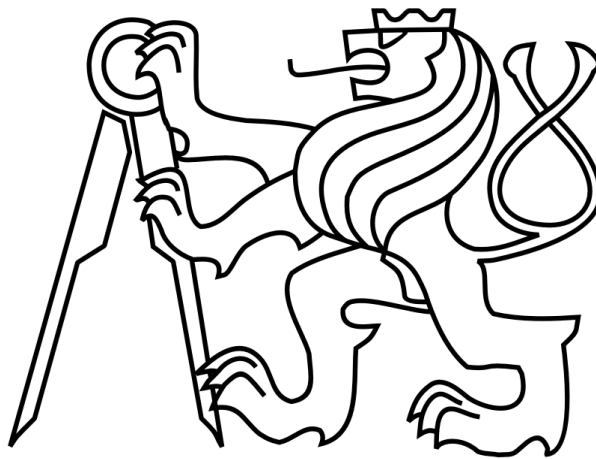


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



Diplomová práce

Návrh automatizace uzavírání papírových krabic se zámkem

Bc. Jaroslav Seifrt

2023

1825

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Seifrt** Jméno: **Jaroslav** Osobní číslo: **482588**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav výrobních strojů a zařízení**
Studijní program: **Robotika a výrobní technika**
Specializace: **Výrobní technika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Návrh automatizace uzavírání papírových krabic se zámkem

Název diplomové práce anglicky:

Automation of closing paper boxes with a lock

Pokyny pro vypracování:

Popis tématu: Práce se bude zabývat automatizací uzavírání víka papírových krabic vybavených pojistným zámkem. Krabice budou jednoho typu a se stejným pojistným mechanismem, ale v různých rozměrových řadách. Automatizace je určena pro balení kalíšků ve firmě Crystal Bohemia. Osnova práce: Rešerše automatických systémů pro zavírání krabic včetně krabic s pojistkou proti otevření; Koncepční návrh několika variant řešení zavírání krabic se zámkem a jejich porovnání; Detailní rozpracování vybraného návrhu včetně vytvoření 3D modelu pracoviště; Virtuální oživení pracoviště a simulační testování. Rozsah textové části: 60 - 80 stran; Rozsah grafické části: 3D model pracoviště, výkres vybraného uzlu.

Seznam doporučené literatury:

Andriik, Vladimír, Průmyslové roboty a manipulátory, ČVUT v Praze, 2012;

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Jiří Švéda, Ph.D. ústav výrobních strojů a zařízení FS

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

doc. Ing. Petr Kolář, Ph.D. ústav výrobních strojů a zařízení FS

Datum zadání diplomové práce: **17.04.2023** Termín odevzdání diplomové práce: **24.07.2023**

Platnost zadání diplomové práce: **24.09.2023**

Ing. Jiří Švéda, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Petr Kolář, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
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 svou diplomovou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl v příloženém seznamu veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1. 7. 2009.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 24.7.2023

.....
podpis

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucím, panu Ing. Jiřímu Švédovi Ph.D. a konzultantovi doc. Ing. Petru Kolářovi Ph.D. za jejich vedení, rady a připomínky k mé práci. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu při psaní práce a jmenovitě své ženě za podporu a trpělivost.

Anotace

Autor:	Jaroslav Seifrt
Název diplomové práce:	Návrh automatizace uzavírání papírových krabic se zámkem
Rozsah práce:	96 stran, 56 obrázků, 4 tabulky
Školní rok:	2022/2023
Škola:	ČVUT v Praze, Fakulta strojní
Ústav:	Ústav výrobních strojů a zařízení
Vedoucí diplomové práce:	Ing. Jiří Švéda, Ph.D.
Konzultant:	doc. Ing. Petr Kolář, Ph.D.
Zadavatel:	Crystal BOHEMIA, a.s.
Využití:	Zautomatizování zavíracího uzlu balicí linky
Klíčová slova:	Automatizace, Robotizace, Kartonážní linky, Zavírací uzel, Pojištění proti otevření, Fyzikální simulace, Časová simulace
Anotace:	<p>Práce se zabývá návrhem automatizace zavíracího uzlu balicí linky s kartonovými krabicemi s pojištěním proti otevření pomocí zámků. Cílem je vytvořit rešerši využívaných principů a známých řešení a na jejím základě navrhnou několik variant a vhodnou variantu rozpracovat. Byla vybrána varianta s kombinací lištového a robotického principu. V rámci návrhu byly vytvořeny návrhové simulace a to fyzikální a časové. Podle fyzikální simulace bylo vybráno konkrétní robotické rameno. Časové simulace byly ověřeny na fyzickém robotu a bylo na základě nich navrženo rozložení pracoviště. Na základě těchto simulací a dalších návrhových výpočtů a byl vytvořen konstrukční návrh, návrh řízení tohoto uzlu a simulační model pro další využití.</p>

Annotation

Author:	Jaroslav Seifrt
Title of master dissertation:	Návrh automatizace uzavírání papírových krabic se zámkem
Extent:	96 pages, 56 images, 4 tables
Academic year:	2022/2023
Škola:	CTU - Fakulty of Mechanical Engineering
Ústav:	Department of Production Machines and Equipment
Supervisor:	Ing. Jiří Švéda, Ph.D.
Consultant:	doc. Ing. Petr Kolář, Ph.D.
Sunmitter of the Theme:	Crystal BOHEMIA, a.s.
Application:	Automation of the packaging line closing node
Klíčová slova:	Automation, Robotics, Cartooning lines, Closing node, Opening protection, Physical simulation, Time simulation
Anotace:	<p>The thesis deals with the design of automation of the closing node of the packaging line with carton boxes with protection against opening by means of a lock. The aim is to make a research of used principles and known solutions and on the basis of this research to propose several variants and to elaborate a suitable one. A variant with a combination of slat and robotic principles was selected. As part of the design, design simulations were created, namely physical and time simulations. According to the physical simulation, a specific robotic arm was selected. The temporal simulations were verified on the physical robot and the workstation layout was designed based on these simulations. Based on these simulations and other design calculations, the structural design, control design of this node and the simulation model for further use were developed.</p>

Obsah

1 Úvod	9
2 Cíl práce	10
3 Stav poznání	11
3.1 Automatizace a robotizace	11
3.2 Automatizace v balicích procesech	12
3.3 Principy skládání a zavírání krabic	17
3.4 balicích kartonážních linek	24
3.5 Zavírací uzel balicích kartonážních linek	30
3.6 Závěr řešerše	39
4 Volba konceptu řešení	41
4.1 Uzavíraná krabice	43
4.2 Výstupy z řešerše pro návrh variant řešení	44
4.3 Varianta s využitím lištové dráhy	45
4.4 Varianta s plně robotickým zavíráním	47
4.5 Varianta s paralelogramickou houpačkou	49
4.6 Varianta se střechovým přípravkem	51
4.7 Výběr finální varianty	52
5 Rozpracování vybrané varianty	53
5.1 Popis vybraného konceptu zavíracího uzlu	53
5.2 Navržení pohybů	55
5.3 Fyzikální simulace	57
5.4 Výběr robotu	62
5.5 Časová simulace	64
5.6 Rozložení pracoviště	66
5.7 Návrh lištové části pracoviště	69
6 Konstrukční řešení pracoviště	72
6.1 Efektor	72



6.2	Sklápění bočních chlopní	73
6.3	Přihýbání víka	74
6.4	Přidržování víka	76
6.5	Vozík	77
7	Popis funkce a návrh řízení	79
7.1	Návrh řízení	79
7.2	Popis kompletní funkce uzlu	82
7.3	Simulace uzavíracího uzlu	83
8	Závěr	86
	Seznamy	88

Seznam použitých veličin a zkratek

Zkratka	Název	Jednotky
P_{VS}	Výkon výrobní linky	$\frac{\text{Sklenice}}{\text{Minuta}}$
P_{VK}	Výkon výrobní linky přepočtený na krabice	$\frac{\text{Krabice}}{\text{Minuta}}$
N_{SK}	Počet sklenic v krabici	$\frac{\text{Krabice}}{\text{Sklenice}}$
T_B	Takt balicí linky	s
η_V	Spolehlivost výrobní linky	
$\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, \gamma_1, \gamma_2$	Úhly kinematické konfigurace krabice	°
v_{max}	Maximální výška krabice	mm
s_{kmax}	Maximální šířka krabice	mm
V_{rmax}	Horní poloha manipulátoru sklápěče	mm
d_r	Délka ramene střešového přípravku	mm
H_r	Horizontální rozjezd manipulátoru sklápěče	mm
H_d	Horizontální rozteč vozíků v dopravníku	mm
c_V	Rychlost vozíku	$\frac{\text{mm}}{\text{s}}$

1 Úvod

Práce se zabývá návrhem automatizace zavíracího uzlu pro balicí linku ve sklářském průmyslu. Automatizace obecně vede k vyšší efektivitě provozu a ke snížení zátěže lidských pracovníků. V podniku, na který se tato práce váže, je téměř celý proces výroby plně automatizován, což neznamená, že se obejde bez pracovníků. Naopak je potřeba jejich vyšší kvalifikace a schopnost. Poslední částí, která není automatizovaná, je balení a skladování výrobků. Tato práce se zabývá právě procesem balení, a konkrétně zavíracím uzlem. Pro toto odvětví je typický důraz na kvalitní zabalení do prodejních obalů, které zvyšují prodejnost a reprezentují firmu. Díky těmto vlastnostem je zavírání náročnější, než v jiných odvětvích. Návrh automatizace tohoto uzlu by měl přispět k následnému zautomatizování celého balicího procesu.

Práce se zabývá v první části rešerší stávajících řešení a také teoretických přístupů k této problematice. Na základě rešerše jsou navrženy možné koncepce a vybrána nejvýhodnější varianta, která je zpracována podrobněji. Jsou provedeny základní návrhové výpočty, fyzikální a časové simulace podpořené dílčími testy, vytvořen konstrukční návrh reprezentovaný 3D modelem a sestavnými výkresy, navrženo řízení a vytvořen simulační model pro další analýzu.

2 Cíl práce

Cílem práce je navrhnout automatizaci pro zavírací uzel balicí linky. Vstupem do tohoto uzlu je otevřená krabice s pojistným zámkem naplněná sklenicemi, výstupem je pak zavřená krabice. Krabice je typická dvěma bočními chlopněmi, víkem se zasouvací chlopní a zámkem, který zajišťuje spolehlivost uzavření krabice. Tento uzel má být variabilní pro různé rozměrové řady krabic se stejnými zavíracími mechanismy.

Cílem práce je vytvoření řešerše v oblasti zavírání kartonových krabic a kartonážních linek, dále navržení několika možných řešení na základě této řešerše a rozpracování vybrané varianty reprezentované 3D modelem a simulačním modelem. Dané řešení musí respektovat zadané portfolio krabic, takt současně výrobní linky a další požadavky specifikované v zadání.

3 Stav poznání

V oblasti balicích procesů, kterými se tato práce zabývá, je automatizace velmi hojně využívána. Tato rešerše se zabývá obecně automatizací balicích procesů, a to zejména pro prodejní obaly, u kterých je automatizace komplikovanější a také méně rozšířená. Dále se rešerše zabývá principy při skládání kartonů a jejich matematickým modelováním a následně konkrétními příklady balicích linek pro kartonové krabice, zejména pak jejich zavíracími uzly, na které je tato práce zaměřena především.

3.1 Automatizace a robotizace

Jedním ze základních prvků automatizace jsou manipulátory a průmyslové roboty. Ty likvidují namáhavou a monotónní práci lidí a zajišťují větší bezpečnost, rychlost a přesnost výroby. Tyto manipulátory lze dělit do několika skupin. Nejjednodušší jsou jednoúčelové manipulátory, které jsou spojeny s konkrétním strojem a dílcem. Následují manipulátory univerzální, které mají širší rozsah a nejsou závislé na daném stroji a dílci. Synchronní manipulátory pouze přenáší pohyby člověka a slouží pro jemnou práci, nebo pro pohyb v nebezpečném prostředí. Podstatné jsou dnes zejména programovatelné systémy. Manipulátory s pevným a pružným programem a následně průmyslové roboty využívají program, podle kterého plní své zadání, ať už se jedná o program fyzický (vačka), či softwarový. Poslední fází jsou kognitivní roboty, které umožňují automatické úpravy, či generování kódu.[1]

V dnešním průmyslu je automatizace zásadním prvkem pro snižování výrobních a vedlejších časů, pro snižování zátěže lidských pracovníků a pro zvyšování efektivity a produktivity. Díky automatizaci je možné produkovat výrobky s menšími náklady a ve vyšší kvalitě. Pro automatizaci se hodí nejlépe úlohy s velkým množstvím repetitivních úkonů, které lze jednoduše provádět pomocí manipulátorů, či jiných jednoduchých mechanismů. Automatizaci lze využít také pro složitější úlohy, nicméně je třeba dobře uvážit, zda se taková automatizace vyplatí. Pro velmi náročné aplikace, kde se variabilně mění požadovaná činnost, není často klasická automatizace výhodná, ale využívá různých druhů pružné automatizace, či adaptabilní automatizace. Zde pak záleží zejména na návratnosti investice.[5]

Příkladem takového využití může být 3D Binpicking, kde je za pomoci kamero-

vého systému naváděno robotické rameno při manipulaci s výrobky. Pro takto pružnou automatizaci se často využívají průmyslové roboty, u kterých je možné snadno měnit zadaný úkol změnou programu. Velkým posunem v této oblasti je také využití externí automatiky. Ta umožňuje měnit program, či jeho parametry za běhu pomocí nadřazeného systému napojeného na snímače, či simulační model. Na příklad pro KUKA sunrise OS funguje následovně. V systému robotu se nachází výchozí aplikace, která je navolena automaticky po přepnutí do režimu externí automatiky. Tato aplikace reaguje na vstupy z PLC, které ovlivňují výběr jednotlivých programů, které se odbavují a následně také jejich běh, který může zastavovat a znovu spouštět. Jednotlivé programy mohou být také parametrické a parametry do nich mohou být předávány právě díky externí automatice z nadřazeného PLC. Vyšší formou externí automatiky je ovládní z PLC přímo jednotlivých pohybů robotu. Pro roboty KUKA k tomu slouží funkce mxAutomation.[3]

Samotná automatizace nepřináší pouze zvýšení produktivity, snížení množství lidské práce a zlevnění celé výroby. Dalším efektem je dopad na práci lidí, kdy se některé pozice díky automatizaci vytrácejí. Jedná se však zejména o pozice, kde je práce často fyzicky náročná, repetitivní a jednotvárná. Naopak další pozice díky automatizaci vznikají. Automatizace také přináší úsporu času a tím možnost se na jednotlivé projekty více zaměřit a tím předejít zbytečným chybám.[4]

3.2 Automatizace v balicích procesech

Pro tuto práci je zásadní automatizace v balicích procesech. Protože mnoho balicích procesů odpovídá popsaným kritériím, je využití automatizace často velmi výhodné. V této práci se jedná o automatizaci poněkud náročnějšího uzlu, kdy bude nutné využít komplexnějších pohybů například robotického systému.

3.2.1 Obaly a jejich funkce

Balení výrobků do obalu je poslední fází výrobního procesu, kdy je hotový výrobek vložen do obalu, nebo jinak zabalen a tím připraven k expedici. Jiným případem je mezioperační balení, které slouží k ochraně nehotového výrobku při přesunu k další operaci, nebo do jiného provozu. Obal může mít hned několik funkcí:

1. Ochranná funkce - obal chrání produkt před působením vnějších vlivů, a tím před

jeho poškozením. Povaha materiálu obalu pak určuje jeho odolnost. Pro její zvýšení se využívají vzduchové a jiné vycpávky, a další prostředky.

2. Transportní funkce - obal slouží také k usnadnění manipulace s produkty, a to jak při expedici, tak pro koncového uživatele.
3. Prodejní funkce - obal slouží také jako estetický prvek, který má pomoci produkt prodat. Takovýto obal může kromě konkrétního výrobku propagovat také danou firmu.
4. Informační funkce - v neposlední řadě se na obalu vyskytují povinné, ale i nepovinné informace, jako je datum spotřeby, počet kusů uvnitř obalu a podobně. I samotná fotka produktu na obalu má tuto funkci.

Ne všechny obaly plní tyto funkce současně. Například pro transport a zvýšení ochrany je produkt i s takzvaným prodejním, či skupinovým obalem vkládán do obalu přepravního, který je v obchodě odstraněn. Tento přepravní obal pak neplní prodejní funkci. Informační funkce je u něj omezena a zaměřena na jiné informace, jako jsou například podklady pro přepravce.[14]

3.2.2 Automatizace balicích pracovišť

Samotná operace balení se liší pro obaly s různou funkcí. Podle funkce roste také náročnost balení do takového obalu. Obecně roste náročnost s požadavkem na vzhled, či na zvýšenou ochranu produktu. Na obaly mohou být kladeny i další požadavky, jako je možnost opakovaného uzavření, snadná likvidace, a další.

Pokud je balení prováděno čistě manuálně, jedná se o nekvalifikovanou, opakující se činnost, která nevede k naplnění, či k nějakému postupu. Kromě toho se často jedná i o práci fyzicky namáhavou, zejména u rozměrnějších a těžších výrobků. I z těchto důvodů není o práci baličů zájem a i toto odvětví se potýká s problémy nedostatku zaměstnanců. V poslední době do tohoto trendu přispěla také pandemie. Z těchto důvodů je stále větší požadavek na automatizaci těchto procesů, díky níž je možné monotónní práci přenechat strojům a lidé se mohou soustředit na balení do složitějších obalů. Typicky se automatizuje zejména balení do přepravních kartonů, kde je krom jiného větší fyzická zátěž, zatímco lehčí, ale na balení složitější prodejní kartony dále balí lidé. S postupem času je snaha celá pracoviště nahrazovat automatizací a lidskou manuální práci z tohoto procesu zcela vyloučit.[15]

Tato situace klade na balicí stroje spoustu požadavků, mezi které patří rychlost, cenová konkurenceschopnost a v neposlední řadě flexibilita, která přináší nutnost zvýšení stupně automatizace daného výrobního úseku. Stejně jako ostatní odvětví strojírenství se zde objevují trendy modulárnosti, přizpůsobivosti, snadné údržby, spolehlivosti, snadné obsluhy a univerzálního výkonného řízení. Technologie pro balení musí být také snadno integrovatelné do stávajících linek tak, aby nevznikaly úzká místa a aby nebyla omezena šíře sortimentu.

Pro tyto vlastnosti se využívá moderních postupů při řešení pohonů a řízení. Dříve statické prvky se přidávají na pohybové osy a tím se zvyšuje nejenom produktivita, ale i flexibilita a účinnost stroje. Ze stejného důvodu se nahrazují osy diskrétní, poháněné například pneumaticky, osami s možností řízení polohy. Zde je ovšem nutné najít správnou rovnováhu mezi cenou a výkonem stroje, aby řešení byla rentabilní. Na výrobce roste také tlak umožnit do systému implementovat další funkce, a tím dále zvyšovat flexibilitu. Z toho důvodu je potřeba myslet na řídicí systém, který umožní tyto tyto funkce přidat, a tím umožnit vznik spousta uživatelských variant strojů a jejich snadnou implementaci do stávajících linek. Dalším parametrem je potom jednoduchá obsluha provozovaného stroje. Tyto požadavky mohou vést například na řízení na bázi PC.[18]

Konkrétní příklad významu automatizace balicího procesu pro svrchní obaly je uveden v [19]. V tomto článku je popsána snaha zvýšit produktivitu balicího procesu. Efektivnost lze vylepšit opravením neefektivních procesů, zjednodušením jednotlivých operací, minimalizováním obtíží, automatizováním jednotlivých procesů a snížení časů pro nastavování jednotlivých strojů. Klíčem k zvýšení efektivity je pak vyváženost výrobní či balicí linky, kdy je snaha o co nejplynulejší tok výrobků skrze linku. Rychlejší pracovní stanoviště jsou brzděna pracovišti pomalejšími, a tím nejen roste čas, ale také se snižuje vytíženost rychlejších pracovišť. Z tohoto důvodu je třeba definovat takzvaná úzká hrdla linky, která je třeba z procesu odstranit. V případě manuální obsluhy je možné zvýšit množství pracovníků, čímž ovšem narůstá cena operace, nebo lze proces částečně, či plně automatizovat.[19]

Pro manuální balicí operace může být nízká produktivita způsobena následujícími faktory: pracnost balicího procesu, vysoká únavnost práce, velká míra pohybu s materiálem a problémy s ergonomií.

Pro uvedený příklad v [19] byla sbírána statistická data, aby mohlo být prove-

deno vyvážení linky. Z těchto důvodů byl vytvořen graf, který ukazuje tok jednotlivých výrobků procesy. Procesy jsou rozděleny na jednotlivé základní kategorie, tedy: samotná operace, pohyb, kontrola, čekání a uskladnění. Čas operace je dán technologií, a lze jej dobře ovlivnit mírou automatizace. U pohybu je snaha snížit jeho význam na nulu, tedy přiblížit jednotlivé operace co nejvíce k sobě, což má pozitivní vliv také na zastavenou plochu. Čekání může mít význam technologický, jako je čas na zaschnutí lepidla, který je nezbytný, nicméně je možné v době čekání provádět paralelně další operace a tím tento čas efektivně využít. Klíčovými parametry jsou tedy čas a také vzdálenost v případě, že je požadován pohyb. Na základě těchto dat jsou vyhodnoceny procesy, u kterých může být nebezpečí tvoření úzkých hrdel. Průchod pozorovanou linkou je patrný z obrázku 3.1, kde červená čára vyjadřuje kategorii, do které daná operace spadá.

Výsledkem této studie bylo zavedení automatizovaných a poloautomatizovaných pracovišť do procesu, čímž bylo dosaženo větší vyváženosti linky, značného snížení času cyklu a také snížení počtu operátorů na 50%. Jejich práce byla navíc zjednodušena. Dílčím výsledkem bylo také zavedení automatické kontroly hmotnosti, díky které jsou vyloučeny chyby způsobené ruční kontrolou. Celý proces je tedy efektivnější, levnější, ergonomičtější a spolehlivější.[19]

Flow Process Chart							
Job :Polycover Packing Process							
Details of the Method	Operation	Movement	Inspection	Delay	Storage	Time (Sec)	Distance (Feet)
Taking the Polycover and Inserting the coil in the same	○	→	□	D	▽	12	
Weighing the cable with polycover & entry in register	○	→	□	D	▽	22	
Moving the polycover with cable to sealing table	○	→	□	D	▽	8	5
Sealing operation performed in the packing	○	→	□	D	▽	32	
Arranging the Master carton with buffer (Time consumption per Coil)	○	→	□	D	▽	33	
Inserting the Sealed coils in side the master carton	○	→	□	D	▽	13	
Moving the master carton to the Packing line (Time consumption per Coil)	○	→	□	D	▽	5	3
Manual feeding of Master carton in shrink tonnel for shrinking & strapping (Time consumption per coil)	○	→	□	D	▽	4	
Unloading the cartons (Time consumption per coil)	○	→	□	D	▽	2	
Moving the cartons to the designated location (Time consumption per coil)	○	→	□	D	▽	2	5
Storage of the packed cartons (Time consumption per coil)	○	→	□	D	▽	2	
Total Time per Coil for Polycover Packing						135	

Obrázek 3.1: Graf procesních toků [19]

3.2.3 Význam robotizace v balení

Roboty jsou v balicím průmyslu využívány zejména pro svoji efektivnost

a pro svou velkou pohyblivost, díky které se mohou jejich pohyby podobat lidským. Naopak odrazovat může komplikované programování, vysoká cena a v některých případech malá rychlost. Tato negativa jsou však postupem času odstraňována. Schopnosti robotů jsou stále vylepšovány a tím roste i jejich využitelnost. Mezi tyto klíčové vlastnosti se řadí například schopnost spolupráce s člověkem, identifikace objektů pomocí strojového vidění, uchopování složitých tvarů a objektů náchylných na poškození, využití strojového učení a umělé inteligence. Tyto a další vlastnosti umožňují nasazování robotů do dalších balicích operací.[20] Například robotické vidění, a to i ve 3D zaznamenává poslední dobou značné pokroky. V balicích operacích jde zejména o využití při depaletizaci, či binpickingu balených výrobků. Dalším příkladem je rozvoj softwaru pro simulace robotických pracovišť a procesů, jakým je například ABB RobotStudio, nebo Visual Components. Tyto programy umožňují nasazení robotů do náročnějších aplikací a také značné zkracování ustavujících časů. Další pole je využití kolaborativních robotů, kdy je možné využívat spolupráce robotu a člověka. Zde je často nutné snížit rychlosti pohybu, nicméně jsou zde nižší přípravné časy. Příkladem je zde kolaborativní robot s kinematikou Scara, kdy jsou vyšší rychlosti pohybu z důvodu bezpečnosti kompenzovány malými hmotnostmi.[21]

Příkladem využití robotizace pro balení je robotická balicí buňka ve vídeňské firmě Weinbergmaier GmbH. Zde dvojice robotů balí do prodejních krabic těsto a to v čase 1.5 s. Jeden z robotů má na starosti přípravu a skládání krabice, druhý pak manipulaci s výrobky, tedy těstem. Krabice jsou pro tento účel lepeny tavným lepidlem a formovány průtahem skrze přípravek. Zásadní v tomto příkladě byla také velmi malá zastavěná plocha, které bylo dosaženo zavěšením ramen ke stropu a odstraněním bariér, místo kterých byly použity softwarové bezpečnostní funkce.[22]

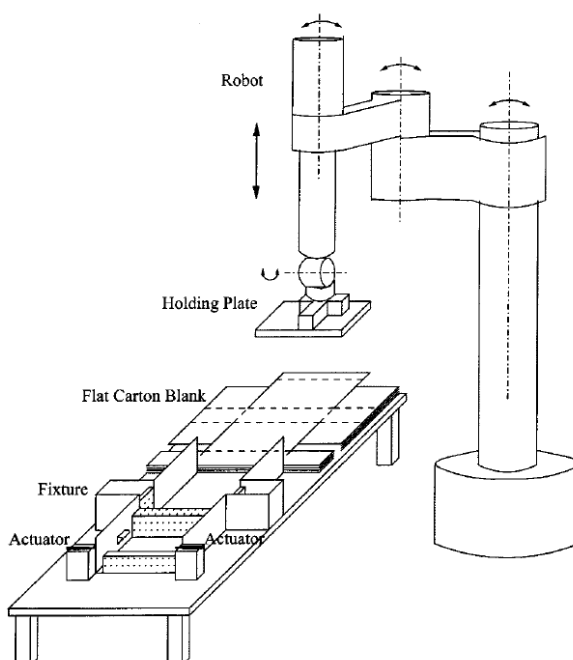
Robotizace se dále v balicích linkách využívá zejména k paletizaci a manipulaci s dílci, kde se často využívá dynamicky výhodnějších struktur typu Scara či Delta. Do dalších uzlů jsou nasazována robotická ramena většinou spolu se zvýšeným požadavkem na určité parametry tohoto uzlu, jako je zejména variabilitnost, náročnost pohybové sekvence, potřeba dynamicky řídit pohyb a další. Zde je pak cena takového řešení a možné zvýšení času vykompenzováno právě touto přidanou hodnotou, které lze jiným řešením dosáhnout jen velmi těžce.

3.3 Principy skládání a zavírání krabic

V této sekci se práce zabývá různými teoretickými přístupy ke skládání krabic a obecně práci s kartonem ať už konstrukčními tak například simulačními. V následujících kapitolách jsou pak tyto teoretické principy popisovány u reálných zařízení v průmyslové praxi.

3.3.1 Využití pevných přípravků a manipulátoru

Prvním způsobem je skládání krabic za pomoci pevných přípravků. Na rozdíl od lidského přístupu, kdy je pohyblivými rukama krabice zároveň skládána a přidržována, jsou zde využity pevné přípravky, které se nehýbou a veškerý pohyb je prováděn skládacími krabicí. Tyto přípravky jsou navrhovány jako svislé stěny, které při kontaktu s krabicí ohýbají daný panel v místě připraveného ohybu. Každé složení krabice je tvořeno několika takovými ohyby ve správném pořadí. Přípravky jsou řazeny ve směru pohybu tak, aby jeden ohyb navazoval na druhý až do úplného složení krabice. Vzdálenost jednotlivých stěn přípravku je stanovena empiricky a vyladěna tak, aby k ohybům docházelo bez chyb.[2]



Obrázek 3.2: Pracoviště s pevnými přípravky a p. robotem [2]

Takovéto řešení má výhodu robustnosti, kdy je část pracoviště nehybná a celý pohyb zajišťuje průmyslový robot. Schéma takového pracoviště je na obrázku 3.2.

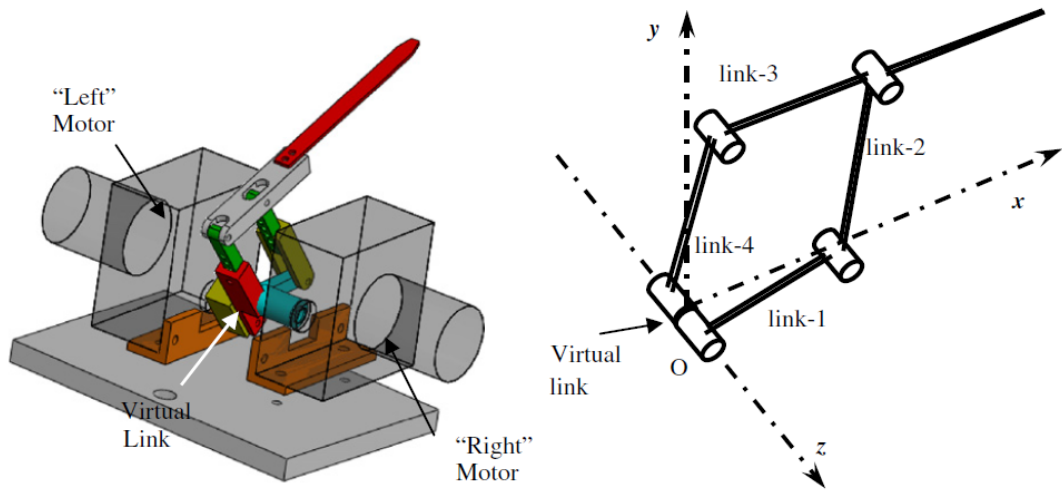
Při plánování pohybu se využívá modelování krabice jako víceosého rozvětveného robotu. Pro zjednodušení se pak využívá symetrie takového mechanismu. Pro danou krabici jsou určeny všechny platné sekvence pro složení krabice, kde se předpokládá, že v jednom kroku probíhá ohyb pouze podél jedné osy, respektive podél dvou v případě využití symetrie. S počtem kloubů a větví značně roste počet řešení, která připadají v úvahu, proto je výhodné využitím symetrie snížit tento počet a tím vyloučit méně výhodné sekvence, u kterých jsou symetrické panely skládány zvlášť. Z takto vzniklých možností vybírá konstruktér tu nejvhodnější a to na základě mnoha parametrů, jako je doba složení, počet částí přípravku, či počet a druh pohybů robotu.[2]

Dle vybrané sekvence jsou následně konstruovány vhodné přípravky a navržen vhodný manipulátor.[2]

3.3.2 Využití skládacích prstů se dvěma stupni volnosti

Další přístup je představen v [7]. Motivace k tomuto řešení je zejména snadná rekonfigurovatelnost systému, a to ne pouze z pohledu rozměrů skládané krabice, ale také z hlediska její kinematické struktury. Tento systém navrhuje speciální robotické prsty, které jsou vhodné pro ohyb různých kartonových spojů. Robotický prst se sestává ze dvou servomotorů a mechanismu, který jejich pohyb převádí na obecný rovinný pohyb koncového bodu prstu se dvěma stupni volnosti. Díky tomu lze dosáhnout značných možností v pohyblivosti koncového efektoru a tím také možnost využít tento mechanismus pro různé skládací a ohýbací operace. Konstrukce prstu a jeho kinematická struktura je na obrázku 3.3. Pro lepší využitelnost je možné měnit tvar koncového členu prstu, nebo případně natočení koncové části vůči původnímu směru.

