



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

ROBOTIZOVANÉ NANÁŠENÍ LEPIDLA NA VELKÉ DÍLY

ROBOTIZED GLUE APPLICATION ON LARGE PARTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Chmola

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Vetiška, Ph.D.

BRNO 2020

Zadaní bakalářské práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Martin Chmola
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Jan Vetiška, Ph.D.
Akademický rok:	2020/21

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

Robotizované nanášení lepidla na velké díly

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Při stále zvětšujícím se tlaku na produktivitu práce, je jednou z možností jak tohoto dosáhnou robotizace rutinních činností. Jednou z takových je nanášení lepidla. Cílem práce je zjistit aktuální stav dané problematiky a poznatky aplikovat na simulační úloze.

Cíle bakalářské práce:

Rešerše dané problematiky.
Systémový rozbor řešené problematiky.
Návrh variant řešení.
Digitální zprovoznění vybrané varianty.
Vyhodnocení dosažených výsledků.
Závěr a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

SICILIANO, B., KHATIB, O. Springer handbook of robotics. Berlin: Springer, c2008. ISBN 978-3-5-0-23957-4.

KOLÍBAL, Z. a kol.: Roboty a robotizované výrobní technologie. VUTIUM Brno, 2016, ISBN 978-8-214-4828-5.

NOF, S. Y. Springer Handbook of Automation. Springer, 2009. 1812 s. ISBN 978-3-540-78830-0.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Táto bakalárska práca sa zaoberá problematikou virtuálneho sprevádzkovania robotickej bunky s nanášaním tesniaceho tmelu na veko batérie pre elektrické vozidlo. Práca obsahuje rešeršnú časť, ktorá sa zaoberá technológiou lepenia, druhmi lepidiel a tmelov, možnosťami ich aplikácie a činnosťami predchádzajúcimi aplikácií, ako zásobenie, doprava, meranie dávky a zmiešavanie viacprvkových lepidiel. Nasleduje rozbor zadanej úlohy a jej možné varianty riešenia z ktorých je vybraný variant spracovaný a odladený v prostredí Robotstudio na funkčné virtuálne pracovisko. Vlastný návrh sa venuje aj výberu vhodnej tesniacej hmoty, pracovného prostredia pre robot a technológiu, ako aj zásobením tesniacim materiálom a návrhom efektoru, či výberom vhodného robota.

ABSTRACT

This bachelor thesis examines the issues of virtual commissioning robotic cell with task of dispensing sealant on lid of the battery of electric vehicle. The thesis contains background research about technology of gluing, types of glues and sealants, the possibilities of dispensing them and pre-dispensing operations as supply, measurement of dose and mixing of multi component glues. In following chapter is discussed problem analysis and several options of problem solving, one option is chosen, created and trouble shot in Robotstudio as a functioning virtual robotic cell. Creating the solution includes choose of capable sealant, work space for robot and technology, also supply of sealant, creating a gripper and choosing of robot is included.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

robotické nanášanie lepidla, virtuálne sprevádzkovanie, robotická bunka, robotické nanášanie tmelu, montáž batérie elektromobilu

KEYWORDS

robotic gluing, virtual commissioning, robotic cell, robotic sealant dispensing, electric vehicle battery manufacturing

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

CHMOLA, Martin. *Robotizované nanášení lepidla na velké díly*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/129522>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Jan Vetiška.

POĎAKOVANIE

Chcel by som poďakovať môjmu vedúcemu za veľmi dobrú komunikáciu, rady ktoré pomohli a inšpiráciu ktorá mi pomohla písať a tvoriť ďalej. Chcel by som poďakovať aj rodine za podporu pri celom štúdiu.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že táto práca je mojím pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne pod vedením Ing. Jana Vetišku, Ph.D. a s použitím literatúry uvedenej v zozname.

V Brne, dňa 11.9 2020



.....
Chmola Martin

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	PREHĽAD SÚČASNÉHO STAVU POZNANIA.....	17
2.1	Technológia lepenia	17
2.2	Druhy lepidiel.....	18
2.3	Metódy nanášania lepidiel.....	19
2.4	Roboty v priemysle	20
2.5	Možnosti zásobenia materiálom.....	21
2.6	Druhy zmiešavačov a dávkovania.....	21
2.7	Virtuálne sprevádzkovanie projektu.....	23
2.8	Príklady robotického nanášania lepidla	24
3	SYSTÉMOVÝ ROZBOR A NÁVRH VARIANT	27
3.1	Popis úlohy.....	27
3.2	Varianty.....	28
3.3	Pomocné časti bunky.....	28
4	NÁVRH PRACOVISKA A DIGITÁLNE SPREVÁDZKOVANIE.....	29
4.1	Výber tesniacej hmoty.....	29
4.2	Pracovné prostredie	29
4.3	Zásobenie a predzásobenie materiálom	30
4.4	Návrh efektoru (gripper)	30
4.5	Výber robota.....	31
4.6	RobotStudio.....	32
5	VYHODNOTENIE DOSIAHNUTÝCH VÝSLEDKOV	37
6	ZÁVER.....	39
7	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	41
8	ZOZNAM SKRATIEK, SYMBOLOV, OBRÁZKOV A TABULIEK	43
8.1	Zoznam skratiek	43
8.2	Zoznam symbolov	43
8.3	Zoznam obrázkov.....	43
8.4	Zoznam tabuliek.....	44
9	ZOZNAM PRÍLOH	45
	PRÍLOHA A	47
	PRÍLOHA B.....	48

1 ÚVOD

Dôležitosť tejto témy spočíva v optimalizácii výrobných nákladov a časov a tým prispieť k vyššej produktivite a zároveň k nižším výrobným nákladom. Rozvoj robotizácie výroby prináša predtým nevídané možnosti výroby, technológie a techniky.

Ďalší rozvoj robotizácie a automatizácie prináša so sebou novú priemyslovú revolúciu, príchod priemyslu 4.0. Tieto zmeny majú svoje nároky najmä na vyškolený a vzdelaný personál, ktorý je dôležitý pri projektovaní, stavbe, sprevádzkovaní, či údržbe zariadenia. Zmeny sú badateľné aj vo výrobe, kde operátori s robotmi spolupracujú pasívne, ale aj aktívne. Vyšší dôraz je kladený aj na bezpečnosť, robotické pracovisko, ak nejde o kolaboratívneho robota, je pre človeka nebezpečné.

Vhodným použitím robota je aj úloha v prostredí nevhodnom pre človeka. Na rozdiel od človeka, robot dokáže pracovať prakticky nepretržite a dokáže opakovať tú istú úlohu s rovnakou kvalitou prevedenia a rovnakým výsledkom. Dokáže tiež s vyššou presnosťou polohovať nástroj alebo diel a dokáže ho presúvať vyššími rýchlosťami. Napriek týmto nesporným výhodám robot stále niekedy nedokáže splniť úlohu človeka alebo nedokáže byť lacnejší ako ľudská práca.

Pre potreby priemyslu budúcnosti je použitie automatizovaných liniek nevyhnutnosťou, preto úloh ako táto bude treba riešiť čoraz viac, aj vo väčšom rozsahu, teda komplikovanejšie. Na toto je ideálnym nástrojom virtuálne sprevádzkovanie ešte pred samotnou stavbou a spustením, a to je hlavnou náplňou tejto práce. Oboznámenie sa s problematikou a softvérom a následné vytvorenie a odladenie zadaných činností.

2 PREHĽAD SÚČASNÉHO STAVU POZNANIA

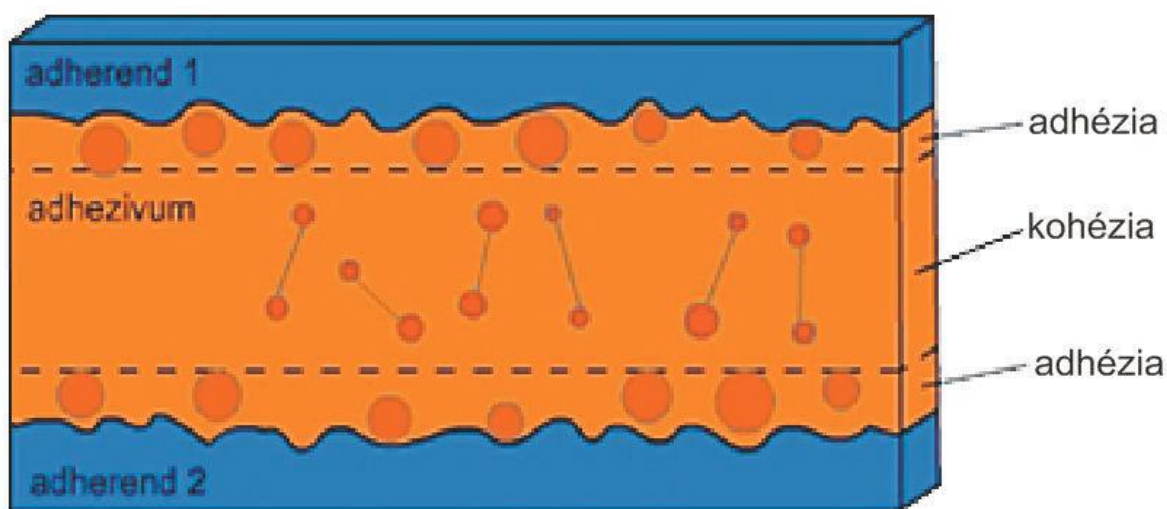
Táto kapitola pojednáva o technológií lepenia súčasnosti, ďalej ukazuje druhy lepidiel a metódy ich nanášania. Predstavené sú aj možnosti celého reťazca operácií s lepidlom pred aplikáciou, vid' Obr. 3), ako sú zásobovanie lepidlom, či tesniacou hmotou, možnosti zmiešavania viaczložkových materiálov, stroje na dopravu a meranie aplikovaného množstva lepidla. V krátkosti je spomenutý priemyselný robot, jeho aplikácie v praxi. Kapitola ukazuje, prečo je dobré virtuálne sprevádzkovanie a aké softvéry je možné použiť.

2.1 Technológia lepenia

Lepenie rôznych materiálov je dôležitým míľnikom vo vývoji technológie spojov. V mnohých prípadoch v súčasnosti nahrádza zvarané spoje. Technológia lepenia postupne prenikla do väčšiny výrobných odvetví a jej prednosti posunuli možnosti konštrukcie a technológie výroby.

Napriek výhodám ktoré táto technológia ponúka je potreba mechanické vlastnosti lepeného spoja častokrát overiť skúškami. Práca s lepidlami priniesla však aj svoje úskalia, medzi ktoré patrí nutnosť presného nanášania, práca so zdravie škodlivými a horľavými látkami, s týmto aspektom pomáha práve prebiehajúca automatizácia a robotizácia.

Lepenie je proces spájania adherendov prostredníctvom lepidiel, pri ktorom sa využívajú adhezívne sily medzi adherendom a lepidlom spolu s kohéziou lepidla [1]. Výsledok tohto procesu možno vidieť na Obr. 1).



Obr. 1) Časti lepeného spoja a typy síl pôsobiacich medzi nimi [1]

Pred použitím lepeného spoja je nutné zvážiť výhody a nevýhody lepeného spoja v porovnaní s inými spojovacími metódami.

