati až na cílové místo.

7.1.1. Válečky

Válečky jsou vybrány od firmy INTERROLL dle jejich katalogu. Je to univerzální váleček pro těžká zařízení, s využitím poháněných nebo nepoháněných systémů pro dopravu palet. Skládá se z pozinkované a ušlechtilé ocelové trubky. Přesná kuličková ložiska zaručují tichou dopravu. Ložiska jsou chráněna před nečistotami labyrintovým těsněním. Další rozměry jsou znázorněny na obrázku (Obr. 28) a konkrétní rozměry zvoleného válečku jsou uvedeny v tabulce (Tab. 1). Na dopravníku je použito dvanáct válečků s roztečí 210 mm.



Obr. 28.: Váleček [13]

Tab. 1.: Rozměry válečku [13]

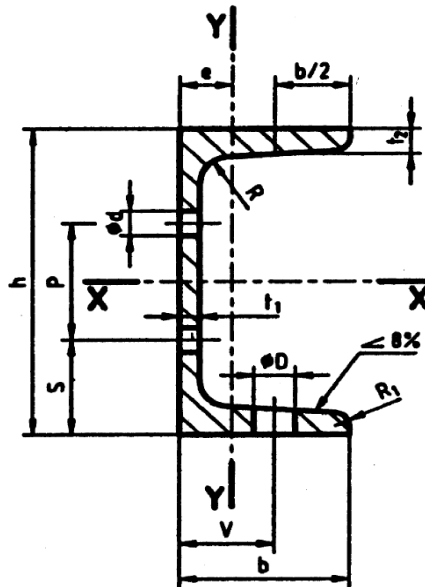
RL - Referenční délka / Objednávací délka	810	mm
EL = AGL - Instalační délka = celková délka	820	mm
Průměr válečku	89	mm
Průměr hřídele	20	mm
Závit	M10 x 20	mm
Maximální nosné zatížení	5 000	N

V tabulce (Tab. 1) jsou uvedeny rozměry válečků a přípustné zatížení na jeden váleček. Přípustné zatížení je 5 000 N, tedy přibližně 500 kg. Při naložení všech čtyř vrstev je celkové zatížení 152 kg, toto zatížení se ještě rozloží mezi šest válečků. To znamená, že porušení válečků nehrozí. Tento typ byl zvolen zejména kvůli průměru válečku, který je dostatečně velký, aby vznikl prostor pro hřeben od nosičů, který zvedá krabice a nepřesahoval přes válečky, aby nebránil pohybu krabic po válečkové trati.

Podrobné informace jsou k dispozici v [13]

7.1.2. U – profil

Pro rám, do kterého se přišroubují válečky, jsou použity tyče průřezu U z oceli třídy 11 válcovaných za tepla. Označení tyče průřezu U o výšce $h = 100$ mm v provedení B, což znamená přesnější provedení, z oceli 11 373 ve stavu nežíhaném, s kontrolou jakosti, s provedením úplné zkoušky tahem je: U 100/B ČSN 42 5570 – 11 373.0 – 42 0135.00. schéma průřezu je na obrázku (Obr. 29). Délka tohoto profilu je 2650 mm. [14, str. 295]

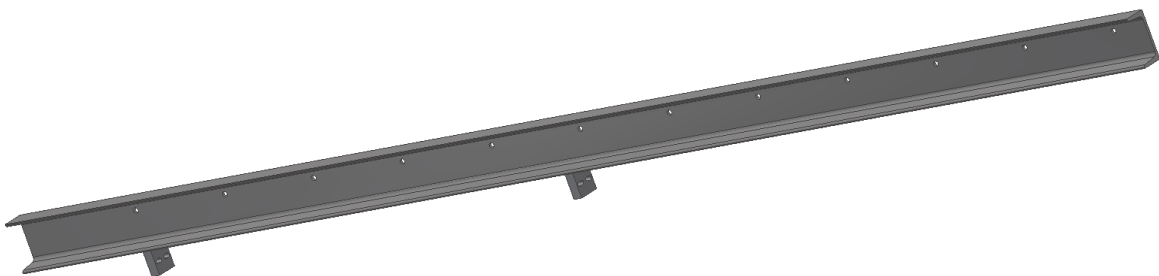


Obr. 29.: Schéma tyče průřezu U [14, str. 295]

Tab. 2.: Rozměry ocelových tyčí průřezu U [14, str. 295]

Jmenovité rozměry										Hmotnost délky
h	b	t ₁	t ₂	R ₁	V	d	S	P	D	1 m [kg]
100	50	6	8,5	4,5	30	13	50	-	13	10,6

V tabulce výše (tab. 2) jsou uvedeny rozměry tyče a její hmotnost na jeden metr délky. Na tyčích jsou ze spodní části v požadované vzdálenosti přivařeny dva hranoly, které slouží k uchycení spodních řetězových kol, toto je zobrazeno na obrázku (Obr. 30).



Obr. 30.: Model U – profilu s navařenými hranoly

7.1.3. Kola

Kola jsem zvolil od firmy TENTE, tento typ kol je vhodný pro velká zatížení. Kolo je otočné se směrovým jištěním a vidlice je vyrobena ze silného plechu, na kterém je modrý zinkochromát. Dále se skládá z kuličkového ložiska v otočné hlavě kola. Běhoun je z polyuretanu a na hřídeli kola je opět přesné kuličkové ložisko. Viz obrázek (Obr. 31). Rozměry uvedené výrobcem jsou v tabulce (Tab. 3).



Obr. 31.: Otočné kolo [15]

Tab. 3.: Rozměry kola

Průměr kola [mm]	Šířka kola [mm]	Velikost plotny [mm]	Rozteč děr [mm]	Průměr děr [mm]	Vyosení [mm]	Stavební výška [mm]	Nosnost [kg] při 4 km/h
160	50	137 x 105	105 x 80	11	55	210	600

Dynamická nosnost jednoho kola je výrobcem stanovena na 600 kg. Statická nosnost je potom 1200 kg. Hmotnost celého manipulátoru je přibližně 370 kg. Z těchto údajů vyplývá, že kola vyhovují.

Podrobnější informace jsou uvedeny v [15]

7.1.4. Stabilizační podpěry

Stabilizační podpěry jsou umístěny na jednom z příčných čtvercových profilů, z důvodu vyrovnání případné rozdílné výšky podlahy. Podpěra se skládá ze spodní patky o velikosti 100 x 100 mm, kde je levý závit M20 o délce 55 mm. Horní patka má stejný rozměr, s tím rozdílem, že závit je pravý. Tyto dvě patky jsou spojeny pomocí pravolevé matice. Šroubováním matice jedním nebo druhým směrem lze vyrovnat manipulátor do potřebné roviny a zároveň zlepšit stabilitu manipulátoru. Stabilizační podpěra je zobrazena na obrázku (Obr. 32).

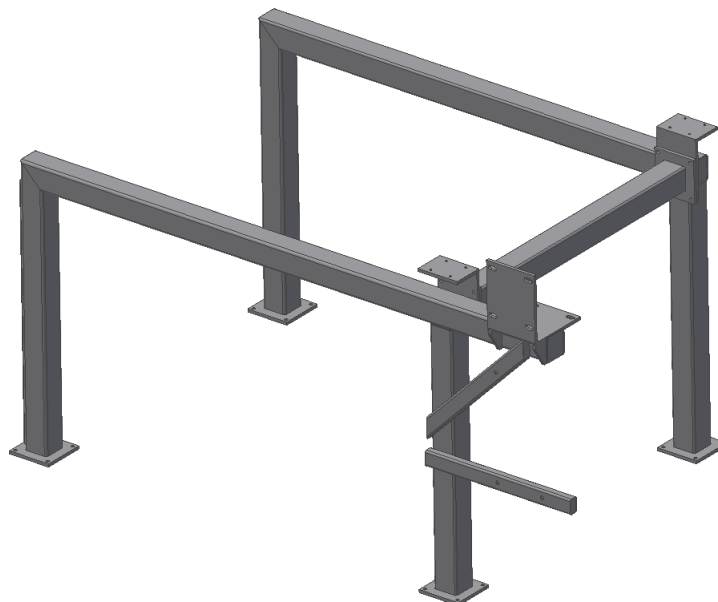


Obr. 32.: Stabilizační podpěra [16]

Stabilizační podpěra má maximální dovolené zatížení ve svislém směru 800 kg. V tomto případě jsou umístěny dvě podpěry. Při uvažování maximálního zatížení, což je hmotnost celého manipulátoru, je velikost tohoto zatížení přibližně 250 kg. Tento případ nenastane, protože hmotnost je rozložena na dvě stabilizační podpěry a na druhé straně hmotnost působí na kola, jejichž dovolené zatížení je uvedeno výše. Z této úvahy opět vyplývá, že podpěry vydrží maximální zatížení od manipulátoru.

7.2. Hlavní rám

Hlavní rám je částečně šroubovaný a svařovaný. Kombinace těchto dvou typů spojů je z důvodu maximální splnění podmínky pro jeho demontování a následné smontování. Konstrukce rámu lze vidět na obrázku (Obr. 33).



Obr. 33.: Model hlavního rámu

Rám je složen z trubek čtvercového průřezu. Další částí jsou příruby. Jeden typ je pro přišroubování k válečkové trati a druhý typ pro sešroubování dvou podélných částí. Tento typ slouží i k uchycení kuželových převodovek. Trubky obdélníkového průřezu, které jsou umístěny pod držákem motoru, zvyšují jeho tuhost, zároveň plní funkci pro uchycení elektrického rozvaděče. Všechny použité šroubové spoje na hlavním rámu jsou velikosti M10.

7.2.1. Trubka čtvercového průřezu

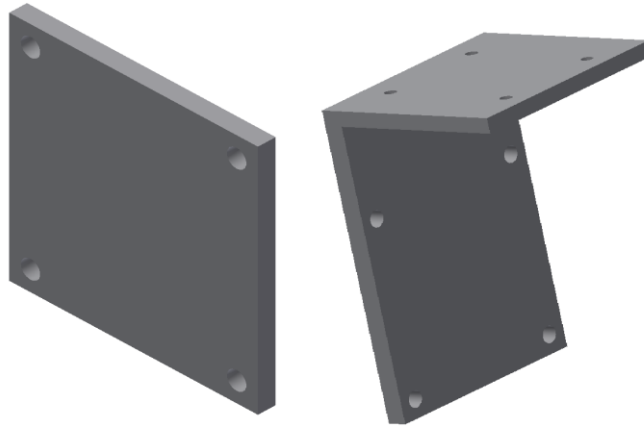
Tyto trubky jsou dle normy ISO 4019. Je to konstrukční ocel tvářená zastudena, svařovatelná. Rozměry této součásti jsou uvedeny v tabulce (Tab. 4), kde jsou dále rozepsány, kolik kusů jednotlivých délek je potřeba pro vytvoření konstrukce.

Tab. 4.: Informace o trubce čtvercového průřezu [17, str. 302]

Strana [mm]	Tloušťka [mm]	Poloměr [mm]	Hmotnost [kg/m]	Délka [mm]	Počet kusů
80	3	6	7,07	1890	1
80	3	6	7,07	1550	2
80	3	6	7,07	980	1
80	3	6	7,07	920	2
80	3	6	7,07	840	2

7.2.2. Příruby

V hlavním rámu jsou použity dva typy přírub. Oba typy jsou pásy oceli třídy 11, konkrétně 11 373. První typ slouží k přišroubování rámu na válečkovou trať. Tato příruba je umístěna na čtyřech pilířích z dolní strany. Model tohoto typu můžeme vidět na obrázku (Obr. 34) v levé části.



Obr. 34. Příruba k na pilířích a příruba pro kuželové převodovky

Druhý typ je používán pro sešroubování levé a pravé části hlavního rámu. Další funkcí těchto přírub je umístění a upevnění kuželových převodovek. Detailní pohled na tuto přírubu je na obrázku (Obr. 34) v pravé části.