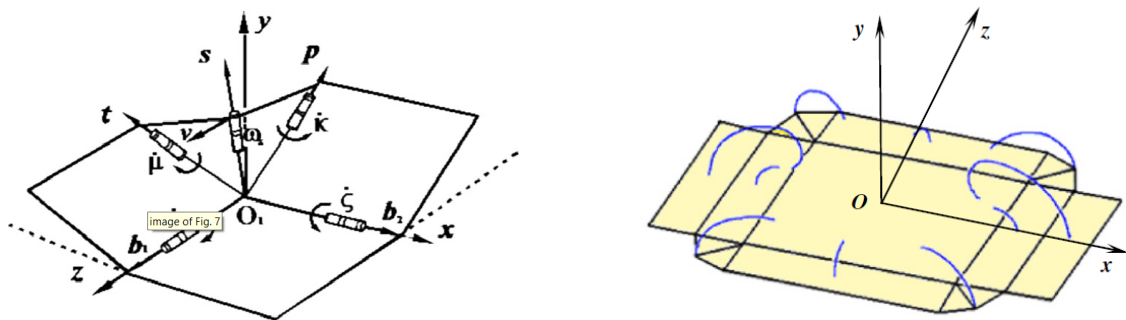
Tyto prsty jsou představeny jako ideální volba pro takzvané klínové rohy, které se skládají z několika ohybů, tedy rotačních vazeb, jejichž osy se protínají v jediném bodě. Silou pak stačí působit pouze na prostřední hranu ohybu a zbylé dvě strany se automaticky ohnou k sobě pod úhlem, který je předem dán připravenými sklady krabice. Klínový roh a krabice, na které je vidět jeho využití, je zobrazen na obrázku 3.4, kde je válcí naznačena rotační vazba.



Obrázek 3.3: Robotický prst se dvěma stupni volnosti [7]

Tyto prsty jsou představeny jako ideální volba pro takzvané klínové rohy, které se skládají z několika ohybů, tedy rotačních vazeb, jejichž osy se protínají v jediném bodě. Silou pak stačí působit pouze na prostřední hranu ohybu a zbylé dvě strany se automaticky ohnou k sobě pod úhlem, který je předem dán připravenými sklady krabice. Klínový roh a krabice, na které je vidět jeho využití, je zobrazen na obrázku 3.4, kde je válcí naznačena rotační vazba.

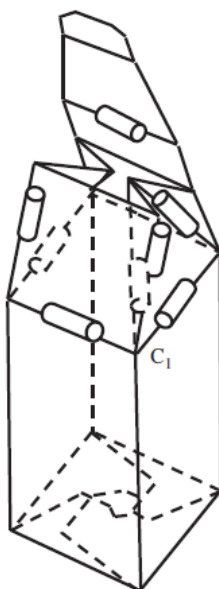
Skládání těchto krabic probíhá tedy tak, že robotický prst působí na prostřední hranu a tím je proveden sklad. U krabice na obrázku 3.4 jsou potom dalším ohýbáním mechanismem zahnuty dovnitř také obě boční chlopně, a tím jsou ohyby zajištěny proti samovolnému otevření.



Obrázek 3.4: Klínový roh [7]

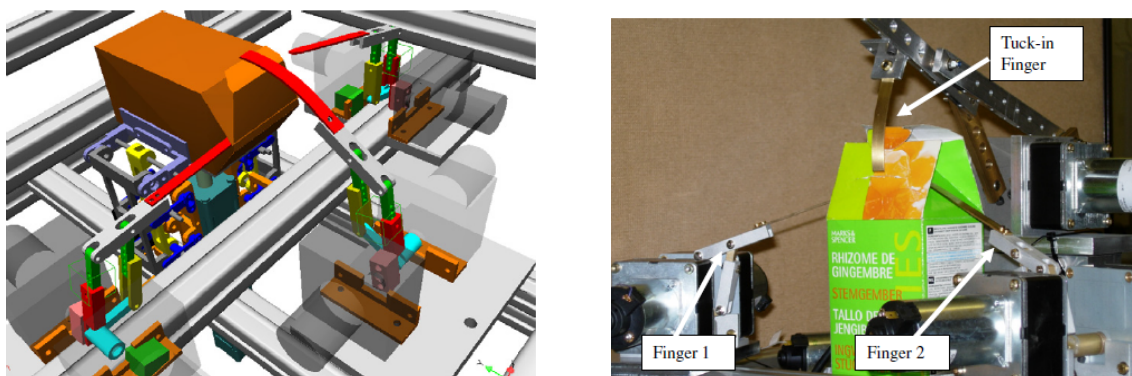
Další oblastí, pro kterou byly robotické prsty se dvěma stupni volnosti navrženy a testovány je zavírání zámku kartonových krabic. Zde je využito ohnutého koncového členu robotického prstu, jehož tvar je navrhnut tak, aby bylo možné zapadnutí

zámku. Zavírání bylo simulováno a testováno s krabicí zobrazenou na obrázku 3.5. Zámek zajišťuje pojištění proti samovolnému otevírání krabice.



Obrázek 3.5: Testovací krabice se zámkem [7]

Celkem jsou použity tři robotické prsty. Nejprve jsou pomocí dvou prstů uhnuty klínové rohy po stranách, následně je třetím prstem se zahnutým koncovým členem ohnuto víko spolu se zámkem. Víko je ohnuto přes podpírající boční prst. Zahnutý prst pokračuje v pohybu až do té doby, kdy se přimkne ke hraně pro zasunutí zámku. Díky vhodně navrženému tvaru koncového členu prstu pak zapadne zámek do připraveného zářezu. V [7] je také ukázka ze simulace a testování tohoto zavírání, jak je vidět na obrázku 3.6.



Obrázek 3.6: Simulace a testování robotických prstů [7]

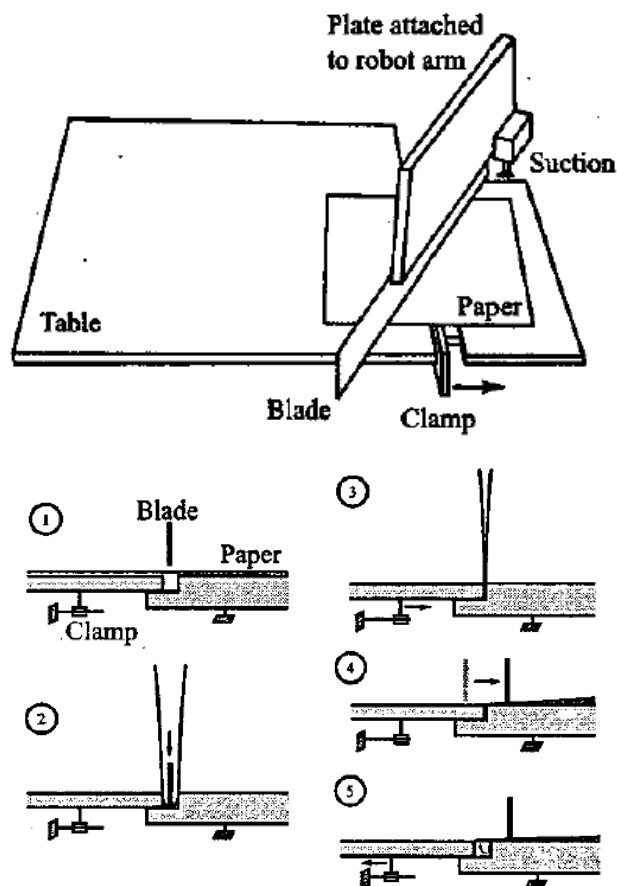
Využití takovýchto prstů je výhodné zejména pro velké série, kdy je malá variabilita výrobků. Systém sice umožňuje velkou rekonfigurovatelnost, nicméně při vysokých

časech na přestavbu, které tato změna vyžaduje, nehledě na nutnost celkem komplikovaného seřízení takového systému. V praxi se často využívá prstů s jedním stupněm volnosti, které jsou pro zvýšení variability neseny manipulátorem či robotem, což je možné doplnit také do tohoto systému a tím jeho variabilitu zvýšit.

3.3.3 Ohyb papíru pomocí ohýbacího stroje

Další způsob, který je uveden v [10] se nezabývá přímo skládáním kartonových krabic, ale pouze vytvářením skladů na papíře. Cílem je vytvořit sklad o 180° pro skládání origami, nicméně některé principy mohou být inspirací také pro skládání krabic.

Kromě skládacího stroje využívá systém také čtyřosého robota typu SCARA. Samotný stroj je vidět na obrázku 3.7. Skládá se ze stolu a drážky se svorkou. Čepel a přísavku nese robot.



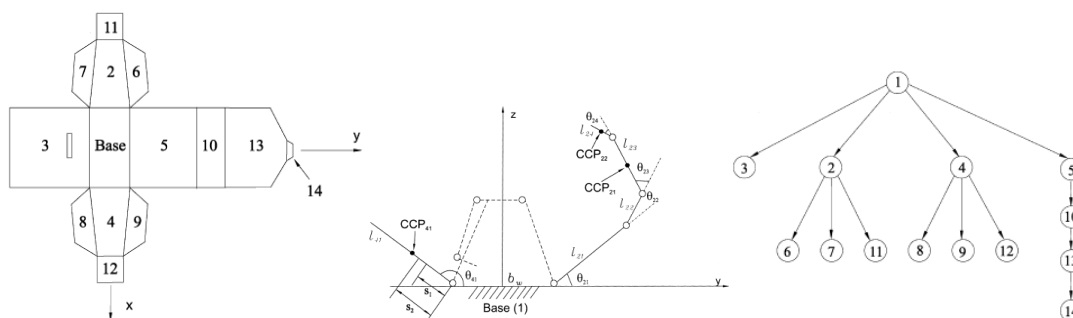
Obrázek 3.7: Stroj na vytváření skladů [10]

Postup vytvoření skladu je následovný: robot, který operuje nad tímto strojem, vezme list papíru a umístí ho do správné pozice na stole. Čepel je navedena nad drážku,

do které vtlačí papír, který se touto operací předběžně ohne. Čepel následně vyjede nahoru, ale papír díky tření a své pružnosti zůstává zaklesnutý uvnitř drážky. Následně je zaklapnuta svorka a tím je vytvořena v místě ohybu ostrá hrana. Papír je třeba vyjmout z drážky a zároveň neztratit informaci o jeho poloze. Protože robot má pouze čtyři osy, byl vyvinut následující postup: čepel pohybem do strany ohne papír, který je vztyčený vzhůru a přitiskne ho k podložce. V tu chvíli je celkem přesné místo papíru umístěno pevně na desce a je tedy možné otevřít svorku a uvolnit papír z drážky. Ten se díky své pružnosti narovná. Papír tak leží na desce v relativně přesné pozici pro další manipulaci a další ohyby. Postup je znázorněn na obrázku 3.7.[10]

3.3.4 Možnosti modelování a plánování skládání kartonu

Pro kartonové krabice je možné použít popis, kdy je krabice modelována jako robot s mnoha stupni volnosti. Tento náhradní mechanismus vznikne tak, že panely kartonu jsou brány jako tuhé členy mechanismu a ohyby jako rotační vazby. Základní panel, který je při skládání nehybný, je označen jako báze a ostatní panely lze očíslovat například proti směru hodinových ručiček. Jednotlivé panely lze pak sdružovat do větví, kdy jsou pohyby panelů dále od báze závislé na pohybech panelů bližších. Cílem skládání je pak přetočit jednotlivé panely z počáteční polohy do polohy koncové. Při přesunu jednoho panelu do koncové polohy se téměř vždy změní jeho pohyblivost díky interakci s okolními panely, nebo uměle, pomocí přidržovacích přípravků. Tím se změní kinematika, a při pohybu jiným panelem v této sekci je nutné vzít tuto skutečnost v úvahu. Návaznost jednotlivých panelů lze pak vyjádřit pomocí grafu, kdy uzly představují jednotlivé panely a spoje jednotlivé vazby. Pomocí takového grafu lze snadno definovat jednotlivé pohyby. Příklad takového grafu, krabice a popisu jednotlivých částí se nachází na obrázku 3.8.[6]



Obrázek 3.8: Popis modelované krabice [6]

Takto popsanou kinematickou strukturu lze snadno analyzovat pomocí směrových vektorů jednotlivých panelů. V každém panelu je zaveden vektor q_i , který leží v rovině panelu, kolmo na osu otáčení. Počátek tohoto vektoru je umístěn do středu daného panelu. Pokud označíme dva navazující panely i a j , kde panel j je blíže bázi, lze polohu panelu i vyjádřit obecně takto:

$$q_i = T_{ik}(u_x, u_y, u_z) \cdot R_k(\phi, \theta, \psi) \cdot T_{kj}(v_x, v_y, v_z) \cdot q_j \quad (3.1)$$

,kde k značí rotační vazbu, $v_{x,y,z}$ vyjadřují posunutí od vazby k , k počátku vektoru q_j , $u_{x,y,z}$ posunutí od počátečního vektoru q_i a vazbě k a úhly ϕ, θ, ψ vyjadřují relativní natočení jednotlivých panelů. Matice T pak vyjadřují posun, matice R natočení.[6]

Jednotlivé vektory q vyjadřují konfiguraci systému, která lze zapsat pomocí jedné matice Q .

$$Q = [q_1, q_2, \dots, q_i, q_j, \dots, q_n] \quad (3.2)$$

Pro jednotlivé fáze pohybu lze pak určit také jednotlivé matice konfigurace a to od počátečního stavu Q_{init} do koncového stavu Q_{goal} .

Pro popis pohybu skládání jsou poté zavedeny dva souřadné systémy: F_w , který je nehybný a vyjadřuje vztažný souřadný systém, a F_G , který je umístěn v bodě, kterým je skládání realizováno. Pohyb a natočení souřadného systému F_G vzhledem k systému F_w tedy jednoznačně určuje pohyb nástroje, která skládání realizuje. Tento vektor lze pak vyjádřit jako souhrnnou transformaci od F_G do F_w , která lze určit pomocí směrových vektorů při jednotlivých konfiguracích, které vedou ke konečnému tvaru mechanismu.[6]

Stejným postupem lze určit pohyb, tedy polohu, rychlost a případně zrychlení v jednotlivých kontrolních bodech, které mohou být zavedeny v panelech mechanismu. Tyto informace mohou sloužit ke kontrole dosahovaných rychlostí, pozic jednotlivých částí panelů, které by mohly kolidovat s okolím, či jinými panely a lze je také využít při dynamickém řízení pohybu, kdy lze porovnávat hodnoty získané při měření skládaného objektu a hodnoty vypočtené.[6]

Díky tomuto výpočtu je možné parametrizovat skládací operaci, zejména pokud se mění pouze rozměry mechanismu, ale kinematické vazby se nemění. Pro robotický systém lze souřadný systém F_w použít jako uživatelský souřadný systém a na souřadnice vektoru F_G polohovat koncovým efektořem. Pokud je skládání rozděleno do více pohybů, lze každý tento pohyb řešit samostatně a tím získat pro každý takovýto úsek jednodu-

chou rovinnou transformaci.[6]

3.4 balicí kartonážní linky

Kartonážní linky slouží k balení výrobků do krabic, ať už jde o krabice prodejní, či přepravní. Linka může být jak manuální, tak automatizovaná. Práce se zabývá zejména zavírací částí automatizované kartonážní linky pro prodejní krabice, nicméně jsou zde uvedeny principy celých linek, ve kterých se zavírací uzel nachází. Tento přístup umožňuje co nejlépe rozvážit návrh uzavírací části s ohledem na její funkčnost uvnitř celé linky. Dále přináší přehled o principech využívaných v celé lince, které mohou být v jednotlivých částech linky podobné a tudíž využitelné i pro uzavírání. V této sekci je uvedeno množství příkladových kartonážních linek, ze kterých bude následně čerpáno při vlastním návrhu.

3.4.1 Kartonážní linka

Kartonování, neboli balení výrobků do kartonových krabic, zahrnuje vždy tři hlavní operace: formování krabic, vkládání produktů a zavírání krabic.

Ve formovací části dochází ke zformování krabice z plochého stavu, který vyhovuje přepravě a skladování prázdných krabic, do vzpřímeného stavu. Tento proces může být zajištěn například formátovacím strojem, případně pomocí robotického, či jiného vzpřímače. Složitost této operace závisí na konstrukci krabice. Pro krabice se samozavíracím dnem stačí pro vzpřímení krabice mnohem méně pohybů, než pro krabici, která má dno složeno z jednotlivých chlopní.

Pro vkládání produktů se využívá nejčastěji robotů s různou kinematickou strukturou. Často jsou využíváni zejména roboty typu Scara, případně pro větší rychlosti a malé hmotnosti produktů roboty typu Delta. Pro vyšší produktivitu a menší vstupní náklady lze využít také kartézské manipulátory, které berou produkty přímo z pásu, případně jsou jim předem nachystány několika dalšími roboty.

Cílem zavírací části je uzavřít krabici naplněnou výrobky a zajistit ji proti samovolnému otevření. Oproti zavírání dna ve formovací části je u zavírání víka třeba dbát na to, že uvnitř krabice jsou výrobky, které nesmí být při zavírání poškozeny, případně je třeba myslet na budoucí možnost otevření krabice a to v některých případech i opakovaně. Pro zajištění spolehlivého uzavření jsou využívány různé principy. Jedním z nich

je použití lepidla, či lepící pásky. Další možnost je využití vhodných zářezů na stěnách krabice, do kterých víko při zavření snadno zapadne, případně využití kartonového zámku.

Kromě těchto základních částí je třeba do linky doplnit zásobník krabic, dopravu produktů, mezioperační dopravu a dopravu hotových, zabalených krabic. Mezioperační doprava pak může být řešena plynule, kdy jsou výrobky vkládány do pohybujících se krabic, nebo přerušovaně, kdy se krabice v místě nakládky vždy zastaví. Pro takové uspořádání je možné využít místo běžných dopravníků přesun krabice pomocí robotu, nebo využít dvě místa, na kterých se střídavě vzpřimují krabice a vkládají produkty.[28]

Kartonážní linka s integrovaným dopravníkovým systémem

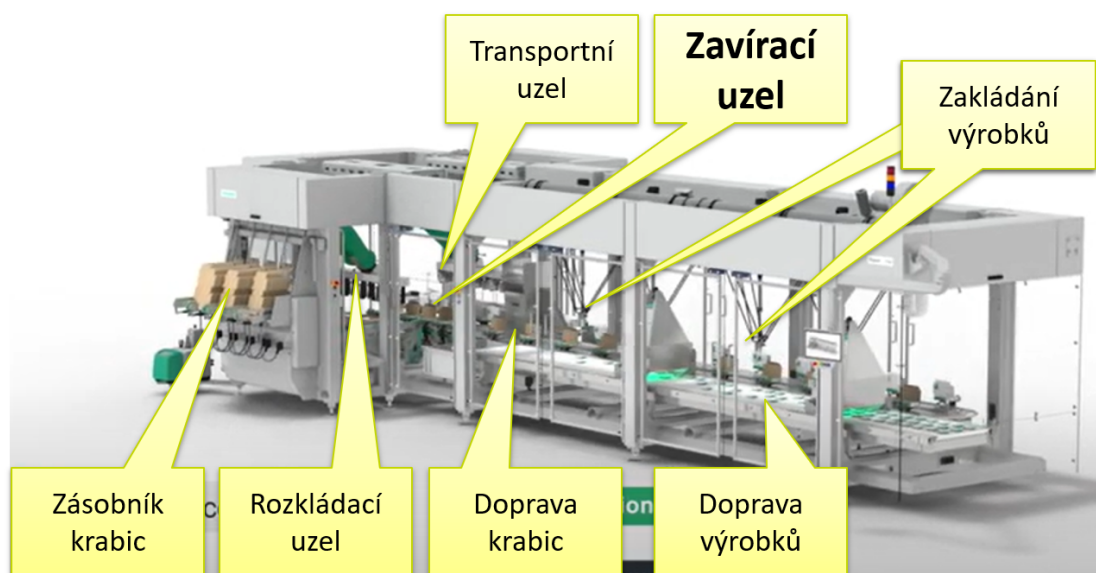
V [28] je patentový návrh kartonážní linky s plně integrovanými částmi, tedy formovací, vkládací a uzavírací, a také s integrovaným dopravníkovým systémem. Tento patent si klade za cíl řešit problém různých časů jednotlivých operací při použití spojení dopravníkovým pásem, a tím způsobené časové ztráty během čekání jednotlivých pracovišť. Zavírací uzel bývá často pomalejší, než je proces formování krabic a vkládání dílců, kde při snaze zvýšit rychlost u roboticky řešeného zavírání rychle rostou náklady na toto pracoviště. Vynález spočívá v přímé návaznosti dopravníkového systému na zavírací stroj. Dopravníkový systém je zde tvořen alespoň dvěma vozíky s nezávislým pohybem, ať už se jedná o servo-dopravník s několika vozíky, nebo o několikanásobnou lineární dráhu. Díky nezávislosti pohybů může být jeden vozík synchronizovaný s formovacím uzlem, druhý s vkládacím uzlem a třetí, ve stejném čase, se zavíracím strojem. Vozík se také může podílet svým pohybem na samotné operaci. Výhody využití takového systému jsou v plné integraci jednotlivých částí, v možnosti navýšení rychlosti zařízení a snížení cenových nákladů. Takovéto řešení také umožňuje variabilitu v rozměrech krabic, zejména díky navrženému uzavírání popsanému v kapitole 3.5.

Kartonážní linka s manipulací pomocí delta robotů Sigpack TTMD

Jedná se o spojení běžného formovacího a zavíracího uzlu s buňkami s delta roboty, které slouží pro vkládání produktů do připravených krabic. V lince se také nachází další části, jako je zásobník krabic, dopravník s krabicemi a s produkty a transport zabalených a zavřených krabic pryč z linky. Návrh linky a popis jejích částí je na obrázku 3.9.

Tato linka je tedy skládána modulárně z několika částí. Od ostatních linek se liší

zejména zakládací částí, kde jsou využity DELTA roboty. Produkty vcházejí do vkládacího uzlu na páse s náhodným rozmístěním a s náhodnou orientací. Pomocí kamerového systému je určena jejich poloha, která je předána do řídicího systému, který následně vydává povely jednotlivým robotům tak, aby na páse žádné produkty nezůstávaly. Rozložené krabice se pohybují ve vozících, které drží jejich tvar, a pohybují se po dopravníku v opačném směru, než kterým se pohybují produkty. Oba pohyby probíhají synchronně, tedy bez zastavení na naložení produktů do krabic. Na konci dráhy dopravníku musí být každá krabice naplněna produkty, aby mohla být v zavíracím uzlu uzavřena a z linky sejmuta.



Obrázek 3.9: Sigpack TTMD[8]

Výhoda využití DELTA robotů je zejména v jejich rychlosti. Každá robotická buňka integrovaná v této balicí lince je schopna sebrat a vložit do krabice 60 až 90 dílců za minutu. Tyto roboty mají značně sníženou nosnost, aby byly takovými dynamickými pohyby schopny.

Vzpřimovací uzel je řešen podle principu popsaného v kapitole 3.3.1. Tři kartonové přístřihy jsou zdviženy naráz jedním manipulátorem a protaženy skrze pevné přípravky. Tak vznikají vždy tři krabice najednou. Zavírací uzel je dále popsán v kapitole 3.5.

Variabilita u tohoto systému je značná, nicméně přestavbu je nutné provádět ručně.[8]

Balící kartonážní linka ve firmě Leclerc Foods

Jedná se o linku na balení čokoládových tyčinek. Ty jsou nejprve zabaleny do plastového obalu a následně je prováděna jejich kartonáž. Zabalené tyčinky jedou po páse, kde je pomocí kamerového systému určena jejich poloha a vyhodnocena kvalita. Z pásu jsou tyčinky za pomoci robotů vkládány do překladových modulů, kde jsou sdružovány do skupin tak, aby mohla být následně celá skupina uchopena naráz. Tyto moduly se pohybují opačným směrem, než samotné tyčinky. Celá skupina tyčinek je následně přesunuta do vzpřímené krabice. Při uchopování tyčinek se překladový modul na okamžik zastaví, aby byla zajištěna vyšší spolehlivost systému. Krabice s tyčinkami se pohybují opět opačným směrem, než překladové moduly.

Samotné kartonové krabice jsou formovány protažením přístřihu s naneseným lepidlem skrze pevný formovací přípravek, pod kterým je již vzpřímená krabice připevněna vakuem na vozík dopravníku.

Při změně formátu nastává poloautomatická přestavba systému. Některé části, jako například trysky s lepidlem, jsou umístěny na krokových motorech, a proto je možné změnit jejich pozici automaticky pouze povelům z PLC. Některé části systému je však potřeba manuálně vyměnit, či přestavit.

Zavírací uzel je řešen pomocí lepení chlopní z venku, stejným způsobem, jako v kapitole 3.5.

Linka s lištovou dráhou Serpa P150

Linky s lištovými dráhami využívají vhodně umístěných lišt v místech trajektorie obalu umístěného v dopravníkovém systému tak, aby pouze s drobnými, jednoduchými pohyby lišt a dalších přípravků byl obal uzavřen. Hlavní hnací silou je zde dopravník, který jednotlivé zavírané a ohýbané části obalu tlačí proti těmto lištám a tím umožňuje jejich dovření. Takovýto systém je schopen vyvinout vysoké rychlosti, jeho naladění je však časově náročné.

Linka p150 od firmy Serpa je složena z několika částí. Na začátku se nachází dopravník, který přivádí balené výrobky do systému pro kompletaci jednotlivých balení. Zde jsou výrobky sdruženy do skupin tak, jak mají být zabaleny a posunuty k plnicí části. Krabice jsou umístěny v zásobníku krabic, odkud jsou odebírány excentrickým podavačem, který je vidět na obrázku 3.10. Pomocí přísavek v půlce dráhy a následně

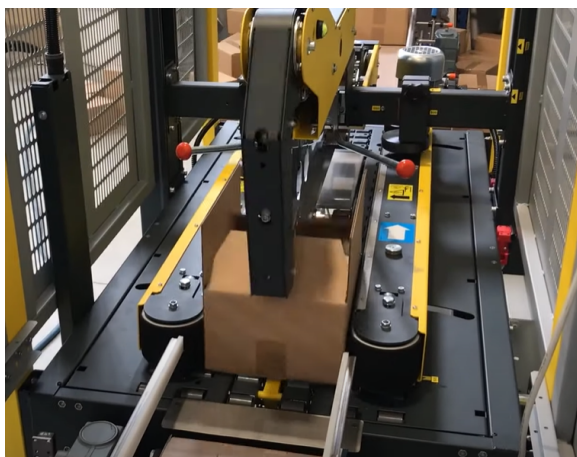
pomocí pevného dorazu je krabice zcela otevřena a připravena na naložení. Dno krabice je pak složeno pohybem podél lišt a současně je do krabice vložena skupina výrobků. Následně je zavřeno víko krabice, což je popsáno v kapitole 3.5. Zabalené krabice opouští pracoviště na pásovém dopravníku.[23]



Obrázek 3.10: Rozkládání krabic na lince Serpa P150 [23]

Balení do přepravních obalů

Samostatnou kategorií je balení výrobků již v prodejních krabicích do krabic přepravních. U přepravní krabice nezáleží na jejím vzhledu a je proto navržena tak, aby dobře chránila zabalené věci a také aby se snadno skládala a zavírala. Proto jsou linky na toto balení podstatně jednodušší, a také vzájemně velmi podobné. Na začátku je krabice rozložena s před-slepeného přístřihu a jsou zavřeny spodní bočnice, které jsou zajištěny lepidlem či lepící páskou. Následně je do krabice roboticky, či pomocí manipulátoru vloženo naráz dané množství zabalených produktů. Horní bočnice jsou sklopeny a zalepeny stejným způsobem, jako byly zaklopeny spodní. Zavírání těchto krabic je prováděno lištovými skluzy s přídatným zaklápěcím prvkem na bočnici, která se zavírá proti směru pohybu dopravníku, obrázek 3.11, či pomocí sklápěcích hlav, obrázek 3.12. Princip je pro uzavírací hlavu přepravních kartonů stejný, jako pro zavírání prodejních kartonů a lze proto vzájemně využít zkušeností. Stejně je tomu u lištového způsobu, který principiálně odpovídá lištovému zavírání prodejních obalů. [17, 16]



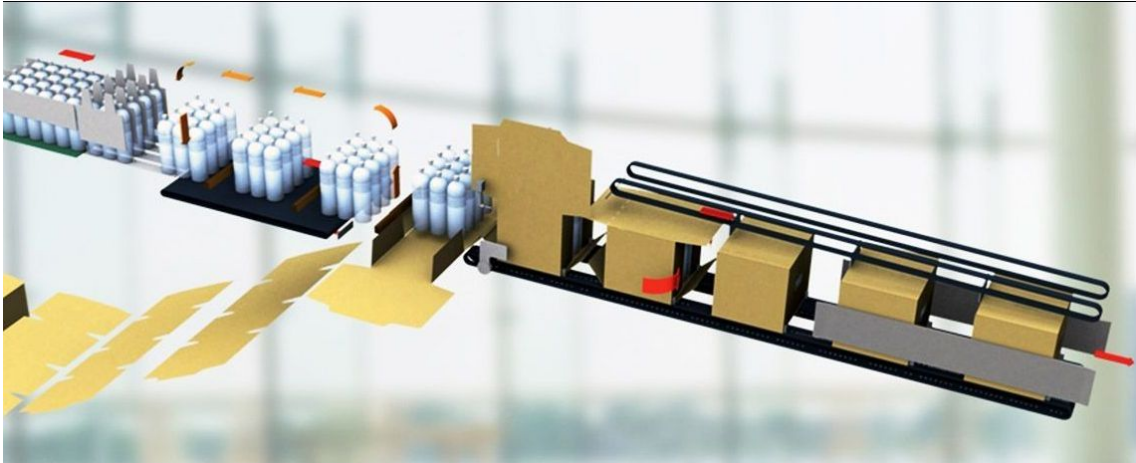
Obrázek 3.11: Zavírání přepravního obalu lištami [16]



Obrázek 3.12: Zavírání přepravního obalu zavírací hlavou [17]

Linka s technologií wraparound

Další variantou při balení produktů do kartonových obalů je využití kartonů se systémem wraparound. V tomto případě se produkty nevkládají do zhotovených krabic, ale jsou položeny na kartonový přístřih. Tento přístřih je následně ohýbán kolem produktů za pomoci pohyblivých či statických lišt tak, aby vznikla krabice, která v sobě produkty uzavírá. Takto vzniklá krabice drží pohromadě nejčastěji za pomoci termolepidla, které je aplikováno na obalovací karton. Příkladem takové linky může být linka VersaCombi od firmy Sidel, která je na obrázku 3.13.[13] Těchto linek se nejčastěji využívá pro balení lahví, plechovek, či nápojových kartonů.



