



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

## NÁVRH ROBOTICKÉ BUŇKY PRO DEPALETIZACI A ZALOŽENÍ RAILU DO VÝROBNÍ STANICE

DESIGN OF A ROBOTIC CELL FOR DEPALLETIZATION AND PLACEMENT A RAIL TO A PRODUCTION  
STATION

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

**Bc. Adam Novák**

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

**Ing. Aleš Pochylý**

**BRNO 2019**



## Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky  
Student: **Bc. Adam Novák**  
Studijní program: Strojní inženýrství  
Studijní obor: Výrobní stroje, systémy a roboty  
Vedoucí práce: **Ing. Aleš Pochylý**  
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Návrh robotické buňky pro depaletizaci a založení railu do výrobní stanice**

#### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Práce je zaměřena na návrh pracoviště s průmyslovými roboty pro výrobu komponent – objektů. Práce se zabývá výběrem hlavních komponent a jejich umístěním – návrhem layoutu pracoviště, návrhem koncových efektorů/upínacích přípravků a návrhem zabezpečení pracoviště – ochrany obsluhy. V rámci návrhu pracoviště bude využit SW Siemens Process Simulate pro detailní simulaci výroby a ověření funkčnosti navrženého řešení ve virtuálním prostředí.

#### **Cíle diplomové práce:**

Systémový rozbor zadané problematiky.  
Návrh koncepce automatizace pracoviště pro zadaný typ aplikace.  
Návrh dílčích systémů (koncové efekторы, přípravky, oplocení apod.)  
Integrace dílčích systémů pracoviště, resp. vytvoření modelu pracovní buňky včetně řešení bezpečnosti/ochrany obsluhy.  
Vytvoření simulačního modelu pracoviště v SW Siemens Process Simulate.  
Technicko–ekonomické posouzení navrženého řešení.

#### **Seznam doporučené literatury:**

SICILIANO, B. KHATIB, O. Springer Handbook of Robotics. Springer-Verlag New York, Inc., 2008. 1611 s. ISBN 978-3-540-23957-4.  
NOF, S. Y. Springer Handbook of Automation. Springer, 2009. 1812 s. ISBN 978-3-540-78830-0.

MONKMAN, G. J., HESSE, S., STEINMANN, R. SCHUNK, H. Robot Grippers. Wiley-VCH Verlag, 2007. 463 s. ISBN 978-3527406197.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty



## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá návrhem robotické buňky pro depaletizaci a založení railu do výrobní stanice. Dílce jsou do depaletizační jednotky naváženy ve tvarově přizpůsobených přepravkách neboli blistrech. Každý blister obsahuje pět až osm kusů (dle typu railu) a antikorozi papír. Po odstranění papíru a vyjmutí kusu z blistru je na dílec vyražen identifikační kód. Poté putuje hotový kus do další stanice. Cílem diplomové práce je navrhnout robotickou buňku, která zvládne všechny operace v daném čase cyklu a vytvořit simulační model v programu Siemens Process Simulate pro ověření funkčnosti buňky.

## **ABSTRACT**

The diploma thesis deals with a design of a robotic cell for depalletization and the establishment of a rail into a production station. Pieces are weighed into the depalletizing unit in a shape-adapted crates otherwise known as blisters. Each blister contains five to eight pieces (depending on the type of a rail) and anti-corrosion paper. After removing the paper and the piece from the blister, an identification code is stamped on the piece. Then the finished piece travels to the next station. The aim of this thesis is to design a robotic cell that can handle all operations in a given cycle time and to create a simulation model in Siemens Process Simulate program to verify the cell functionality.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

robotická buňka, depaletizační jednotka, manipulační koncový efektor, zakládání dílců, simulace procesu, Siemens Process Simulate

## **KEYWORDS**

robotic cell, depalletization device, effector for manipulation tasks, parts placement, process simulation, Siemens Process Simulate

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

NOVÁK, Adam. *Návrh robotické buňky pro depaletizaci a založení railu do výrobní stanice*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117339>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Aleš Pochylý.





## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji vedoucímu diplomové práce, Ing. Aleši Pochylému, za vedení, ochotu a jeho pomoc během realizace práce. Dále pak mé obětavé rodině a přítelkyni za podporu během studia.



## **ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ**

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Aleše Pochylého a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 23.05. 2019

.....

Novák Adam



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>ZADÁNÍ</b> .....	<b>17</b>
2.1	Původní stav stanice.....	17
2.2	Analýza railů a blisteru .....	18
2.2.1	Raily.....	18
2.2.2	Blistr .....	19
2.2.3	Poloha railů při vstupu na pracoviště .....	20
<b>3</b>	<b>GRIPPER</b> .....	<b>21</b>
3.1	Výběr uchopovací technologie .....	21
3.1.1	Mechanický koncový efektor .....	21
3.1.2	Magnetický koncový efektor .....	22
3.2	Návrh koncového efektoru.....	23
<b>4</b>	<b>NÁVRH PRACOVIŠTĚ</b> .....	<b>25</b>
4.1	Varianta A - Robot vykonává všechny činnosti .....	25
4.1.1	Layout varianta A .....	25
4.1.2	Depaletizace varianta A .....	26
4.2	Návrh B – Třípolohový otočný stůl .....	27
4.2.1	Layout varianta B.....	27
4.2.2	Depaletizace varianta B .....	28
4.3	Návrh C – Otočný stůl .....	29
4.3.1	Layout varianta C .....	29
4.3.2	Depaletizace varianta C .....	30
4.4	Návrh D – Pracovní terminály .....	31
<b>5</b>	<b>VYBRANÁ VARIANTA</b> .....	<b>33</b>
5.1	Layout .....	34
5.1.1	Depaletizace.....	35
5.1.2	Výztuž z ocelového profilu.....	36
5.1.3	Výběr robotu.....	37
5.1.4	Bubnový terminál .....	38
5.1.5	Výběr kamery .....	40
5.1.6	Dopravník .....	41
5.2	Řešení ergonomie a bezpečnosti .....	42
5.2.1	Bezpečnostní prvky .....	42
5.2.2	Druhy nebezpečí na pracovišti .....	43
<b>6</b>	<b>SIMULACE</b> .....	<b>47</b>
<b>7</b>	<b>TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ</b> .....	<b>48</b>
<b>8</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>51</b>
<b>9</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b> .....	<b>53</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK</b> .....	<b>55</b>
10.1	Seznam tabulek .....	55
10.2	Seznam zkratk a symbolů .....	55
10.3	Seznam obrázků.....	55
<b>11</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>57</b>



# 1 ÚVOD

Cílem této práce je vytvoření robotizovaného pracoviště, určeného k automatickému odebrání railu, ozaření dílce identifikačním kódem a jeho založením do jiné stanice. U každé operace je několik závažných komplikací, které je potřeba co nejlépe vyřešit. V závislosti na tom je navrženo několik robotických pracovišť a následně jsou uvedeny klady a zápory každé z variant. Nakonec je vybráno nejvhodnější řešení, to je pak vymodelováno a je pro něj vytvořena simulace, která ověří funkčnost návrhu.

Na úvod je čtenář seznámen s aktuálním stavem linky. Zadanou operaci pro robotizaci provádí v počátečním stavu operátor, který ručně odebírá raily z blisteru a zakládá je do razičky kódů. Po dokončení ražení je dílec vložen do „šuplíků“ a následně, nyní již automaticky, odvezen do vedlejší robotické stanice. Čím méně bude provedeno změn na aktuálním layoutu a zavedených postupech, tím bude výsledná cena projektu levnější. Tuto skutečnost je dobré mít při návrhu buňky na mysli.

Následně je provedena pečlivá analýza a to jak dílců pro odebírání, tak i blisterů, ve kterých jsou dováženy. Dílce mají zakázané zóny a po bocích různé výčnělky, kterých je nutno se při manipulaci vyhnout. Blistr má zase síť kuželovitých vypouklín o které se opírají kusy umístěné v něm. S ohledem na tyto skutečnosti a na to, že blistr je univerzální přepravka pro více druhů railů, které mohou mít rozdílnou délku či tvar, je hledán spolehlivý a v ideálním případě univerzální způsob pro uchopení a vyndání dílce z boxu.

Aby bylo vůbec možno součást uchopit, tak je v první řadě nutné přepravku vhodně umístit, zajistit a odstranit antikorozi papír. K manipulaci s blistry slouží depaletizační jednotka. U té je důležitá především rychlost výměny prázdného boxu za plný. Ideálním řešením je takový systém, který nebude nijak zatěžovat čas cyklu. Dále je potřeba myslet na celkové zavážení. Současný stav pracuje se sloupci blisterů po devíti kusech umístěných na pojízdném vozíku. Tento koncept je možné změnit, vyžadovalo by to však dodatečnou manipulaci a s ní tak spojenou časovou ztrátu. V neposlední řadě se nesmí zapomenout na potřebnou bezpečnost, pokud by měl robot operovat v blízkosti člověka.

V návaznosti na předchozí operace je nezbytné vyřešit úkol spojený s ražením kódu na rail. Zde se jako největší překážka jeví rozdílnost jednotlivých druhů railů a individuální poloha pro ražení kódu. Jako jedno z možných řešení se nabízí sestrojit portál schopný díly vhodně rozpoznat, natočit a posunout. Pro zvýšení efektivity bude k užítku vytvoření zásoby dílců před portálem či provádět více operací současně. Po ražení je nezbytné ještě kód kamerově zkontrolovat.

Proces je ukončen přemístěním hotového kusu do sousední stanice. To lze provést buď přímo, to znamená demontáží stávajícího oplocení vedlejšího pracoviště a následným odevzdáním railu jeho robotu nebo umístit dílec do stávajících „šuplíků“.

Po důkladném výběru je nejvhodnější řešení vymodelováno v programu Inventor a následně přeneseno do simulačního prostředí programu Siemens Process Simulate. Následuje vytvoření simulace a sepsání postupu tvorby programu.





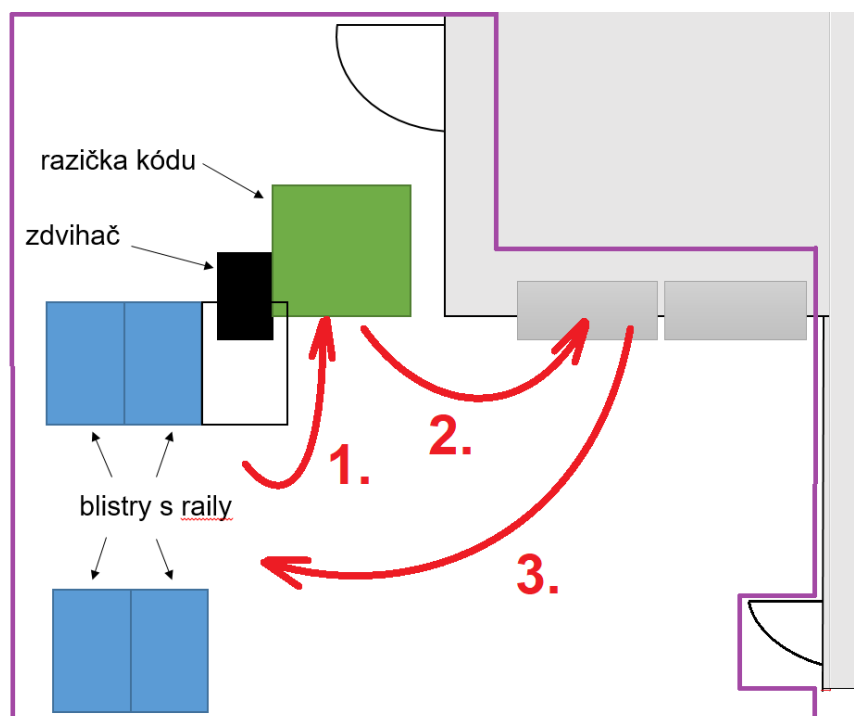
## 2 ZADÁNÍ

### 2.1 Původní stav stanice

Nová automatizovaná linka má nahradit operátora, který ručně odebírá raily a následně je zakládá do stanice. Samotné dílce jsou na pracoviště dováženy ve vhodně tvarovaných přepravkách, které nazýváme blistry. Na linku je dováženo více typů railů, ale během jedné směny se operuje pouze s jedním druhem. Tyto blistry jsou narovnány ve sloupcích po devíti kusech a pro jejich přesun slouží pojízdný vozík. Operátor odebere rail a založí ho do razičky (na obrázku 1 pozice {1}). Aby nebylo zapotřebí se ohýbat pro díly ve spodních vrstvách, tak je vždy zpracováván sloupec nasazen na zdvihač. Prázdné přepravky jsou skládány vedle a následně odvezeny.

Na rail založený do markátoru je vyražen identifikační kód. Ten je následně přečten a zkontrolován kamerou. Po vyražení kódu pracovník dílec znovu uchopí a založí ho do zásobníku {2}. Tento zásobník obsahuje dvě od sebe oddělené komory, díky čemuž lze bezpečně zakládat raily do volné buňky, zatímco robot odebírá kusy z buňky uzavřené. Takt robotu na následující lince je 18 vteřin. Aby se výroba nezdržovala, musí se takt nové robotické buňky vejít do stejného času. Nakonec se operátor vrátí a celý proces se opakuje {3}.

Pro výstavbu nové linky je možno veškeré vybavení přesunout či nahradit. Výjimkou je stávající robot a k jeho práci potřebná zařízení. Nové pracoviště nesmí zasahovat do okolních ulic a nesmí bránit v otevírání servisních dveří. Na obrázku č. 1 je fialovou barvou vyznačen přibližný využitelný prostor.



Obr. 1) Původní stav linky

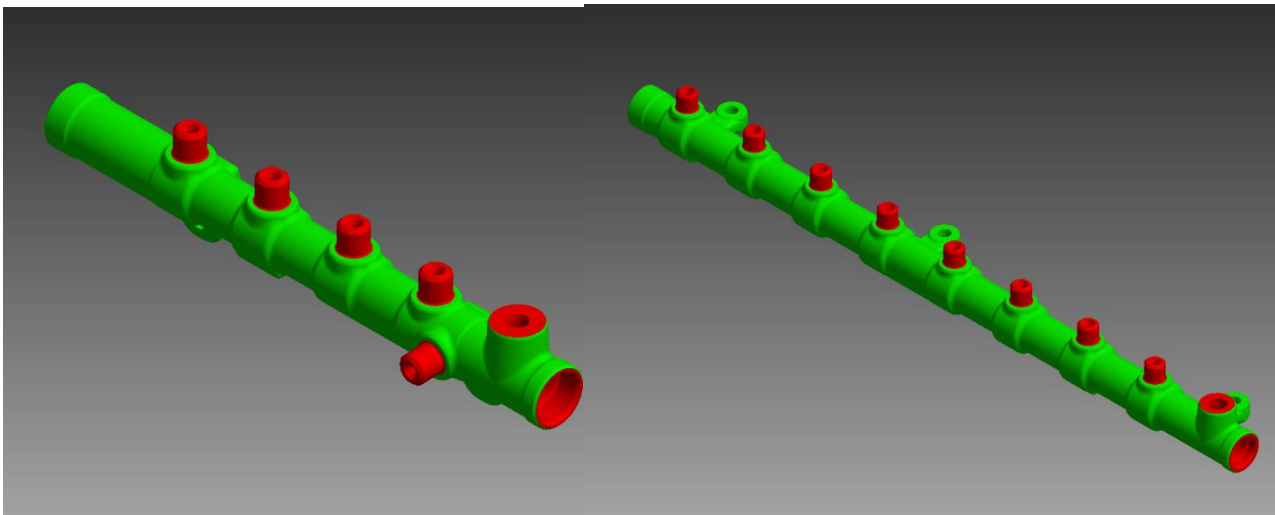
## 2.2 Analýza railů a blisteru

Tvarová rozmanitost railů a blisteru značně omezuje možnosti, jak vyndat dílec z přepravky. Je proto potřeba řádně kusy prohlédnout a porovnat. Zároveň je pro odběr velice důležitá poloha jednotlivých dílců v boxu. Cílem této analýzy je shrnout všechna fakta o dílcích vstupujících do procesu. Zároveň je snaha nalézt některé společné znaky railů a na jejich základě se po té pokusit sestrojít univerzální gripper pro všechny typy.

### 2.2.1 Raily

Jak již bylo řečeno, tak railů je hned několik druhů, s různým designem a délkou. Z toho důvodu byly raily za účelem nalézt všechny společné znaky pečlivě prozkoumány. Prakticky jeden jediný společný znak byl nalezen u všech druhů a to obrobený poloměr o velikosti 14,475 mm na koncích railu (zároveň je to i poloměr největší). Dále poloměr s rozměrem 13,7 mm byl až na několik výjimek nalezen všude. Ten se nachází hned za obrobeným koncem. Délka všech railů se liší a to v rozmezí od 220 mm do 570 mm.