7.2.3. Držák motoru

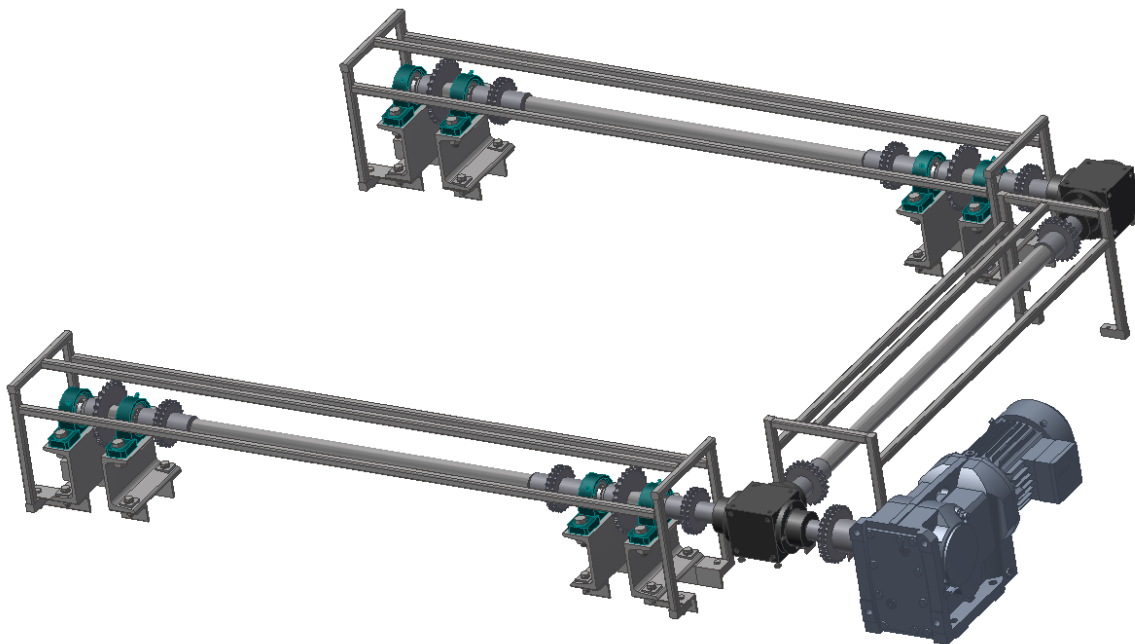
Tato součást je ze stejného materiálu, jako příruby, tedy 11 373. Držák je umístěn na převislém konci podélné trubky. Pro lepší tuhost jsou z obou stran navařena dvě žebra. Pro lepší představu je níže umístěn obrázek (Obr. 35).



Obr. 35.: Držák motoru

7.3. Pohonné ústrojí

Jak už bylo uvedeno, zvedání krabic je zajištěno pomocí čtyř řetězů. Řetězy jsou ve svislém směru a horní řetězová kola jsou poháněna pomocí hřídelí v kombinaci s kuželovými převodovkami. Celé pohonné ústrojí je umístěno na horní straně hlavního rámu. Na obrázku (Obr. 36) je detail celého pohonného ústrojí včetně ochranného rámu.



Obr. 36.: Pohonné ústrojí

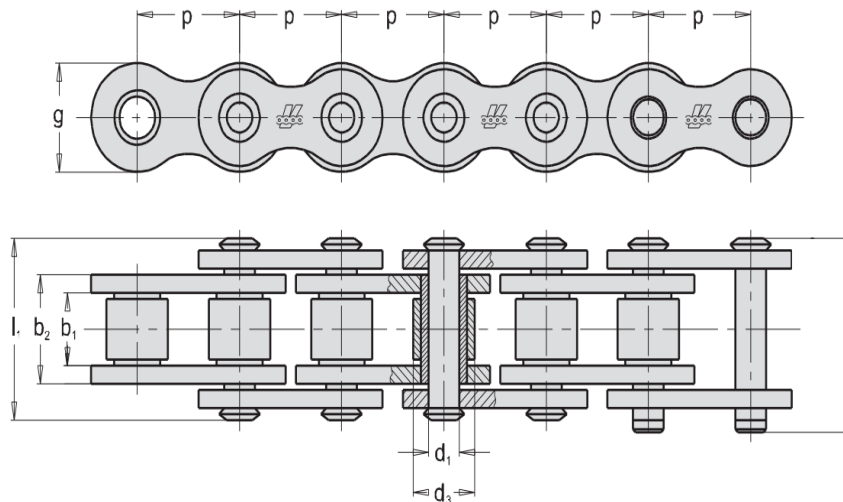
7.3.1. Řetěz

Volba řetězu vyplývá ze zatížení, které musí být přeneseno. Dále jsem volil takový typ řetězu, aby byl co nejběžnější a při případné poruše, či opotřebení byl jednoduše vyměnitelný za nový.

Z tohoto důvodu byl zvolen válečkový řetěz od firmy Řetězy Vamberk. Je to jednořadý válečkový řetěz normy ČSN 02 3311 řady B8, s počtem článků 186. Parametry řetězu jsou uvedeny v tabulce (Tab. 5). Tyto rozměry jsou zakótovány na obrázku (Obr. 37). [18, str. 19]

Tab. 5.: Parametry řetězu [18, str. 19]

ISO Nr.	p [mm]	b ₁ [mm]	b ₂ [mm]	d ₁ [mm]	d ₃ [mm]	l ₁ [mm]	l ₂ [mm]	g [mm]	f [mm ²]	F _B [kN] min.	F _A [kN]	Q [kg/m]
08B - 1	12,7	7,75	11,3	4,45	8,51	17	20,9	11,8	50	18	2,57	0,69



Obr. 37.: Schéma válečkového řetězu s rozměry [18]

7.3.1.1. Kontrolní výpočet

Návrh řetězu a kontrolní výpočet probíhal v Autodesk Inventor. Pro kontrolu jsem ručně přepočítal tlak v kloubech. V tabulce (Tab. 6) je vidět návrh z Inventoru.

Tab. 6.: Výpočet řetězu v Autodesk Inventor

Generátor řetězového převodu

Návrh **Výpočet**

Pracovní podmínky
 Kroučící moment, otáčky --> výkon

Výkon P 0,004 kW
 Kroučící moment T 3,19 N m
 Otáčky n 12,4000 rpm
 Účinnost η 0,980 ul
 Požadovaná životnost L_h 15000,000 hr
 Maximální prodloužení řetězu ΔL_{max} 0,030 ul

Druh provozu: Občasné lehké rázy
 Prostředí: Čistě
 Mazání: Doporučené

Vlastnosti řetězu
 Pevnost při přetržení F_u 17800,000 N
 Měrná hmotnost m 0,700 kg/m
 Jmenovitý výkon řetězu P_R 0,131 kW
 Součinitel provedení řetězu 1,000 ul

Součinitele pro korigování výkonu
 Součinitel rázu γ 1,500 ul
 Součinitel provozu f_1 1,250 ul
 Součinitel velikosti kola f_2 1,000 ul
 Součinitel počtu řad f_3 1,000 ul
 Součinitel mazání f_4 1,000 ul
 Součinitel osové vzdálenosti f_5 0,839 ul
 Součinitel převodu f_6 1,200 ul
 Součinitel životnosti f_7 1,000 ul

Omezit tlak v kloubu řetězu
 Dovolенý tlak p_0 33,141 MPa
 Specifický součinitel tření λ 0,794 ul

Analýza vibrací
 Tuhost řetězu c 1600,000 N/mm
 Mez kritické rychlosti Δn 0,100 ul

Výsledky

P_D 0,005 kW
 F_p 58,321 N
 F_C 0,004 N
 F_{Tmax} 58,324 N
 S_S 305,191 ul
 S_D 203,460 ul

Očekávaná životnost
 t_h 2777778 hr
 t_{hL} 2777778 hr
 t_{hr} 2777778 hr

Řetěz
 p 12,700 mm
 X 186,000 ul
 k 1,000 ul
 A 50,000 mm²
 v 0,071 mps
 p_B 1,166 MPa

Kolo 1
 Z 27,000 ul
 Z_c 14,000 ul
 D_p 109,395 mm
 β 180,00 deg
 P_x 1,000 ul
 P 0,004 kW
 T 3,190 N m
 n 12,400 rpm
 F_r 58,328 N
 F_1 58,324 N
 F_2 0,004 N
 L_z 1009,649 mm

14:52:08 Výpočet: Doporučené mazání: Ruční mazání
 14:52:08 Výpočet: Maximální jmenovitý výkon řetězu je omezen únavou destiček článků.
 14:52:08 Výpočet: Výpočet skončil úspěšně!

Vypočítat OK Storno >>

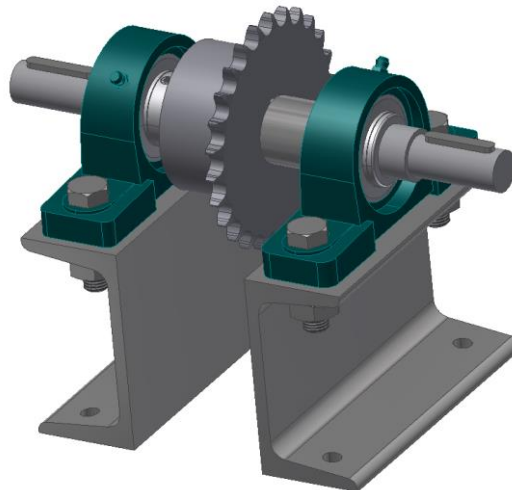
Pro srovnání a jistotu, že návrh řetězu je správný, jsem provedl kontrolní výpočet tlaku v kloubech, který je níže, dle výukových prezentací z předmětu Transportní technika II – Řetězy.

$$p_v = \frac{F_{\text{řetězka}}}{f} = \frac{625}{50} = 12,5 \text{ MPa} \rightarrow p_v < p_{dov} \rightarrow 12,5 < 33 \text{ MPa} \quad (1)$$

Dovolený tlak v kloubech řetězu p_{dov} jsem ponechal, jaký určil výpočet v Inventoru, tedy $p_{dov} = 33 \text{ MPa}$. Z předchozí rovnice (1) vyplývá, že řetěz splňuje tuto podmínku.

7.3.2. Sestava horní řetězky

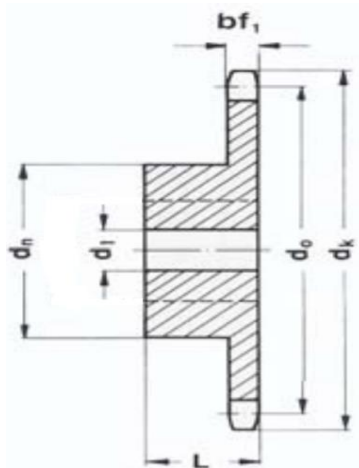
Tato kapitola popisuje sestavu, která se skládá z řetězového kola, ložiskových těles, hřídele a U – profilů. Sestava je vidět na obrázku (Obr. 38).



Obr. 38.: Sestava řetězového kola

7.3.2.1. Řetězové kolo

Řetězová kola jsou kupovaná od firmy TYMA. Schéma řetězového kola je vidět na obrázku (Obr. 39). Podrobnější informace jsou uvedeny v tabulce (Tab. 7). Kolo je připravené na spojení s hřídelí pomocí pera.



Obr. 39.: Schéma řetězového kola [19]

Tab. 7.: Parametry řetězového kola [19]

Typ 08B - pro řetězy 08B						
Počet zubů z	d_0 [mm]	d_k [mm]	bf_1 [mm]	d_n [mm]	d_1 [mm]	L [mm]
27	109,4	114	7,2	70	16	30

7.3.2.2. Hřídel

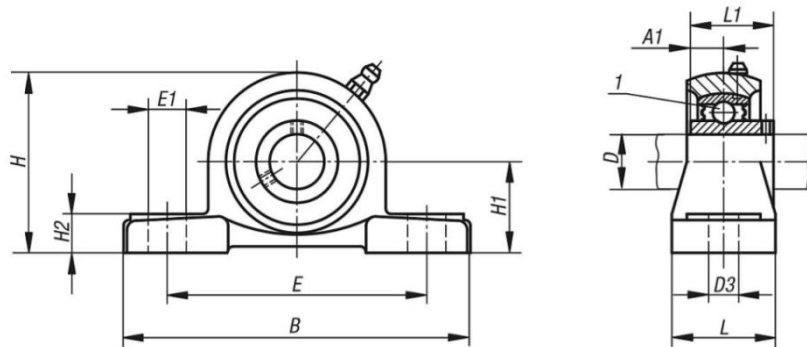
Hřídel je kupovaný polotovár od výrobce INA. Materiálem je ocel třídy 12 051. Hřídele od výrobce INA jsou povrchově kalené a broušené přesné hřídele z přísně kontrolované ušlechtilé oceli. Tvrdost a kvalita povrchu těchto hřídelů zajišťují výborné vlastnosti pro jejich použití. Jádru hřídele je z důvodu ohybového namáhání měkké. Na obrázku (Obr. 40) je znázorněn model konkrétní obrobene hřídele. Délka hřídele je 254 mm. [20]



Obr. 40.: Hřídel řetězového kola

7.3.2.3. Ložiskové těleso

Tato součást je zakoupena od firmy NORELEM. Tato sestava je okamžitě připravena k montáži. Tyto jednotky mají skutečné soustředné upnutí na hřídel. Důležitou vlastností je možnost naklápění ložisek, čímž lze lépe kompenzovat nepřesnosti při montáži. Jejich další nespornou výhodou je jednoduchá manipulace, vysoká výkonnost a minimální nároky na údržbu. Informace o konkrétním použitém tělese jsou v tabulce (Tab. 8). Další informace jsou uvedeny na [21].