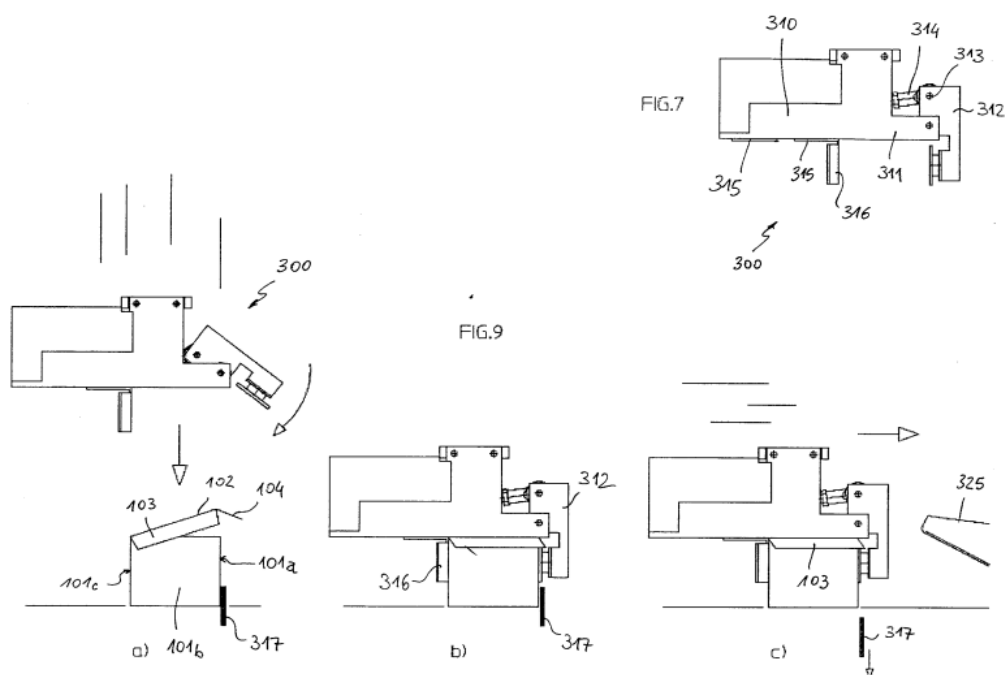
Obrázek 3.13: VersaCombi - Sidel [13]

3.5 Zavírací uzel balicích kartonážních linek

V této části se práce zabývá zavíracími uzly kartonážních linek, které jsou pro ni stěžejní právě proto, že cílem je navrhnout zavírací uzel kartonážní linky. Jednotlivé popsané příklady si kladou za cíl zahrnout co nejširší portfolio využívaných principů a mechanismů, aby na jejich základě mohl být požadovaný uzel navrhnout co nejlépe.

Zavírací hlava s pohyblivými částmi a s projížděním skrze lišty s lepením víka přes krabici

V [28] je popsán zavírací stroj, který tvoří ve spolupráci s dopravníkovým strojem zavírací uzel linky. Takto popsaný stroj slouží k zavírání krabic s několika chlopněmi, které jsou zvenku lepeny na strany krabice. Stroj se skládá zejména ze systému na nanášení lepidla a ze samotné zavírací hlavy, která se může pohybovat ve vertikální rovině kolmé na ohybovou osu víka krabice. Hlavice zobrazená na obrázku 3.5 se skládá z rámu 310 a 311, které nesou pohyblivé prvky - čelní klapku 312, která se sklápí okolo čepu 313 díky pneumatickému pohonu 314, a lišty 316. Na témže obrázku je také zobrazen postup zavírání krabice. Nejprve na krabici zastavenou díky zářezce 317 dosedne zavírací hlava 100. Následně je čelní klapkou přimáčknuta čelní chlopeň 104 k čelní straně krabice 101a a tím je chlopeň přilepena. Následně je pomocí lišty 316 krabice upevněna ve směru pohybu v hlavici a je odstraněna zářezka 317. Pohybem hlavice vpřed je pak krabice protažena skrz lišty 325, kterými jsou přimáčknuty a přilepeny boční chlopně k bočním stěnám 101b.



Obrázek 3.14: Uzavírací mobilní hlavice [28]

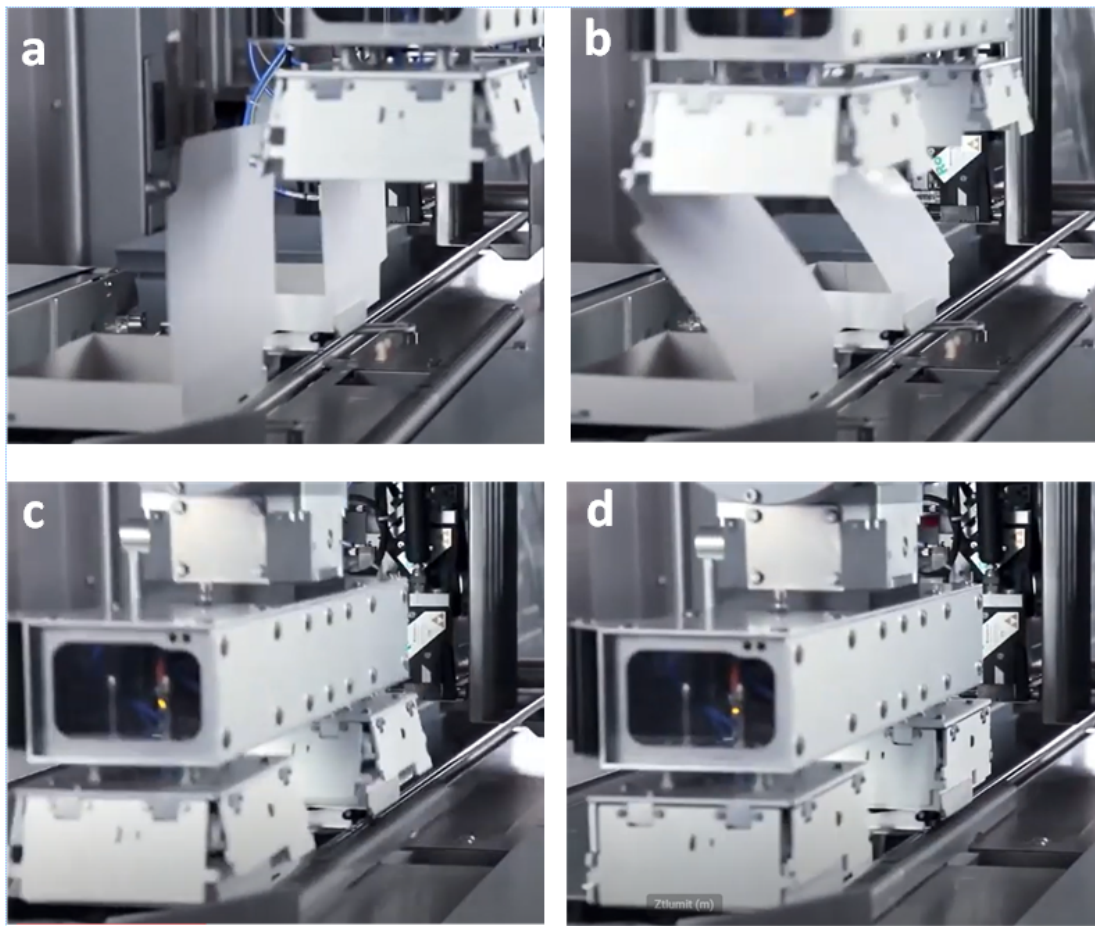
Takto řešený zavírací uzel nabízí možnost velmi rychlého zavírání při celkem jednoduché konstrukci. Další výhodou je také částečná variabilita. Změnu výšky a hloubky krabice lze realizovat pouze změnou pohybů nosiče, pro změnu šířky je nutné změnit rozteč lišt 325.[28]

Zavírací hlava s příklapěči

V balicích linkách firmy Sygpac jsou v zavíracích uzlech pro víka lepená chlopněmi zvenku na boky krabice využívány zavírací hlavy s několika příklapěči. Hlava je nesena manipulátorem a pohybuje se v jedné rovině podobně jako hlava z patentu v kapitole 3.5. Rám hlavice má tvar podle rozměrů krabice. Po stranách rámu jsou umístěny čtyři příklapěče. Hlavice se nejprve nachází za víkem krabice, která přijede pevně připevněná na dopravníku (3.15 - a) . Následně je pohybem hlavy víko přiklopeno (3.15 - b,c). Poté jsou pomocí příklapěčů přiklopeny chlopně k bokům a tím je krabice zavřena a uchopena (3.15 - d). Po tomto uchopení je krabice uvolněna z dopravníku a přenesena hlavicí na výstupní dopravník linky.[8]

U balicích linek Sygpac je kladen velký důraz na variabilitu. Ta je zde dosažena sice pomocí manuální přestavby, ale linka je opatřena sadou přípravků, aby

tato změna byla co nejméně časově náročná. Celá změna formátu krabice by také měla probíhat bez potřeby jakéhokoliv náradí. U zavíracích hlavic je přestavba řešena kompletní výměnou hlavice za jiný rozměr.[8]

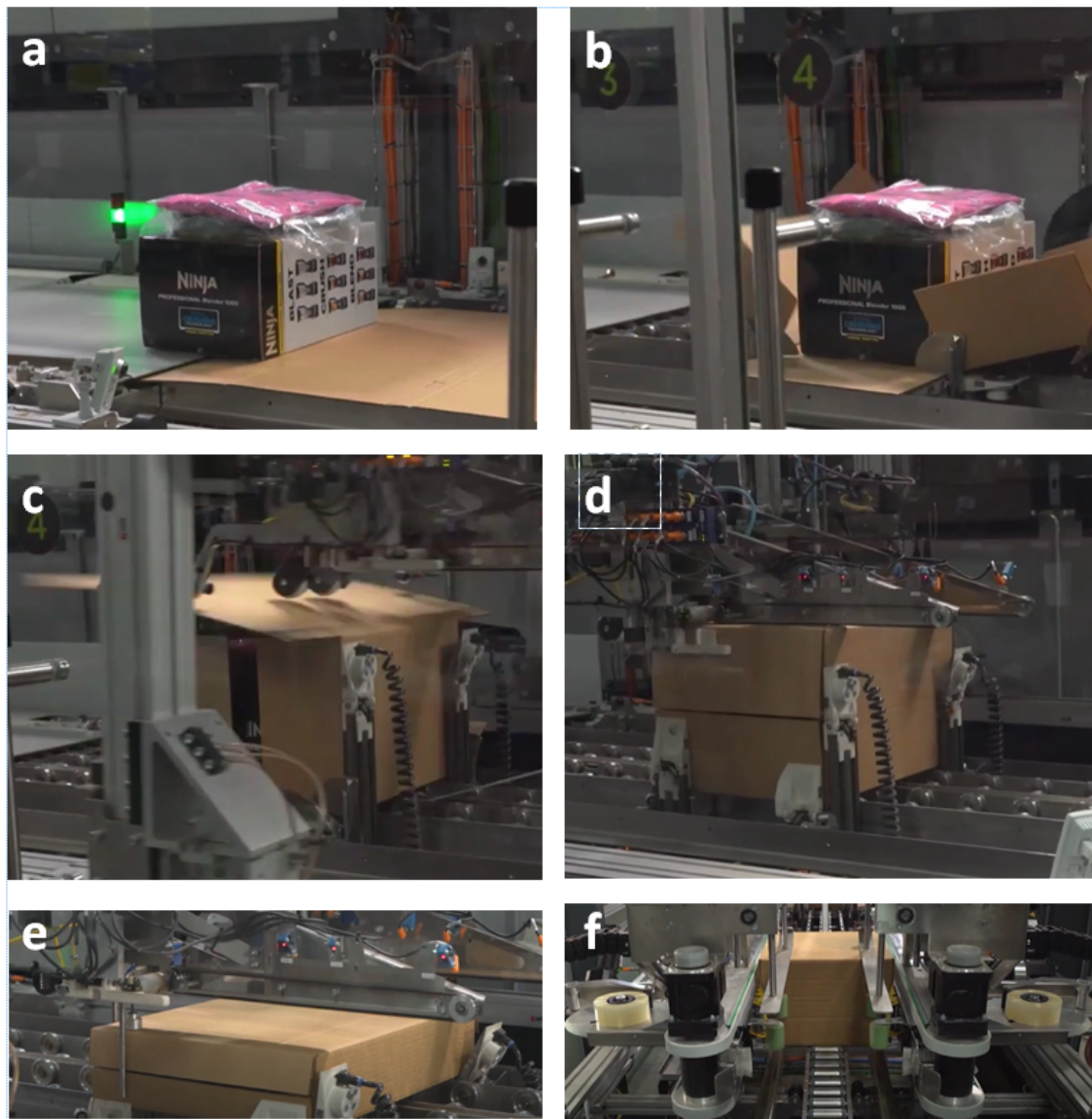


Obrázek 3.15: Sekvence zavírání hlavou s příklapěči [9]

Plně variabilní zavírací wrap around system ProShip CVP-500

Tento systém slouží k balení různě velkých balíčků s různým množstvím dalšího materiálu, jako jsou návody, faktury a další. Balík spolu s příslušenstvím je změřen a uzavřen do kartonu. Všechny uzly balicí linky jsou zde integrovány do jedné operace, která je nejvíce podobná zavírání. Podle velikosti krabice je nejprve připraven přístřih kartonu, který přijede na dopravníku na pracoviště. Z druhého dopravníku na kartonový přístřih přijede připravené zboží a do operace vjíždějí společně (3.16 - a). Následně jsou pomocí pacek umístěných v dopravníku zdviženy chlopně přístřihu a přiklopeny ke zboží podél připravených ohybů (3.16 - b). Poté přijíždí do operace zavírací hlava, které nejprve přiklopí horní díl krabice (3.16 - c) a následně se vše pomocí klapky na hlavici a na dopravníku při-

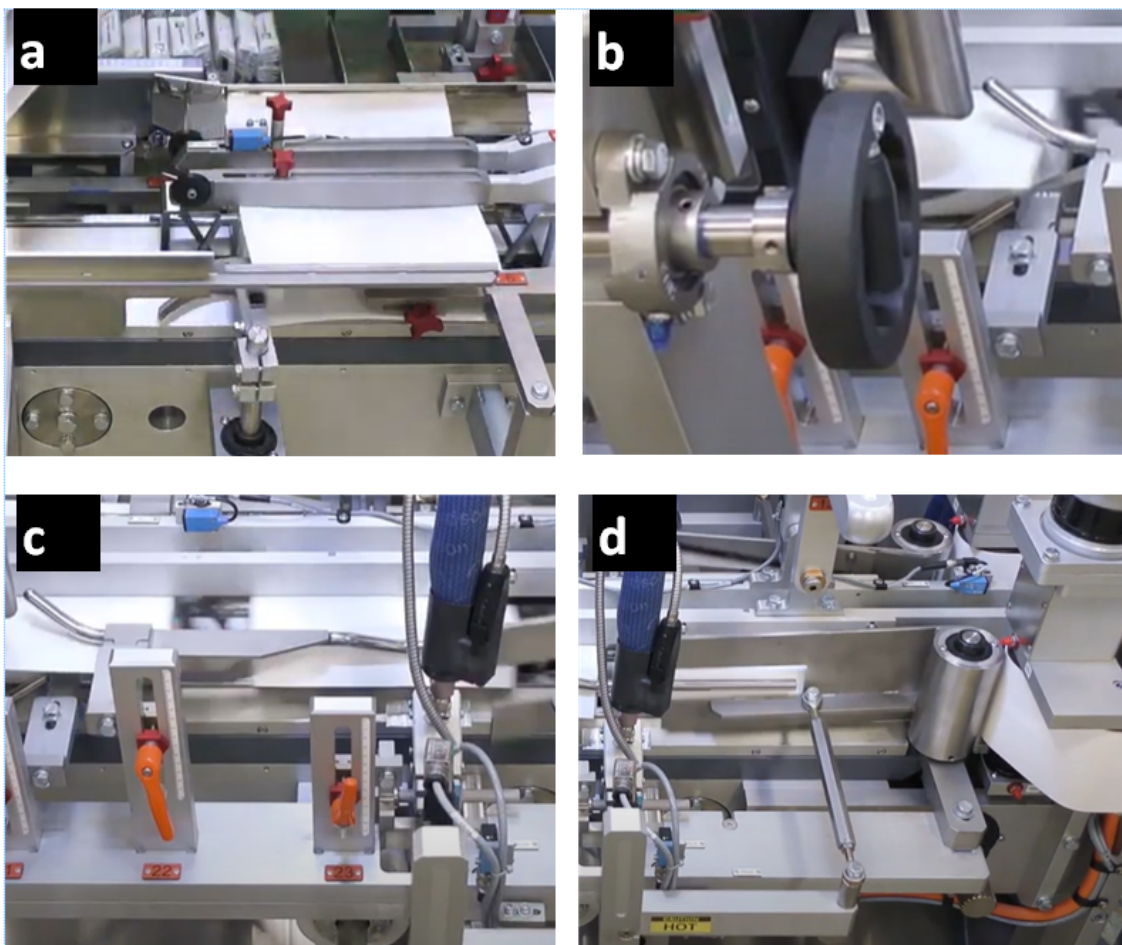
tiskne k sobě (3.16 - d). Pro zajištění této polohy jsou následně z hlavice vysunuty tyče, které drží chlopně, a dotlačovací píst, který drží víko (3.16 - e). V tomto stavu mine krabice spolu s hlavou lepící jednotku, kterou jsou chlopně zalepeny pomocí lepící pásky (3.16 f). Všechny tyto operace probíhají letmo, tedy za současného pohybu dopravníku.



Obrázek 3.16: Sekvence zavírání CVP-500 [12]

Zavírání průchodem lištovou drahou na lince Serpa P150

Zavírání krabic na lince Serpa P150 probíhá při průjezdu krabice lištovou dráhou. Kromě těchto lišt se zde nachází také několik přípravků, které dělají pouze jednoduché pohyby a tím napomáhají správnému dovržení krabic, které jsou neseny dopravníkem, kterým je dána jejich přesná poloha.



Obrázek 3.17: Zavírání průchodem lištovou drahou [23]

V první fázi je zavřena pravá a následně levá boční chlopeň za pomoci přípravku, který koná kyvný pohyb. Nejprve se pohybuje proti směru hodinových ručiček a dovrě první chlopeň, následně pohybem zpět uzavře chlopeň druhou (3.17 - a). V další fázi jsou obě boční chlopně dotisknuty první lištou tak, aby se nemohly otevřít a spodní lištou je přiklopena spodní chlopeň (3.17 - b). Na tuto chlopeň je nanášeno lepidlo a horní lištou je k ní přihnuta horní chlopeň (3.17 - c). Obě chlopně jsou přitisknuty na krabici pomocí lineárního pohybu přípravku a tím je zajištěno správné dovření krabice (3.17 - d). Odtud je krabice odvezena pásovým dopravníkem, který má také pohyblivé boky, které krabici ještě finálně stlačí. U této linky probíhá stejným způsobem zavírání dna a víka. Jedná se o velmi rychlý a jednoduchý způsob, který ovšem nedává příliš prostoru pro variabilitu. Jednotlivé lišty jsou naladěny a nastaveny tak, aby systém dobře fungoval právě pro daný rozměr.

Tato linka je schopna zabalit a tedy i zavřít 80 kartonů za minutu. To pouze potvrzuje, že tento způsob je velmi rychlý. Pro linku navrhovanou v této práci není

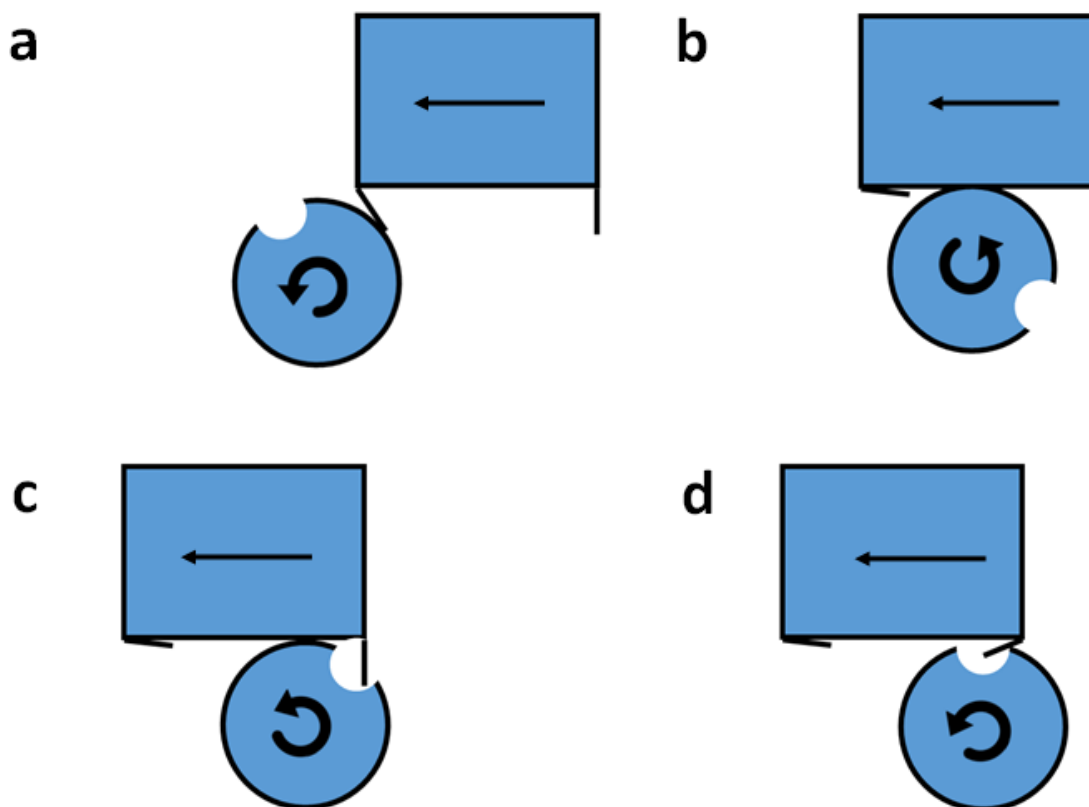
takto rychlé balení zapotřebí, proto se lépe hodí variabilnější, byť pomalejší řešení. Rozměry zabalitelné touto linkou se pohybují okolo 20-ti mm až 100 mm na délku, 13-ti mm až 75-ti mm na výšku a 65-ti mm až 175-ti mm na hloubku. Přestavba a znovu-rozjetí linky je však velice zdlouhavý proces.[23]

Zavírání pomocí lištové dráhy s plynulým pohybem a zavíracím kolem

Stejný princip jako v kapitole 3.5 využívají také kartonážní horizontální linky od firmy PMI Kyoto Packaging Systems. Zde je opět karton odebrán ze zásobníku a vložen do dopravníkového systému. Tímto systémem je nesen a pomocí lišt, které se nachází v jeho okolí jsou jednotlivé chlopně ohýbány a slepeny naneseným lepidlem. Na konci je krabice stlačena, aby lepidlo mohlo zaschnout a krabice zůstala zavřená. Na rozdíl od předchozí linky se však krabice v dopravníku pohybují plynule a také značně rychleji.

Rozdílný je i způsob, kterým jsou uzavřeny boční chlopně. Namísto kyvného pohybu přípravku se zde nachází zavírací kolo, ve kterém je zářez, kterým je boční chlopeň sklápěna. Otáčení kola je sesynchronizováno s pohybem dopravníku. V době, kdy krabice s vzpřímenými chlopněmi vjíždí do prostoru kola, narazí první chlopeň na část kola bez zářezu a tím je přiklopena ke krabici (3.18 - a,b), při dalším pohybu se dostává druhá chlopeň do zářezu na kole a rotací kola je přiklopena ke krabici i druhá chlopeň (3.18 - c,d).

Tento způsob je rychlejší zejména z důvodu plynulosti a zavírací kolo tomuto zrychlení napomáhá. Takto vysoká rychlost není sice pro tuto práci zásadní, nicméně jde o jiný, vcelku zajímavý princip, který by bylo možné využít. Co se týče variability, je tímto dále snížena, jelikož je nutné sesynchronizovat otáčení s pohybem dopravníku podle rozměrů krabice.

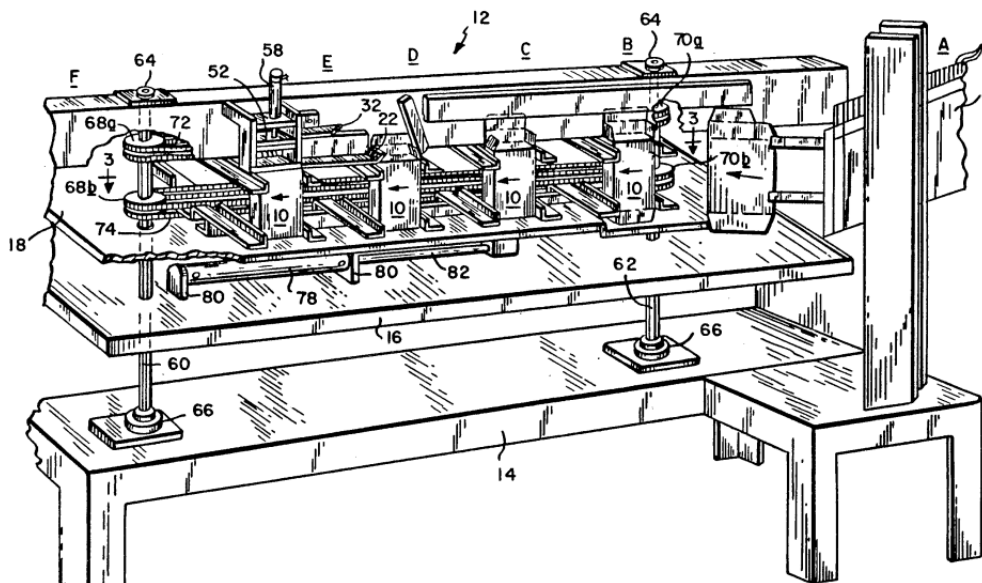


Obrázek 3.18: Princip zavíracího kola

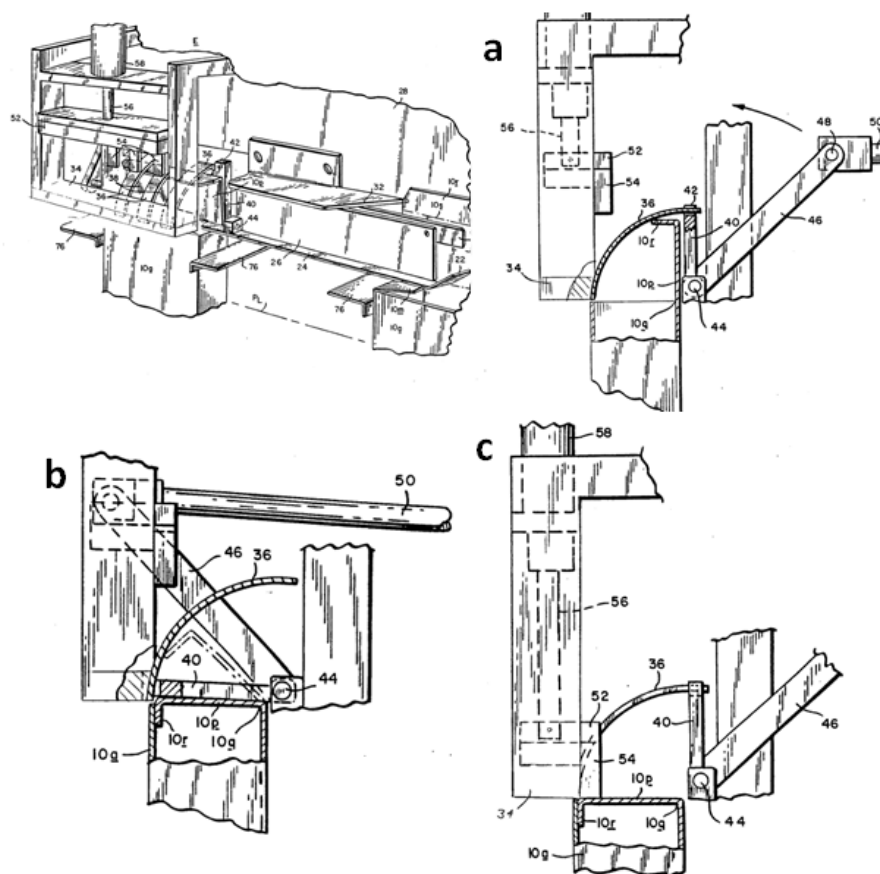
Zavírací mechanismus s efektory a lištami pro zasouvací chlopně

Další zavírací mechanismus je představen spolu s celou balicí linkou v [25]. Zavírání zde probíhá během pohybu přes jednotlivá stanoviště, v závěrečném stanovišti probíhá dovření speciálním mechanismem bez pohybu krabice. Tato linka slouží k zavírání krabic bez lepení, se zasouváním horní chlopně víka mezi čelo krabice a boční chlopně. Víko je zajištěno zapadnutím zářezů na čelní chlopni do sklopených bočních chlopní. Pohled na linku je na obrázku 3.19. Po naložení produktů do krabic na stanovišti C se otevřená krabice posouvá a přes lištu a kyvný mechanismus jsou sklopeny boční chlopně krabice, které jsou dále přidrženy lištou. Na stanovišti E je následně ohnuta horní chlopeč víka tak, aby mohla být následně zasunuta na své místo. Samotné zavření víka je pak popsáno na obrázku 3.20. Víko s již ohnutou horní chlopní vjede spolu s krabicí pod lištu, které určují dráhu chlopně a navádějí ji do její koncové pozice (3.20 - a). Za víkem je sklápěcí mechanismus, který sklopí víko o 90° a díky lištám zapadne chlopeč do mezery mezi čelem krabice a bočními chlopněmi (3.20 - b). Krabice se zavřeným víkem je posunuta dál a víko je dotlačeno lineárním efektoem ke krabici, aby byla zajištěna spolehlivost zavření (3.20 - c).[25]

Toto řešení se může stát variabilním zajištěním přesouvání naváděcích lišt.



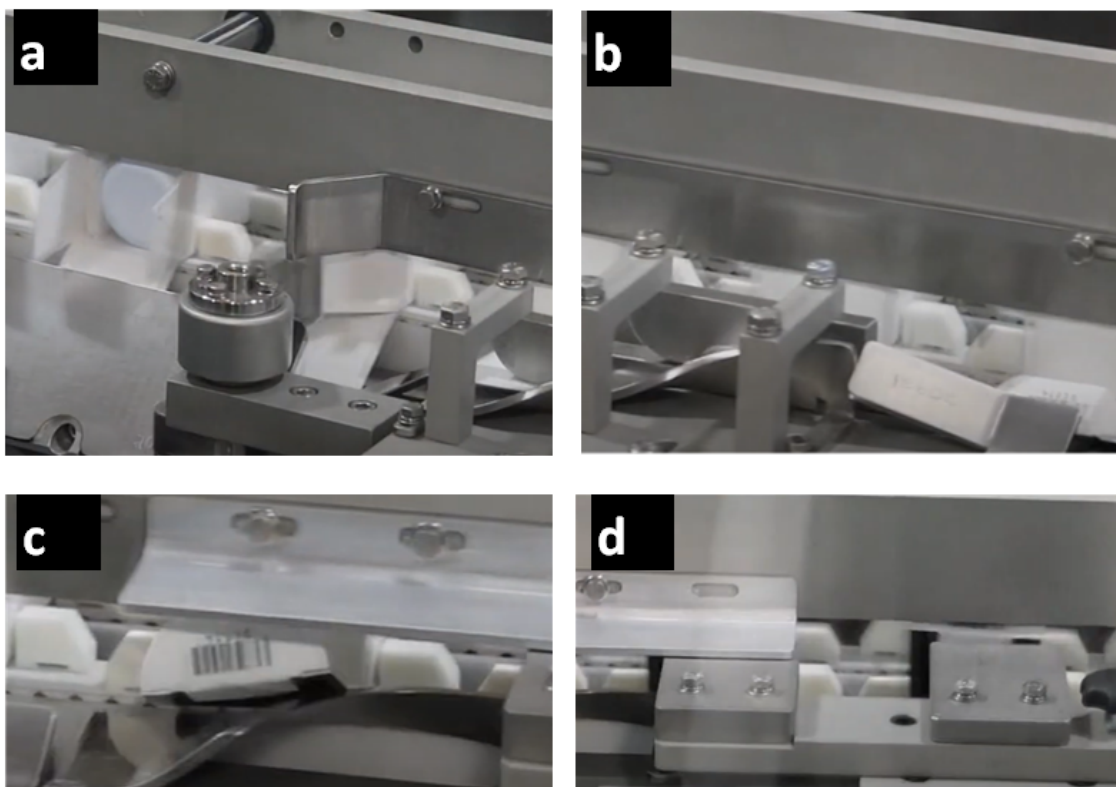
Obrázek 3.19: Linka se zavíracím mechanismem s efekty a lištami [25]



Obrázek 3.20: Mechanismus zavírání víka se zastrkávací chlopní [25]

Zavírací průběžný mechanismus pro zasouvací chlopně

Principu popsaného výše prakticky využívá zavírací uzel linky od firmy Ess Technologies. Zde se jedná o průběžný systém. Kyvným pohybem jsou ohnuty boční chlopně, následně je ohnuta horní chlopeň a přihnuto víko. Horní chlopeň je přes vodítko navedena do mezery, do které má zapadnout. V závěru je víko dotlačeno jednoduchými efekty.[27] Tento princip popisuje obrázek 3.21.