Výhody: [2]

- spoj je trvalý, čo zabezpečuje distribúciu napätia cez efektívnu lepenú plochu (vyklúčujú sa miestna koncentrácie napätia)
- spoj odoláva dobre únavovému zaťažovaniu
- väčšina lepidiel má dobré mechanické tlmiace vlastnosti (tlmenie hluku, vibrácií)

- montáž sa dá vo väčšine prípadov prevádzať pri relatívne nízkych teplotách
- spoj je plynosný a vodotesný ako taký vytvára spoľahlivý tesný uzáver
- môžu sa spájať úplne rôzne materiály (napr. nezávratelné, kov a drevo)
- lepenie znižuje hmotnosť celej konštrukcie oproti iným spojom
- lepenie je v porovnaní s inými spojovacími technikami pomerne jednoduché

Nevýhody: [2]

- pevnosť spoja je často nízka v porovnaní s inými spojovacími technikami
- lepidla väčšinou vykazujú zlé vlastnosti zaťaženia na lúpanie a štiepenie
- plnej pevnosti sa dosahuje až po vytvrdení
- lepidlá môžu byť napádané niektorými chemikáliami
- väčšinou nie sú vhodné pre spoje s premenlivým zaťažením
- často je obtiažne oddeliť spojené diely nedeštruktívnou metódou
- s ohľadom na zdravie musí byť pri ich použití dbané na bezpečnostné predpisy

2.2 Druhy lepidiel

Lepidlá sú nekovové materiály rastlinného a živočíšneho pôvodu, alebo pripravené synteticky, ktoré majú vysokú vnútornú súdržnosť a priľnavosť k povrchu tuhých látok. Na základe týchto vlastností sú schopné tieto látky spájať [3].

Podľa spôsobu vytvrdzovania možno lepidlá rozdeliť na vytvrdzované na fyzikálnom a chemickom princípe. Chemicky vytvrdzované lepidlá možno ďalej deliť na jednozložkové a dvojzložkové.

Fyzikálny princíp

Tento druh lepidla po aplikácii nemení svoje chemické zloženie, vytvrdzovanie a teda aj tavenie prebieha na fyzikálnom princípe. Vyznačujú sa dobrou pružnosťou spoja a sú používané v širokom spektre aplikácií. Hlavné druhy sú tavné (hot melts), organicky riediteľné (organic solvent adhesives), vodou riediteľné lepidlá (water-based adhesives) a plastizoly (plasticizers).[4]

Chemický princíp

Chemicky vytvrdzované lepidlá vyžadujú priebeh chemickej reakcie na zmenu skupenstva z kvapalného na pevné, táto reakcia môže byť spustená, alebo katalyzovaná ponechaním aplikovaného lepidla v špeciálnom prostredí (jednozložkové – single component) alebo prídavkom inej chemickej látky (dvojzložkové – two component). Tieto lepidlá sa vyznačujú vysokou pevnosťou, dokážu odolávať vyššej teplote, vlhkosti a mnoho chemickým látkam.[4] Delia sa na:

Jednozložkové lepidlá

Tieto lepidlá sa dodávajú zmiešané v chemicky stabilnom kvapalnom stave. Chemická reakcia zaručujúca vytvrdzovanie je však za normálnych podmienok pozastavená, tvrdnutie prebieha za vysokej teploty, alebo za prítomnosti chemickej látky, alebo ožarovaním svetlom, alebo za zvýšenej vlhkosti. Výhodou je jednoduchšie zariadenie na aplikáciu a vytvrdenie nezávislé od času. Nevýhodou zostáva nutnosť zariadenia na vytvrdzovanie a pri preprave a skladovaní nutnosť chrániť lepidlo pred vytvrdením. Možno ich rozdeliť na:

- ananerobné (anaerobic)

- kyanoakrylové (cyanoacrylates)
- teplom vytvrzované (heat cure)
- vlhkosťou vytvrzované (moisture cure)
- žiarením vytvrzované (radiation cure)
- silikónové (silicones)

Dvojzložkové lepidlá

Dodávajú sa ako dve separované chemicky stabilné zložky, živica a tvrdidlo, ktoré sa zmiešajú v presnom pomere na dosiahnutie vytvrdnutia. Je dôležité dodržať pomer miešania zložiek, aby lepený spoj mal požadované fyzikálne vlastnosti. Medzi výhody môžeme zaradiť rýchlosť tvrdnutia lepidla, napr. ak je potrebný vysoký takt výroby. Po prebehnutí reakcie je lepidlo odolné voči mechanickému tepelnému a chemickému namáhaniu. Možno ich rozdeliť na:

- epoxidové (epoxies)
- metylakrylové (methyl methacrylates)
- silikónové (silicone adhesives)
- polyuretánové (urethanes)

Je dôležité poznať parametre a požiadavky, ktoré ovplyvňujú voľbu lepidla. Nasledujúci výpočet popisuje základné atribúty pre výber lepidla: [5]

- a) lepené materiály (plasty, kov, drevo...)
- b) savosť lepených materiálov
- c) požiadavky na technológiu lepenia (ručná, robotická, nanášanie za tepla alebo za studena)
- d) požiadavky na rýchlosť lepenia (ovplyvňuje najmä takt výroby)
- e) požiadavky na otvorenú dobu (nespojené lepené plochy)
- f) požiadavky na pevnosť
- g) požiadavky na teplotnú odolnosť
- h) požiadavky na vodovzdornosť
- i) požiadavky na tuhosť alebo ohybnosť
- j) požiadavky na mechanické namáhanie počas tvrdnutia

2.3 Metódy nanášania lepidiel

Pre dosiahnutie kvalitného spojenia je kladený veľký nárok na prípravu lepeného povrchu ako i na nanosenie určeného množstva lepidla na určené miesto. Dôležitými faktormi sú rovnomernosť a súvislosť nanesej vrstvy, správny zmiešavací pomer v prípade dvojzložkového lepidla a rýchlosť nanosenia pri rýchlo vytvrzovaných lepidlách.

Spôsoby nanášania možno rozdeliť na:

2.3.1 Ručné

Nanášanie prevádza človek nástrojom, ako je štetec, tyčinka, stierka, alebo tuba. Druhou možnosťou je nanášanie pomocou strojového zariadenia, ako je ručná vytlačacia pištoľ, ručná pištoľ so zmiešavačom, mechanické dávkovače, ručné nožové a valcové zariadenia. Miera chybovosti je väčšia ako pri strojovom nanášaní, požiadavky na dávkovanie, umiestnenie a iné technologické parametre sú splnené s menšou presnosťou a opakovateľnosťou.

2.3.2 Strojové

Môže byť prevádzané polievacím zariadením, zariadením s natieracím nožom, vzduchovým nožom, striekaním pomocou pištole, elektrostatickým nanášaním, tepelným natáňovaním, žiarovým striekaním, nepohyblivou tryskou a tryskou pripevnenou na robotickom manipulátore. Výhodou je presné nanesenie žiadaného množstva, opakovateľnosť dávky výstrelu, rýchlosť nanášania. Nevýhodou je nutnosť kúpy zariadenia a jeho HW/SW sprevádzkovania, údržby a možnosť menšej variability vyrábaných produktov.

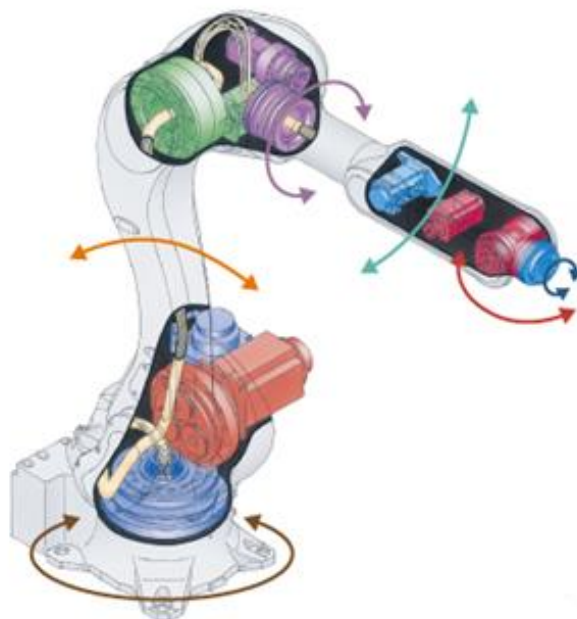
2.4 Roboty v priemysle

Priemyselný robot je vo všeobecnosti programovateľný stroj, ktorý dokáže nahradiť ľudskú prácu, komunikovať a reagovať s inými zariadeniami a senzormi vo výrobnom procese. Zvyčajnými úlohami robotov sú operácie ako bodové zváranie, presun materiálu (pick & place), obsluhu výrobných strojov, nanášanie lepidla, tesniacej hmoty, farby alebo laku (dispensing), rezanie laserom alebo vodným lúčom a v neposlednom rade montáž.[6]

Medzi ich hlavné výhody patrí možnosť nasadenia na pre človeka nebezpečné miesta a činnosti, ich miera opakovateľnosti činnosti a rovnomerná výkonnosť prispievajú k vyššej kvalite výroby. Ďalej možno vyzdvihnúť možnosť programovania robota na rôzne činnosti ktoré dokáže vykonávať v slede za sebou, či prípadne si vymeniť koncový efektor a vykonávať činnosť inú.

Mechanická stavba robota

Robot, vid' Obr. 2 sa skladá z kĺbov (joints) a ramien (links). Kĺby spájajú jednotlivé ramená, každý z kĺbov prevádza relatívny pohyb medzi ramenami v istom počte stupňov voľnosti (degree-of-freedom, dof). Zvyčajne jeden kĺb vykonáva pohyb v jednom stupni voľnosti, pohyb najčastejšie môže byť rotačný alebo translačný v jednej osi. Súčtom stupňov voľnosti všetkých kĺbov dostávame celkový počet stupňov voľnosti robota, ide o jeden so základných parametrov.[6]



Obr. 2) Pohony šesťosého priemyselného robota [7]

2.5 Možnosti zásobenia materiálom

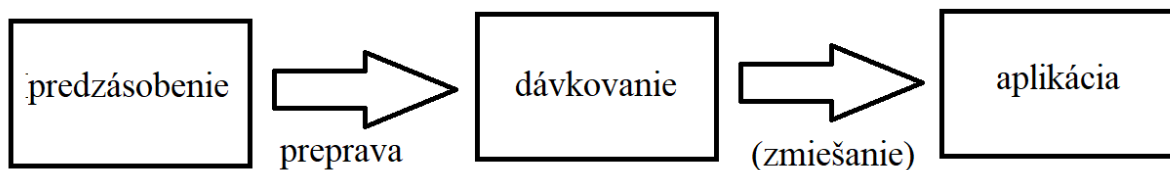
Jednou z možností je zásoba materiálu v tlakovej nádobe, plnenie tu môže prebiehať ručne alebo aj automatizovane. Podávanie prebieha pomocou pretlaku vzduchu v rozmedzí 0,1 až 6 barov, ak je médium citlivé na vlhkosť, musí sa vzduch dosušiť, zvyčajne vo filtri zo silicagelu alebo membránovom sušiči. Tento spôsob je možné použiť pre médium s viskozitou až 50 Pa.s.

Iným spôsobom zásobenia je čerpadlo s núteným vedením o unášacej doske na čerpanie z originálnych obalov. Unášacia doska je zatlačená do nádoby, až dosiahne hladinu materiálu, pre ďalšie podávanie je použité čerpadlo. Materiály citlivé na vlhkosť sú chránené unášacou doskou a tesnením medzi doskou a nádobou, tento spôsob je vhodný pre médiá s viskozitou od 80 Pa.s až po 1000 Pa.s.

Pre médiá s viskozitou od 20 mPa.s do 50 Pa.s je vhodné použiť čapové čerpadlá na čerpanie zo sudov vrchom. Čerpadlo sa zavedie do obalu horným čapom, pri materiáloch citlivých na vlhkosť je potrebné ostrekovať obal dusíkom.