Obr. 41.: Ložiskový domek [21]

Tab. 8.: Rozměry ložiskového domku [21]

Ložisko	Domek	D [mm]	A1 [mm]	B [mm]	D3 [mm]	E [mm]	E1 [mm]	H [mm]	H1 [mm]	H2 [mm]	L [mm]	L1 [mm]	α	Šroub
UC 205	P 205	25	14,3	140	13	105	19	71	36,5	15	38	34	10°	M10

7.3.2.4. U – profil

Tento profil slouží pro uchycení stojatých ložiskových jednotek a na druhé straně k uchycení sestavy řetězového kola k hlavnímu rámu. Vzhledem k tomu, že profil je stejný, jako na konstrukci rámu dopravníku, bližší specifikace jsou uvedeny v tabulce (Tab. 2). Jediné v čem se liší, je délka profilu. Tento profil je dlouhý 150 mm.

7.3.2.5. Kontrolní výpočty

V kontrolních výpočtech této kapitoly se budu zabývat kontrolou hřídele na krut a návrhem a kontrolou per, které jsou na hřídeli použité. Použité vztahy vycházejí z podkladů předmětů Části a mechanismy strojů I, Pružnost a pevnost I. [22, 23]

- Kontrola hřídele
Hřídel kontroluji na krut pro nejmenší průměr hřídele. V tabulce (Tab. 9) jsou uvedeny známé hodnoty, se kterými počítám.

Tab. 9.: Známé hodnoty pro kontrolu hřídele

Síla na řetězce $F_{\text{řetězka}} [\text{N}]$	Průměr hřídele $D_{\text{min}} [\text{mm}]$	Poloměr řetězky $r_{\text{řetězka}} [\text{mm}]$	Dovolené napětí v krutu $\tau_{\text{Dk}} [\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}]$
1250	20	54,7	70

Prvním krokem je výpočet krouticího momentu na řetězce $M_{k \text{ řetězka}}$, dle následujícího vzorce (2).

$$M_{k \text{ řetězka}} = F_{\text{řetězka}} \times r_{\text{řetězka}} = 1\,250 \times 54,7 = 68\,375 \text{ N}\cdot\text{mm} \quad (2)$$

Poté, co znám krouticí moment na řetězce, mohu spočítat napětí v krutu τ_k , vzorcem, který je uveden níže (3).

$$\tau_k = \frac{M_{k \text{ řetězka}}}{W_k} = \frac{M_{k \text{ řetězka}}}{\frac{\pi \times D_{\text{min}}^3}{16}} = \frac{68\,375}{\frac{\pi \times 20^3}{16}} = 43,5 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2} \rightarrow 43,5 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2} < 70 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2} \quad (3)$$

Při porovnání vypočtené hodnoty τ_k a dovolené hodnoty τ_{Dk} , vidíme, že vypočtené napětí v krutu je menší než dovolené a to znamená, že hřídel vyhovuje. τ_{Dk} jsem zvolil z literatury k předmětu ČMS I [22].

- Návrh a kontrola pera pro řetězku

V tabulce (Tab. 10) jsou opět uvedeny známé hodnoty. Volba hodnoty p_D je pro nepohyblivé spojení a netvrzený povrch se střídavým provozním režimem.

Tab. 10.: Známé hodnoty pro návrh pera řetězky

Průměr hřídele $D_h [\text{mm}]$	Krouticí moment na hřídeli $M_{kh} [\text{N}\cdot\text{mm}]$	Dovolený tlak na bocích per a drážek $p_D [\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}]$	Dovolené napětí $\tau_D [\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}]$	Šířka pera $b [\text{mm}]$	Výška pera $h [\text{mm}]$
25	68 375	80	60	8	7

Po zjištění hodnot ze strojírenských tabulek jsem počítal funkční délku pera l'_a (4) a následně stanovil normalizovanou délku $l_{(\text{ČSN})}$ (5) a zpětně dopočítal skutečnou funkční délku pera l_a (6). Celý návrh pera jsem dělal dle návodu z prezentace [22].

$$p = \frac{4 \times M_{kh}}{D_h \times h \times l'_a} \leq p_D \rightarrow l'_a \geq \frac{4 \times M_{kh}}{D_h \times h \times p_D} = \frac{4 \times 68\,375}{25 \times 7 \times 80} = 19,536 \text{ mm} \quad (4)$$

$$l' = l'_a + b = 19,536 + 8 = 27,536 \text{ mm} \rightarrow l_{(\check{C}SN)} = 28 \text{ mm} \quad (5)$$

$$l_a = l_{(\check{C}SN)} - b = 28 - 8 = 20 \text{ mm} \quad (6)$$

V dalším kroku jsem provedl návrh minimální délky náboje l_{Nmin} (7).

$$l_{Nmin} = l + h = 28 + 7 = 35 \text{ mm} \quad (7)$$

Z kontrolních výpočtů jsem provedl kontrolu pera na otláčení dle rovnice (8). Z porovnání vypočtené hodnoty tlaku p a dovolené hodnoty p_D , vyplývá, že pero vyhovuje. Hodnotu p_D jsem stanovil podle prezentace [22].

$$p = \frac{4 \times M_{kh}}{D_h \times h \times l_a} \leq p_D \rightarrow \frac{4 \times 68\,375}{25 \times 7 \times 20} = 78,143 \text{ N.mm}^{-2} \leq 80 \text{ N.mm}^{-2} \quad (8)$$

Dalším kontrolním výpočtem byla kontrola pera na stříh (9). Při porovnání opět vidíme, že vypočtená hodnota napětí τ je menší než τ_D , pero vyhovuje. Dovolenu hodnotu τ_D jsem volil opět podle prezentace [22].

$$\tau = \frac{2 \times M_{kh}}{D_h \times b \times l_a} \leq \tau_D \rightarrow \frac{2 \times 68\,375}{25 \times 8 \times 20} = 34,188 \text{ N.mm}^{-2} \leq 60 \text{ N.mm}^{-2} \quad (9)$$

- Návrh a kontrola pera pro řetězovou spojku

Stejným způsobem navrhnu i pera pro řetězovou spojku a následně zkontroluji na otláčení a na stříh.

Tab. 11.: Známé hodnoty pro návrh pera řetězové spojky

Průměr hřídele D_h [mm]	Krouticí moment na hřídeli M_{kh} [N.mm]	Dovolený tlak na bocích per a drážek p_D [N.mm ²]	Dovolené napětí τ_D [N.mm ⁻²]	Šířka pera b [mm]	Výška pera h [mm]
20	68 375	80	60	6	6

$$p = \frac{4 \times M_{kh}}{D_h \times h \times l'_a} \leq p_D \rightarrow l'_a \geq \frac{4 \times M_{kh}}{D_h \times h \times p_D} = \frac{4 \times 68\,375}{20 \times 6 \times 80} = 28,49 \text{ mm} \quad (10)$$

$$l' = l'_a + b = 28,49 + 6 = 34,49 \text{ mm} \rightarrow l_{(\check{C}SN)} = 36 \text{ mm} \quad (11)$$

$$l_a = l_{(\check{C}SN)} - b = 36 - 6 = 30 \text{ mm} \quad (12)$$

V dalším kroku jsem provedl návrh minimální délky náboje l_{Nmin} (13).

$$l_{Nmin} = l + h = 36 + 6 = 42 \text{ mm} \quad (13)$$

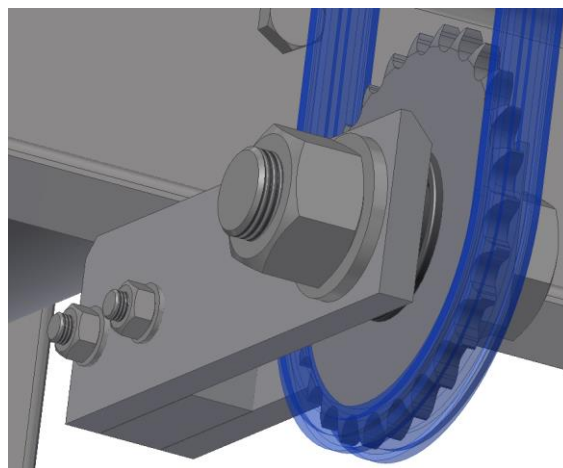
Kontrolní výpočty jsem provedl stejné, jako u předchozího návrhu, tedy kontrola na otláčení a kontrola na stříh (14), (15).

$$p = \frac{4 \times M_{kh}}{D_h \times h \times l_a} \leq p_D \rightarrow \frac{4 \times 68\,375}{20 \times 6 \times 30} = 75,972 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \leq 80 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (14)$$

$$\tau = \frac{2 \times M_{kh}}{D_h \times b \times l_a} \leq \tau_D \rightarrow \frac{2 \times 68\,375}{20 \times 6 \times 30} = 37,986 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \leq 60 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (15)$$

7.3.3. Dolní řetězka

Tato součást je přišroubována k hranolu, který je přivařen na válečkové trati ve spodní části, jak můžeme vidět na obrázku (Obr. 42).

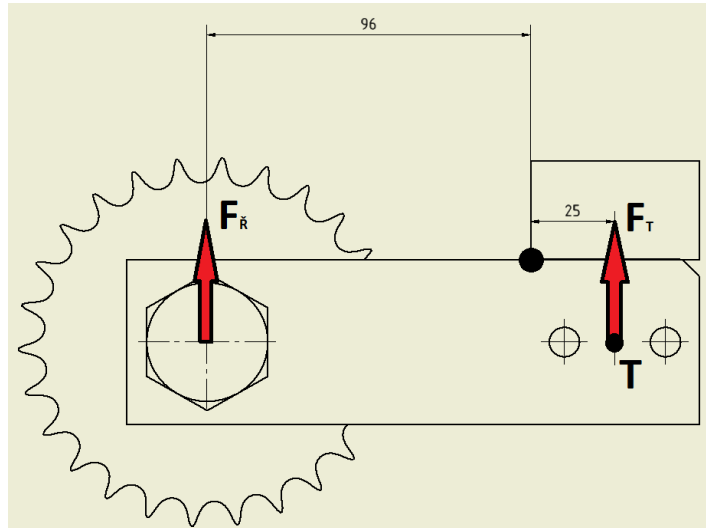


Obr. 42.: Detail uchycení dolní řetězky

Z obrázku (Obr. 42) je vidět, že k hranolu, který je přivařen k válečkové trati, jsou dvěma šrouby přišroubovány dva plechy, každý z jedné strany. Řetězka má vlisované ložisko, které je z obou stran osazeno podložkou, tak aby se mohlo otáčet poté, co se plechy stáhnou šroubovým spojením velikosti M24.

7.3.3.1. Kontrolní výpočet upevňovacích šroubů dolní řetězky

Pro přišroubování dvou plechů jsem použil dva šrouby se šestihrannou hlavou a závitem k hlavě o velikosti M12 x 40 ISO 4017 – 8.8. Níže je uveden obrázek (Obr. 43), kde jsou naznačeny síly, které na šrouby působí. [24]



Obr. 43.: Schéma sil dolní řetězky

Šroubový spoj je kontrolován jako třecí spoj. Známe sílu F_R , která působí v ose řetězky a ramena od bodu otáčení při případném smyku, tento bod je černě zvýrazněn. Těžiště spoje je označeno písmenem T , tam působí třecí síla F_T . Z momentové rovnováhy jsem schopný tuto sílu dopočítat (16). V tabulce (Tab. 12) jsou uvedeny známé hodnoty.

