



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

NÁVRH ROBOTIZOVANÉHO PRACOVIŠTĚ NA MONTÁŽ VRTAČKOVÝCH SKLÍČIDEL

DESIGN OF ROBOTIZED WORKPLACE FOR ASSEMBLY OF DRILL CHUCKS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jan Koutňák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petr Kočiš

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Bc. Jan Koutňák
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce:	Ing. Petr Kočíš
Akademický rok:	2019/20

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

Návrh robotizovaného pracoviště na montáž vrtačkových sklíčidel

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Student navrhne robotické pracoviště včetně přípravků se schopností automatické montáže vrtačkových sklíčidel.

Cíle diplomové práce:

Rozbor současného stavu vědy a techniky u řešené problematiky.

Analýza současného stavu pracoviště.

Systemový rozbor řešené problematiky, návrh a zdůvodnění zvoleného způsobu řešení zadaného úkolu.

Návrh koncepce robotického pracoviště.

Vytvoření modelu pracovní buňky a integrace dílčích systémů pracoviště.

Analýza rizik projektu robotizovaného pracoviště.

Výkresová dokumentace layoutu pracoviště.

Návrh manipulačního cyklu.

Závěr a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem robotického pracoviště pro montáž vrtačkových sklíčidel. V první části je popsána základní problematika. Další část obsahuje rozbor výroby vybraného sklíčidla, který pokračuje tvorbou robotického pracoviště včetně jeho součástí. Práce se zabývá také návrhem pracovního cyklu, analýzou rizik a ekonomickým zhodnocením. Výkresová dokumentace, 3D model pracoviště a video simulace pracovního cyklu tvoří přílohu této práce.

ABSTRACT

Master's thesis is focused on design of robotized workplace for assembly of drill chucks. In the first part the fundamental issue is described. The next part contains an analysis of selected chuck, which continues with design of robotized workplace including components. The thesis is also focused on a work cycle design, risk analysis and economic evaluation. Drawing documentation, 3D workplace model and work cycle simulation video is attached.

KLÍČOVÁ SLOVA

Robotizované pracoviště, robotická buňka, vrtačkové sklíčidlo, automatizovaná montáž

KEYWORDS

Robotized workplace, robotic cell, drill chuck, automated assembly

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOUTŇÁK, Jan. *Návrh robotizovaného pracoviště na montáž vrtačkových sklíčidel* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124748>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Petr Kočiš.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval Ing. Petru Kočišovi za vedení diplomové práce a odborné konzultace, které mi byly v průběhu zpracování umožněny. Děkuji také rodině za podporu během celé doby studia.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 23.6.2020

.....
Bc. Koutňák Jan

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	ROBOTIZOVANÉ PRACOVIŠTĚ	17
2.1	Robotická buňka a její součásti	17
2.2	Typy průmyslových robotů.....	18
2.3	Koncové efektory robotů	20
2.3.1	Mechanické koncové efektory	21
2.3.2	Automatická výměna efektorů.....	22
2.4	Senzory používané v robotice	23
3	VRTAČKOVÁ SKLÍČIDLA	27
3.1	Volba sklíčidla pro automatizovanou výrobu:	28
4	SYSTÉMOVÝ ROZBOR PROBLEMATIKY	29
4.1	Způsob řešení úkolu	30
5	ROZBOR MONTÁŽE VRTAČKOVÉHO SKLÍČIDLA	31
5.1	Rozbor vybraného sklíčidla	31
5.2	Stanovení montážního postupu	32
5.3	Rozvržení výroby	35
6	VÝROBNÍ STROJE A ZAŘÍZENÍ	37
6.1	Rozdělení výrobních operací mezi stanice	37
6.2	Zakládací stanice 1	38
6.3	Zakládací stanice 2.....	40
6.4	Lisovací stanice.....	41
6.5	Mazací stanice.....	43
6.6	Uchopovač 1	44
6.7	Uchopovač 2	45
7	KONCEPT ROBOTICKÉHO PRACOVIŠTĚ	47
7.1	Prvky pracoviště	47
7.1.1	Výběr robotu	47
7.2	Simulace výrobních operací.....	48
7.3	Varianty pracovišť	49
7.3.1	Varianta A.....	49
7.3.2	Varianta B.....	51
7.3.3	Varianta C.....	53
7.4	Vyhodnocení a výběr varianty	55
8	TVORBA ROBOTICKÉHO PRACOVIŠTĚ	57
8.1	Dopravníky	58
8.2	System výměny palet.....	59
8.3	Podstavec pod roboty	60
8.4	Nosné konstrukce.....	60
8.5	Oplocení	61
8.6	Layout pracoviště.....	62
9	ANALÝZA RIZIK PRACOVIŠTĚ	63
9.1	Určení mezních hodnot pracoviště	63
9.1.1	Vymezení používání	63
9.1.2	Vymezení prostoru	63

9.1.3	Vymezení doby	63
9.1.4	Ostatní vymezení.....	63
9.2	Identifikace nebezpečí a odhad rizika	64
9.2.1	Souhrn bezpečnostních prvků a opatření.....	64
9.2.2	Parametry odhadu rizika.....	65
9.2.3	Odhad rizik.....	66
9.3	Hodnocení rizika	69
10	PRACOVNÍ CYKLUS ROBOTICKÉ BUŇKY	71
10.1	Robot 1	72
10.2	Robot 2	73
10.3	Robotická buňka.....	74
11	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	75
11.1	Cena robotického pracoviště	75
11.2	Rozbor nákladů.....	76
11.3	Návratnost investice	76
12	ZÁVĚR.....	77
13	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	79
14	SEZNAM TABULEK A OBRÁZKŮ	83
14.1	Seznam tabulek.....	83
14.2	Seznam obrázků.....	83
15	SEZNAM PŘÍLOH.....	87

1 ÚVOD

Robotizovaná pracoviště jsou dnes jedním ze způsobů automatizace v průmyslu. Hlavním důvodem jejich rozšiřování je zvyšování efektivity a produkce výroby. Jak název napovídá, hlavním prvkem je jeden nebo více robotů, které s dalšími automatizovanými prvky tvoří robotickou buňku. S rozvojem technologií používaných v robotice se robotická pracoviště stávají stále vyspělejšími články výroby. V počátku byly nasazovány zejména pro vykonávání rutinních činností, ale dnes je již díky novým technologiím (např. strojové vidění nebo umělá inteligence) možné nahradit v mnoha ohledech dříve výhradně lidskou prací, a proto dochází k jejich stále častějšímu nasazení.

Cílem této diplomové práce je vytvoření návrhu robotizovaného pracoviště pro montáž vrtačkových sklíčidel. Návrh je proveden tak, aby byl technicky proveditelný a zároveň i ekonomicky výhodný. Součástí je také porovnání mezi manuální lidskou prací a automatizovaným procesem. Na konci práce je výsledek vyhodnocen.

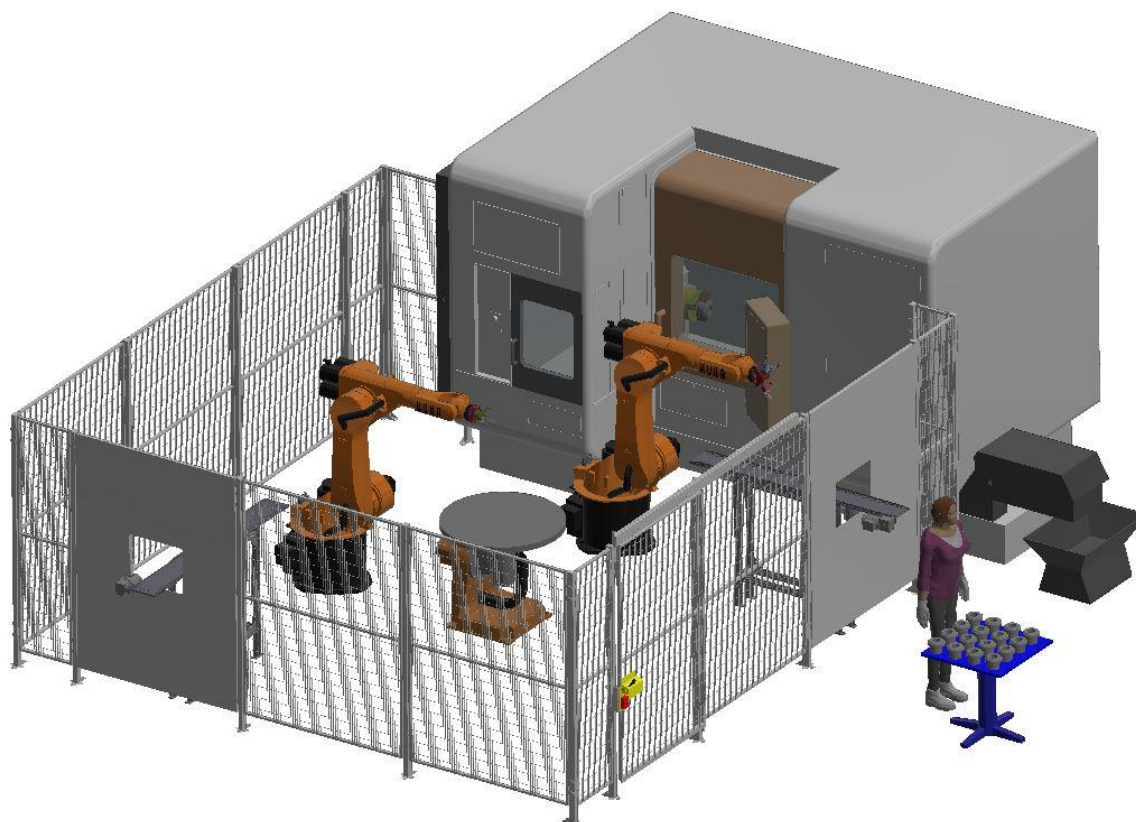
2 ROBOTIZOVANÉ PRACOVÍŠTĚ

Tato kapitola pojednává o problematice robotizovaných pracovišť. Rozebírá nejen samotná pracoviště, ale také typy průmyslových robotů včetně jejich periferií. Jejím cílem je shrnutí současného stavu poznání pro plánování a návrh robotické buňky podle zadání diplomové práce.

2.1 Robotická buňka a její součásti

V rámci robotické buňky probíhá montážní nebo technologický proces. Vstupem je jeden nebo více dílů, výstupem je pak díl v požadovaném stavu. Kromě robotu tvoří pracoviště i další prvky, které jsou nutné pro realizaci celého procesu a také zajištění bezpečnosti. Mezi elementy pracovišť patří zejména:

- Roboty
- Pracovní a kontrolní stanice
- Dopravníky
- Zakládací a polohovací jednotky
- PLC a snímače
- Oplocení
- Lidská obsluha



Obr. 1) Robotická buňka pro výměnu obrobků v obráběcím stroji (semestrální práce)

2.2 Typy průmyslových robotů

Nejdůležitější částí při tvorbě robotických pracovišť jsou průmyslové roboty. V současné době nabízejí výrobci různá provedení kinematických struktur pro různé průmyslové aplikace. Tyto aplikace mohou být jak jednoduché manipulační úlohy, tak provádění složitých technologických procesů jako je například svařování. Při volbě vhodného robotu je také potřeba brát v úvahu zejména hmotnost, se kterou bude robot manipulovat (nástroj, pracovní objekt) a potřebnou dynamiku pro dosažení požadovaných pracovních časů.

6-osé roboty: Průmyslovými roboty s rozsáhlými možnostmi uplatnění jsou šestiosé roboty. Všechny osy jsou zpravidla rotační. Tyto roboty se používají zejména u procesních aplikací jako je například robotické obrábění, svařování, nanášení lepidla nebo také při složitějších manipulačních operacích. Vzhledem k jejich univerzálnosti nabízí výrobci modely různých velikostí. Nosnost běžných robotů bývá řádově od jednotek do stovek kilogramů. [1]



Obr. 2) 6-osý Robot IRB 120 od firmy ABB [1]

Paletizační roboty: Další skupina robotů je určena pro paletizační operace. Jejich stavba se podobá klasickým šestiosým robotům, ale většinou disponují pouze 4 rotačními osami. Tento počet os totiž zcela postačuje na vykonávané operace, což je činí ekonomicky výhodnějšími. V případě složitějších paletizací ovšem existují i pěti nebo šestiosé varianty. Protože se počítá s jejich nasazením při manipulaci s těžkými objekty, tak u některých typů přesahuje jejich nosnost více než 1000 kg. [2]



Obr. 3) Paletizační robot M410iB/700 od výrobce FANUC [3]

Roboty SCARA: Jiné konstrukční řešení představují roboty typu SCARA. Mají čtyři osy, z toho tři rotační a jednu lineární. Jejich hlavní výhodou je relativně nízká cena a prostorová nenáročnost. Používají se pro automatizované operace s malými součástmi. Typickou operací je například montáž, šroubování, manipulace, třídění, balení a kontrolování kvality výrobku. Díky své vysoké rychlosti pracovního cyklu se často využívají jako součást velkosériových výrobních linek. [4]



Obr. 4) Robot SCARA řady IRB 910SC (ABB) [4]

Roboty Delta: Tyto roboty se od ostatních výrazně odlišují svou konstrukcí. Pohyblivé ústrojí robotu je tvořeno mechanismem paralelního ramene. Existují ve variantách se třemi až šesti osami pro různé aplikace s užitečným zatížením do jednoho kilogramu. Používají se u vysokorychlostních i přesných operacích zejména v elektrotechnice, jemné mechanice, potravinářství a farmaceutickém průmyslu. Díky svým malým rozměrům je lze snadno integrovat jak do výrobních linek, tak přímo do výrobních strojů. [5]



Obr. 5) Delta robot od firmy FANUC [5]

Kolaborativní roboty: Speciální skupinou robotů jsou kolaborativní roboty. Vyznačují se silovými a momentovými omezovači. Jsou také vybaveny speciální senzorikou. Odlišné jsou i nároky na koncové efekty. Díky těmto prvkům mohou být nasazeny na pracoviště bez nutnosti aplikace některých bezpečnostních prvků (např. oplocení, světelné závory) na rozdíl od konvenčních robotů. V některých případech se používají i pro přímou spolupráci s člověkem. [6]



Obr. 6) Kolaborativní robot UR3e [6]

2.3 Koncové efekty robotů

Aby bylo možné robotem vykonávat požadované operace, musí být vybaven vhodným koncovým efektem. Ten může být zvolen z široké nabídky různých výrobců nebo konstruován přímo na míru. Koncový efektor umožňuje provádět manipulační nebo technologické operace. Protože se v této diplomové práci jedná o montáž, bude se tato kapitola zabývat pouze efekty vhodnými pro manipulaci. Efekty mohou využívat následující principy na uchopování součástí:

Mechanický: U mechanických efektorů se využívá silového nebo tvarového styku objektu s čelistmi. Pokud je uchopovací síla vyvolávána pružnými elementy, jedná se o pasivní úchopný prvek. U aktivních úchopných prvků se využívá hydraulický, pneumatický nebo elektrický pohon. Koncový efektor je možné volit ze široké nabídky výrobců, čelisti jsou poté většinou konstruovány podle požadavků konkrétní úlohy. [7]

Magnetický: Pokud je manipulovaný předmět magnetický, můžeme využít magnetických efektorů. Ty se používají zejména pro objekty menších hmotností a rozměrů. Jsou vybaveny buď permanentními magnety nebo elektromagnety. Nevýhodou tohoto řešení je nežádoucí zachycování i jiných magnetických předmětů. [7]

Podtlakový: Další možností uchopování předmětů, je využití podtlakových prvků. Principem je vytvoření podtlaku mezi předmětem a přísavkou. Variantu s pasivními prvky představují deformační přísavky, které se po přisátí k objektu pohybem zvětší, a tím vytvoří požadovaný podtlak. U aktivních prvků je podtlak dosažen pomocí vývěvy nebo ejektoru. [7]

V případě řešené úlohy s vrtačkovým sklíčidlem se bude jednat o uchopování převážně rotačních částí, které bude nutné přesně polohovat. Z tohoto důvodu jsou dále rozebrány pouze efektory, které využívají mechanického uchopování vhodné pro rotační součásti.

Následující přehled různých typů mechanických koncových efektorů je vytvořen podle nabídky firmy Schunk, která patří k předním světovým výrobcům.

2.3.1 Mechanické koncové efekторы

Paralelní uchopovače: Tyto efekторы mají vysoce univerzální použití. Skládají se ze dvou prstů, které se pohybují symetricky proti sobě. Jsou schopny manipulovat jak s plochými, tak rotačními objekty různých rozměrů. Vzhledem k tomu, že v rámci svého rozsahu umožňují různou velikost rozevření, může jeden efektor manipulovat i s více různě rozměrnými tělesy. Firma Schunk nabízí varianty s elektrickým nebo pneumatickým pohonem včetně možnosti řízení uchopovací síly. V nabídce jsou také varianty pro použití s kolaborativním robotem. [8]



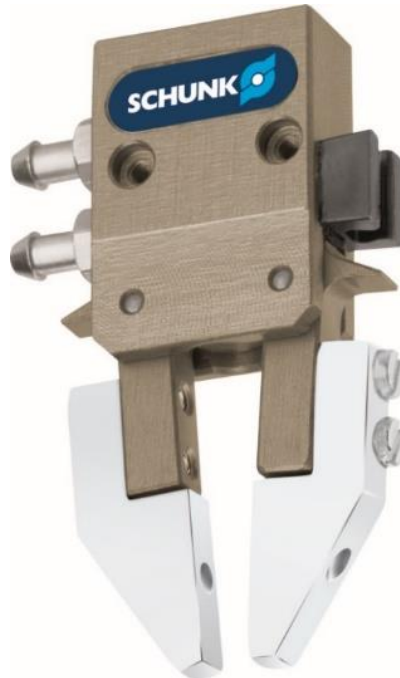
Obr. 7) Paralelní chapadlo řady JGP [8]

Středová chapadla: Tento typ uchopovačů se používá při manipulaci s tělesy rotačních tvarů. Bývají většinou vybaveny třemi, případně čtyřmi prsty. Tento způsob uchopování zaručuje, že při upínání i uvolňování je osa válcovité součásti vždy ve středu efektoru. Na rozdíl od paralelních chapadel je možné díly upínat pouze rovnoběžně s jejich osou. [9]



Obr. 8) Středové chapadlo řady JGZ [9]

Úhlové uchopovače: Představují alternativu k paralelním. Jsou nabízeny ve variantě se dvěma nebo třemi prsty. Od předchozích dvou variant se liší ve způsobu ovládání prstů. Jejich pohyb není přímočarý, ale rotační. To způsobuje změnu úhlu jednotlivých prstů, a tedy i celkové rozevření čelistí. Tato chapadla jsou vzhledem ke své kinematice vhodná zejména pro manipulaci s jednotným rozměrem. [10]



Obr. 9) Úhlové chapadlo řady SWG [10]

2.3.2 Automatická výměna efektorů

Vzhledem k tomu, že se celý pracovní cyklus robotické buňky skládá z různých manipulačních nebo technologických operací, může nastat situace, kdy nelze použít pouze jeden koncový efektor. V takovém případě je řešením využití automatické výměny efektorů, která umožňuje pružně reagovat podle aktuální potřeby výrobního procesu. Využití tohoto systému ale také znamená zvýšené náklady a vyšší riziko poruchy. [7]

Automatická výměna nástrojů tvoří spojovací prvek mezi robotem a koncovým efektozem. Skládá se ze dvou přírub. Jedna příruba je připevněna k robotu, druhá slouží k připojení efektoru. Hlavními prvky příruby jsou systém upínání a přípojka pro elektřinu, pneumatiku nebo hydrauliku. Součástí robotického pracoviště je v tomto případě i zásobník, ve kterém jsou tyto efektozy uloženy. [7]

Součástí nabídky firmy Schunk jsou také různé systémy automatické výměny efektorů včetně příslušenství vhodného pro rozsáhlé spektrum aplikací. Příruby mají přípojné rozhraní ISO, aby byla umožněna snadná montáž k robotu bez použití další přírubové desky. Automatické zamykání a odemykání přírub při výměně trvá řádově milisekundy. [11]



Obr. 10) Systém automatické výměny efektorů [12]

2.4 Senzory používané v robotice

Správné řízení programu robotu se většinou neobejde bez aplikace senzorů. Ty posílají signál do robotu nebo PLC a tím ovlivňují běh programu. Často plní také bezpečnostní funkci. Senzory jsou tedy voleny podle požadovaného výstupu a fyzikálního principu, který je možný v daném případě uplatnit.

Elektromechanické snímače: Tyto snímače jsou používány ke snímání dosažení určitého bodu při polohování nebo jako bezpečnostní prvky na konci dráhy. Jejich základním prvkem je tlačítko umístěné v pouzdře. Zakončení tlačítka je nutné volit podle rychlosti pohyblivé části, může se jednat o pístek se stříškou, rolnu, kuličku atd. Principem snímání je rozpojování nebo přepínání vstupního napětí. [7]



Obr. 11) Mechanický koncový spínač [13]

Tenzometry: Tenzometry jsou snímače, u kterých se při deformaci mění elektrický odpor. Připevňují se k povrchu snímaného objektu tak, aby byly deformovány stejně jako objekt. Existují v drátkové, fóliové nebo polovodičové variantě. [7]

Indukční senzory: Pro detekování kovových materiálů je možné použít senzory na principu vysokofrekvenčního magnetického střídavého pole. Po přiblížení se začnou v kovovém objektu indukovat vířivé proudy, které z magnetického pole senzoru odebírají energii, čímž dojde k sepnutí nebo rozepnutí výstupu. Jedná se o bezkontaktní snímání, takže nedochází k opotřebení snímače. [7]



Obr. 12) Indukční snímače [14]

Kapacitní senzory: Dalším bezdotykovým způsobem snímání objektů jsou kapacitní senzory. Skládají se ze dvou kovových elektrod umístěných v uzavřeném elektrickém poli vysokofrekvenčního oscilátoru. Pokud se začne objekt pohybovat směrem k senzoru, vzroste vazební kapacita mezi elektrodami a okruh začne oscilovat. Amplituda kmitání je poté vyhodnocována obvodem řídicím výstupní signál. Tímto způsobem lze detekovat kovové i nekovové materiály. [7]



Obr. 13) Kapacitní senzory [15]

Magnetické senzory: U těchto senzorů se využívá Hallova jevu. Jedná se o vychylování směru toku elektrického proudu v závislosti na velikosti indukce magnetického pole kolmého na polovodičovou desku. Na rozdíl od indukčních a kapacitních senzorů se dají vyrábět i ve velmi malých rozměrech. Pokud se na zadní stranu snímače umístí magnet generující konstantní magnetické pole, tak je možné snímat i feromagnetické materiály, které negenerují magnetické pole. Druhým možným provedením je senzor s jazýčkovými kontakty. Jazýčky jsou zataveny v trubičce naplněné inertním plynem. V případě přiblížení permanentního magnetu dojde k sepnutí nebo rozepnutí kontaktu. [7]



Obr. 14) Magnetický senzor [16]

CCD senzory: Jsou velmi rozšířenými senzory, pracujícími na principu fotoefektu. Zajišťují robotickým systémům tzv. technické vidění. Tento systém umožňuje rozpoznávání tvarů a orientace objektu, případně také optickou kontrolu součástí. Děj probíhá ve třech fázích: příprava, expozice a snímání obrazu. [7]

Světelné závory: Závory jsou tvořeny vysílačem a přijímačem. Pokud se mezi tyto části závory dostane objekt, dojde k přerušení světelného paprsku a sepnutí snímače. Závora může být jednocestná nebo reflexní. U jednocestné dojde k sepnutí spínače, pokud přestane být detekován paprsek vytvářený přijímačem. U reflexní je vysílač i přijímač v jednom pouzdře a paprsek je zpětně do snímače odražen reflexní odrazovou plochou. [7]

Bezpečnostní sensorika: Zvláštní skupinou jsou senzory určené pro zajištění bezpečnosti. Jejich úkolem je předcházet zraněním nebo usmrcení obsluhy. Ty musejí být v rámci pracoviště rozmístěny tak, aby bylo osobám zamezeno vstupovat do prostoru v době, kdy dochází k automatickému pohybu robotu. Pokud některý ze senzorů detekuje nebezpečí, musí robot neprodleně zastavit. Jedná se například o zařízení nouzového zastavení, bezpečnostní světelné závory, laserové skenery, dveřní snímače atd. [7]

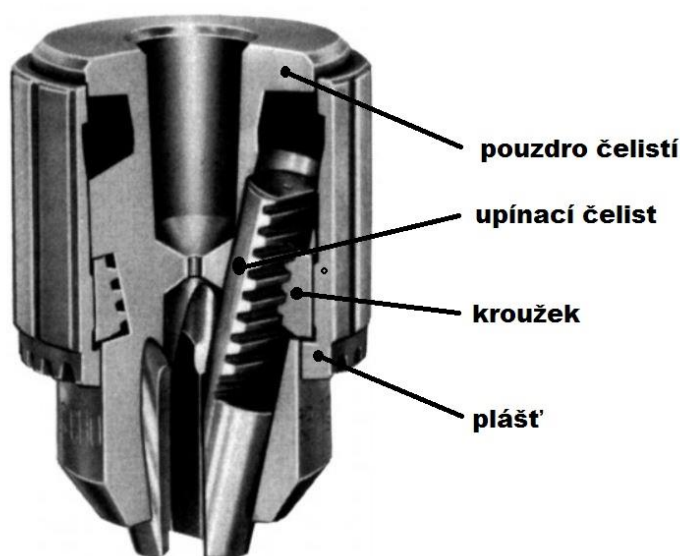


Obr. 15) Bezpečnostní světelná závora [17]

3 VRTAČKOVÁ SKLÍČIDLA

Důležitou součástí různých typů vrtaček jsou vrtačková sklíčidla, která slouží pro upínání nástrojů. Ta se vyrábějí v různých velikostech. Můžeme se s nimi setkat jak u běžných ručních vrtaček na domácí použití, tak u přesného strojního vrtání. Jejich provedení se liší zejména podle typu vrtačky, případně způsobu upínání nástroje. Různý může být také způsob, jakým se k jednotlivým vrtačkám připevňuje samotné sklíčidlo. Vrtačková sklíčidla jsou normalizována českými technickými normami.