Pro výběr vhodného gripperu je zapotřebí zjistit, za jaké plochy je možno rail uchopit a jakých je potřeba se vyhnout. Pro přehlednost byly na modelech tyto plochy barevně odlišeny, jak je znázorněno na obrázku 2). Zelená barva značí bezpečné plochy, kterých se lze bezstarostně dotýkat. Červená znázorňuje oblasti, kde by mohlo dojít k poškození railu a tím součást znehodnotit. Jedná se především o konektory, kde by i menší náraz či tlak mohl poškodit závit, což by mohlo mít za následek špatné těsnění. Ze stejného důvodu nesmí dojít k poškození ani na vnitřním závitě. Tyto plochy se vyskytují na stejných místech u všech druhů railů (konektory, závity). Výstupky, které jsou označeny zelenou barvou, slouží k připevnění railu do sestavy systému a nejsou tedy citlivé na dotek.

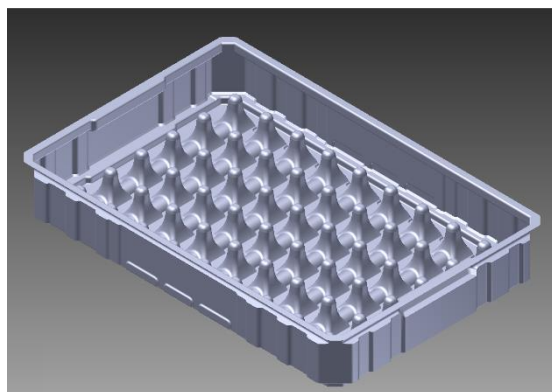


Obr. 2) Vyznačené dovolené a zakázané plochy na dvou druzích railů

## 2.2.2 Blistr

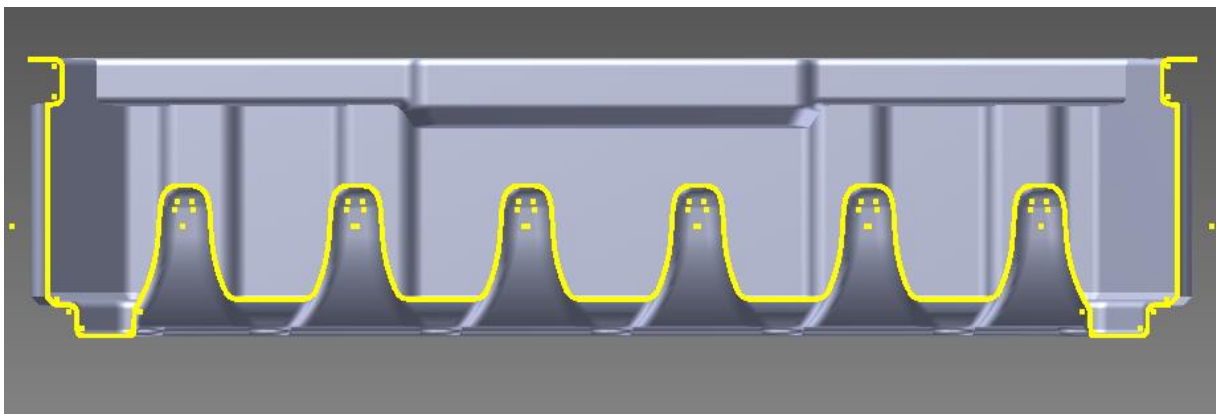
Dalším důležitým faktorem pro úspěšné uchopení railu je tvar blistru a samotná poloha dílce v něm. Na vstup přichází sloupec devíti blisterů na vozítku. Každá vrstva obsahuje 5 – 8 kusů a je chráněna vloženým antikoročním papírem. Rozmístění puků je takové, že raily jsou od sebe odděleny. Zároveň jsou však blistry univerzální přepravní jednotkou pro všechny druhy dílců. To znamená, že většina kusů je v nich vložena volně. V důsledku přepravy proto může mít každý rail před vstupem do depaletizační jednotky rozdílnou polohu i natočení.

Další komplikací pro odebírání mechanickým gripperem je specifický tvar výstupků v blistru (obr. 3 a 4). Z důvodu univerzálního použití jsou tyto výstupky rozmístěny v přepravce v síti 9x6, jsou vysoké, takže v mnoha případech vystupují nad uložené kusy. Z tohoto důvodu lze odebírání provést pouze z boku (mezi pukly blistru) nebo z vrchu za volnou plochu. Určité druhy railů však mají konektory vytrčené do boku, což omezuje další místa pro odběr. Podél okraje přepravky je po celém jeho vnitřním obvodu pětimilimetrový výstupek. Ten v případě, že je rail posunut až ke stěně, komplikuje kolmý pohyb robota při vyndávání railu z boxu. Při zachycení může dojít k nadzvednutí přepravky, či utržení dílu z gripperu. Na druhou stranu mezera, která díky výstupku vzniká na druhé straně stěny, je velice příhodné místo pro uchopení a následnou manipulaci s přepravkou.



Obr. 3) Blistr na raily

Maximální vnější rozměry jsou 600 x 400 mm. Vnitřní pak 580 x 380 mm.



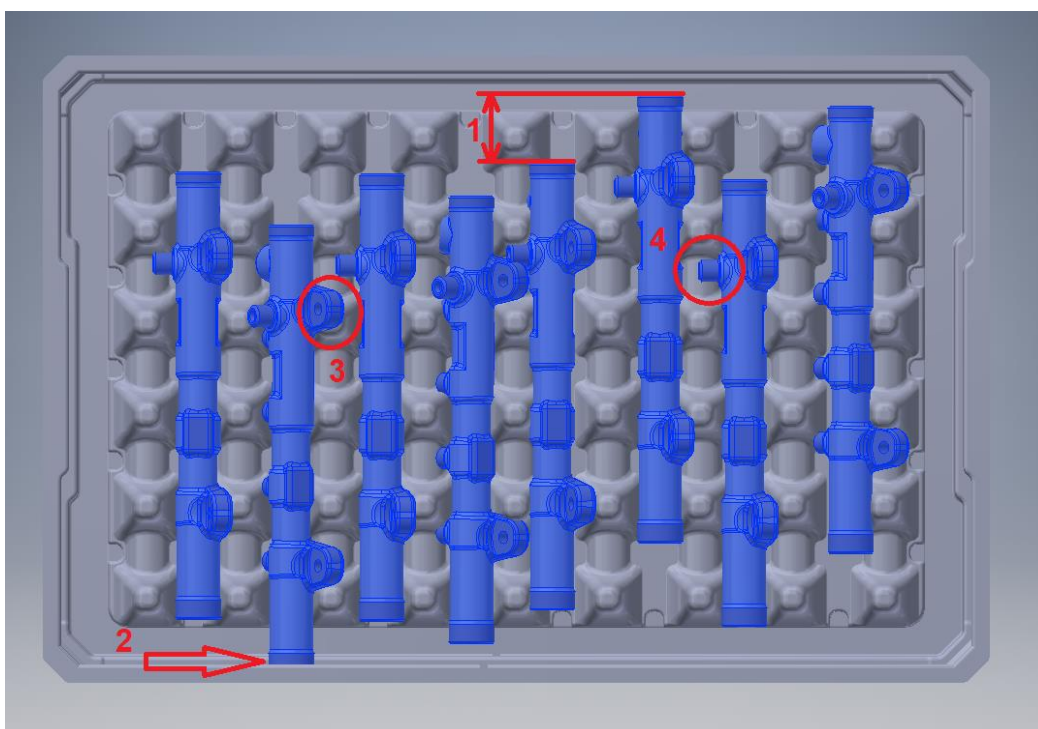
Obr. 4) Profil puků v blistru

### 2.2.3 Poloha railů při vstupu na pracoviště

Všechny druhy součástí jsou uloženy ve stejných blistrech, ve kterých pak putují na depaletizaci. Přichází ve sloupcích po devíti kusech. Každý sloupec obsahuje stejný druh součástí. Všechny kusy jsou v přepravkách uloženy ve stejné poloze. To znamená, že čtyři konektory směřují dolů a jeden do leva, jak je zobrazeno na obrázku č. 5. Zároveň však railům nic nebrání v pohybu ve směru drážky (obr. 5 je především ukázkou problémových uložení).

Sousední dílce tak mohou být oproti sobě posunuty až o desítky centimetrů {1}. S tím souvisí i problém railu u stěny, kdy kus může být při odebrání zachycen o výstupek na okraji blistru {2}. V případě, že je na dílu výstupek či konektor vystupující do boku, může při jeho kontaktu s pukem dojít k natočení celého kusu {3}, nebo k blokaci prostoru potřebného pro uchopení vedlejšího dílce {4}. Se všemi těmito aspekty se musí při návrhu gripperu počítat a v případě potřeby vyřešit i další problémy z nich vyplývající. Pokud by řešení využívalo prostor mezi pukami pod raily, je nezbytné zároveň brát ohled na možné zablokování otvoru při posunu konektorem.

Posledním objektem vstupujícím do procesu je antikorozi papír. Ten je umístěn v každé z přepravek a před manipulací se samotnými raily je nezbytné ho odstranit. Papír volně leží na povrchu a jeho velikost odpovídá vnitřním rozměrům blistru.



Obr. 5) Uložení kusů v přepravce

## 3 GRIPPER

Jak již bylo uvedeno, tak úchop a odebrání dílce je komplikováno hned několika aspekty. Prvně je tedy třeba naleznout vyhovující technologii a následně ji vhodně aplikovat.

### 3.1 Výběr uchopovací technologie

S uchopováním dílců je velice těsně spjata schopnost systému rozpoznat a správně vyhodnotit místo odběru. Tento úkol lze vyřešit pomocí vhodně vybrané kamery. Potřebná míra její přesnosti je určena především vlastnostmi samotné uchopovací technologie griperu. V případě ocelového dílu přichází v úvahu dva hlavní principy a to je mechanický stisk nebo magnetická přitažlivost.

#### 3.1.1 Mechanický koncový efektor

Nejjednodušší design mechanického gripperu, který lze použít je dvojice prstů připevněných na pneumatický válec. Protože jsou kusy v přepravce volně loženy, nelze nalézt jedno univerzální místo pro úchop. V nešťastných případech takové místo vůbec nemusí existovat anebo je tak daleko od těžiště, že hrozí nechtěné uvolnění. Pro pevný úchop musí gripper vždy zajet do blisteru dostatečně hluboko, aby byl schopen rail uchopit a zároveň nesmí dojít ke kolizi a to jak s pukou, tak s ostatními kusy v přepravce. Zároveň mohou být raily natočeny nebo částečně ležet na puku. To znamená, že gripper musí najet ke kusu pod úhlem. K dalším komplikacím může dojít i po uchopení. Daný kus může být posunut až ke stěně a při vyndávání se zachytit o vystouplý okraj blisteru. To lze vyřešit buď softwarově, nebo pomocí kloubu na rameni. Nevýhodou je i velice nestálá poloha při transportu a tím pádem i obtížné přesné zakládání.

Aby celek získal větší stabilitu, tak lze využít dalšího páru prstů. V tom případě se však ještě zkomplikují problémy s polohováním a naváděním. Takový gripper by musel obsahovat servopohony, které by umožnili nastavovat rozteč mezi chapadly. V tom případě by bylo kamerové navádění velice obtížné. Dalším problémem je jak díl uchopit, když bude nalezena pouze jedna možná uchopová pozice.

Jako jediný schůdný způsob se jevila myšlenka, že k dvojici prstů se na každou stranu přidá pomocná vidlice. Jejich polohování by mohlo být mechanické, či pomocí servopohonů. Pokud by bylo nalezeno alespoň jedno místo odběru, tak se vidlice přitisknou, každá na jeden konec railu. Tyto průměry jsou u všech druhů stejné, vidlice tak mohou mít jednoduchou konstrukci a být univerzální. Po dosednutí vidlic pak najede dvojice prstů do místa určeného pro odběr. Zde musí být pohon zajištěn pomocí servomotoru, protože toto místo se bude s každým odběrem lišit. Pak stačí pouze sevřít dílec a vynést ho ven. Důležité je, aby prst vytvářel tlak ze spodu na držený dílec a tím udržoval rail v pevné poloze. Toho lze docílit buď dalším pneumatickým válcem či pouze vhodným designem prstů. Celý proces je však velice náchylný na přesnost a není zaručené, že kamera objeví volné místo pro prsty gripperu.



Obr. 6) Příklad mechanického prstu

### 3.1.2 Magnetický koncový efektor

Dříve než začneme uvažovat o samotném magnetickém gripperu, tak se nejprve musí ještě uvážit myšlenka hromadného vyndání všech kusů z boxu. Pokud by raily ležely na volné ploše, tak už je posléze není problém přesně uchopit. Mnoho technologií dnes již zvládá velice přesné odebrání těles a to ať mají jakoukoliv polohu, či dokonce leží na sobě (bin-picking). Obyčejné vysypání dílců na volnou plochu nepřipadá v úvahu. Mohlo by dojít k poškození závitu a tím k znehodnocení kusu. Kdyby však byla nad blistr přivedena velká magnetická deska, která by zdvihla všechny kovové dílce a ty následně odložila o kus dál, odebrání by se značně zjednodušilo.

Vhodným kandidátem by mohl být magnet od firmy SCHUNK (Obr. 7), která nabízí zajímavou technologii permanentního elektromagnetu. Ten pro svůj provoz nepotřebuje žádnou energii. Pouze pro jeho zapínání a vypínání je požadován elektrický impulz. Princip technologie je založen na kombinaci magnetů AlNiCo a neodymových magnetů. V deaktivovaném stavu prochází magnetický tok magnetů AlNiCo neodymovým magnetem. Přitom uzavírá magnetický obvod kolem tělesa základny chapadla vyrobeného z oceli. Při aktivaci projde elektrický impulz cívkou, která zajistí obrat polarit na magnetech AlNiCo. V tento moment již nelze uzavřít magnetický oblouk skrze neodymové magnety a magnetický tok musí projít přes obrobek k opačnému pólu, díky čemuž vznikne přídržná síla. [1]



Obr. 7) Permanentní elektromagnet [2]

Jako potíže se však může ukázat nutnost kovových nástavců na magnetické jednotce. Z technologických důvodů se musí kovu vždy dotýkat dva póly magnetů, aby vůbec došlo k zmagetování. A to vyžaduje opět značně přesné polohování. To bohužel znemožňuje realizaci myšlenky, že deska přijede nad blistr a vytáhne z něj všechny raily na volnou plochu, ze které by již nebyl problém dílce vzít. Deska má navíc pevné rozteče mezi nástavci. Pro jednotlivé vyndávání kusů by to znamenalo mít téměř pro každý typ railu unikátní tvar gripperu. [2]

Samotný magnetický gripper je výrazně méně náchylný na přesnost a kolize s výstupky v blistru. Uložení railu v přepravce je vždy koncipováno tak, aby co největší počet konektorů směřoval směrem dolů. Opačně pak míří úchyty na připevnění. Krom těchto překážek je vršek volný a nabízí dostatečnou plochu pro spolehlivý dotyk s magnetem. Na druhou stranu je konečné zakládání dílce trochu nepřesné.

Dalším zajímavým produktem je technologie pneumatického magnetu SGM-HP od firmy SCHMALZ. Princip fungování je založen na pneumatickém posunu magnetu, který je umístěn uvnitř válce. Při aktivaci sjede dvojice magnetů z horní polohy dolů, kde dojde k dotyku a zároveň k magnetizaci stykového kovu. Ten zůstane zmagnetizován (tzn. kovový materiál je neustále držen), dokud není vnitřní magnet znovu posunut do horní úvratě. Díky tomu je zajištěno, že přidržovaný díl není upuštěn ani v případě výpadku elektrické energie. Výrobce slibuje maximální přidržnou sílu 320 N. Nejtěžší z railů váží okolo tří kilogramů. Použití dvou takovýchto magnetů na koncovém efektoru by mělo spolehlivě díl udržet. [3]



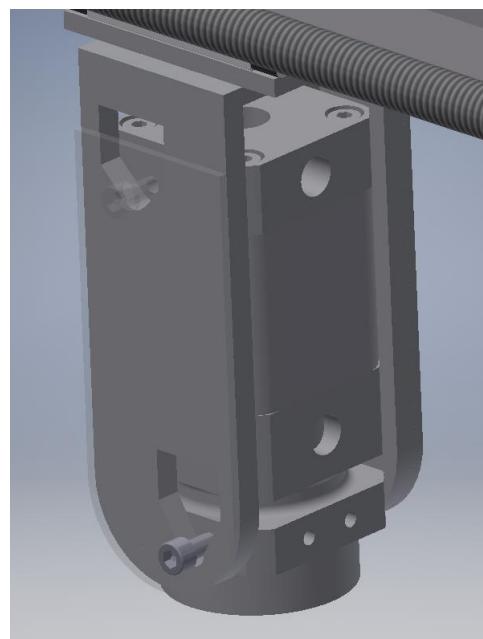
Obr. 8) Pneumatický magnet [3]

### 3.2 Návrh koncového efektoru

S ohledem na všechna fakta byl navrhnout magnetický gripper. Jako přidržné zařízení byl vybrán magnet od firmy SCHMALZ, typ SGM-HP40. Aby se mohl tento návrh stát opravdu univerzálním řešením, je nezbytné vymyslet automatické polohování rozteče mezi magnety. Protože se raily odebírají z vrchu a magnet má vyhovující rozměr, lze určit přesné rozteče na každý typ dílce. To znamená, že na začátku směny a po naskenování prvního blistru s tělesy, se na gripperu nastaví konstantní rozteč. Kamera pak už jen hledá volné pozice a sděluje efektoru kam si pro součást dojet.