Tab. 12.: Znamé hodnoty pro výpočet šroubu na stříh [25]

F_R [N]	r [mm]	r_1 [mm]	Počet třecích ploch n	S_3 [mm ²]	Dovolené napětí [N.mm ⁻²]	Součinitel tření f
625	96	25	2	76,25	640	0,15

$$M_R = M_T \rightarrow F_R \times r = F_T \times r_1 \rightarrow F_T = \frac{r}{r_1} \times F_R = \frac{96}{25} \times 625 = 2400 \text{ N} \quad (16)$$

Z důvodu dvou třecích ploch je třecí síla $F_T = \frac{2400}{2} = 1200 \text{ N}$

Poté, co znám třecí sílu F_T , mohu dopočítat sílu F_S , což je potřebná síla působící v ose šroubu, při třecí síle F_T . Tuto sílu vypočítám ze vztahu (17).

$$F_T = f \times F_S \rightarrow F_S = \frac{F_T}{f} = \frac{1200}{0,15} = 8000 \text{ N} - \text{pro dva šrouby} \rightarrow F_S = \frac{8000}{2} = 4000 \text{ N} \quad (17)$$

Poté, co znám sílu F_{ξ} , jsem schopen dopočítat napětí v šroubu σ_{ξ} , jak je uvedeno v rovnici (18).

$$\sigma_{\xi} = \frac{F_{\xi}}{S_3} = \frac{4\,000}{76,25} = 52,5 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (18)$$

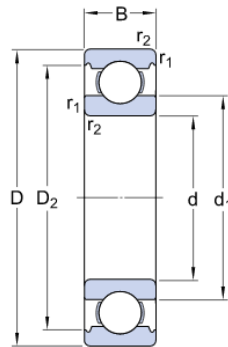
Bezpečnost šroubu k jsem stanovil podílem dovoleného a vypočteného napětí šroubu, dle rovnice (19).

$$k = \frac{\sigma_{D\xi}}{\sigma_{\xi}} = \frac{640}{52,5} = 12,2 \quad (19)$$

Dovolené napětí σ_D jsem určil pouze jako přibližnou hodnotu, protože není vybrán konkrétní šroub, u kterého může být tato hodnota rozdílná. Pro můj případ, abych dostal představu, v jaké bezpečnosti se pohybuji, je tento výpočet dostatečný.

7.3.3.2. Kontrolní výpočet ložiska

Ložisko je od firmy SKF. Jedná se o jednořadé kuličkové ložisko s označením 6005. Níže je schéma (Obr. 44) a tabulka (Tab. 13) se základními parametry. Další rozměry a parametry jsou uvedeny na stránkách výrobce [26].



Obr. 44.: Schéma kuličkového ložiska [26]

Tab. 13.: Základní parametry kuličkového ložiska [26]

d [mm]	D [mm]	B [mm]	Základní dynamická únosnost C [kN]	Základní statická únosnost C ₀ [kN]	Referenční otáčky [min ⁻¹]	Mezní otáčky [min ⁻¹]	Hmotnost [kg]
25	47	12	11,9	6,55	32 000	20 000	0,078

Pro kontrolu kuličkového ložiska jsem zvolil výpočet základní trvanlivosti L_{10} , dle ISO 281:2007. Rovnice je popsána níže (20). Vztah jsem použil ze stránek SKF [26]. Ve vzorci je základní dynamická únosnost C , dále ekvivalentní dynamické zatížení ložiska P . Exponent rovnice trvanlivosti p jsem zvolil 3 pro ložiska s bodovým stykem.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p = \left(\frac{11,9}{0,625}\right)^3 = 6\,902,4 \times 10^6 \text{ otáček} \quad (20)$$

Ekvivalentní dynamické zatížení jsem spočítal v rovnici (21) níže. Uvažuji nulovou axiální sílu.

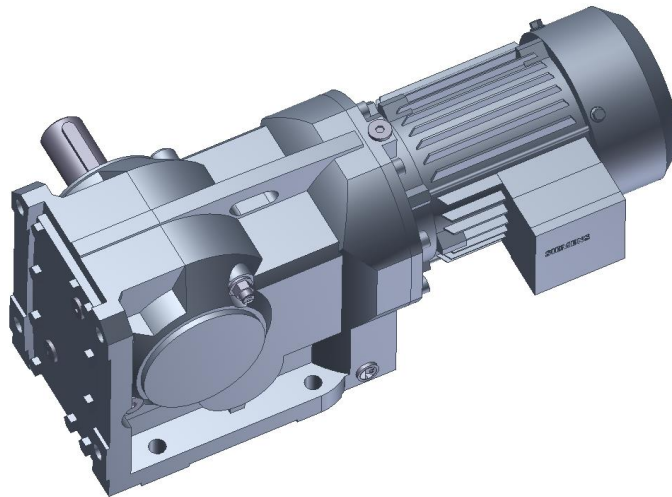
$$F_a = 0 \rightarrow X = 1, \quad P = X \times F_r = 1 \times 0,625 = 0,625 \text{ kN} \quad (21)$$

Uvažuji konstantní otáčky, potom mohu základní trvanlivost přepočítat na provozní hodiny L_{10h} podle vztahu (22).

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \times n} \times L_{10} = \frac{10^6}{60 \times 12,3} \times 6\,902,4 = 9\,335\,405 \text{ hod} \quad (22)$$

7.3.4. Motor

Motor je vybrán od firmy SIEMENS. Součástí motoru je i kuželová převodovka, která umožňuje dosáhnout požadovaných otáček na výstupu. Model motoru je vidět na obrázku (Obr. 45).



Obr. 45.: Model motoru SIEMENS [27]

Parametry motoru jsou uvedeny v tabulce (Tab. 14). Podrobnější informace o vybraném motoru jsou na adrese [27]

Tab. 14.: Parametry motoru [27]

Výkon motoru [kW]	Převodový poměr	Servisní faktor	Počet pólů	Nominální moment [Nm]	Otáčky motoru [min ⁻¹]	Výstupní otáčky [min ⁻¹]	Výstupní moment [Nm]	Hmotnost bez oleje [kg]
0,55	110,55	1,42	4	600	1370	12,4	423,84	33,8

7.3.4.1. Návrh motoru

Při návrhu motoru jsem vycházel z toho, že znám hmotnost břemene m , které chci zdvihnout. Dále znám dráhu zdvihu L , kterou musí břemeno urazit a čas zdvihu t , který jsem zvolil. Z těchto údajů jsem schopný dopočítat rychlost zdvihu v podle vzorce níže (23).

$$v = \frac{L}{t} = \frac{0,6}{8,5} = 0,071 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (23)$$

Další vypočtenou veličinou jsou otáčky při této rychlosti. K tomuto výpočtu je nutné znát poloměr řetězky $r_{řetězka}$. Vztah je popsán následující rovnicí (24).

$$n_1 = \frac{30 \times v}{\pi \times r} = \frac{30 \times 0,071}{\pi \times 0,0547} = 12,395 \text{ min}^{-1} \quad (24)$$

Poté, co znám hmotnost břemene m , ze které lze vypočítat sílu břemene $F_{bř}$ a rychlost zdvihu v , mohu dopočítat výkon potřebný pro zdvih P_{zdvih} , dle rovnice (25).

$$F_{bř} = m \times g = 250 \times 10 = 2500 \text{ N}$$

$$P_{zdvih} = F_{bř} \times v = 2500 \times 0,071 = 177,5 \text{ W} \quad (25)$$

Nyní znám teoretický výkon, jaký potřebuji vyvinout na zvednutí břemene. Vzhledem k tomu, že v pohonném ústrojí dochází k určitým ztrátám, musím uvažovat účinnosti jednotlivých součástí. To znamená účinnost řetězu $\eta_{řetěz}$, ložisek $\eta_{ložisko}$, kuželové převodovky $\eta_{převodovka}$ mezi hřídeli a kuželové převodovky u motoru $\eta_{převod motor}$. Pro celkovou účinnost je hodnota vypočtená v rovnici (26).

Čtvrtá mocnina u účinnosti řetězu znamená, že v ústrojí jsou čtyři řetězy a proto i účinnost musí být na čtvrtou mocninu. Ten samý případ je i u kuželové převodovky mezi hřídeli, protože jsem použil dvě kuželové převodovky, je účinnost na druhou mocninu.

$$\eta_c = \eta_{řetěz}^4 \times \eta_{převodovka}^2 \times \eta_{ložisko} \times \eta_{převod motor} = 0,9^4 \times 0,88^2 \times 0,98 \times 0,7 = 0,349 \quad (26)$$

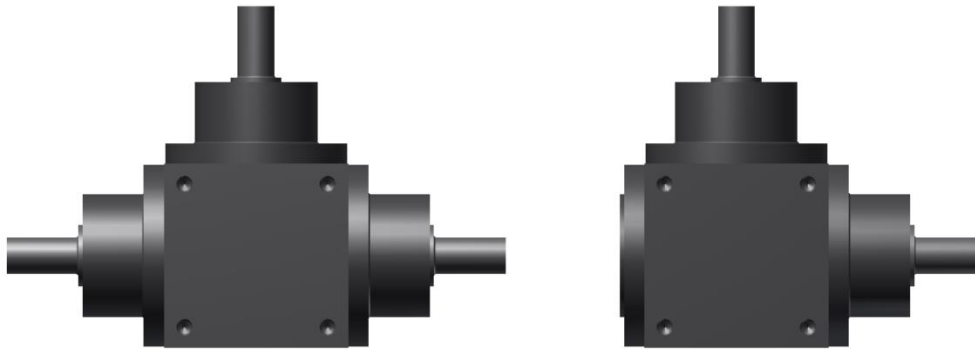
Nyní mi zbývá poslední krok a to je výpočet výkonu motoru P_M , který potřebuji s ohledem na celkovou účinnost. Výsledný výkon vyplývá z rovnice (27).

$$P_M = \frac{P_{zdvih}}{\eta_c} = \frac{177,5}{0,349} = 508,6 \text{ W} = 0,5086 \text{ kW} \rightarrow \text{motor } \mathbf{0,55 \text{ kW}} \quad (27)$$

7.3.5. Kuželové převodovky

Přenos výkonu z motoru na řetězová kola zajišťují kuželové převodovky. Při pohledu na obrázek (Obr. 36) je zřejmé, že jsou nezbytné, protože potřebují přenést výkon do pravého úhlu, tak aby pohonné ústrojí kopírovalo hlavní rám.

Kuželové převodovky jsou vybrány od firmy RAVEO, konkrétní typ V120. Podrobnější informace jsou na adrese výrobce [28].



Obr. 46.: Dva typy kuželových převodovek [28]

V pohonném ústrojí jsou použity dva typy těchto převodovek. Na obrázku (Obr. 46) můžeme vidět v levé části první typ, který má tři hřídele a tato převodovka je umístěna u motoru a rozvádí výkon do jedné strany rámu, která je přímo v ose hřídele od motoru a druhou hřídelí přenáší výkon na druhou stranu rámu. Na druhé straně je druhý typ, který je zobrazen v pravé části obrázku. Tato převodovka přenáší výkon na řetězky, které jsou umístěny na opačné straně než je motor.

V tabulce (Tab. 15) jsou uvedeny základní parametry kuželové převodovky.

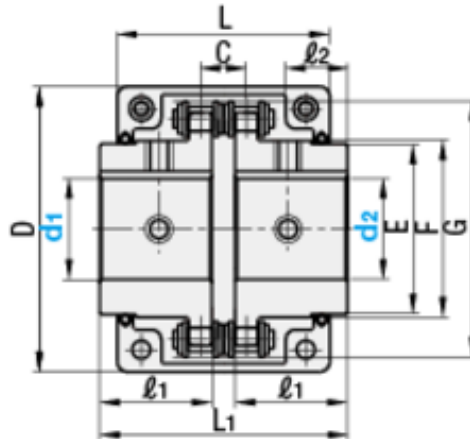
Tab. 15.: Parametry kuželové převodovky [28]

Typ	Velikost domku [mm]	Převodový poměr	Přípustný jmenovitý výstupní krouticí moment [N.m]	Max. přípustný výstupní krouticí moment [N.m]	Přípustný jmenovitý vstupní výkon [kW]	Průměr hřídele [mm]
V	120	1	130	220	0,72	25

Z vypočtených hodnot při návrhu motoru vidíme, že převodovka vyhovuje, jak z hlediska výkonu, tak krouticího momentu, který dokáže přenést. Jen pro připomenutí, přenášený moment je 68,375 N.m.

7.3.6. Řetězové spojky

Řetězovými spojkami jsou osazeny sestavy horní řetězky. Dále jsou použity u kuželových převodovek. Tento typ spojek jsem zvolil kvůli tomu, že jsou schopny vyrovnávat určité nesouososti mezi hřídelemi a to usnadňuje montáž pohonného ústrojí. Na obrázku (Obr. 47) je schéma s vyznačenými rozměry. Parametry spojky jsou uvedeny v tabulce (Tab. 16).



Obr. 47.: Schéma řetězové spojky [29]

Řetězové spojky jsem vybral od firmy MISUMI, která dělá několik různých provedení. Pro můj případ budu potřebovat dva různé rozměry. Menší spojkou bude osazena sestava horní řetězky, kde dojde k napojení na kuželové převodovky a duté hřídele, které přenášejí výkon na zadní sestavy horní řetězky. Těchto spojek budu potřebovat osm.