Běžná sklíčidla se skládají z několika základních částí (Obr. 16). Upínání nástroje je realizováno pomocí tří upínacích čelistí umístěných v pouzdře. Na vnějším obvodu se nachází kroužek se šroubovicí, který způsobuje svírání nebo rozevírání čelistí při rotačním pohybu pouzdra. Tyto části jsou uzavřeny pláštěm. [18]



Obr. 16) Sestava vrtačkového sklíčidla [19]

Jedním z možných provedení je tříčelist'ové sklíčidlo s klíčem. Upínací síla, kterou je vrták držen mezi čelistmi, je obsluhou vyvolána utažením pomocí speciálního klíče. Tohoto principu se využívá jak u klasických strojních, tak i ručních vrtaček. Na Obr. 17 je vyobrazeno tříčelist'ové vrtačkové sklíčidlo s klíčem. [20]



Obr. 17) Tříčelist'ové vrtačkové sklíčidlo s klíčem [20]

Druhou možností jsou rychloupínací sklíčidla (Obr. 18). Nástroj je do nich upínán ručně bez použití klíče. U tohoto typu je nabízeno více variant. Kromě klasických ocelových sklíčidel se vyrábějí také varianty s plastovými díly, které se používají zejména u malých ručních vrtaček. Speciální variantou jsou sklíčidla s upínacím systémem SDS používaného u ručního nářadí. [21]



Obr. 18) Rychloupínací sklíčidlo [21]

3.1 Volba sklíčidla pro automatizovanou výrobu:

Hlavním důvodem nasazení automatizovaných výrobních systémů v průmyslu je snižování výrobních nákladů a zvyšování produkce. Základním ekonomickým předpokladem pro nahrazování lidské práce automatizovanými technologiemi je tedy sériová výroba. Z tohoto důvodu je vhodné pro studii robotizovaného pracoviště volit vrtačkové sklíčidlo, které je normalizované, aby byla zajištěna dostatečně velká výrobní série. V České republice jsou tříčelistová sklíčidla s klíčem normalizovaná normou ČSN 24 1320. Proto bude pro účely návrhu použito „SKLÍČIDLO 13 – B 16 ČSN 24 1320“. Vzhledem k podobnosti konstrukčních řešení běžných vrtačkových sklíčidel budou závěry této práce využitelné i pro případ montáže jiných vyráběných sklíčidel. [22]

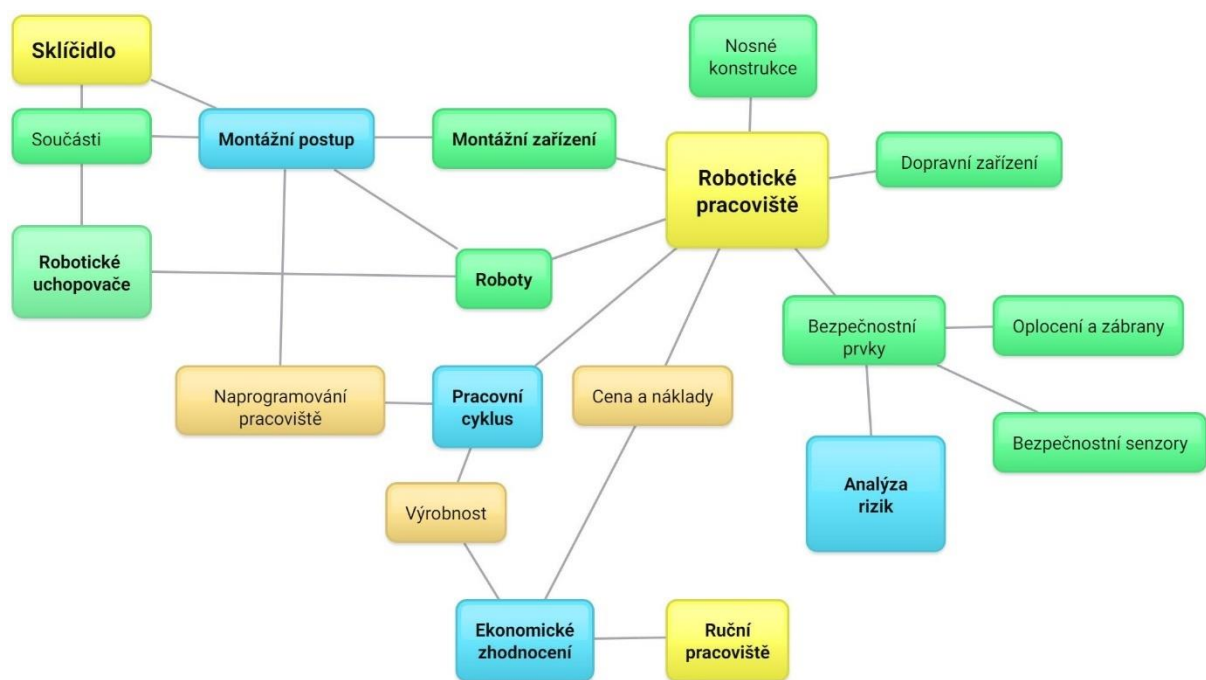
4 SYSTÉMOVÝ ROZBOR PROBLEMATIKY

Robotické pracoviště je komplexní systém skládající se z mnoha prvků. Pro návrh řešení je tedy důležité znát vazby mezi těmito jednotlivými částmi (Obr.19). V počáteční fázi návrhu je jediným známým prvkem vrtačkové sklíčidlo. Tímto prvkem jsou dány všechny součásti, které se vyskytují ve výrobním procesu a také montážní postup jakým je sklíčidlo vyráběno.

Tyto součásti jsou v souvislosti s montážním postupem základními prvky pro návrh robotických uchopovačů a montážních zařízení. Ta jsou spolu s roboty základem robotického pracoviště. To je dále tvořeno také nosnými konstrukcemi, dopravními zařízeními a bezpečnostními prvky, jako jsou oplocení, zábrany a bezpečnostní senzory. Robotická buňka musí být prověřena analýzou rizik tak, aby splňovala požadavky na bezpečný provoz.

Důležitým prvkem vázaným na robotické pracoviště je pracovní cyklus. Ten vyplývá z naprogramování všech řízených částí v robotické buňce a určuje její výrobnost.

Ekonomické aspekty pracoviště jsou potom dány cenou, náklady a výrobností. Tímto je umožněno ho porovnávat s manuálním pracovištěm.



Obr. 19) Systémový rozbor

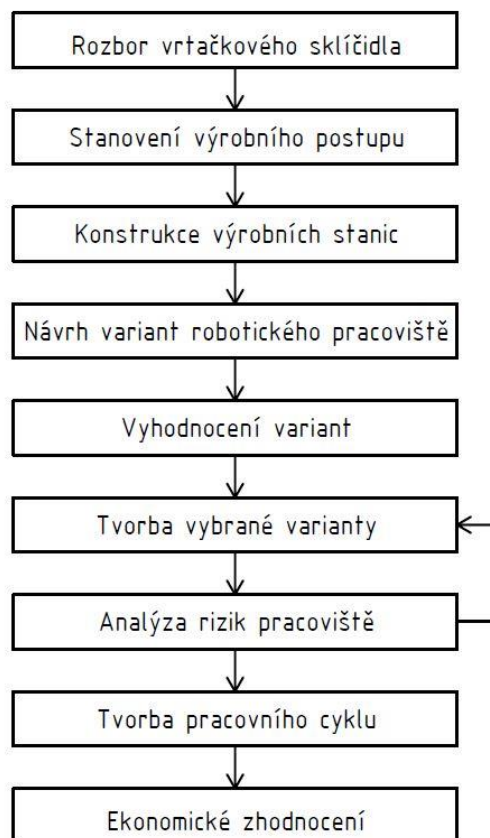
4.1 Způsob řešení úkolu

Na Obr. 20 je způsob řešení úkolu vyplývající ze systémového rozboru, který je vhodné upřesnit. Prvním krokem je rozbor vrtačkového sklíčidla. Zde je nutné definovat všechny díly, ze kterých se sklíčidlo skládá a vytvořit je jako CAD model pro další práci. Dalším krokem je stanovení montážního postupu.

Na základě těchto poznatků je možné zkonstruovat výrobní stanice a koncové efekty pro roboty. Po výběru vhodných robotů lze s využitím výrobních zařízení vytvářet různé varianty robotických pracovišť. Z těchto variant je poté potřeba vybrat tu nejvhodnější. Zde jsou hlavním rozhodujícím faktorem výsledky simulací, které pomohou určit přibližný čas výrobního cyklu jednotlivých variant.

Vybraná varianta je následně kompletně vytvořena se všemi prvky jako 3D model. Dále je třeba analyzovat rizika pracoviště a v případě potřeby na něj aplikovat příslušná bezpečnostní opatření. S kompletním modelem pracoviště lze s využitím simulací podrobně a realisticky navrhnout pracovní cyklus robotické buňky a získat tak čas výrobního cyklu.

Pro finální zhodnocení využití tohoto řešení v praxi slouží ekonomické zhodnocení. Jeho úkolem je vyčíslit výši počáteční investice a její návratnost ve vztahu k ruční výrobě.



Obr. 20) Způsob řešení úkolu

5 ROZBOR MONTÁŽE VRTAČKOVÉHO SKLÍČIDLA

Cílem této kapitoly je detailní rozbor vybraného sklíčidla a stanovení montážního postupu. Získané poznatky jsou klíčové pro návrh robotického pracoviště jak z technického, tak ekonomického hlediska.

5.1 Rozbor vybraného sklíčidla

Prvním krokem je rozebrání sklíčidla na jednotlivé díly. To je složeno ze sedmi částí, které odpovídají normě. Základním dílem je pouzdro čelistí, do kterého se vkládají tři upínací čelisti. Ty jsou rozměrově shodné, ale mají jinou závitovou část. Proto je třeba na ně pohlížet jako na tři odlišné součásti, které musí být vloženy do správných vedení v pouzdře. Pohyb čelistí je zajištěn kroužkem s vnitřním závitem, který se kuželovitě zužuje podle sklonu čelistí. Kroužek je vyroben jako jedna součást, ale před montáží je v místech s vrubem rozlomen na dvě samostatné části tak, aby ho bylo možné namontovat. Posledním dílem je plechový plášť, který drží celé sklíčidlo pohromadě.

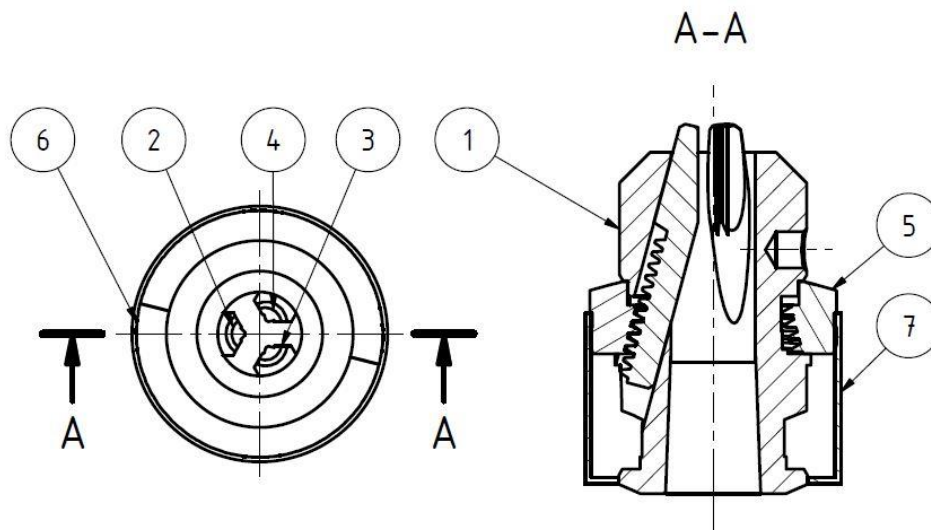
Vzhledem k tomu, že tvorba návrhu pracoviště se provádí na počítači, je nutné vytvořit CAD model sklíčidla sestaveného z jednotlivých komponent. (Obr. 21). Tento model bude dále výchozím podkladem pro konstrukci přípravků, koncových efektorů robotu i plánování robotických operací.



Obr. 21) CAD model sestavy sklíčidla a jeho rozpad na jednotlivé prvky

5.2 Stanovení montážního postupu

V této části kapitoly jsou rozepsány jednotlivé montážní operace ručního sestavení vrtačkového sklíčidla. Získané závěry jsou důležité nejen pro vytvoření montážního postupu automatizovaného pracoviště, který bude jeho modifikací, ale také pro získání operačních časů pro plánování výroby. Na Obr. 22 je vyobrazena sestava sklíčidla se všemi díly, ze kterých je po montáži složena.



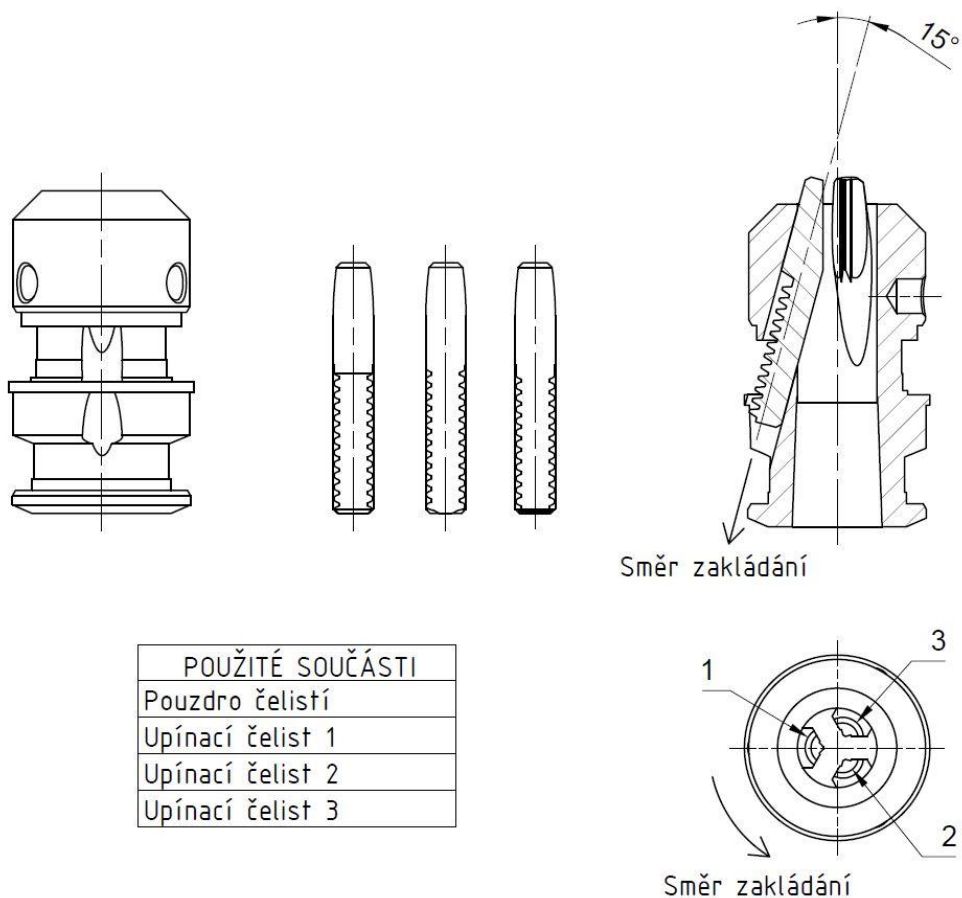
KUSOVNÍK		
POLOŽKA	NÁZEV SOUČÁSTI	HMOTNOST
1	Pouzdro čelistí	0,172 kg
2	Upínací čelist 1	0,010 kg
3	Upínací čelist 2	0,010 kg
4	Upínací čelist 3	0,010 kg
5	Kroužek 1	0,028 kg
6	Kroužek 2	0,028 kg
7	Plášť	0,033 kg

Obr. 22) Sestava sklíčidla

Hlavním rozdílem při automatizaci tohoto procesu ve srovnání s ruční montáží je nutnost jednoznačně definovat polohu a orientaci jednotlivých dílů. Zde se projevuje nevýhoda automatizovaných systémů, které často vykonávají operace na základě pevného programu. Příkladem může být robotické odebírání dílu z dopravníku. Díl musí být orientován tak, aby byl robotem správně odebrán nebo musí být použito dalších prvků, jako je například strojové vidění, což ale zvyšuje komplexnost výrobního systému a náklady na jeho stavbu. V případě ruční montáže není orientace dílů zásadním problémem, protože člověk v tomto případě pracuje intuitivně. Tuto skutečnost je třeba vzít na vědomí při plánování automatizované výroby.

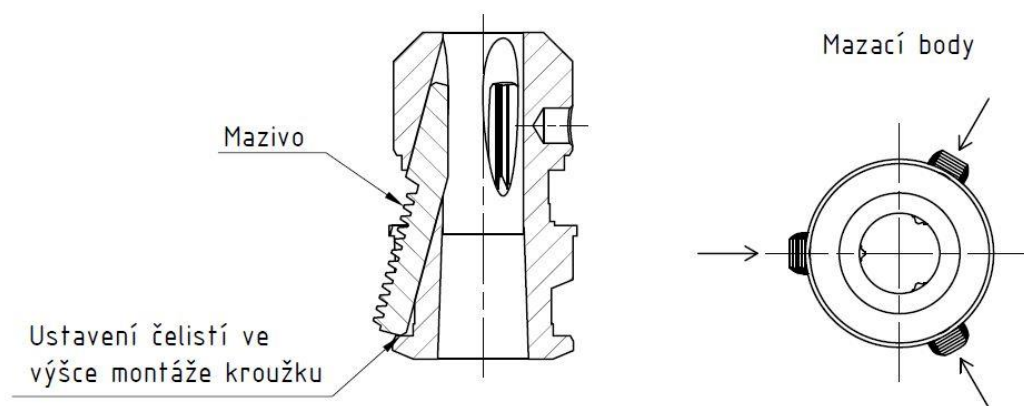
Pro stanovení montážního postupu bylo jedno sklíčidlo ručně rozebráno a poté opět složeno. Obrázky k této části práce jsou součástí přílohy. Ze získaných poznatků je celá montáž rozdělena na čtyři základní výrobní operace skládající se z jednotlivých kroků.

Operace 1: První montážní operací je vložení upínacích čelistí do pouzdra. Při vkládání je nutné respektovat jejich pořadí v drážkách kvůli návaznosti závitu. Proto musejí být vloženy podle jejich číselného označení v levotočivém smyslu otáčení.



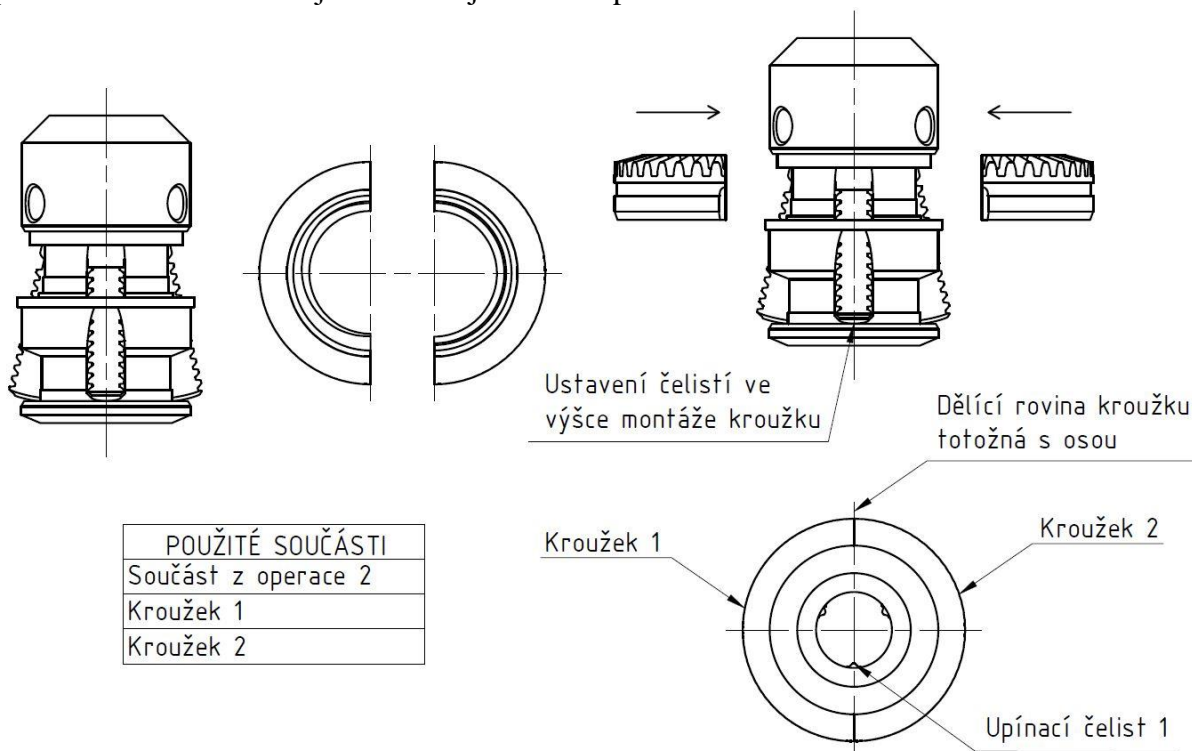
Obr. 23) Operace 1

Operace 2: Následujícím krokem je nanesení maziva na závitovou část všech vložených čelistí v oblasti vkládání závitového kroužku. Tím je následně zajištěn hladký chod závitu.