V momentě, když je součást umístěna v těsné blízkosti stěny blistru, je udělen příkaz, aby došlo pouze k částečnému zdvihu. Takovému, aby nehrozilo odtrhnutí dílu od magnetů. Poté je nařízen pětimilimetrový posun ve směru od stěny a nakonec ven z přepravky.

Při vyhodnocování kamery není vždy úplně jisté, že kamera správně vyhodnotí natočení dílce. To může být zapříčiněno lesklým odrazem na konci obrobeneho konce, či skrytého kousku railu za pukem blistru. Z toho důvodu je magnet na tělo gripperu připojen pouze volně, jak ukazuje obrázek 9). Při tvrdém nájezdu na dílec by



Obr. 9) Držák magnetu

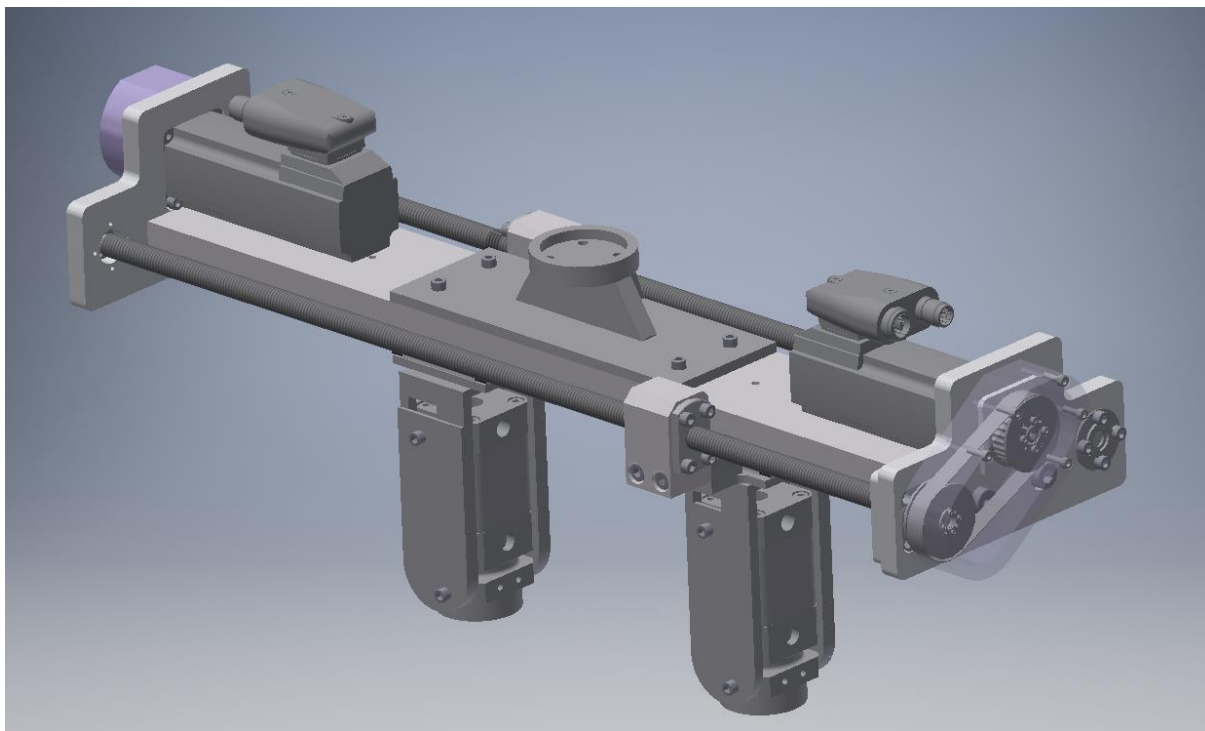
mohlo dojít buď k jeho poškození, nebo posunutí přepravky. Pokud nastane takováto situace a magnet je uchycen volně v nástavci, dojde pouze k odskočení a mírnému natočení magnetu.

Celý nástavec funguje na jednoduchém principu. Do těla nástavce, které je pevně uchyceno na pojezd lineární osy gripperu, jsou vytvořeny čtyři otvory trojúhelníkovitého tvaru. Vzdálenost obou stran nástavce odpovídá velikosti magnetu. Ten je po vsunutí mezi ně uchycen jedním šroubem prostrčeným skrz každý otvor nástavce. Protože by mohlo dojít k vyklouznutí magnetu z držáku, jsou šrouby přimontovány skrz plech, který pokrývá vnější část nástavce. Mezi pevnou a pohyblivou částí musí být vůle, aby bylo možno magnetem pohybovat.

Pokud dojde ke kontaktu s dílcem a pohyb bude neustále pokračovat, tak magnet jednoduše zajede. Při zdvihu se díky tvaru drážek magnet vrátí do původní pozice, což umožňuje relativně přesné založení. I naopak, pokud dochází k nájezdu k dílci, magnety drží pevně a dosednou na požadovanou plochu.

O polohování a automatické nastavování rozteče se starají dva servomotory. Každý z nich ovládá polohu jednoho z magnetů. Pokud je nutné změnit vzdálenost mezi magnety, tak dojde k otočení závitové tyče, což posune jedním z pojezdů. Celková váha gripperu (obr. č. 10) je okolo šesti kilogramů, tělo a ostatní kovové části jsou vyrobeny z duralu.

Největší nevýhodou tohoto konceptu je, že magnetická síla není schopná udržet rail při vyšších rychlostech. Robot tedy musí kusy přenášet v nižších rychlostech, což může mít negativní dopad na čas cyklu. Nicméně díky pomalejším pohybům lze vybrat menšího robota a tudíž ušetřit.



Obr. 10) Magnetický gripper



## 4 NÁVRH PRACOVISŤE

Postupem při navrhování robotické buňky je začít od co nejlevnější a nejjednodušší varianty. Pokud varianta nebude vyhovovat, vyhledá se ta část cyklu, která nejvíce časově zatěžuje výsledný takt. Další návrh bude obsahovat nahrazení daného úkonu se snahou čas vylepšit.

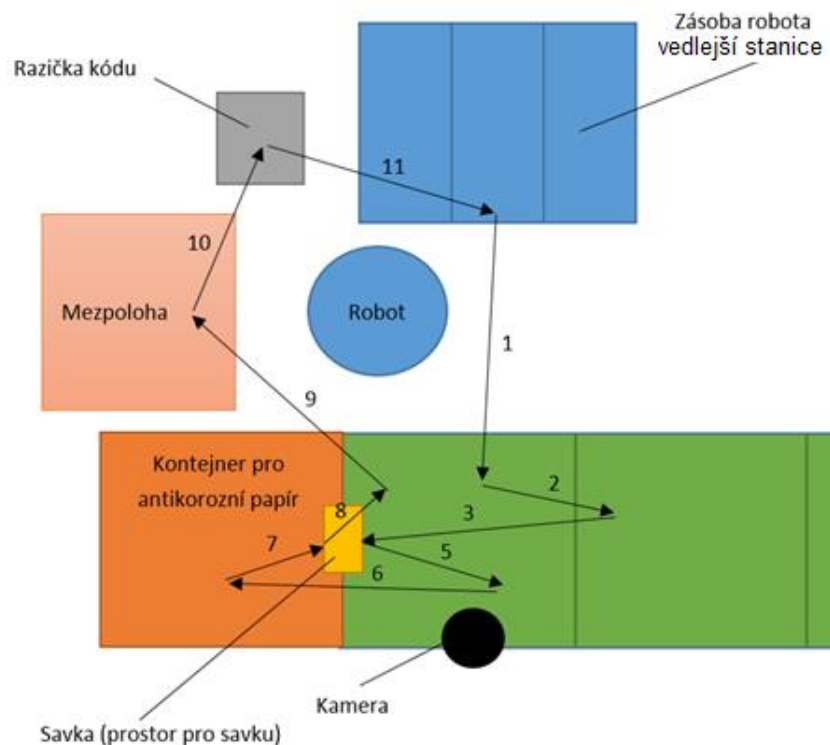
### 4.1 Varianta A - Robot vykonává všechny činnosti

#### 4.1.1 Layout varianta A

Myšlenkou prvního návrhu bylo vytvořit co nejlevnější variantu. To znamená co nejméně zasahovat do původního rozložení linky, žádné dopravníky, vše by dělal jeden robot s jednoduchým mechanickým gripperem. Zobrazený postup zahrnuje všechny možné operace (cyklické i necyklické) a jeho odhadovaný celkový čas se pohybuje okolo 46 s. Pokud jsou vyloučeny necyklické operace, tak proces trvá 32 sekund. Po zprůměrování, při šesti kusech v blisteru, je výsledný takt 34,5 sekund (požadovaný čas je 18 vteřin).

Robot dorazí k mísu pro odběr {1}, uchopí prázdný blister a přesune ho do vedlejšího sloupce {2}. Novou várku railů však chrání antikoroziční papír. Proto robot jede pro savku {3}, kterou tento papír uchopí {5} a odhodí do prostoru k tomu určenému {6}. Mezi tím probíhá skenování odkrytých railů. Pokračuje odložením savky {7} a uchopením railu {8}. Ten následně odloží v mezipoloze {9} z důvodu zajištění polohy (mechanicky, kamerou či kombinací) a znovu rail vezme. Vloží ho do razičky kódu {10} a čeká na dokončení ražení. Následně se rail vloží do zásobníku {11}. Všechny pohyby jsou znázorněny na obrázku 11).

Krytické operace jsou především výměna přepravek a čekání na ražení kódu. Jak se dalo očekávat, varianta je velice pomalá a do systému se bude muset zapojit několik manipulátorů.



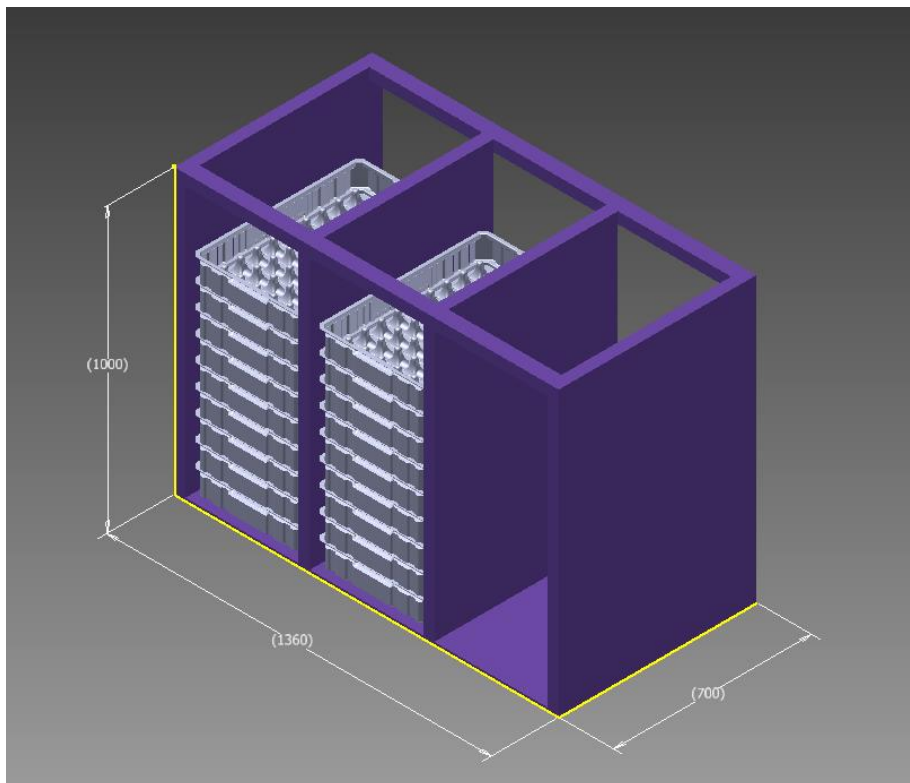
Obr. 11) Varianta A

#### 4.1.2 Depaletizace varianta A

Vstupní zásobník je rozdělen do tří částí. Označíme je písmeny A, B a C. Do dvou (A a B) jsou vždy dovezeny pojezdy s plnými blistry. V poslední části (C) je umístěn prázdný vozík. Robot postupně odebírá kusy (A) z blistry a v momentě, kdy je odebrán poslední kus, je prázdný blister přendán na prázdný skate (C). Po přeložení všech blisterů se zahájí odebírání kusů ze zásobníku (B) a prázdné jsou odkládány do zásobníku (A). Aby robot zjistil přesnou polohu kusů v přepravce, je zapotřebí posuvné kamery, umístěné na depaletizační jednotce.

Schéma:

- Fáze přípravy (A, B plné + C prázdný skate)
- odebírání z (A), prázdné bl. Do( C)
- odebírání z (B) prázdné do (A)
  - odvoz prázdných bl. z (C) a navést plné
- odebírání z (C), prázdné do( B)
  - odvoz prázdných bl. z (A) a navést plné
- odebírání z (A), prázdné do (C)
  - odvoz prázdných bl. z (B) a navést plné
- ...



Obr. 12) Depaletizace - varianta A

- Výhody:
  - Jednoduché zavážení
  - Jasně definovaná poloha blisterů
  - Levné
- Nevýhody:
  - Potřeba zajistit přesnou polohu kamery vůči přepravkám
  - Nijak neurychluje celkový takt

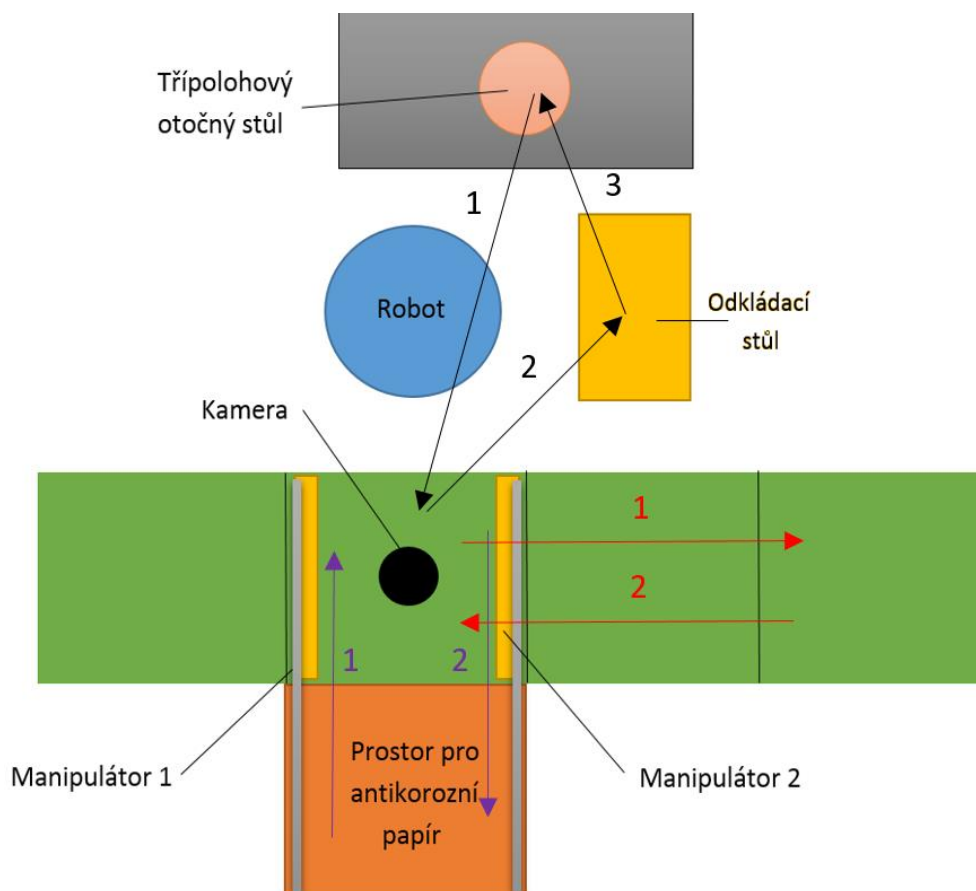
## 4.2 Návrh B – Třípolohový otočný stůl

### 4.2.1 |Layout varianta B

Pro zrychlení taktu bylo do konceptu přidáno několik dopravníků a třípolohový otočný stůl, díky čemuž bude možno vykonávat několik operací současně. Této variantě trvá provést všechny operace odhadem 40 vteřin. V čase jsou započteny všechny necyklické operace. Během cyklických operací robot vykoná jednu smyčku za 18 sekund, přičemž nemusí čekat na otočný stůl (díky více polohám). Po zprůměrování (při šesti kusech v blistru) je výsledný takt zhruba 22 sekund (požadovaný čas je 18 vteřin).