Tab. 16.: Rozměry řetězové spojky [29]

d_1 [mm]	d_2 [mm]	D [mm]	E [mm]	F [mm]	G [mm]	L_1 [mm]	l_1 [mm]	l_2 [mm]	C [mm]	max. otáčky [min^{-1}]	Přípustný moment [N.m]	Hmotnost [kg]
20	25	84	43	45	69	79,4	36	17	14,4	200	296	1,2

Větší typ je potřeba pro propojení motoru s pohonným ústrojím. V tabulce (Tab. 17) níže jsou opět uvedeny její rozměry. Tento rozměr spojky je potřeba jeden.

Tab. 17.: Rozměry řetězové spojky u motoru [29]

d_1 [mm]	d_2 [mm]	D [mm]	E [mm]	F [mm]	G [mm]	L_1 [mm]	l_1 [mm]	l_2 [mm]	C [mm]	max. otáčky [min^{-1}]	Přípustný moment [N.m]	Hmotnost [kg]
25	35	101	53	56	86	99,7	45	24	18,1	150	563	2,3

Z parametrů spojek uvedených v tabulkách (Tab. 16, Tab. 17) je patrné, že přípustné momenty spojek jsou mnohonásobně vyšší než moment, který budou spojky přenášet, a to znamená, že lze tyto řetězové spojky použít. Přenášený moment je 68,375 N.m.

7.3.7. Spojovací hřídele

Spojovací hřídele jsou umístěny mezi sestavami horních řetězek, jejich délka je 648 mm. Další je vložena mezi kuželové převodovky a ta je dlouhá 730 mm. Tyto hřídele přenášejí výkon od motoru na obě strany rámu na jednotlivé řetězky. Hřídele jsou vidět na obrázku (Obr. 48).



Obr. 48.: Spojovací hřídel

Na obrázku (Obr. 48) vidíme model hřídele, který je dutý, a na koncích jsou zavařeny plné hřídele s drážkami na pera, kterými jsou spojeny řetězové spojky s hřídelemi. Návrh a kontrola těchto per jsou uvedeny výše v rovnicích (10 – 15).

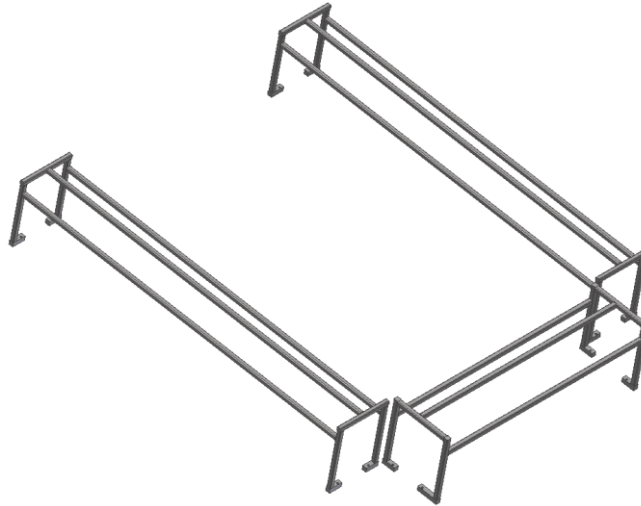
Parametry hřídelí jsou uvedeny v tabulce (Tab. 18).

Tab. 18.: Rozměry spojovacího hřídele [30]

Materiál	Vnější průměr [mm]	Tloušťka stěny [mm]	Hmotnost 1 m [kg]
11 353	31,8	2,9	2,07

7.3.8. Ochranný rám

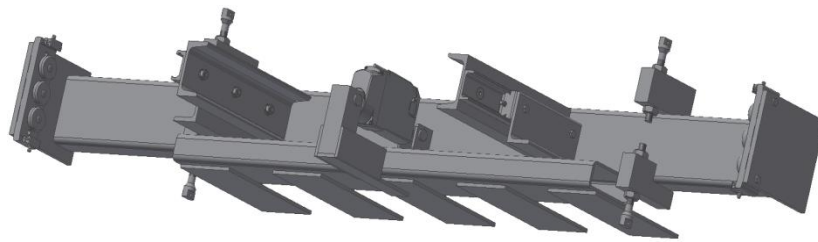
Tento rám je svařen ze čtvercových jeklů. Skládá se ze tří částí a každá z nich je přišroubována nezávisle na sobě k hlavnímu rámu. Hlavní funkcí tohoto rámu je ochrana proti případnému pádu krabice na pohonné ústrojí. Části rámu jsou zobrazeny na obrázku (Obr. 49).



Obr. 49.: Ochranný rám

7.4. Nosič

Nosič je prvek, který je umístěn na řetězech a zastává funkci zvedání krabic. Nosiče jsou na manipulátoru dva, tak aby krabice mohly být zvedány z obou stran. Tento prvek se skládá z několika základních částí, kterými jsou rám, hřeben, lineární vedení, elektricky vysouvaný píst, dále součást k uchycení řetězu a jeho napínání. Model můžeme vidět na obrázku (Obr. 50) níže. Elektricky ovládaný píst má kabel přiveden pomocí prodlužovacího spirálového kabelu, který je uchycen v horní části hlavního rámu.

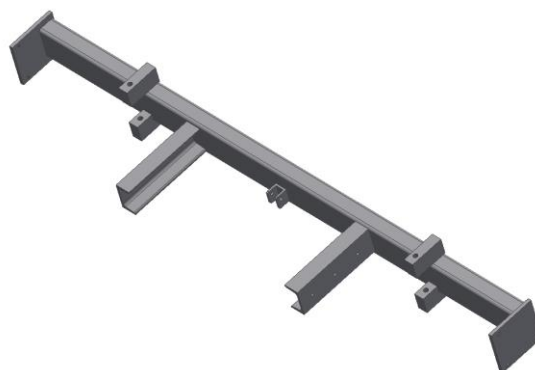


Obr. 50.: Nosič

Nosič se pohybuje primárně ve svislém směru a pro zamezení pohybu mimo svislou dráhu jsou použita lineární vedení na bocích nosičů.

7.4.1. Rám nosiče

Hlavní kostru nosiče tvoří trubka obdélníkového profilu, která má na koncích přivařené příruby. Dále jsou symetricky od středu rozmístěny dva U – profily, na kterých je připevněno lineární vedení. Uprostřed rámu je navařen držák pro elektricky ovládaný píst. Dalším prvkem jsou navařené hranoly pro uchycení řetězů. Podrobnější představu si lze udělat na základě obrázku (Obr. 51).



Obr. 51.: Rám nosiče

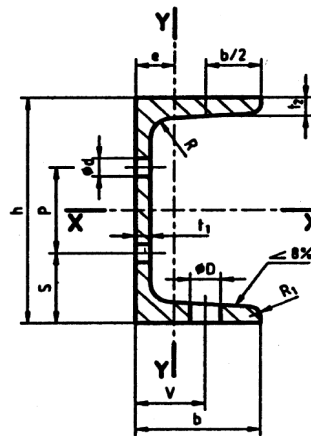
Podrobnější informace o použitých konstrukčních dílech jsou v tabulkách (Tab. 19).

Tab. 19.: Rozměry trubky obdélníkového průřezu [17]

Jmenovité rozměry obdélníka [mm]		Délka [mm]	Materiál	Hmotnost 1 m [kg]
a x b	t			
100 x 50	4	1550	11 353	8,59

Pro tyč U – profilu je zde umístěn obrázek (Obr. 52), aby byly vysvětleny všechny uvedené rozměry v tabulce (

Tab. 20).



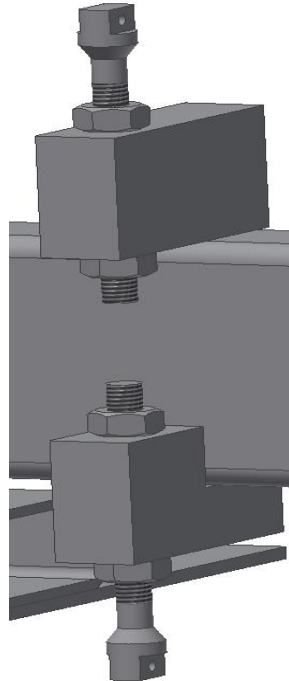
Obr. 52.: Schéma U – profilu s rozměry

Tab. 20.: Rozměry tyče U – profilu [14]

Jmenovité rozměry [mm]										Hmotnost délky 1 m [kg]	Materiál	Délka [mm]
h	b	t ₁	t ₂	R ₁	V	d	S	P	D			
80	45	6	8	4	25	13	40	-	13	8,6	11 373	250

7.4.2. Uchycení a napínání řetězu

Řetězy nejsou uzavřené a jsou napojené na nosiče pomocí čepu z horní a dolní části napínáku, ten má závit o velikosti M12 a v hranolu je pouze otvor bez závitu. Na napínáku je matice M12 nad hranolem a pod ním, tak aby se napínák mohl dotáhnout v požadované pozici. Pro lepší názornost je níže umístěn obrázek (Obr. 53).



Obr. 53.: Uchycení a napínání řetězu

7.4.2.1. Kontrolní výpočet tlaku v závitech

Závit je zatížen osovou silou od řetězu, která je $F_{\check{R}} = 625$ N. Dovolенý tlak v závitech pro ocelovou matici třídy 8 je roven 150 MPa dle tabulky, viz. [25]. V rovnicích (28 – 32) je popsán kontrolní výpočet tlaku v závitech.

Tlak v závitech:

$$p_z = \frac{F_{\check{R}}}{S_p} \leq p_{zd} \quad (28)$$

kde p_{zd} je výše uvedený dovolený tlak, S_p je celková kontaktní plocha (výpočet tedy počítá s tím, že všechny závity jsou využity stejně)

$$S_p = \pi \times d_2 \times H_1 \times z = \pi \times 10,863 \times 0,947 \times 6,86 = 221,6 \text{ mm}^2 \quad (29)$$

kde H_1 je kontaktní výška závitu a z je počet závitů v záběru:

$$H_1 = \frac{D - D_1}{2} = \frac{12 - 10,106}{2} = 0,947 \text{ mm} \quad (30)$$

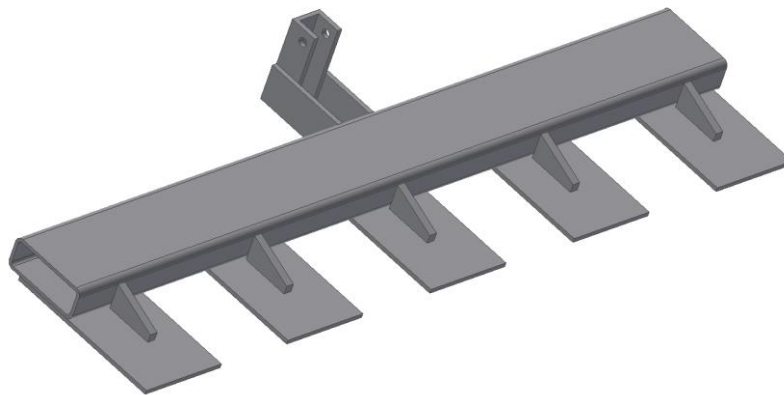
$$z = \frac{m_2}{P} = \frac{12}{1,75} = 6,86 \quad (31)$$

$$p_z = \frac{625}{221,6} \leq p_{zD} \rightarrow 2,82 \ll 150 \text{ MPa} \quad (32)$$

Při srovnání vypočteného tlaku v závitech a dovoleného, rovnice (32), vyplývá, že vypočtený tlak p_z je mnohonásobně menší než tlak dovolený p_{zD} a proto lze konstatovat, že závity se nepoškodí.

7.4.3. Hřeben

Další částí nosiče je hřeben. Na této součásti jsou položeny krabice, které jsou zvedány. Hřeben je pohyblivá část nosiče ve vodorovném směru, je složen z trubky obdélníkového profilu, na které jsou navařeny pásy plechu s takovou roztečí, aby se do mezery vešel váleček z válečkové trati a hřeben mohl být pod úrovní těchto válečků. Tím pádem krabicím nebrání při jejich posouvání po trati. Model hřebene je na obrázku (Obr. 54). Součástí hřebene je přivařený úchyt, ke kterému je připojen elektricky ovládaný píst.



Obr. 54.: Model hřebenu

Pro zvýšení tuhosti navařených pásů, jsou vždy uprostřed umístěna žebra. Parametry použité obdélníkové trubky jsou uvedeny v tabulce (Tab. 21).

Tab. 21.: Parametry trubky obdélníkového průřezu [17]

Jmenovité rozměry obdélníku [mm]		Délka [mm]	Materiál	Hmotnost 1 m [kg]
a x b	t			
100 x 40	4	950	11 353	7,97

7.4.4. Elektrický výsuvný píst

Pohyb hřebene ve vodorovném směru je zajištěn elektrickým výsuvným pístem LINAK LA23. Tento malý silný pohon je určen pro použití v tlaku, je vhodný pro různé aplikace, kde je omezený prostor. Hlavními výhodami jsou kompaktní design, velká zdvihová síla a vyměnitelné kabely. Zobrazení pístu je na obrázku (Obr. 55). Další podrobné informace o produktu jsou v [31].