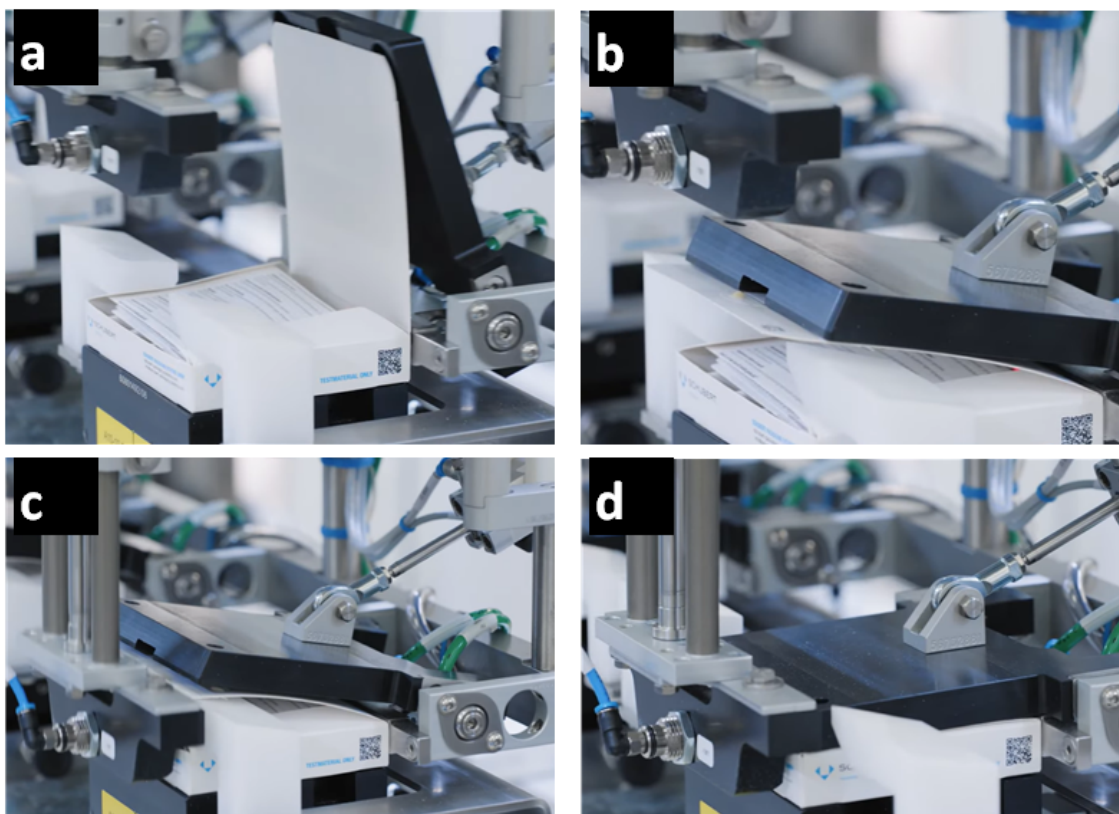
Obrázek 3.21: Princip zavírání s efekty a lištami linky od Ess Technologies [27]

Zavírací hlavice pro zasouvací chlopně

Další řešení pro zavírání krabice se zasouvací chlopní přináší firma Gerhart Schubert, která daný úkol řeší pomocí speciální zavírací hlavy. Krabička je nejprve manipulátorem uložena do hnízda a zde je přichycena. Přípravky na boku jsou posunuty směrem do středu krabice a tím jsou ohnuty boční chlopně (obrázek 3.22 - a). Zadním sklápěčem je částečně sklopeno víko tak, že se hrana mezi víkem a horní chlopní dotýká hrany bočních přípravků (obrázek 3.22 - b). Přes tuto hranu je horní chlopeň ohnuta o 90° horním pohyblivým přípravkem (obrázek 3.22 - c). Tento přípravek dále

slouží jako vodítko pro zasunutí chlopně. To nastává v další fázi, kdy je pomocí sklopného přípravku víko zaklopeno a chlopeň zasunuta do finální pozice (obrázek 3.22 - d). Hlava dále slouží také pro přenos krabice, která je po zavření v hlavě uchycena a je možno s ní manipulovat.[26]

Tento způsob je dostatečně rychlý, případná přestavba na jiný formát je ovšem velmi časově náročná.



Obrázek 3.22: Zavírání hlavicí pro zasouvací chlopně [26]

Tři poslední představené varianty nejlépe odpovídají zadání práce. Zde je požadavek na několikanásobné zasunutí chlopně do připravené mezery. Samotný zámek představuje pouze druhou stejnou operaci jako zasunutí chlopně víka, pouze otočenou o 90°.

3.6 Závěr rešerše

Začátek rešerše se zabývá obalovou technikou a obecně balicími linkami a jednotlivými principy při balení produktů do prodejních obalů. V teoretické části se rešerše zaměřuje na principy využívané v zavíracích uzlech balicích linek a na možnosti modelování papírových obalů, které je možné využít pro parametrizaci úlohy. Další část je zaměřena na příklady balicích linek na kartonové obaly, které dávají obecnější náhled

na problematiku a také představují velké množství principů pro práci s kartonem.

Poslední část rešerše se zabývá konkrétně zavíracími uzly, kdy je představeno několik možností, včetně využití zastrkávacích chlopní, které odpovídají zadané krabici, kde se objevuje tento mechanismus jak pro zavírání víka, tak pro zajištění kartonovým zámečkem. Je představeno několik principů a jejich konkrétní využití na komerčně nabízených linkách.

Rešerše dává podklad pro další části práce, kde jsou na jejím základě navrženy jednotlivé varianty řešení dané problematiky.

4 Volba konceptu řešení

Koncepce řešení byla vytvořena za pomoci informací získaných z řešerše s respektováním konkrétních požadavků na navrhovaný zavírací uzel balicí linky. Konkrétní požadavky jsou proto sepsány v následující kapitole.

Požadavky a konkrétní zadání

Požadavky od zadavatelské firmy lze rozdělit na dvě kategorie. První jsou požadavky, které jsou zásadní a je potřeba je bezvýhradně dodržet. Mezi ty to požadavky patří zejména takt linky. Takt balicí linky vychází přímo z taktu výrobní linky, na kterou navazuje. Výrobní linka je dimenzována na maximální výkon 50 sklenic za minutu. Linka je navrhována pro balení po šesti sklenicích, tedy výkon výrobní linky přepočtený na krabice vychází následovně.

$$P_{VK} = \frac{P_{VS}}{N_{SK}} = \frac{50}{6} = 8,33 \frac{Krabice}{Minutu} \quad (4.1)$$

Výrobní linka však pracuje s nezanedbatelnou zmetkovitostí. Proto je do taktu balicí linky třeba započítat také tuto skutečnost. Spolehlivost výroby je maximálně 90%. Pro takt balicí linky tedy platí.

$$T_B = T_{BK} = \frac{60}{P_{VK} \cdot \eta_V} = \frac{60}{8,33 \cdot 0,9} = 8 s \quad (4.2)$$

Takt balicí linky pro balení do krabic se šesti sklenicemi je tedy 8s v případě, že jede výrobní linka na nejvyšší výkon a s maximální spolehlivostí, tedy 90%. Na takovýto takt bude tedy v další části navrhován také zavírací uzel. Pro výkyvy ve výkonu a jeho nepravidelnost danou zmetkovitostí, která se vyhodnocuje až na konci výrobní linky je součástí balicí linky vyrovnávací zásobník. Tento zásobník však není součástí zavíracího uzlu, ale bude se dle předpokladu nacházet na vstupu sklenic do balicí linky.

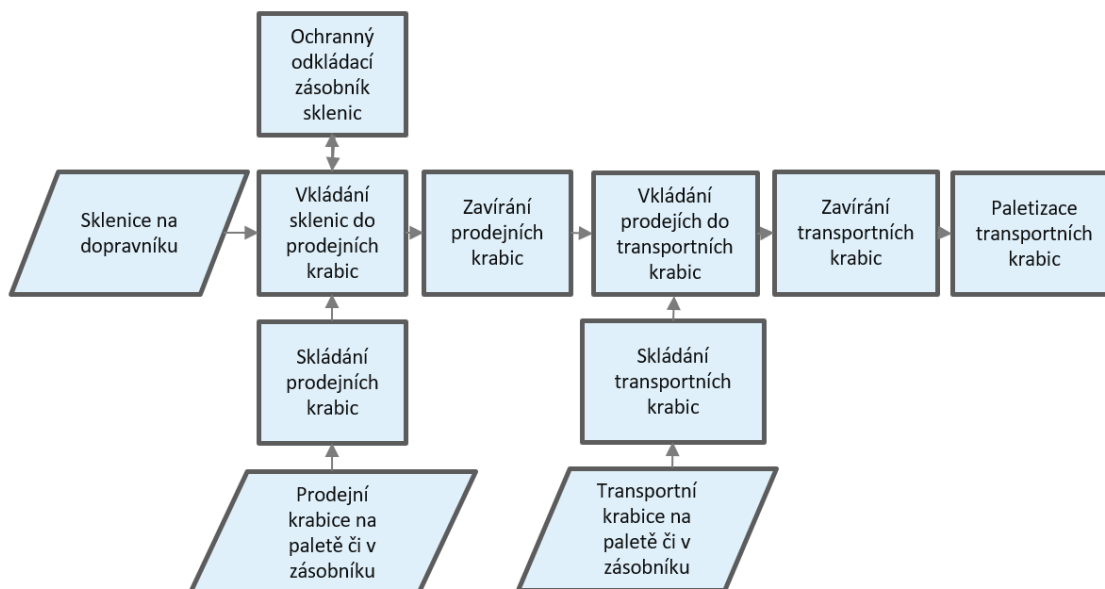
Další požadavky jsou vázány na rozměry sklenic a krabic. Pro zavírací uzel jsou podstatné zejména rozměry krabic a jejich rozptyl. Tento parametr není tak striktně závazný. Od zadavatele byly získány maximální a minimální rozměry krabic z celého portfolia firmy. Tím jsou dány maximální a minimální rozsahy v globálu, tedy pokud by byly tyto parametry překročeny, jednalo by se o zbytečnou práci, která by neměla využití. Výrobní linka, za kterou je balicí linka s navrhovaným zavíracím uzlem, neprodukuje v současné době sklenice pro kompletní portfolio krabic. Systém by měl být navržen co možná nej-

univerzálněji, tedy aby bylo možné zavírat co možná nejširší portfolio a to tak, aby řešení zároveň nebylo přespříliš komplikované. Šíře portfolia krabic je vidět na obrázku 4.1.



Obrázek 4.1: Maximální a minimální rozměry krabic

Jelikož se jedná o velmi velký rozptyl, řešení, které by bylo schopné obsáhnout všechny tyto rozměry by mohlo být nepřiměřeně drahé. Cílem navrhnout co nejvariabilnější řešení a případně také zhodnotit, jak co nejjednodušeji řešení v případě potřeby dále rozšiřovat pro další rozměry krabic z kompletního portfolia například manuální přestavbou.



Obrázek 4.2: Koncepte celé balicí linky dle představy zadavatele

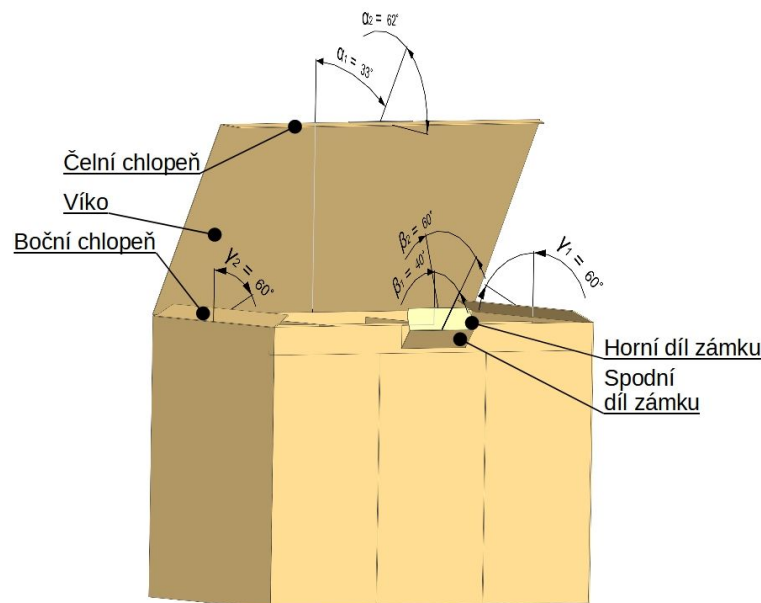
Posledním požadavkem je nenavrhnout zavírací uzel pouze jako samostatný prvek, ale uvažovat ho jako součást celé balicí linky, tedy respektovat návaznosti jak před

tímto uzlem, tak za ním. Z toho důvodu byla se zadavatelskou firmou probrána představa o celé balicí lince. Její představa je zobrazena na obrázku 4.2.

K tomu patří také respektování firemních zvyklostí, jako je v případě využití robotického systému volba výrobce robotu, se kterým má firma zkušenosti.

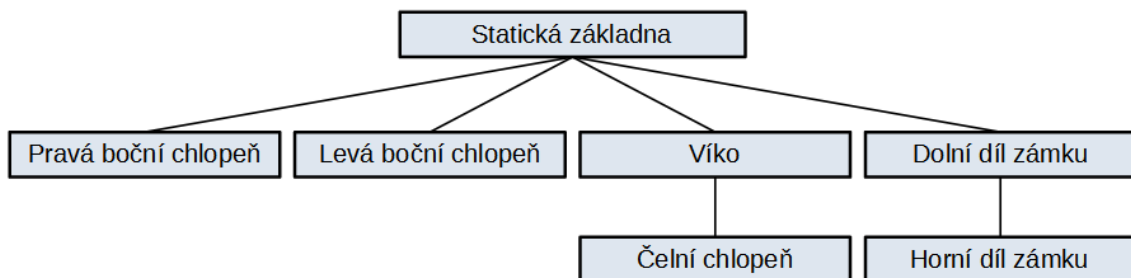
4.1 Uzavíraná krabice

Konstrukce krabice a její popis je na obrázku 4.3. Pro snadný kinematický popis jsou zde uvedeny také úhly, které plně popisují konfiguraci krabice. Jedná se o typovou krabici. Jednotlivé krabice se liší rozměry, nicméně mají stejné části a až na boční chlopně, které mohou být různě vysoké, odpovídá také poměr jednotlivých rozměrů.



Obrázek 4.3: Konstrukce uzavírané krabice

Jednotlivé panely jsou na sobě závislé a tato závislost je patrná z grafu 4.4, který byl vytvořen na základě principů popsaných v [6].

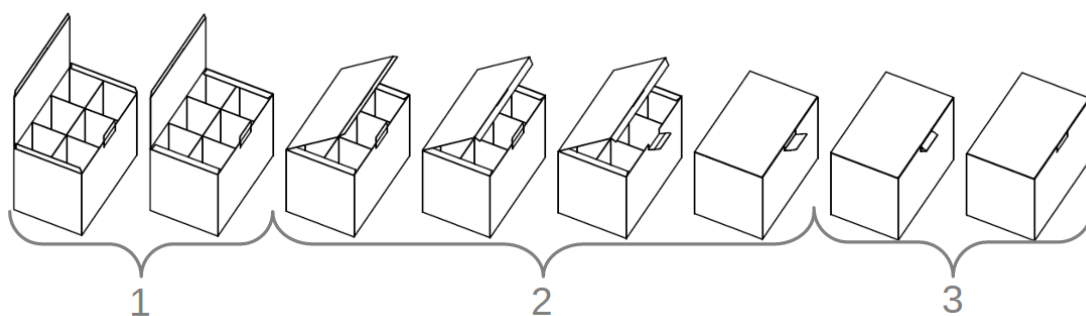


Obrázek 4.4: Kinematická struktura uzavírané krabice

Ze struktury je patrné, že se jedná o kinematicky celkem jednoduchou soustavu. Nachází se zde 7 částí, které jsou vzájemně propojeny vždy rotační vazbou. Ačkoliv se zde nacházejí pohyby ve dvou rovinách, každý závislý pohyb je vždy pouze v jedné rovině. V rovině X-Z se nachází pohyb bočních chlopní, tedy pohyb definovaný úhly γ_1 a γ_2 . Tento pohyb je závislý pouze na pohybu základny. Ve druhé rovině se nachází pohyb víka a závislý pohyb čelní chlopně, tedy pohyb definovaný úhly α_1 a α_2 a pohyb dolního dílu zámku a na něm závislý pohyb horního dílu zámku, s úhly β_1 a β_2 . Pro určení pohybu každého panelu, případně pro určení pohybu jednotlivých bodů na krabici je možné využít transformace pohybů, jak bylo definováno v kapitole 3.3.4. Konfigurace pro koncový stav, tedy pro uzavřenou krabici, je dána hodnotami všech úhlů 90° , s výjimkou úhlu β_2 , který má hodnotu 0° . Ostatní konfigurace v průběhu zavírání se mohou lišit podle vybraného způsobu, nicméně je dáno pořadí, ve kterém se musí jednotlivé panely skládat:

1. Sklopení bočních chlopní
2. Sklopení víka a zasunutí čelní chlopně za čelní panel
3. Zajištění pojistného zámku

Z tohoto pořadí pak vychází sekvence uzavírání krabice. Základní kroky jsou zobrazeny na obrázku 4.5.



Obrázek 4.5: Zavírací sekvence

4.2 Výstupy z rešerše pro návrh variant řešení

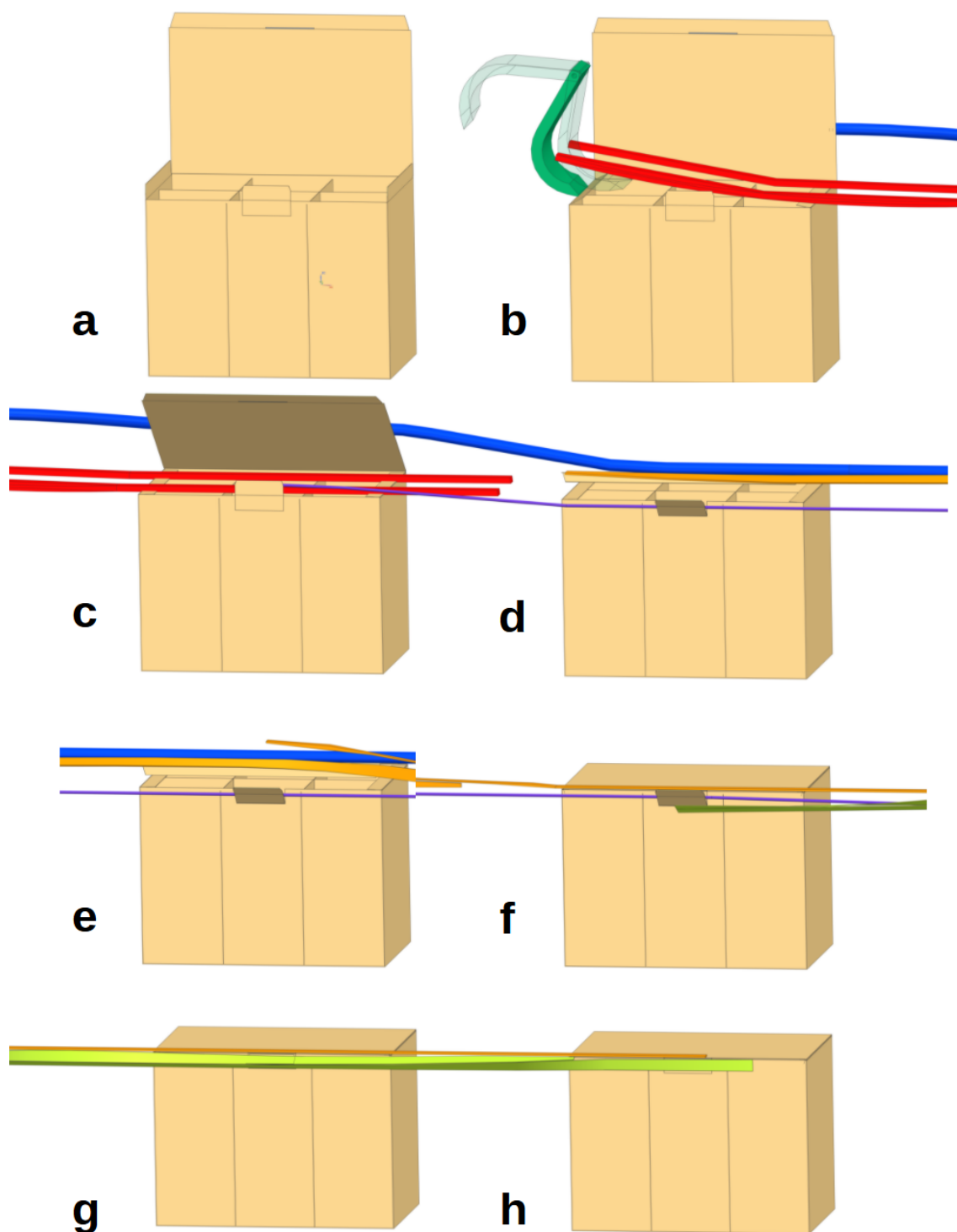
V rámci rešerše bylo analyzováno velké množství zavíracích uzlů balicích linek pro papírové krabice. Z těchto analýz by měla následně vzniknout ideální varianta pro konkrétní zadání. Tato existující řešení byla rozdělena do následujících kategorií:

- Zavírací uzel s lištovými a krokovými dráhami
 - Tyto uzly se vyznačují zejména vysokou rychlostí. Uzavírání probíhá automaticky spolu s pohybem krabice pouze za pomoci dotykových lišt, které ohýbají jednotlivé stupně krabice, případně velmi jednoduchých efektorů, které slouží k ohybu proti směru pohybu krabice, případně dotlačení části krabice, která byla předuzavřena lištou. Tento způsob se používá zejména pro jednodušší krabice s malým pojištěním proti otevírání. Zrovna tak se toto řešení nevyužívá pro variabilní rozměry krabic a to ani s přestavbou.
- Zavírací uzel s funkčními efekty
 - Jedná se o pomalejší řešení, než předchozí případ. Efektor, který má z pravidla mnoho stupňů volnosti, je nesen manipulátorem a po přiložení na krabici uzavře víko pohyby svých částí. Toto řešení je možné použít na komplikovanější konstrukce krabice a do značné míry může být také variabilní. Tato variabilita odvisí jak od množství vykonávaných pohybů efektoru, tak od nosícího manipulátoru.
- Zavírací uzel s kombinací lištové a krokové dráhy a funkčního efektoru
 - Zde jde o kombinaci obou výše zmíněných principů. Nejprve jsou uzavřeny pomocí lišt jednodušší části krabice, jako jsou boční chlopně a následně krabice zastaví a pomocí funkčního efektoru, či jiného komplexnějšího přípravku, je dověřena komplikovanější část krabice, typicky pojištění proti otevření.

Na základě tohoto zhodnocení a dalších poznatků z rešerše bylo následně navrženo několik variant, které jsou prezentovány dále. Pro lepší možnost popisu je při jejich představování využito barevného odlišení jednotlivých částí.

4.3 Varianta s využitím lištové dráhy

Tato varianta využívá principu kontaktu jednotlivých panelů s lištami. Krabice se posouvá po pracovišti a pomocí geometrického rozmístění lišt v okolí dráhy jsou zavírány jednotlivé části. Tyto lišty jsou doplněny nejnutenějšími jednoosými efekty pro lepší funkčnost.



Obrázek 4.6: Varianta s lištovou dráhou

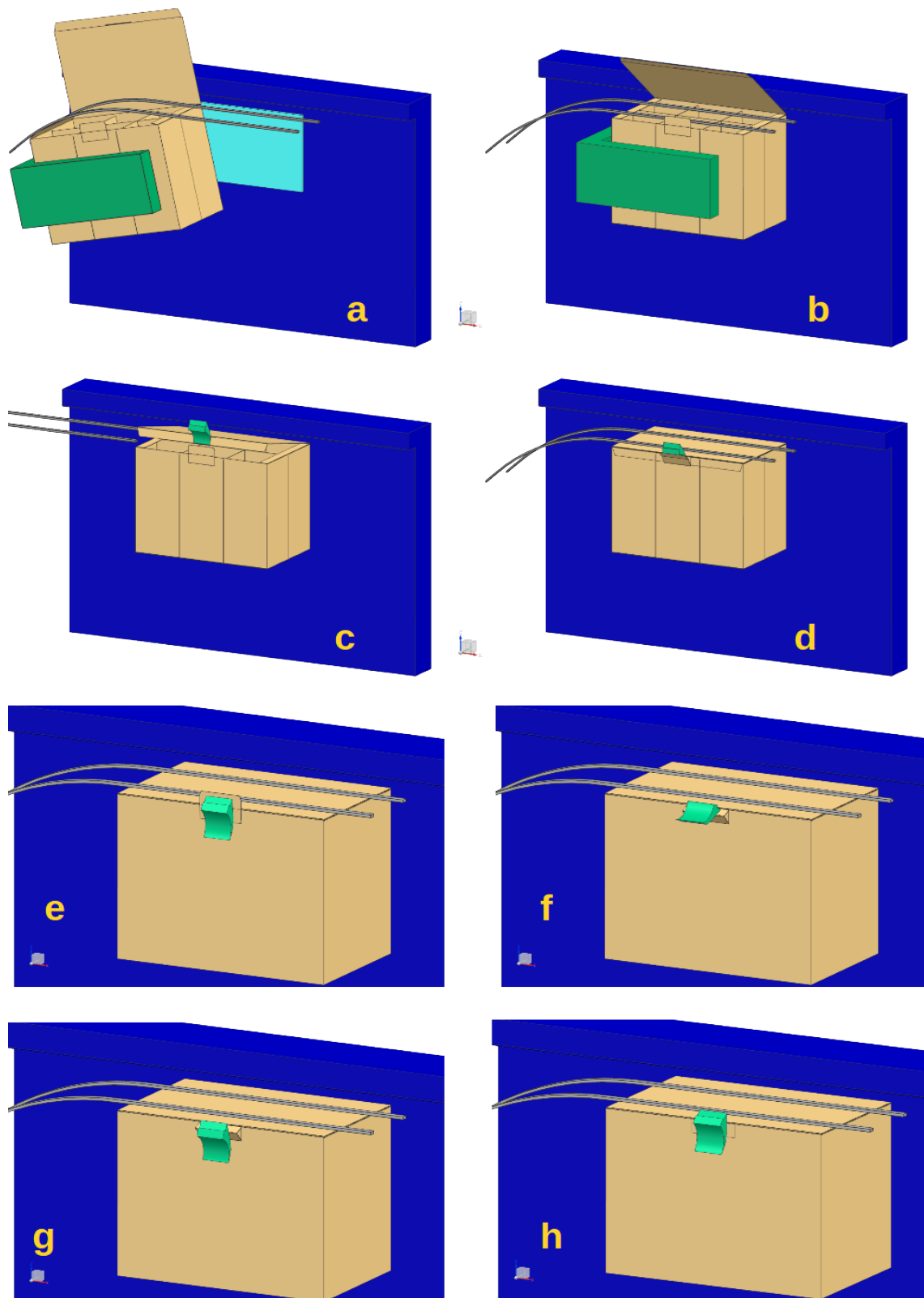
Navržená lištová dráha začíná sklopením bočních chlopní, což odpovídá sekvenčnímu kroku jedna. Boční chlopně jsou uzavřeny jedna pomocí červené lišty, druhá pomocí zeleného rotačního efektoru. Následuje sklopení víka pomocí zadní modré lišty, tedy fáze

odpovídající druhému kroku. Během pohybu víka je oranžovou lištou ohnuta čelní chlopeň a následně zasunuta. Přivřené víko také drží boční chlopně. Zámek je fialovou lištou nejprve odklopen od čelního panelu a následně ohnut. Pomocí poslední, hnědé dvojlišty je zámek zasunut na místo. Celá tato sekvence je patrná z obrázku 4.6.

Popsaná varianta vychází přímo z několika rešeršních zdrojů. Obyčejně je tato metoda využívána pro jednodušší uzavírané krabice. Pro komplikovanější krabici roste náročnost návrhu tvarů jednotlivých lišt, jejich výroba i ustavení. Řešení nabízí velmi rychlé uzavírání ovšem s malou variabilitou. Té lze dosáhnou upevněním jednotlivých lišt na servoosy. Tím se toto řešení prodražuje a navíc není jisté, zda by se po každé takové přestavbě nemusel celý systém znovu ladit, aby vše fungovalo jak má.

4.4 Varianta s plně robotickým zavíráním

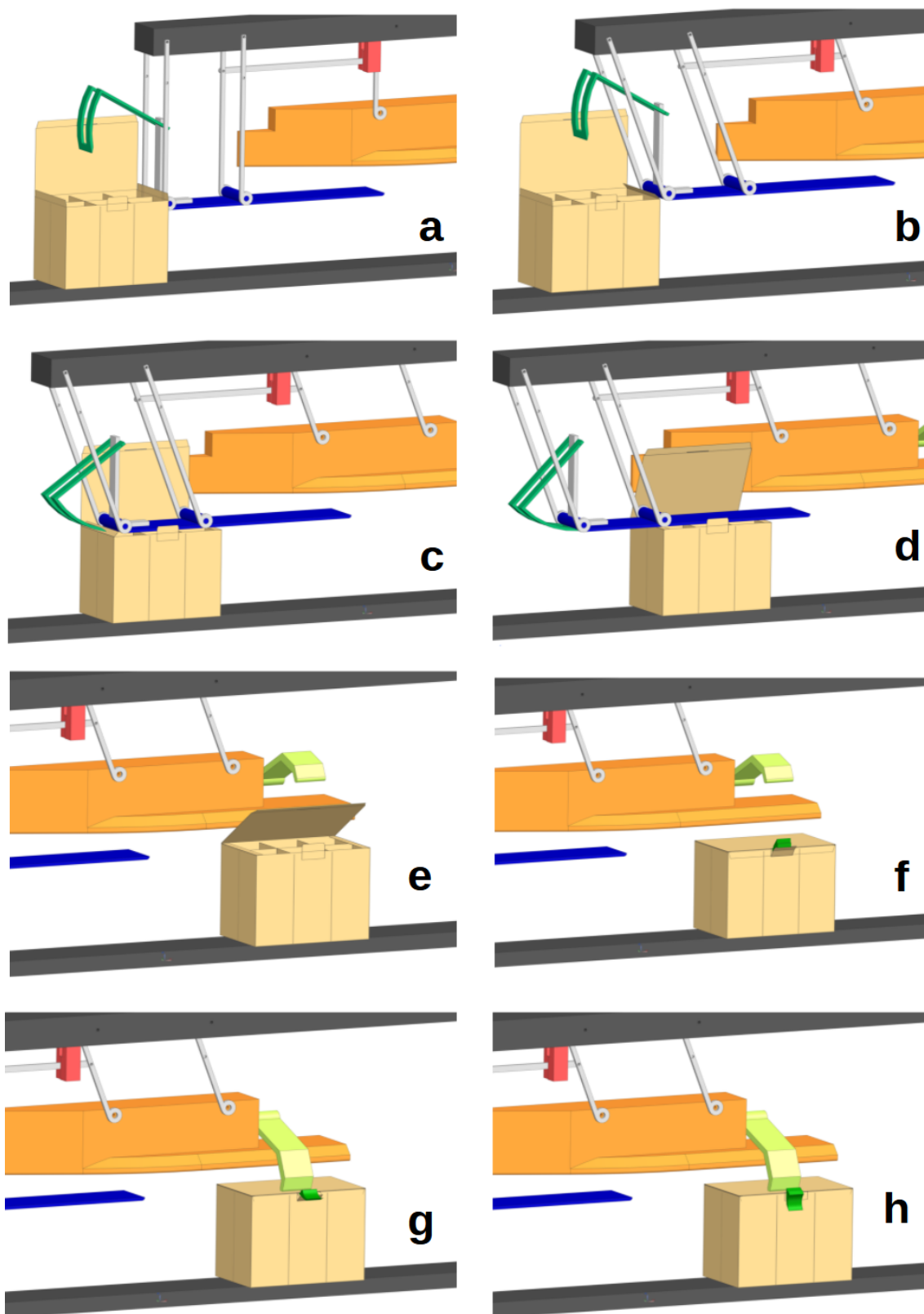
Toto řešení je založeno na využití komplexních pohybů robotu. Robot uchopí krabici pomocí zeleného efektoru a pohybuje s ní tak, aby se dotykem se stříbrnými lištami zavřely boční chlopně a následně se přitisknutím ke stěně o předseznanou hranu částečně sklopilo víko. Na tomto místě je krabice přichycena tyrkysovou podtlakovou deskou a robot krabici pouští. Dále ke krabici stojící na místě přistupuje robot pomocí speciálního podtlakového nástroje, kterým je nejprve dovřeno víko a následně zavřen jistící zámek. Víko je chyceno nejenom podtlakem, ale také tvarově přes výstupek, který se na víku nachází v důsledku výřezu drážky pro zámek. Zámek je zlomen ve vazbě svých dvou dílů o hranu víka, naveden do drážky a následně dotlačen nástrojem na místo. Lišty, které původně přidržovaly boční chlopně během dovírání víka ustoupí a následně se přesunou tak, aby bylo víko přidrženo v zavřeném stavu, než se dovře jistící zámek. Sekvence je patrná na obrázku 4.7. Tato varianta nabízí velmi vysoký stupeň variability. Veškeré pohyby jsou zajišťovány robotickým ramenem, jehož pohyb lze jednoduše měnit pomocí programu a zároveň lze také dynamicky řídit například na základě odměřování. Nevýhodou je potom rychlost takového řešení. Vzhledem ke komplexnosti pohybů by řešení vedlo na angulární rameno, které je relativně pomalé a z hlediska taktu by takové řešení mohlo znamenat problém. Další komplikací může být poměrně složitá manipulace s krabicí a tedy také nebezpečí poškození sklenic. Řešení je konstrukčně i z hlediska řízení velice jednoduché a tudíž celkem levné.