Manipulátor 2 zdvihne prázdný blistr a odloží ho do vhodného sloupce {1}. Následně zajede pro blistr plný a ten dopraví pod kameru {2}. Poté manipulátor 1 najede nad box {1} a spustí savku. Uchopí antikorozní papír a odhodí ho do kontejneru umístěného vedle depaletizační jednotky {2}. Mezi tím dojde ke skenování a robot zamíří pro rail {1}. Uchopí ho a odveze do mezipolohy {2}, kde dojde k zajištění polohy pro přesné uchopení. Dále následuje založení do třípolohového otočného stolu {3}. Celý postup je znázorněn na obrázku 13). První pozice slouží pouze k přesnému uchopení a natočení railu do polohy vhodné na ražení kódu. K samotnému ražení dochází v poloze druhé. Z poslední polohy si pak rail odebírá další robot.

Výměna prázdných boxů za plné je výrazně rychlejší, ale robot musí stále čekat několik desítek vteřin. Také neustálé odkládání railů do mezipolohy zdržuje cyklický oběh robotu.



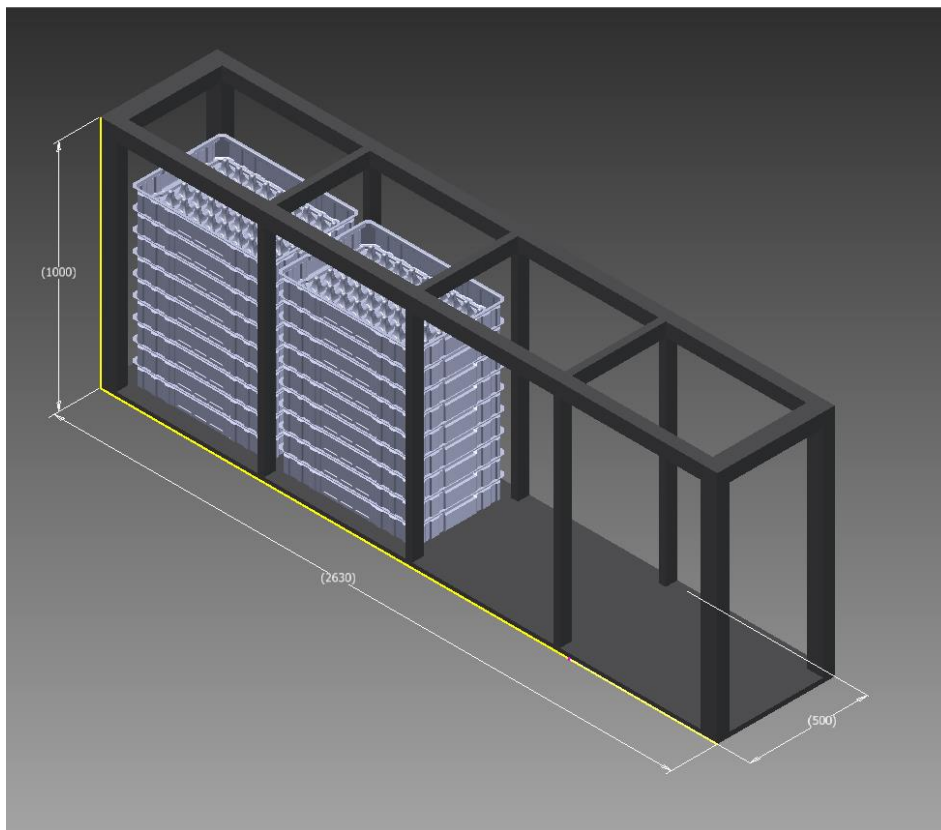
Obr. 13) Varianta B

#### 4.2.2 Depaletizace varianta B

Do zásobníku jsou dovezeny dva plné sloupce (A,B) a jeden prázdný (C). Ty jsou vedeny drážkami až do koncové polohy, kde jsou mechanicky zajištěny. Kamera je umístěna nad prostředním zásobníkem (B), kde je taky manipulátor. Ten je schopný odebírat bedny a vozí je ke kameře. Po skenování obsahu blistru dojde k odebírání railu ze zásobníku (B). Jakmile je přepravka, kterou drží prázdná, posune se do vedlejší polohy a odloží tam náklad (C). Pokud je odebrán veškerý obsah ze zásobníku (B), dojde k posunu všech vozíků. Pod kamerou se ocitne náložka (A). Začne odebírání z plného sloupce a prázdné blistry putují na vozík (B). Nakonec jsou prázdné přepravky i s pojezdem vyvezeny ven a je zavezena nová dávka.

Schéma:

- Fáze přípravy (A,B plné + C prázdný skatze)
- Odebírání z (B), prázdné blistry do (C)
- Posun
- Odebírání z (A), prázdné blistry do (B)
- Posun



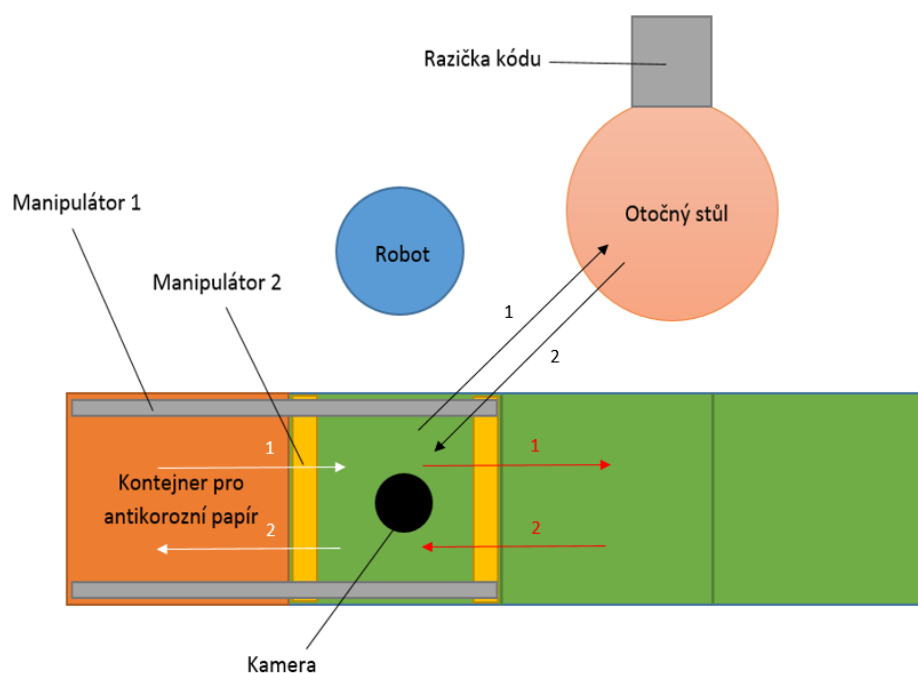
Obr. 14) Depaletizace – varianta B

- Výhody:
  - Malé přesouvací síly
  - Kamera je na stabilní pozici
  - Jednoduchost
- Nevýhody:
  - Potřeba většího prostoru za zásobníkem
  - Potřeba zajistit polohu blistrů
  - Stále dlouhé čekání robotu

## 4.3 Návrh C – Otočný stůl

### 4.3.1 Layout varianta C

Při spojení mezipolohy a otočného stolu, bylo dosaženo ještě kratšího času práce robotu. Ten potřebuje odhadem pouhých 9 sekund na to, aby odebral kus a umístil ho na otočný stůl. To je dokonce rychlejší než razička kódů. Z toho důvodu je na stůl přidáno o několik pozic více. V momentě, kdy robot předběhne proces ražení, jsou dílce dále ukládány na držáky na otočném stole. Takto tam vzniká zásoba, díky které může později probíhat ražení i v momentě výměny blistrů, když robot stojí. Stůl je vybaven kamerou a polohovacími disky vedle vidliček, které dokážou dílec po oskenování vhodně natočit. Následně dojde k ražení kódu. V poslední poloze je součást odebrána robotem.



Obr. 15) Varianta C

Ukládání rozdílných délek railů na stůl je vyřešeno pomocí posuvného uložení jedné ze dvou vidliček pro zapolohování. Na začátku směny operátor nastaví vedení pod vidličkou na typ railu, který bude zpracováván.

Tento koncept je již dostatečně rychlý a mohl by splňovat celkový čas taktu. První cyklus, zahrnující i necyklické operace, trvá odhadem 33s. Cyklické operace, skládající se z otočení stolu a ražení (pohyby robota jsou také cyklické, ale jsou rychlejší než razička) jsou provedeny za 17,5 sekund. Díky prakticky „nekonečné“ zásobě se tedy dá tento takt považovat za celkový.

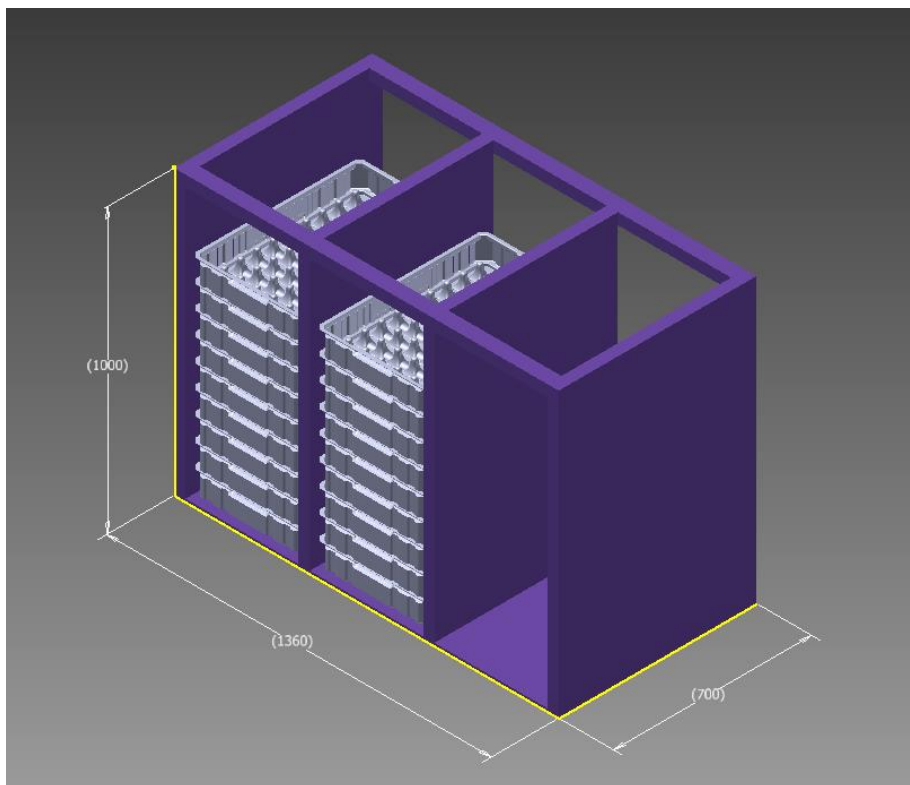
Nevýhodou je, že otočný stůl, na který lze umístit dostatečnou zásobu railů, musí mít velký obvod. To znamená, že tato část linky je značně prostorově náročná. S tím souvisí i omezený dosah robota při zakládání do nejvzdálenějších poloh. Celý proces není plně automatizovaný a počítá se spoluprací s robotem od vedlejší linky.

### 4.3.2 Depaletizace varianta C

Jsou tři sloupce, A, B a C. V každém sloupci je v zadní části umístěný manipulátor schopný uchopit přepravku pomocí dvou vidlic. Pohybovat se může pouze nahoru a dolů. Celý systém je doplněn o pojízdnu desku s horizontálním vedením. Díky zvedákům a posuvné desce je možné umístit prázdný blister do jakéhokoliv volného zásobníku. Stejně tak je i možné odebrat plný blister z jakéhokoliv sloupce a umístit ho pod kameru, která je fixně umístěna pod zásobníkem (B).

Schéma:

- Fáze přípravy (A,B plné + C prázdný vozík)
- odebrání z (B), prázdné blistery do (C)
- odebrání z (A), prázdné do( B) (plný blister je pomocí posuvné desky posunut nad zásobník (B))
  - možnost 1 => odvoz prázdných bl. z (C) a navést plné (postupné navážení)
  - možnost 2 => odvoz prázdných bl. z (C) a (B), navést plné



Obr. 16) Varianta C

#### ➤ Výhody

- Snadné zavážení plných blisterů
- Kamera má stabilní polohu

#### ➤ Nevýhody:

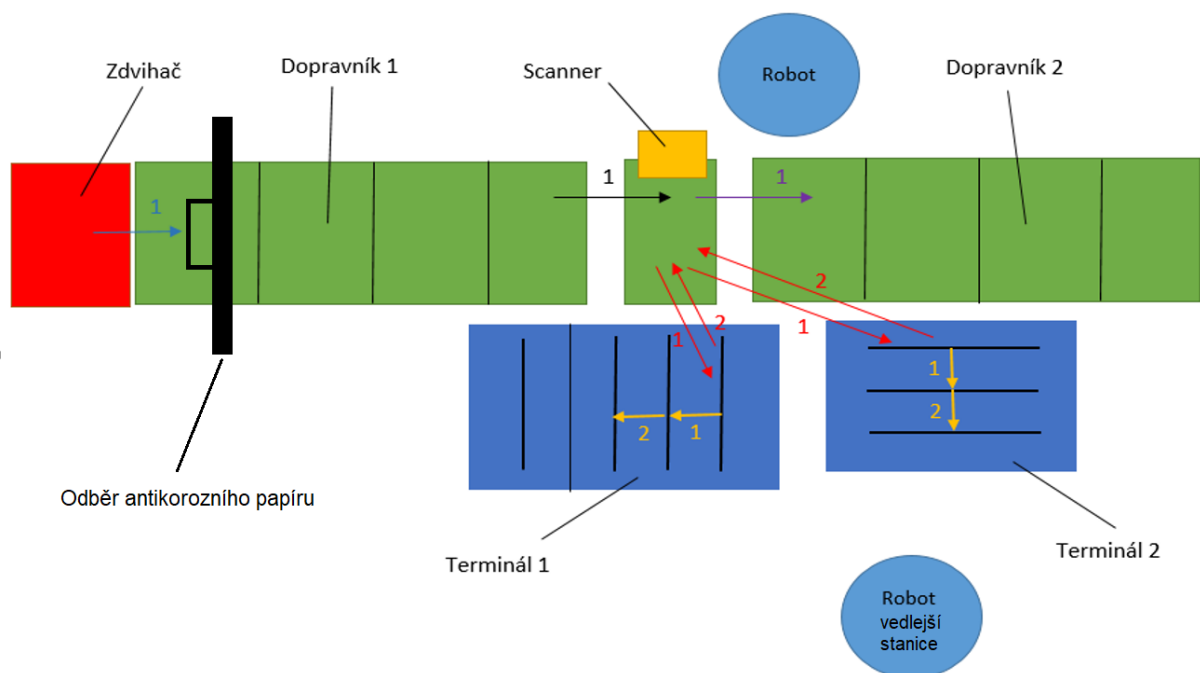
- Delší čas přesunů
- Mnoho manipulátorů

#### 4.4 Návrh D – Pracovní terminály

Za účelem zjednodušení depaletizace byl vytvořen návrh s dopravníkem. Na zdvihač se naveze zásoba dílců. Ten poté přesouvá jednotlivé blistry na dopravník {1}. Odtud putují na místo odběru {1}. Zde dojde pomocí několika pneumatických válců k zajištění přesné polohy. Vyprázdněný box dále putuje přes dopravník na odkládací místo {1}. Dopravník má takovou délku, aby se na něj vešly čtyři bistry vedle sebe. To představuje jistou zásobu, která poskytne čas na opětovné zavezení plných přepravek. Výhodou toho systému je především jednoduchost konstrukce. Dále délka dopravníku, mimo časovou rezervu, umožňuje i vhodné umístění plotu kolem robotu. Díky tomu lze bezpečně zavážet i vyvážet přepravky na dílce daleko od pracujícího robotu.