Obr. 55.: LINAK LA23 [31]

V tabulce (Tab. 22) jsou zmíněny hlavní parametry pístu. Na manipulátoru jsou použity dva tyto písty, protože jsou dva nosiče s hřebeny, kterými je potřeba pohybovat ve vodorovném směru.

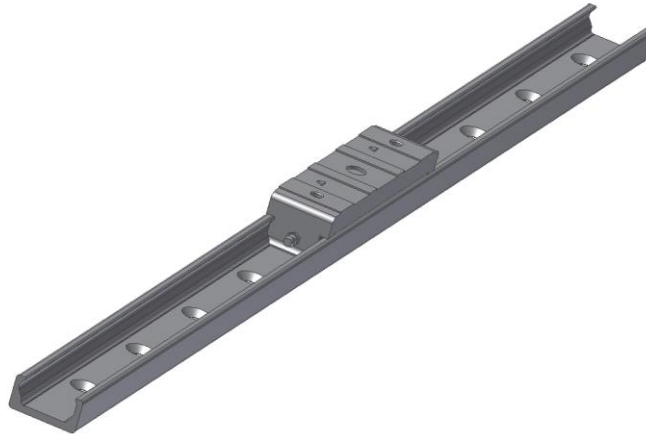
Tab. 22.: Parametry LINAK LA23 [31]

Zatížení v tlaku [N]	Zdvih [mm]	Zástavbová délka [mm]	Koeficient bezpečnosti	Rychlost [mm/s]
1200	80	160	2,5	12

V tabulce (Tab. 22) je zmíněno zatížení v tlaku. Tento údaj znamená, že při zatížení pístu ve svislém směru, je schopný zdvihnout břemeno o hmotnosti přibližně 120 kg. V mém případě je píst umístěn ve vodorovném směru a moje břemeno váží maximálně 152 kg. Důležité je rozložení hmotnosti mezi dva nosiče, tudíž poté je zatížení na jeden píst poloviční, tedy 76 kg. Při úvaze, že píst se pohybuje ve vodorovném směru, kde je zatížení mnohem menší, vyplývá, že je píst lze použít pro tuto aplikaci.

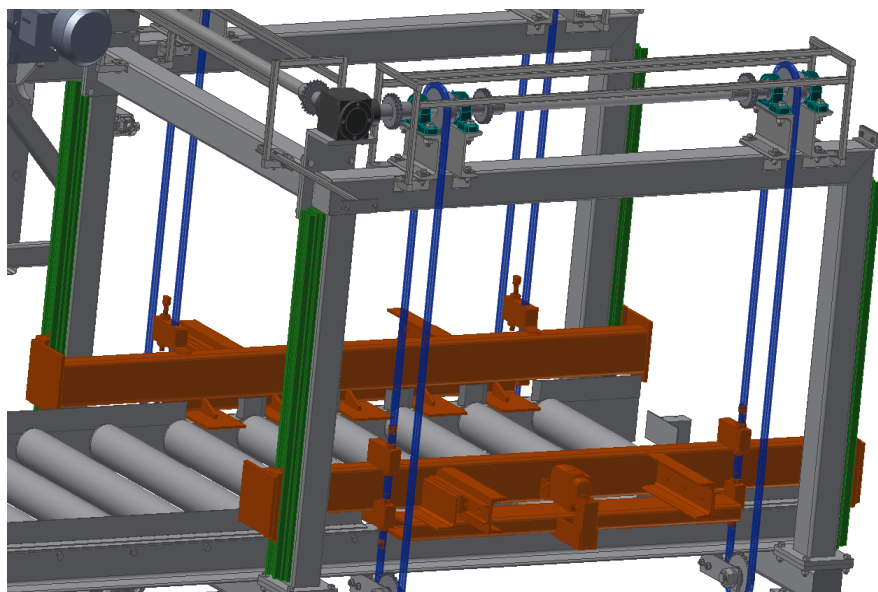
7.4.5. Lineární vedení

Lineární vedení jsem vybral od firmy ROLLON, konkrétně typ Compact Rail. Je to lineární kladičkové vedení s vysoce přesnými radiálními ložisky. Toto vedení je cenově dostupné a snadno se instaluje na všechny typy povrchů, včetně neobrobených ploch. Na obrázku (Obr. 56) je vidět konkrétní použitý typ. [32]



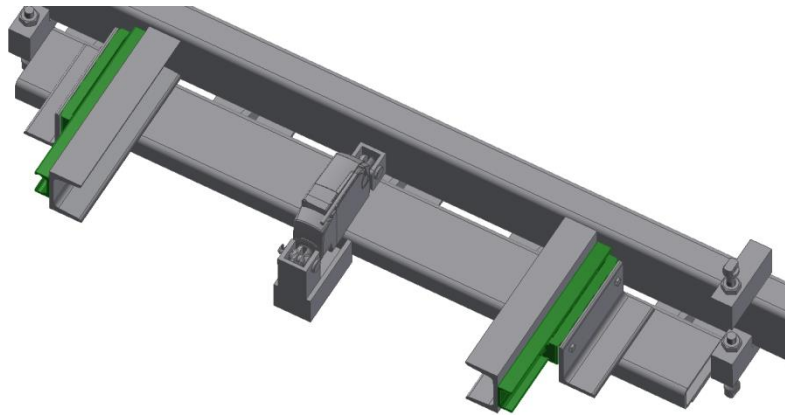
Obr. 56.: Lineární vedení [32]

Lineární vedení jsem použil ve dvou případech. Prvním je vedení pro celé nosiče, kde dráha (zelená barva) je umístěna na hlavním rámu manipulátoru (Obr. 57), tak aby se nosiče nemohly vychýlit z požadované dráhy pohybu. A jak z obrázku (Obr. 57) vyplývá, tak jezdcí jsou umístěny na přírubách nosičů.



Obr. 57.: Lineární vedení na hlavním rámu

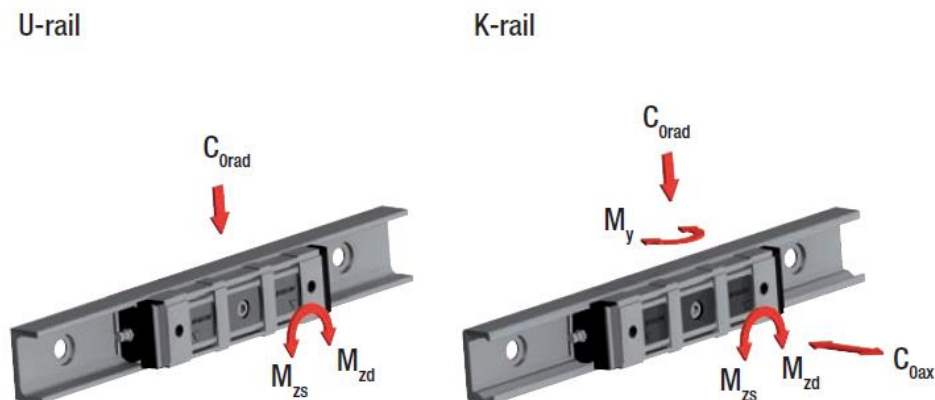
Druhé vedení je použité na nosiči pro pohyb hřebenu. Na obrázku (Obr. 58) je vyznačeno zelenou barvou.



Obr. 58.: Lineární vedení na nosiči

Tento typ lineárního vedení jsem zvolil, protože je schopné vyrovnávat případnou nerovnoběžnost drah a tím pádem nedojde ke vzpříčení a následnému poškození celé součásti. Možnost vyrovnávání těchto nepřesností je umožněna díky tvaru drah. Na jedné straně se umísťuje tzv. K – profil, který povoluje pouze pohyb v jednom směru a na druhé straně je U – profil, který má možnost pohybu ve dvou směrech.

Pro volbu správné velikosti jsou na obrázku (Obr. 59) zobrazeny jednotlivé zatížení, které ovlivňují volbu.



Obr. 59.: Zatížení lineárního vedení [32]

V případě mého manipulátoru je aktuální zatížení v podobě momentu M_{zd} respektive M_{zs} , který ohýbá jezdec, tak jak je znázorněno na obrázku (Obr. 59).

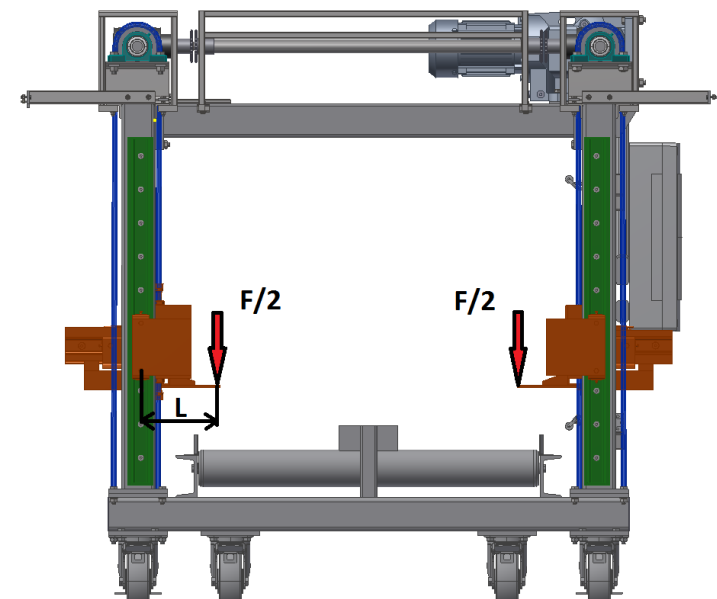
V tabulce (Tab. 23) jsou uvedeny parametry zvolené velikosti lineárního vedení Compact rails. Pro oba případy využití na manipulátoru jsem volil stejnou velikost.

Tab. 23.: Parametry lineárního vedení [32]

Typ	Počet kol	C [N]	C0rad [N]	C0ax [N]	Mx [N.m]	My [N.m]	Mzd [N.m]	Mzs [N.m]	Hmotnost [kg]
NUE43	3	12280	5 500	0	0	0	104,5	104,5	0,385
NKE43	3	12280	5 100	1 320	0	50,4	96,9	96,9	0,385

7.4.5.1. Návrhový a kontrolní výpočet lineárního vedení

První výpočet se týká vedení umístěného na hlavním rámu. Rozhodujícím faktorem při návrhu je uvažování pouze síly ve svislém směru od hmotnosti krabic na nosičích a to z důvodu, že ostatní síly jsou oproti této zanedbatelné. Schéma zatížení je zobrazeno na obrázku (Obr. 60).



Obr. 60.: Schéma zatížení pro lineární vedení

$$\frac{F}{2} = 76 \text{ kg}, \quad L = 0,17 \text{ m}$$

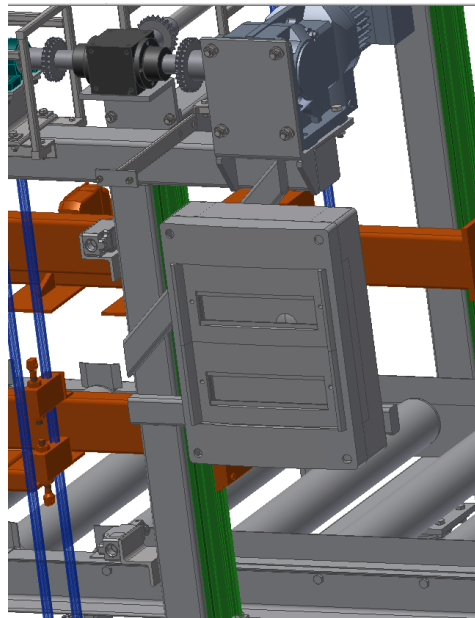
$$M_{zs} = \frac{F}{2} \times L = 76 \times 0,17 = 127 \text{ N.m} \quad (33)$$

$$2 \text{ jezdců} \rightarrow M_{zs} = \frac{127}{2} = 63,5 \text{ N.m} \rightarrow 63,5 < 96,9 \text{ N.m}$$

Poté, co znám zatížení na jeden nosič, vypočítám dle rovnice (33) ohybový moment M_{zs} , který následně podělím dvěma, protože na každé straně je jeden jezdec. Při srovnání hodnoty momentu z katalogu a vypočtené vidíme, že vypočtená je nižší a proto tento návrh vyhovuje. Bližší informace jsou uvedeny na stránce výrobce [32].