Obrázek 4.7: Varianta s plně robotickým řešením

4.5 Varianta s paralelogramickou houpačkou

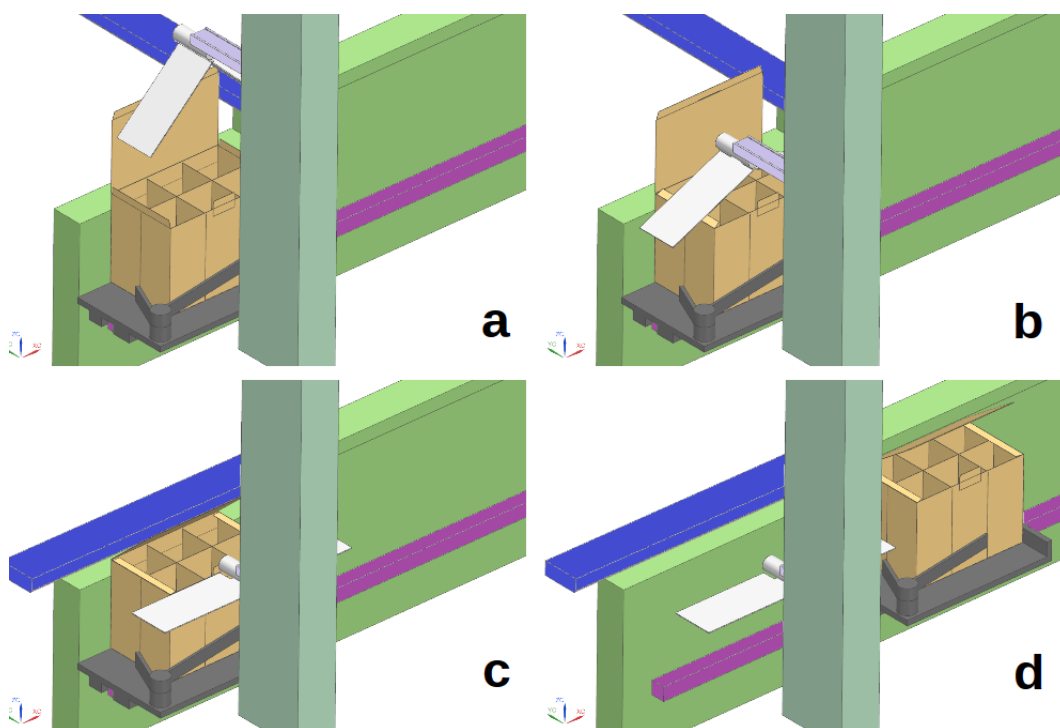
Následující varianta byla navrhována s cílem vyřešit problém s vytížeností robotu po celou dobu zavírání krabice. Na první část zavírání, tedy sklopení bočních chlopní a přivření víka je robotický systém příliš komplikovaný stroj a bylo tedy navrženo jednodušší řešení se snahou zachovat stejnou variabilitu. Toto řešení využívá paralelogramickou houpačku. Modře naznačená houpačka se po kontaktu s projíždějící krabicí zhoupne a tím se její výška nastaví podle zrovna projíždějící krabice. Tím je daná její pozice pro další úkony, jako je přivření druhé chlopně otočným zeleným přípravkem a přivření víka tvarovou lištou. Následně je dovřena krabice robotickým systémem stejným způsobem jako v případě plně robotické varianty. Postup je znázorněn na obrázku 4.8. Díky rozdělení do dvou částí je tato varianta rychlejší a robotický systém je efektivněji využit. Pro vyšší prostupnost je systém doplněn červenou brzdou. Při sérii stejně velkých krabic funguje první jako nastavovací a dále je výška systému neměnná. Výhodou je zejména plynulost, kterou toto řešení nabízí. Závěrečná robotická operace může probíhat za pohybu krabice do strany. Nevýhodou tohoto řešení je ohrožení sklenic uložených v krabicích při kontaktu s houpačkou a také zhoršená variabilita výšky krabic. Také je nutné dobře načasovat sklopení přípravku pro zavírání druhé boční chlopně vzhledem k různým pozicím houpačky vůči nosné dráze krabic pro různé výšky.



Obrázek 4.8: Varianta s paralelogramickou houpačkou

4.6 Varianta se střešovým přípravkem

Tato varianta využívá také rozdělení zavírání na dvě operace ve stejném duchu, jako předchozí. Sklopení bočních chlopní má na starost střešový přípravek. Jedná se o pasivní prvek, který je nesen dvouosým diskretním manipulátorem. Sklopení víka je dosaženo pomocí rotačně uložené lišty, na kterou navazuje pevná lišta, která drží víko přivřené dokud není dověřeno efektem robotického systému. Toto dověření a zajištění zámku vychází z plně robotické varianty. Dalším přípravkem je víko přidrženo v zavřené poloze během robotické operace. Sekvence první části této varianty je zobrazena na obrázku 4.9.



Obrázek 4.9: Varianta se střešovým přípravkem

V této variantě je podstatně větší množství pohybových členů, než v předchozí, nicméně je díky tomu snížena míra nebezpečí poškození sklenic a krabic samotných. Samotný střešový přípravek je pasivní člen, který se díky své konstrukci rozevřít sám a plného rozevření je vždy dosaženo ve správné výšce dle krabice. I tento způsob umožňuje plynulý pohyb pracovištěm a to za předpokladu dobrého načasování přivírání chlopní. Varianta je tedy rychlá, rozděluje operaci pro efektivní využití jednotlivých částí a zároveň je šetrná ke krabicím. Konstrukce a řízení této varianty je však složitější, než u variant předchozích.

4.7 Výběr finální varianty

Představené varianty se dají hodnotit z mnoha hledisek. Každá další varianta se snaží vylepšit určitou negativní vlastnost varianty předchozí, čehož nemusí být vždy dosaženo. Změnou tohoto jednoho parametru pak může dojít ke zhoršení mnoha dalších.

První varianta byla rychlá a levná, nicméně byla velmi nevariabilní. Ve druhé variantě byl tento nedostatek odstraněn za cenu času. Pro vyřešení rychlosti byla navržena třetí varianta, která by fungovala plynule, bez nutnosti zastavovat a také díky rozdělení operace umožňovala pracovat ve vyšším taktu. Tato varianta přinášela problémy s poškozením krabic, a proto byla navržena varianta poslední, kde byl čas operace stále nízký, ale poškození krabic méně pravděpodobné. Tato varianta ovšem přináší vyšší cenu a složitost konstrukce a řízení. Varianty byly zhodnoceny v následující tabulce 4.1.

Tabulka 4.1: Porovnání variant

	Lištová dráha	Plně robotické řešení	Paralelogramická houpačka	Střeňový přípravek
Rychlost	5	2	4	4
Variabilita	1	5	3	4
Řízení	3	5	4	4
Konstrukce	1	5	2	4
Cena	4	2	4	3
Poškození krabic	5	2	2	4
CELKEM	19	21	19	23

V tabulce znamená vyšší číslo vždy lepší vlastnost, tedy například nejvyšší cena znamená nejméně bodů. Z tabulky je patrné, že poslední varianta vychází jako nejvýhodnější. Vzhledem k vývoji variant byl tento výsledek očekávaný a bylo předpokládáno, že každá další varianta by měla být lepší než předchozí. To se ovšem neukázalo mezi variantou 2 a 3, kdy je vidět pokles bodů. Ačkoliv se zdá rozdíl mezi variantami velmi malý, například mezi variantou 2 a 4 je rozdíl pouze dva body, jsou zde některé parametry, které rozhodování usnadnily. Nízká rychlost varianty 2 totiž vede k nebezpečí nedodržení základního parametru, kterým je takt linky. Analýza byla provedena také s různými váhami, kde právě díky této vlastnosti vyhrála poslední varianta s větším rozdílem. Vybraná varianta není v žádném kritériu nejlepší, ale také nemá žádné kritérium příliš nízké. Oproti ostatním je komplikovanější a náročnější na řízení, což je však vykoupeno ostatními parametry.

Vybraná varianta byla dále zpracována, byly provedeny simulace jednotlivých uzlů a návrhové výpočty, na jejichž základě bylo navrženo konstrukční řešení.

5 Rozpracování vybrané varianty

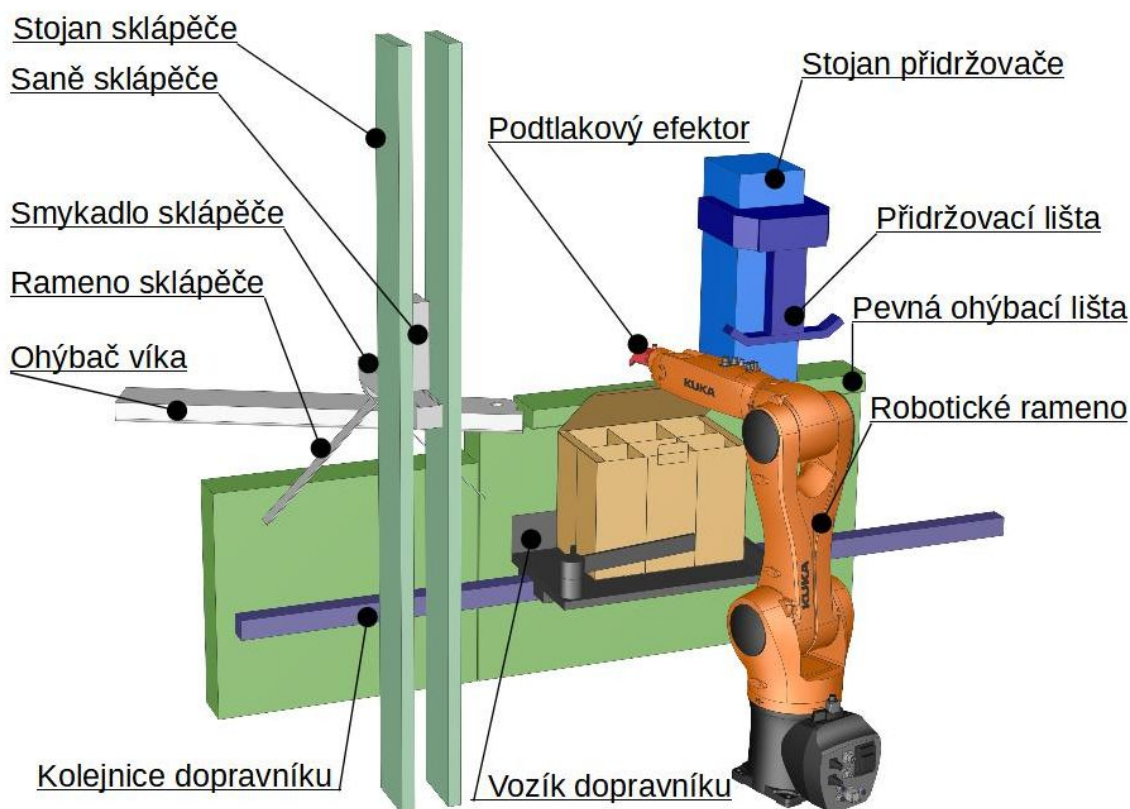
V této části je vybraná varianta rozpracována do kompletního návrhu řešení. Je popsána funkce na konceptu a dále je na základě návrhových simulací a výpočtu vytvořen konstrukční návrh zavíracího uzlu. V rámci simulací je také navrženo řízení uzlu.

5.1 Popis vybraného konceptu zavíracího uzlu

Výše byla vybrána varianta se střečovým přípravkem jako nejvhodnější koncept pro řešení uzavíracího uzlu balicí linky dle zadání. Koncepce je založená na rozdělení operace na dvě části, které mohou být řešeny paralelně a tím je ušetřeno značné množství času.

Sekvence zavírání byla popsána při návrhu samotné varianty v kapitole 4.6. Zde bude koncepce tohoto řešení dále rozebrána tak, aby bylo možné následně přistoupit ke konkrétnímu řešení. Celá koncepce je vyobrazena na obrázku 5.1.

Celým procesem se pohybuje krabice, která je nesená na vozíku. Vozíky jsou součástí dopravníku, který prochází skrze celou linku. Jednotlivé vozíky nemají pohon a pro jejich otevření je třeba speciální zařízení, které se nachází v místě pro naložení a vyložení krabice z vozíku. Mimo tyto stanice je krabice držena ve vozíku pomocí pružin. Vozíky se pohybují po dopravníkové kolejnici a jsou spolu spojeny hnacím řemenem, díky čemuž mají mezi sebou konstantní rozteč. Rychlost pohybu je pak závislá na aktuálním taktu, ve kterém běží balicí a potažmo i výrobní linka. Pozice krabice ve vozíku je jasně definovaná a poloha vozíku na dopravníku je také jasně definovaná. Pro větší spolehlivost je celý proces uzavírání započat projetím vozíku přes snímač, který dává signál k začátku operace a během jízdy přes navrhovaný uzel je rychlost vozíku, respektive pásu, sledována pomocí rotačního snímače polohy pásu.



Obrázek 5.1: Vybraná koncepce zavíracího uzlu

Ve chvíli, kdy se krabice ocitá pod sklápěčem bočních chlopní, začnou se saně spolu se smykadlem a rameny pohybovat směrem dolů. Samotná ramena jsou pasivním členem a fungují na gravitačním principu, pomocí dosedů jsou ve svěšené poloze ve vzájemném úhlu 90° . Po spuštění sekvence se saně začínají pohybovat směrem dolů. Pohyb je načasován tak, aby byly chlopně správně sklopeny. Po kontaktu ramen s chlopněmi se začnou chlopně zavírat a spolu s tím se rovnají ramena sklápěče. Ve chvíli, kdy se chlopně zcela sklopí jsou také ramena zcela narovnána a dosednou na vrch krabice. V tu chvíli se sepne čidlo umístěné na ramenech a dá signál k zastavení pohybu. Díky tomu je tento mechanismus plně variabilní pro celý rozsah velikosti krabic a to pouze díky své kinematické struktuře. Ramena jsou opatřena západkou tak, aby zůstala narovnaná i během dalšího pohybu, tedy pohybu vzad. Tímto pohybem se ramena dostávají mimo krabici a boční chlopně jsou po celé délce přitisknuty ke krabici. Při tomto pohybu se dostávají ramena také do kontaktu se zámkem. Jeho mírné odchlípnutí není závadou a naopak pomůže dalším operacím.

Po sklopení bočních chlopní je víko krabice pomocí ohýbače přihnuto tak, aby byl pro robotickou část uzlu snížen potřebný čas a náročnost pohybů. Tento ohýbač může být aktivní, jak je zobrazen, případně s využitím lišty, která při posuvu krabice

víko sama přihne. Toto přihnutí slouží také k zajištění bočních chlopní po odjetí sklápěče, před dovřením víka. Tato část by mohla pro menší portfolio krabic být nevariabilní. Pro větší portfolio rozměrů by šla variabilita docílit výškovým posuvem ohýbače, případně několika ohýbači umístěnými v patrech nad sebou.

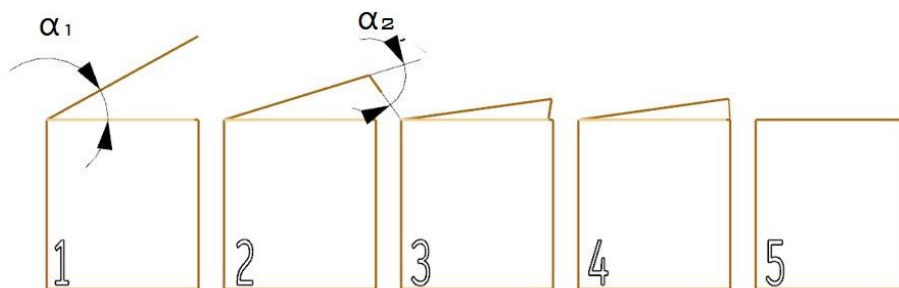
Dále přichází na řadu první část robotické operace. Efektor robotu uchopí čelní chlopeň pomocí vakua a komplexním pohybem zalomí víko v prolisu a zasune ji mezi čelní panel a boční chlopně. Během tohoto zavírání je díky tvaru efektoru odsunut zámek tak, aby operaci nepřekážel. Před druhou částí robotické operace je spuštěna přidržovací lišta, která přidržuje zavřené víko během přechopení efektoru a než je dovřen zámek. Ten je dovřen pomocí druhé sady přísavek na efektoru. Nejprve je zlomen v ohybu mezi spodním a vrchním dílem o hranu uzavřeného víka a naveden do drážky pro zasunutí. Finální zasunutí do drážky pak probíhá dotlačením zámku tupým koncem efektoru.

Řízení takovéto koncepce probíhá pomocí PLC, kterým jsou řízeny pohyby jednotlivých pohonů, ať už jsou elektrické, či pneumatické, kdy jsou řízeny polohy jednotlivých rozvaděčů. Tento řídicí systém musí být podřízený centrálnímu řízení celé balicí linky a spolupracovat s výrobní linkou pro předání informací o současném taktu na výstupu, či o zrovna baleném produktu. Robotická část je řízena pomocí řídicího systému robotu, který je standardně dodávaným společně s robotickým ramenem a je s PLC propojen externí automatikou.

Tyto postupy byly dále ověřeny pomocí simulací a navrženy konkrétní rozměry, konstrukční řešení a řízení použitých zařízení.

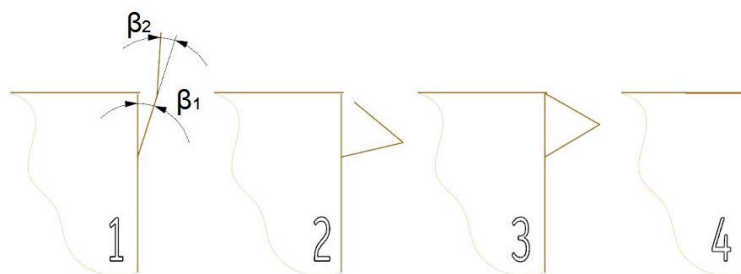
5.2 Navržení pohybů

Zavření víka se skládá z jednotlivých pohybů, které vychází z vybrané varianty. V první části pracoviště se jedná o sklopení bočních chlopní, tedy natočení úhlů γ_1 a γ_2 z 0° na 90° . Tato operace je prováděna pomocí kinematiky střešového přípravku. V druhé části jde nejprve o sklopení víka. Postup je patrný z obrázku 5.2, který naznačuje řez středem krabice. Světlejší linka naznačuje náhled na boční chlopně. Podstatná je fáze, kdy je čelní chlopeň přivřena na více než 90° (krok 3) a dalším pohybem je natlačena proti čelnímu panelu do místa, kde díky současnému tlaku směrem dolů zapadne za boční chlopně (krok 4), čímž je zvýšena spolehlivost zavírání. Následným pohybem obou úhlů α na 90° je víko dovřeno.



Obrázek 5.2: Postup sklopení víka

Podobně je na obrázku 5.3 zobrazeno zajištění zámku. Zde je horní díl naveden zespodu proti víku, kde se nachází drobný výstupek, který se opře, a tak je částečně zaveden do drážky a následně zatlačen na koncovou pozici.



Obrázek 5.3: Postup zajištění zámku

Tyto pohyby je potřeba definovat pro robot tak, aby pomocí pohybu efektoru bylo dosaženo právě popsaného zavření. Pro robotické rameno je definován uživatelský souřadný systém ve středu spodní zadní hrany krabice. V tomto souřadném systému pak musí být definovány pozice nástroje podle rozměrů konkrétní krabice tak, aby byl celý program variabilní. Program by potom měl pouze pomocí změny parametrů umožňovat uzavření krabice libovolného rozměru. Umístění souřadného systému a označení jednotlivých rozměrů je patrné z obrázku 4.3.

Pozice bodu A, který označuje uchopení čelní chlopně efektořem robotu je definována následující sadou rovnic.

$$x_A = -h \cdot \sin(\alpha_1) - c \cdot \sin(\alpha_2 + \alpha_1) \quad (5.1)$$

$$y_A = v + h \cdot \cos(\alpha_1) + c \cdot \cos(\alpha_2 + \alpha_1) \quad (5.2)$$

$$\varphi_A = \alpha_1 + \alpha_2 \quad (5.3)$$

Pokud je definován v řídicím systému robotu také souřadný systém nástroje, jsou tyto hodnoty vkládány přímo do programu.

Zámek je nejprve srovnán pomocí rovné strany efektoru a následně uchopen jeho zadní částí v bodě B. Trajektorie bodu B je definována následujícími rovnicemi.

$$x_B = -h - d \cdot \sin(\beta_1) + f \cdot \sin(\beta_2 - \beta_1) \quad (5.4)$$

$$y_B = v - d + d * \cos(\beta_1) + f * \cos(\beta_2 - \beta_1) \quad (5.5)$$

$$\varphi_2 = (\beta_2 - \beta_1) \quad (5.6)$$

Pohyb pro srovnání zámku a dotlačení je dán pouze z rozměrů krabice.

5.3 Fyzikální simulace

Pro návrh pracoviště byla nejprve provedena fyzikální simulace části pracoviště s robotem. Tato simulace slouží k ověření navržených drah, vytvoření univerzálního programu a výběru vhodného robotu. Dále byla fyzikální simulace doplněna také o první část uzlu, a byly tak ověřeny funkčnosti pohybů, překrytí operací, některé rozměry a princip řízení. Simulace byla prováděna v programu Visual Components. Tento software slouží k simulaci automatizačních procesů. Umožňuje simulaci robotických operací a pro některé roboty také programování v nativním jazyce. Software umožňuje do značné míry fyzikální simulace.

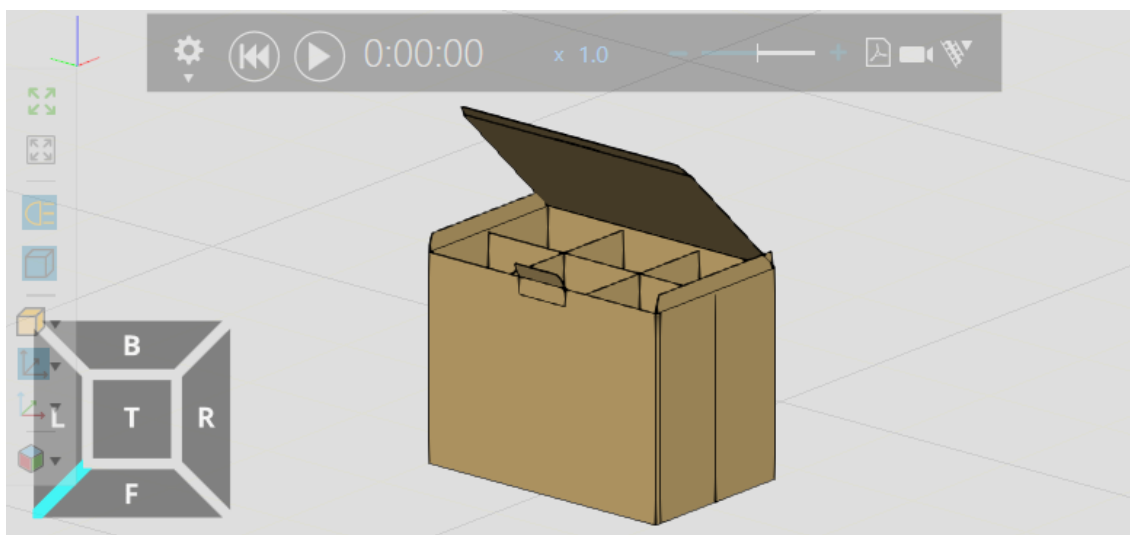
Model krabice

Fyzikální model krabice byl vytvořen za pomoci importu modelu z CAD systému Siemens NX do Visual Components. Dále byly jednotlivým částem nastaveny fyzikální vlastnosti. Fyzikální simulace v tomto software spočívá v nastavení vlastností jednotlivých dílců a následně propojení těchto panelů fyzikálními vazbami. Nastavuje se vždy tlumení a tuhost v jednotlivých směrech. Simulace se nechová přesně tak, jak by uživatel očekával. Například pokud je nastaven jako jediný možný pohyb rotace kolem osy y, často se stane, že je vazba částečně volná také v jiných směrech. Z důvodů takového nedostatku byl model nastaven tak, aby co nejlépe odpovídal skutečnosti i přes to, že některé zadané hodnoty jsou zdánlivě mimo realitu. Nastavení parametrů rotační vazby víka na zadním panelu je zobrazeno na obrázku 5.4. Tento postup byl konzultován také s dodavatelem dalšího systému, tedy RobotStudio od ABB. Také v tomto programu se fyzikální simulování zabývá zejména pohybem při pádu, či protřepání dílců a využívání pohybů částí fyzikálních modelů je okrajovou záležitostí.

Name	Viko-Base		
Parent	BASE3		
▼ Constraints			
Ex Motion	#Locked		
Ey Motion	#Locked		
Ez Motion	#Locked		
Twist Motion	#Locked		
Swing1 Motion	#Free		
Swing2 Motion	#Locked		
► Breakage			
▼ Drive Settings			
Linear Drive Springs	X 100	Y 100	Z 100
Linear Drive Dampings	X 0	Y 100	Z 0
Linear Drive ForceLimits	X 10	Y 10	Z 10
Swing Drive Spring	10		
Swing Drive Damping	5		
Swing Drive ForceLimit	10		
			Nmm

Obrázek 5.4: Parametry nastavení vazby

Krabice je z důvodu simulace rozdělena na tři komponenty a ty následně na jednotlivé části dle kinematické struktury krabice. Takové rozdělení je nutné, aby bylo možné každý díl zvlášť uchopit. Fyzikální vazby se potom dělí na vazby mezi částmi jedné komponenty a vazby mezi komponentami. Některé části jsou dále děleny pro lepší chování při interakci jednotlivých dílců. Tvar dílce při importu členitějších dílců nemusí odpovídat realitě, proto byly některé dílce nahrazeny jednoduššími tvary. Výsledný model se snaží co nejvěrněji reprezentovat realitu vhodným nastavením parametrů a je zobrazen na obrázku 5.5 a také součástí elektronické přílohy 1 a 8.



Obrázek 5.5: Fyzikální krabice ve Visual Components

Tvorba robotického programu

Program pro robot byl vytvářen na základě navržených pohybů krabice, jak bylo předvedeno výše. Využití Visual Components umožňuje programovat univerzálním způsobem, tedy nezávisle na značce robotu. Programování v tomto jazyce ovšem neumožňuje přepočítání polohy jednotlivých bodů, a tedy variabilitu programu. Z toho důvodu bylo pro programování využito možnosti tvorby skriptů v programovacím jazyce Python, ze kterého je možné vytvářet program pro robot. V Pythonu jsou vypočteny jednotlivé pozice a po vypočtení je následně pohyb do tohoto bodu vložen do programu robotu. Tím je vytvořen pomocí Pythonu variabilní program, který vytváří pro daný rozměr krabice již pevný program pro robot.

Samotný program v Pythonu je členěn na jednotlivé pohyby a jejich dílčí části. V každé takové části byl určen ideální počet průjezdných bodů tak, aby pohyb robotu odpovídal dostatečně věrně kinematice krabice. Pro každý bod je následně pomocí WHILE smyčky dopočtena pozice y , z a natočení souřadného systému TCP (Tool Centre Point). Program je doplněn o přepínání mezi jednotlivými TCP.