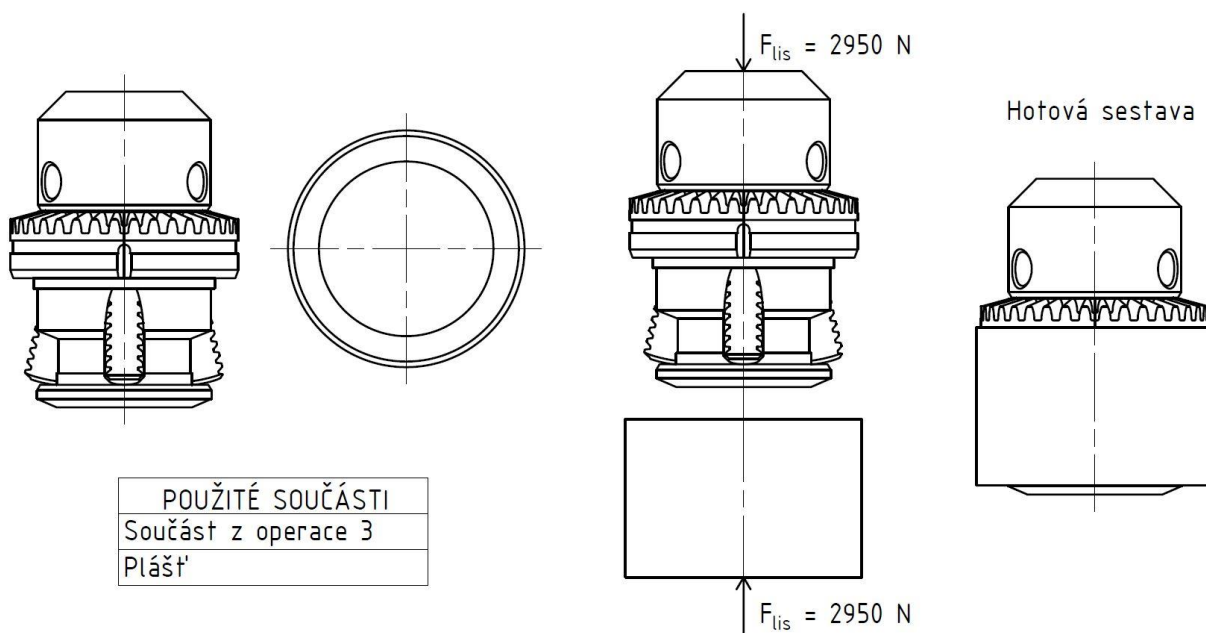
Obr. 24) Operace 2

Operace 3: Po namazání jsou přiloženy obě části kroužku. Pro správné sesazení je nutné dbát na to, aby všechny upínací čelisti byly ve stejné výšce a správně natočené v drážce. Části kroužku rovněž vyžadují správné úhlové natočení tak, aby došlo k sesazení závitu. Správnou polohu a orientaci čelistí je možné zajistit už v operaci 1.



Obr. 25) Operace 3

Operace 4: Posledním úkonem je nalisování pláště na kroužek. Zde je nutné uvažovat, že před nalisováním nejsou části kroužku s pouzdem pevně spojeny a je tedy do té doby nutné zajistit jejich přidržení. Maximální naměřená lisovací síla je 2950 N. Po této operaci je již výrobek zcela kompletní.



Obr. 26) Operace 4

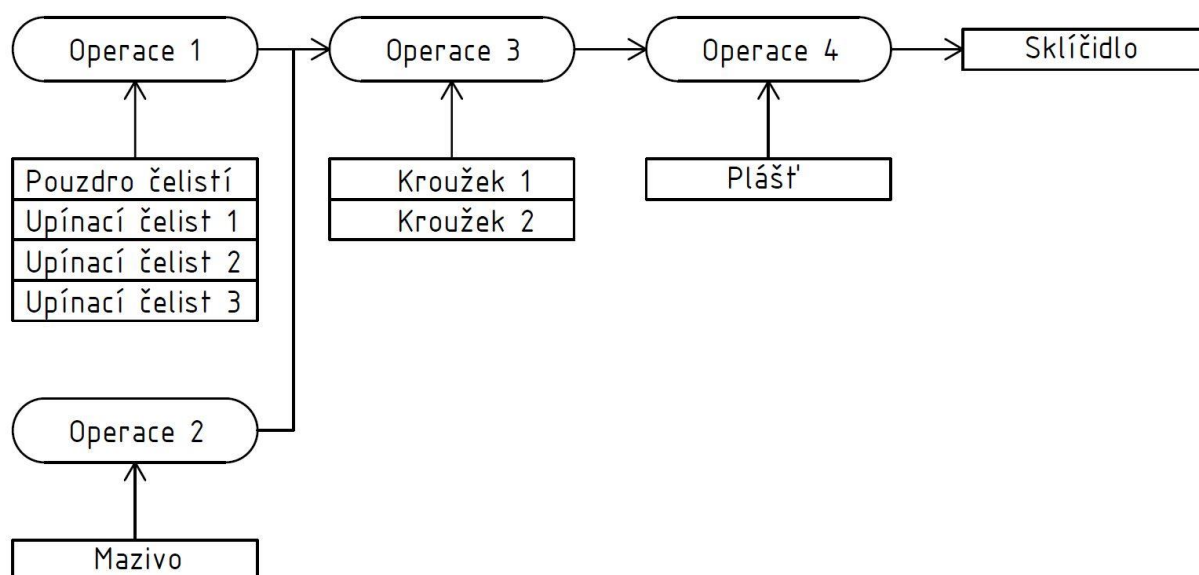
5.3 Rozvržení výroby

V následující tabulce jsou zaznamenány časy jednotlivých operací ruční výroby, které byly experimentálně získány několika měřeními a jejich poměr k celkovému montážnímu času potřebnému k výrobě jednoho výrobku. Časy mezioperačních manipulací jsou rovnoměrně rozděleny do pracovních operací. Celková doba cyklu výroby jednoho sklíčidla je 90 s.

Název operace	Čas operace [s]	Poměr k celkovému času [%]
Operace 1	25	27,8
Operace 2	18	20,0
Operace 3	23	25,6
Operace 4	24	26,6
Celkem	90	100

Tab 1) Časy výrobních operací (ruční výroba)

Pro návrh robotického pracoviště je třeba určit pracovní plán výroby. Pořadí operací musí jít číselně po sobě s výjimkou operace 2, kterou je možné vykonat ještě před operací 1 za předpokladu dodržení mazacích bodů na čelistech. Při montáži musí být tedy dodrženo následující rozvržení výroby.



Obr. 27) Rozvržení výroby

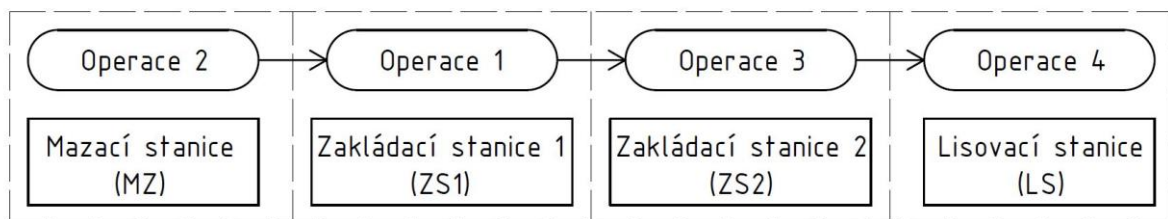
6 VÝROBNÍ STROJE A ZAŘÍZENÍ

Cílem této kapitoly je určit, jaká strojní zařízení jsou k sestavení sklíčidla potřeba. Protože se jedná o specifickou montážní operaci, musejí být některá zařízení přímo pro tento účel zkonstruována. V některých případech lze naopak využít zařízení z nabídky různých výrobců.

6.1 Rozdělení výrobních operací mezi stanice

Celou montáž je třeba efektivně rozdělit mezi více výrobních stanic. Z čím více stanic je celé pracoviště složeno, tím je možné z hlediska materiálového toku vyrábět plynuleji a také se nabízí více možností, jak tuto pracovní buňku sestavit. Na druhou stranu větší množství stanic způsobí také potřebu více manipulačních operací. Je tedy třeba zvolit vhodný kompromis a zároveň brát v úvahu technická omezení při konstrukci těchto výrobních zařízení.

Tyto stanice jsou navrženy formou modulů se základnou na kovových deskách, které je dále možné zabudovat do většího celku v souladu se zvoleným rozvržením robotického pracoviště a dosahem jednotlivých robotů. Rozdělení operací na základě rozvržení výroby mezi výrobní stanice je zvoleno podle následujícího schématu.



Obr. 28) Rozdělení operací mezi stanice

Výrobní cyklus začíná vložením pouzdra do ZS1. Dalším krokem je namazání čelisti v MZ (operace 2), která je následně vložena do pouzdra. Tímto způsobem jsou postupně do pouzdra založeny všechny tři čelisti v odpovídajícím pořadí (operace 1). Dále se v ZS2 připraví obě poloviny montážního kroužku do předmontážní pozice. Poté je sestava přesunuta do SZ2, kde dojde k sesazení kroužku. Tento celek je pak přemístěn do LS. Do této stanice se vloží i plášť a dojde ke slisování celého sklíčidla dohromady (operace 4).

Podobné rozdělení je třeba provést také u koncových efektorů robotu. Zde je důležité, aby jich bylo co nejméně. Více efektorů znamená buď nutnost výměny nástrojů, která zpomaluje výrobní proces nebo připevnění více nástrojů pomocí příruby na jeden robot. Zde může být nevýhodou jak nutnost použití většího, tedy dražšího robotu kvůli vyšší zátěži, tak potřeba většího prostoru, ve kterém může robot pracovat.

Návrhem jsou tedy dva koncové efekторы. Jeden je vytvořen speciálně pro zakládání čelistí (uchopovač 1) a druhý je univerzální pro všechny ostatní součásti, které se v montážním procesu vyskytují (uchopovač 2).

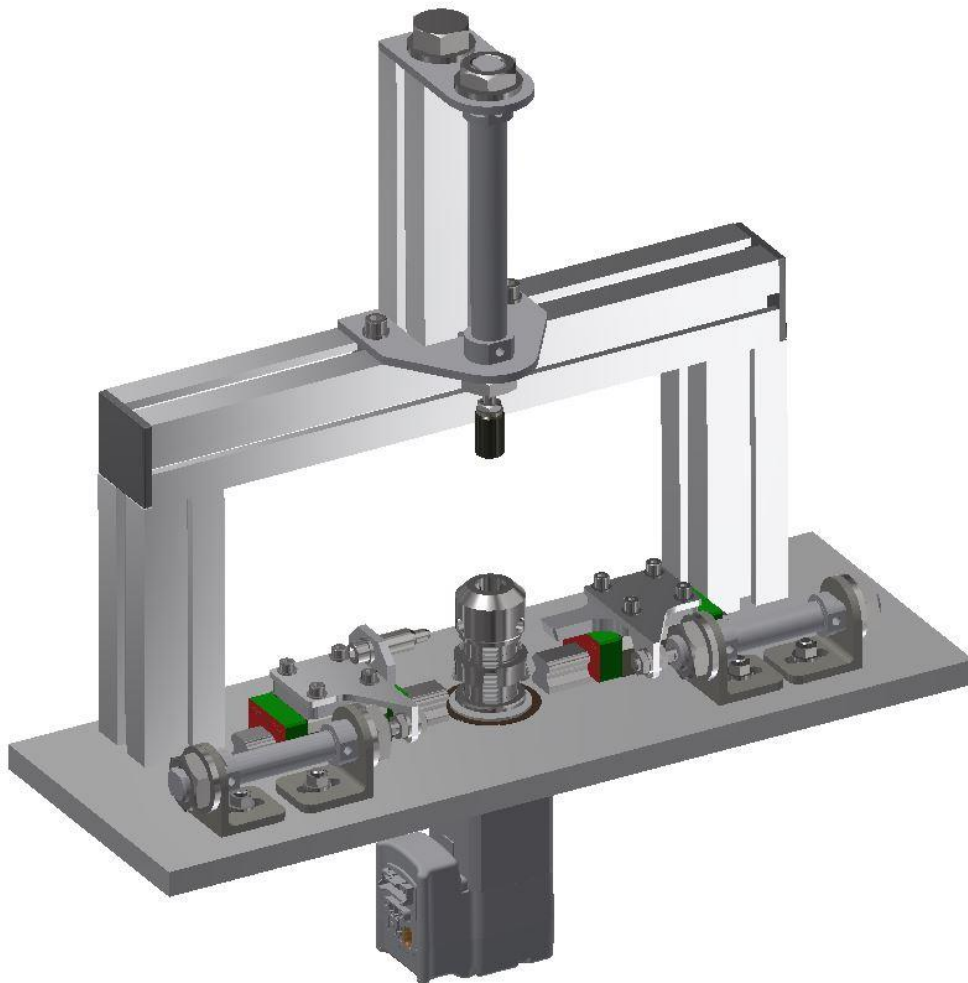
6.2 Zakládací stanice 1

Základem této stanice (Obr. 29 a 30) je upínací základna, na kterou se robotem zakládá pouzdro sklíčidla. Tato základna je kuželovitého tvaru a zajistí vystředění pouzdra. Je umístěna na bronzovém pouzdře a propojena s krokovým motorem (EZI-STEP-BT-42-L) z nabídky společnosti RAVEO. Ten slouží k natáčení pouzdra do požadované pozice. [23]

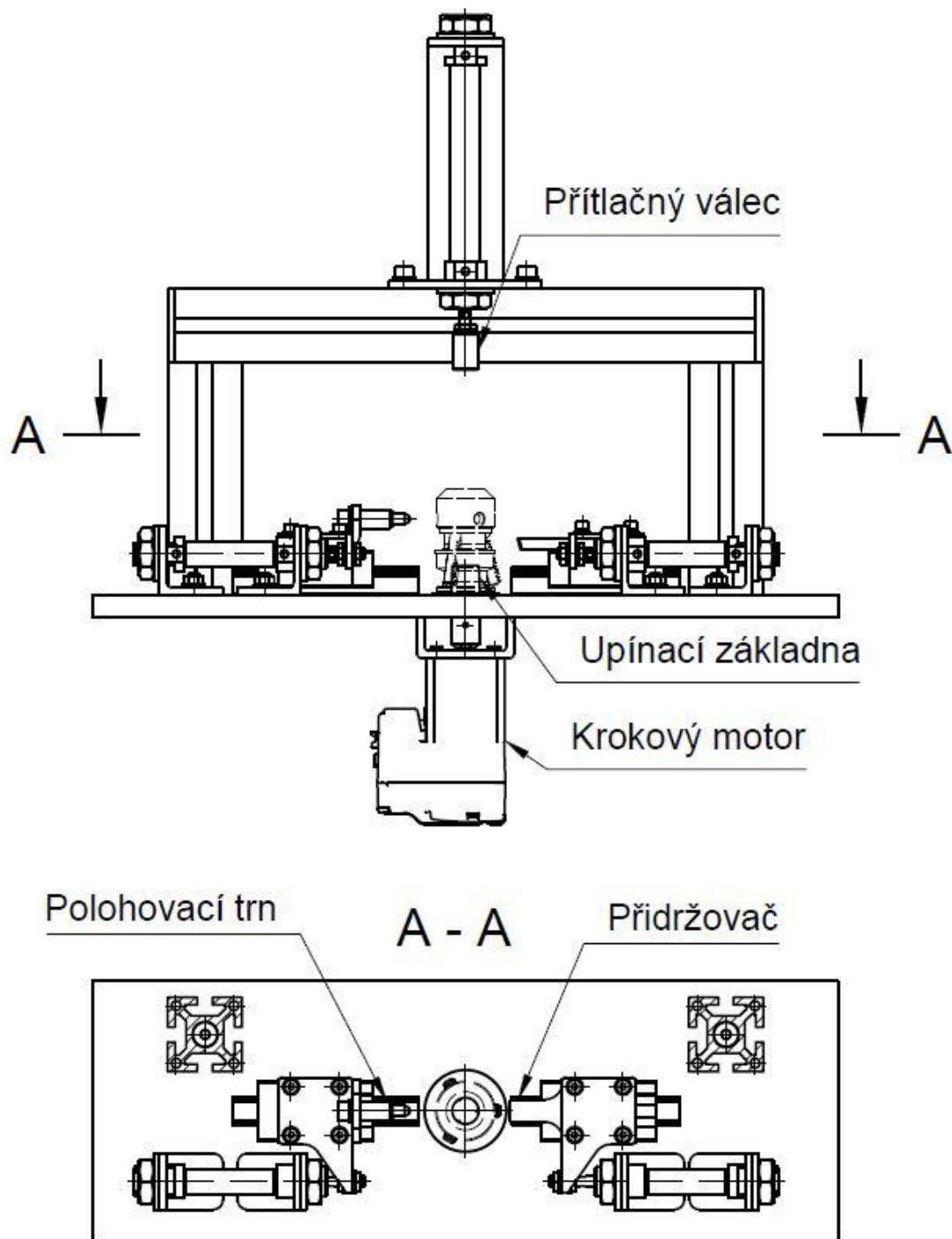
Pro přesné zajištění pozice slouží polohovací trn, který využívá děr vyvrtaných v pouzdře. Další důležitou částí je přídržovač. Jeho úkolem je zamezit možnému nežádoucímu otočení čelisti při jejím zakládání. Koncová plocha přídržovače je tvořena nakloněnou rovinou a kopíruje vnější geometrii čelisti při jejím správném natočení. Oba tyto prvky jsou připevněny na lineárních jednotkách od firmy HIWIN. [24]

Dalším mechanismem je jednotka s přítlačným válcem. Ta slouží k zatlačení vkládané čelisti tak, aby dosedla na dolní osazení pouzdra. U této fáze se předpokládá, že všechny čelisti do své pozice zapadnou volným pádem. Přítlačná jednotka v kombinaci s výše zmíněným přídržovačem zajistí správnou pozici i v případě, že by čelisti volně nezapadla do drážky například kvůli jejímu ucpání mazivem.

Všechny využití pneumatické válce (DIN ISO 6432) mají píst o průměru 12 mm a jsou zvoleny z nabídky výrobce Stránský a Petržík. [25]



Obr. 29) Zakládací stanice 1



Obr. 30) Schéma ZS1

6.3 Zakládací stanice 2

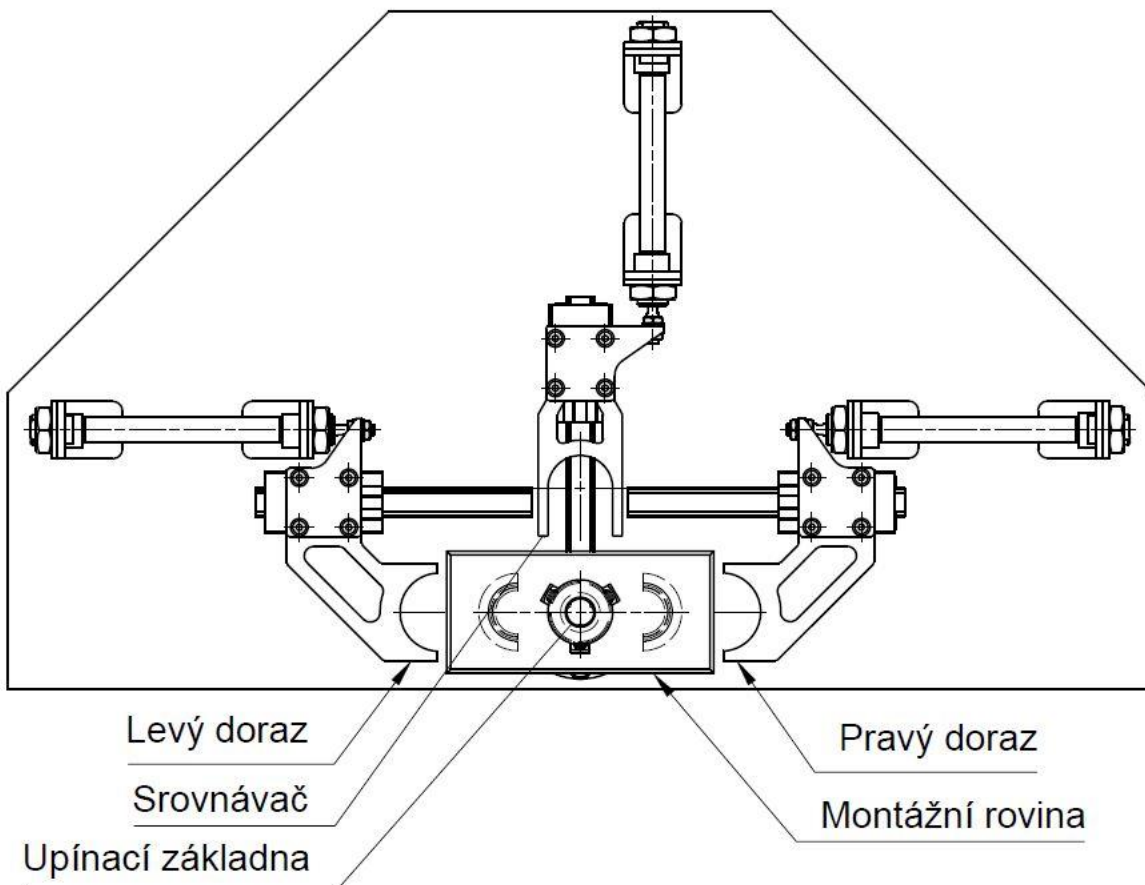
V této stanici (Obr. 31) je prvním montážním krokem robotické položení obou částí kroužku na montážní rovinu. Ta výškově odpovídá výšce montáže kroužku. Dále robot provede založení montážní sestavy z předchozí operace na upínací základnu, kde je pouzdro sklíčidla vycentrováno využitím kuželu obdobně jako u ZS1. Pouzdro musí být robotem orientováno tak, jak bylo definováno v montážním plánu.

Po umístění všech součástí je vysunut srovnávač, který vytvoří rovinu kolmo k ose obou částí kroužku. Ten slouží k zajištění správného natočení kroužků těsně před jejich sesazením, což je zásadní zejména kvůli správnému dohlednutí na závit čelistí.

Následně se souběžně do pohybu uvede pravý i levý přidržovač. Jejich válcovitá plocha zajistí, že jsou obě části kroužku správně vycentrovány a jejich následným kontaktem se srovnávačem dojde i k již zmíněnému zajištění správného natočení.

Poté je srovnávač opět zasunut mimo montážní prostor a oba dorazy sesadí kroužek okolo pouzdra dohromady. Následně se zase vracejí do výchozí pozice. V této fázi je montážní sestava připravena na odebrání robotem. Poté se již může celý proces opakovat.