7.4.6. Rozvaděč a koncový spínač

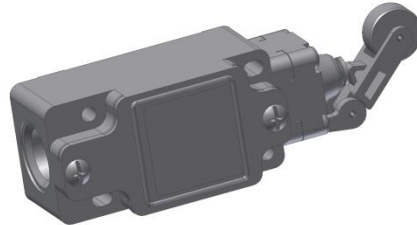
Vzhledem k tomu, že manipulátor je poháněn elektromotorem, je nezbytný elektrický rozvaděč. Ten je umístěn z boční strany manipulátoru pod motorem, tak aby co nejméně vyčníval a zároveň, aby nebránil manipulaci s krabicemi. Umístění elektrického rozvaděče je na obrázku (Obr. 61).



Obr. 61.: Pozice rozvaděče

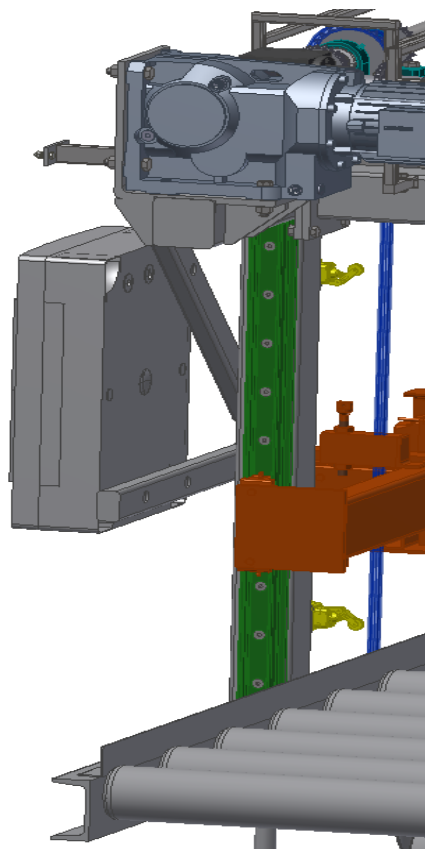
7.4.7. Koncový spínač

Koncové spínače jsou použity pro určení horní a dolní polohy nosičů. Tyto spínače jsem vybral od firmy RS Components. Konkrétní typ je vidět na obrázku (Obr. 62). Typ s pákou je zvolen, kvůli vůlím, které jsou během chodu nosičů ve svislém směru, a tento spínač se s nimi lépe vyrovná. [33]



Obr. 62.: Model koncového spínače [33]

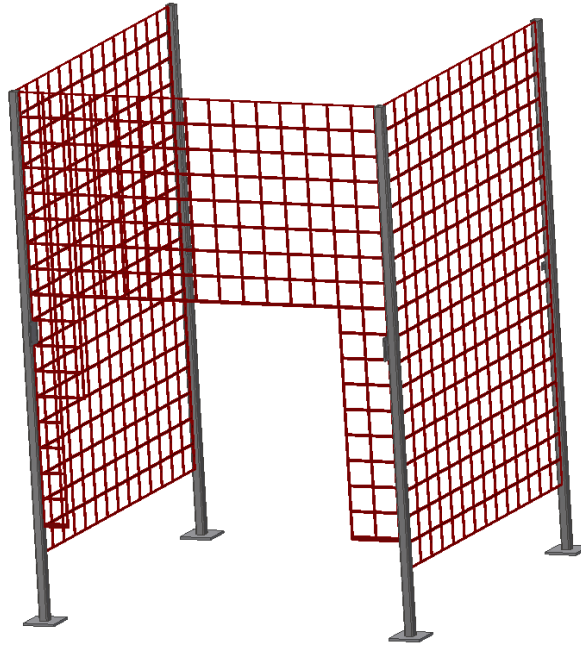
Na obrázku (Obr. 63) vidíme umístění koncových spínačů, které jsou označeny žlutou barvou. Spínače jsou umístěny na straně rozvaděče pro jednodušší elektroinstalaci.



Obr. 63.: Umístění koncových spínačů (žlutá barva)

7.5. Ochranné oplocení

K hlavnímu rámu je přišroubované ochranné oplocení, které plní dvě základní funkce. První funkce je ochrana obsluhy před případným pádem krabice a druhou funkcí je zamezení kontaktu obsluhy s pohyblivými, či rotujícími částmi manipulátoru. Na obrázku (Obr. 64) můžeme vidět model oplocení.

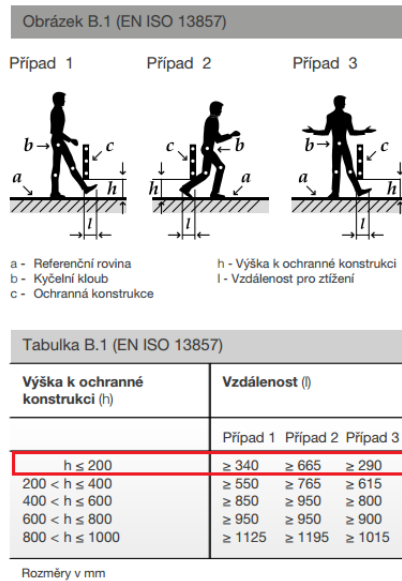


Obr. 64.: Model ochranného oplocení

Ochranné oplocení jsem vybral od firmy HABERKORN, konkrétní typ X – Guard. Model na obrázku (Obr. 64) výše je určen pouze pro představu, jaký bude mít oplocení tvar. Panely od firmy Haberkorn jsou navrženy tak, aby je bylo možné snadno vyměnit v případě porušení, či potřebě demontáže ochranného oplocení, kvůli opravě na manipulátoru. Další informace o vlastnostech ochranného oplocení jsou v odkazu [34].

Další nezbytnou součástí při volbě velikosti oplocení jsou předpisy a normy. Od roku 2009 jsou změněny požadavky na pevná oplocení, které vyplývají ze směrnice pro strojní zařízení 2006/42/ES. V katalogu firmy Haberkorn jsou uvedeny základní normy, jako EN ISO 14120 kapitola 5.2.2, která popisuje bezpečné vzdálenosti, EN ISO 13857 popisující vzdálenosti stěžující volný přístup, EN ISO 13857 kapitola 4.2.4.1, která informuje o dosahu skrz pravidelné otvory – Osoby ve věku 14 let a starší. Toto jsou ty nejzákladnější normy a jejich kapitoly, podle kterých lze navrhnout ochranné oplocení. Další jsou citovány na stránkách [35, str. 32 - 33].

S ohledem na tyto normy jsem zvolil rozměry a bezpečnostní vzdálenosti ochranného oplocení manipulátoru zvýrazněné na obrázcích (Obr. 65, Obr. 66).



Obr. 65.: Vzdálenosti omezující přístup dolními končetinami [35, str. 32]

Z obrázku (Obr. 65) vyplývá, že začátek oplocení od země je 200 mm a z tohoto rozměru jsou odvozené další minimální vzdálenosti uvedené v pravé části obrázku (Obr. 65)

**DOSAŽ SKRZ PRAVIDELNÉ OTVORY,
ROZMĚRY PRO HORNÍ KONČETINY**

Tabulka ukazuje příklady základních pohybů osob 14ti letých a starších.
Rozměry jsou uvedeny v mm.

Část těla	Znárodnění	Otvor	Bezpečná vzdálenost		
			Štěrbiná	Čtverec	Kruh
Špička prstu		$e \leq 4$	≥ 2	≥ 2	≥ 2
		$4 < e \leq 6$	≥ 10	≥ 5	≥ 5
Celý prst až ke kořenu		$6 < e \leq 8$	≥ 20	≥ 15	≥ 5
		$8 < e \leq 10$	≥ 80	≥ 25	≥ 20
Ruka		$10 < e \leq 12$	≥ 100	≥ 80	≥ 80
		$12 < e \leq 20$	≥ 120	≥ 120	≥ 120
		$20 < e \leq 30$	$\geq 850^{1)}$	≥ 120	≥ 120
Paže až po ramenní kloub		$30 < e \leq 40$	≥ 850	≥ 200	≥ 120
		$40 < e \leq 120$	≥ 850	≥ 850	≥ 850

Zesílené rozhraní uvnitř tabulky znázorňuje, která část těla je omezena velikostí otvoru.
Pro otvory > 120 mm musí být dodrženy bezpečnostní vzdálenosti a použita další přídatná bezpečnostní opatření.
¹⁾ Jestliže je délka štěrbinového otvoru ≤ 65 mm, palec omezuje vniknutí a bezpečná vzdálenost může být snížena na 200 mm.

Obr. 66.: Rozměry omezující dosah skrz pravidelné otvory [35, str. 33]

Na obrázku (Obr. 66) je zvýrazněn použitý rozměr otvorů v panelech oplocení. Zvolil jsem velikost otvoru pro celý prst, z čeho vyplývají bezpečné vzdálenosti. Pro ujasnění je níže umístěna tabulka (Tab. 24) s konečnými rozměry, které jsou zakótovány na obrázcích výše (Obr. 65, Obr. 66).

Tab. 24.: Zvolené rozměry ochranné mříže

		l [mm]			Bezpečná vzdálenost		
Výška oplocení h_1 [mm]	h [mm]	Případ 1	Případ 2	Případ 3	Otvor e [mm]	Štěrbina [mm]	Čtverec [mm]
2200	100	340	665	290	10	80	30

8. Závěr

Cílem mé diplomové práce byl návrh pomocného mobilního manipulátoru, který obsluhuje stroje usnadněním rovnání krabic na europaletu. Tento návrh měl být zpracován po konstrukční stránce a zhotoven 3D model pomocí libovolného softwaru.

V rešeršní části jsem se zabýval průzkumem trhu, abych si udělal představu, jaké jsou dostupné technologie, které by se pro tento případ mohly použít. V této části jsem došel k poznatku, že nakupovaná technologie je při stávající kapacitě příliš drahá a tudíž pro firmu nevýhodná. Z toho důvodu firma požadovala vypracovat vlastní konstrukci a princip manipulátoru.

V další fázi jsem řešil uspořádání pracoviště a jeho optimalizaci. Nejprve jsem zanalyzoval stávající stav a poté navrhl možné přeuspořádání prázdných krabic a prázdných europalet. Další změnou je poloha právě plněné europalety, tu jsem otočil o 90 stupňů oproti původní poloze, což má za následek zlepšení ergonomie obsluhy stroje při rovnání výrobků do krabice.

V praktické části jsem začal skicováním jednotlivých variant, ze kterých vznikla tři různá možná řešení. Po konzultaci ve firmě jsem zvolil a následně začal rozpracovávat vybranou variantu. To znamená, že manipulátor je složen z pěti základních částí, kterými jsou válečková trať, hlavní rám, pohonné ústrojí, nosiče a ochranné oplocení. Hlavní myšlenkou byla jednoduchost navrhovaného zařízení, kterou jsem realizoval tak, že manipulátor koná pohyb pouze ve svislé ose, protože to je nejnáročnější pracovní úkon pro obsluhu stroje. Další úkony obsluhy byly zachovány. Princip manipulátoru je takový, že obsluha pouze posouvá krabice ve vodorovném směru po válečkové trati, to znamená, že je odstraněno manuální zvedání krabic. Krabice jsou zvedány čtyřmi řetězy, na kterých jsou přidělané nosiče, jež drží krabice za dno. Jako pohon řetězů pro optimální rychlost zdvihu jsem zvolil elektromotor s převodovkou do nižších otáček. Výkon mezi řetězy je přenášen pomocí hřídelí, které kopírují hlavní rám. Kolem vlastního manipulátoru jsem umístil ochranné oplocení, což plní funkci ochrany obsluhy před pádem krabice a zároveň zamezuje kontaktu obsluhy s rotujícími částmi manipulátoru. Dále jsem provedl nezbytné návrhové a kontrolní výpočty, jako například návrh elektromotoru a řetězů, kontrolu per a hřídelí.