Ďalším spôsobom zásobenia je kontajner IBC, podávanie je možné zabezpečiť čerpadlom alebo gravitačne pri málo viskózných médiách. Vhodné médiá pre kontajner IBC sú do 80 Pa.s, pri látkach citlivých na vlhkosť je potrebné zabezpečiť sušenie vzduchu.

Na čerpanie sú bežne používané, odhliadnuc od čerpadla s núteným vedením po unášacej doske, ďalšie dva typy čerpadiel, piestové a membránové. Membránové čerpadlá sú vhodné pre materiály s viskozitou od 80mPa.s až po 1000 Pa.s. Piestové sú vhodné pre akékoľvek materiály.



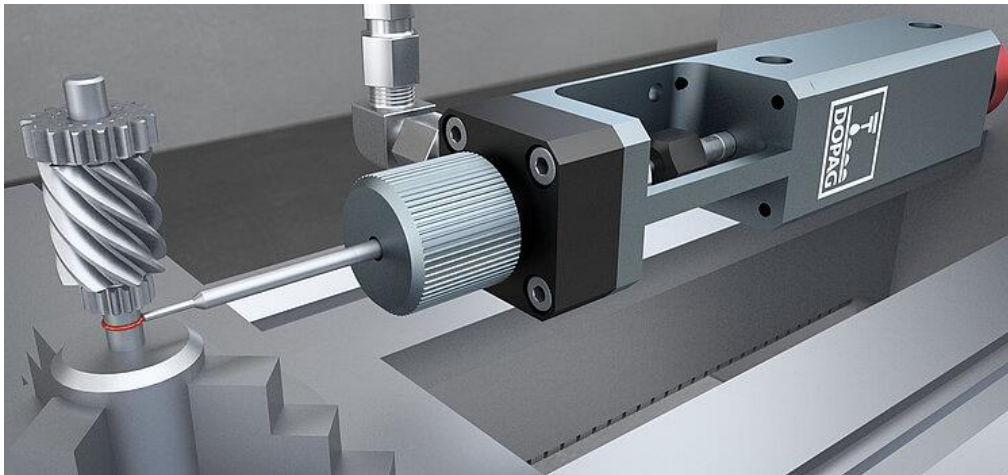
Obr. 3) Diagram operácií s lepidlom/tesniacou hmotou

2.6 Druhy zmiešavačov a dávkovania

Pre správnu funkčnosť lepeného spoja je dôležité správne dávkovanie. Ide o odmeranie žiadaného množstva lepidla. Na tento účel sa používajú zubové čerpadlá, diferenciálne piestové čerpadlá, dávkovacie pištole a rôzne druhy dávkovačov.

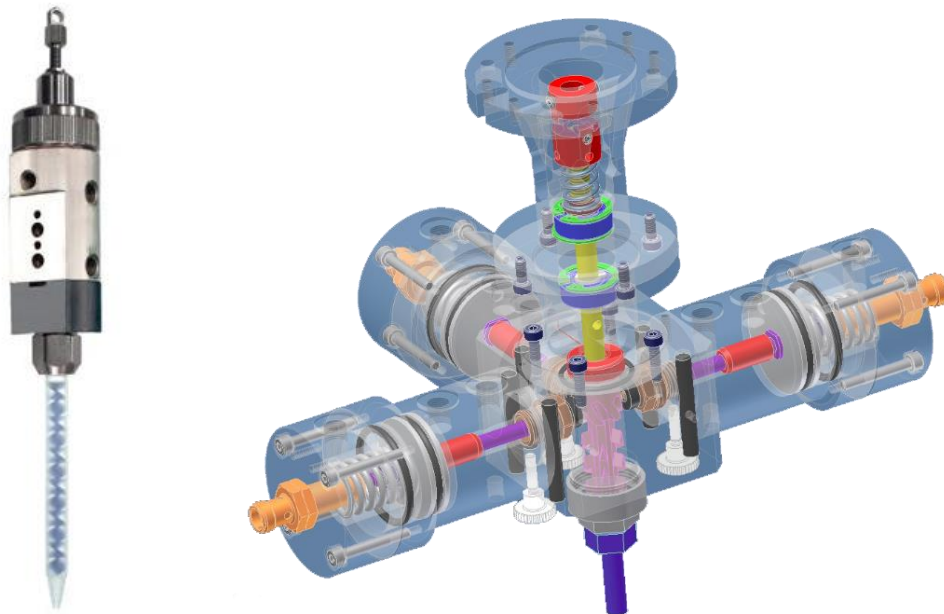
Pri zubových čerpadlách je dôležitý údaj o volumetrickom stupni účinnosti, tento údaj uvádza rozdiel medzi reálnym a teoretickým objemovým prúdom, zubové čerpadlá majú netesnosti ktoré by zapríčiňovali nepresné dávkovanie. Pre prepojenie dávkovača a výtlačného zariadenia sa používajú vysokotlakové hadice s teflónovou vložkou s koncovkami z ušľachtilej ocele. Hadice sú často vyhrievané a sú tesné voči rozptylu.

Najjednoduchším výtlačným zariadením pre aplikáciu jednozložkových lepidiel je ihlový výtlačný ventil, vid' Obr. 4). Vyznačuje sa vhodnosťou pre široký rozsah viskozít a nepretržité dávkovanie, ventil je pneumaticky riadený. Priemery trysiek sa pohybujú od 1 do 12 mm a prípustný tlak môže byť až 250 barov [8]. Komorový dávkovací ventil je vhodným pre bodové nanášanie, tiež disponuje širokým rozsahom vhodných viskozít. Aplikovaný objem je v medzi 0,05 a 100 ml prípustný tlak 80 bar [9].



Obr. 4) Ihlový výtlačný ventil [8]

Pre dvojzložkové aplikácie je potrebné ich zmiešanie pred aplikáciou, toto je možné v miešacích hlavách alebo v miešacom ventile. Miešanie môže prebiehať staticky alebo dynamicky. Statické miešanie je najčastejšie realizované pomocou miešača pripojeného na ventil vid' Obr. 5)a). Miešač je často plastový a na jedno použitie, pretože látka pri zastavení prietoku po čase vytvrdne. Miešač pozostáva zo špirál v potrubí, ktoré nepotrebujú energiu na zmiešanie zložiek. Dynamický miešač, vid' Obr. 5)b), je určený pre ťažko zmiešateľné látky a pre zmiešavacie pomery väčšie ako 100:10. Zložky sú privedené do uzatvorenej komory a zmiešané rotujúcimi lopatkami alebo šnekom.



Obr. 5) a) výtlačný ventil so statickým miešačom [10], b) dynamický miešač [11]

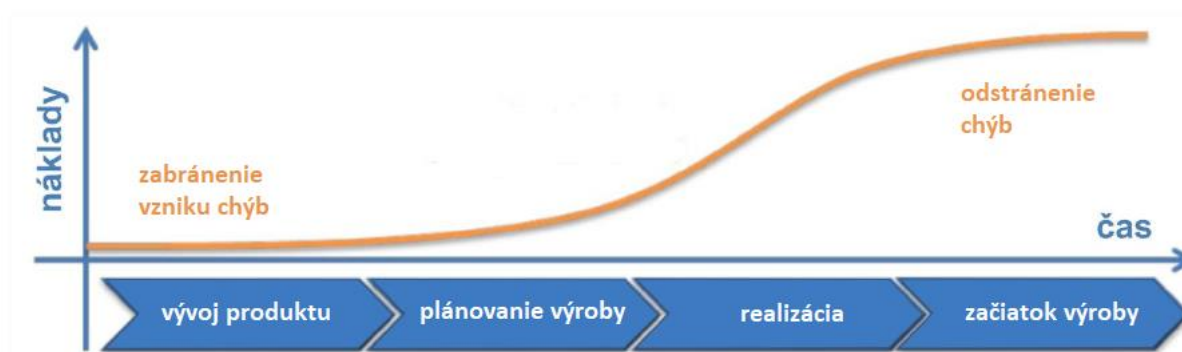
2.7 Virtuálne sprevádzkovanie projektu

Virtuálne sprevádzkovanie robotického pracoviska (virtual comissioning) bolo vymyslené pre zjednodušenie procesu odlad'ovania výrobného procesu. Ide o účinný nástroj, ktorý dokáže predísť problémom pri samotnej montáži a uvedení systému do prevádzky.

Pri virtuálnom sprevádzkovaní je vytvorená kópia projektovaného zariadenia, ktorá má vymodelované fyzické časti ako reálne zariadenie, má softwarové vybavenie ako reálne zariadenie, správa sa ako reálne zariadenie a tak možno odhaliť prípadné chyby, kolízie a nedokonalosti už pred započatím stavby výrobnéj bunky, linky alebo systému. Presná virtuálna kópia zariadenia sa nazýva digitálne dvojča (digital twin).

Medzi hlavné výhody tohto prístupu patria:

- overenie funkčnosti programov jednotlivých častí
- lepšie pochopenie procesu programátormi
- vysoká odladenosť softvéru už počas prípravy
- zníženie celkového času na projektovanie
- nie je potrebné modelové pracovisko
- oprava chýb je lacnejšia vid' Obr. 6



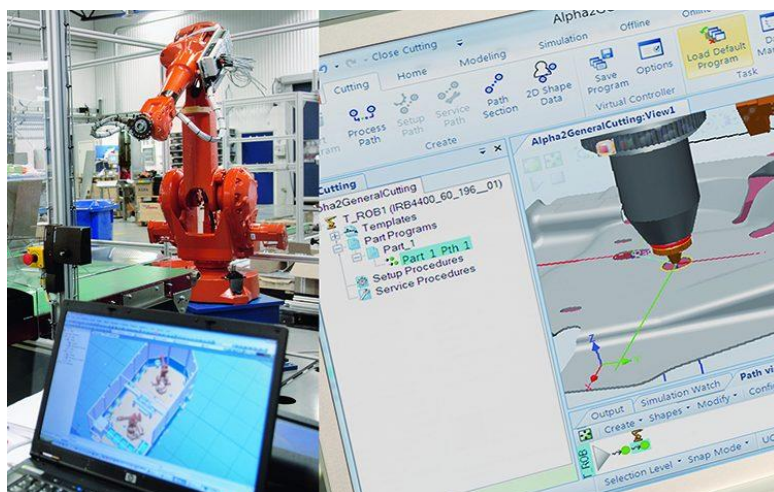
Obr. 6) Závislosť veľkosti nákladov na odstránenie chyby na fáze projektu. [12]

Sprevádzkovanie a odlad'ovanie zariadenia po jeho postavení v minulosti bolo veľmi časovo a finančne náročnou časťou prípravy zariadenia pre výrobu. Digitalizáciou tohto procesu sa podarilo jeho nedostatky pretaviť vo výhody virtuálneho sprevádzkovania.[13]

Softvéry používané pre virtuálne sprevádzkovanie

Na trhu existujú dva typy softvérov, ide o softvéry výrobcov špecializované na ich produkty a softvéry univerzálne s ktorými je možné simulovať roboty a výrobné linky akýchkoľvek výrobcov. Ďalej možno softvéry rozdeliť podľa oblasti ich určenia, ide o softvéry určené výhradne na simuláciu výrobných strojov, robotov, cez softvéry na simuláciu častí výrobných liniek až po softvéry na simulácie tokov materiálu a celých fabriek.

Medzi softvéry výrobcov patria napríklad RobotStudio od ABB, KukaSim od KUKA, RoboGuide od FANUC, Robotics Suite od Stäubli, či MelfaWork od Mitsubishi. Medzi univerzálne systémy možno zaradiť Technomatix Process simulate, Visual components a iné.