Stejně jako mechanismy u ZS1 jsou oba dorazy i srovnávač umístěny na lineárních vedeních od výrobce HIWIN a jejich pohyb zajišťují pneumatické válce (DIN ISO 6432) z nabídky společnosti Stránský a Petržík. [24], [25]



Obr. 31) Schéma ZS2

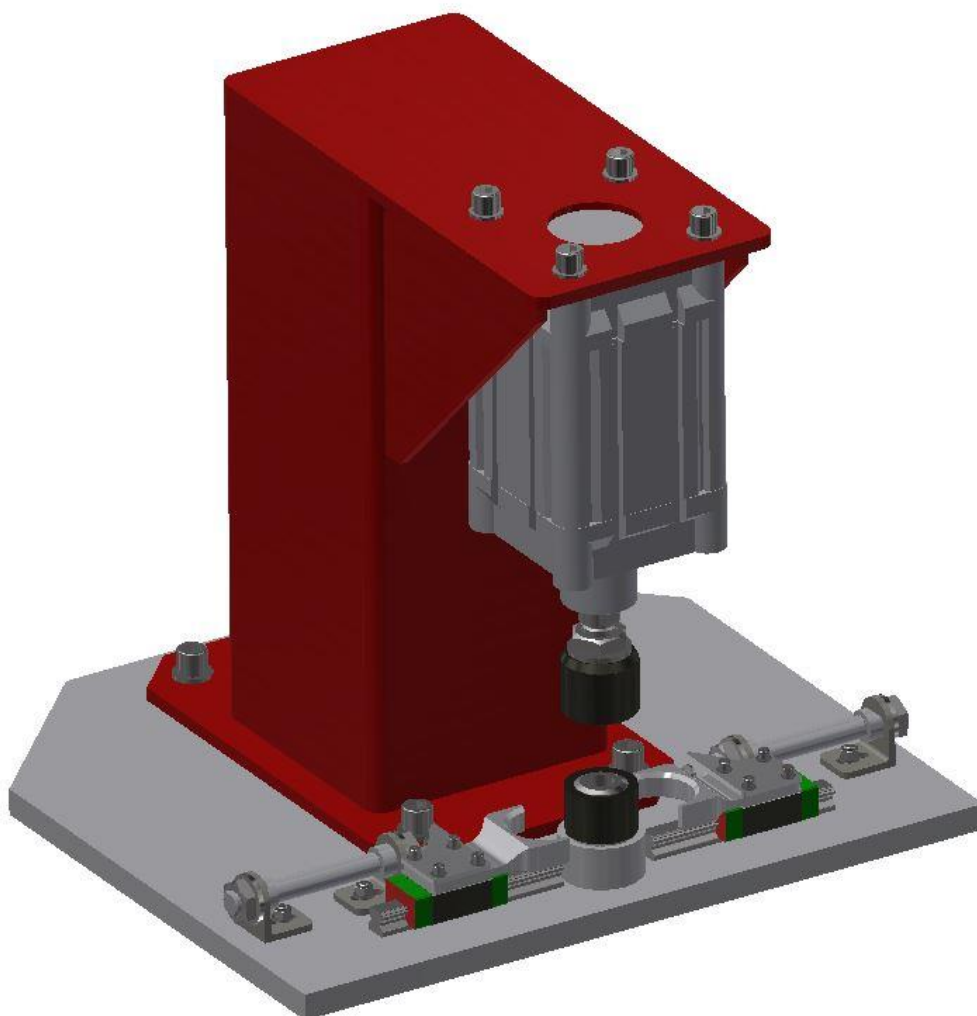
6.4 Lisovací stanice

Úkolem této stanice (Obr. 32 a 33) je vykonávat operaci 4, což znamená nalisování pláště na montážní sestavu z předchozích operací a tím zkompletovat celé vrtačkové sklíčidlo. Prvním krokem je robotické založení montážní sestavy do upínací základny. Její geometrie kopíruje horní část vnějšího tvaru kroužku. To zajistí, že po uvolnění robotického chapadla se kroužek samovolně nerozpadne a zároveň je umístěn ve správné poloze pro zalisování.

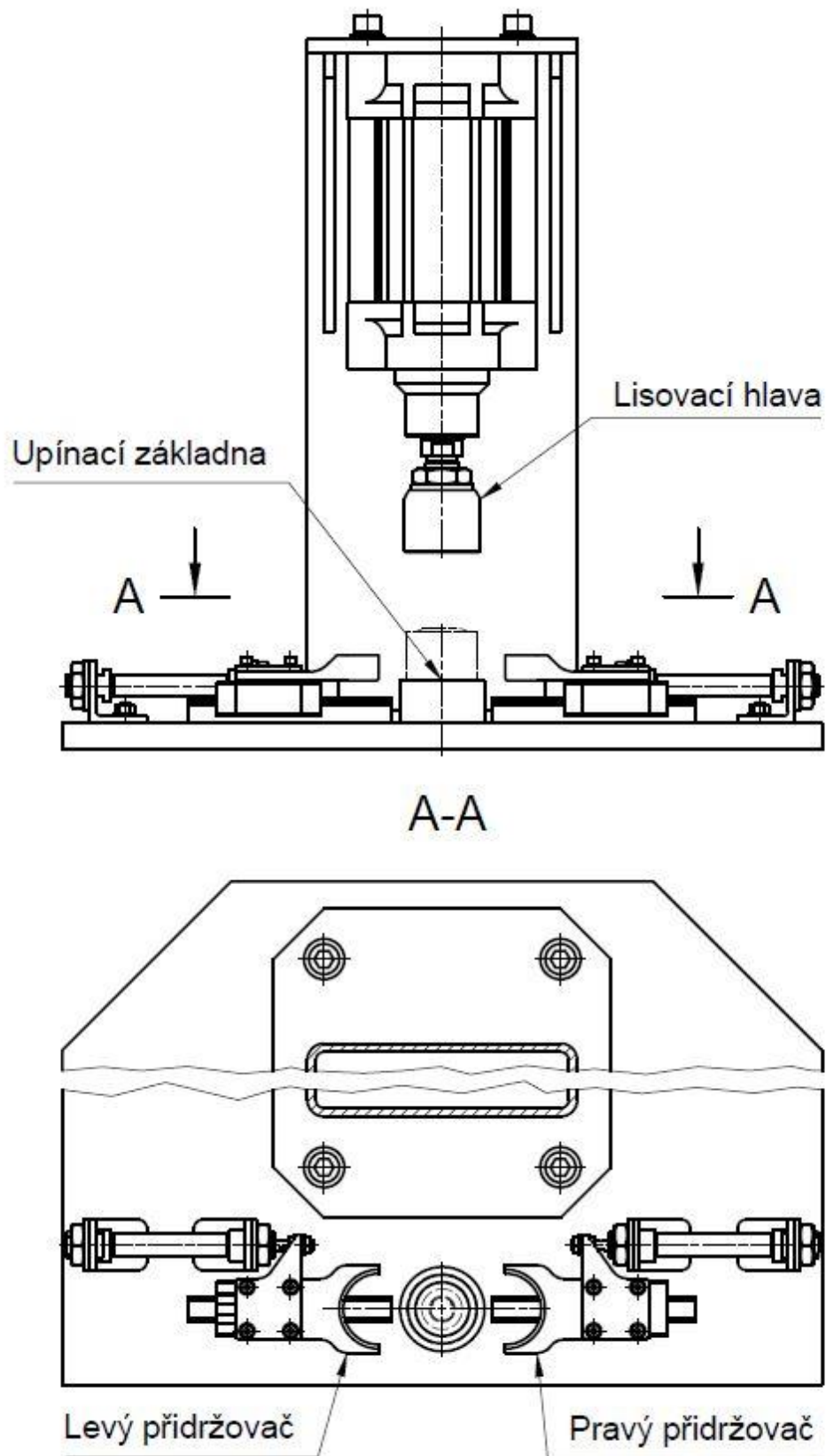
Po založení sestavy dojde k přiblížení obou přídržovačů, připevněných na lineárních vedeních a připojených k pneumatickým válcům (DIN ISO 6432). Jejich úkolem je vytvoření vnitřní válcové plochy, do které je potom robotem založen plášť sklíčidla. Tím je zajištěno, že se sklíčidlo, plášť i lisovací hlava nacházejí v jedné ose.

Posledním úkonem je zalisování pláště. To je provedeno lisovací hlavou připevněnou na pneumatickém válci (ISO 15552) s průměrem pístu 100 mm a zdvihem 50 mm s vysouvací silou až 4713 N. Po zalisování se lisovací hlava i přídržovače vrátí do výchozí pozice a hotové sklíčidlo je odebráno robotem z lisovací stanice.

Jako u předchozích stanic jsou i zde lineární vedení zvolena z nabídky výrobce HIWIN a pneumatické válce od společnosti Stránský a Petržík. [24], [25]



Obr. 32) Lisovací stanice

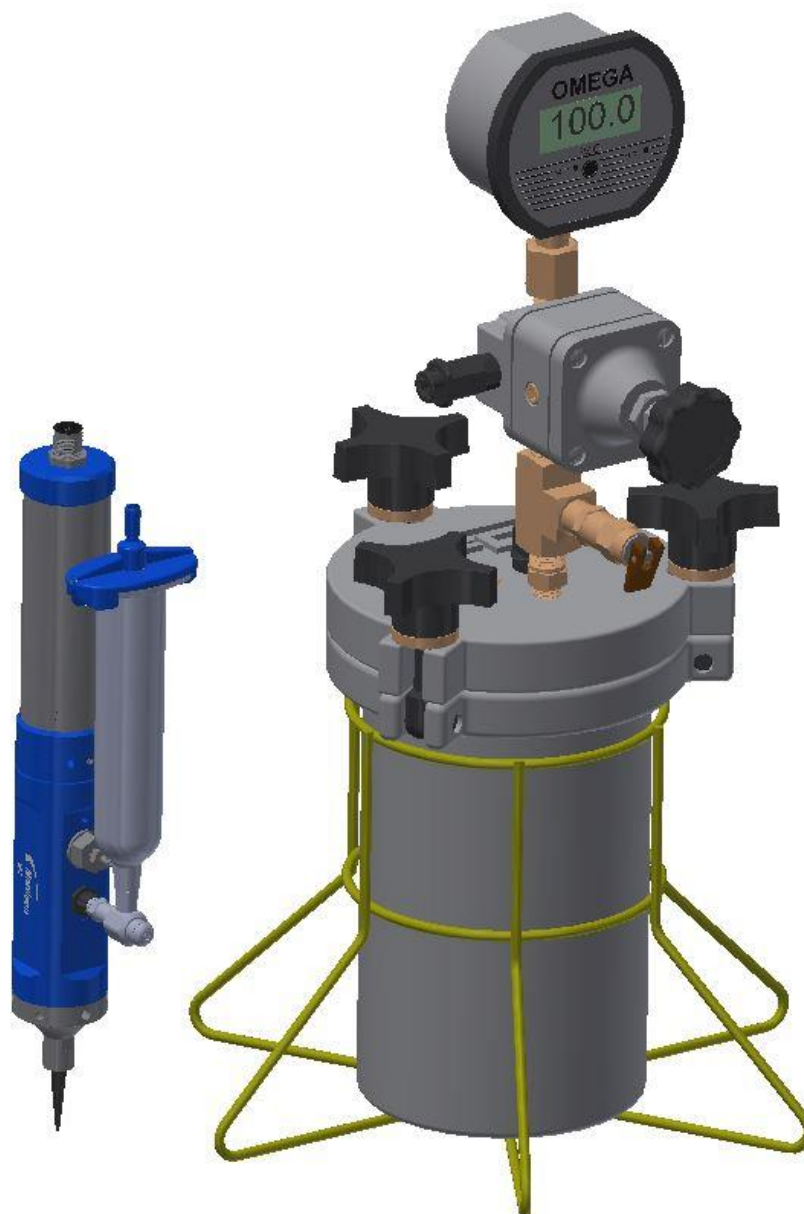


Obr. 33) Schéma LS

6.5 Mazací stanice

Tato stanice (Obr. 34) má za úkol vykonávat operaci 2, tedy aplikaci maziva na čelist před jejím založením do pouzdra. Jednotlivé komponenty této stanice, jsou vybrány z nabídky výrobce NORDSON EFD, který se specializuje na zařízení pro aplikaci tekutin. [26]

První komponentou je řízený dávkovač, který je připevněn k rámu a najíždí pod něj robot s čelistí. Potom dojde v relativně krátkém čase k nanesení maziva a robot může pokračovat v další operaci. Doplnění dávkovače mazivem zajišťuje zásobník s tlakovým regulátorem, který má dostatečně velkou zásobu maziva pro nepřerušovaný chod robotické buňky. Ten je pravidelně doplňován při kontrole a údržbě pracoviště. Součástí tohoto vybavení je i speciální HW a SW dodávaný výrobcem. [26]



Obr. 34) Mazací stanice

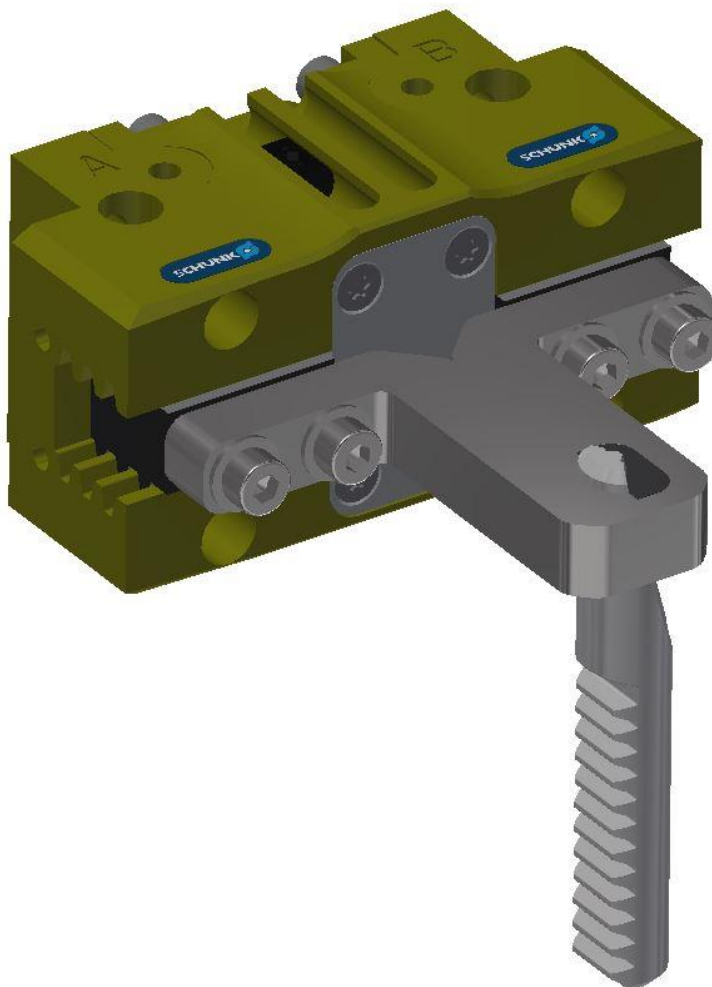
6.6 Uchopovač 1

Pro zakládání čelistí do pouzdra je určen uchopovač 1 (Obr. 35). Jeho základ tvoří pneumaticky ovládané paralelní chapadlo PGN-plus-40-P od výrobce SCHUNK, ke kterému jsou připevněny dvě ocelové čelisti. [8]

V levé čelisti se nachází válcovité vybrání, které zajišťuje přesnou polohu osy manipulované součásti. Na pravé čelisti je vytvořen výřez pro umístění pryže kopírující zkosený profil součásti, která se přizpůsobí složitě tvarovanému povrchu. Pryž zároveň slouží jako kompenzační člen při zakládání čelisti do drážky pouzdra, kterým je možné doladit nepřesnosti.

Problémem této manipulace je nutnost držení čelisti sklíčidla za její nejvyšší část, což je nezbytné pro její správné založení. V nejvyšší části zakládané čelisti je totiž pouze malá část mezikruží. Zbytek čelisti tvoří zkosený a tvarově složitý povrch. Pokud by byla součást na zkosené straně přitlačována ocelovou čelistí chapadla, došlo by k rozkladu sil tak, že by přitlačná síla zároveň způsobovala vytlačení součásti z čelistí. To je hlavním důvodem využití výše zmíněné pryže jako elastického elementu.

Funkčnost tohoto řešení byla ověřena na modelu vytvořeném 3D tiskem, který je vyobrazen na fotografii v příloze.



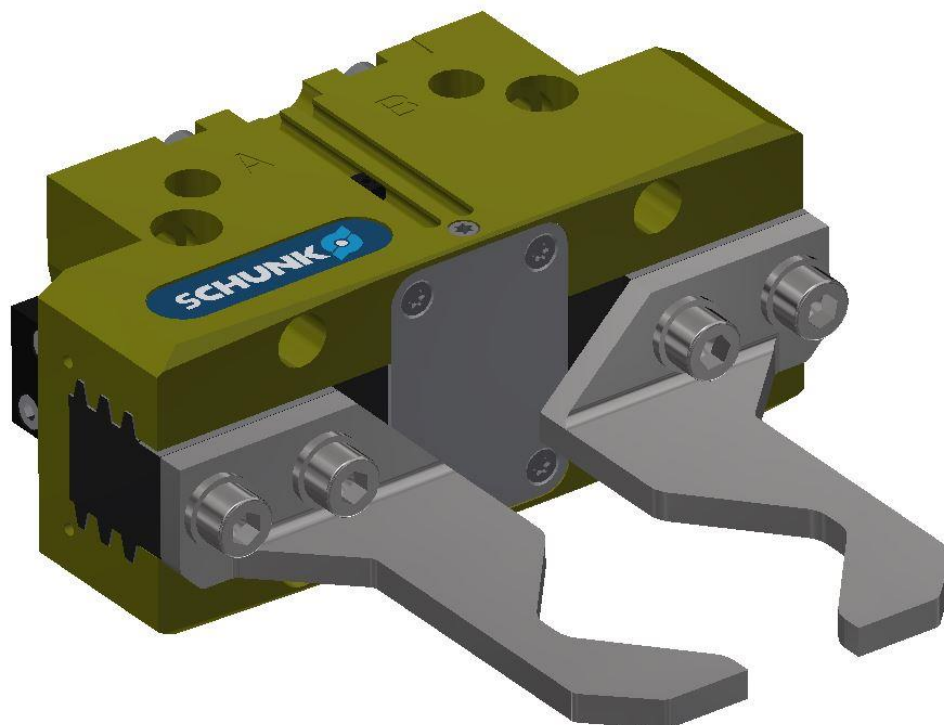
Obr. 35) Uchopovač 1 s čelistí

6.7 Uchopovač 2

Protože zbývající součásti jsou válcovitého tvaru, je pro ně navržen jeden společný uchopovač. Základnou je v tomto případě pneumatické paralelní chapadlo PGN-plus-100-P z nabídky výrobce SCHUNK. [8]

Díky prizmatickému provedení stykových ploch čelistí jsou válcovité součásti vždy vycentrovány. Zároveň je použitelný i pro manipulaci s jednotlivými polovinami závitového kroužku. V tomto případě je válcovitá část také správně vycentrována a kontaktem s hranami poloviny kroužku dojde i ke správnému natočení části kroužku.

Toto řešení bylo výpočtově ověřeno v návrhovém nástroji výrobce SCHUNK z hlediska zatížení efektoru i třecích sil mezi součástmi a čelistmi. Samotná geometrie čelistí byla prakticky ověřena s využitím modelu. Stejně jako u předchozího uchopovače se jeho fotografie nacházejí v příloze. [27]



Obr. 36) Uchopovač 2

7 KONCEPT ROBOTICKÉHO PRACOVISTĚ

Cílem této kapitoly je navrhnout uspořádání všech potřebných výrobních a manipulačních prostředků tak, aby vznikla robotická buňka, ve které bude probíhat celý proces montáže vrtačkového sklíčidla. Proto je v této kapitole navrženo několik variant řešení, které jsou vzájemně porovnávána a následně vyhodnocena.

7.1 Prvky pracoviště

Nejdříve je potřeba určit, jaké prvky budou součástí pracoviště. Co se týká výrobních zařízení, tak jsou rozebrána v předchozí kapitole. Dalším prvkem je jeden nebo více robotů, jehož úkolem jsou jak výrobní, tak manipulační operace. Pro zajištění materiálového toku je ještě nutné navrhnout další manipulační prostředky pro přísun materiálu a výstup hotových sklíčidel z pracoviště.

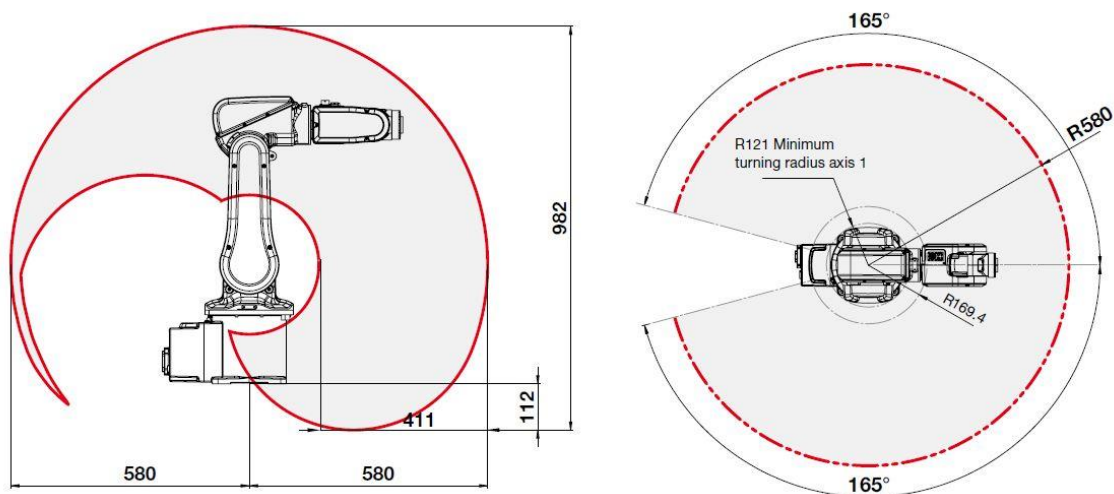
Pro přísun čelistí bude využito systému výměnných palet označených zkratkou P1. U nich je totiž potřeba zajistit před odebráním robotem správnou polohu a orientaci. Pro ostatní součásti bude využito dopravníků. Pro dopravu pouzdra bude použit dopravník D1, pro části závitových kroužků D2, pro plášť D3 a na expedici hotových sklíčidel dopravník D4.

Z těchto výše uvedených prvků je již možné vytvářet různé koncepce robotického pracoviště. Dalšími prvky, jako jsou například statické konstrukce nebo oplocení, se bude zabývat až následující kapitola pro konkrétní vybranou variantu.

7.1.1 Výběr robotu

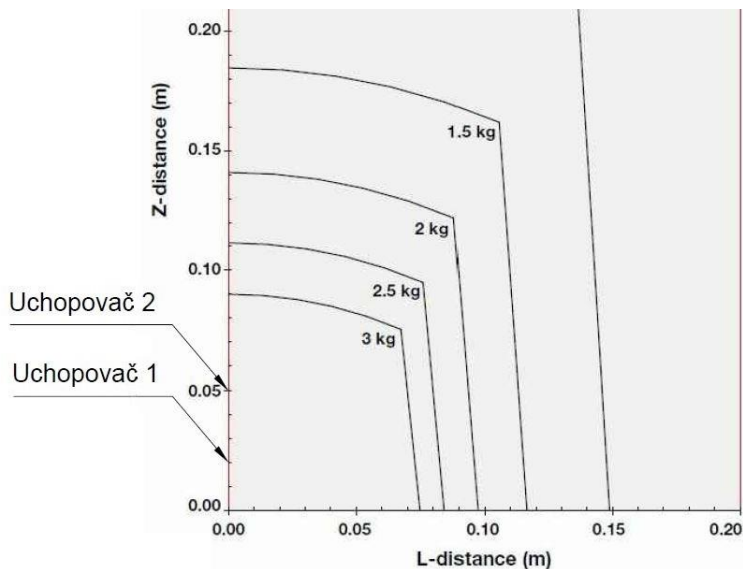
Hlavními kritérii pro volbu robotu jsou jeho zatížení, dosah a aplikace, ve které bude využit. Zatížení je dáno hmotnostmi a momenty setrvačnosti koncových efektorů a manipulovaných součástí a požadavky na dynamiku robotu. Dosah v tomto případě vychází z velikosti a rozmístění prvků v robotické buňce. Co se týká aplikace, tak je potřeba zvolit správný typ robotu z hlediska jeho konstrukčního provedení, zejména počtu os.