Tuto práci lze dále rozvést o ekonomické zhodnocení, které si firma provede sama. Jednou z možností je vyhledání levnějších komponentů, či vlastní výroba v nástrojárně.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.: Původní textilní továrna [1]	3
Obr. 2.: Vilém Eckhardt a výroba plynových masek [1]	4
Obr. 3.: Kompresorová stanice a pohled na elektrárnu [2]	5
Obr. 4.: Vypěňovací forma volantu a rám formy [4, 5].....	6
Obr. 5.: Vstřikovací lis ARBURG a Vstřikovací lis ENGEL [3]	6
Obr. 6.: Cívka s vláknem a jednotlivé typy perlinek.....	7
Obr. 7.: ENGEL DUO 4550 / 600 V Chotěbořských strojárnách	8
Obr. 8.: Půdorys pracoviště	9
Obr. 9.: Narovnané cívky v krabici a narovnané krabice na europaletě	10
Obr. 10.: Foto z pracoviště při dosavadním způsobu	11
Obr. 11.: Popis cesty naložené palety od lisu ke skladovacímu místu	11
Obr. 12.: VacuPowerlift s kloubovým nástavcem a Lineární kleště pantografu [8,9].....	12
Obr. 13.: Lineární kleště pantografu [10]	13
Obr. 14.: Robot KUKA KR 180 PA [12].....	14
Obr. 15.: Paletmatik 1200 ve firmě Prakab	15
Obr. 16.: Manipulátor se svazkem kabelů	16
Obr. 17.: Postup zvedání krabic	17
Obr. 18.: Vložení palety pod krabice	18
Obr. 19.: Optimalizovaný půdorys pracoviště	19
Obr. 20.: Trasa europalety	20
Obr. 21.: Fáze 1 pracovního cyklu na manipulátoru	21
Obr. 22.: Fáze 2 pracovního cyklu na manipulátoru	22
Obr. 23.: Fáze 3 pracovního cyklu na manipulátoru	22
Obr. 24.: Umístění palety pod nosiče pomocí nízkozdvíhacího vozíku.....	23
Obr. 25.: Model manipulátoru.....	24
Obr. 26.: Model konstrukce manipulátor	24
Obr. 27.: Model kompletní válečkové trati.....	25
Obr. 28.: Váleček [13]	26
Obr. 29.: Schéma tyče průřezu U [14, str. 295]	27
Obr. 30.: Model U – profilu s navařenými hranoly	27
Obr. 31.: Otočné kolo [15]	28
Obr. 32.: Stabilizační podpěra [16]	29
Obr. 33.: Model hlavního rámu	30
Obr. 34. Příruba k na pilířích a příruba pro kuželové převodovky	31
Obr. 35.: Držák motoru	31
Obr. 36.: Pohonné ústrojí	32
Obr. 37.: Schéma válečkového řetězu s rozměry [18]	33
Obr. 38.: Sestava řetězového kola	34
Obr. 39.: Schéma řetězového kola [19]	35
Obr. 40.: Hřídel řetězového kola	35
Obr. 41.: Ložiskový domek [21]	36
Obr. 42.: Detail uchycení dolní řetězky.....	39
Obr. 43.: Schéma sil dolní řetězky	40
Obr. 44.: Schéma kuličkového ložiska [26]	42
Obr. 45.: Model motoru SIEMENS [27].....	43
Obr. 46.: Dva typy kuželových převodovek [28]	45
Obr. 47.: Schéma řetězové spojky [29].....	46
Obr. 48.: Spojovací hřídel	47
Obr. 49.: Ochranný rám	48
Obr. 50.: Nosič	49
Obr. 51.: Rám nosiče.....	49
Obr. 52.: Schéma U – profilu s rozměry.....	50

Obr. 53.: Uchycení a napínání řetězu	51
Obr. 54.: Model hřebenu	52
Obr. 55.: LINAK LA23 [31]	53
Obr. 56.: Lineární vedení [32]	54
Obr. 57.: Lineární vedení na hlavním rámu	54
Obr. 58.: Lineární vedení na nosiči	55
Obr. 59.: Zatížení lineárního vedení [32]	55
Obr. 60.: Schéma zatížení pro lineární vedení	56
Obr. 61.: Pozice rozvaděče	57
Obr. 62.: Model koncového spínače [33]	58
Obr. 63.: Umístění koncových spínačů (žlutá barva)	58
Obr. 64.: Model ochranného oplocení	59
Obr. 65.: Vzdálenosti omezující přístup dolními končetinami [35, str. 32]	60
Obr. 66.: Rozměry omezující dosah skrz pravidelné otvory [35, str. 33]	60

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.: Rozměry válečku [13].....	26
Tab. 2.: Rozměry ocelových tyčí průřezu U [14, str. 295]	27
Tab. 3.: Rozměry kola	28
Tab. 4.: Informace o trubce čtvercového průřezu [17, str. 302].....	30
Tab. 5.: Parametry řetězu [18, str. 19].....	32
Tab. 6.: Výpočet řetězu v Autodesk Inventor	33
Tab. 7.: Parametry řetězového kola [19]	35
Tab. 8.: Rozměry ložiskového domku [21].....	36
Tab. 9.: Známé hodnoty pro kontrolu hřídele	37
Tab. 10.: Známé hodnoty pro návrh pera řetězky	37
Tab. 11.: Známé hodnoty pro návrh pera řetězové spojky.....	38
Tab. 12.: Známé hodnoty pro výpočet šroubu na stříh [25]	40
Tab. 13.: Základní parametry kuličkového ložiska [26].....	42
Tab. 14.: Parametry motoru [27]	43
Tab. 15.: Parametry kuželové převodovky [28]	45
Tab. 16.: Rozměry řetězové spojky [29]	46
Tab. 17.: Rozměry řetězové spojky u motoru [29]	46
Tab. 18.: Rozměry spojovacího hřídele [30]	47
Tab. 19.: Rozměry trubky obdélníkového průřezu [17]	50
Tab. 20.: Rozměry tyče U – profilu [14]	50
Tab. 21.: Parametry trubky obdélníkového průřezu [17]	52
Tab. 22.: Parametry LINAK LA23 [31]	53
Tab. 23.: Parametry lineárního vedení [32]	56
Tab. 24.: Zvolené rozměry ochranné mříže	61



ZDROJE

- [1] Historie Chotěbořských strojíren. *Chss* [online]. © Copyright 2011 - 2017 CHSS [cit. 2017-01-21]. Dostupné z: <http://www.chss.cz/>
- [2] Energetika CHSS. *Chss* [online]. © Copyright 2011 - 2017 CHSS [cit. 2015-02-21]. Dostupné z: <http://www.chss.cz/energetika/tlakovyvzduch.html>
- [3] Lisovna. *Chss* [online]. © Copyright 2011 - 2017 CHSS [cit. 2017-01-21]. Dostupné z: <http://www.chss.cz/lisovna-plastu/fotogalerie/category/32-vyrobni-zaizeni.html>
- [4] Nástrojárna. *Chss* [online]. © Copyright 2011 - 2017 CHSS [cit. 2017-01-21]. Dostupné z: <http://www.chss.cz/nastrojarna/fotogalerie/category/14-vypovaci-formy.html>
- [5] Nástrojárna. *Chss* [online]. © Copyright 2011 - 2017 CHSS [cit. 2017-01-21]. Dostupné z: <http://www.chss.cz/nastrojarna/fotogalerie/category/17-ramy-forem.html>
- [6] Informace o stroji ENGEL podané firmou CHSS
- [7] Manipulátory a zdvihací systémy. *Svět balení* [online]. Praha: ATOZ Studio, ©2016 [cit.2017-02-08].Dostupné z: <http://www.svetbaleni.cz/2014/04/29/manipulatory-a-zdvihaci-systemy/>
- [8] VACUPOWERLIFT. KSK TOOLS [online]. (c)2011-2017 [cit. 2017-02-09]. Dostupné z: <http://www.ksktools.cz/fezer/vacupowerlift>
- [9] Manipulace s lepenkové krabice s lineární kleště pantografu. *Indeva*[online]. Itálie, 2013 [cit. 2017-02-10]. Dostupné z: <http://www.indevagroup.cz/cs-video/manipulace-s-lepenkove-krabice-s-linearni-kleste-pantografu/>
- [10] Lineární kleště pantografu INDEVA® pro Liftronic® Easy. *Indeva* [online]. Itálie, 2013 [cit. 2017-02-12]. Dostupné z: <http://www.indevagroup.cz/produkty/linearni-kleste-pantografu-indeva-pro-liftronic-easy/>
- [11] Paletizační roboti. KUKA [online]. Zdi by, ©KUKAAktiengesellschaft [cit. 2017-02-22].Dostupnéz:<https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/pr%C5%AFmyslov%C3%A9-roboty/kr-quantec-pa>
- [12] Robotic Box Palletizing System. Dyco[online]. Pennsylvania, ©2017 [cit. 2017-02-22]. Dostupné z: http://www.dyco-inc.com/Box_Palletizing
- [13] Dopravníkové válečky pro velká zatížení. Interroll[online]. ©2017 [cit. 2017-03-22]. Dostupné z:<https://www.interroll.cz/produkty/valecky/dopravnikove-valecky/heavy-duty-conveyor-roller-series-1450/>
- [14] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 5. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4. s. 295.
- [15] Přístrojová kolečka. TENTE [online]. ©2015 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <https://www.tente.com/cz-cz/3642itp200p63-flat.html>
- [16] Kotevní patka pilíře stavitelná. Tesařské kování [online]. ©2017 [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: <http://tesarskekovani.dodasvacina.cz/kotevni-patka-pilire-stavitelna-100x100-120160>
- [17] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 5. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4. s. 302.



- [18] Katalog - Válečkové řetězy. Řetězy Vamberk [online]. ©2017 [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: <http://www.retezy-vam.com/images/PDF/Katalog.pdf> s. 19
- [19] Řetězová kola s nábojem. TYMA[online]. ©2004-2017 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <https://www.tyma.cz/files/doc/kr-08bn.pdf>
- [20] Vodící tyč, ocelová. Arkov [online]. 2017 [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: <https://zbozi.arkov.cz/i/171784-tyc-w-12-h6-cf53-vodici-tyc-ocelova-ina.html#!&dtab=0>
- [21] Pillow block bearing pedestal type UCP. Norelem[online]. ©2017 [cit. 2017-04-07]. Dostupné z: <https://www.norelem.co.uk/gb/en/Products/Product-overview/Systems-and-components-for-machine-and-plant-construction/24000-Trapezoidal-thread-spindles-Ball-screw-linear-actuators-Pillow-block-bearings/Pillow-block-bearings/24200-Pillow-block-bearing-pedestal-type-UCP.html>
- [22] Podklady pro studium. SEPS [online]. ©2017 [cit. 2017-04-09]. Dostupné z: https://studium.fs.cvut.cz/studium/u12113/%C4%8CMS1/05C_U3A_Spojen%C3%AD%20n%C3%A1boj+h%C5%99%C3%ADdel,%20pero-%C5%99e%C5%A1en%C3%AD.pdf
- [23] Podklady pro studium. Pružnost a Pevnost, Podklady pro přednášky[online]. ©2017 [cit. 2017-04-010]. Dostupné z: http://pruznost.unas.cz/PP_I_16_17.pdf
- [24] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 5. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4. s. 409.
- [25] Podklady pro studium. Výukové prezentace [online]. ©2017 [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: http://www.fce.vutbr.cz/KDK/pilgr.m/BO02/BO02_cvi_02.pdf
- [26] Kuličková ložiska, jednořadá. SKF [online]. ©2017 [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/index.html?designation=6005&unit=metricUnit>
- [27] Simogear geared motor. SIEMENS [online]. ©2017 [cit. 2017-04-12]. Dostupné z: https://mall.industry.siemens.com/mall/en/us/Catalog/StartConfigurator?configld=10&nodeld=10028832&kmat=DT_M&bookmark
- [28] ATEK V 120 1:1. ATEK [online]. ©2017 [cit. 2017-04-13]. Dostupné z: [https://atek.partcommunity.com/3d-cad-models/sso/atek-v-120-1-1-a0-1-1-3000-0000-atek-antriebstechnik/?info=atek%2F1 bevel gearbox%2F1 typ v asmtab.pri](https://atek.partcommunity.com/3d-cad-models/sso/atek-v-120-1-1-a0-1-1-3000-0000-atek-antriebstechnik/?info=atek%2F1%20bevel%20gearbox%2F1%20typ%20v%20asmtab.pri)
- [29] Chain Couplings. MISUMI [online]. ©2017 [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <http://uk.misumi-ec.com/vona2/detail/110302282460/>
- [30] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 5. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4. s. 300.
- [31] Pohon LA23. LINAK [online]. ©2017 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://ipaper.ipapercms.dk/Linak/CZECH/DATASHEET/linear-actuatorla23-desklinedata-sheet-lcz/>
- [32] Compact Rail. ROLLON [online]. ©2017 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.rollon.com/CZ/cs/produkty/linear-line/1-compact-rail/#product-description>



- [33] Koncový spínač. RS Components[online]. ©2017 [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: <http://cz.rs-online.com/web/p/koncove-spinace/4473395/>
- [34] Oplocení zařízení. HABERKORN[online]. ©2017 [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: <http://www.haberkorn.cz/oploceni-zarizeni/>
- [35] Oplocení zařízení - KATALOG. HABERKORN[online]. ©2017 [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: http://www.haberkorn.cz/dyndoc/download/ss-oploceni-x_guard.pdf