Obr. 7) Ukážka práce s Robotstudio [16]

Táto práca je zo zadania obmedzená na prácu v ABB Robotstudio. Tento softvér ponúka množstvo predpripravených modelov a doplnkov s možnosťou si importovať ďalšie knižnice a powerpac-y od výrobcu. Powerpac sa špecializujú na oblasť (napr. zváranie, lakovanie, obrábanie) v ktorej bude robot použitý a majú vymodelované aj nástroje a zariadenia ktoré ABB ponúka. Je tu možnosť importovať si aj vlastné modely vo formáte SAT.

Virtuálny systém ponúka presnú kópiu reálneho riadenia robota a umožňuje riešiť vopred softvérové, komunikačné a fyzické problémy pri plnení úloh. Prácu uľahčujú aj možnosti automatického generovania dráhy, automatickej optimalizácie konfigurácie kĺbov robota, či možnosť viditeľnosti kolízií a priblíženia sa ku kolíziám.

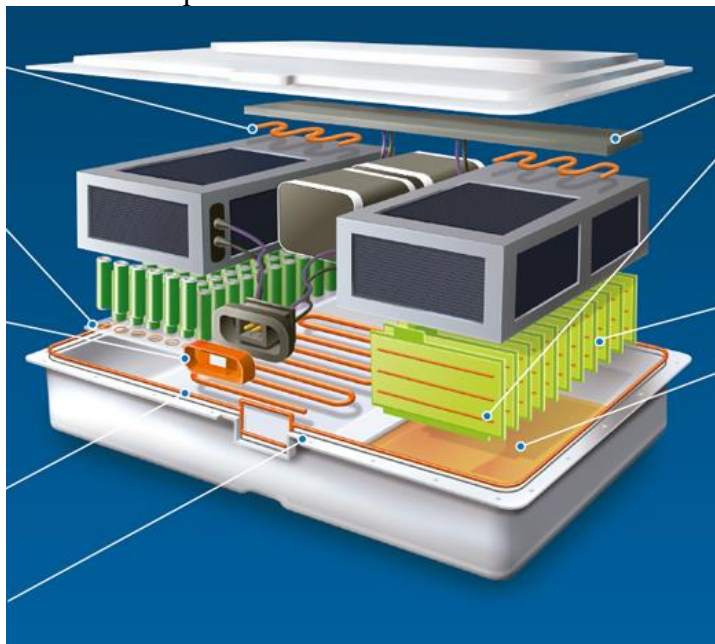
2.8 Príklady robotického nanášania lepidla

Roboty využívané na nanášanie lepidla sa čoraz viac uplatňujú vo výrobe. Moderné spôsoby spájania častí produktov, lepenie, vytlačujú klasické technológie ako zváranie, nitovanie alebo spájkovanie. Na Obr. 8 možno vidieť dnes už tradičné použitie robota na nanášanie lepidla na sklá v automobilovom priemysle.



Obr. 8) Robotizované nanášanie lepidla na čelné sklo automobilu [9]

Batéria elektromobilu je pre výrobu a montáž zložitá aj z dôvodu veľkého množstva aplikovaných materiálov pomocou robotického nanášania lepidiel a tesniel (dispensing), na Obr. 9 možno vidieť ich miesta aplikácie.



Obr. 9) Miesta aplikácie lepiacich a tesniacich hmôt v batérií pre elektrické vozidlo [10]

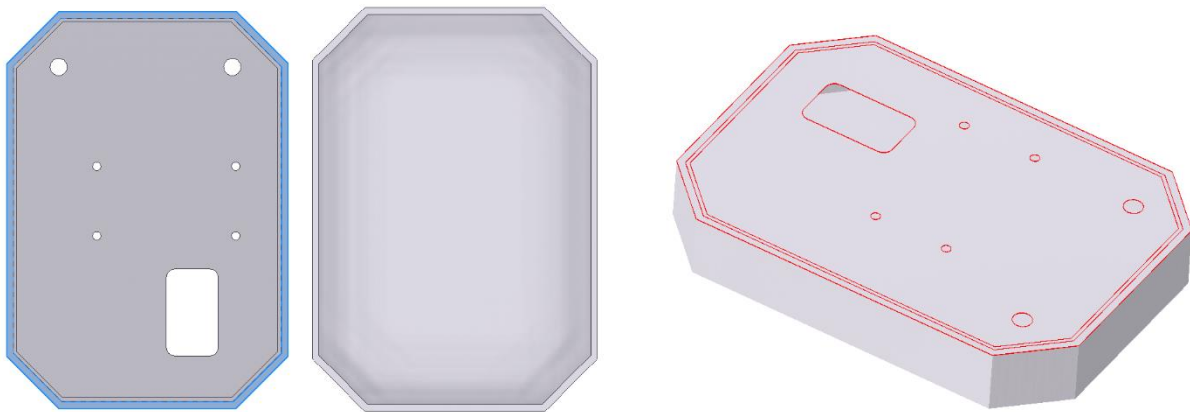
3 SYSTÉMOVÝ ROZBOR A NÁVRH VARIANT

Cieľom zadanej aplikácie je navrhnuť proces lepenia veka batérie v elektromobile. Nanesené lepidlo má hlavnú funkciu utesniť obal pred prienikom nečistôt, kvapalín a vlhkosti, preto sú kladené vysoké nároky na súvislosť a rovnomernosť nanesej vrstvy.

3.1 Popis úlohy

Inšpiráciou pre rozmery a tvar batérie je batéria z Audi e-tron. Meria 1620 mm na šírku, 2280 mm na dĺžku a 340mm na výšku, váha je 715kg, obal je vyrobený z hliníkovej zliatiny a veko je z hliníkového plechu [14].

Úlohou je naniesť vhodnú tesniacu hmotu na modro vyznačenú plochu, vid' Obr. 10) a) popri vonkajšom obvode osadenia v tolerancii 2mm. Ďalej je potrebné takto nanesené veko s lepidlom, položiť na vaňu batérie, ako je vidieť v pravej časti Obr. 10.



Obr. 10) Veko, vaňa a zostava batérie pre elektrický automobil

Teploty, ktorým môže byť obal batérie vystavený sa pohybujú v rozmedzí -30°C až 60°C [15], mechanické zaťažovanie nie je potrebné uvažovať, pretože veko je skrutkované k vani batérie. Bolo preto navrhnuté použiť jednozložkový silikónový tmel. Ide o jednoducho aplikovateľnú jednozložkovú tesniacu hmotu.

Povrchové vytvrdzovanie prebehne v rádoch minút reakciou so vzdušnou vlhkosťou, preto miesto aplikácie musí byť vetrané. Povrch musí byť odmastený, aplikácia má prebiehať pod uhlom trysky 45° - 90° . Povrchové vytvrdnutie prebehne od 5 do 20 minút v závislosti od vlhkosti a nanesej vrstvy. Aplikácia je možná v teplotnom rozmedzí od 4°C do 50°C . [17]

Zakladanie dielu (veka), prebieha ihneď po nanesení húsene tmelu. Vaňa so samotnou batériou je dopravená dopravníkom na vždy rovnaké miesto. Súčasť zadania je po nanesení lepidla roboticky veko priložiť ku vani batérie.

3.2 Varianty

Pre výber robota a spôsob aplikácie sú navrhované tieto tri spôsoby:

Variant 1: Nanášanie lepidla pohyblivou tryskou na veko

Priemyselný robot má na sebe pripevnenú trysku, ktorou nanáša silikónovú vrstvu, je nutné pred operáciou zaistiť veko proti posunu z dôvodu presnosti aplikácie. Priloženie veka na vaňu musí realizovať ďalší robot pomocou efektoru na úchop dielu. Tento variant je vhodný pre rýchly takt výroby, je ekonomicky a potrebným vybavením náročnejší na realizáciu.

Variant 2: Nanášanie lepidla so statickou tryskou a pohybom veka

Veko batérie je po vložení obsluhou do aretačného stojana uchopené efektorom robota, tento následne pomocou statickej trysky naniesie tesniacu vrstvu a priloží veko na vaňu batérie. Tento variant je zdĺhavejší avšak menej ekonomicky náročný z dôvodu potreby iba jedného robota, je vhodný pre pomalší takt výroby, pretože kombinuje dve činnosti na jedno zariadenie. Softwarovo je najnáročnejší zo všetkých troch variant.

Variant 3: Nanášanie lepidla pohyblivou tryskou na batérovú vaňu

Tryska pripevnená na robot naniesie tesniacu vrstvu na vaňu batérie, a následne druhý robot s efektorom uchopí veko a priloží ho k vani. Kvôli väčšej váhe veka s batériou je predpokladané, že aretácia proti pohybu nebude nutná. Tento variant je menej časovo náročný, vyhovuje teda vyšším taktom výroby. Avšak ekonomicky a potrebným vybavením je náročnejší na realizáciu než variant 2.

Pre nízke náklady a potrebu iba jedného robota bolo rozhodnuté realizovať variant 2.

3.3 Pomocné časti bunky

Robot bude vyžadovať z dôvodu prítomnosti obsluhy zabezpečenie pred fyzickou prítomnosťou osôb v pracovnom priestore. Toto môže byť realizované oplotením pracoviska a v mieste vkladania svetelnou závorou, po ktorej narušení sa zariadenie núdzovo zastaví. Inou možnosťou je oplotenie celého pracovného priestoru.

Zásobenie materiálom bude prebiehať v 200 l plechových sudoch, ktoré je potrebné zabezpečiť proti vniknutiu vlhkosti a zabezpečiť z nich čerpanie materiálu. Vysoká presnosť aplikovaného množstva nie je prioritou v tomto prípade. Dôležitejšie faktory sú spojitosť aplikovanej húsene a minimálne aplikované množstvo.

Koncovým efektorom na uchopenie dielu bude konštrukcia z hliníkových profilov s prísavkami a strediacimi trňmi. Takáto konštrukcia v prípade poškodenia efektoru je ľahko opraviteľná alebo vymeniteľná, časti sú typizované a sériovo dodávané. Na ráme bude pripevnený blok pre ovládanie pneumatických prísaviek.

4 NÁVRH PRACOVISKA A DIGITÁLNE SPREVÁDZKOVANIE

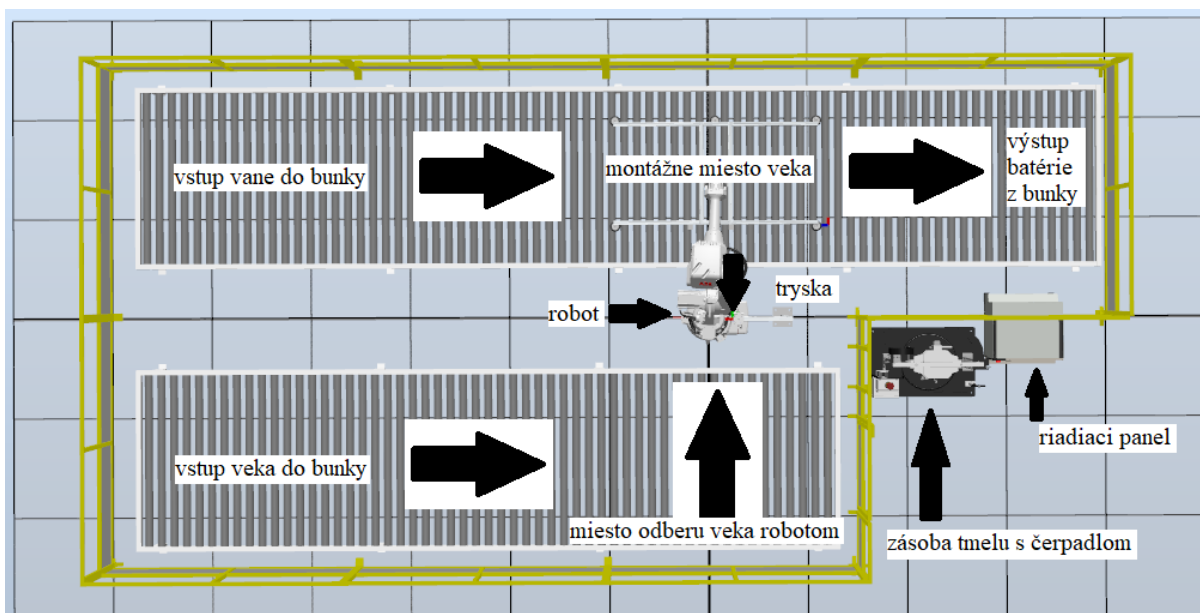
Táto kapitola sa zaoberá výberom tesniacej hmoty, potrebného pracovného prostredia pre robot, ale aj technológiu. Ďalej tu možno nájsť dispozičné riešenie robotickej bunky a spôsob zásobenia aplikovaným materiálom. Spôsob a výpočty návrhu efektoru, výber vhodného robota ako aj samotné virtuálne sprevádzkovanie v programe Robotstudio a details ohľadom programu sú popísané tiež v tejto kapitole.