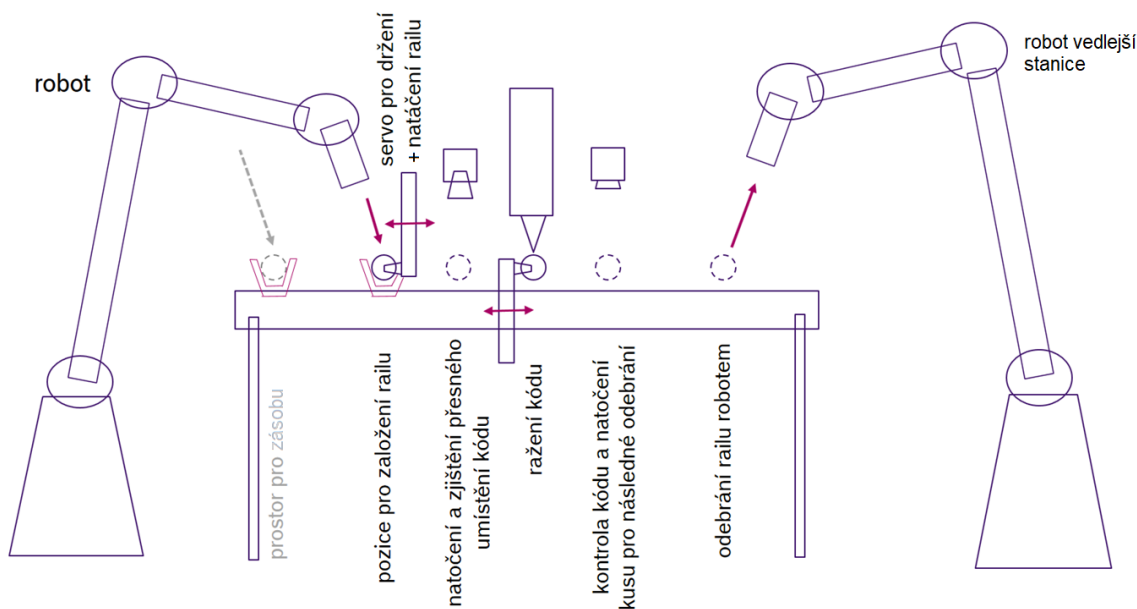
Celý proces probíhá následovně. Jakmile je plný blistr řádně zapoložován, kamera provede skenování jeho obsahu a určí polohu kusů. Robot pak uchopí dílec a založí ho do vidliček {1}. Sám se vrací pro další rail {2}. Následně přijede terminál, na kterém je na každé straně umístěn jeden otočný kužel. Tyto kužely dorazí až na úroveň vidliček s railem. Tam jsou z boku přitisknuty k dílci, čímž ho vystředí a uchopí. Po zbytek následujících operací je dílec nesen terminálem. To má za výhodu snadné natáčení v jakýkoliv moment a přesnou polohu kusu. Každý druh railu má trochu odlišné umístění identifikačního kódu. Pro určení správné polohy, je na druhé pozici kamera, která skenováním zjistí druh dílce a potřebné natočení {1}. K samotnému ražení dochází na třetí pozici {3}. Dále už je pouze kamerová kontrola vyraženého kódu a vhodné polohování kusu pro konečný odběr robotem. Celý průběh je znázorněn na obrázku 17). Detailní popis operací na terminálu ukazuje obrázek 18).

Práce na terminálu je značně zdlouhavá. Celý proces na něm trvá přibližně necelých 30 sekund. Časté skenování, otáčení s dílcem a posuvy jsou značně časově náročné. Robot sám o sobě je však vytížen mnohem méně. Jeho úkolem je pouze uchopit rail a přemístit ho na vidlice u terminálu. Protože je celkový čas příliš vysoký, je nezbytné použít dva tyto terminály, které mohou pracovat souběžně. Robot přitom střídavě zakládá dílce do každého z terminálů.



Obr. 17) Varianta D

Terminály mají jeden prostor pro možnou zásobu dílců a z toho důvodu můžou pracovat prakticky nepřetržitě. Nevýhodou tohoto konceptu je prostorová náročnost a to jak depaletizace, tak dvou pracovních terminálů. Při menším počtu kusů v přepravce (při častější výměně blistrů) se tak může stát, že robot rozdává raily rychleji než je terminály zpracují a tím pádem pak čeká. Takt linky však určují pracovní terminály.



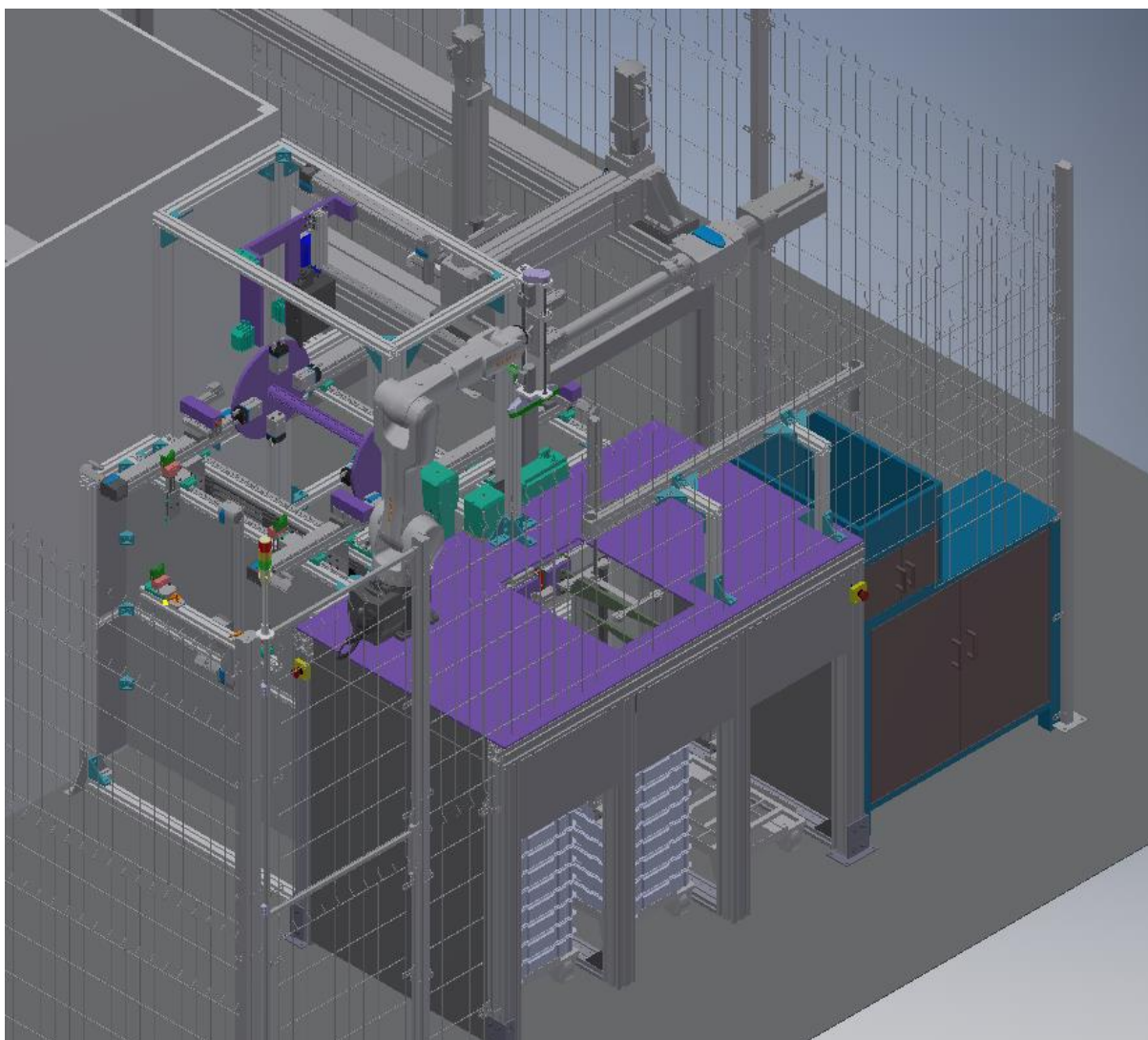
Obr. 18) Detailní popis práce na terminálu

Na druhou stranu je konstrukční řešení velice jednoduché. Terminál se skládá pouze ze základní konstrukce, razičky, dvou kamer, dvou lineárních vedení, jejich pohonu a servomotoru na otáčení railů. Rozložení umožňuje dále snižovat čas taktu po přidání více terminálů. To by však zároveň mělo negativní dopad jak na finanční tak i na prostorovou náročnost a myšlenka jednoduchého konstrukčního řešení by ztrácela smysl.



## 5 VYBRANÁ VARIANTA

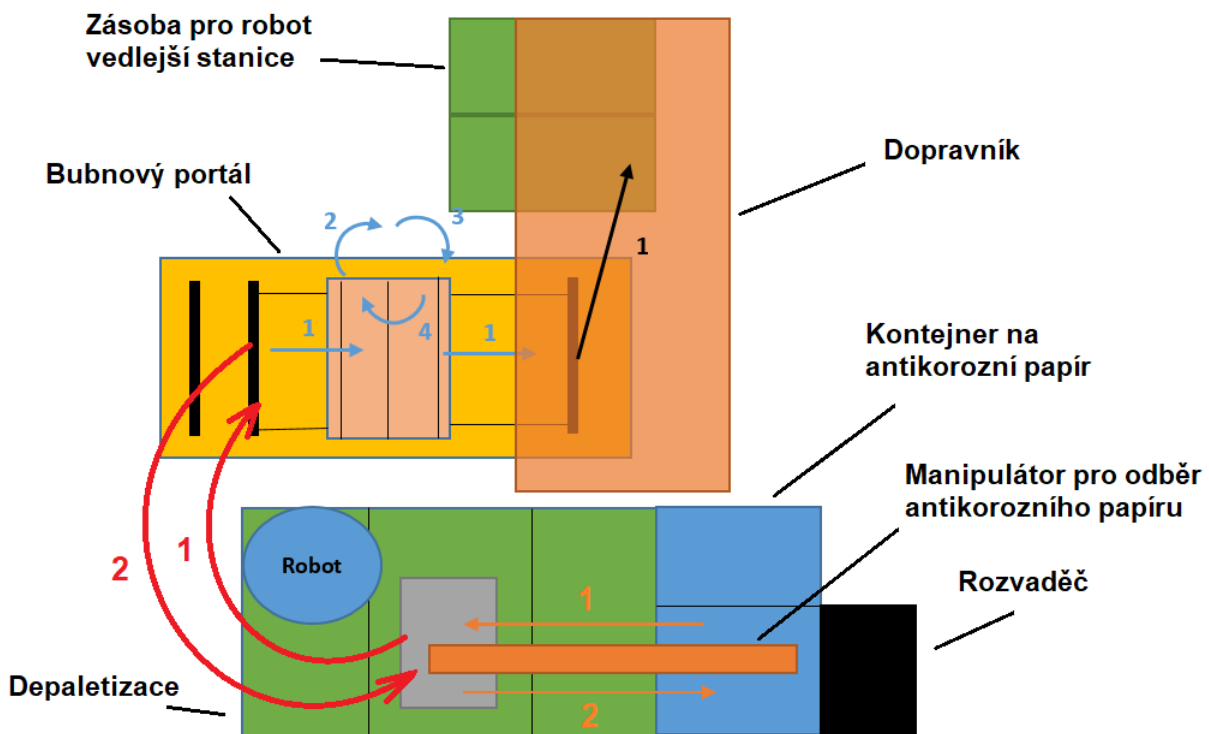
Finální návrh se z části skládá ze všech předchozích verzí. Je však propracovanější a dotažen do konce. Mnoho menších i větších problémů se při teoretickém navrhování opomíjelo. Nyní když existuje model, může hledání po dalších nedostatcích pokračovat. V prvním kroku je představen celkový layout a následně jsou podrobně popsány jednotlivé prvky buňky. Obrázek 36) ukazuje kompletní model sestavy.



Obr. 36) Celkový pohled na model pracoviště

## 5.1 Layout

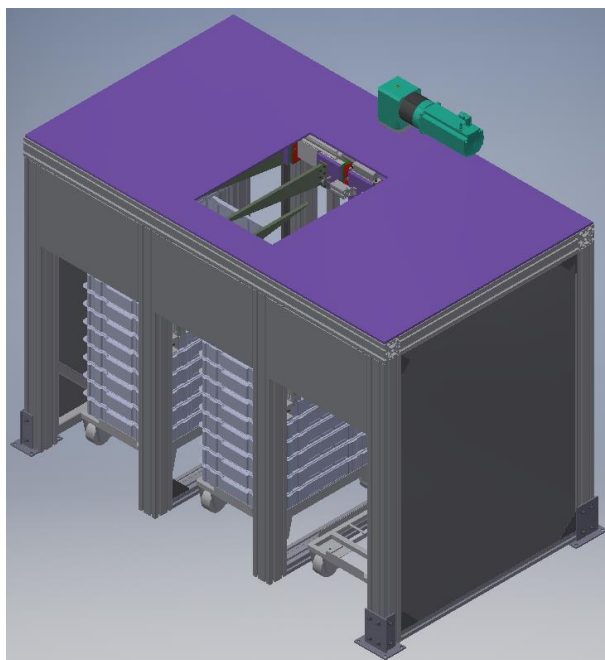
Vše začíná u depaletizace. Manipulátory pro uchopení blistru nejprve provedou odběr. Přepravka je dále položena na zdvihací zařízení, které vynese plný blistr nad desku depaletizace. Tam už přijíždí portál na odebrání antikoročního papíru {1}. Pomocí savek uchopí objekt a odnese ho do kontejneru pro něj určený {2}. Po odkrytí boxu je provedeno skenování a systém vyhodnotí vhodnou polohu pro odběr. Následně přijede robot a vybraný díl uchopí magnetickým gripperem. Ten pak přesune do vidliček na bubnovém terminálu {1}. Protože každý typ railu může mít jinou délku, tak po té, co systém pozná zpracováváný typ dílce, nastaví vhodnou rozteč vidliček. Po upuštění dílu se robot vrací, aby nabral novou součást {2}. Bubnový terminál mezi tím uchopí rail a přeneseme ho k bubnu {1}. Tam je vhodně natočen a přenesen k markátoru kódů {2}. Pokud bylo ražení kódu úspěšné, putuje pryč z bubnu {3}. Pokud je vyhodnocen jako zmetek, je odhozen pryč {4}. Hotový kus je pak po opětovném natočení uchopen dopravníkem. Ten ho přeneseme do jedné z volných komor pro zásobu do vedlejší stanice {1}. Obrázek číslo 19) schématicky popisuje celý proces.



Obr. 19) Layout robotické buňky

### 5.1.1 Depaletizace

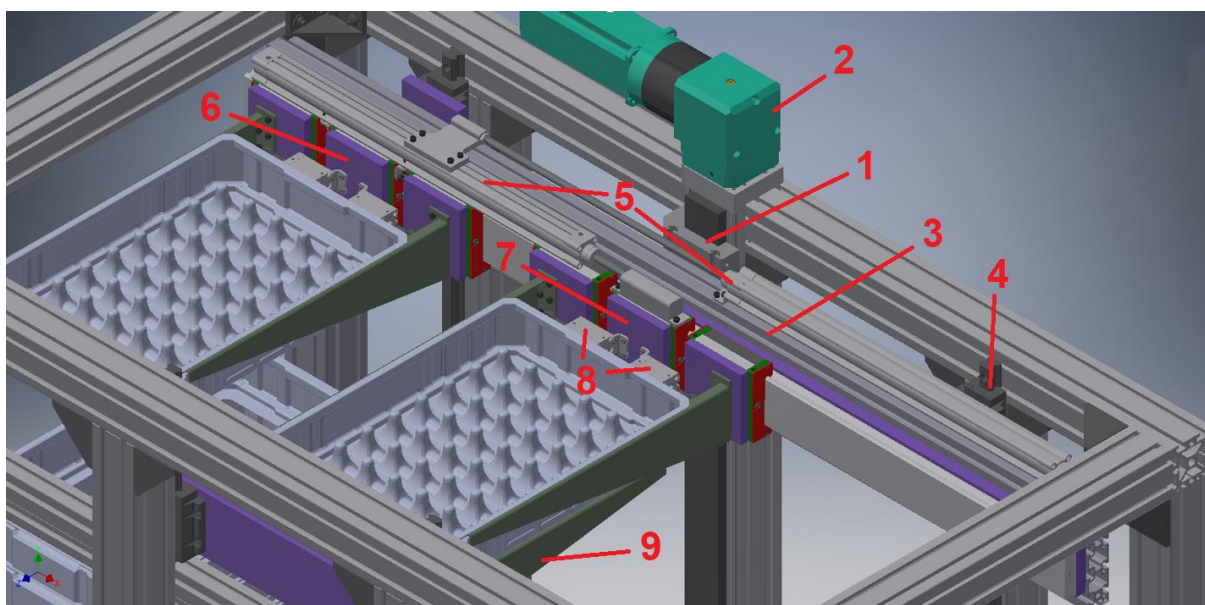
Základní funkce se oproti předešlému návrhu v zásadě nemění. Konstrukce má prostor pro tři sloupce blisterů. Dva jako zásoba plných a jedna pro odkládání prázdných přepravek. V momentě, kdy je sloupec pro odkládání naplněn prázdnými bednami, je obsluhou vyměněn za navážku plných boxů. Bezpečnost zde řeší deska umístěná na vrcholu konstrukce. V té je uprostřed vhodně vytvořený otvor a to tak, aby skrz něj bylo možno vysunout blistr. Robot tak manipuluje s raily venku mimo zavázeční prostor. Celkový pohled ukazuje obrázek 20).