Od výrobce průmyslových robotů ABB byl pomocí webového formuláře vybrán robot IRB 120. Požadavkem byl robot vhodný pro montáž, schopný unést hmotnost uchopovače i manipulovaných dílů. V programu AutoCAD bylo 2D návrhem ověřeno, že i dosah robotu (Obr. 37) je z hlediska rozmístění výrobních zařízení dostatečný. [1]



Obr. 37) Dosah robotu IRB 120 [1]

Zatížení robotu bylo zkontrolováno v zátěžovém diagramu. V případě uchopovače 1 je jeho hmotnost včetně uchopené součásti 0,21 kg a vzdálenost těžiště k přírubě robotu 21 mm. U uchopovače 2 je nejtěžší nesenou součástí smontované sklíčidlo. V tomto případě je celková hmotnost 1,7 kg a vzdálenost těžiště od příruby robotu 49 mm. Toto zatížení je pro zvolený robot zcela vyhovující (Obr. 38). [1]



Obr. 38) Zátěžový diagram robotu IRB 120 [1]

7.2 Simulace výrobních operací

Pro návrh variant a jejich vyhodnocení je nejdříve výhodné provést počáteční simulace. Ty umožňují navrhnout a zkontrolovat správné umístění výrobních prostředků. Dalším získaným poznatkem jsou časy výrobních operací. Pro tyto účely je využit software RobotStudio, který umožňuje realistické simulace a offline programování robotů od společnosti ABB. [28]

V tabulce 2 jsou vypsány všechny výrobní operace s časy jejich trvání, které byly simulací získány. Přestože jsou tyto časy závislé zejména na konkrétním uspořádání robotické buňky, tak je lze brát jako přibližné hodnoty pro plánování pracovního cyklu u různých variant pracovišť. Dále jsou v tabulce uvedeny pracovní stanice a manipulační zařízení, které jsou v dané operaci využity.

Název operace	Stanice	Manipulační zařízení	Čas [s]
Založení pouzdra	ZS1	D1	8
Mazání a zakládání čelistí	MZ/ZS1	P1	50
Vyskládání kroužků	ZS2	D2	17
Založení sestavy 1	ZS1/ZS2	-	16
Zakládání kroužků	ZS2	-	7
Založení sestavy 2	ZS2/LS	-	15
Založení pláště	LS	D3	11
Lisování	LS	-	5
Odebrání sklíčidla	LS	D4	13

Tab 2) Výrobní operace s časy

7.3 Varianty pracovišť

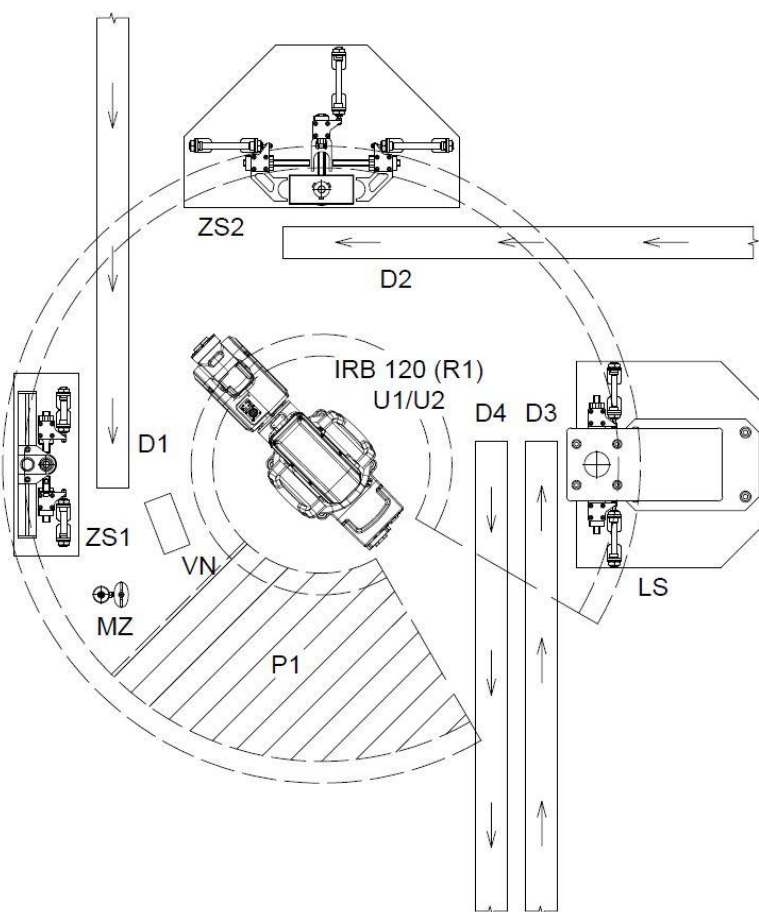
Prvky pracoviště je dále potřeba vhodně rozmístit. Jejich základní poloha vychází z provedených simulací, nicméně lze vytvořit více variant pracovišť. Zejména je možné ve variantách robotických buněk využít různý počet robotů.

Součástí každé varianty je návrh rozmístění všech výrobních a manipulačních prvků a také popis pracovního cyklu s časovou analýzou.

7.3.1 Varianta A

Nejjednodušší řešení představuje varianta A. Ta je tvořena jedním robotem, kolem kterého jsou po 90° rozmístěny výrobní stanice. Zóna P1 je určena na umístění systému automatizovaných palet pro čelisti sklíčidla. Všechny dopravníky jsou umístěny do blízkosti stanic, ke kterým dopravují materiál. Součástí této varianty je i systém automatické výměny koncového efektoru robotu.

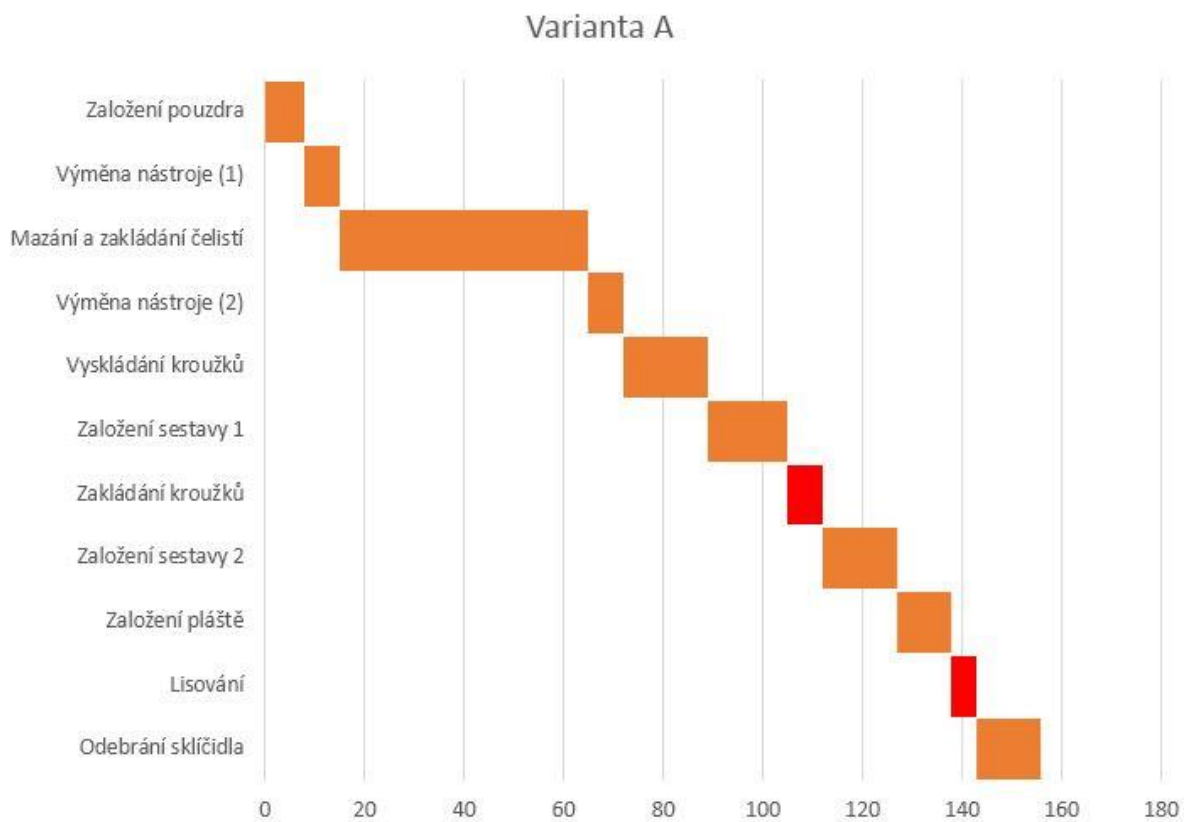
Pracovní cyklus této varianty je popsán v tabulce 3. Časy operací vycházejí ze simulací (viz předchozí strana) a čas výměny nástroje byl odhadnut na 7 s. Právě tato výměna představuje významné prodloužení pracovního cyklu, který je v tomto případě 156 s.



Obr. 39) Varianta A

Operace	Robot	Stanice	Dopravník paleta	Začátek	Konec	Doba operace (s)
Založení pouzdra	R1	ZS1	D1	0	8	8
Výměna nástroje (1)	R1	VN	-	8	15	7
Mazání a zakládání čelistí	R1	MZ/ZS1	P1	15	65	50
Výměna nástroje (2)	R1	VN	-	65	72	7
Vyskládání kroužků	R1	ZS2	D2	72	89	17
Založení sestavy 1	R1	ZS1/ZS2	-	89	105	16
Zakládání kroužků	-	ZS2	-	105	112	7
Založení sestavy 2	R1	ZS2/LS	-	112	127	15
Založení pláště	R1	LS	D3	127	138	11
Lisování	-	LS	-	138	143	5
Odebrání sklíčidla	R1	LS	D4	143	156	13

Tab 3) Pracovní cyklus varianty A



Obr. 40) Časová analýza varianty A

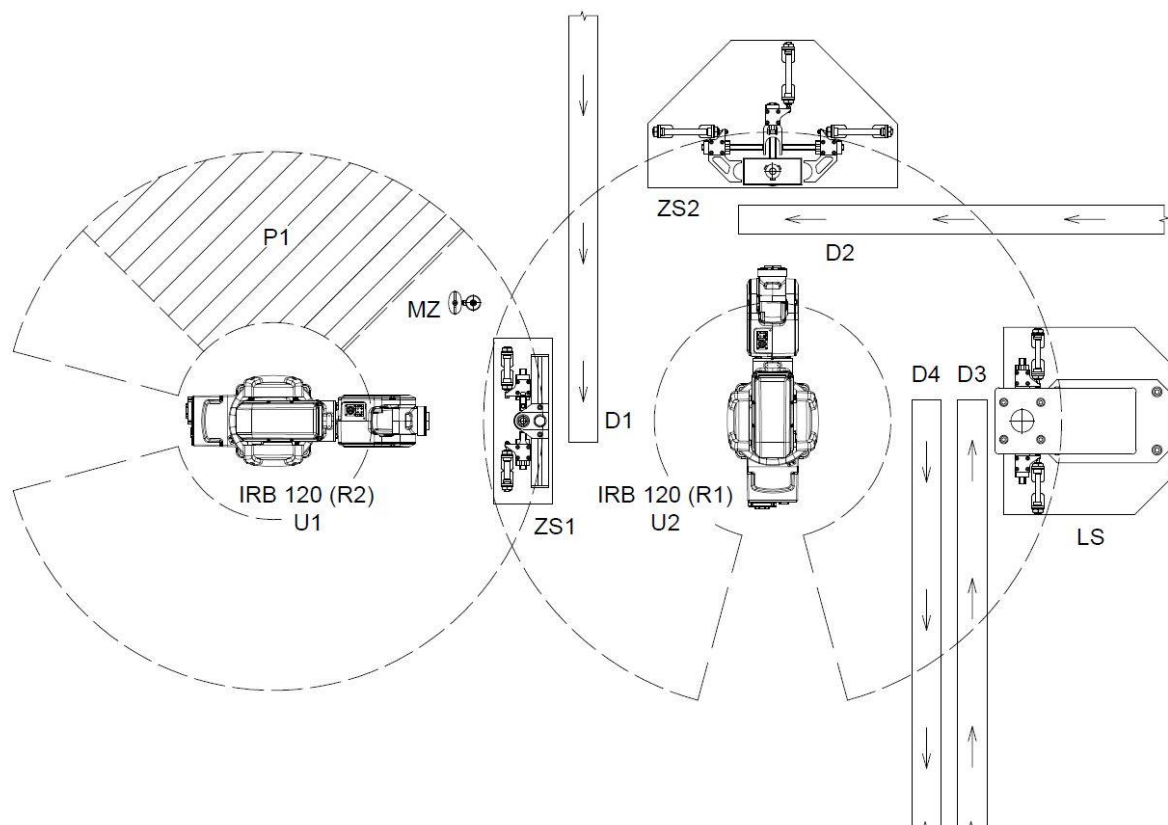
7.3.2 Varianta B

Varianta B představuje rozšíření předchozí varianty o jeden robot a využívá možnosti obsluhovat zakládací stanici 1 ze dvou stran. První výhodou tohoto řešení je odpadnutí výměny nástroje. Každý robot využívá pouze jeden koncový efektor. To představuje podstatné snížení doby pracovního cyklu.

Vzhledem k tomu, že roboty mohou pracovat současně, tak i to způsobí snížení pracovního času. Ze simulací vyplývá, že nejdelší operací je mazání a zakládání čelistí. Tuto činnost bude vykonávat robot 2 vybavený uchopovačem 1. Zbytek operací vykonává robot 1 s uchopovačem 2.

Výsledný pracovní cyklus je popsán v Tab. 4 a vyobrazen na Obr. 42. Operace vykonávané robotem 1 jsou vyznačeny oranžovou barvou, robotem 2 zeleně. Červeně jsou pak označeny časy, u kterých jsou v chodu výrobní stanice samostatně. Co se týká vytížení robotů, tak robot 1 je v chodu po celou dobu cyklu s výjimkou doby, kdy dochází k nalisování pláště. Nevýhodou tohoto řešení je právě nízké vytížení robotu 2, který pracuje zhruba pouze polovinu cyklu.

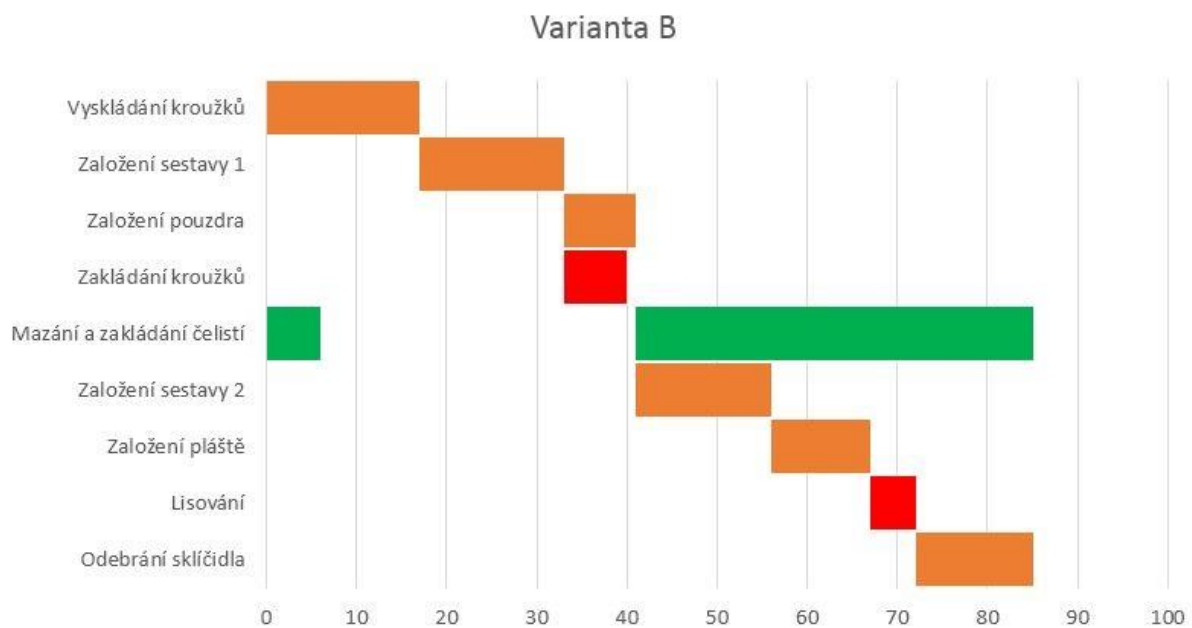
Celkový čas jednoho pracovního cyklu této robotické buňky je 85 s, což představuje přibližně 55 % času ve srovnání s variantou A. U této varianty je potřeba počítat se zvýšením ceny pracoviště o jeden robot, ale na druhou stranu je zde úspora nákladů na výměnu nástrojů.



Obr. 41) Varianta B

Operace	Robot	Stanice	Dopravník paleta	Začátek	Konec	Doba operace (s)
Vyskládání kroužků	R1	ZS2	D2	0	17	17
Založení sestavy 1	R1	ZS1/ZS2	-	17	33	16
Založení pouzdra	R1	ZS1	D1	33	41	8
Zakládání kroužků	-	ZS2	-	33	40	7
Mazání a zakládání čelistí	R2	MZ/ZS1	P1	41	91	50
Založení sestavy 2	R1	ZS2/LS	-	41	56	15
Založení pláště	R1	LS	D3	56	67	11
Lisování	-	LS	-	67	72	5
Odebrání sklíčidla	R1	LS	D4	72	85	13

Tab 4) Pracovní cyklus varianty B



Obr. 42) Časová analýza varianty B

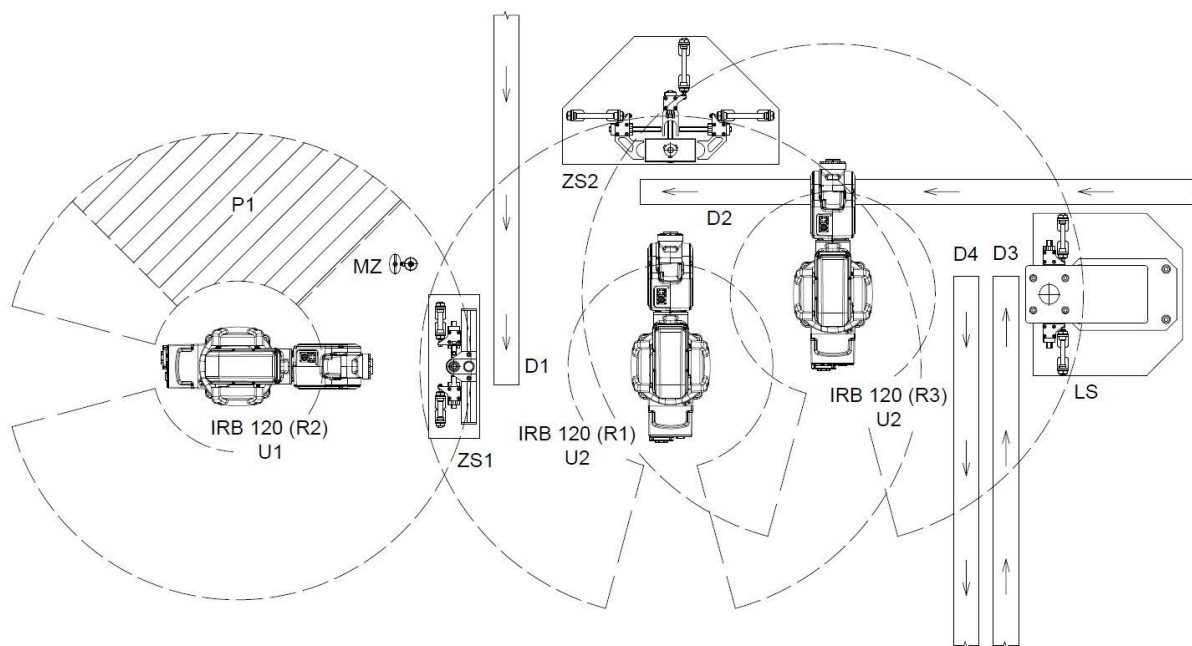
7.3.3 Varianta C

Hlavní nevýhodou varianty B se ukázal velký rozdíl ve vytížení mezi roboty. Řešení této nevýhody představuje varianta C (Obr. 43). Přidáním třetího robotu jsou operace, které vykonával v předchozí variantě robot 1, rozděleny mezi dva roboty.

V tomto pracovišti je úloha robotu 2 stejná jako v předchozím případě. Úkolem robotu 1 je vyskládat závitové kroužky do ZS2, což představuje druhou nejdelší operaci a také zajišťovat manipulaci se součástmi u stanic ZS1, ZS2 a dopravníků D1, D2. Přidaný třetí robot pak zajišťuje manipulaci s montážní sestavou mezi ZS2 a LS a obsluhu dopravníků D3, D4.

V Tab. 5 je sestaven pracovní cyklus tohoto řešení. V časové analýze na Obr. 44 je pak cyklus graficky znázorněn. Barevné provedení se shoduje s předchozími případy, třetí robot je vyznačen modře. Toto řešení tedy vede ke snížení doby pracovního cyklu na 74 s.

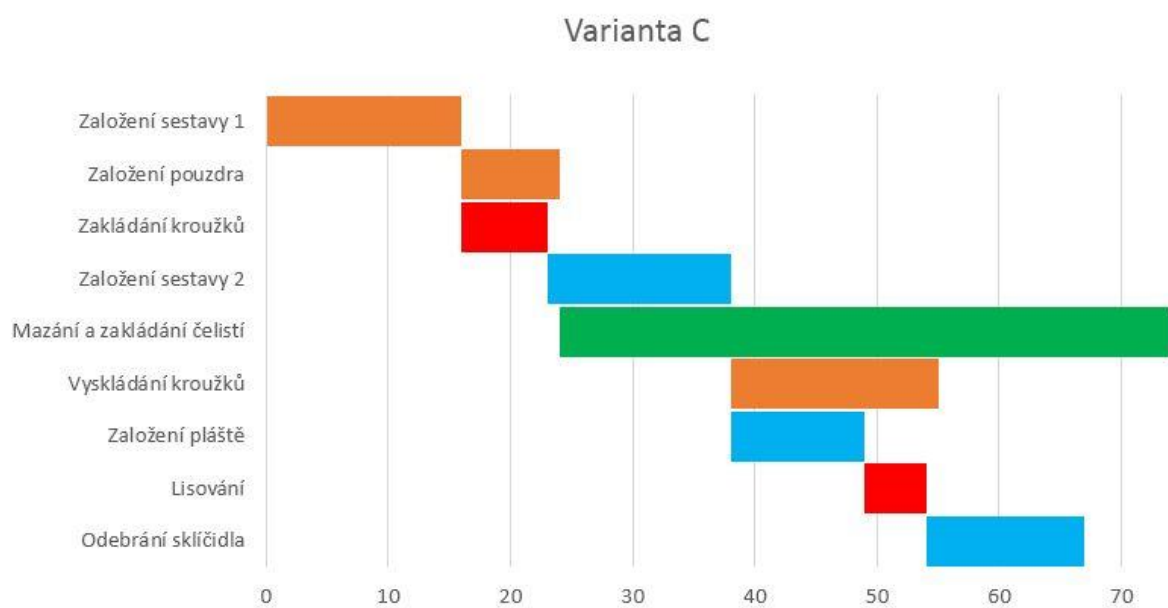
Přidáním třetího robotu dojde k navýšení pořizovací ceny, jedná se tedy o nejdražší navrhnoutou variantu. Na druhou stranu je tato varianta rychlejší 2,1krát než varianta A a 1,1krát než varianta B. Ve srovnání s variantou B nebylo přidáním třetího robotu dosaženo významného zrychlení pracovního cyklu.