4.1 Výber tesniacej hmoty

Pre tesnenie veka autobatérie je vhodné použiť tesniaci jednozložkový silikónový tmel. Pre teploty v rozsahu od -100°C do 200°C zostáva pružný, tesnosť spoja teda zostáva zachovaná. Prevádzkové podmienky batérie vo vozidle by nemali tieto limity prekročiť. Na vytvrdenie tmelu je potrebná vzdušná vlhkosť v rozsahu 5-95% a teplota v rozsahu $5-40^{\circ}\text{C}$, tieto podmienky sú vo výrobnej hale zabezpečené. Nanesený tmel je vytvrdený pri týchto podmienkach do 24 hodín.[18] Okamžitá pevnosť a lepiace vlastnosti nie sú potrebné, pretože veka je fixovaná osadením a v neskoršom kroku výrobnéj linky skrutkami. Predpokladané sú čisté a odmastené, nanášané plochy veka a styková plocha vane.

4.2 Pracovné prostredie

Pri aplikácii silikónového tmelu sa nepredpokladá únik výbušných alebo nebezpečných látok, preto nie je potrebné koncipovať robota do takéhoto prostredia. Je nutné zabezpečiť vetranie a vykurovanie miesta aplikácie, kvôli procesu tvrdnutia. Robotická bunka je ohradená zábranami proti vstupu osôb do priestoru manipulácie robota naznačené žltou farbou na Obr. 11).



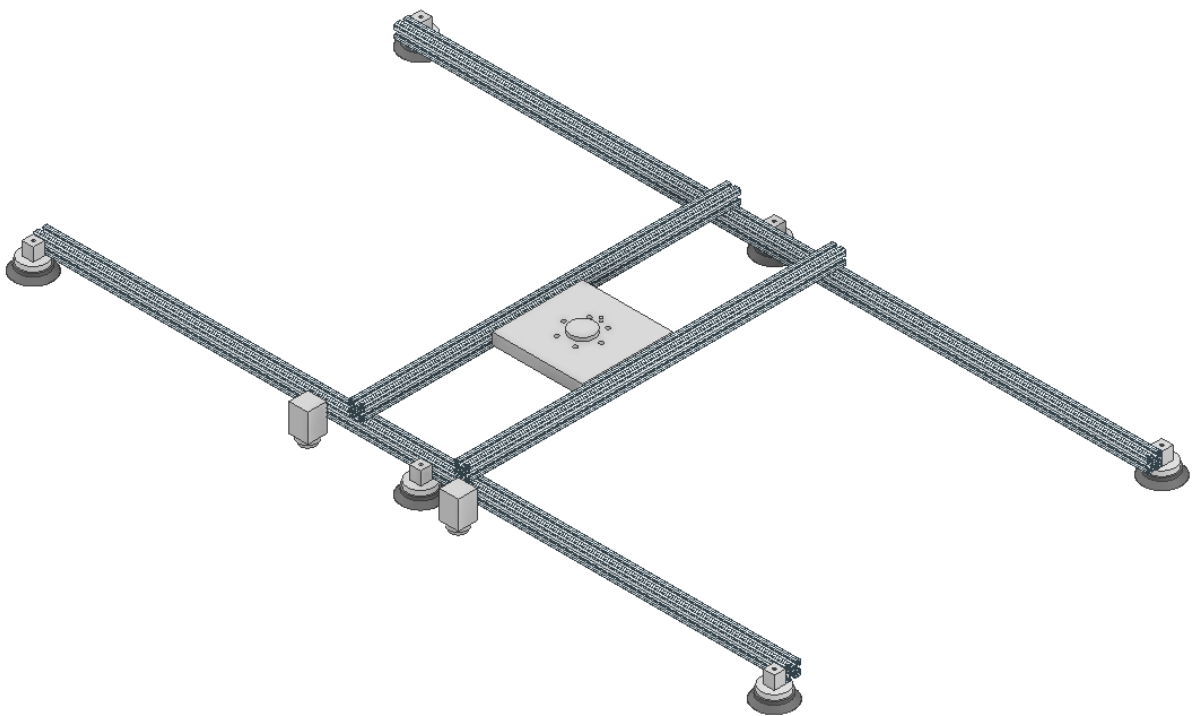
Obr. 11) Dispozícia robotickej bunky

Robotizované pracovisko na Obr. 11) pozostáva z dvoch dopravníkov, jedného šesťkĺbového robota, ihlového ventilu s tryskou a prídavných zariadení ako riadiaci panel, zásoba tmelu, čerpadlá tmelu a oplatenie. Rozmiestnenie je koncipované s dopravníkmi vedľa robota a výtlačným ventilom nad robotom. Prísun veka a vane s batériou je po dopravníkoch, na dopravníku vane prebieha montáž veka a následný odsun kompletovanej batérie.

4.3 Zásobenie a predzásobenie materiálom

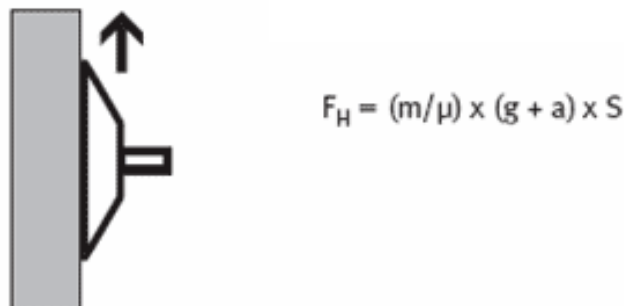
Predzásobenie tesniacim materiálom je riešené sudmi objemu 200 l, z ktorých je materiál čerpaný čerpadlom s núteným vedením po unášacej doske. Tento spôsob čerpania bol zvolený aj vďaka jeho ochrane materiálu pred vzdušnou vlhkosťou, preto nie sú potrebné žiadne ďalšie opatrenia pred nechceným vytvrdnutím. Meranie aplikovanej dávky bude riešené zubovým čerpadlom, v tejto aplikácii nie je potrebná veľmi vysoká presnosť aplikovanej dávky, a aj vzhľadom na aplikovaný objem je čerpadlo vhodným riešením. Ohrev a miešanie materiálu nie je potrebné riešiť, materiál má za vlastností okolia popísaných vyššie dostatočne nízku viskozitu a je jednozložkový.

4.4 Návrh efektoru (gripper)



Obr. 12) Konceptuálny návrh gripera

Konceptuálny návrh efektoru (gripper) prebiehal v 3D CAD softvéri. Vybratý bol úchop podtlakovými prísavkami a zabezpečenie proti priečnemu posunu trňmi zavedenými do dier vo veku. Nosná časť efektoru je tvorená prírubou s pneumatickým blokom v stredovej časti a štandardizovanými hliníkovými profilmi, ktoré sú v prípade poškodenia jednoduché na výmenu ako možno vidieť na Obr. 12). Nutný počet prísaviek, ich priemer a veľkosť podtlaku potrebná pre prevádzku bola vypočítaná podľa nasledovného postupu:



Obr. 13) Prísavka v zvislej polohe, pohyb v zvislom smere (najmenej priaznivý prípad)[19]

Na Obr. 13, kde F_H je teoretická sila potrebná na zdvihnutie dielu prísavkou v N, m je hmotnosť dielu v kg, g je gravitačné zrýchlenie ($9,81 \text{ m/s}^2$), a je zrýchlenie systému (m/s^2), S je bezpečnostný faktor, μ je koeficient šmykového trenia. Teoretickú prídržnú silu prísavky je možné vypočítať pomocou:

$$F_t = \Delta p \cdot A \quad (1)$$

výrazu 0, kde F_t je teoretická prídržná sila prísavky za ideálnych podmienok v N, Δp je podtlak vytvorený v prísavke v Pa a A je účinná plocha prísavky v m^2 [20].

Tab. 1) Výpočet počtu prísaviek

m (kg)	19
μ	0,5
S	2,5
Δp (Pa)	60000
$D_{\text{prísavky}}$ (m)	0,01
g (m/s^2)	9,81
a (m/s^2)	0
F_H (N)	931,95
F_t (N)	188,5
počet prísaviek	4,94

V Tab. 1, je stručný výpočet minimálneho počtu prísaviek, zrýchlenie robota nie je potrebné uvažovať z dôvodu aretácie polohy dielu trňmi. Hmotnosť veka bola zistená pomocou CAD softvéru, veko je vyrobené z hliníkovej zliatiny, bezpečnostný faktor podľa odporúčanií zo zdrojov [19] a [20] bol zvolený 2,5, z rovnakých zdrojov bola zvolená používaná hodnota podtlaku 0,6 bar. Výsledný minimálny počet prísaviek je 5, avšak kvôli minimalizácií priehybov dielu bude použitých rovnomerne rozložených 6 prísaviek.

4.5 Výber robota

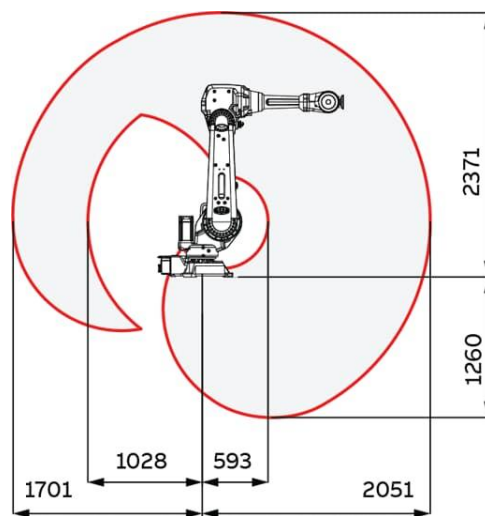
Hlavnými kritériami pri výbere robota boli maximálna záťaž a dosah. Maximálnu záťaž predstavuje veko s efektorom a to 41 kg, minimálny dosah je nutný aspoň 1,5 m. Na stránke ABB bol využitý vyhľadávač vhodného robota, ten odporučil dva roboty IRB 4400 a IRB 4600. Ďalším dôležitým parametrom bol moment zotrvačnosti na jednotlivé kĺby robota. Tu IRB 4400

nedosahoval potrebné parametre. Pri IRB 4600 boli tiež overené hodnoty momentov zotrvačnosti výpočtom podľa špecifikácie produktu [21].