Ukázka z první části programu, která se stará o sklopení víka v Pythonu i v univerzálním jazyce Visual Components je zobrazena na obrázku 5.6. Programy jsou součástí simulací v elektronických přílohách 8 - 14.

```

57 while fi_1 < fi_1_2:
58
59     x = -(h*sin(fi_1)+c/2*sin(fi_1+fi_2))
60     z = h*cos(fi_1)+c/2*cos(fi_1+fi_2)+v
61     fi = (fi_1+fi_2)*180/3.14
62     fi_1=fi_1+(fi_1_2-fi_1)/20
63     fi_2=fi_2+(fi_2_2-fi_2)/20
64
65     statement = mainRoutine.addStatement(VC_STATEMENT_LINMOTION)
66     position = statement.Positions[0]
67     statement.Tool = "TOOL[1]"
68     statement.Base = "BASE_1"
69     pos_matrix = position.PositionInWorld
70     pos_matrix.translateAbs(x,0,z)
71     pos_matrix.rotateRelY(-(fi+90))
72     position.PositionInWorld = pos_matrix
73
74

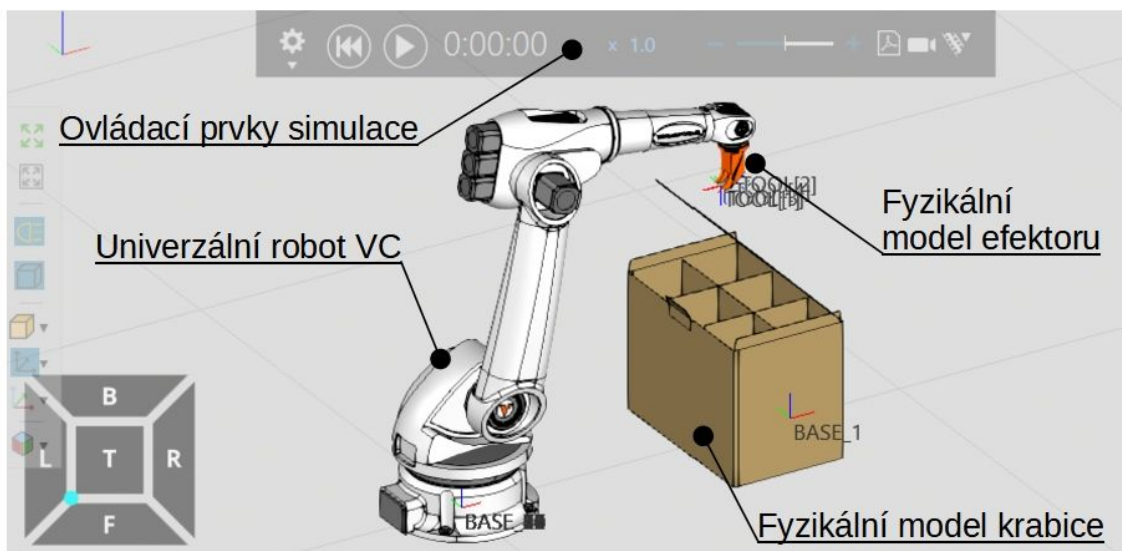
```

LIN P39 TOOL[1] BASE_1 2500mm/s
 LIN P40 TOOL[1] BASE_1 2500mm/s
 LIN P41 TOOL[1] BASE_1 2500mm/s
 LIN P42 TOOL[1] BASE_1 2500mm/s
 LIN P43 TOOL[1] BASE_1 2500mm/s
 LIN P44 TOOL[1] BASE_1 2500mm/s
 LIN P45 TOOL[1] BASE_1 2500mm/s
 LIN P46 TOOL[1] BASE_1 2500mm/s
 LIN P47 TOOL[1] BASE_1 2500mm/s
 LIN P48 TOOL[1] BASE_1 2500mm/s
 LIN P49 TOOL[1] BASE_1 2500mm/s
 LIN P50 TOOL[1] BASE_1 2500mm/s
 LIN P51 TOOL[1] BASE_1 2500mm/s
 Set OUT[1] == False

Obrázek 5.6: Program v Pythonu (vlevo) a Visual Components (vpravo)

Kompletace simulace robotické části

Do fyzikální simulace byl kromě krabice vložen univerzální robot z knihovny z Visual Components, u kterého lze měnit rozměry ramen a rozsah dle potřeby. Robot byl opatřen koncepčním efektem importovaným z CADu. Byly nastaveny pozice jednotlivých nástrojů, díky čemuž není potřeba řešit geometrii efektoru v programu. Celá simulace je patrná z obrázku 5.7 a je v elektronické příloze 1 a 8. Je zde také patrná pozice BASE_1, což je zmiňovaná uživatelská báze a uživatelské nástroje 1-4. Dva nástroje, které neodpovídají žádné pozici uchopení, slouží k lepšímu programování rovnání zámku a finálního zasunutí.



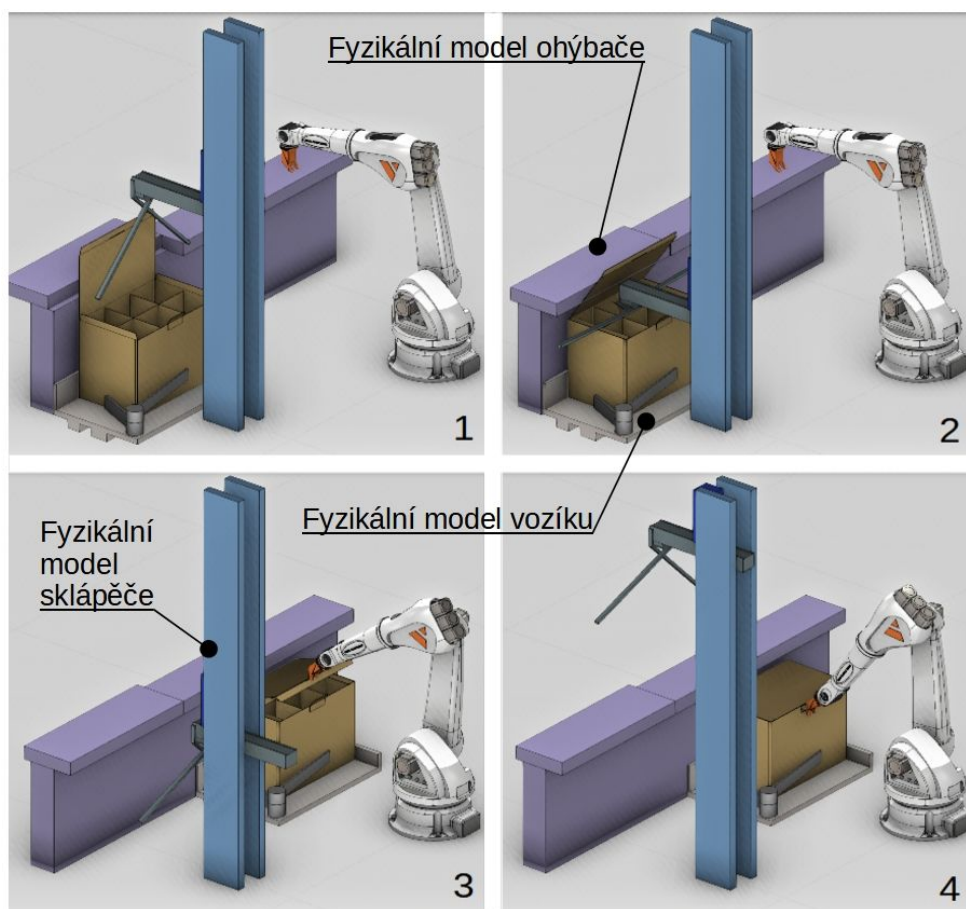
Obrázek 5.7: Fyzikální simulace robotické části

Na simulaci robotické části je vidět přetočení robotu do jiné konfigurace. Tento jev nastává pohybem v blízkosti singulárních poloh. Po volbě konkrétního ro-

botu je tento nedostatek odstraněn posunutím krabice mimo osu robotu a upřesněním konfigurací v programu. Ověření pohybů i další výstupy fyzikální simulace tento jev nenarušuje.

Simulace první části pracoviště

Do simulace byl doplněn také koncepční model druhé části pracoviště. Pro střešový přípravek byly definovány pohyby jednotlivých částí, konkrétně lineární pohyb v ose x a v ose z. Pohyb samotných ramen byl namodelován fyzikálně. Ramena byla propojena fyzikální vazbou ke smykadlu a byly jim nastaveny fyzikální vlastnosti tak, aby se chovaly jako ve skutečnosti, tedy zejména hmotnost, která bude ve skutečnosti při realizaci klíčová a také tření. Při kontaktu s bočními chlopněmi by se měla ramena rovnat a chlopně sklopit, což bylo simulací potvrzeno. Při realizaci bude třeba správně naladit hmotnost ramen. Celá simulace je zobrazena na obrázku 5.8 a je zahrnuta v elektronické příloze 2 a 9.



Obrázek 5.8: Fyzikální simulace

5.4 Výběr robotu

Na základě fyzikální simulace byl vybírán robot. Při simulaci byl program upravován dosazováním různých parametrů velikosti krabice a hledáním optimální velikosti ramen robotu, kontrolován dostatečný rozsah a hledání optimálního rozměru. Dále bylo nutné nahradit simulační robot Visual Components reálným robotem z portfolia výrobců. Zadávatelská firma využívá ve výrobě roboty od firmy KUKA a byla tedy snaha hledat zejména v portfoliu této firmy. Z této nabídky vychází nejlépe robot KUKA KR10 R900. Jedná se o menší průmyslový robot s nosností do 10 kg. Robot je ovládán řídicím systémem Kuka Robot Control (KRC) a programován programovacím jazyce Kuka Robot Language (KRL). Výhodou je také možnost programovat v prostředí Visual Components roboty KUKA přímo v jejich nativním jazyce a následně možnost propojení s virtuálním řídicím systémem robotu. Robot má koncovou přírubu ISO 40, na kterou byl následně upraven efektor. Robot také umožňuje vnitřní vedení vzduchu, což umožňuje využití podtlakového efektoru bez přídavného vedení vnějškem robotu. Na obrázku 5.9 je vidět porovnání velikostí optimálně nastaveného robotu z Visual Components a vybraného robotu KR10.



Obrázek 5.9: Porovnání konfigurovaného a vybraného robotu

Převod programu do jazyku KRL

Aby bylo možné robotický program využít v praxi, je třeba ho převést z původního programu v jazyce Python do nativního jazyku robotů KUKA. Převedení programu z Visual Components do Kuka Robot Language lze jednoduše pomocí funkce KUKA OLP (offline programming), která je dostupná pro Visual Components a umožňuje programování daného robotu s využitím nativního jazyku a stejné struktury programů. Při využití Pythonu již tato varianta není možná a je třeba program z velké části přepsat ručně.

Programování v OLP umožňuje již měnit pozici bodů variabilně před každým pohybem, nicméně z důvodu lepší plynulosti programu byly všechny průjezdní body vypočteny na začátku programu a následně je z těchto bodů složen výsledný pohyb. Jednotlivé body jsou dopočteny na základě zadaných rozměrů konkrétní krabice. Porovnání obou programů je vidět na obrázku 5.10.

```

while fi_1 < fi_1_1:
    #Výpočet souřadnic jednotlivých bodů
    x = -(h*sin(fi_1)+c/2*sin(fi_1+fi_2))
    z = h*cos(fi_1)+c/2*cos(fi_1+fi_2)+v
    fi = (fi_1+fi_2)*180/3.14
    fi_1=fi_1+(fi_1_1-fi_1_0)/10
    fi_2=fi_2+(fi_2_1-fi_2_0)/10
    #Zapsání pohybových instrukcí do programu
    statement = mainRoutine.addStatement
    | (VC_STATEMENT_LINMOTION)
    position = statement.Positions[0]
    statement.Tool = "TOOL[1]"
    statement.Base = "BASE 1"
    pos_matrix = position.PositionInWorld
    pos_matrix.translateAbs(x,0,z)
    pos_matrix.rotateRelY(-(fi+90))
    position.PositionInWorld = pos_matrix
  
```

```

WHILE (fi_1<=fi_1_1)
    ;Výpočet souřadnic
    x = -(h*sin(fi_1)+c/2*sin(fi_1+fi_2))
    z = h*cos(fi_1)+c/2*cos(fi_1+fi_2)+v
    fi = (fi_1+fi_2)
    ;Zápis do bodu
    P1[poz].x=x
    P1[poz].y=0
    P1[poz].z=z
    P1[poz].A=180
    P1[poz].B=fi-90
    P1[poz].C=180
    P1[poz].S = 6
    ;Příprava dalšího kroku
    poz = poz+1
    fi_1=fi_1+(fi_1_1-fi_1_0)/10
    fi_2=fi_2+(fi_2_1-fi_2_0)/10
ENDWHILE
  
```

Výpočet jednotlivých pozic Python

```

LIN P1 TOOL[1] BASE_1 2500mm/s
# Uchopení podtlakem
Set OUT[1] == True
LIN P2 TOOL[1] BASE_1 2500mm/s
LIN P3 TOOL[1] BASE_1 2500mm/s
LIN P4 TOOL[1] BASE_1 2500mm/s
LIN P5 TOOL[1] BASE_1 2500mm/s
LIN P6 TOOL[1] BASE_1 2500mm/s
LIN P7 TOOL[1] BASE_1 2500mm/s
LIN P8 TOOL[1] BASE_1 2500mm/s
LIN P9 TOOL[1] BASE_1 2500mm/s
LIN P10 TOOL[1] BASE_1 2500mm/s
LIN P11 TOOL[1] BASE_1 2500mm/s
  
```

Polohování VisualComponents

Výpočet jednotlivých pozic KRL

```

PO.y = y
ptp P0
;Nastavení pohybu
$APO={CVEL 0.8}
$vel.CP = 0.1
slin p1[1]
;Uchopení podtlakem
$OUT[1] = TRUE
$vel.CP = 1.5
slin p1[2] c_spl
slin p1[3] c_spl
slin p1[4] c_spl
slin p1[5] c_spl
slin p1[7] c_spl
slin p1[8] c_spl
slin p1[9] c_spl
slin p1[10] c_spl
  
```

Polohování KRL

Obrázek 5.10: Program v Pythonu a v KRL

Program je propojen s ostatními zařízeními pomocí externí automatiky. Z řídí-

cího PLC přichází signál ke spouštění, ukončování a pozastavování programu, parametry rozměrů krabice pro vytvoření správného programu a další potřebné parametry. Díky tomuto způsobu řízení je možné kontrolovat celou linku z jednoho řídicího systému i s využitím nativního řízení robotu.

5.5 Časová simulace

S vybraným robotem a programem, který respektuje požadované pohyby k zavření krabice je možné vytvořit časovou simulaci robotické operace. Pro jednotlivé pohyby byly nastaveny rychlosti v programu a čekací časy při uchopování a povolování úchopu. Rychlosti byly nastavovány na základě fyzikální simulace, ze které byly možné rychlosti vypočítány. Zadaný takt 8 s je na hranici výrobní linky, a proto i pohyby robotu a jejich rychlost mohla být volena na hraně s předpokladem, že při provozu bude této rychlosti dosaženo jen velmi výjimečně, či vůbec. Kromě rychlostí byla upravena také návaznost jednotlivých pohybů. Ve všech dopočtených průjezdných bodech a také v některých bodech základních není pohyb zastaven, ale je pouze snížena rychlost tak, aby byl průjezd plynulý. Díky této úpravě není pouze snížený čas operace, ale také je zjemněna dráha nástroje, což je nutné pro správné dovření. Bylo provedeno měření času zavírání pro různé velikosti krabic a zhodnocen maximální čas. Samotná simulace je zaměřena zejména na čas a fyzikální chování není již tak přesné, což zde však není prioritou. Příklad časů je uveden v tabulce 5.1 a samotná simulace se nachází v elektronické příloze 3 a 10.

Tabulka 5.1: Časy zavírání z časové simulace

Výška [mm]	Hloubka [mm]	Čas[s]
300	250	5,95
335	320	5,89
66	110	6,06

K robotu byl přidán také model celého pracoviště a celá simulace uzlu tvoří elektronickou přílohu 4 a 11.

Testování časů na reálném robotu s řízením KRC

Při využití KUKA OLP jsou časy blíže realitě, než při využití programování pouze ve Visual Components, protože jsou používány přímo funkce, které využívá KUKA a také řazení příkazů v programu odpovídá skutečnosti. Času ještě bližšího realitě může být dosa-

ženo pomocí propojení Visual Components s virtuálním řídicím systémem robotu pomocí KUKA Officelite. Tento systém lze napřímo propojit s Visual Components a lze na něm spustit vytvořený program. Může fungovat v několika režimech simulující různé reálné skutečnosti. Naprosto přesný čas lze pak získat otestováním pohybů přímo na robotu.

Program byl upraven pro robot KUKA KR6, který se nachází v laboratořích strojní fakulty. Jedná se o menší robot, který má ale dostatečný rozsah na složení některých krabic z požadovaného portfolia. Program byl nejprve spuštěn ve Visual Components a následně stejný program na reálném robotu. Díky tomu bylo možné porovnat čas simulace a reality pro malý robot a odhadnout tak přesnější čas pro robot větší. Chyba simulace a reality by měla být pro obě velikosti stejná.

Program byl v obou testech odbavován nejprve za snížených rychlostí a následně v rychlosti plné. Jednotlivé časy jsou zaznamenány v tabulce 5.2.

Tabulka 5.2: Porovnání časů simulace a reálného testu pohybů

	50%	75%	100%
Časová simulace	5,0 s	6,6 s	10,1 s
Test pohybů	4,4 s	5,7 s	8,3 s

Z naměřených hodnot je patrné, že časová simulace ukazuje o něco vyšší časy, než jsou ve skutečnosti, a pracuje tedy s jistou nezanedbatelnou rezervou. Tato rezerva je průměrně 14%. Pro vybraný robot KR10 vyšel čas operace přibližně 6s. Po započtení chyby simulace by mohl být reálný čas asi 5,16 s. Pro maximální navržený čas operace 6,5 s je tedy možné snížení rychlostí robotu až na 80% původně navržených rychlostí.



Obrázek 5.11: Ukázka z časové simulace a testů pohybů

Stále se jedná o limitní situaci nejvyššího výkonu výrobní linky. Test pohybů by bylo dobré provést také přímo na vybraném robotu. Testy a časová simulace na menším

robotu ale ukazují, že dosažení navržených rychlostí by v realitě neměl být problém. Časová simulace s robotem KR3 tvoří elektronickou přílohu 5 a 12. Ukázku ze simulace a z testů jsou na obrázku 5.11.

5.6 Rozložení pracoviště

Na základě času z časových simulací byl dán s rezervou čas pro robotickou operaci 6.5s. Z celkového možného času 8s je to významné množství, a proto bylo třeba zhodnotit možnosti rozložení pracoviště tak, aby byl daný takt dosažen.

Statická krabice s jedním robotem

První varianta je využití jednoho robotu a statickou krabicí. Krabice přijede z první části pracoviště a zastaví před robotickým ramenem. Následně je krabice zavřena a zajištěna zámkem. Poté krabice odjíždí a přijíždí další. Čas robotické operace je dán výše a ze zbylého času a dráhy lze určit rychlost a zrychlení krabice. Vzdálenost byla z koncepčního návrhu rozměru ramen střešového přípravku odhadnuta na 1200 mm. Tento rozměr je pro návrh zásadní, a je možné že bude moci být konstrukčně snižena, rozložení pracoviště bylo ale propočteno právě s tímto rozměrem, aby byly možnosti porovnatelné. Z těchto parametrů vychází následující parametry rychlosti:

Minimální potřebné zrychlení $1.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

Maximální dosažená rychlost $1.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Zrychlení krabice je celkem vysoké a vzhledem ke křehkým sklenicím hrozí nebezpečí jejich poškození. Tato možnost byla proto vyloučena.

Statická krabice a dvojice robotů

Pro snížení zrychlení krabice může sloužit snížení času robotické operace, které lze dosáhnout využitím dvou robotů. Robotická operace je rozdělena na dvě části. V záviracím uzlu jsou tedy vždy tři krabice najednou. Čas pro každou operaci byl určen s větší bezpečností na 5s. Vzdálenost pracovišť je ponechána na 1200mm. Kinematické parametry vycházejí následovně:

Minimální potřebné zrychlení $0.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

Maximální dosažená rychlost $0.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

V tomto rozložení nabývá zrychlení rozumných hodnot, nicméně celé pracoviště se

velmi významně prodražuje z důvodu použití dvou robotů. Proto byla navržena ještě druhá varianta snížení zrychlení krabice.

Pohyblivá krabice a plynulé zavírání

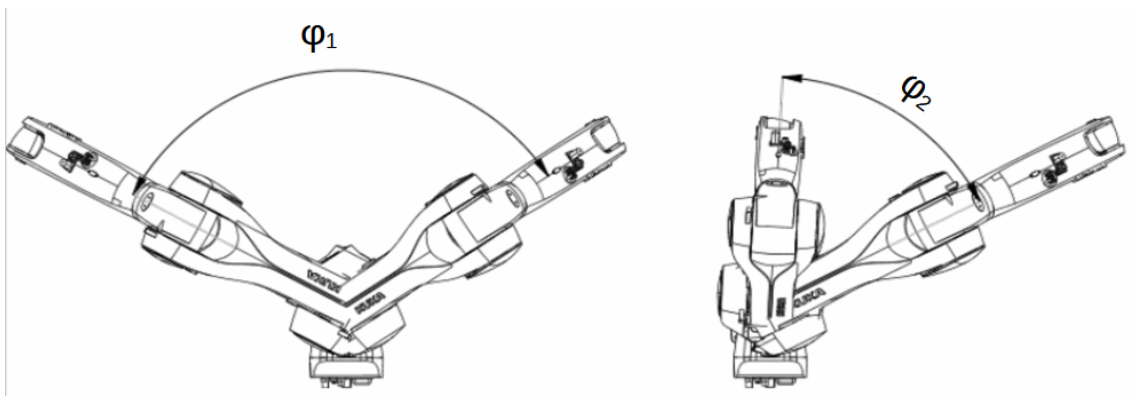
Zrychlení lze také snížit, respektive zcela odstranit, pokud se bude krabice pohybovat konstantní rychlostí v průběhu celého zavírání. Během robotického zavírání se může krabice posouvat konstantní rychlostí a robot ji pomocí svého programu může sledovat. Do programu byl přidán synchronní pohyb ve směru pohybu krabice. Při fyzické implementaci by upravoval pozici bodů pomocí dat získávaných ze snímače polohy dopravníku. Doba zavírání se tím prakticky nemění, protože zavírání je stejné a pohyb v poslední ose nemá na čas téměř žádný vliv. Na základě časové simulace bylo testováno, jaké rychlosti krabice je schopen robot sledovat po celou dobu zavírací sekvence. Pro simulaci ve Visual Components není možné použít asynchronní pohyb. Na místo toho byly otestovány rozsahy a schopnost dosažení robotem všech bodů jako při tomto asynchronním pohybu.

Velký problém zde představují singulární polohy robotu, zejména singulární poloha při přejezdu efektoru před středem robotu. Tento problém byl vyřešen omezením pracovního prostoru robotu. Pokud robot operaci začne s natočením proti směru hodinových ručiček a skončí natočen po směru, přechází v blízkosti singulární polohy, kde musí být snížena rychlost. Takto lze nastavit rychlost pohybu krabice maximálně na 60 mm/s. S takovou rychlostí je rozteč pracoviště dána následovně:

$$H_v = T_B \cdot c_v = 8 \cdot 60 = 240\text{mm}$$

Rozteč 240mm je vzhledem ke konstrukci naprosto nepřijatelná.

Pokud byla ovšem využita pouze část pracovního prostoru od singulární polohy po směru, bylo možné dosáhnout až rychlosti 160mm/s a s prodlouženou verzí robotu až 190mm/s. Zde je maximální rozteč až 1040mm, respektive 1502mm s prodlouženou verzí. Naznačení využitého pracovního prostoru je na obrázku 5.12. Pohyb obou verzí robotu podle sekvence se sledováním pohybu krabice tvoří elektronickou přílohu 6 a 14.

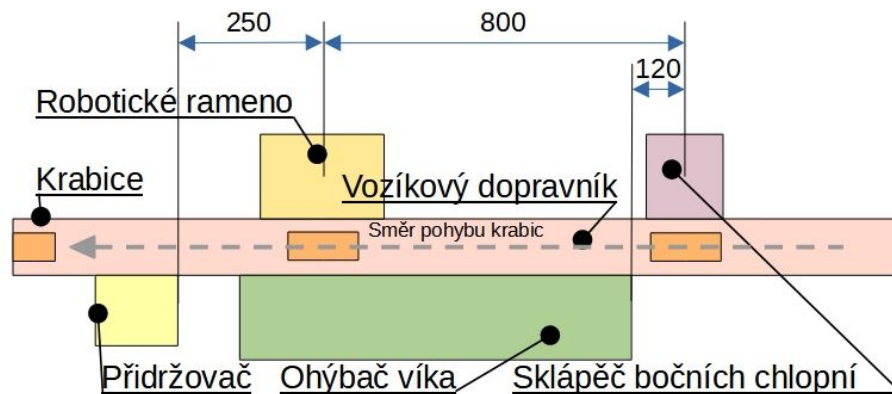


Obrázek 5.12: Pracovní prostor pro plynulé zavírání bez a s vyhnutí se singulární poloze

Během konstrukční fáze bylo dosaženo úpravou střešového přípravku snížení nutné rozteče dvou krabic na 800 mm, z čehož vychází rychlost posuvu krabice 100 mm/s. Této rychlosti lze dosáhnout s oběma verzemi, a proto byla ponechána klasická krátká verze robotu. Při běžném provozu, kdy je takt nižší, je i pro kratší verzi robotu značná rezerva v rozsahu.

Finální rozložení pracoviště

Finální rozložení a umístění jednotlivých částí pracoviště, které byly navrženy v konceptu je zobrazeno na obrázku 5.13.



Obrázek 5.13: Rozložení pracoviště

Krabice se pohybují spolu s dopravníkem rychlostí 100 mm za sekundu. Nejprve míjí sklápěč, za kterým je následně po 120 mm ohýbač víka. Tato vzdálenost je dána konstrukcí ohýbací lišty, která je představena dále tak, aby byly nejprve sklopeny boční chlopně a až následně ohýbáno víko. Robotické rameno je umístěno ve vzdálenosti rozteče krabic, tedy 800 mm. S robotickým ramenem spolupracuje přidržovač, který plní

svou funkci ve druhé části robotické operace, která začíná asi po 3 sekundách, je tedy vzdáleno 250 mm, tedy 2,5 sekundy.

5.7 Návrh lištové části pracoviště

Pro návrh lištové části je potřeba znát zejména rozptyl rozměrů krabic a podle nich navrhnou pohyby a rozměry jednotlivých lišt a jejich nosičů. Je třeba definovat rozsahy pohybu jednotlivých lišt a případně jejich tvary.

Střechový přípravek - sklápěč bočních chlopní

Ramena střechového přípravku byla navržena již v koncepci tak, že ve svěřeném stavu svírají pravý úhel. Funkčnost tohoto návrhu byla ověřena pomocí fyzikální simulace. Dále je tedy potřeba navrhnout zejména rozsah pohybů manipulátoru, na kterém jsou ramena uložena. Jedná se o svislý i vodorovný pohyb.

Nejprve je třeba navrhnout délku ramen. Ta vychází přímo z šířky krabice a geometrie pravoúhlého trojúhelníku. Jejich délka od konce ke kloubu je určena takto:

$$d_r = \frac{s_{kmax}}{\sqrt{2}} = \frac{480}{\sqrt{2}} = 339.4mm \quad (5.7)$$

Pro svislý pohyb platí, že maximální výška je součtem maximální výšky krabice, maximální výšky bočních chlopní a rozměru daného geometrií ramen. Platí tedy:

$$V_{rmax} = v_{max} + \frac{s_{max}}{2} + \frac{s_{max}}{2} = v_{max} + s_{max} = 335 + 480 = 815mm$$

Chlopně o velikosti poloviny šířky krabice jsou extrémním případem a přístroj je navržen tak, aby i tuto variantu zvládal. Pokud by byla velikost chlopní omezena, je možné rozjezd osy snížit posunutím koncových snímačů. Minimální výška je pak rovna výšce nejmenší krabice a je tedy 66mm. Rozsah pro pojezd manipulátoru střechového přípravku lze určit rozdílem maximální a minimální hodnoty rozsahu a byl zaokrouhlen na **800mm**. Tento rozsah je vstupem do konstrukční části.

Pojezd ve směru x je dán rozměrem nejmenší a největší krabice a poté šířkou ramen, která bude dána konstrukcí a prozatím byla odhadnuta na 70 mm:

$$H_{rmax} = h_{max} - h_{min} + h_r = 320 - 110 + 70 = 280mm$$

Ostatní rozměry jsou dány konstrukcí. Pro tyto parametry bylo navrženo také vedení. Z variant, které se nabízely bylo vybráno vedení kladkové s vodící tyčí o průměru 10 mm na svislý pohyb a 6 mm na pohyb vodorovný.

Funkce střechového přípravku je závislá na načasování pojezdu směrem dolů. Střed manipulátoru by měl být nad středem krabice ve chvíli, kdy se ramena dotknou bočních chlopní. Synchronizačním prvkem je projetí vozíku optickou závorou a následné odečítání polohy z odměřování polohy. Vzhledem k taktu byly navrženy časy pro jednotlivé pohyby a jsou uvedeny v tabulce 5.3. Zde jsou také dopočteny rychlosti jednotlivých pohybů. Je zde zanedbán čas na zrychlování, který je ovšem promítnut do časové rezervy, která je rovna 1s a dále je zde čas setrvání v dolní poloze také 1 s.

Tabulka 5.3: Pohyb střechového přípravku

	Vzdálenost[mm]	čas[s]	Rychlost [m/s] pro nejmenší krabici
Vertikální pohyb	815	2	0.403
Horizontální pohyb	330	1	0.33
Celkem	-	7	-

Rychlosti jsou dosažitelné. Pro vertikální pohyb, kde je třeba zastavovat na polí z optické závoru na ramenech celkem přesně, aby nedocházelo k poškození krabice a sklenic, byl využit elektrický pohon s krokovým motorem. Pro druhý pohyb byl využit pohon pneumatický.

Ohýbač

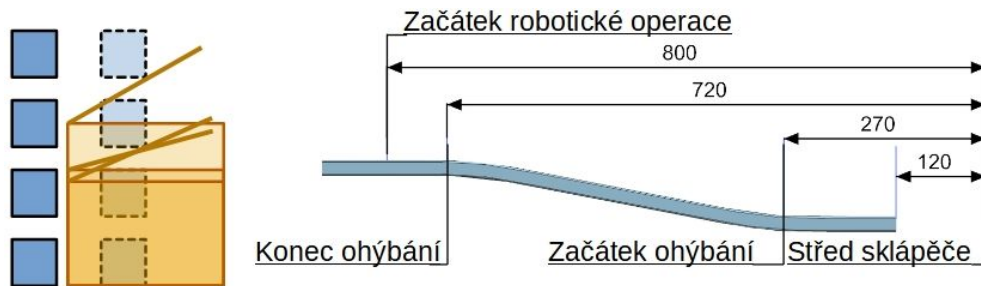
Ohýbač byl navržen vzhledem ke stálému pohybu krabice ve finální verzi jako tvarová lišta. Pro jednu velikost krabice by se jednalo o jednu statickou lištu. Pro dosažení variability byl navržen patrový systém, kdy je využito několik lišt nad sebou, které je možné variabilně umisťovat do pracovního prostoru podle velikosti právě projíždějící krabice. Tvar lišty, který je stejný pro všechna patra, je navržen tak, aby při přejezdu krabice bylo víko přivřeno o 20-45°. Takovéto přivření bylo ověřeno jako vyhovující pro robot ve fyzikální simulaci. Vzhledem k rozměru bylo určeno, že v místě kde má být víko přivřeno, se má přední strana lišty nacházet 75 mm před zadní hranou krabice. Tento rozměr je označen jako h_l . Následně byla určena výšková rozteč lišt tak, aby bylo víko přihnuto v daném rozsahu. Výpočet vypadá následovně:

$$v_l = v_{v45} - v_{v20} = h_l \cdot \tan(45) - h_l \cdot \tan(20) = 75 \cdot \tan(45) - 75 \cdot \tan(20) = 48\text{mm}$$

Nejspodnější lišta pak vychází z rozměru nejmenší krabice a víka pod 45° na 141 mm od spodní hrany krabice, tedy ode dna vozíku.

Pro obsazení všech velikostí je potřeba využít šesti lišt nad sebou s touto roztečí.

Výsledný tvar lišty je pak dán podle pohybu krabice a funkce střešového přípravku tak, aby bylo víko v době, kdy je pravá boční chlopeň na konci ramene, které ji přidržuje, sklopeno do 1/3 celkového sklopení. Určení výsledného tvaru i patrový princip je zobrazen na obrázku 5.14.



Obrázek 5.14: Návrh lišty ohýbače

Lišta může být vyklopena při změně velikosti a ponechána staticky. Možné je také pro každou krabici lištu ve správný čas vysouvat a tím zvýšit variabilitu a spolehlivost.

Přidržovač

Přidržovač je součástí spíše robotické části, nicméně využívá lištového principu. Pohybuje se pouze nahoru a dolů a rozsah je dán rozměry krabic a rezervou dle následujícího vzorce.

$$V_p = v_{max} - v_{min} + R_p = 355 - 66 + 111 = 400mm$$

Rezerva je zde značná a to proto, aby lišta nepřekážela robotu. Pozice v ose x je taková, aby i pro nejmenší krabici byla celá plocha lišty na víku, tedy maximálně 110 mm od zadní hrany krabice. Pohyb přidržovače směrem dolů bude synchronizován s robotickým programem tak, aby lišta dosedla na víko ve chvíli, kdy robot zasune čelní chlopeň.