Obr. 21) Depaletizace - celkový pohled

Základním prvkem celé konstrukce je osa s pohonem (viz obrázek 21, prvek {1}). Ta je umístěna na zadní straně konstrukce a poháněna servomotorem {2}. Jejím úkolem je zajistit pohyb vodorovného profilu {3} směrem nahoru a dolů. Pro usměrnění tohoto posunu jsou na obou krajích portálu dva lineární pojezdy {4}. Manipulátory, které mají za úkol uchopení přepravek, musí být schopny zajet do všech sloupců a to v různých kombinacích (od pravého a prostředního, pravého a levého, prostředního a levého sloupce). To jim dovolují dva pneumatické válce {5}. První z nich je nepohyblivě umístěn na vodorovném profilu {3}. Ten pohybuje s druhým válcem, který je spojen s jedním z manipulátorů {6}. Díky tomuto válci lze posouvat i druhým manipulátorem {7}. Všechny tyto prvky soustavy se mohou pohybovat za pomoci

horizontálně uloženého lineárního vedení. Pro samotné sevření a otevření čelistí slouží dva menší pneumatické válce {8}. Na opačné straně konstrukce je jeden samostatný pojezd {9}, jehož úkolem je zvedat blistr do pracovního prostoru robotu. Ten uchopuje přepravky za jejich dno, na rozdíl od manipulátorů {6} a {7}, které provádí zdvih po zachycení o vnější okraj



Obr. 20) Depaletizace – detail

Posloupnost (jak manipulátory jezdí) záleží na pořadí navezených sloupců. Obecně však platí, že jeden z manipulátorů uchopí plný blistr. Následně vyjede nad úroveň ostatních sloupců v jednotce. Pokud se zrovna nachází ve středové pozici, musí odjet vedle, aby mohlo sjet zdvihací zařízení. To oproti druhým dvou nemá pneumatické válce, aby mohlo své vidlice rozevřít. V dolní pozici se však nachází pod úrovní pohybujících se přepravek. Díky tomu se také může manipulátor s plným boxem vrátit do středové polohy. Ten může okamžitě vynést přepravku do pracovního prostoru robotu. Proces v depaletizační jednotce však ještě nekončí. Jeden z manipulátorů uchopí další plný blistr a vynese ho nahoru. Nesmí však skončit ve středové pozici. Tam musí čekat manipulátor druhý (prázdný). V momentě kdy je odebrán poslední kus, sjede zdviháč dolů a prázdný manipulátor ho ihned uchopí. Následně se oba posunou, čímž na se na středu octne box plný. Zdvihací zařízení ho ihned vynese nahoru a celý proces se tak může opakovat. Výměna je tedy velice rychlá.

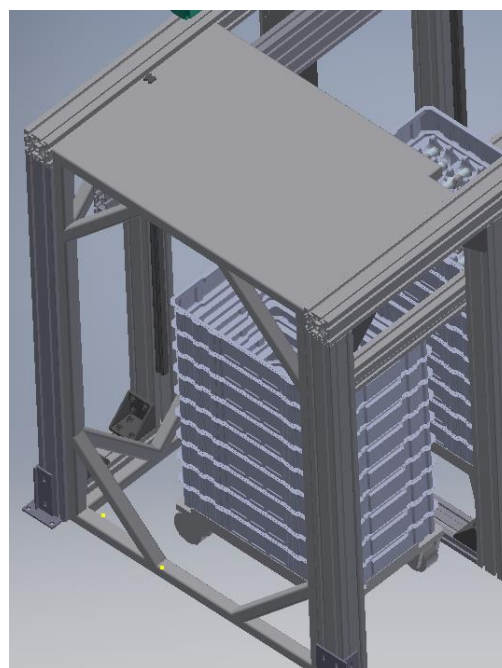
Hlavní posuvná jednotka, pohon s vřetenem DGE-SP-KF, Servo motor EMME-AS, pneumatické válce a lineární osy jsou od firmy Festo [5][6].



Obr. 22) Festo – vřetenový pohon DGE-SP-KF [5]

### 5.1.2 Výztuž z ocelového profilu

Z důvody větší stability a pevnosti konstrukce je pod deskou depaletizace v místě umístění robotu ocelový rám. Robot je k němu pevně připevněn. I když jsou dynamické účinky na konstrukci minimální (pomalé pohyby robotu, kvůli magnetickému gripperu), deska na depaletizační jednotce by musela být značně silnější a tužší. Umístění a velikost je zobrazena na obrázku 23).



Obr. 23) Ocelový rám

### 5.1.3 Výběr robotu

Funkcí manipulačního robotu je odebrat rail z přepravky a založit ho do vidlic na bubnovém terminálu. K tomu využívá magnetický gripper, se speciálními pneumatickými magnety. Přestože jsou magnety dostatečně silné, aby udržely dílce co přenáší, velké zrychlení by ale zajisté magnetickou sílu překonalo a dílec by upadl. Proto je nutné, aby robot operoval v malých rychlostech. Tato nevýhoda bude použita v rozpočtový prospěch. Vybraný robot KUKA ze série KR AGILUS typ KR 10 R1100-2 má jmenovité zatížení 5 kg. Jeho maximální nosnost je však 10 kg, což je díky malé pracovní rychlosti již vyhovující. Maximální dosah robotu je 1101 mm. s hmotností 56 kg.

Tento robot byl také vybrán, protože má možnosti určitých úprav při nasazení v jakémkoliv prostředí, minimální potřebou údržby, vysokou přesností opakování a prostorovou úspornost. [7]

I přes to, že robot pouze přenáší rail z jednoho místa na druhé, je zapotřebí šestiosý robot. Při špatně umístěném kusu, který leží svým výstupkem na puku, může být rail nakloněn a tím pádem je nezbytné najet k němu z úhlu. [7]



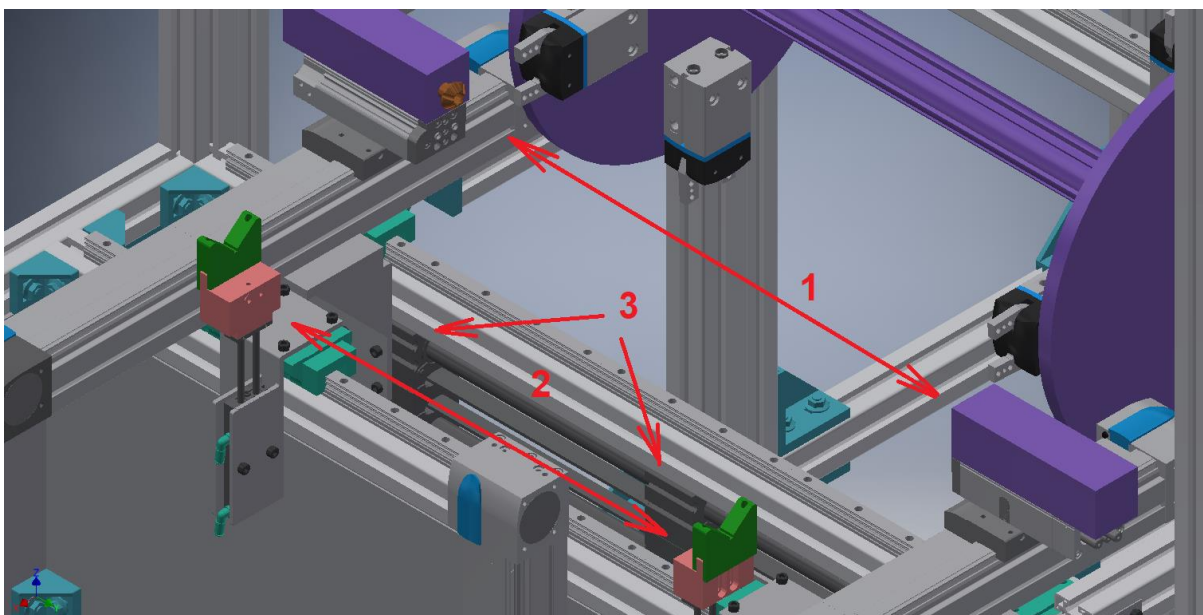
Obr. 25) Robot KUKA KR AGILUS [7]

#### 5.1.4 Bubnový terminál

Tento terminál vznikl díky postupnému zdokonalování různých návrhů. Lze na něm vykonávat více operací naráz na více dílcích. Dokáže zajistit polohu a natočit rail o potřebný úhel. Navíc je plně automatický bez jakéhokoliv nutného mechanického seřizování před začátkem směny.

Primárním cílem terminálu je zajistit přesnou polohu kusu a vyrazit na něj identifikační číslo. První z úkolů mají na starost dva středící kužely {1}, které lze vidět na obrázku 26). Po té co je rail založen do vidliček {2}, sestava se středícími kuželi i pneumatickými válci přijedou k dílci. Jejich osa by měla být totožná s osou uloženého railu. V důsledku použití magnetického gripperu se může stát, že díl byl založen mírně mimo osu nebo posunut na jednu ze stran. Pro nápravu těchto nedokonalostí slouží právě tyto kužely. Do pneumatických válců, na které jsou přidělány, se přivede vzduch a kužely se přitisknou k součásti. Díky svému tvaru tak dosáhnou přesného uložení railu. Po převzetí railu vidličky zajedou dolů a kužely mohou odjet k bubnu.

Protože je terminál univerzální pro použití všech druhů railů, je schopen se nastavit na libovolnou rozteč. Obě strany terminálu jsou totiž uloženy pohyblivě a díky dvou synchronním protiběžným saním se nastaví všechny potřebné rozteče naráz {3}.

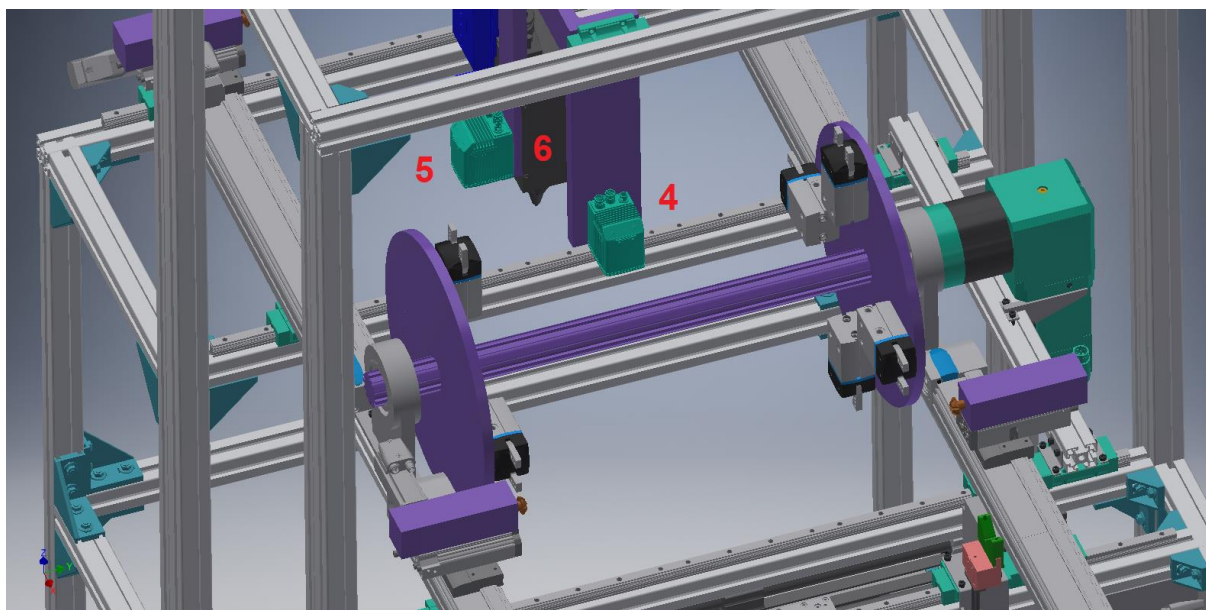


Obr. 26) Bubnový terminál – detail 1

V momentě, kdy vystředovací válce s dílcem přijedou k bubnu, úhlové pneumatické prsty se roztáhnou a připraví se na úchop. Rail už je sice srovnaný v ose, ale jeho natočení je stále neznáme. Pro ražení kódu, které má přijít na řadu, je to nezbytná informace. Kamera, která je v obrázku 27) vyznačena pod pozicí {5}, je umístěná tak, aby dílec před vstupem na buben byl přímo pod ní. Začne tedy snímat obraz, a informaci o potřebném natočení posílá servomotoru, který je spojen se středícími kužely a tyto rail natočí do požadované polohy.

Od této chvíle jsou známé hodnoty všech os tělesa. Kus je uchopen bubnovým portálem a otočen do druhé polohy o  $90^\circ$ . Nahoře je již připravená razička kódu {6}. Ta najede do polohy pro ražení a začne zapisovat kód. Mezi tím k první poloze dorazí další dílec. Obě kamery a markátor jsou uloženy na totožné ose. Proto chvilku po ražení dojde k zastavení, přičemž kamera {4} určuje správné natočení dalšího dílu. Poté kamera {5} najede ke kódu a zkontroluje, zdali je správně vyražen. I v případě, že je naleznuta chyba, se bubnový portál znovu otočí o  $90^\circ$ . Pokud byl kód úspěšně přečten a zkontrolován, odebere z této pozice rail další dvojice kuželů. V případě zmetkového kusu dílec čeká na další otočení. Zde je následně upuštěn do bedny k tomu určené.

Pokud díl prošel kontrolou, putuje upnutý v kuželech až na konec terminálu. Zde je znovu otočen do polohy, ve které měl ležet v blistru. Opět je to provedeno díky připojenému servopohonu k jednomu z válců. Tentokrát pro to však není potřeba kamerová kontrola, protože dílec se na bubnu otočil přesně o  $180^\circ$ . Pak už rail čeká pouze na to až dorazí dopravník a uchopí ho.



Obr. 27) Bubnový terminál – detail 2

### 5.1.5 Výběr kamery

V první řadě bylo potřeba nalézt kameru, která dokáže identifikovat rail a určit souřadnice, které robot potřebuje, aby mohl dílec odebrat. 3D kamera od firmy Pickit je chytrá, malá a výrobci se chlubí snadnou integrací do výrobního systému. Tato kamera pracuje na základě porovnávání naskenovaného obrazu s předem uloženými snímky railů. Kamera dokáže nalézt předem určený bod pro odběr. Pro použití v kombinaci s magnetickým gripprem je to ideální řešení. Kamera je malá, lehká a není náchylná na odlesky. [8]



Obr. 28) 3D kamera od firmy PICKIT

V případě kamer na určení natočení railu a přečtení kódu stačí jednodušší 2D kamera, která bude schopna rozpoznat okraje dílce. Kamera od firmy COGNEX s názvem DATAMAN 470 slibuje zaručené přečtení kódů na různém povrchu. Mírný rádius na těle railu by tedy neměl být problém. Dále slibuje řadu možných 2D aplikací. [9]



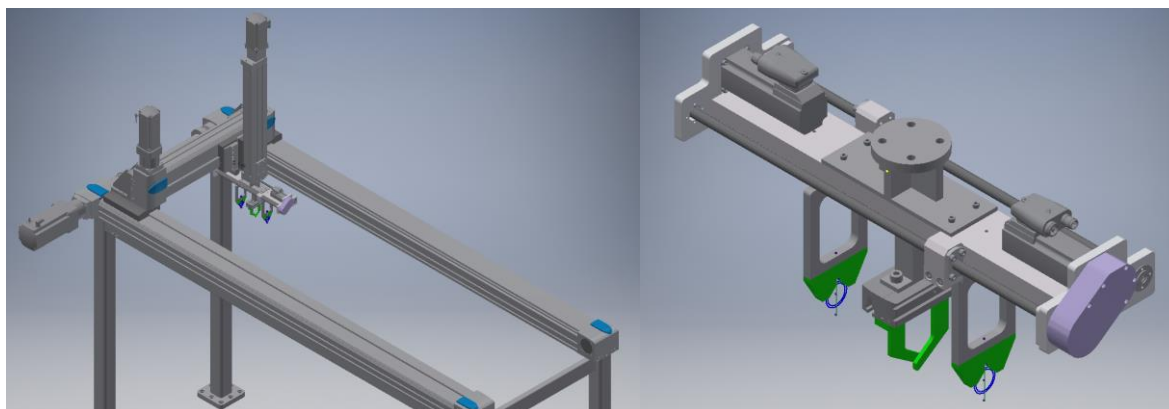
Obr. 29) 2D kamera od firmy COGNEX



### 5.1.6 Dopravník

Poslední z operací prováděných s railem je jeho založení pomocí dopravníku (obrázek 30) A) do výrobní stanice. Oproti většině předešlých variant je zde rozhodnuto ponechat původní koncept zakládání dílců a díky dopravníku se díly umísťují do speciálních „šuplíků“, které používali operátoři. Výhodou je především minimální zásah do přilehlé stanice. Pokud by si vedlejší robot odebíral raily přímo z bubnového terminálu, musela by se přestavět klec stanice a znovu naprogramovat její robot. Takto stačí pouze přidat pár pneumatických válců, které budou komory otevírat a zavírat v závislosti na jejich stavu (plný x prázdný).