Tab. 2) Výpočet momentov zotrvačnosti

gripper+veko		ku stredú zotrvačnosti	
Ixx (kgmm ²)	11493480,6	11,5	kgm ²
Iyy (kgmm ²)	6957773,5	7	kgm ²
Izz (kgmm ²)	18293844,7	18,3	kgm ²
X (mm)	-6,3	0	m
Y (mm)	10,4	0	m
Z (mm)	73,6	0,1	m
load (kg)	40,7		
L (m)	0		
	vypočítané	povolené IBR4600/45/2.05	vyhovuje
Ja5 (kgm ²)	13,3	30	ano
Ja6(kgm ²)	18,3	20	ano

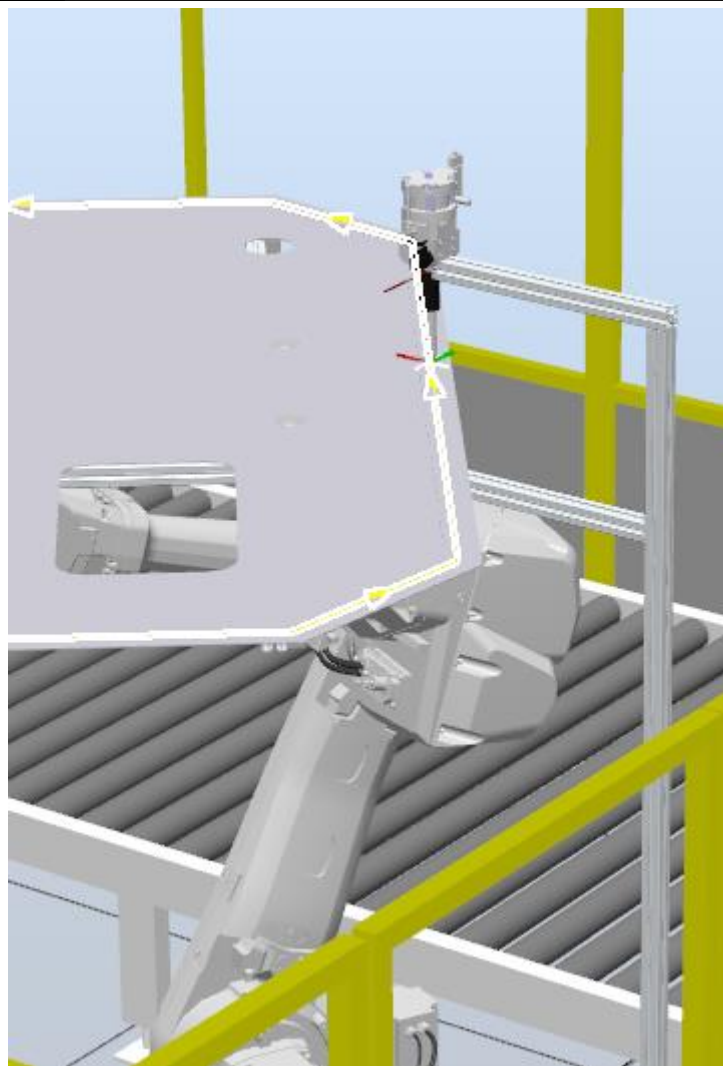
Ďalším parametrom na ktoré je dôležité sa pozrieť je presnosť polohovania a presnosť na dráhe robota. Presnosť polohovania sa pohybuje pri robotovi IRB 4600-45/2.05 v stotínach milimetra a presnosť na dráhe v desatinách milimetra, hodnoty sú pre túto aplikáciu vhodné, odchýlky nemajú vplyv na tesnosť spoja.



Obr. 14) Obálka dosahu príruby robota ABB IRB 4600-45/2.05 [21]

4.6 RobotStudio

Prvou činnosťou v programe ABB RobotStudio bol návrh dráhy a odskúšanie nanášania lepidla. Overoval sa správny výber robota, najmä z hľadiska rozsahu pohybu, obálku maximálnych dosahov v rôznych smeroch možno vidieť na Obr. 14), a rôzne polohy výtlačnej trysky, tryska je umiestnená vo výške 2000 mm od základne robota. Túto krivku možno zadať ako jednotlivé body (Targets) a tie postupne spájať (Path), alebo je možné vybrať krivku na objekte a túto dať automaticky prejsť aplikátoru (Auto Path). Ako kontrolovateľnejšie avšak časovo náročnejšie riešenie sa ukazuje prvý spôsob. Robot pri nanášaní možno vidieť na Obr. 15, žltou je naznačená trajektória pohybu nástroja (Path) a jej smer.

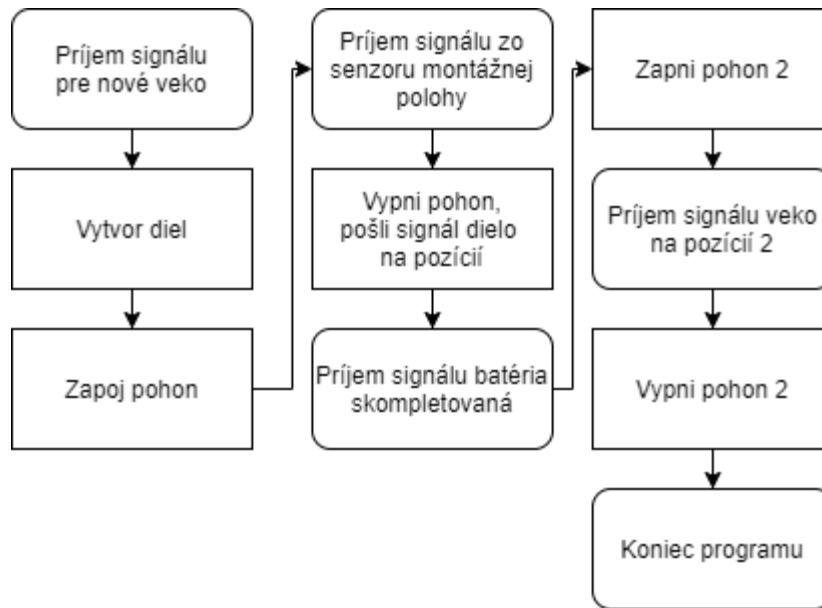


Obr. 15) Robot pri nanášaní tesniaceho tmelu

Dopravníky sú prevzaté ako smart component, je možné si zvoliť mnoho najmä rozmerových parametrov, avšak riadiaci systém dopravníkov je navrhnutý autorom. Systém riadenia pre virtuálne sprevádzkovanie a reálne prevádzkovanie sa zľahka líši.

Dopravník veka je jednoduchší, obsahuje zdroj dielov (source), ktorý zastupuje prísun veka, buď ručne zakladaného alebo manipulátorom, ďalej posúvač (linear mover), reprezentujúci motor dopravníka, ďalej prepínač (logic SR latch) a senzor na zastavenie (plane sensor), pre aplikáciu stačí aj laserový (line) senzor. Pri prijatí signálu na vydanie veka z kontroléru a vytvorení dielu sa vzopne cez prepínač posúvač a čaká na zaznamenanie dielu senzorom, ktorý ho pomocou prepínača vypne.

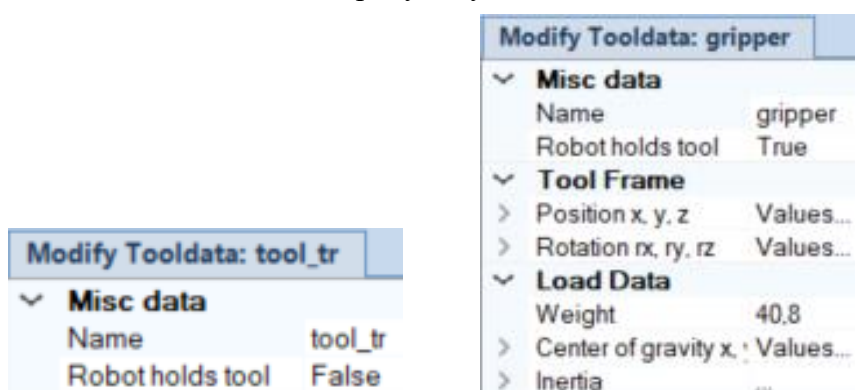
Dopravník vane je zložitejší z dôvodu zastavenia vane na montážnej pozícii a následného odjazdu zmontovanej batérie na pozíciu výstupu z linky. Riadenie dopravníka prebieha z hlavného programu. Riadenie reálneho dopravníka možno vidieť na Obr. 16).



Obr. 16) Vývojový diagram pre dopravník vane

Modelový dopravník sa od reálneho líši viac komponentami riadenia a trochu iným riadením, vid' Príloha A. Modelový dopravník vane obsahuje navyše oproti dopravníku veka komponenty: Atacher, LineSensor_2, PlaneSensor_2 a LogicSRLatch_2. Tieto komponenty zabezpečujú detekciu založenia veka, pripojenie veka k vane a posun veka z montážnej pozície do pozície výstupu batérie z bunky po dopravníku.

Pred samotným výberom bodov (Targets) na objekte, ktorými bude prechádzať dráha je potrebné zadať si vytvoriť workobject a zadať nástroj. Pre vytvorenie workobjectu je vhodná rovina alebo bod na veku, kde bude bod kde bude aplikovaný tesniaci tmel. Definícia nástroja pomocou záložky Modeling a Create Tool vytvorí tool data, ktorým je možné priradiť polohu, objekt a mechanické vlastnosti. Pri tryske je potrebné zadať, že nástroj sa nehýbe s robotom a je statický, vid' Obr. 17) a). Naopak pri efektoch a diele je potrebné efektor pripojiť k robotu a zadať ho ako pohyblivý, vid' Obr. 17) b) Obr. 1

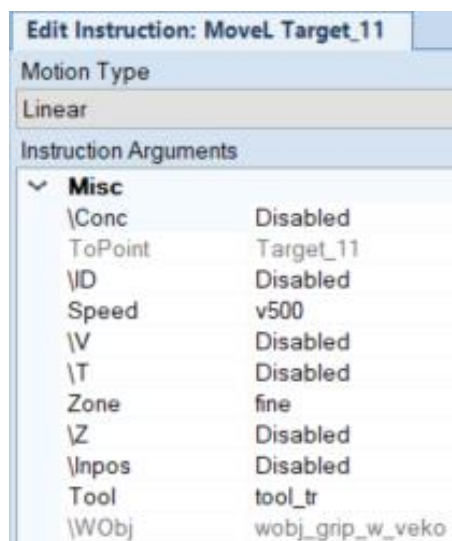


Obr. 17) a) Nastavenie nástroja tryska, b) Nastavenie nástroja gripper

Podľa operácie ktorá sa práve vykonáva robot používa definovaný workobject z ktorého má vybrané body dráh do path a definovaný nástroj. Pri odoberaní manipulácií s prázdny efektorom, odoberaní dielu z dopravníka, približovaní k tryske a oddaľovaní sa od trysky a zakladaní veka na vaňu batérie je zvolený ako nástroj príruha efektoru, teda robot dokáže pohybovať nástrojom, a workobjectom je okolie robota. Pri nanášaní tesniacej hmoty sa

nástrojom stáva nepohyblivá tryska a workobjectom veko pripevnené na efektore ako možno vidieť na Obr. 18.