Obr. 43) Varianta C

Operace	Robot	Stanice	Dopravník paleta	Začátek	Konec	Doba operace (s)
Založení sestavy 1	R1	ZS1/ZS2	-	0	16	16
Založení pouzdra	R1	ZS1	D1	16	24	8
Zakládání kroužků	-	ZS2	-	16	23	7
Založení sestavy 2	R3	ZS1/LS	-	23	38	15
Mazání a zakládání čelistí	R2	MZ/ZS1	P1	24	74	50
Vyskládání kroužků	R1	ZS2	D2	38	55	17
Založení pláště	R3	LS	D3	38	49	11
Lisování	-	LS		49	54	5
Odebrání sklíčidla	R3	LS	D4	54	67	13

Tab 5) Pracovní cyklus varianty C



Obr. 44) Časová analýza varianty C

7.4 Vyhodnocení a výběr varianty

Z výše uvedených variant je třeba vybrat jednu, která bude dále realizována. Prvním hodnotícím kritériem je dostatečná výrobnost dané varianty, která musí být stejná nebo vyšší než u ručního pracoviště. V rámci vzájemného porovnání je dále využito průměrného vytížení robotů jako ukazatele výrobní efektivity pracoviště.

V kapitole 2 byla doba pracovního cyklu ručního pracoviště stanovena na 90 s. Pokud budeme uvažovat 3 směnný provoz s čistým časem montáže 21 hodin denně, bude denní produkce 840 sklíčidel.

Robotické pracoviště bude běžet téměř nepřetržitě, na údržbu a jako rezerva pro opravy poruch je pro výpočet výrobnosti stanovena 1 hodina denně. Čistý čas montáže tedy bude 23 hodin.

V následující tabulce jsou porovnávány výrobnosti všech variant za výše stanovených podmínek a průměrné vytížení robotů, které vychází z časové analýzy jako poměr mezi časem kdy robot vykonává výrobní operace a celkovým časem výrobního cyklu.

Pracoviště	Denní produkce [ks/den]	Plnění denní produkce	Průměrné vytížení robotů [%]
Ruční montáž	840	Ano	-
Varianta A	530	Ne	83
Varianta B	974	Ano	76
Varianta C	1118	Ano	59

Tab 6) Porovnání pracoviště

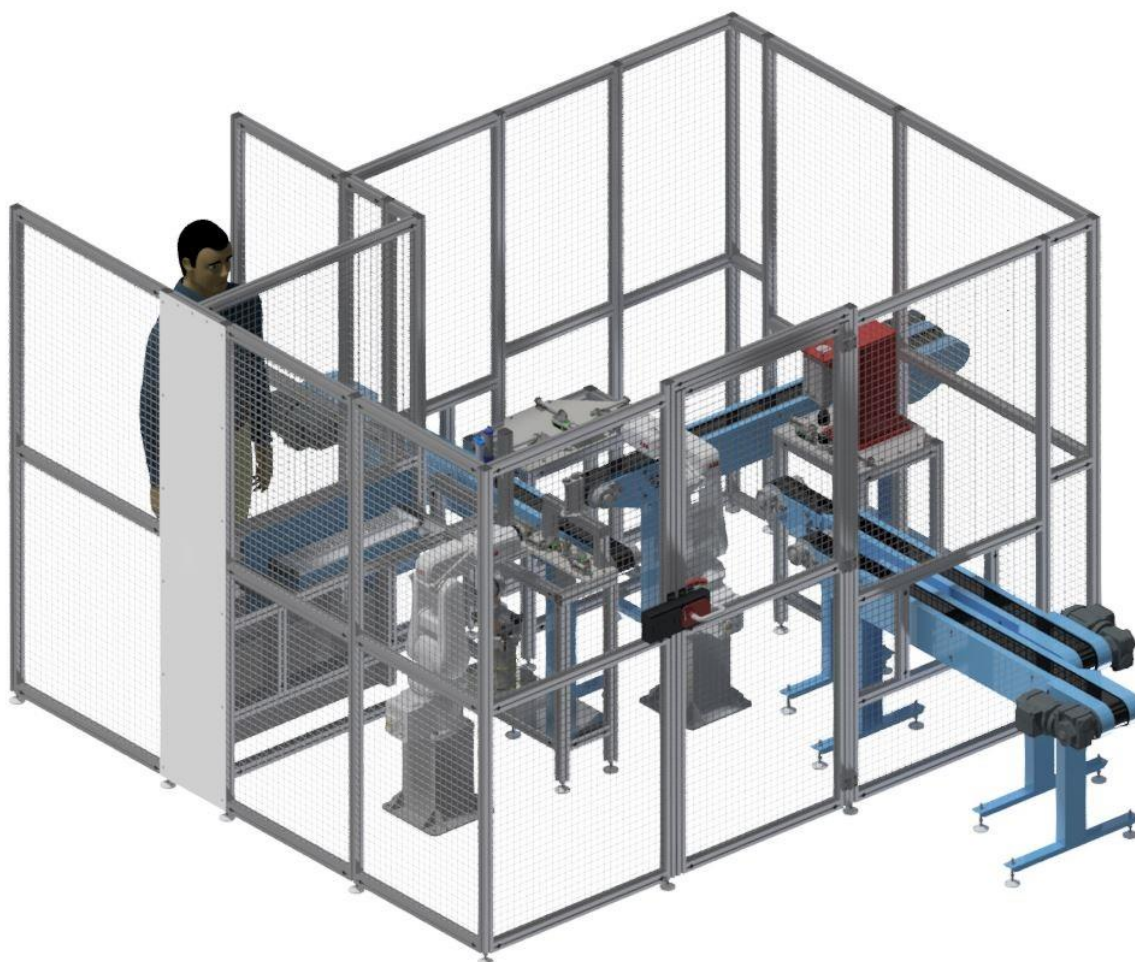
V Tab. 6 je vidět, že u varianty A je denní produkce sklíčidel nižší než v případě ruční montáže. Varianty B a C tento požadavek splňují. Při porovnání variant B a C z hlediska průměrného vytížení robotů se ukazuje, že varianta B je efektivnější. Varianta C navíc představuje významně dražší řešení. Z těchto důvodů je v tomto případě jako nejvhodnější pracoviště zvolena varianta B.

8 TVORBA ROBOTICKÉHO PRACVIŠTĚ

Na základě koncepce vybrané varianty z předchozí kapitoly byl v programu Autodesk Inventor vytvořen model pracoviště (Obr. 45). Tato kapitola popisuje jak samotnou robotickou buňku, tak jednotlivá zařízení, která jsou její součástí a nebyla popsána v předchozích kapitolách. Jedná se o dopravní zařízení, nosné konstrukce a oplocení. Součástí přílohy je výkres layoutu pracoviště a model ve formátu step.

Protože se tato práce zabývá pouze montážním pracovištěm bez přesného kontextu celé výroby, jsou dopravníky ukončeny nedaleko za oplocením. Jejich přesná podoba a návaznost na další pracoviště by tedy záležela na konkrétních souvislostech.

Výměna palet s čelistmi sklíčila je zde řešena lidskou obsluhou. To je pouze jedna z možností, která by podobně jako u dopravníků závisela na širších souvislostech. Proto nelze u těchto míst s návazností na další pracoviště jednoznačně stanovit nejlepší řešení.



Obr. 45) Model robotického pracoviště

8.1 Dopravníky

Součástí robotické buňky jsou 4 pásové dopravníky. Na obr. 46 je vyobrazen dopravník 1, který slouží k dopravě pouzdra sklíčidla k zakládací stanici 1. Ostatní využití dopravníky jsou stejné konstrukce, liší se pouze svou výškou, která je dána použitými nohama. Ty lze zejména z důvodu montáže pracoviště snadno namontovat k rámu dopravníku. V případě dopravníku 4 je ze zástavbových důvodů motor uchycen na opačné straně rámu.

Základem rámu je svařenec se dvěma U profily, ve kterém jsou zasazeny válečky. Na jedné straně dopravníku je umístěn elektromotor s převodovkou od společnosti SEW Eurodrive, který pohání hnací válec. Na druhé straně dopravníku je napínací zařízení, které umožňuje regulovat napnutí pásu. [29]

V částech, kde se dopravník vyskytuje mimo oplocené pracoviště, je dopravník zejména z důvodu ochrany obsluhy zakrytovaný. Místo, které je obsluhováno robotem, je naopak bez krytování, aby bylo robotickým uchopovačem možné odebírat díly z pásu.



Obr. 46) Dopravník 1

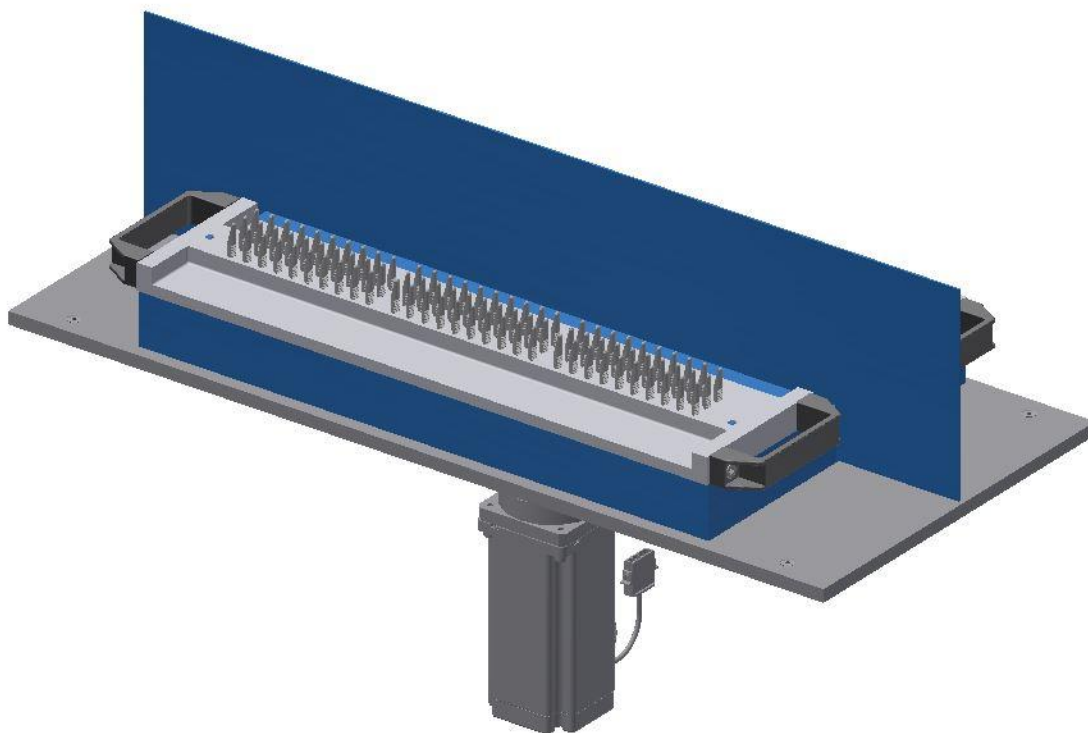
8.2 Systém výměny palet

Pro zásobování pracoviště čelistmi je navržen otočný stůl s výměnnými paletami. Do těchto palet jsou zakládány čelisti s jednoznačnou polohou a orientací, aby je bylo možné obsluhovat robotem. Na jedné paletě je 30 čelistí od každého typu, dohromady tedy 90 čelistí.

Jedna z palet se vždy nachází v robotickém pracovišti a druhou je možné během pracovního cyklu vyměnit, aby docházelo k plynulému zásobování. Když robot celou paletu vyprázdní, je rotační část stolu otočena a pracovní cyklus může plynule pokračovat.

Základem konstrukce je deska připevněná k nosné konstrukci. V desce je uloženo kuželíkové ložisko pro zajištění rotačního pohybu. Otočná část stolu je přes hřídel spojena s ložiskem a navazuje na krokový motor z nabídky společnosti RAVEO, který je připevněn pod deskou. Motor zajišťuje polohování otočného stolu při výměně palet. [30]

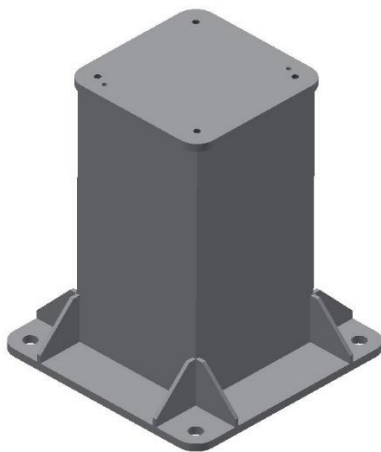
Na otočném stole jsou umístěny palety. Jejich správná poloha je zajištěna kolíky na stole. Kolíky jsou umístěny asymetricky, aby nedošlo ke špatné orientaci palety při chybě pracovníka. Pro snadnou manipulaci jsou palety vybaveny madly.



Obr. 47) Systém výměny palet

8.3 Podstavec pod roboty

Pro správné výškové umístění robotu byl vytvořen podstavec, který je využit pro oba roboty. Jedná se o ocelový svařenec, který má v horní desce čtyři závitové díry pro připevnění robotu. Dále jsou zde ještě dvě díry pro zakolíkovaní. Ve spodní desce jsou vyvrtány čtyři díry pro ukotvení do podlahy.



Obr. 48) Podstavec robotu

8.4 Nosné konstrukce

Pro umístění výrobních zařízení byly zkonstruovány nosné konstrukce. Na Obr. 49 je jako příklad vyobrazen stůl pro zakládací stanici 2. Konstrukce jsou postaveny z hliníkových konstrukčních profilů a příslušenství od společnosti KANYA. [31]



Obr. 49) Stůl zakládací stanice 2

8.5 Oplocení

V rámci zajištění bezpečnosti bylo kolem celého pracoviště navrženo oplocení podle normy ČSN EN ISO 13857. Maximální výška nebezpečného prostoru pracoviště je 1390 a jeho kolmá vzdálenost k plotu 580 mm. Výška plotu byla dle normy stanovena na 2000 mm. [32]

Oplocení je stejně jako nosné konstrukce zkonstruováno z profilů KANYA a vyplněno pletivem. V místech průchodu dopravníku jsou otvory navrženy tak, aby bylo po dopravnících možné přepravovat součásti, ale velikost otvoru zároveň neumožňovala dosah člověka do nebezpečného prostoru. [31]

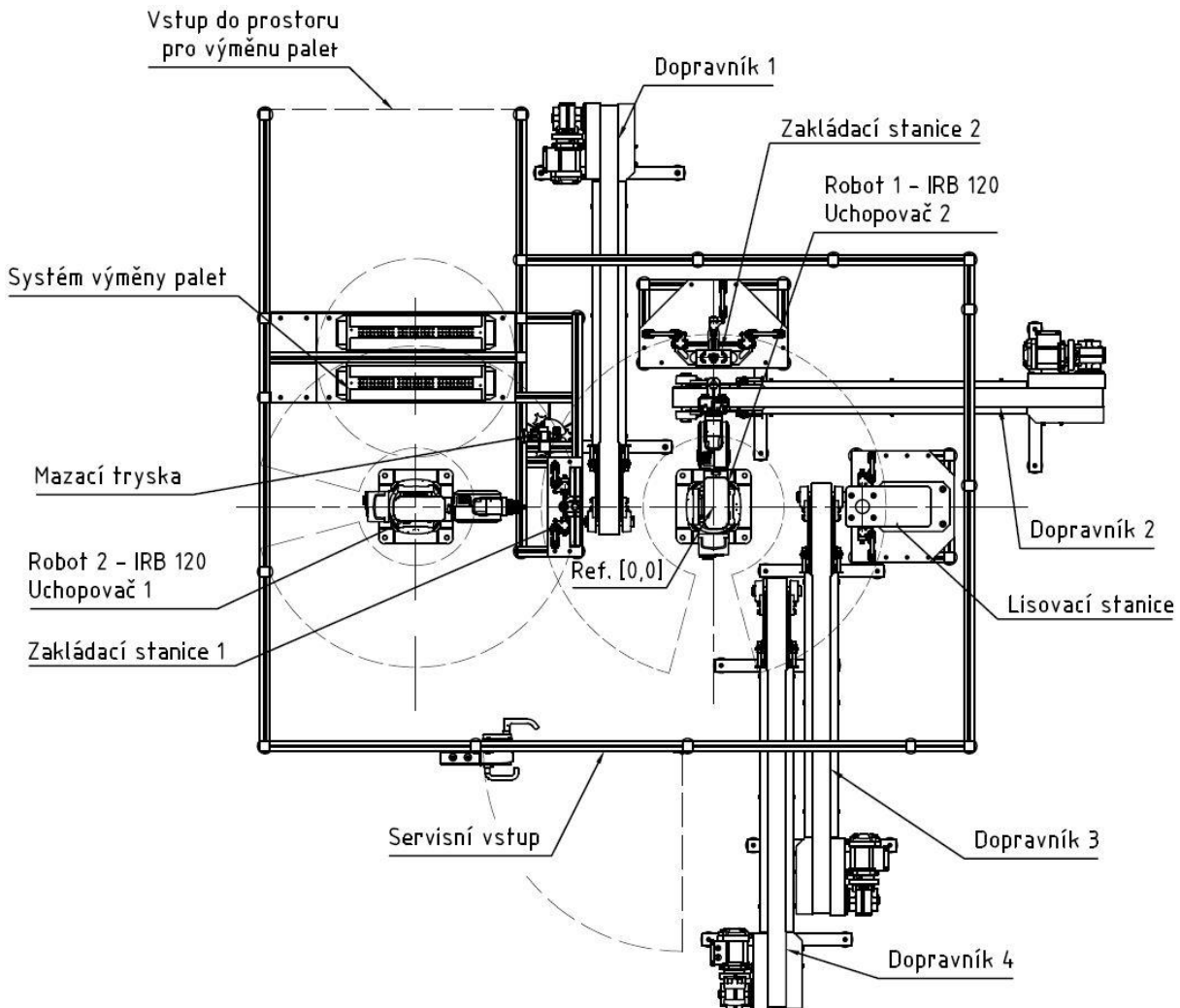
V rámci oplocení je vytvořen i servisní vstup pro údržbu a opravy. Dveře jsou zajištěny bezpečnostním zámkem od výrobce EUCHNER. Tento zámek umožňuje zabránit vstupu do buňky během provozu. Zároveň je ale možné pracoviště nouzově opustit v případě uzavření pracovníka uvnitř buňky. [33]



Obr. 50) Oplocení

8.6 Layout pracoviště

Celkové rozmístění výše zmíněných prvků na pracovišti je zobrazeno na Obr. 51. Robot 1 vybavený uchopovačem 2 obsluhuje všechny tři pracovní stanice a veškeré dopravníky. Robot 2 s uchopovačem 1 odebírá čelisti z výměnného systému palet a po nanesení maziva mazací tryskou je vkládá do pouzdra v zakládací stanici 1 z opačné strany než robot 2. Výměna palet je realizována otočným stolem. Mimo uzavřený prostor robotické buňky jsou pak palety vyměňovány pracovníkem, který se může nacházet v prostoru pro výměnu palet pouze za klidu otočného stolu. Pro údržbu a opravy je zřízen servisní vstup do prostoru pracoviště.



Obr. 51) Layout robotického pracoviště

9 ANALÝZA RIZIK PRACOVIŠTĚ

Aby bylo možné pracoviště bezpečně provozovat, musejí být analyzována všechna možná rizika s tímto provozem spojená. Bezpečnost strojních zařízení se řídí českou technickou normou ČSN EN ISO 12100. Tato norma stanovuje všeobecné zásady pro konstrukci a metodiku pro stanovení a posouzení rizika.

Posouzení rizika začíná určením mezních hodnot pracoviště. Dále je provedena identifikace nebezpečí, odhad rizika a jeho vyhodnocení v rámci celého životního cyklu. Proces snižování rizika poté probíhá opakovací tří-krokovou metodou, dokud není dosaženo přiměřeného snížení rizika. [34]

9.1 Určení mezních hodnot pracoviště

9.1.1 Vymezení používání

Robotizované pracoviště je určeno k automatické montáži vrtačkových sklíčidel. Jeho hlavním provozním režimem je automatický chod, ve kterém je zabráněno všem osobám vstupovat do nebezpečného prostoru. Toto opatření je technicky provedeno oplocením prostoru a uzamčením servisního vstupu. Dopravníky jsou mimo oplocený prostor opatřeny bezpečnostními kryty. V tomto režimu je možné vstupovat do prostoru pro výměnu palet pouze pokud není v pohybu otočný stůl. Tento prostor je pro zabránění neoprávněného vstupu zajištěn kombinací světelné závory a bezpečnostních nášlapných rohoží. Veškeré pracovní úkony mohou být vykonávány pouze proškolenou obsluhou.

V servisním režimu může probíhat pravidelná údržba nebo oprava poruch. Tyto úkony mohou být prováděny pouze kvalifikovaným pracovníkem, který může vstupovat i do nebezpečného prostoru. V tomto režimu není přípustný běh žádného stroje s výjimkou manuálně řízeného pohybu, s výrazně sníženými rychlostmi určenými pro seřizování robotů nebo ostatních zařízení. Ke změnám v řídicím systému, programech robotů, bezpečnostních prvcích atd. jsou oprávněni pouze specializovaní pracovníci dodavatelské společnosti.

9.1.2 Vymezení prostoru

Robotická buňka je součástí průmyslové haly, která je viditelně vymezena jejím oplocením. Dopravníky, které jsou v této buňce využity, tvoří rozhraní s dalšími navazujícími pracovišti. V okolí pracoviště se předpokládá pohyb i ostatních zaměstnanců ve vyznačených koridorech.

9.1.3 Vymezení doby

Životnost jednotlivých zařízení není striktně časově omezena, nicméně se předpokládá postupné snižování jejich výkonu nebo přesnosti vlivem opotřebení. Životnost je tedy možné prodlužovat výměnou komponent.

Pro správnou funkci všech zařízení je třeba dbát na pravidelnou údržbu všech zařízení v souladu s pokyny výrobce. Tím lze efektivně předcházet poruchám i zvýšenému riziku při provozu. Zvýšenou pozornost je třeba věnovat zejména funkci bezpečnostních zařízení.

9.1.4 Ostatní vymezení

Provoz pracoviště probíhá v dílenském prostředí za obvyklých teplot bez zvýšené vlhkosti, prašnosti nebo dalších nestandardních podmínek.

9.2 Identifikace nebezpečí a odhad rizika

9.2.1 Souhrn bezpečnostních prvků a opatření

Již při projektování pracoviště a konstruování příslušných zařízení bylo dbáno na jejich bezpečnou funkci. Cílem analýzy rizik je odhalit, zda jsou provedená opatření dostatečná. Na Obr. 52 jsou vyznačeny použité prvky k zajištění bezpečného provozu.

Oplocení: Oplocení je hlavním bezpečnostním prvkem, který zabraňuje vstupu osob do nebezpečného prostoru.