K odebrání slouží přestavěný magnetický gripper, který lze spatřit na obrázku 30) B. Místo magnetů jsou umístěny posuvné vidlice, které mají za úkol se zapřít o tělo railu. Uprostřed gripperu je na pevně přidělán pneumatický uchopovač. Ten se skládá z dvou prstů. Ty mají mezi sebou takový úhel, který při stisknutí dílu vyvíjí přítláčnou sílu na protilehlé vidličky.



Obr. 30) A - Dopravník

B - mechanický uchopovač

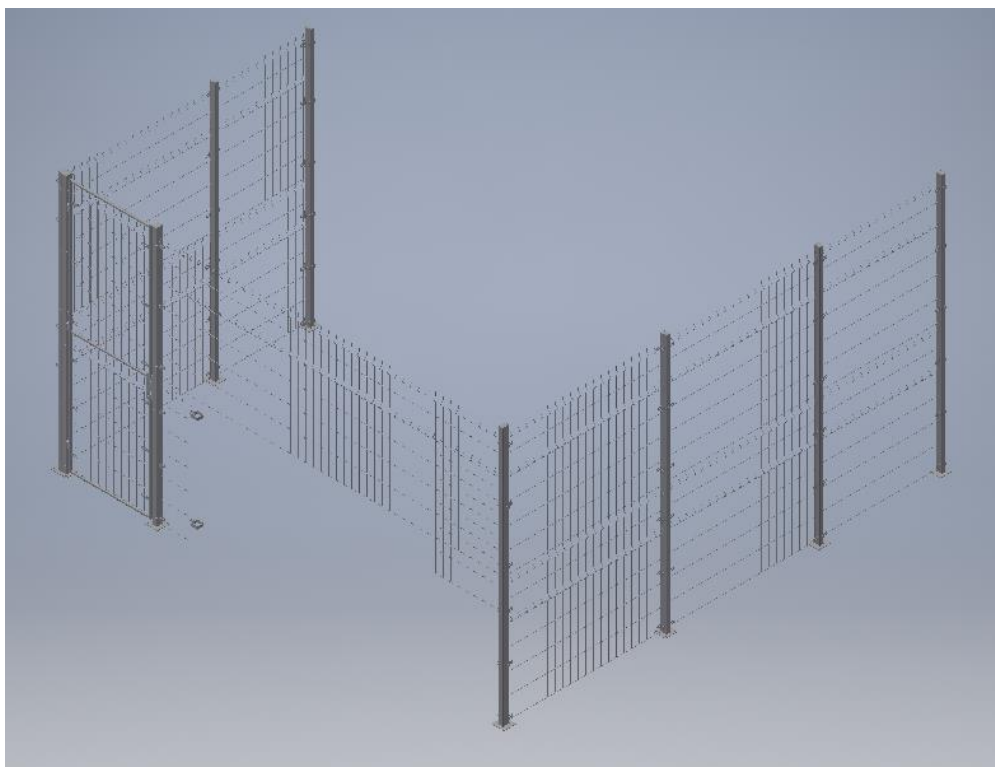
## 5.2 Řešení ergonomie a bezpečnosti

### 5.2.1 Bezpečnostní prvky

Pracoviště zahrnuje depaletizační jednotku s lidskou obsluhou. Proto musí být kladen důraz zejména na bezpečnost člověka během jeho práce. V další řadě musí být řešena přístupová místa do nebezpečných zón a prostorů.

Protože se robotická buňka nachází v otevřeném prostoru, je nezbytné ji bezpečně oddělit od okolí a to vhodnými prvky. Na pracovišti se nachází pohyblivé mechanismy, které mohou člověku ublížit. Zařízení, která se pohybují lineárně a předvídatelně nejsou takovou hrozbou jako robot, který se ve svém prostoru pohybuje velice rychle a zaujímá svá předem nadefinovaná místa. V důsledku této skutečnosti je nezbytné prostor ohraničit bezpečnostními prvky.

Prvním a také základním prvek je oplocení robotické buňky. Bezpečnostní ploty byly vybrány od firmy REM-Technik. Jejich výška je 2700 mm a 100 mm od země a velikost otvorů je 25 x 25 mm. Sloupky mají rozměr 50 x 50 mm a jsou vyztužené s otvory pro přivrtání k zemi. [10]



Obr. 32) Ochranný plot

Bezpečnostní dveře byly vybrány od výrobce REM-Technik. Jejich šířka je 700 mm a mají jednokřídlé otevírání. Bezpečnost a zamykání zajišťuje zámek od firmy Euchner. Model výrobku MGB2 Modular. Výrobce se chlubí robustní strukturou, účinnou ochranou proti nechtěnému otevření a vyražení. Navíc dovoluje uzamknout či odemknout kliku pouze z vnější strany. Jsou opatřeny vnitřní klikou pro případ, že by byl někdo zamčen na pracovišti, lze je zevnitř kdykoliv otevřít. Navíc tento druh zámku umožňuje integrovat více funkcí souvisejících s bezpečností do jednoho zařízení. [11]



Obr. 33) Bezpečnostní zámek [11]

Na lince je přiděleno bezpečnostní signalizační světlo, které ukazuje aktuální stav linky. Zelené světlo značí stav normálního režimu. Červené naopak varuje před nebezpečím a oranžové hlásí abnormální funkci. Tento komponent je umístěn ve větší výšce, díky čemuž lze stav stanice kontrolovat i z větších vzdáleností. [12]



Obr. 34) Bezpečnostní signalizační světlo [12]

### 5.2.2 Druhy nebezpečí na pracovišti

Pro obsluhu jsou nejnebezpečnější místa, která jsou přímo spojená s pracovištěm. Zároveň k těmto místům musí být přístup a proto je třeba je řádně zabezpečit. Jedním z takových míst je například depaletizace.

Potenciální riziko se po řádné analýze dá snížit za pomoci dostupných prostředků a za použití normy ČSN EN ISO 12100 – bezpečnost strojních zařízení.

Riziko lze snížit za pomoci těchto tří možností:

- Opatřením zabudovaným v konstrukci stroje
- Bezpečnostním ochranným opatřením
- Informacemi pro používání strojního zařízení

Pro popis závažnosti škody v dané situaci se používá následující stupnice:

1. Míra poškození:

- S0 - nehrozí škoda, nejedná se o nebezpečí
- S1 - lehké zranění
- S2 - těžké zranění
- S3 – smrt

2. Doba pobytu v oblasti nebezpečí:

- A1 - zřídka až častěji
- A2 - často až trvale

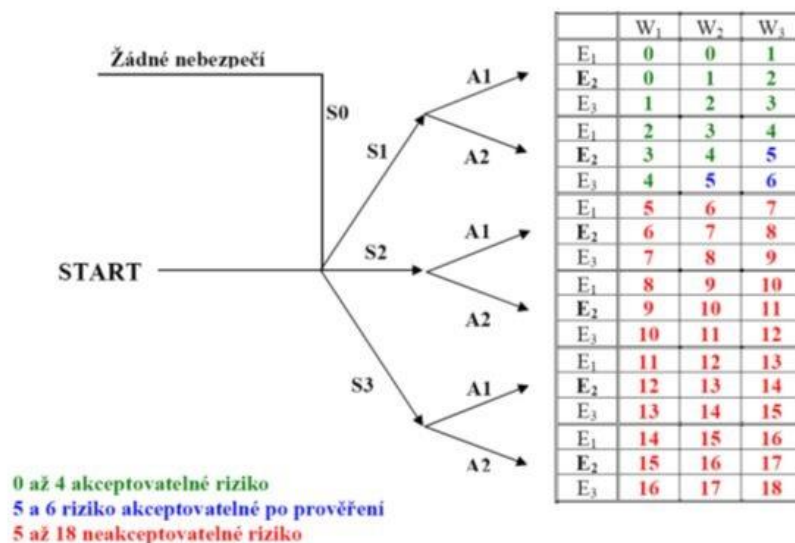
3. Možnost rozpoznání a vyvarování se nebezpečí:

- E1 - možné
- E2 - zřídka možné
- E3 - sotva možné

4. Pravděpodobnost vzniku nebezpečné události:

- W1 – pravděpodobnost vzniku je malá
- W2 - pravděpodobnost vzniku je střední
- W3 - pravděpodobnost vzniku je velká

Velikost odhadovaného rizika se určí z diagramu odhadu rizika. Hodnoty PR mezi 0-4 se považují za akceptovatelné riziko. Vyšší rizika je nutno zmenšit vhodným opatřením.



Obr. 35) Diagram odhadu rizika [14]

	Mechanická nebezpečí:	S	A	E	W	PR
1.	Nebezpečí stlačení či rozdrčení od zdvihu manipulátoru při zavážení	2	1	2	2	7
2.	Nebezpečí upuštění či rozdrčení při pádu předmětu	2	1	1	2	6

Tab 1) Seznam a identifikace rizik při zavážení do depaletizace

Tab 2) Identifikování rizika při zavážení dílců do depaletizace

VUT FSI ÚVSSR	Formulář pro odhad rizika zpracoval: Adam Novák		Stroj: Depaletizační jednotka
Číslo nebezpečí	Označení dle ČSN EN ISO 12100 1. Mechanická nebezpečí		
1	Nebezpečí stlačení či rozdrčení od zdvihu manipulátoru při zavážení		
Životní etapa stroje	Provoz stroje	Nebezpečný prostor: Oblast provozu stroje	
Počáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví:	S2 – těžké zranění	Velikost rizika:  <b>7</b>
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až častěji	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 – možné za určitých okolností	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W2 - střední	
<b>KROK 1:</b>	Opatření zabudovaná v konstrukci (dle ČSN EN ISO 12 100:2010)		
<i>Popis opatření:</i>	<i>Přidání ochranných desek v úrovni pracujících manipulátorů.</i>		
Počáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví:	S2 – těžké zranění	Velikost rizika:  <b>6</b>
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až častěji	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – možné	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W2 - střední	
<b>KROK 2:</b>	Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření (dle CSN EN ISO 12)		
<i>Popis opatření:</i>	<i>Použití ručního vozíku při zavážení</i>		
Počáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví:	S2 – těžké zranění	Velikost rizika:  <b>5</b>
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až častěji	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – možné	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 - malá	
<b>KROK 3:</b>	Informace pro používání (dle CSN EN ISO 12 100:2010)		
<i>Popis opatření:</i>	<i>Určení vhodného času pro navážku, umístit informační tabuli</i>		
Počáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví:	S1 – lehké zranění	Velikost rizika:  <b>0</b>
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až častěji	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – možné	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 - malá	

VUT FSI ÚVSSR	Formulář pro odhad rizika zpracoval: Adam Novák		Stroj: Depaletizační jednotka
			Datum:20.4.2019
Číslo nebezpečí	Označení dle ČSN EN ISO 12100 1. Mechanická nebezpečí		
2	Nebezpečí upustění či rozdrčení při pádu předmětu		
Životní etapa stroje	Provoz stroje	Nebezpečný prostor: Oblast provozu stroje	
Pořáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví:	S2 – těžké zranění	Velikost rizika:
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až častěji	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – možné	<b>6</b>
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W2 - střední	
<b>KROK 1:</b>	Opatření zabudovaná v konstrukci (dle ČSN EN ISO 12 100:2010)		
<i>Popis opatření:</i>			
Pořáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví:	S2 – těžké zranění	Velikost rizika:
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až častěji	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – možné	<b>6</b>
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W2 - střední	
<b>KROK 2:</b>	Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření (dle CSN EN ISO 12)		
<i>Popis opatření:</i>	<i>Použití pracovních bot</i>		
Pořáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví:	S1 – lehké zranění	Velikost rizika:
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až častěji	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – možné	<b>0</b>
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W2 - střední	
<b>KROK 3:</b>	Informace pro používání (dle CSN EN ISO 12 100:2010)		
<i>Popis opatření:</i>	<i>Přidat informační tabuli o nebezpečí pádu v kritických momentech depaletizace</i>		
Pořáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví:	S1 – lehké zranění	Velikost rizika:
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až častěji	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – možné	<b>0</b>
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 - malá	

## 6 SIMULACE

Simulace začala vyexportováním jednotlivých sestav do formátu JT. Ty byly následně předány do jednotlivých složek, které dostali příponu .cojt. Aby bylo možno se soubory pracovat, bylo nutné komponenty nadefinovat. Process Simulate má na to vlastní způsob. Pomocí Define Component jsem vybral mnou vytvořené složky a přiřadil k nim vhodný atribut. Většina byla pojata jako Device, což je velice univerzální pojetí. Následně byly komponenty pomocí Insert Component vloženy do simulačního rozhraní programu. Dále byli díky funkci Placement Manipulator nebo Relocate vhodně složeny.

Simulace začínala depaletizací. Pro pohyby jako je posun po lineární ose či sevření pneumatických kleští, slouží Kinematics Editor. V něm je možné vybírat různé části sestav a určovat jejich pohyby vůči sobě. Směr pohybu se zadává jako vektor, který lze vybrat kdekoliv v simulačním prostředí. Dále je možné určit limit, do jaké vzdálenosti se posune, či úhel, o který se díl nakloní. Jako nezkušený jsem si hned na začátku do blistru narovnal raily, které však spadali pod sestavu depaletizace, tudíž mě zanedlouho čekalo překvapení. Pokud jsou všechna tělesa na sebe správně navázána, lze začít s vytvářením pohybů dílů. K tomu je nutné otevřít si Pose editor. Tam lze vidět všechny vytvořené vazby. Okno dále zobrazuje i momentální polohu, od původního umístění. Lze tak sestavu nastavit do požadované polohy tu posléze uložit.

Označením tělesa pravým tlačítkem se objeví v menu možnost New Device Operation. Po rozkliknutí se zobrazí panel, ve kterém je možné zvolit z jaké a do jaké pozice se má objekt (či objekty pohnout). Vytvořené pohyby se musí dát do kompozice a následně ji přetáhnout do Sequence Editoru. Zobrazí se uživatelsky přívětivá časová osa, kde lze jednotlivými částmi hýbat a nastavovat délku jejich trvání. Takto lze vytvořit simulace objektů, co nejsou robot.

Pro díly, které budou robotem uchopovány je však lepší zvolit operaci New Object Flow nebo pokud jsou něčím unášeny, tak Event Attach.

Aby mohl robot fungovat, je potřeba stáhnout buď již předpřipravený model anebo je ho nutno nadefinovat a vytvořit mu vlastní kinematiku. Já jsem zvolil možnost stáhnout připravený soubor ze stránek KUKA.

Následovalo nasazení gripperu. Pro to aby robot věděl kde má dílce uchopit, je nutné vytvořit nové souřadnicové systémy na gripperu a to jeden pro samotné nasazení efektoru a druhé jako operační bod.

Samotný pohyb robotu lze buď pomocí funkce robot jog. Anebo má i své vlastní funkce, jako Pick and Place, kdy robot uchopí zvolený předmět a odnese ho na určené místo, nebo Gripper Operation, kde může kdykoliv chytat a upouštět tělesa.

Pro moje zadání bylo tvoření simulací více o Kinematics Editoru, ale robot jsem musel rozhýbat také.

## 7 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Čas cyklu nové linky je pravděpodobně něco okolo 15 sekund. To bohatě stačí k tomu, aby se v tomto ohledu dalo považovat navržení buňky za úspěšné. Otázkou nyní zůstává, zdali se to opravdu vyplatilo a zda se návratnost investice ukáže jako výhodná.