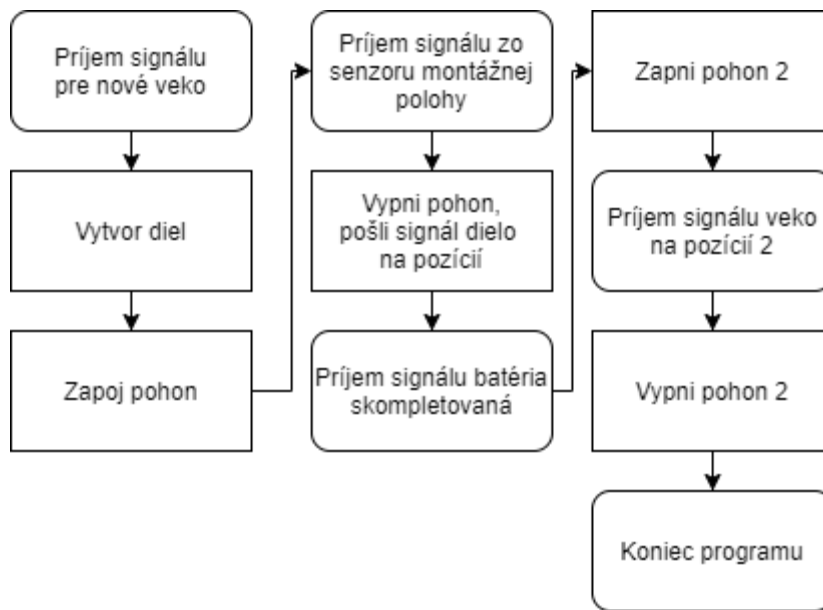
Pri vytvorení dráh možno využiť 3 typy pohybu: po priamke (MoveL), po kružnici (MoveC) a z bodu do bodu (MoveJ). Pohyby po priamke sú využívané pri nanášaní tmelu a pri odoberaní a zakladaní veka. Taktiež je dôležité zvoliť správnu zónu bodu a rýchlosť, pri manipulácií, nie je dôležité presne prejsť danými bodmi, ale vyhnúť sa kolíziám. Pri naberaní dielu, aplikácií a zakladaní dielu do veka musí byť zóna nastavená na fine, teda robot prejde daným bodom s garantovanou presnosťou, ako možno vidieť na Obr. 18. Pri manipulácií sa robot pohybuje maximálnou rýchlosťou, pri vykonávaní vyššie spomenutých operácií zníženou rýchlosťou.



Obr. 18) Nastavenia pohybu pri nanášaní

Pre vzájomnú komunikáciu zariadení v bunke je potrebné vytvoriť vstupné a výstupné signály na každej komponente (kontrolér, dopravníky, efektor, ventil trysky) a spojiť ich v dizajne záložky Station Logic. takto prepojené komponenty a logické celky si dokážu posielat' informáciu o dokončení alebo stave činnosti, či zariadenia ako aj signály pre vykonanie operácie.

Hlavný program (main) je rozdelený do troch podprogramov (Path), vid'Príloha B. Každý z podprogramov sa stará o inú časť procesu v bunke, prvý podprogram (Path_grip_veko) presúva efektor z montážnej pozície veka na pozíciu zakladáciu a končí prípravnou pozíciou pod tryskou, druhý podprogram (Path_dispensing) nanáša tmel na veko a tretí (Path_manufacturing) oddaľuje veko od trysky a priloží veko na vaňu batérie. Programy majú zabudované aj riadenie prísaviek, trysky, dopravníkov, kontrolujú stav zariadenia, čakajú na odozvu od ostatných komponent bunky, aby mohli vykonať ďalšie činnosti. Hlavný program riadi prísun nových dielov ako aj prerušenie programu robota v prípade zaplnenia dopravníka hotovými batériami, toto je možné vidieť na Obr. 19).



Obr. 19) Riadenie celého programu

5 VYHODNOTENIE DOSIAHNUTÝCH VÝSLEDKOV

Hlavným produktom tejto práce je digitálne sprevádzkovaná robotická bunka s nanášaním tesniacej hmoty na veko batérie pre elektrické vozidlo a jeho montáž k vane batérie. Toto riešenie obsahuje naprogramované dráhy s niekoľkými akčnými príkazmi a niekoľko podmienkových a kontrolných príkazov.

Ďalej bunka obsahuje modely robota, efektoru, dopravníkov, výtlačného zariadenia do stojanom na odkvapkávanie, stojana na zásobu materiálu s čerpadlom, riadiaceho systému a oplatenia. Bolo by možné doplniť bunku o infračervenú bránu na vstupe veka, kde sa predpokladá ručné zakladanie veka na dopravník. Prípadne o plošinu pre obsluhu, aby bol zabezpečený výhľad na trysku výtlačného zariadenia. Pre zvýšenie bezpečnosti je vhodné doplniť do programu funkciu stop, spúšťanú z tlačidla alebo rozopnutím spínača dverí, vstupom do svetelnej brány, či chybovým stavom na senzore, alebo zariadení v bunke. Ďalej je možné rozšíriť kontrolu uchopenia plechu senzorom ako aj kontrolu stavu lepidla v sude a pred nedostatočnou dávkou lepidla na vykonanie operácie operáciu zastaviť a upozorniť obsluhu.

Ďalšou možnosťou rozšírenia je pripojenie systému k nadradenému systému, napr. PLC a jeho komunikácia s nadväzujúcimi systémami dodávky dielov a odoberania kompletovaných batérií alebo systémom pre obsluhu a výmenu zásoby tesniaceho tmelu.

Veko na ktoré je nanášaný tesniaci tmel má osadenie s rovnými hranami, zaujímavou verziou úlohy je pridanie oblúkov do osadenia a dier na kraje veka a ich potrebné obchádzanie nanášanou húsenicou tmelu. Fyzicky sú použité modely z balíka Dispensing Powerpac, možným rozšírením je aj viditeľnosť nanášanej húsenice tesniaceho tmelu.

Vaňa na ktorú je potrebné priložiť veko je polohovaná na dopravníku ideálne, avšak reálny dopravník nemusí takto presné polohovanie zvládnuť preto je vhodné doplniť dopravník o excentrický zdvíhací stôl s navádzacími rohmi na zabezpečenie polohy pri montáži veka.

6 ZÁVER

Cieľom bakalárskej práce bolo urobiť rešerš zadanej problematiky, previesť systémový rozbor na zadanom probléme, navrhnúť varianty riešenia, sprevádzkovať vybraný variant v digitálnom prostredí Robotstudio a zhodnotiť dosiahnuté výsledky s odporúčaním pre prax.

V kapitole 2 Prehľad súčasného stavu poznania je stručne rozobratá technológia lepenia jej výhody a nevýhody, druhy lepidiel a ich spôsoby vytvrdzovania, ako je lepidlá možné nanášať, ako je možné predzásobenie materiálom a jeho čerpanie do trysky, meranie množstva, prípadné miešanie. Prečo je dobré virtuálne sprevádzkovanie pred samotnou stavbou a akými softvérmi je to možné urobiť. Ďalej sú uvedené možné aplikácie robotického nanášania lepidla.

V kapitole 3 Systémový rozbor a návrh variant je bližšie popísaný diel, na ktorý bude nanášaná tesniaca hmota, jeho rozmery a materiál z ktorého je vyrobený. Ďalej sa táto kapitola zaoberá výberom tesniacej hmoty vhodnej do pracovného prostredia batérie, jej nanášaním a vytvrdzovaním. Potom nasleduje časť s možnými variantami robotizovaného pracoviska, popísané sú potrebné náklady na ich vybavenie, výhody a nevýhody jednotlivých koncepcií a je vybratý variant. Nasleduje popis možného zásobovania materiálom, podmienky na jeho dočasné skladovanie, potreba vybavenia pre jeho dopravu, meranie a aplikáciu a spôsob uchopenia dielu efektorom.

V kapitole 4 Návrh pracoviska a digitálne sprevádzkovanie je popísaná sprevádzkovaná a funkčná robotická bunka. Je tu popísané prostredie v ktorom robot pracuje, zabezpečenie tohto priestoru, predzásobenie a zásobenie materiálom, jeho spôsob merania a aplikátor. Nasleduje časť, kde je popísaný efektor robota, výpočty potrebného počtu prísaviek a podtlaku. Výber a výpočet zaťaženia robota, teda aj jeho verzie je taktiež zahrnuté v tejto kapitole. Poslednou časťou je popísaný proces sprevádzkovania a riadiacich častí programu v softvéri Robotstudio. Všetky zadané ciele boli splnené.

7 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] SEDLIAČIK, Ján. *Procesy lepenia dreva, plastov a kovov*. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita, 2005. ISBN 80-228-1500-4.
- [2] GODÁL, Samuel. *Hybridní lepené spoje* [online]. 2018. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/83392>
- [3] MAJERNÍK, Tomáš. *Návrh technologie lepenia* [online]. B.m., 2008. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10563/6948>
- [4] ADHESIVE AND SEALANT COUNCIL (ASC). *ADHESIVE TECHNOLOGIES* [online]. 2020 [vid. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://www.adhesives.org/adhesives-sealants/adhesives-sealants-overview/adhesive-technologies>
- [5] PORADENSKÉ CENTRUM SPOLEČNOSTI LEAR, a. s. *ZÁKLADY TEORIE LEPENÍ* [online]. [vid. 2020-06-03]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/lepeni/Teorie_lepeni_LEAR.pdf
- [6] GROOVER, Mikell. *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing, Global Edition*. 2015. ISBN 9781292076119; 9781292076126.
- [7] KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES, Ltd. *How Are Industrial Robots Built? A Guide on the Components and the Movement of Robot Arms* [online]. 2018 [vid. 2020-09-09]. Dostupné z: <https://robotics.kawasaki.com/ja1/xyz/en/1804-03/>
- [8] DOPAG EASTERN EUROPE S.R.O. *Jehlové výdejní ventily* [online]. 2020 [vid. 2020-09-09]. Dostupné z: <https://www.dopagcz.com/produkty/davkovaci-komponenty-a-cerpadla/vydejni-ventily/jehlove-vydejni-ventily/>
- [9] DOPAG EASTERN EUROPE S.R.O. *Komorové dávkovací ventily*. 2020 [online]. [vid. 2020-09-09]. Dostupné z: <https://www.dopagcz.com/produkty/davkovaci-komponenty-a-cerpadla/davkovaci-ventily/komorove-davkovaci-ventily/>
- [10] ELLSWORTH ADHESIVES. *SEALANT EQUIPMENT 2200-545-000-AA, 2-PART AUTOMATIC NO-DRIP DISPENSE VALVE* [online]. 2020 [vid. 2020-09-09]. Dostupné z: <https://www.ellsworth.com/products/dispensing-equipment-supplies/dispensing-valves/sealant-equipment-2200-545-000-aa-2-part-automatic-no-drip-dispense-valve/>
- [11] T-S-I.DE. *Dynamic Mixers* [online]. 2020 [vid. 2020-09-09]. Dostupné z: <https://www.misch-und-dosierttechnik.de/en/mixer-applicators/dynamic-mixer.html>
- [12] KIEFER, Jens. *Mechatronikorientierte Planung automatisierter Fertigungszellen im Bereich Karosserierohbau*. B.m., 2008. b.n.
- [13] LIU, Zheng. Virtual Commissioning of Automated Systems. In: Nico SUCHOLD, ed. [online]. Rijeka: IntechOpen, 2012, s. Ch. 7. Dostupné z: doi:10.5772/45730
- [14] PADGETT, Martin. *Audi details battery for 2019 e-tron electric SUV* [online]. 2018 [vid. 2020-09-01]. Dostupné z: https://www.greencarreports.com/news/1116347_audi-details-battery-for-2019-e-tron-electric-suv
- [15] LYU, Y, A R M SIDDIQUE, S H MAJID, M BIGLARBEKIAN, S A GADSDEN a S MAHMUD. Electric vehicle battery thermal management system with thermoelectric cooling. *Energy Reports* [online]. 2019, **5**, 822–827. ISSN 2352-4847. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.egyrs.2019.06.016>
- [16] SEGERSTROM, Martin. *What is RobotStudio? I bet you're guessing it has something to do with robots*. [online]. 2013 [vid. 2020-09-09]. Dostupné z: <https://www.abb->