6 Konstrukční řešení pracoviště

Podle návrhových výpočtů a simulací bylo dále vytvořeno také konstrukční řešení pracoviště. Byl udělán 3D model v CAD systému a sestavné výkresy. V této kapitole jsou zejména konkrétní principy jednotlivých konstrukčních uzlů, které byly do této doby navrženy pouze koncepčně.

6.1 Efektor

Tvary efektoru byly navrženy podle fyzikální simulace tak, aby bylo umožněno dobré uchopení částí krabice a aby žádné části nekolidovaly s ostatními panely krabice. Podstatné je zejména plocha pro uchopení čelní chlopně, plocha pro uchopení horního dílu zámku, zaoblená hrana pro rovnání zámku a plocha pro odklopení zámku při zasunutí čelní chlopně. Další podstatnou částí je připojovací rozhraní k robotu, které musí respektovat rozměr příruby. Vybraný robot je vybaven přírubou ve velikosti ISO 40, a proto je na efektoru vytvořeno také toto rozhraní. Středění je provedeno vnějším průměrem příruby a jedním kolíkem. Efektor funguje na podtlakovém principu, z toho důvodu je potřeba vnitřkem nástroje vést kanály k přísavkám na funkčních plochách.

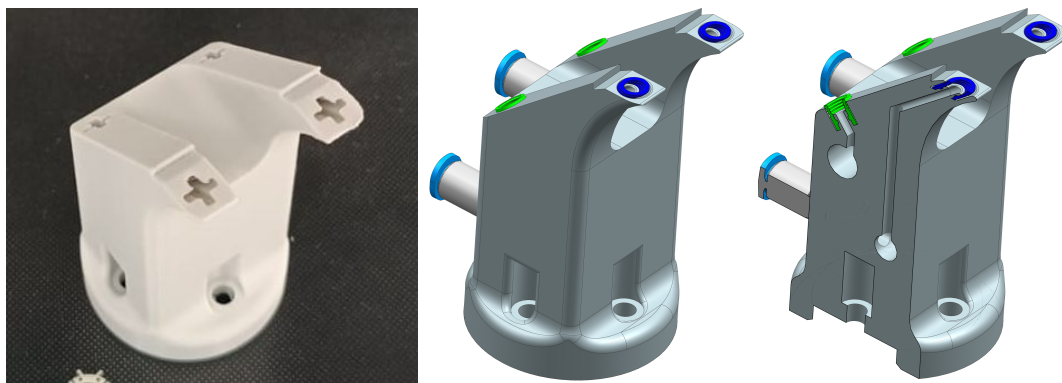
Z důvodu těchto značných nároků na tvary a vnitřní strukturu bylo rozhodnuto, že bude efektor vytvořen pomocí 3D tisku. Vzhledem k tomu, že na efektor nejsou žádné mechanické nároky, je tato technologie vhodná.

Kromě samotného těla se efektor skládá také z přísavek, které by bylo možné nechat vyrobit na zakázku, nebo lépe vyrobit také pomocí 3D tisku z pružného materiálu jako je PUR. V případě kompletního 3D tisku a využití duální hlavy je navíc možné tisknout hlavici i s přísavkami dohromady a tím bude zajištěna ještě větší těsnost při úchopu.

Poslední částí je rychlospojka pro pneumatické hadice.

První návrh efektoru byl bez pružných přísavek a přísavky byly tvořeny pouze otvory v tělese. Byl vytisknut testovací kus a byly provedeny testy na reálné krabici. Tyto testy ukázaly, že z důvodu pevného charakteru kartonu se panel krabice k pevné přísavce nepřitiskne tak, jako by se přitiskl měkký papír. Řešením tedy bylo nahrazení tvrdých přísavek pružnými. Při testu pružných přísavek se ukázalo, že tento předpoklad je správný. Samostatná pružná přísavka uchopila panel dostatečnou silou pro bezpečné zavření.

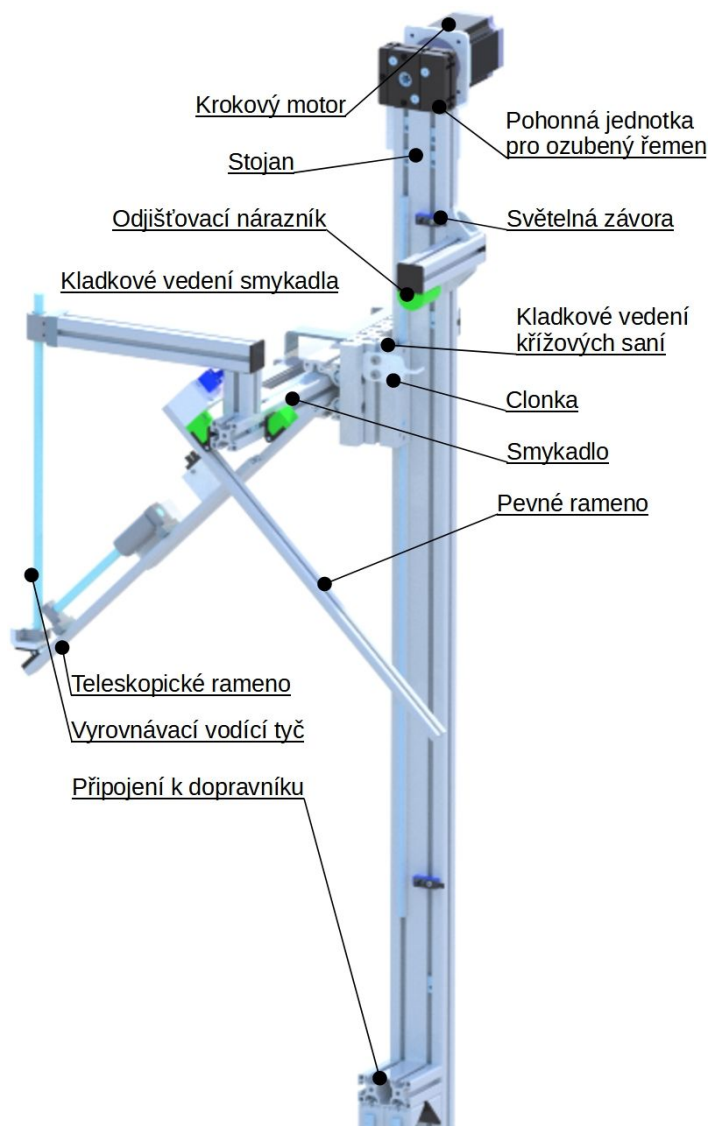
Na obrázku 6.1 je vidět vytisknutý testovací efektor, model efektoru a řez.



Obrázek 6.1: Testovaný efektor, model efektoru s přísavkami, řez modelem přes pneumatické kanály

6.2 Sklápění bočních chlopní

Jedná se o první operaci, která je prováděna výše navrženým střežovým přípravkem a manipulátorem. Manipulátor je tvořen stojanem, na kterém je osazeno kladkové vedení s křížovými saněmi. Na těch je druhé kladkové vedení a smykadlo. Kladkové vedení byla navržena pomocí výpočtu životnosti, která násobně překračuje limit 20 000 h. Pohyb ve svislém směru je zprostředkován krokovým motorem, horizontální pohyb pneumotorem, který je z důvodu malého prostoru řešen jako bezpístnicový. Byl zvolen krokový motor NEMA34, který má dostatečné jak momentové, tak otáčkové parametry. Pneumotor byl volen s průměrem pístu 18 mm a to zejména z důvodu robustnosti, síla tohoto pneumotoru je více než dostatečná.. Obě osy jsou na koncích opatřeny koncovými snímači. Smykadlo na svém konci nese samotný střežový přípravek. Jedná se o dvojici lišt, které jsou opatřeny rotační vazbou se společnou osou. Levá lišta je pak teleskopická, aby se při rozevírání ne zvětšoval zastavěný prostor a bylo možné umístit krabice blíž k sobě. Ramena jsou opatřena optickou závorou, která se rozepne při jejich plném rozevření a tím ukončí pohyb dolů pokaždé na vrchu krabice. Tímto způsobem je zajištěna variabilita. Dále se zde nachází kuličková západka, která drží obě ramena rozevřena i nadále, aby nehrozilo poškození krabice. Při následném pohybu nahoru je přes elastický nárazník uvolněna a ramena klesnou zpět do vzájemného natočení 90°. Tento úhel je dán dorazy na smykadle, o která se ramena opírají.



Obrázek 6.2: Konstrukce sklápěče bočních chlopní

6.3 Přihýbání víka

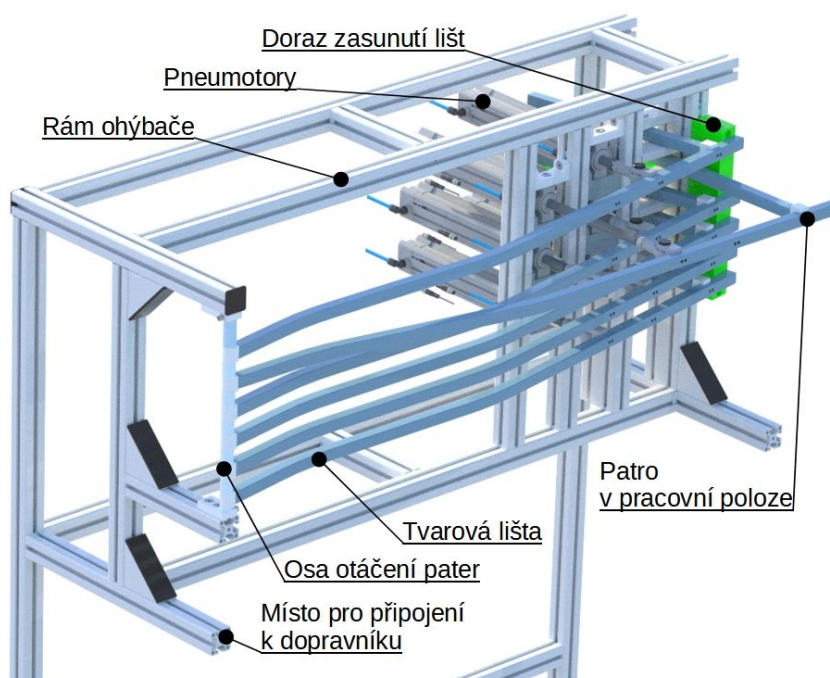
Ohýbač víka slouží k přihnutí víka pro lepší přístupnost robotu. Skládá se z několika pater, jak je popsáno v návrhové části. Základním prvkem každého patra je tvarová lišta, která slouží ke kontaktu s víkem krabice. Její tvar je navržen tak, aby umožnil sklopení bočních chlopní a následně, aby bylo víko včas přivřeno a boční chlopně tak přidrželo na místě. Každé patro je opatřeno kluznou rotační vazbou a přestavovacím pneumotorem. Patro má dvě pozice, a proto se i pneumotor pohybuje mezi dvěma krajními polohami, které jsou vymezeny dorazy z pružného materiálu a kontrolovány koncovými snímači. Vysunutou pozici lze označit jako aktivní. Pokud je patro v této pozici, dostává se do kontaktu s víkem krabice a ohýbá ho. Pokud je válec daného patra zasunutý,

tvarová lišta tohoto patra se nachází mimo pracovní prostor a ke kontaktu nedochází. Pneumotor je k liště upevněn pomocí kyvného oka tak, aby případný moment nenamáhal pístnici. Samotný pneumotor je pak uchycen rotační vazbou, aby bylo při přestavení umožněno malé pootočení, které je dáno kinematikou mechanismu. Aby celou tíhu lišty nenesla rotační vazba, je na konec lišty připevněn dílec, který je vsunut do rámu a částečně zachytává moment. Válce dvou po sobě jdoucích pater není možné z důvodu rozměrů umístit přímo pod sebe, a proto jsou vzájemně odskočené. Aktivní patro lze také odebírat a vracet do pracovního prostoru pro zvýšení spolehlivosti.

Rozsah pohybu byl z geometrie navržen na 10° tak, aby patra, která nejsou aktivní byly po celé délce za aktivní lištou. Z této hodnoty vychází také zdvih pneumotoru, který byl zaokrouhlen na 200 mm. Průměr pístu byl zvolen 40 mm pro větší robustnost pístnice

V prvním návrhu byla patra umístěna v posuvných vazbách a lineárních ložiscích. Vzhledem k malým silám a hmotnostem lišty bylo zvoleno levnější řešení, s rotací, u kterého je také menší riziko přičení.

Stojan ohýbače je vytvořen z hliníkových profilů tak, aby dobře nesl mechanismus a aby žádná jeho část nepřekážela ostatní technologii. Dále je také připraven pro připevnění na dopravník, který byl vybrán pro návrh jako vzorový. Dopravník bude zvolen finálně pro celou balicí linku, aby vyhovoval všem jejím částem a je možné, že připevňovací rozhraní a rozměry bude nutné upravit dle něho.

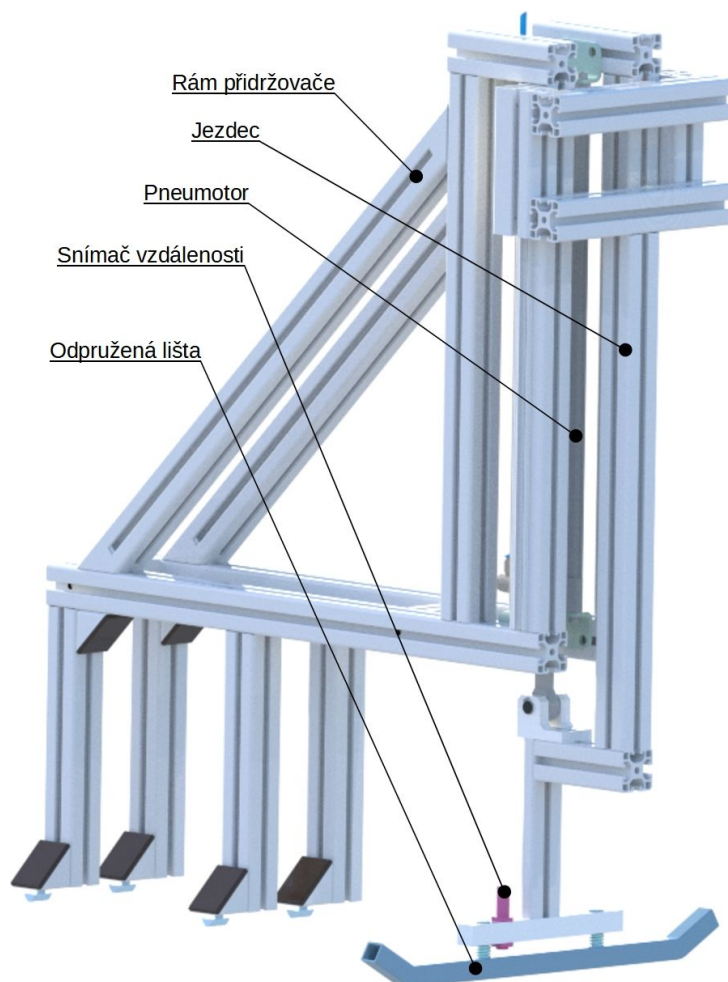


Obrázek 6.3: Konstrukce ohýbače víka

6.4 Přidržování víka

Přidržovač slouží k přidržení víka při zajišťování zámku. Jeho hlavní částí je pneumotor, který zprostředkovává pohyb nahoru a dolů. Válec je uchycen na konstrukci z hliníkových profilů, která je přimontována na rám ohýbače víka. K válci je připevněna odpružená lišta, která je po spuštění v kontaktu se zavřeným víkem. Rychlost pneumotoru směrem dolů je omezena tak, aby nedocházelo k poškození krabice. Lišta je také opatřena kladkovým vedením, které jezdí po tyčích na rámu válce, aby byla zajištěna správná funkce. Válec má zdvih 400 mm a průměr pístu také 40 mm.

Variabilita řešení je zajištěna tak, že při dosednutí lišty jsou stlačeny pružiny a je aktivován snímač vzdálenosti, který dále pošle signál o dosažení spodní polohy. Pro zvýšení taktu či snížení potřebných rychlostí pneumotoru je možné umístit na válec několik snímačů polohy, které by určovaly maximální horní polohu podle aktuální výšky krabice.



Obrázek 6.4: Konstrukce přidržovače víka

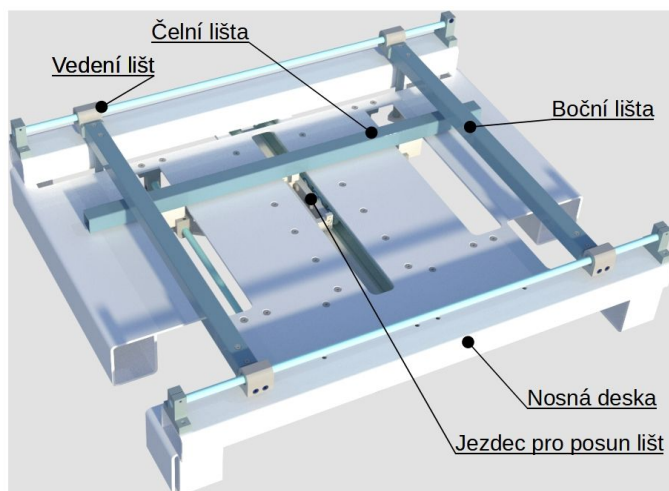
6.5 Vozík

Vozík slouží k fixaci krabice a k jejímu posuvu skrz celou balicí linku. V této práci byl navržen vozík tak, aby vyhovoval zejména zavíracímu uzlu, který je řešen a je možné, že pro další části linky bude potřeba vozík mírně upravit.

Základ vozíku je tvořen ohýbaným plechovým výpalkem, který je samonosný díky vhodně voleným ohybům a nese veškeré další části. Krabice je ve vozíku zajištěna pomocí jedné lišty ve směru x , ta tlačí krabici proti dorazu a dvojicí lišt, které svírají krabici mezi sebou v ose y . Tato dvojice je vzájemně kinematicky propojena, aby se obě lišty pohybovaly synchronně. Všechny lišty jsou vedeny kluzným vedením tak, aby se při pohybu nepříčily. Mechanismus je pasivní a síla pro držení krabice je vyvíjena pomocí namotávané zkrutné pružiny. V místech, kde se bude krabice nakládat a vykládat se pomocí jednoho pneumotoru, který zatlačí na unašeč vodorovné lišty a uvolní tak krabici v obou směrech. Tyto stanoviště však nejsou součástí této práce a nejsou dále řešeny, pouze je vozík konstruován s ohledem na ně.

Při uchycení krabice do vozíku musí nejprve dosednout čelní lišta a následně lišty boční, protože je jejich pohyb závislý díky společnému odepínacímu pneumotoru a krabice by v opačném případě zůstala z čela neuchycená. Sklenice jsou v krabicích ukládány do dvou řad po třech a proto i krabice má poměr velikosti stran 2:3. Díky tomu by měly lišty dosednout vždy ve správném pořadí.

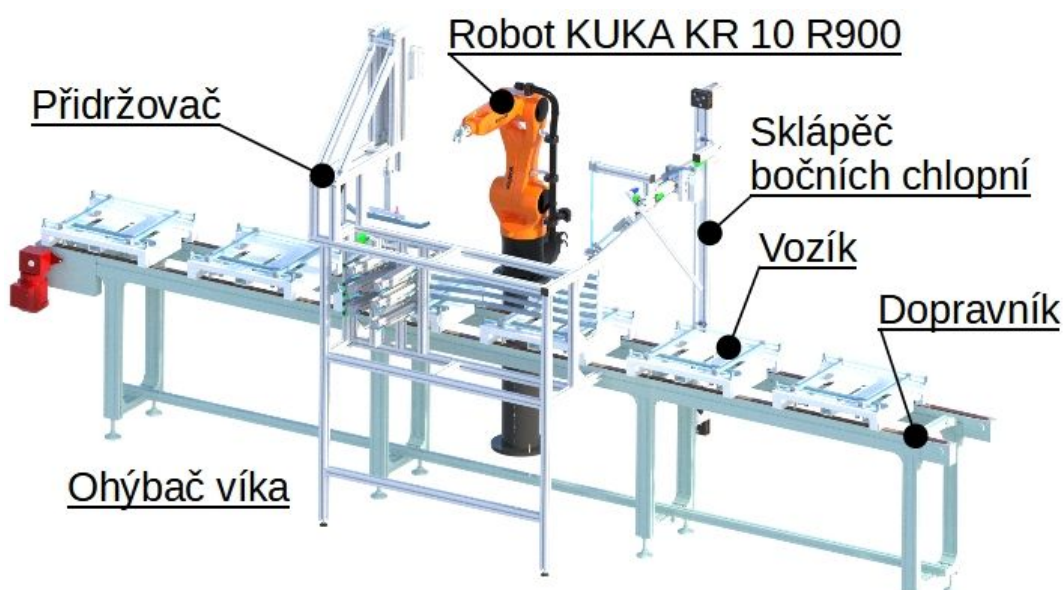
Vozík bude upevněn na vozíkovém dopravníku, který bude vybírán pro celou linku a také není součástí této práce, proto byly připraveny plochy pro přichycení, ale konkrétní rozhraní řešeno nebylo.



Obrázek 6.5: Konstrukce nosného vozíku

Implementace jednotlivých částí

Propojení jednotlivých částí je popsáno výše a principiálně závisí na volbě dopravníku. Vzdálenost jednotlivých technologických celků byla určena na základě návrhových výpočtů a simulací tak, aby umožňovala správnou funkci co největšímu rozměrovému portfoliu krabic. Pro některé velmi malé a velmi velké krabice nelze zajistit při návrhu jistotu dokonalé funkčnosti a bylo by třeba ověřit postupy na reálném stroji, pro většinu požadovaných rozměrů by však toto rozložení mělo fungovat bez problémů. Kompletní konstrukce je zobrazena na obrázku 6.6. CAD model konstrukce tvoří elektronickou přílohu 15.



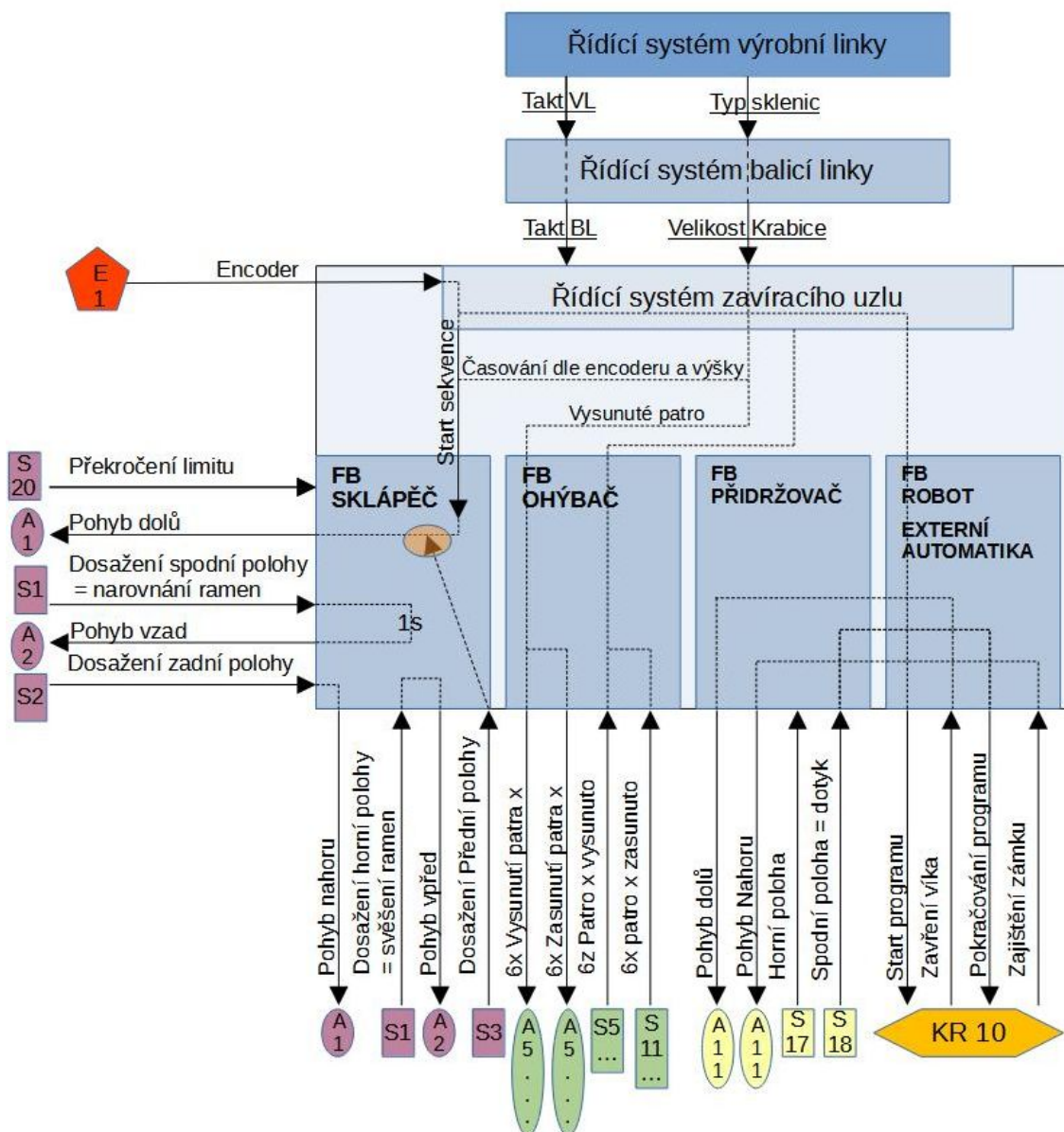
Obrázek 6.6: Implementace jednotlivých částí konstrukce

7 Popis funkce a návrh řízení

V této kapitole jsou představeny využití signály, rozebrána celková funkčnost uzlu a shrnuta práce na simulacích.

7.1 Návrh řízení

Zjednodušená představa o řízení daného uzlu a propojení jednotlivých signálů je zobrazena na obrázku 7.1. Jsou zde zobrazeny hlavní funkční signály, které ovládají logiku daného uzlu, ke kterým při realizaci přibudou další obslužné signály. Dále by se zde nacházeli také signály od případných kontrolních měření. Kontrolní měření je vzhledem k vysoké variabilitě poměrně komplikovaná otázka, a je proto řešeno samostatně a není úkolem této práce.

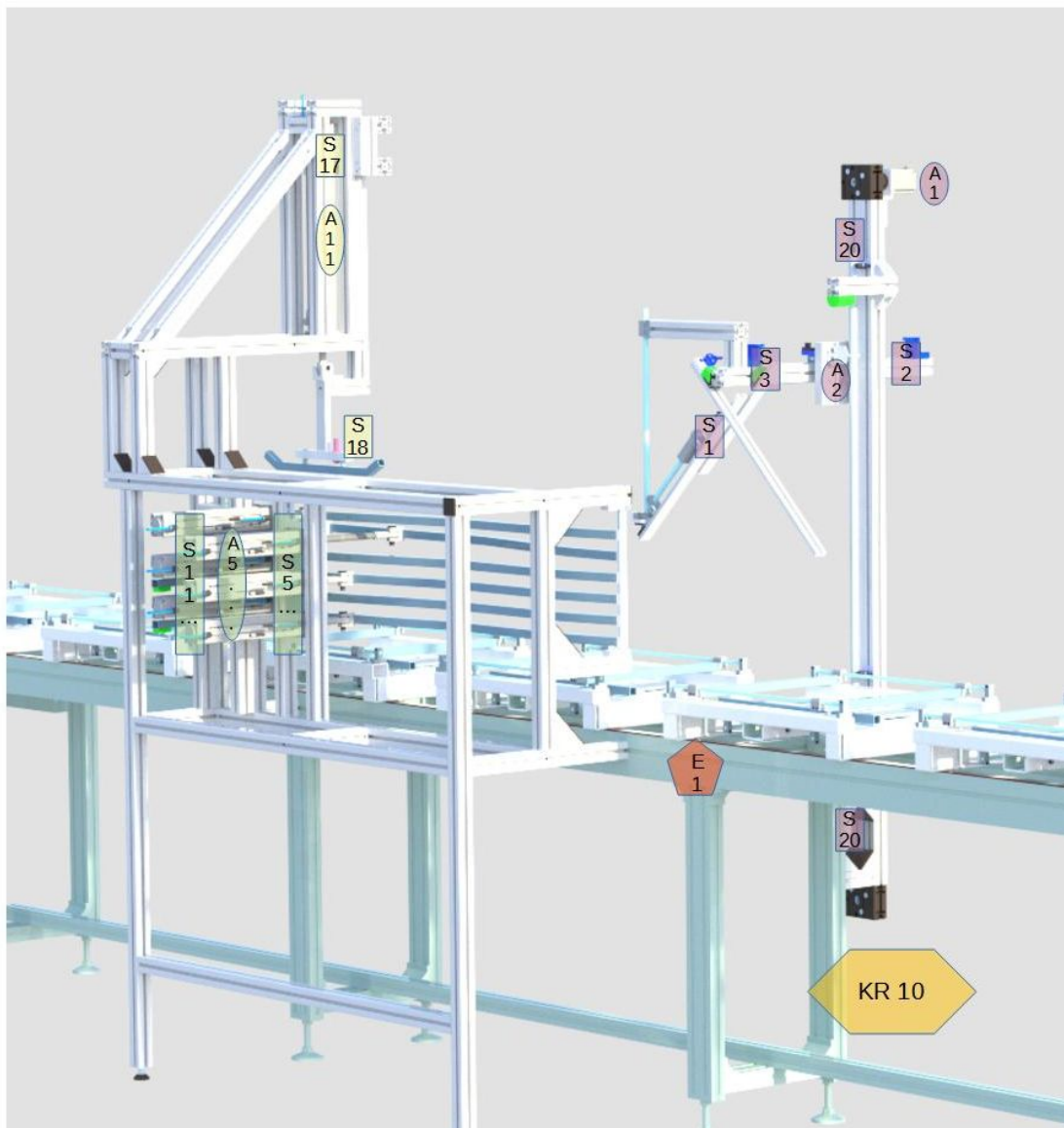


Obrázek 7.1: Propojení jednotlivých signálů pro řízení linky

Jednotlivé vstupy jsou označeny elipsou s barvou příslušnou k danému funkčnímu bloku, výstupy do aktuátorů, pak obdélníky a komunikace s robotickým kontrolérem šestiúhelníkem.

Z nadřazených řídicích systémů jsou převzaty zejména informace o typu sklenice, respektive rozměru krabic a dále takt linky, který slouží pro kontrolu. Spuštění sekvence sklápění bočních chlopní a také robotické části je závislé na snímači polohy E1. Sekvence musí být dokončena před dosažením pozice další krabicí, jak je naznačeno oranžovým kruhem. Ohýbání víka funguje nezávisle na ostatních blocích a reaguje na změnu velikosti krabice. Funkční blok přidržovače a robotické operace jsou navzájem propojeny

několika signály, aby byla možná spolupráce těchto dvou částí. Na obrázku 7.2 je vidět rozmístění jednotlivých snímačů v navrženém uzlu.