Před robotizací na lince pracoval jeden člověk ve třísměnném provozu. Pokud řekneme, že zaměstnanec bere 650 000 Kč, tak za třísměnný provoz bude ušetřeno 1 950 000 Kč. Nyní zkusíme odhadnout, na kolik kompletní linka mohla vyjít.

Tab 3) Technicko-ekonomické zhodnocení

Odebrání antikoroziního papíru			
Položka	Počet/metry	Cena [CZK]	Součet [CZK]
Přísavky	4	3 750,00 Kč	15 000,00 Kč
Pneu. válec	1	5 000,00 Kč	5 000,00 Kč
Držák	1	2 000,00 Kč	2 000,00 Kč
Profil 45x45	1,5	700,00 Kč	1 050,00 Kč
Servopohon + osa	1	75 000,00 Kč	75 000,00 Kč
Odkládací prostor	1	5 000,00 Kč	5 000,00 Kč
Drobné dílce	1	5 000,00 Kč	5 000,00 Kč
<b>Suma:</b>			<b>108 050,00 Kč</b>
Robot			
Položka	Počet/metry	Cena [CZK]	Součet [CZK]
Robot KUKA KR AGILUS	1	700 000,00 Kč	700 000,00 Kč
Řízení	1	200 000,00 Kč	200 000,00 Kč
<b>Suma:</b>			<b>900 000,00 Kč</b>
Gripper			
Položka	Počet/metry	Cena [CZK]	Součet [CZK]
Tělo gripperu	1	4 000,00 Kč	4 000,00 Kč
Servopohon	2	50 000,00 Kč	100 000,00 Kč
Příruba	1	5 000,00 Kč	5 000,00 Kč
Držák	2	500,00 Kč	1 000,00 Kč
Vodící šroub	1	400,00	400,00 Kč
Lineární vedení	0,5	4 000,00	2 000,00 Kč
Lineární pojezd	2	1 000,00	2 000,00 Kč
Desky boční	2	1 500,00	3 000,00 Kč
Ložisko	4	20,00	80,00 Kč
Kryt	2	500,00	1 000,00 Kč
Magnety	2	8 000,00	16 000,00 Kč
Drobné dílce	1	1 000,00	1 000,00 Kč
<b>Suma</b>			<b>135 480,00 Kč</b>





Kamery			
Položka	Počet/metry	Cena [CZK]	Součet [CZK]
3D kamera	1	400 000,00 Kč	400 000,00 Kč
2D kamera	2	75 000,00 Kč	150 000,00 Kč
<b>Suma</b>			<b>550 000,00 Kč</b>
Depaletizace			
Položka	Počet/metry	Cena [CZK]	Součet [CZK]
Profil 90x90	20	1 800,00	36 000,00
Profil 90x45	8	1 600,00	12 800,00
Profil 180x45	2	2 000,00	4 000,00
Profil 60x45	16	1 200,00	19 200,00
Servopohon + osa	1	150 000,00	150 000,00
Lineární vedení	5	4 000,00	20 000,00
Lineární pojezd	4	1 000,00	4 000,00
Vrchní deska	1	10 000,00	10 000,00
Pneumatický 700mm	2	8 000,00	16 000,00
Pneumatický 20mm	4	1 000,00	4 000,00
Pneumatický 200mm	2	2 000,00	4 000,00
Vidlice	6	2 500,00	15 000,00
Krycí desky bok	2	3 000,00	6 000,00
Krycí desky vršek	3	1 500,00	4 500,00
Ocelový rám	1	70 000,00	70 000,00
Drobné plechové dílce	1	10 000,00	10 000,00
Drobné dílce	1	20 000,00	20 000,00
Snímače válců	1	20 000,00	20 000,00
<b>Suma</b>			<b>425 500,00</b>
Dopravník			
Položka	Počet/metry	Cena [CZK]	Součet [CZK]
Servopohon + osa Y	1	100 000,00 Kč	100 000,00 Kč
Servopohon + osay X	1	200 000,00 Kč	200 000,00 Kč
Servopohon + osa Z	1	80,00 Kč	80,00 Kč
Ocelová konstrukce	1	60 000,00 Kč	60 000,00 Kč
Hřídel	1	15 000,00 Kč	15 000,00 Kč
Gripper	1	100 000,00 Kč	100 000,00 Kč
Drobné dílce	1	10 000,00 Kč	10 000,00 Kč
<b>Suma</b>			<b>485 080,00 Kč</b>
Portálový buben			
Položka	Počet/metry	Cena [CZK]	Součet [CZK]
Rám stolu	1	80 000,00 Kč	80 000,00 Kč
Synchronní servo posuv	2	30 000,00 Kč	60 000,00 Kč
Zvedací pneum. váleček	2	2 500,00 Kč	5 000,00 Kč
Nosná část pro natáčení	2	6 000,00 Kč	12 000,00 Kč
Válec s vedením	2	10 000,00 Kč	20 000,00 Kč
Upínací kužel	2	5 000,00 Kč	10 000,00 Kč
Servo pro natáčení s převodovkou	2	25 000,00 Kč	50 000,00 Kč
Drobné díly	3	5 000,00 Kč	15 000,00 Kč

Krokový motor pro pozicování kamery	1	30 000,00 Kč	30 000,00 Kč
Markátor	1	280 000,00 Kč	280 000,00 Kč
Servo s osou pro markátor	1	50 000,00 Kč	50 000,00 Kč
Konzola pro markátor	1	10 000,00 Kč	10 000,00 Kč
Podpěra	1	2 000,00 Kč	2 000,00 Kč
Válec s vedením	1	10 000,00 Kč	10 000,00 Kč
<b>Suma</b>			<b>634 000,00 Kč</b>
Ostatní			
Položka	Počet/metry	Cena [CZK]	Součet [CZK]
Klec	1	20 000,00 Kč	20 000,00
Rozvaděč	1	150 000,00 Kč	150 000,00
Pneumatika - hadičky, rozvod	1	30 000,00 Kč	30 000,00
<b>Suma</b>			<b>200 000,00 Kč</b>

Po součtu všech výsledných cen se dostaneme na 3 438 110 Kč. Do výsledné sumy však není ještě zahrnuta lidská práce. Pokud zprůměrujeme plat konstruktérů, elektrikářů, programátorů montérů a ostatních účastnících se osob, tak při připočtení této sumy k ceně návrhu již můžeme dostat alepoň přibližnou cenu výdajů. Vezměme tedy, že průměrný plat je 30 000 Kč hrubé mzdy a projekt všem zúčastněným dohromady zabral 950 hodin. Dle internetového zdroje [www.grafie.cz](http://www.grafie.cz) [15] stojí zaměstnanec s 30 000 Kč mzdou firmu v přepočtu 437 Kč na hodinu. Pomocí lehké matiky lze nyní spočítat, že celkový výdaj se vyšplhá až na 3 853 260 Kč.

Návratnost investice lze vypočítat z následujícího vztahu.

$$t = \frac{N_C}{N_U} [\text{roky}] \quad (1)$$

$$t = \frac{3\,853\,260 \text{ Kč}}{1\,950\,000 \text{ Kč}}$$

$$t = 1,97603 \text{ roků}$$

Kde:

$N_C$  - pořizovací náklady [Kč]

$N_U$  - uspořené náklady [Kč]

t - doba návratnosti [roky]

Návratnost dle vzorce vyšla necelé dva roky, což je poměrně uspokojivý výsledek. [16]

## 8 ZÁVĚR

Podarilo se vytvořit návrh robotické buňky, která dokáže plně automaticky vykonávat zadanou činnost. Konečný koncept je výsledkem neustálého zdokonalování a upravování předešlých verzí. Po dokončení byla ještě vytvořena simulace, která ověřila funkčnost celého procesu. Při její tvorbě se často stávalo, že najednou již nebylo možné pokračovat, protože proces narazil na problém v konstrukci, který nebylo možné obejít. Zajisté je díky tomu výsledný model mnohem reálnější.

Prvním krokem bylo jasně si určit zadání a zanalyzovat veškeré vstupní parametry. Nejprve se zdálo, že nalézt řešení bude velice obtížné, protože dílce určené k vyndání z přepravky byly značně tvarově složité. To stejné platilo i o blistrech, ve kterých přicházeli na stanici. Ve spleti konektorů, výstupků a puků zkrátka nebylo snadné vidět žádné reálné řešení. Vše se změnilo, když se na problém pohlédlo z nadhledem. Najednou si člověk uvědomí, že i když v přepravce nezbývá místo ani pro prst gripperu, tak na povrchu je ho dostatek.

Následovalo vymýšlení různých variant. Potíží nebyl pouze návrh koncového efektoru. Samotná depaletizace také nabízela řadu problémů. Přijít na způsob jak zařídit co nejrychlejší výměnu prázdného blistru za nový a nezdržovat tak všechny ostatní operace.

Nakonec bylo nalezeno řešení, které s největší pravděpodobností pokoří svojí rychlostí i sousední robot. Bohužel výsledný takt vybrané varianty nelze dobře ověřit simulací, protože program Siemens Process Simulate pracuje především s roboty. U aplikace, která byla použita na manipulaci s raily je dílec po drtivou většinu času poháněn buď pneumatickým či elektrickým pohonem. To je důvod proč nelze vyvodit přesný takt a můžeme ho pouze odhadovat, tak jako u předchozích variant.

Na závěr se nesmí opomenout ani výborná návratnost projektu, díky které by se investice měla vrátit již do dvou let. Na druhou stranu postup při jejím výpočtu a odhad cen nemusel být vždy úplně přesný.

I přes namáhavou práci jsem rád, že jsem si zkusil jak automatizaci, tak simulaci celého projektu.



## 9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Uchopovací systémy. [online]. Copyright © Autorská práva 2019 SCHUNK GmbH [cit. 20.05.2019]. Dostupné z: [https://schunk.com/cz\\_cs/uchopovaci-systemy/category/uchopovaci-systemy/uchopovace-schunk/magneticke-uchopovadlo/Článek](https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/category/uchopovaci-systemy/uchopovace-schunk/magneticke-uchopovadlo/Článek)
- [2] Trh a technologie. [online]. Copyright © Autorská práva 2019 SCHUNK GmbH [cit. 20.05.2019]. Dostupné z: [https://schunk.com/cz\\_cs/novinky/highlights/trh-a-technologie/article/3967-prakticke-upinani-magnetem/](https://schunk.com/cz_cs/novinky/highlights/trh-a-technologie/article/3967-prakticke-upinani-magnetem/)
- [3] Magnetic Grippers SGM-HP/-HT > Special Grippers | Schmalz. [online]. Copyright © J. Schmalz GmbH [cit. 20.05.2019]. Dostupné z: <https://www.schmalz.com/en/vacuum-technology-for-automation/vacuum-components/special-grippers/magnetic-grippers/magnetic-grippers-sgm-hp-ht>
- [4] Why bin picking is so difficult. Blog | Pick-it [online]. Copyright © 2019 Pick [cit. 20.05.2019]. Dostupné z: <https://blog.pickit3d.com/why-bin-picking-is-difficult>
- [5] pohony s vřetenem | Festo Czech Republic. [online]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/en\\_gb\\_gb/data/doc\\_CS/PDF/CZ/DGE-SP\\_CZ.PDF](https://www.festo.com/cat/en_gb_gb/data/doc_CS/PDF/CZ/DGE-SP_CZ.PDF)
- [6] výrobky | Festo Czech Republic. [online]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/cs\\_cz/products](https://www.festo.com/cat/cs_cz/products)
- [7] KR AGILUS | KUKA AG. industrial intelligence 4.0\_beyond automation | KUKA AG [online]. Copyright © KUKA AG 2019 [cit. 20.05.2019]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/pr%C5%AFmyslov%C3%A9-roboty/kr-agilus>
- [8] 3D camera | Pick-it. A plug and play 3D vision product at a fixed price [online]. Copyright © 2019 Pick [cit. 20.05.2019]. Dostupné z: <https://www.pickit3d.com/product/pick-it-3d-camera>
- [9] Fixed DPM and barcode reader / 2D / industrial - DataMan 470 - Cognex Corporation. DirectIndustry - The online industrial exhibition: sensors, automation, motors, pumps, materials handling, packaging, etc. [online]. Copyright © 2019 [cit. 20.05.2019]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/cognex-corporation/product-23274-1984935.html>
- [10] Bezpečnostní oplocení strojů - REM-Technik - Průmyslová a domovní automatizace. REM-Technik - Průmyslová a domovní automatizace [online]. Dostupné z: <https://www.rem-technik.cz/bezpecnostni-systemy/bezpecnostni-oploceni-stroju/bezpecnostni-oploceni-stroju-1308.html>
- [11] MGB2 Modular « Euchner. Euchner [online]. Copyright © 2019 Euchner Electric s.r.o. [cit. 20.05.2019]. Dostupné z: <http://www.euchner.cz/vice/mgb2-modular/>
- [12] The importance of signs and colors | Cortem Group. [online]. Dostupné z: <https://www.cortemgroup.com/en/about-ex/technical-articles/importance-signs-and-colors>
- [13] ČSN EN ISO 12100. Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 106 s.

- [14] Rizika a nebezpečí související se strojním zařízením | BOZPinfo.cz. BOZPinfo - Časopis JOSRA [online]. Copyright © 2002 [cit. 24.05.2019]. Dostupné z: <https://www.bozpinfo.cz/rizika-nebezpeci-souvisejici-se-strojnim-zarizenim>
- [15] Kalkulace návratnosti investice | GRAFIE CZ. GRAFIE CZ | Pomáháme Vám být úspěšní [online]. Copyright © 2018 GRAFIE CZ, spol. s r. o. [cit. 24.05.2019]. Dostupné z: <http://www.grafie.cz/automatizace/kalkulace-navratnosti-investice/>

# 10 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

## 10.1 Seznam tabulek

TAB 1)	SEZNAM A IDENTIFIKACE RIZIK PŘI ZAVÁŽENÍ DO DEPALETIZACE	45
TAB 2)	IDENTIFIKOVÁNÍ RIZIKA PŘI ZAVÁŽENÍ DÍLCŮ DO DEPALETIZACE	45
TAB 3)	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	48

## 10.2 Seznam zkratk a symbolů

$N_U$	Uspořené náklady [Kč]
$N_C$	Pořizovací náklady [Kč]
t	Doba návratnosti [roky]

## 10.3 Seznam obrázků

Obr. 1)	Původní stav linky .....	17
Obr. 2)	Vyznačené dovolené a zakázané plochy na dvou druzích railů .....	18
Obr. 3)	Blistr na raily .....	19
Obr. 4)	Profil puků v blistru .....	19
Obr. 5)	Uložení kusů v přepravce .....	20
Obr. 6)	Příklad mechanického prstu.....	21
Obr. 7)	Pernamentní elektromagnet [2] .....	22
Obr. 8)	Pneumatický magnet [3] .....	23
Obr. 9)	Držák magnetu.....	23
Obr. 10)	Magnetický gripper.....	24
Obr. 11)	Varianta A.....	25
Obr. 12)	Depaletizace - varianta A .....	26
Obr. 13)	Varianta B .....	27
Obr. 14)	Depaletizace – varianta B .....	28
Obr. 15)	Varianta C .....	29
Obr. 16)	Varianta C .....	30
Obr. 17)	Varianta D.....	31
Obr. 18)	Detailní popis práce na terminálu .....	32
Obr. 36)	Celkový pohled na model pracoviště .....	33
Obr. 19)	Layout robotické buňky .....	34
Obr. 20)	Depaletizace – detail.....	35
Obr. 21)	Depaletizace - celkový pohled.....	35

Obr. 22)	Festo – vřetenový pohon DGE-SP-KF [5] .....	36
Obr. 23)	Ocelový rám .....	36
Obr. 24)	Ocelový rám .....	36
Obr. 25)	Robot KUKA KR AGILUS [7].....	37
Obr. 26)	Bubnový terminál – detail 1 .....	38
Obr. 27)	Bubnový terminál – detail 2 .....	39
Obr. 28)	3D kamera od firmy Pickit .....	40
Obr. 29)	2D kamera od firmy COXNEX.....	40
Obr. 30)	A - Dopravník B - mechanický uchopovač .....	41
Obr. 31)	Oplocení robotu .....	42
Obr. 32)	Ochranný plot .....	42
Obr. 33)	Bezpečnostní zámek [11] .....	43
Obr. 34)	Bezpečnostní signalizační světlo [12] .....	43
Obr. 35)	Diagram odhadu rizika [14] .....	44



## 11 SEZNAM PŘÍLOH

Model stanice ve formátu STEP

Elektronickou verzi diplomové práce

Výkresy ve formátu PDF

Video simulace