- conversations.com/2013/04/what-is-robotstudio-something-to-do-with-robots/
- [17] HEBEI RUIDA ENGINEERING RUBBER AND PLASTICS CO., Ltd. *One-component Silicone Sealant Can Be Used in Any Seasons* [online]. 2020 [vid. 2020-08-21]. Dostupné z: <https://www.polyurethane-sealant.com/sealant/one-component-silicone.html>
- [18] THE ADHESIVE AND SEALANT COUNCIL. *SILICONE ADHESIVES* [online]. 2020 [vid. 2020-09-09]. Dostupné z: [https://www.adhesives.org/adhesives-sealants/adhesives-sealants-overview/adhesive-technologies/chemically-curing/two-component-\(2-c\)/silicone-adhesives](https://www.adhesives.org/adhesives-sealants/adhesives-sealants-overview/adhesive-technologies/chemically-curing/two-component-(2-c)/silicone-adhesives)
- [19] FESTO. Často kladené otázky - vákuová technika. *Ako sa vypočítava sila uchopenia a odtrhávania?* [online]. 2020 [vid. 2020-09-09]. Dostupné z: https://www.festo.com/cms/sk_sk/9830.htm#
- [20] ADMIN E-KONSTRUKTÉR. *Jak stanovit velikost přísavky?* [online]. 2016 [vid. 2020-09-09]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/novinka/jak-stanovit-velikost-prisavky>
- [21] ABB. *Product specification IRB 4600* [online]. 2019 [vid. 2020-09-09]. Dostupné z: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC032885-001&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

8 ZOZNAM SKRATIEK, SYMBOLOV, OBRÁZKOV A TABULIEK

8.1 Zoznam skratiek

HW	hardvér
SW	softvér
napr.	napríklad
ABB	švédsko-švajčiarsky výrobca technológií pre energetiku a automatizáciu
SAT	typ 3D CAD formátu
CAD	computer-aided design, počítačom podporovaný návrh súčiastky
PLC	programmable logic controller, programovateľný logický automat

8.2 Zoznam symbolov

F_H	(N)	teoretická sila potrebná na zdvihnutie dielu prísavkou
m	(kg)	hmotnosť dielu
g	(m/s^2)	gravitačné zrýchlenie
a	(m/s^2)	zrýchlenie systému
S	(-)	bezpečnostný faktor
μ	(-)	koeficient šmykového trenia
F_t	(N)	teoretická prídržná sila prísavky
Δp	(Pa)	podtlak vytvorený v prísavke
A	(m^2)	účinná plocha prísavky

8.3 Zoznam obrázkov

Obr. 1) Časti lepeného spoja a typy síl pôsobiacich medzi nimi [1].....	17
Obr. 2) Pohony šesťosého priemyselného robota [7].....	20
Obr. 3) Diagram operácií s lepidlom/tesniacou hmotou	21
Obr. 4) Ihlový výtlačný ventil [8]	22
Obr. 5) a) výtlačný ventil so statickým miešačom [10], b) dynamický miešač [11]	22
Obr. 6) Závislosť veľkosti nákladov na odstránenie chyby na fáze projektu. [12].....	23
Obr. 7) Ukážka práce s Robotstudio [16].....	24
Obr. 8) Robotizované nanášanie lepidla na čelné sklo automobilu [9].....	24
Obr. 9) Miesta aplikácie lepiacich a tesniacich hmôt v batérii pre elektrické vozidlo [10].....	25
Obr. 10) Veko, vaňa a zostava batérie pre elektrický automobil	27
Obr. 11) Dispozícia robotickej bunky	29
Obr. 12) Konceptuálny návrh gripperu	30
Obr. 13) Prísavka v zvislej polohe, pohyb v zvislom smere (najmenej priaznivý prípad)[19]	31
Obr. 14) Obálka dosahu príruby robota ABB IRB 4600-45/2.05 [21]	32
Obr. 15) Robot pri nanášaní tesniaceho tmelu	33

Obr. 16) Vývojový diagram pre dopravník vane	34
Obr. 17) a) Nastavenie nástroja tryska, b) Nastavenie nástroja gripper.....	34
Obr. 18) Nastavenia pohybu pri nanášaní	35
Obr. 19) Riadenie celého programu	36

8.4 Zoznam tabuliek

Tab. 1) Výpočet počtu prísaviek	31
Tab. 2) Výpočet momentov zotrvačnosti	32

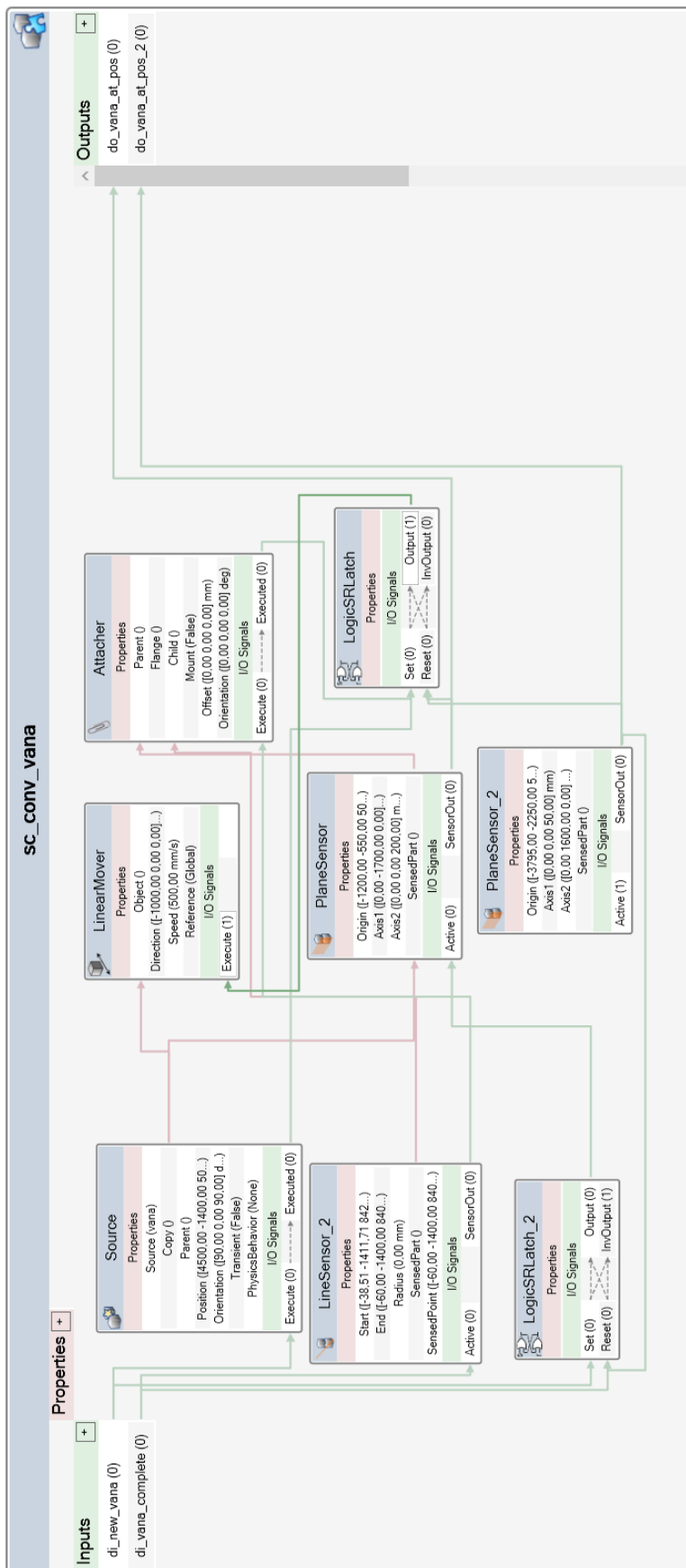
9 ZOZNAM PRÍLOH

BP_CHMOLA_Martin.rspag – Pack&go súbor so simuláciou

Príloha A – zapojenie dopravníka veka

Príloha B – program RAPID

PRÍLOHA A



PRÍLOHA B

```
1  MODULE Module1
2  (Data)
82  PROC main()
83      PulseDO do_new_veko;
84      WHILE (di_vana_at_pos_2=0) DO
85          PulseDO do_new_vana;
86          Path_grip_veko;
87          PulseDO do_new_veko;
88          Path_dispensing;
89          Path_manufacturing;
90      ENDWHILE
91  ENDPROC
92  PROC Path_dispensing()
93      WaitDI di_vana_at_pos,1;
94      MoveJ Target_10,v500,fine,tool_tr\WObj:=wobj_grip_w_veko;
95      PulseDO do_jet_on;
96      MoveL Target_11,v500,fine,tool_tr\WObj:=wobj_grip_w_veko;
97      MoveL Target_12,v500,fine,tool_tr\WObj:=wobj_grip_w_veko;
98      MoveL Target_13,v500,fine,tool_tr\WObj:=wobj_grip_w_veko;
99      MoveL Target_14,v500,fine,tool_tr\WObj:=wobj_grip_w_veko;
100     MoveL Target_15,v500,fine,tool_tr\WObj:=wobj_grip_w_veko;
101     MoveL Target_16,v500,fine,tool_tr\WObj:=wobj_grip_w_veko;
102     MoveL Target_17,v500,fine,tool_tr\WObj:=wobj_grip_w_veko;
103     MoveL Target_20,v500,fine,tool_tr\WObj:=wobj_grip_w_veko;
104     PulseDO do_jet_off;
105  ENDPROC
106  PROC Path_grip_veko()
107      MoveJ Target_60,vmax,z10,tool0\WObj:=wob_veko;
108      MoveJ Target_21,vmax,z10,tool0\WObj:=wob_veko;
109      MoveJ Target_22,vmax,z10,tool0\WObj:=wob_veko;
110      MoveJ Target_23,vmax,z10,tool0\WObj:=wob_veko;
111      MoveJ Target_30,vmax,fine,tool0\WObj:=wob_veko;
112      WaitDI di_veko_at_pos,1;
113      MoveL Target_31,v500,fine,tool0\WObj:=wob_veko;
114      PulseDO do_grip_on;
115      WaitTime 1;
116      MoveL Target_30,v500,z5,tool0\WObj:=wob_veko;
117      MoveJ Target_41,vmax,z10,tool0\WObj:=wob_veko;
118      MoveJ Target_42,vmax,z10,tool0\WObj:=wob_veko;
119      MoveJ Target_43,vmax,z10,tool0\WObj:=wob_veko;
120      MoveJ Target_44,vmax,z10,tool0\WObj:=wob_veko;
121      MoveJ Target_45,vmax,z10,tool0\WObj:=wob_veko;
122      MoveJ Target_46,vmax,fine,tool0\WObj:=wob_veko;
123      IF di_jet_state=1 THEN
124          PulseDO do_jet_off;
125          WaitTime 2;
126      ENDIF
127      MoveJ Target_47,vmax,fine,tool0\WObj:=wob_veko;
128  ENDPROC
```




```
129 PROC Path_manufacturing()  
130     MoveL Target_51,vmax,z10,tool0\WObj:=wob_veko;  
131     MoveJ Target_52,vmax,z10,tool0\WObj:=wob_veko;  
132     MoveJ Target_53,vmax,z10,tool0\WObj:=wob_veko;  
133     MoveJ Target_54,vmax,z10,tool0\WObj:=wob_veko;  
134     MoveJ Target_60,vmax,fine,tool0\WObj:=wob_veko;  
135     WaitDI di_vana_at_pos,1;  
136     MoveL Target_61,v500,fine,tool0\WObj:=wob_veko;  
137     WaitTime .5;  
138     PulseDO do_grip_off;  
139     MoveL Target_60,v500,fine,tool0\WObj:=wob_veko;  
140     WaitTime .5;  
141     PulseDO do_vana_complete;  
142 ENDPROC  
143 ENDMODULE
```