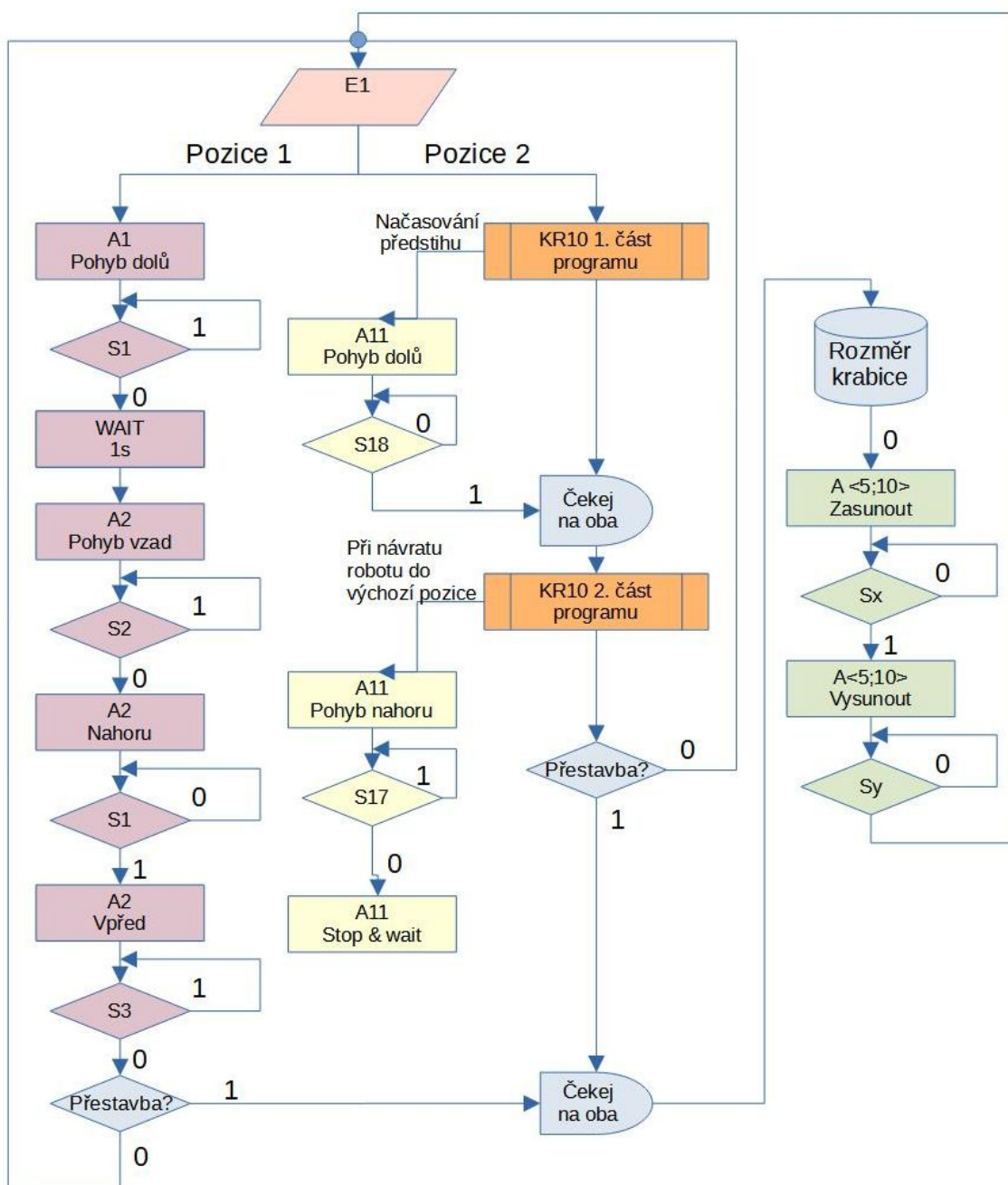
Obrázek 7.2: Umístění snímačů a aktuátorů

V celém pracovišti jsou signály tvořeny světelnými koncovými snímači (S1), které se vyznačují značnou robustností a indukčními snímači na pneumatických aktuátorech, které sledují pozici pístnice (S2, S3, S5-S16, S17, S18). Pneumaticky je řešen pohon ohýbače a přidržovače a částečně také sklápěče chlopní(A2, A5-10, A11), kde je druhý přesnější pohyb ovládán krokovým motorem(A1). Podstatné je také snímání polohy vozíku, respektive krabice pomocí snímače polohy, který je umístěn co nejbližší operacím, aby byla poloha dostatečně přesná pro navržené řešení. Zvláštní kategorií je pak robotické rameno, které je ovládáno vlastním řídicím systémem a s ostatními částmi praco-

viště komunikuje pomocí sériové komunikace. Je ovládáno z řídicího PLC pomocí externí automatiky, která byla nastíněna v kapitole 3.1.

7.2 Popis kompletní funkce uzlu

Funkce byla koncepčně popsána již při návrhu varianty, zde je popsána na základě již známých konstrukčních reálií a zvolených aktuátorů a signálů. Celý postup je vyjádřen vývojovým diagramem na obrázku 7.3, kde je použito stejné značení jako výše.



Obrázek 7.3: Vývojový diagram funkce závěrečného uzlu

Celý proces lze rozložit na tři celkem nezávislé smyčky.

První smyčku tvoří sekvence pro sklápění bočních chlopní (Fialový sloupec). Po dosažení dané vzdálenosti, tedy hodnoty na snímači polohy, je spuštěn pohyb ramen směrem dolů tak, aby se ve chvíli dotyku nacházela přímo nad středem krabice. Díky tomu je zajištěno správné sklopení. Při dosednutí jsou ramena zcela rozevřena, což je signalizováno optickým koncovým snímačem. Následuje sekundová pauza, při které se krabice dále pohybuje a tím se dostává svým koncem za střed sklápěče a je možné ohnout víko bez vzájemné kolize pro většinu rozměrů krabic. Při pohybu ramen vzad jsou chlopně ještě dokonaleji stisknuty a následně jsou přichyceny na místě ohýbajícímse víkem.

Průjezdem krabice přes ohýbač je tedy víko částečně ohnuto a je připraveno pro robotickou operaci, která spolu s přidržovačem víka tvoří druhou smyčku. Po dosažení správné polohy je započat robotický program, který svým pohybem celou dobu sleduje pozici krabice, kterou odečítá ze snímače polohy vozíku. Po zasunutí čelní chlopně je třeba přidržet víko, o což se stará přidržovač. Jeho pohyb směrem dolů je aktivován těsně před dokončením pohybu robotu tak, aby se oba pohyby potkaly co možná nejpřesněji ve svém závěru. Po dosednutí přidržovače může začít druhá část robotického programu, tedy zajištění zámku. Poté dochází k odjištění přidržovače a návratu robotu do domovské pozice.

Poslední smyčka je aktivována pouze při přestavbě. Po dokončení obou operací na poslední krabici současné velikosti je nejprve zasunuto právě aktivní patro a následně vysunuto patro nové. Po takovéto přestavbě pokračuje program zpět a vyčkává příjezdu nové krabice na pozici 1 odměřování. Při přestavbě je také informace o nových rozměrech krabice předána řídicímu systému robotu a také je upravena pozice 1 pro spuštění pohybu směrem dolů, aby zůstalo časování pohybu stejné i při změně výšky krabice.

7.3 Simulace uzavíracího uzlu

V rámci návrhu bylo provedeno hned několik simulací, ze kterých vzešly data pro konstrukční návrh a některé programy pro řízení uzlu. Následně byl vytvořen simulační model celého pracoviště ve Visual Components, který je možné dále využít pro simulaci uzlu při provozu, přípravu dalších programů a případnou analýzu procesu. Simulace a jejich výstupy jsou podrobně popsány v návrhové části, zde jsou přehledně shrnuty

pro možnost dalšího využití za provozu a při ladění reálné linky. Samotné simulace jsou pak součástí elektronických příloh.

Fyzikální simulace

Fyzikální simulace využívá fyzikálních vlastností jednotlivých částí, které se jí účastní. Byl vytvořen fyzikální model krabice a ostatních prvků. Na této simulaci bylo možné vytvořit a ověřit řídicí programy pro robot a ověřit logiku a uspořádání ostatních částí uzlu. Z této simulace bylo také možné navrhnout rozměry a vybrat co nejoptimálnější robotické rameno.

Časová simulace

Časová simulace již využívá konkrétní typ robotu a umožňuje celý proces analyzovat z hlediska časů jednotlivých operací. Program je zde již v nativním jazyce robotu. Umožňuje optimalizaci drah nástroje ať už z hlediska geometrie, tak rychlostí a zrychlení.

Testování času na řídicím systému robotu

Jedná se o vyšší úroveň simulace, kdy pohyby robotu ovládá přímo jeho řídicí systém. Takováto simulace umožňuje ještě přesněji zanalyzovat časy, ale také dále odladit program tak, že je v případě simulace možné ho odtud přenést přímo na reálný řídicí systém bez nutnosti dalších úprav. Virtualizace pravého řídicího systému umožňuje také propojení s externí automatikou a přípravu propojení robotického systému na nadřazený PLC systém. V této práci byly časové testy prováděny přímo na fyzickém robotu s vlastním řízením a ukázalo se, že časy ze simulace ve Visual Components jsou o něco vyšší, než časy reálné.

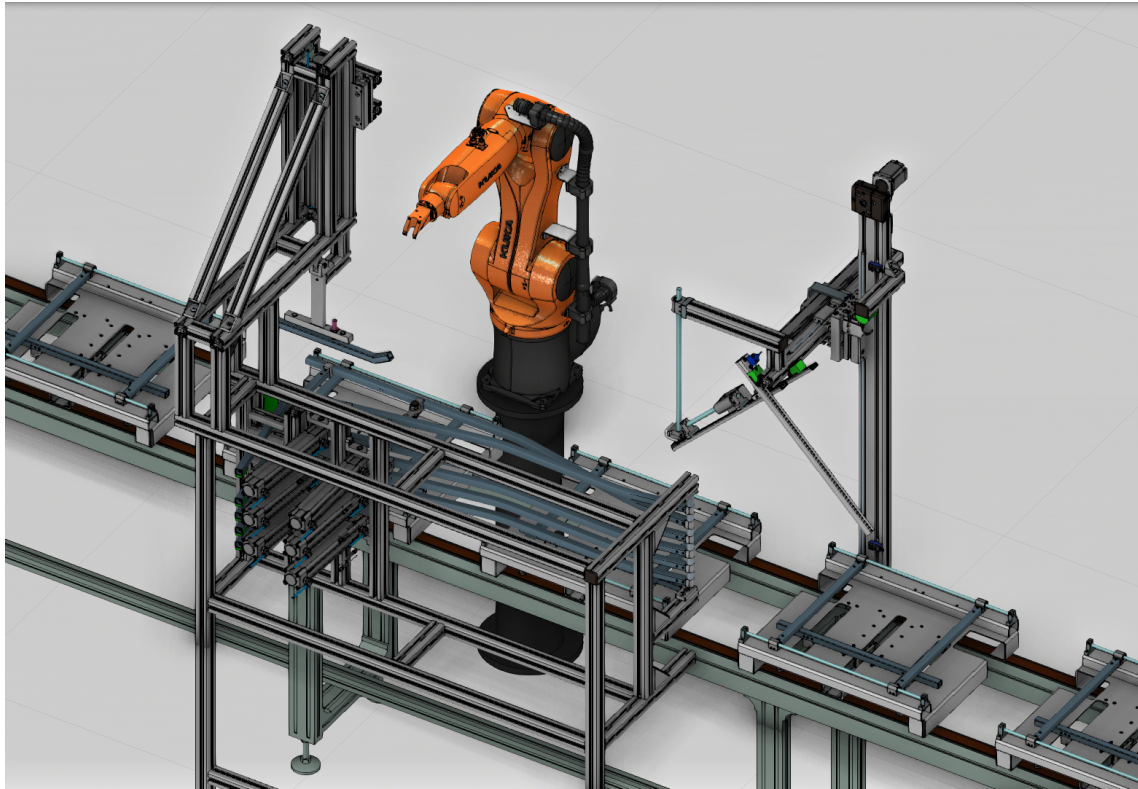
Celkový simulační model

Celkový simulační model dotváří konkrétní obraz řešení. Nachází se v ní celý konstrukční návrh pracoviště. Jednotlivé části mají nastaveny rozsahy a pohyby a je u nich nastavena základní logika. Je zde také robotické rameno včetně řídicího programu. Tento model je připraven pro vytváření dalších simulací a přípravu konkrétních programů a případně pro propojení dalších částí linky.

Model se skládá ze čtyřech částí. První tvoří dopravník s vozíky. Je zde nastaven pohyb vozíků, který je propojen na servo controler a následně pohyb čelních a bočních

lišť. Druhým celkem je sklápěč bočních chlopní, u kterého jsou nastaveny aktivní pohyby manipulátoru a pohyb ramen včetně zjednodušeného teleskopického pohybu. Další celek tvoří ohýbač víka, který má aktivní pohyb pro každé patro a posledním celkem je přidržovač s jedním aktivním pohybem jezdce. K těmto prvků patří ještě zmíněné robotické rameno na stojanu.

Simulační model tvoří přílohu elektronickou 7 a 14.



Obrázek 7.4: Simulační model uzlu ve Visual Components

8 Závěr

V rámci diplomové práce byl navržen zavírací uzel balicí linky pro kartonové krabice s pojištěním proti otevření pomocí zámku. Návrh byl proveden na základě požadavků zadavatelské firmy.

V první části práce byla provedena rešerše přístupů ke skládání a zavírání krabic, možností simulací a využití principů automatizace a robotizace v tomto odvětví. Na reálných příkladech balicích linek pak byly tyto principy dále identifikovány a popsány tak, aby byly tyto poznatky využitelné pro samotný návrh. Velká část rešerše je pak věnována přímo zavíracím uzlům a to zejména z linek pro balení krabic s různými druhy pojištění proti otevírání víka. Byly zde uvedeny jak obecné postupy popsané v některých patentech či vynálezech, tak příklady reálných zařízení. Obecně byly zavírací uzly rozděleny na lištové dráhy, linky s koncovými efekty a kombinace předchozích. Na základě rešerše a tohoto rozdělení byly navrženy různé varianty samotného řešení.

Jednotlivé varianty, které byly navrženy, byly zhodnoceny několika kritérii a byla vybrána varianta, která nejlépe vyhovovala požadavkům zadavatelské firmy. Jedná se o variantu s kombinací lištové dráhy pro přivření jednodušších částí krabice a robotického systému, který celou operaci dokončuje.

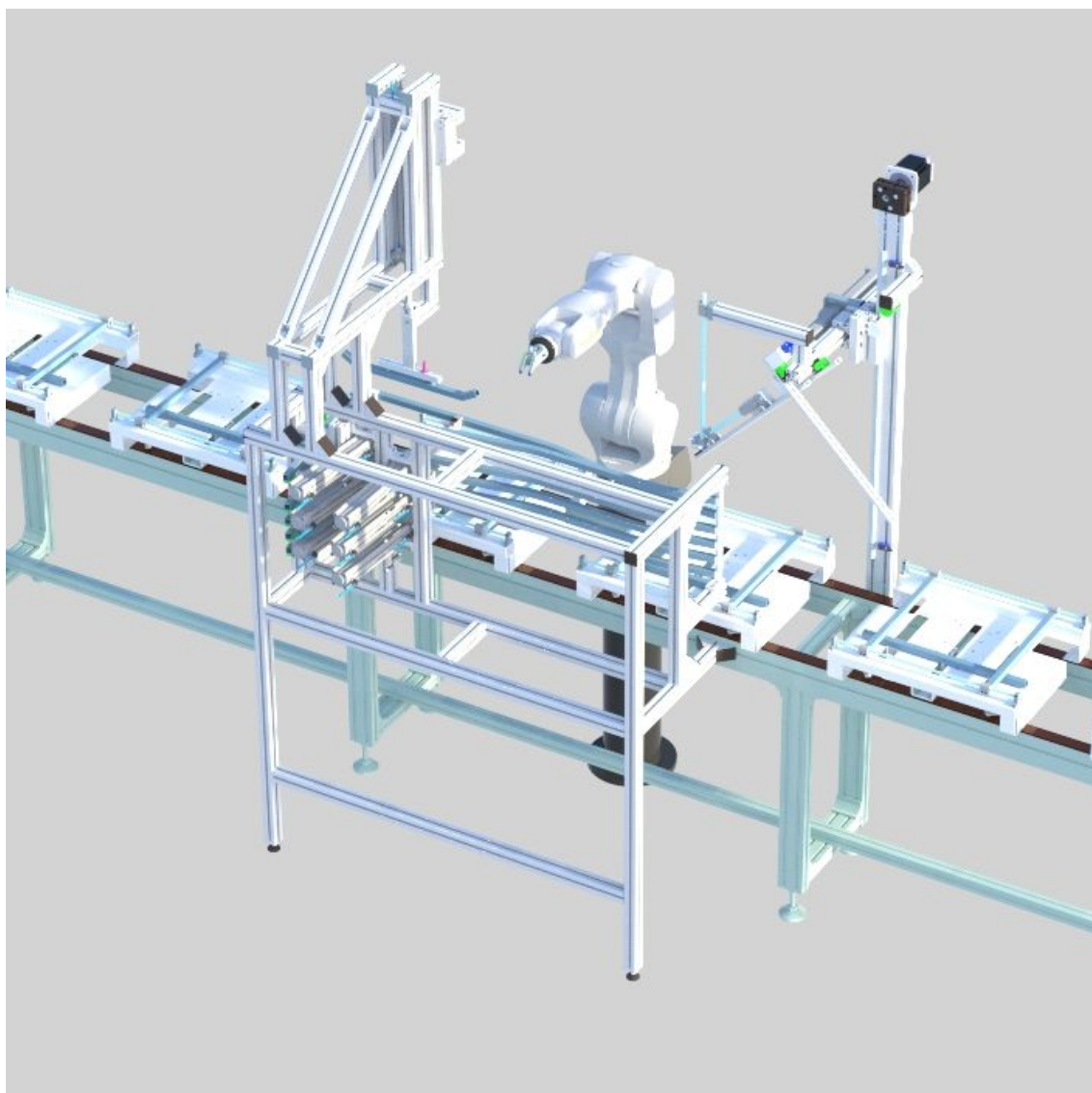
Byly provedeny návrhové výpočty a návrhové simulace. Konkrétně se jedná o fyzikální simulaci, na základě které byly navrženy pohyby robotu a vybráno vhodné robotické rameno a časová simulace ve Visual Components pro určení časů robotické operace a návrh rozložení a rychlostí pracoviště. Čas robotické operace byl následně ověřen na reálném robotu a byly porovnány časy ze simulace a časy skutečné. Ukázalo se, že na reálném robotu jsou časy nižší, než v simulačním softwaru. Na základě těchto návrhů byl vytvořen konstrukční návrh jednotlivých částí uzlu reprezentovaný 3D modelem a sestavnými výkresy.

V další části bylo navrženo základní řízení uzlu a popsána výsledná funkce. Krabice se celým pracovištěm plynule pohybuje a během toho jsou nejprve sklopeny boční chlopně, dále ohnuto víko a to následně dovráno robotickým ramenem, které také zajišťuje víko zámkem.

Návrhové simulace, ať už fyzikální, tak časové, byly doplněny o celkový simulační model pracoviště. Na tomto modelu byly nastaveny jednotlivé pohyby a navázány na

řízení simulace. Model je možné využít pro ladění řídicích programů a další simulace při provozu linky.

Byl vytvořen konstrukční návrh podpořený návrhovými výpočty a několika druhy simulace. Byly splněny požadavky zadavatele a jednotlivé cíle práce. Celý návrh je podpořen navrženým řízením. Řešení splňuje zadaný takt a rozměrové portfolio a je připraveno pro realizaci v zadavatelské firmě.



Obrázek 8.1: Zavírací uzel balící linky pro prodejní krabice

Seznamy

Seznam použité literatury

- [1] ANDRLÍK Vladimír. *Průmyslové roboty a manipulátory*. Praha : České vysoké učení technické, 2012. 256 s.
- [2] LU Liang, AKELLA Srinivas. Folding Cartons with Fixtures: A Motion Planning Approach. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, VOL. 16, NO. 4, AUGUST 2000
- [3] KUKA ROBOTER GMBH. Augsburg, Germany: *KUKA Sunrise.OS 1.11 KUKA Sunrise.Workbench 1.11: Operating and Programming Instructions for System Integrators*. 2016. 557s.
- [4] KUBEŠ Radek. Zavedením automatizace se firmy dostávají na cestu jejího neustálého zvyšování. *Hospodářské noviny - speciální příloha automatizace a robotizace*. září 2021, s.20
- [5] DOSTALOVÁ Helena. Po autoprůmyslu dobývají roboti i další odvětví. Jejich schopnosti se stále zlepšují. *Hospodářské noviny - speciální příloha automatizace a robotizace*. září 2021, s.4,5
- [6] HONGHAI Liu, JIAN Dai. An approach to carton-folding trajectory planning using dual robotic fingers. *Robotics and Autonomous Systems* [Online]. London 2003, Volume 42, Issue 1, Pages 47-63. ISSN 0921-8890, dostupné z WWW: [https://doi.org/10.1016/S0921-8890\(02\)00312-3](https://doi.org/10.1016/S0921-8890(02)00312-3).
- [7] YAO Wei, CANNELA Ferdinando, DAI Jian S. Automatic folding of cartons using a reconfigurable robotic system. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* [Online]. 2011, Volume 27, Issue 3, pages 604-613. ISSN 0736-5845. Dostupné z WWW: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2010.10.007>.
- [8] SYNTEGON PACKAGING SYSTEM AG. *Sigpack TTM* [online]. Švýcarsko : Syntegon Group, 7.2022 [cit. 25.10.2022]. Dostupné z WWW:

https://www.syntegon.com/hubfs/05_website/Content/1-Solutions/2-Food/02-Technology-pages/04-Cartoning/Syntegon_Sigpack-TTM_2022_en.pdf

- [9] SYNTEGON. *Sigpack TTM - Secondary packaging for a wide range of formats* [Video]. YouTube 30.6.2020, [cit. 25.10.2022]. Dostupné z WWW: <https://youtu.be/O5-Vm5xzdVc>
- [10] BALKCOM, D.J., MASON, M.T. Introducing robotic origami folding. *IEEE International Conference on Robotics and Automation*. 2004, Vol.4, pages 3245-3250.[Online]. ISSN 1050-4729. Dostupné z WWW: <https://doi.org/10.1109/robot.2004.1308754>.
- [11] PEARSON SPECTER Sara. *High-throughput system builds custom corrugated boxes* [Online]. Massachusetts : Peerless Media LLC, 2017 [cit. 5.11.2022]. Dostupné z WWW: https://www.scmr.com/article/high_throughput_system_builds_custom_corrugated_boxes
- [12] PROSHIP, Inc. *CVP-500 Automated Packing Solution 2017*. [Video]. YouTube 31.3.2017, [cit. 6.11.2022]. Dostupné z WWW: https://youtu.be/_lpMlzZUjIE
- [13] SIDEL GROUP. *VersaWrap* [Online]. Italy. [cit. 10.5.2023] Dostupné z WWW:<https://www.sidel.com/en/overwrapping-packing/wrap-around-blank-packing/versawrap-pd-390>
- [14] EKOKOM. *CO JE OBAL? JAKÉ JSOU DRUHY A FUNKCE OBALŮ?* [online]. Praha : Havas Worldwide Prague a.s., 23.10.2020 [cit. 2.11.2022]. Dostupné z WWW: <https://www.samosebou.cz/2020/10/23/co-je-obal-jake-jsou-druhy-a-funkce-obalu/>
- [15] MULLER TECHNOLOGY. *Cobot Case Packer for Lids and Containers* [online]. Chicago:PMMI Media Group, 12.3.2021 [cit. 2.11.2022]. Dostupné z WWW: <https://www.packworld.com/machinery/robotics/product/21319432/muller-technology-cobot-case-packer-for-lids-and-containers>
- [16] ARTEMA PACK. *Automatic packaging for american box* [online]. Italy:Artema Pack srl Packaging & automation [cit. 10.11.2022]. Dostupné z WWW:<https://www.artemapack.it/en/consultancy/automatic-packaging-for-american-box/>

- [17] SCHUBERT GROUP. *Packaging macines preconfigured compact and efficient* [online]. Německo : Gerhard Schubert GmbH [cit. 25.10.2022]. Dostupné z WWW:<https://www.schubert.group/en/packaging-solution/schubert-lightline/lightline-cartonpacker/>
- [18] BECKHOFF AUTOMATION. PC-based controls help packaging machines [online]. Downers Grove:CFE Media Corporate, 18.4.2013 [cit. 8.11.2022] Dostupné z WWW: <https://www.controleng.com/articles/pc-based-controls-help-packaging-machines/>
- [19] R. HARIKRISHMAN, M. RAJESWARAN, S. SATHISH KUMAR, K. DINESH. Productivity improvement in poly-cover packing line through line balancing and automation. *Materials Today: Proceedings*. Volume 33, Part 1, 2020. Pages 102-111. ISSN 2214-7853. Dostupné z WWW: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.253>
- [20] FLANAGAN Casey. *A Majority Now Use End-of-Line Robotics, But Growth Is Expected to Plateau* [Online]. Chicago : PMMI Media Group 14.9.2022 [cit. 16.11.2022]. Dostupné z WWW:<https://www.packworld.com/machinery/robotics/article/22498624>
- [21] MOHAN Anne Marie. *Smarter Robots: AI, Machine Learning, and 3D Vision* [online]. Chicago : PMMI Media Group 25.8.2022 [cit. 16.11.2022]. Dostupné z WWW:<https://www.packworld.com/machinery/robotics/article/22340562/smarter-robots-ai-machine-learning-and-3d-vision>
- [22] MOHAN Anne Marie. *Delicate Strudel Dough Picked and Packed in Enclosure-Free Robot Cell* [Online]. Chicago : PMMI Media Group 31.8.2022 [cit. 17.11.2022]. Dostupné z WWW:<https://www.packworld.com/machinery/robotics/article/22340566/staubli-robots-pack-strudel-dough-at-weinbergmaier>
- [23] Serpa. *P150 Intermittent Cartoner* [Online]. California : Serpa PACKAGING SOLUTIONS [cit. 25.11.2022]. Dostupné z WWW:<https://www.Serpapackaging.com/products/p150-intermittent-cartoner/>
- [24] PMI KYOTO. *Horizontal Cartonners* [Online].Illinois : PMI

- Kyoto Packaging Systems [cit. 12.12.2022]. Dostupné z WWW:<https://www.pmikyoto.com/products/horizontal-cartoners/>
- [25] LEE Richard, COLLINS Jeremiah. *Cartoning machine*. US Patent 5 048 673. 17.9.1991.
- [26] SCHUBERT GROUP. *Fully integrated line for pharmaceutical manufacturer lundbeck* [online]. Německo : Gerhard Schubert GmbH [cit. 22.12.2022]. Dostupné z WWW:<https://www.schubert.group/en/case-studies/lundbeck-en.html>
- [27] ESS TECHNOLOGIES. *Horizontal cartoners (SC Series)*[Online]. Norfolk : TechArk [cit. 28.12.2022]. Dostupné z WWW:<https://www.esstechnologies.com/products/horizontal-cartoners-sc-series/>
- [28] BELLANTE Danielle. *Machine for cartoning products*. Canadian Patent 2 731 174. 21.5.2010.

Seznam použitého software

1. Siemens NX - studentská licence
2. Visual components - studentská licence
3. Item Ingeneering tool - opensource
4. Lyx - opensource
5. LibreOffice Draw - opensource

Seznam obrázků

3.1	Graf procesních toků [19]	15
3.2	Pracoviště s pevnými přípravky a p. robotem [2]	17
3.3	Robotický prst se dvěma stupni volnosti [7]	19
3.4	Klíňový roh [7]	19
3.5	Testovací krabice se zámkem [7]	20
3.6	Simulace a testování robotických prstů [7]	20
3.7	Stroj na vytváření skladů [10]	21
3.8	Popis modelované krabice [6]	22
3.9	Sigpack TTMD[8]	26
3.10	Rozkládání krabic na lince Serpa P150 [23]	28
3.11	Zavírání přepravního obalu lištami [16]	29
3.12	Zavírání přepravního obalu zavírací hlavou [17]	29
3.13	VersaCombi - Sidel [13]	30
3.14	Uzavírací mobilní hlavice [28]	31
3.15	Sekvence zavírání hlavou s příklapěči [9]	32
3.16	Sekvence zavírání CVP-500 [12]	33
3.17	Zavírání průchodem lištovou drahou [23]	34
3.18	Princip zavíracího kola	36
3.19	Linka se zavíracím mechanismem s efektory a lištami [25]	37



3.20	Mechanismus zavírání víka se zastrkávací chlopní [25]	37
3.21	Princip zavírání s efektoru a lištami linky od Ess Technologies [27]	38
3.22	Zavírání hlavicí pro zasouvací chlopně [26]	39
4.1	Maximální a minimální rozměry krabic	42
4.2	Koncepce celé balicí linky dle představy zadavatele	42
4.3	Konstrukce uzavírané krabice	43
4.4	Kinematická struktura uzavírané krabice	43
4.5	Zavírací sekvence	44
4.6	Varianta s lištovou dráhou	46
4.7	Varianta s plně robotickým řešením	48
4.8	Varianta s paralelogramickou houpačkou	50
4.9	Varianta se střečovým přípravkem	51
5.1	Vybraná koncepce zavíracího uzlu	54
5.2	Postup sklopení víka	56
5.3	Postup zajištění zámku	56
5.4	Parametry nastavení vazby	58
5.5	Fyzikální krabice ve Visual Components	59
5.6	Program v Pythonu (vlevo) a Visual Components (vpravo)	60
5.7	Fyzikální simulace robotické části	60
5.8	Fyzikální simulace	61
5.9	Porovnání konfigurovaného a vybraného robotu	62
5.10	Program v Pythonu a v KRL	63
5.11	Ukázka z časové simulace a testů pohybů	65
5.12	Pracovní prostor pro plynulé zavírání bez a s vyhnutí se singulární poloze	68
5.13	Rozložení pracoviště	68
5.14	Návrh lišty ohýbače	71
6.1	Testovaný efektor, model efektoru s přísavkami, řez modelem přes pneumatické kanály	73
6.2	Konstrukce sklápěče bočních chlopní	74
6.3	Konstrukce ohýbače víka	75
6.4	Konstrukce přidržovače víka	76

6.5	Konstrukce nosného vozíku	78
6.6	Implementace jednotlivých částí konstrukce	78
7.1	Propojení jednotlivých signálů pro řízení linky	80
7.2	Umístění snímačů a aktuátorů	81
7.3	Vývojový diagram funkce zavíracího uzlu	82
7.4	Simulační model uzlu ve Visual Components	85
8.1	Zavírací uzel balící linky pro prodejní krabice	87

Seznam tabulek

4.1	Porovnání variant	52
5.1	Časy zavírání z časové simulace	64
5.2	Porovnání časů simulace a reálného testu pohybů	65
5.3	Pohyb střechového přípravku	70

Seznam příloh

- Výkresová dokumentace
 - Sestavné výkresy
 1. DP-1825-00-01.pdf
 2. DP-1825-00-02.pdf
 3. DP-1825-00-03.pdf
 4. DP-1825-00-04.pdf
 - Kusovníky
 1. DP-1825-00-01-K.pdf

2. DP-1825-00-02-K.pdf

3. DP-1825-00-03-K.pdf

4. DP-1825-00-04-K.pdf

▪ Elektronické přílohy

– Simulace

1. Fyzikální_simulace_robotu.pdf

2. Fyzikální_simulace_uzlu.pdf

3. Časová_simulace_s_vybraným_robotem.pdf

4. Simulace_uzlu_s_vybraným_robotem.pdf

5. Časová_simulace_pro_porovnání_s_reálnými_testy.pdf

6. Porovnání_KR10_R900_a_R1100_při_sekvenci_se_sledováním_pohybu.pdf

7. Celkový_simulační_model.pdf

8. Fyzikální_simulace_robotu.vcmx

9. Fyzikální_simulace_uzlu.vcmx

10. Časová_simulace_s_vybraným_robotem.vcmx

11. Simulace_uzlu_s_vybraným_robotem.vcmx

12. Časová_simulace_pro_porovnání_s_reálnými_testy.vcmx

13. Porovnání_KR10_R900_a_R1100_při_sekvenci_se_sledováním_pohybu.vcmx

14. Celkový_simulační_model.vcmx

– CAD modely

1. DP_1825_Zavírací_uzel_balicí_linky.STEP

– Generované výkresové dokumentace kupovaných sestav

1. DP-GEN-1825-00-01-01.pdf

2. DP-GEN-1825-00-01-02.pdf



3. DP-GEN-1825-00-02-01.pdf
4. DP-GEN-1825-00-02-02.pdf
5. DP-GEN-1825-00-03-01.pdf
6. DP-GEN-1825-00-03-02.pdf
7. DP-GEN-1825-00-03-03.pdf