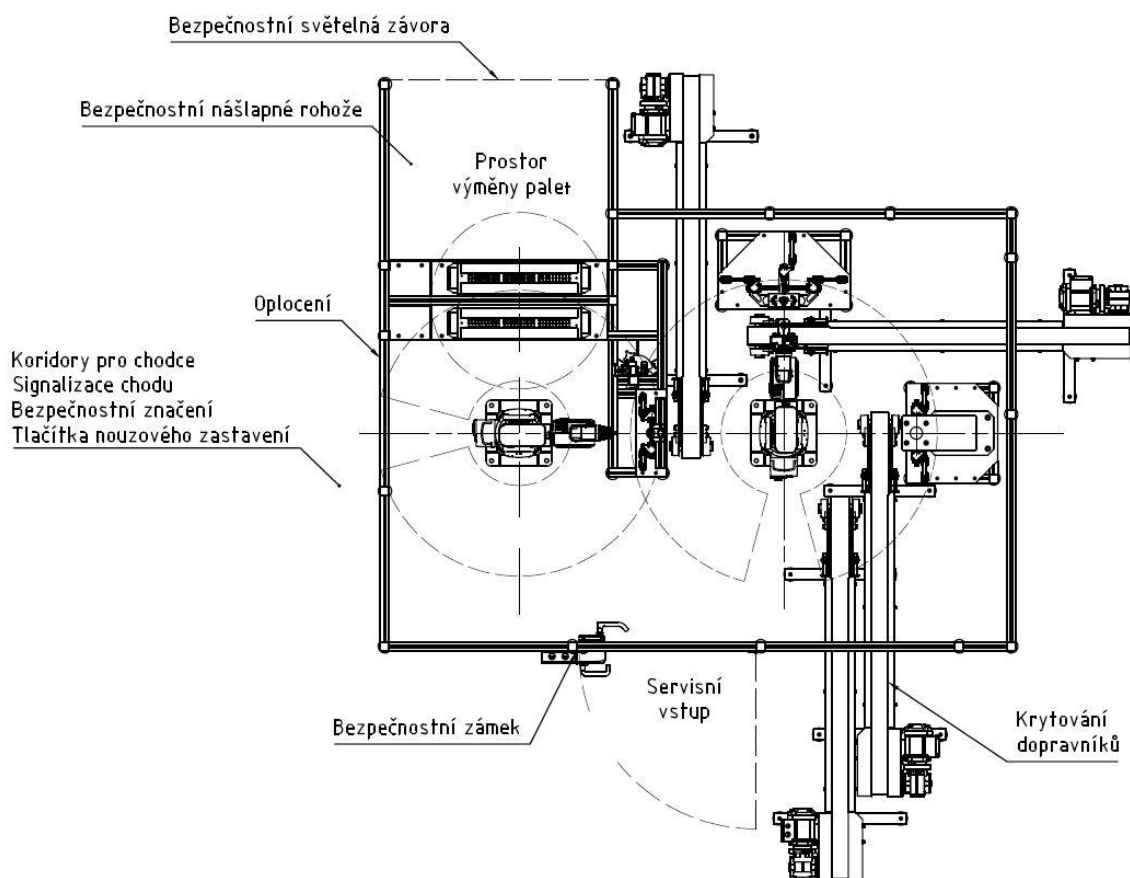
Bezpečnostní zámek: Tímto zámkem jsou za provozu blokovány dveře servisního vstupu. Zároveň umožňuje nouzové opuštění nebezpečného prostoru.

Krytování dopravníků: Toto opatření zabraňuje kontaktu osob s nebezpečnými místy dopravníku jako je např. místo mezi pásem a válci.

Bezpečnostní světelná závora a nášlapné rohože: Těmito prvky je chráněn prostor výměny palet. V případě neočekávaného vstupu do prostoru je zastaven provoz. Světelná závora zabraňuje rychlému vniknutí do prostoru a nášlapné rohože vylučují výskyt osoby v prostoru.

Koridory pro chodce a bezpečnostní značení: Cílem opatření je zajistit pohyb osob pouze v bezpečných prostorech a jejich informovanost o možných nebezpečích.

Signalizace chodu a tlačítka nouzového zastavení: Signalizací je obsluha upozorněna na aktuální stav provozu a vhodně rozmístěnými tlačítky pro nouzové zastavení je v případě nebezpečí možné provoz okamžitě zastavit.



Obr. 52) Bezpečnostní prvky

9.2.2 Parametry odhadu rizika

Přesné parametry odhadu rizika nejsou normou ČSN EN ISO 12100 definovány. Proto je třeba zavést způsob vyhodnocení rizika. Po konzultaci se společností APM Engineering je riziko hodnoceno následujícími parametry. [34] [35]

Fáze životnosti:

N – normální provoz, U – údržba, T – transport, M – montáž, D – demontáž, likvidace

Závažnost:

A – co je chráněno:

1 – majetek, 2 – prostředí, 3 – osoby

B – závažnost zranění nebo poškození zdraví:

1 – lehké (přechodné následky), 2 – těžké (trvalé následky), 3 – smrtelné

C – rozsah poškození:

1 – u jedné osoby, 2 – u několika osob

Pravděpodobnost výskytu poškození:

D – četnost a trvání vystavení osob riziku:

1 – výjimečně, 2 – zřídka (1 x za rok) 3 – málo (1 x za měsíc), 4 – občas (1 x týdně),
6 – často (1 x denně), 7 – asi polovinu směny, 10 – většinu směny

E – Pravděpodobnost výskytu rizikové události:

1 – nepravděpodobná (10 %), 6 - značná (50 %), 10 - vysoká (90 %)

Možnost vyvarování se nebo omezení poškození:

F1 – podle obsluhy strojního zařízení:

1 – bez obsluhy, 2 – osobami kvalifikovanými, 3 – osobami nekvalifikovanými

F2 – podle rychlosti výskytu rizikové události:

1 – pomalá, 2 – rychlá, 3 – neočekávaná

F3 – podle uvědomění si rizikovosti:

1 – pomocí bezpečnostních sdělení, 2 – přímým pozorováním, 3 – všeobecnou informovaností

F4 – podle lidských možností vyvarovat se nebo omezit poškození:

1 – možné, 2 - možné za určitých podmínek, 3 – nemožné

F5 – podle praktických zkušeností a znalostí:

1 – strojního zařízení, 2 - podobného strojního zařízení, 3 - nezkušenost

Výpočet rizika:

Výpočet rizika se provede zvlášť pro každé rizikové místo jako součin hodnotících čísel každého parametru A až F5. Výsledkem je hodnota určující závažnost rizika.

Vyhodnocení rizika:

0: nevyskytuje se

0,1 – 120: velmi dobré

121 – 200: zbytkové riziko (nutné zajistit dodatečné omezení rizika)

201 a více: nevhodné (riziko nelze připustit)

9.2.3 Odhad rizik

Pro identifikaci nebezpečí a odhad jejich rizikovosti byla použita Tab. 7. V rámci celého životního cyklu jsou posouzena všechna rizika vyskytující se v tabulce s použitím hodnotících parametrů uvedených na předchozí straně.

	Riziko (nebezpečný prostor)	Fáze život.	Odhad rizikovosti										Riziko	
			závažnost			pravděpodobnost výskytu					Riziko			
			A	B	C	D	E	F						
								F1	F2	F3		F4		F5
1	Mechanická nebezpečí													0
1.1	Nebezpečí stlačení													0
-	<i>Výrobní zařízení</i>	U	3	2	1	3	1	2	2	2	1	1		144
-	<i>Dveře servisního vstupu</i>	U,M	3	1	1	3	1	2	1	2	1	1		36
1.2	Nebezpečí stříhu													0
1.3	Nebezpečí pořezání nebo uříznutí													0
1.4	Nebezpečí navinutí													0
-	Dopravníky	N,U	3	2	1	2	1	2	2	1	1	2		96
1.5	Nebezpečí vtažení nebo zachycení													0
1.6	Nebezpečí naražení													0
1.7	Nebezpečí bodnutí nebo propíchnutí													0
1.8	Nebezpečí tření nebo odření													0
-	Dopravníky	N,U	3	1	1	2	1	2	2	1	1	1		24
1.9	Nebezpečí vymrštění částí nebo nebezpečí výronu vysokotlaké tekutiny													0
2	Elektrická nebezpečí vyvolaná:													0
2.1	Dotykem osob s živými částmi (přímý dotyk)													0
2.2	Dotykem osob s částmi, které se staly živými vlivem špatných podmínek (nepřímý dotyk)													0
2.3	Přiblížením k živým částem pod vysokým napětím (6kV a více)													0
2.4	Elektrostatickými jevy													0
2.5	Tepelným zářením nebo jinými jevy, jako je odlet roztavených částic a chemické účinky zkratů, přetížení apod.													0
3	Tepelná nebezpečí													0
3.1	Popálení, opaření a jiná zranění při možném kontaktu osob s předměty nebo materiály o velmi vysoké nebo nízké teplotě													0

8.5	Psychické přetížení nebo nedostatečné vyřízení, stres												0
8.6	Chybné jednání člověka, chování člověka												0
8.7	Nevhodná konstrukce, umístění nebo označení ručních ovladačů												0
8.8	Nevhodná konstrukce nebo umístění zobrazovacích jednotek												0
9	Kombinace nebezpečí												0
9.1	Některá individuální nebezpečí, která se zdají nevýznamná, mohou ve vzájemné kombinaci být rovnocenná závažnému nebezpečí												0
10	Neočekávané spuštění, přejetí/překročení rychlosti (nebo podobné selhání) vyvolané												0
10.1	Poruchou/selháním řídicího systému	N,U	3	1	1	1	1	2	3	1	2	2	72
10.2	Obnovou dodávky energie po přerušení												0
10.3	Vnějšími vlivy působícími na elektrické zařízení												0
10.4	Ostatními vnějšími vlivy (gravitací, větrem atd.)												0
10.5	Chybami v softwaru	N,U	3	1	1	1	0,5	2	3	3	3	1	81
10.6	Chybami obsluhy (způsobenými chybným vztahem nebo schopnostmi a vlastnostmi člověka a strojním zařízením)												0
11	Nemožnost zastavení stroje v nevhodnějších podmínkách												0
12	Změna otáček nástrojů												0
13	Porucha dodávky energie												0
14	Porucha řídicího obvodu	N,U	3	1	1	1	0,5	2	3	3	3	1	81
15	Chybná montáž												0
16	Roztržení během provozu												0
17	Pád nebo vymrštění předmětů nebo vystříknutí kapalin												0
18	Ztráta stability/převrácení strojního zařízení	T,M,D	3	1	1	2	1	2	2	1	1	2	48
19	Uklouznutí, zakopnutí a pád osob (v souvislosti se strojním zařízením)	N,U	3	1	1	2	2	2	2	1	1	2	96

Tab 7) Identifikace nebezpečí a odhad rizika

9.3 Hodnocení rizika

V rámci analýzy rizik bylo zjištěno několik rizik, která jsou dle své hodnoty (do 120) považována za přijatelná.

Jediné riziko, u kterého je třeba zavést doplňkové opatření, je mechanické nebezpečí stlačení při údržbě výrobních zařízení. Vzhledem k tomu, že údržbu zařízení může provádět pouze řádně proškolená obsluha, bude toto riziko přiměřeně sníženo přidáním odpovídajících bezpečnostních pokynů v návodu pro údržbu pracoviště.

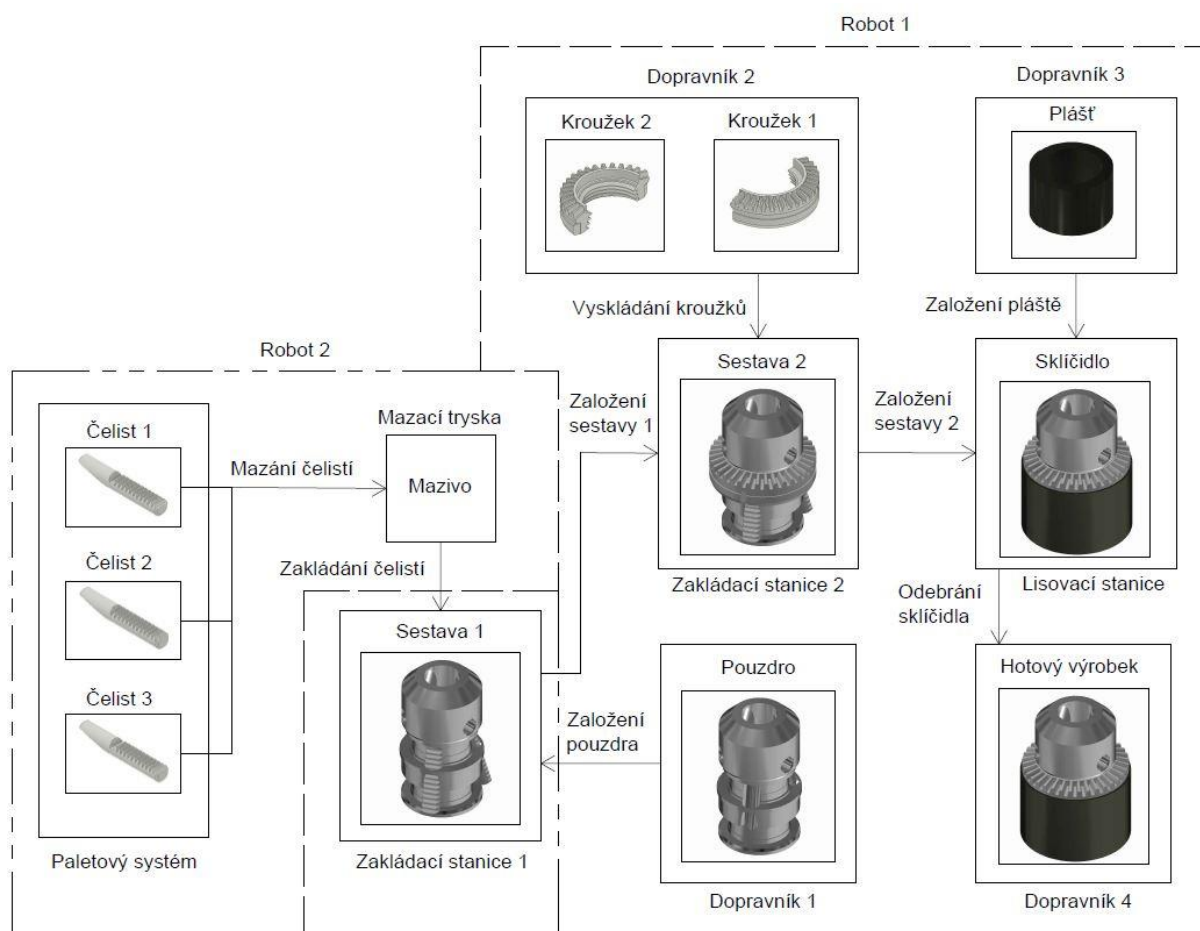
Analýzou rizik nebyla shledána žádná závažná bezpečnostní rizika. Pracoviště je při dodržování všech bezpečnostních opatření vyhodnoceno jako bezpečné.

10 PRACOVNÍ CYKLUS ROBOTICKÉ BUŇKY

K modelu robotizovaného pracoviště byl vytvořen také simulační model v programu RobotStudio. Ten vychází z dílčích simulací z kapitoly 7, přičemž operace jsou vykonávány v pracovních cyklech a také je simulován souběžný provoz obou použitých robotů. Z hlediska komponent a jejich rozmístění je simulační model totožný s CAD modelem. To umožňuje kontrolu, že mezi roboty a ostatními prvky nedochází v průběhu pracovního cyklu ke kolizním stavům. Video simulace je součástí elektronické přílohy.

Dalším důležitým aspektem tohoto kompletního modelu je optimalizace rychlosti a drah pohybu robotů. Tím je možné zvýšit efektivitu pracoviště ve srovnání s původním konceptem. Zároveň byla testována součinnost obou robotů.

Na Obr. 53 je zobrazen materiálový tok mezi výrobními a dopravními zařízeními. V obrázku jsou také zachyceny veškeré manipulační operace, které jsou v programech robotů použity. Z těchto jednotlivých operací se poté skládá celkový pracovní cyklus.



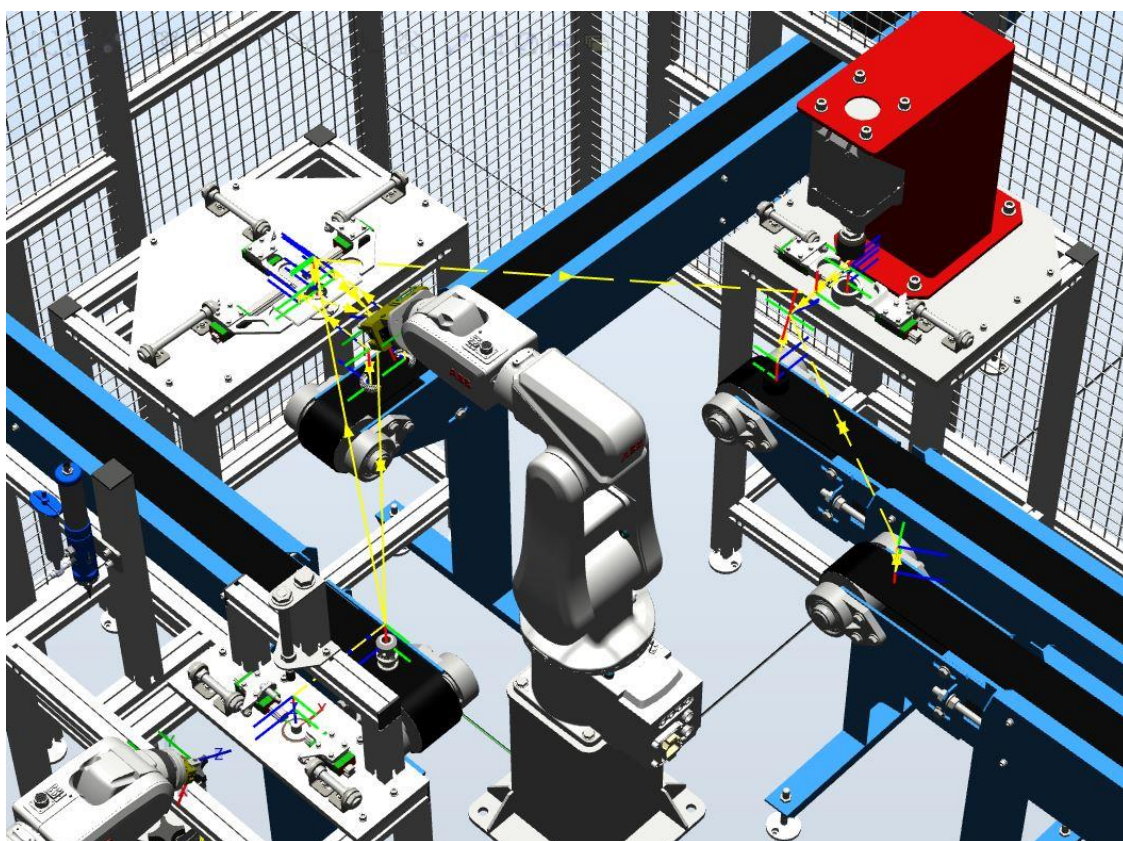
Obr. 53) Materiálový tok

10.1 Robot 1

Robotem 1 jsou obsluhovány všechny výrobní stanice i dopravníky (Obr. 54). První operací je vyskládání kroužků z dopravníku D2 na montážní rovinu stanice ZS2. Poté je do této stanice přemístěna sestava 1 ze stanice ZS1. Do ZS1 je následně založeno pouzdro. Mezitím dojde v ZS2 k přitlačení kroužků k sestavě 1, čímž vzniká sestava 2. Ta je přemístěna do lisovací stanice. Pak dojde k založení pláště z dopravníku D3 a samotnému lisování. Nakonec je hotová sestava vrtačkového sklíčidla položena robotem na dopravník a přepravena mimo pracoviště. Jednotlivé operace a jejich časy jsou popsány v Tab. 8. Celková doba pracovního cyklu pak zahrnuje i 5 s pro nalisování pláště v lisovací stanici.

Název operace	Čas operace [s]
Vyskládání kroužků	16
Založení sestavy 1	13
Založení pouzdra	8
Založení sestavy 2	11
Založení pláště	9
Odebrání sklíčidla	13
Pracovní cyklus robotu 1	75

Tab 8) Časy operací – robot 1



Obr. 54) Pracovní prostor robotu 1

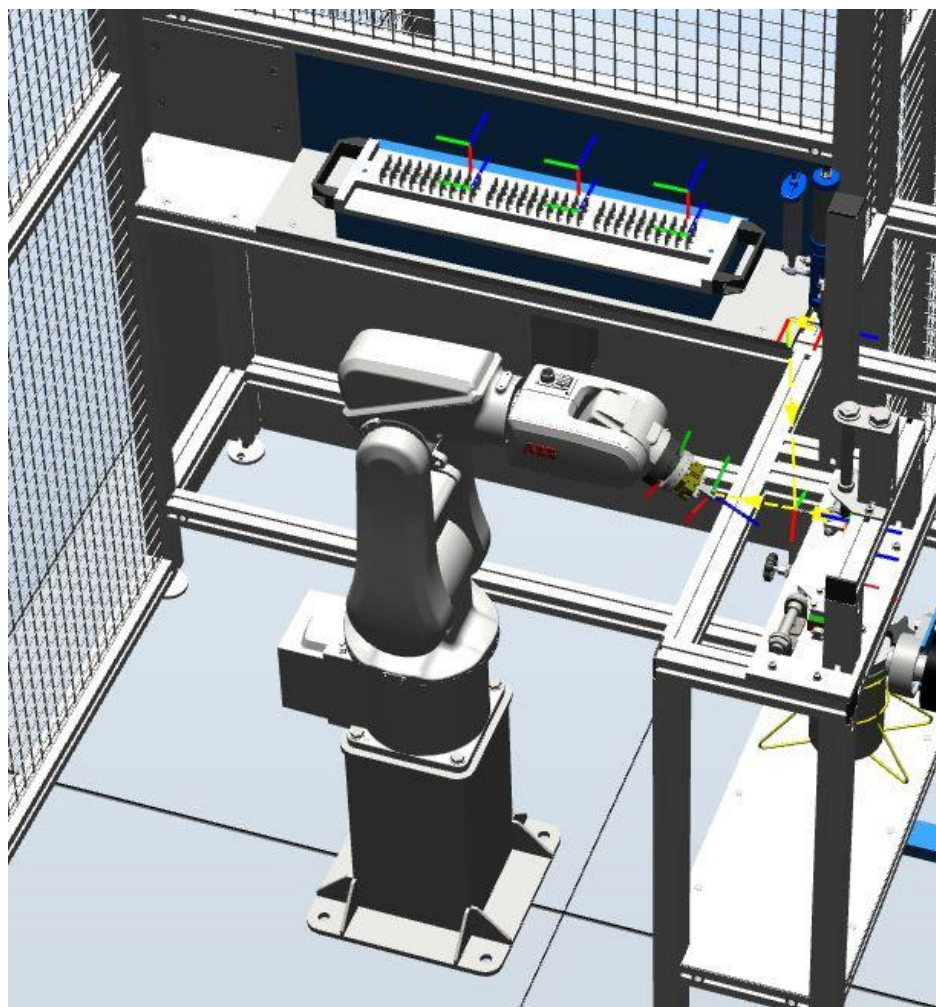
10.2 Robot 2

Robot 2 obsluhuje výměnnou paletu a stanici ZS1. První operací je uchopení čelisti 1 umístěné v paletě a její přesun k mazací trysce. Po nanesení maziva je čelist zasunuta do drážky sklíčidlového pouzdra upnutého ve stanici ZS1. V dalších krocích jsou shodným způsobem namazány a založeny do pouzdra i čelisti 2 a 3. V rámci jednoho rutinního cyklu jsou tedy do pouzdra sklíčidla založeny tři čelisti.

Pomocí funkce offset, která přepočítává pozici bodu nájezdu a odběru sklíčidla, robot postupně vyskládá celou paletu s čelistmi. Přepočet probíhá v rámci cyklu for. Po výměně palety se začne cyklus počítat znovu. Časy operací pro manipulaci s jednou čelistí jsou zaznamenány v Tab. 9. Celková doba cyklu je měřena od počátku práce robotu po dokončení sestavy 1 ve stanici ZS1.

Název operace	Čas operace [s]
Mazání čelistí	7
Zakládání čelistí	7
Pracovní cyklus robotu 2	49

Tab 9) Časy operací – robot 2



Obr. 55) Pracovní prostor robotu 2

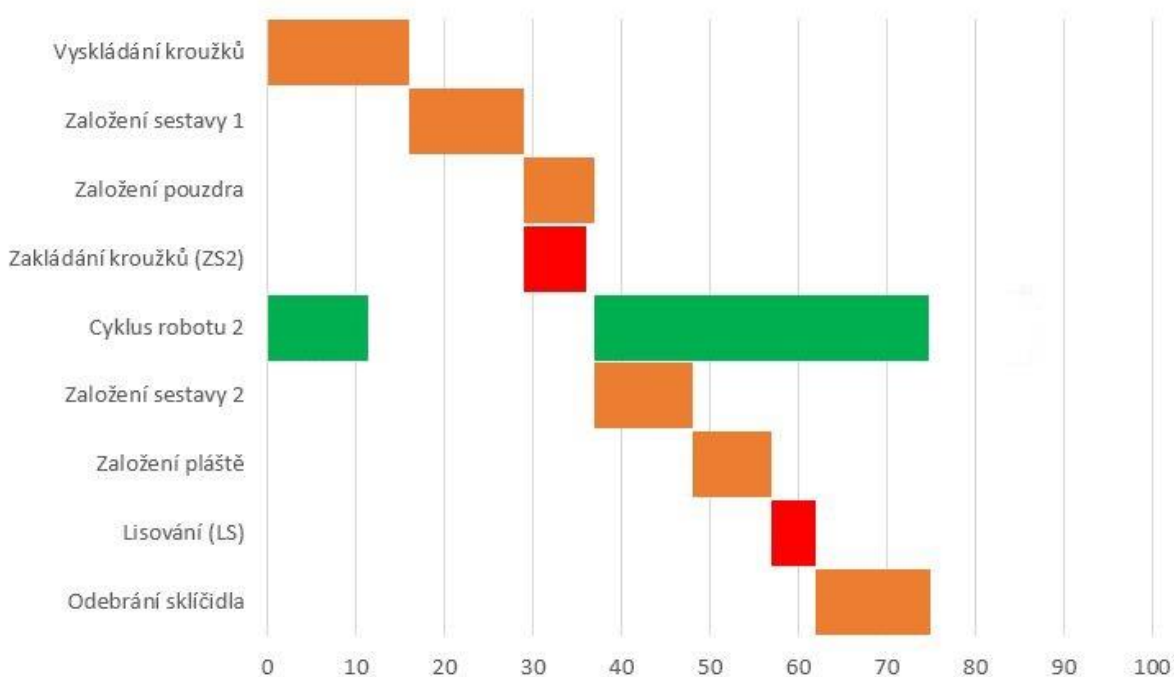
10.3 Robotická buňka

Složením operací robotů a výrobních stanic vznikne pracovní cyklus celé robotické buňky. Ten byl navržen tak, aby operace probíhaly pokud možno současně. Cyklus pracoviště je 75 s. Ve srovnání s původním časem odhadovaným pro tuto variantu byl optimalizací snížen o 10 s. Jeho časový průběh je vykreslen na Obr. 56, kde oranžovou barvou je označena činnost robotu 1, zelenou robotu 2 a červenou chod pracovních stanic.

Vzhledem k tomu, že délka cyklu celého pracoviště je stejná jako u robotu 2, tak je robot s výjimkou čekání na nalisování pláště plně vytížen. Robot 1 část cyklu nepracuje, nicméně tato časová mezera umožňuje automatickou výměnu palet po jejich vyprázdnění bez narušení plynulosti cyklu.

Součinnost mezi roboty je vzájemně řízena signály. Po založení pouzdra do stanice ZS1 robotem 1 je vyslán signál k jeho upnutí a poté do robotu 2, který zahájí svůj pracovní cyklus. Po skončení činnosti robotu 2 dojde k požadovanému polohování montážní sestavy a vyslání signálu do robotu 1 pro její odběr.

V rámci simulace nejsou pohyby robotu nastaveny na nejvyšší možnou rychlost a při uchopovacích operacích jsou v programu malé časové prodlevy. Důvodem těchto nastavení je zajištění spolehlivosti manipulace a časová rezerva pro neznámé vlivy, které mohou v reálném provozu nastat.



Obr. 56) Pracovní cyklus robotické buňky

11 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Pro zhodnocení využitelnosti navrženého řešení v praxi je také třeba posoudit jeho ekonomické hledisko. Zřízení robotického pracoviště představuje vysoké pořizovací náklady. Jeho přínos ale spočívá ve významném snížení nákladů ve srovnání s ruční montáží, zejména na mzdové náklady zaměstnanců. Z toho vyplývá, že úspora při provozu robotického pracoviště přinese po určitém čase vyrovnání celkových nákladů a poté dojde k finanční úspoře, tedy větší ziskovosti výroby.

11.1 Cena robotického pracoviště

V tabulce 10 jsou v rámci kategorií rozepsány jednotlivé položky, ze kterých je robotické pracoviště složeno. Nejvýznamnějšími položkami jsou roboty s vybavením a náklady na inženýrské práce na tomto projektu. Ceny byly odhadnuty na základě konzultace s vedoucím práce a společností APM Engineering. [35]

<i>Název položky</i>	<i>Počet</i>	<i>Cena za jednotku [Kč]</i>	<i>Cena celkem [Kč]</i>
Robotika a řízení			
<i>Robot ABB - IRB120 + Controller IRC5C</i>	2	650 000	1 300 000
<i>Podstavec robotu</i>	2	15 000	30 000
<i>Uchopovač 1</i>	1	9 000	9 000
<i>Uchopovač 2</i>	1	13 000	13 000
<i>Elektrotechnika (včetně bezpečností)</i>	1	120 000	120 000
Výrobní zařízení			
<i>Zakládací stanice 1</i>	1	65 000	65 000
<i>Zakládací stanice 2</i>	1	55 000	55 000
<i>Lisovací stanice</i>	1	60 000	60 000
<i>Mazací stanice</i>	1	30 000	30 000
Dopravní zařízení			
<i>Dopravník</i>	4	55 000	220 000
<i>Paletový systém</i>	1	50 000	50 000
Konstrukce			
<i>Nosné konstrukce strojů</i>	1	70 000	70 000
<i>Oplocení</i>	1	60 000	60 000
Ostatní			
<i>Montážní práce</i>	1	200 000	200 000
<i>Projektování, konstrukce, implementace</i>	1	1 500 000	1 500 000
Celkem			3 782 000

Tab 10) Cena robotického pracoviště

11.2 Rozbor nákladů

V případě pracoviště s lidskou obsluhou lze celkové náklady rozdělit na provozní, investiční a personální. Pro zjednodušení výpočtu jsou provozní náklady u obou typů pracovišť považovány za srovnatelné. Investiční náklady na výstavbu robotické buňky jsou popsány na předchozí straně. U ručního pracoviště je ale potřeba počítat s významnými personálními náklady. Při odhadu měsíční hrubé mzdy jednoho pracovníka 24 000 Kč, je celkový náklad zaměstnavatele 32 112 Kč. Pro třisměnný provoz bude tedy roční náklad na zaměstnance 1 156 032 Kč. [36]

11.3 Návratnost investice

K ekonomickému posouzení robotického pracoviště je třeba stanovit návratnost investice. Kromě rozdílů mezi všemi náklady je také potřeba započítat zvýšenou produkci sklíčidel ve srovnání s ručním pracovištěm. Ta při cyklu 75 s činí 1104 sklíčidel za den při použití stejné metodiky jako v předchozích kapitolách. To představuje 131% původní produkce.

V tabulce 11 jsou vypsány všechny veličiny využití k výpočtu návratnosti. Ta je vypočítána jako podíl mezi investičními a personálními náklady krát převrácená hodnota relativní produktivity.

Návratnost této investice vychází na 2,5 roku. Tato návratnost činí z robotizovaného pracoviště zajímavou alternativu k manuálnímu pracovišti, která stojí za její uvážení.

Pracoviště	Investiční náklady	Personální náklady	Relativní provozní náklady	Relativní produktivita
Ruční	-	1 156 032 Kč/rok	1	1
Robotické	3 782 000 Kč	-	1	1,31

Tab 11) Náklady pracovišť

12 ZÁVĚR

Na úvod práce byla rozebrána problematika robotizovaných pracovišť a jednotlivých prvků, ze kterých jsou složena. Také byla popsána používaná vrtačková sklíčidla a z nich bylo vybráno jedno konkrétní sklíčidlo vhodné pro sériovou automatizovanou výrobu. S využitím systémového rozboru byl stanoven postup řešení této práce.

Podle určeného postupu byl proveden rozbor sklíčidla a stanoven jeho montážní postup. Na základě získaných poznatků byla dále navržena a zkonstruována výrobní zařízení pro automatizovanou výrobu a koncové efekty robotů. Za pomoci simulací byly poté navrženy různé koncepty robotického pracoviště a vyhodnocena nejefektivnější varianta.

Vybraná varianta byla detailně propracována včetně dopravních zařízení a dalších konstrukcí. Bezpečnost pracoviště byla prověřena analýzou rizik. Dále byl definován pracovní cyklus s využitím simulačního modelu. Nakonec bylo provedeno ekonomické zhodnocení navrhovaného řešení.

Použitelnost řešení v praxi byla ověřena simulacemi výrobního procesu a z ekonomického hlediska také výpočtem návratnosti investice, která je přijatelná. Stejně jako u většiny automatizované výroby je jeho použití výhodné pouze u sériové výroby. Proto je vhodné, aby pracoviště bylo součástí automatizovaného provozu. V rámci konkrétních návazností na další pracoviště je pak možné robotickou buňku modifikovat k dosažení lepších výsledků.

13 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Průmyslové roboty ABB. *ABB* [online]. [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty>
- [2] FANUC Paletizace. *FANUC* [online]. [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/aplikace/paletizace>
- [3] Fanuc M-410iB/700. *FANUC* [online]. [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/stránka-filtru-robotů/řada-m-410/m-410ib-700>
- [4] Průmyslové roboty IRB 910SC SCARA. *ABB* [online]. [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/irb-910sc>
- [5] Delta roboty M1. *FANUC* [online]. [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/stránka-filtru-robotů/řada-m1>
- [6] Kolaborativní roboty. *Universal Robots* [online]. [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/cs/produkty/>
- [7] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016, 787 s. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [8] SCHUNK Paralelní chapadlo. *SCHUNK* [online]. [cit. 2019-10-09]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/category/uchopovaci-systemy/uchopovace-schunk/paralerni-chapadlo/
- [9] SCHUNK Středové chapadlo. *SCHUNK* [online]. [cit. 2019-10-09]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/category/uchopovaci-systemy/uchopovace-schunk/stredove-chapadlo/
- [10] SCHUNK Úhlový uchopovač. *SCHUNK* [online]. [cit. 2019-10-09]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/category/uchopovaci-systemy/uchopovace-schunk/uhlovy-uchopovac/
- [11] SCHUNK Systémy výměny. *SCHUNK* [online]. [cit. 2019-10-11]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/category/uchopovaci-systemy/prislusenstvi-robotu/vymena/systemy-vymeny/
- [12] SCHUNK GWS. *SCHUNK* [online]. [cit. 2019-10-11]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/series/gws/
- [13] Koncový snímač WL-N. *OMRON* [online]. [cit. 2019-10-13]. Dostupné z: <https://industrial.omron.cz/cs/products/wl-n>
- [14] Indukční snímače IME. *SICK* [online]. [cit. 2019-10-13]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/detekcni-snimace/indukcni-snimace/ime/c/g345451>
- [15] Kapacitní snímače CQ. *SICK* [online]. [cit. 2019-10-13]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/detekcni-snimace/kapacitni-snimace/cq/c/g206111>

- [16] Magnetické snímače MM. *SICK* [online]. [cit. 2019-10-13]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/detekcni-snimace/magneticke-snimace/mm/c/g208598>
- [17] Jednopaprskové bezpečnostní světelné závory L27. *SICK* [online]. [cit. 2019-10-13]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/optoelektronicka-ochranna-zarizeni/jednopaprskove-bezpecnostni-svetelne-zavory/l27/c/g192068>
- [18] ČSN 24 1301. *Upínací nářadí. Vrtačková sklíčidla s klíčem. Všeobecná ustanovení*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1987.
- [19] 3KD-3 Plain Bearing Heavy Duty 5/8" Chuck. *Jacobs chuck* [online]. [cit. 2019-11-16]. Dostupné z: <http://www.jacobschuck.com/keyed-chucks/jacobs-6228-3kd-3-plain-bearing-heavy-duty-5-8-chuck.html>
- [20] Sklíčidla. *SVAR-TECH* [online]. [cit. 2019-11-15]. Dostupné z: <http://www.svar-tech.cz/sklidlo-vrtackove-10z-1-2-20>
- [21] Adaptéry - sklíčidla. *Nářadí Vítek* [online]. [cit. 2019-11-16]. Dostupné z: <https://www.naradi-vitek.cz/PRISLUSENSTVI/Adaptery-sklidla/>
- [22] ČSN 24 1320. *Upínací nářadí. Tříčelistová vrtačková sklíčidla s klíčem. Rozměrová norma*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1985.
- [23] Ezi-STEP BT - krokové motory. *RAVEO* [online]. [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: <https://www.raveo.cz/krokove-motory-ezi-step-bt>
- [24] Vozík HGH. *HIWIN* [online]. [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: https://www.hiwin.cz/cz/produkty/linearni-vedeni/kulickove-vedeni/rada-hg-gh/17_vozik-hgh
- [25] Dvojčinné válce. *Stránský a Petržík* [online]. [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: <https://www.stranskyapetrzik.cz/pneu/pneumaticke-valce/dvojcinne-valce-menu/>
- [26] *Nordson EFD: Dávkovací zařízení* [online]. [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://www.nordson.com/cs-CZ/divisions/efd>
- [27] Nástroj pro návrh chapadel. *SCHUNK* [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/sluzby/nastroj-pro-navrh-chapadel-schunk/
- [28] RobotStudio. *ABB* [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/robotstudio>
- [29] Šnekové převodové motory. *SEW Eurodrive* [online]. [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: https://www.sew-eurodrive.cz/vyrobky/prevodove_motory/standardni_prevodove_motory/snekove_prevodove_motory_sdr/snekove_prevodove_motory_sdr.html
- [30] EZI-STEP BK. *RAVEO* [online]. [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.raveo.cz/krokovy-motor-brzda>
- [31] Kanya AG – Aluprofile. *KANYA* [online]. [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.kanya.com>
- [32] ČSN EN ISO 13857. *Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu do nebezpečných prostor horními a dolními končetinami*. 2008.

- [33] EUCHNER. *EUCHNER electric s.r.o.* [online]. [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.euchner.cz>
- [34] ČSN EN ISO 12100. *Bezpečnost strojních zařízení - Všeobecné zásady pro konstrukci - Posouzení rizika a snižování rizika.* 2011.
- [35] APME. *APM Engineering, s. r. o.* [online]. [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.apme.cz>
- [36] KELOC CS. *Mzdová kalkulačka* [online]. [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.keloc-software.cz/mzdova-kalkulacka/>

14 SEZNAM TABULEK A OBRÁZKŮ

14.1 Seznam tabulek

TAB 1) ČASY VÝROBNÍCH OPERACÍ (RUČNÍ VÝROBA)	35
TAB 2) VÝROBNÍ OPERACE S ČASY	48
TAB 3) PRACOVNÍ CYKLUS VARIANTY A	50
TAB 4) PRACOVNÍ CYKLUS VARIANTY B	52
TAB 5) PRACOVNÍ CYKLUS VARIANTY C	54
TAB 6) POROVNÁNÍ PRACOVIŠTĚ	55
TAB 7) IDENTIFIKACE NEBEZPEČÍ A ODHAD RIZIKA	68
TAB 8) ČASY OPERACÍ – ROBOT 1	72
TAB 9) ČASY OPERACÍ – ROBOT 2	73
TAB 10) CENA ROBOTICKÉHO PRACOVIŠTĚ	75
TAB 11) NÁKLADY PRACOVIŠŤ	76

14.2 Seznam obrázků

OBR. 1) ROBOTICKÁ BUŇKA PRO VÝMĚNU OBROBKŮ V OBRÁBĚCÍM STROJI (SEMESTRÁLNÍ PRÁCE)	17
OBR. 2) 6-OSÝ ROBOT IRB 120 OD FIRMY ABB [1]	18
OBR. 3) PALETIZAČNÍ ROBOT M410IB/700 OD VÝROBCE FANUC [3]	18
OBR. 4) ROBOT SCARA ŘADY IRB 910SC (ABB) [4]	19
OBR. 5) DELTA ROBOT OD FIRMY FANUC [5]	19
OBR. 6) KOLABORATIVNÍ ROBOT UR3E [6]	20
OBR. 7) PARALELNÍ CHAPADLO ŘADY JGP [8]	21
OBR. 8) STŘEDOVÉ CHAPADLO ŘADY JGZ [9]	21
OBR. 9) ÚHLOVÉ CHAPADLO ŘADY SWG [10]	22
OBR. 10) SYSTÉM AUTOMATICKÉ VÝMĚNY EFEKTORŮ [12]	23
OBR. 11) MECHANICKÝ KONCOVÝ SPÍNAČ [13]	23
OBR. 12) INDUKČNÍ SNÍMAČE [14]	24
OBR. 13) KAPACITNÍ SENZORY [15]	24
OBR. 14) MAGNETICKÝ SENZOR [16]	25
OBR. 15) BEZPEČNOSTNÍ SVĚTELNÁ ZÁVORA [17]	25
OBR. 16) SESTAVA VRTAČKOVÉHO SKLÍČIDLA [19]	27
OBR. 17) TŘÍČELISŤOVÉ VRTAČKOVÉ SKLÍČIDLO S KLÍČEM [20]	27
OBR. 18) RYCHLOUPÍNACÍ SKLÍČIDLO [21]	28

OBR. 19) SYSTÉMOVÝ ROZBOR.....	29
OBR. 20) ZPŮSOB ŘEŠENÍ ÚKOLU.....	30
OBR. 21) CAD MODEL SESTAVY SKLÍČIDLA A JEHO ROZPAD NA JEDNOTLIVÉ PRVKY	31
OBR. 22) SESTAVA SKLÍČIDLA	32
OBR. 23) OPERACE 1.....	33
OBR. 24) OPERACE 2.....	33
OBR. 25) OPERACE 3.....	34
OBR. 26) OPERACE 4.....	34
OBR. 27) ROZVRŽENÍ VÝROBY.....	35
OBR. 28) ROZDĚLENÍ OPERACÍ MEZI STANICE	37
OBR. 29) ZAKLÁDACÍ STANICE 1	38
OBR. 30) SCHÉMA ZS1.....	39
OBR. 31) SCHÉMA ZS2.....	40
OBR. 32) LISOVACÍ STANICE.....	41
OBR. 33) SCHÉMA LS.....	42
OBR. 34) MAZACÍ STANICE	43
OBR. 35) UCHOPOVAČ 1 S ČELISTÍ.....	44
OBR. 36) UCHOPOVAČ 2	45
OBR. 37) DOSAH ROBOTU IRB 120 [1].....	47
OBR. 38) ZÁTĚŽOVÝ DIAGRAM ROBOTU IRB 120 [1].....	48
OBR. 39) VARIANTA A.....	49
OBR. 40) ČASOVÁ ANALÝZA VARIANTY A	50
OBR. 41) VARIANTA B	51
OBR. 42) ČASOVÁ ANALÝZA VARIANTY B	52
OBR. 43) VARIANTA C.....	53
OBR. 44) ČASOVÁ ANALÝZA VARIANTY C	54
OBR. 45) MODEL ROBOTICKÉHO PRACOVIŠTĚ	57
OBR. 46) DOPRAVNÍK 1.....	58
OBR. 47) SYSTÉM VÝMĚNY PALET.....	59
OBR. 48) PODSTAVEC ROBOTU	60
OBR. 49) STŮL ZAKLÁDACÍ STANICE 2.....	60
OBR. 50) OPLOCENÍ.....	61
OBR. 51) LAYOUT ROBOTICKÉHO PRACOVIŠTĚ	62
OBR. 52) BEZPEČNOSTNÍ PRVKY	64

OBR. 53) MATERIÁLOVÝ TOK	71
OBR. 54) PRACOVNÍ PROSTOR ROBOTU 1	72
OBR. 55) PRACOVNÍ PROSTOR ROBOTU 2	73
OBR. 56) PRACOVNÍ CYKLUS ROBOTICKÉ BUŇKY	74

15 SEZNAM PŘÍLOH

Fotografie ruční montáže sklíčidla a modelů čelistí uchopovačů

CAD model robotického pracoviště ve formátu step

Výkres layoutu pracoviště

Video simulace pracovního cyklu robotické buňky

FOTOGRAFIE RUČNÍ MONTÁŽE SKLÍČIDLA



Operace 1 – vkládání upínacích čelistí



Operace 2 – mazání upínacích čelistí



Operace 3 – sesazení kroužku

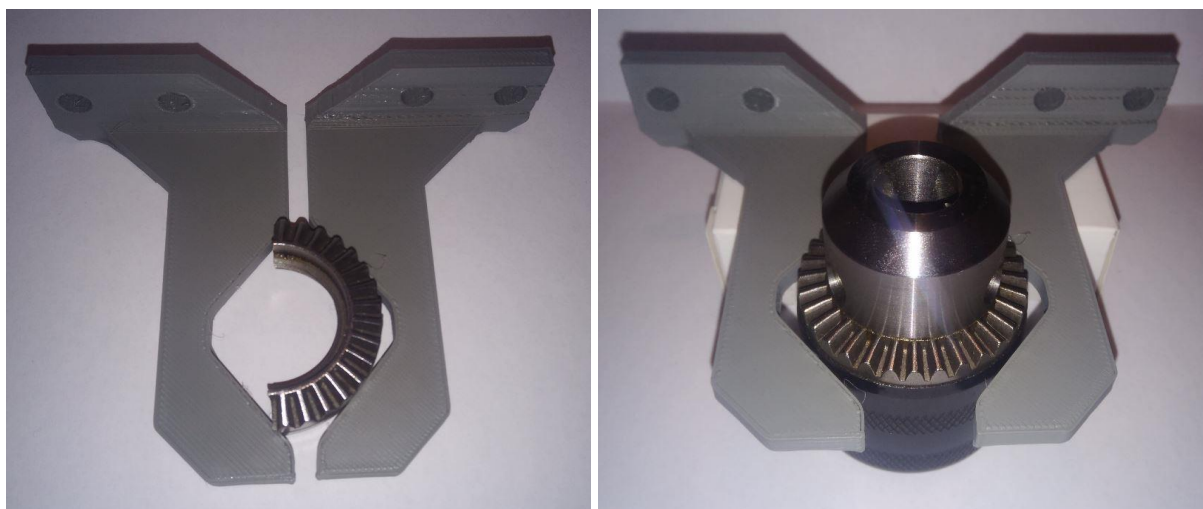


Operace 4 – nalisování pláště

FOTOGRAFIE MODELŮ ČELISTÍ UCHOPOVAČŮ



Model čelistí uchopovače 1



Model čelistí uchopovače 2 - polovina kroužku / kompletní sklíčidlo