



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 ROBOTICKÉHO PRACOVIŠTĚ PRO LASEROVÉ ZNAČENÍ AUTOMOTIVE KOMPONENT

DESIGN OF A ROBOTIC CELL FOR LASER MARKING OF AUTOMOTIVE COMPONENTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Václav Pátek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Pochylý

BRNO 2021

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Bc. Václav Pátek
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce:	Ing. Aleš Pochylý
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 diplomové práce:

Návrh robotického pracoviště pro laserové značení automotive komponent

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřena na návrh pracoviště s průmyslovými roboty pro laserové značení komponent z oblasti automotive. Značenými díly jsou objekty ze slitiny hliníku (ramena) existující ve dvou provedeních – Pravý a Levý. Práce se zabývá výběrem hlavních komponent a jejich umístěním – návrhem layoutu pracoviště a návrhem koncových efektorů/upínacích přípravků. V rámci návrhu pracoviště bude využit SW ABB Robot Studio pro detailní simulaci výroby a ověření funkčnosti navrženého řešení ve virtuálním prostředí.

Cíle diplomové práce:

Specifikace zadání – rozbor zadané problematiky.

Návrh možností řešení pro zadaný typ aplikace.

Konstrukční návrh dílčích částí pracoviště (koncové efektor, přípravky, oplocení, krytování apod.)

Ověření funkčnosti řešení ve virtuálním prostředí – v SW ABB RobotStudio.

Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené literatury:

SICILIANO, B. KHATIB, O. Springer Handbook of Robotics. Springer-Verlag New York, Inc., 2008. 1611 s. ISBN 978-3-540-23957-4.

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

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

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

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce je zaměřená na návrh robotického pracoviště pro laserové značení hliníkových ramen pro automobilní průmysl. Úkolem robotické buňky je odebírání ramen závěsu kol z palet na výstupu linky předmontáže, jejich značení a finální třídění. Nejdříve jsou v práci představeny technologie značení používané v automobilovém průmyslu. Následně jsou popsány některé programy sloužící pro simulaci výrobních procesů a průmyslových robotů. Poté následuje popis několika variant layoutu jako možných řešení zadaného problému a nato je provedena konstrukce vybrané varianty. S využitím softwaru RobotStudio je vytvořena simulace značící buňky pro ověření procesu. Na závěr je provedeno technicko – ekonomické zhodnocení.

ABSTRACT

This diploma thesis is focused on the design of a robotic workstation for laser marking of aluminium hinges for the automotive industry. Robots remove wheel hinges from palettes at the end of a preassembly line, mark them and sort them. At first, selected marking technologies used in the automotive industry are introduced. Afterwards, a few robot and process simulation software are described. Subsequently, several layout variants are created as viable options for process handling and the chosen variant is designed in detail. Using RobotStudio software, a simulation of the robotic marking cell is made for process verification. Finally, a technical - economic evaluation is performed.

KLÍČOVÁ SLOVA

Návrh robotického pracoviště, simulace robotické buňky, ABB RobotStudio, značení dílů v automotive, laserové značení DMC

KEYWORDS

Design of robotic Workstation, simulation of robotic cell, ABB RobotStudio, marking of automotive parts, DMC laser marking

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PÁTEK, Václav. *Návrh robotického pracoviště pro laserové značení automotive komponent*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/133149>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Aleš Pochylý.

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych tímto poděkovat Ing. Aleši Pochylému za jeho rady a pomoc při vedení této práce a Ing. Libuši Moudré za korekturu textu, který slohem místy připomínal hlášení rakousko-uherského úředníka.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 19. 5. 2021

.....

Bc. Pátek Václav

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	SPECIFIKACE ZADÁNÍ – PŘEDMONTÁŽ RAMEN A POŽADAVKY NA ZNAČENÍ.....	17
3	TECHNOLOGIE PRŮMYSLOVÉHO ZNAČENÍ	19
3.1	Ražba	20
3.2	Gravírování	21
3.3	Značení mikroúderem a rytím.....	23
3.4	Laserové značení.....	24
3.5	InkJet.....	27
3.6	Termotransferový tisk.....	28
3.7	Elektrochemické značení	29
4	SIMULACE ROBOTICKÝCH BUNĚK, OFFLINE PROGRAMOVÁNÍ A VIRTUÁLNÍ ZPROVOZNĚNÍ	31
4.1	RoboGuide	32
4.2	KUKA.Sim	33
4.3	RobotStudio	33
4.4	Tecnomatix Proces Simulate	34
4.5	RoboDK.....	34
5	TVORBA LAYOUTU	35
5.1	Varianta 1 – otočný stůl, manipulace obsluhou.....	36
5.2	Varianta 2 – otočný stůl, robotická manipulace	36
5.3	Varianta 3 – značení nad transferem, robotická manipulace	37
5.4	Výběr varianty pro implementaci	38
6	NÁVRH PRACOVNÍHO MÍSTA	41
6.1	Návrh koncového efektoru.....	41
6.2	Výběr robotů	44
6.3	Technologie značení	48
6.4	Výstupní dopravníky.....	52
6.5	Prvky ochrany obsluhy	53
7	SIMULACE	59
7.1	Manipulace s rameny	59
7.2	Vytvoření stanice a import 3D geometrie.....	60
7.3	Mechanismy.....	63
7.4	Kolizní sady	64
7.5	Kabely.....	66
7.6	Smart komponenty a logika stanice	66
7.7	Pracovní objekty, cíle a cesty	69
7.8	Program.....	72
8	TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	77
8.1	Návratnost investice.....	79
9	ZÁVĚR.....	81
10	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	83
11	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	89

11.1	Seznam zkratek.....	89
11.2	Seznam tabulek.....	89
11.3	Seznam obrázků.....	89
12	SEZNAM PŘÍLOH.....	93

1 ÚVOD

Cílem této diplomové práce je návrh robotického pracoviště pro značení hliníkových ramen závěsů kol a simulace tohoto procesu. Zadání pro toto robotické pracoviště vychází z parametrů od potenciálního zadavatele, pro kterého je robotické pracoviště určeno. Buňka samotná je pouze výstupem z větší linky předmontáže kulového čepu do těchto ramen. Buňka slouží pro odebírání předmontovaných ramen z této linky, jejich značení a manipulaci na výstup včetně třídění NOK kusů.

V první části jsou popsány je blíže specifikováno zadání diplomové práce. Jsou popsány operace prováděné s ramenem na lince předmontáže před tím, než se dostane do odebírací pozice. Je zadán takt, kterého je nutné dosáhnout, a jsou zadány požadavky na manipulaci a značení jednotlivých ramen.

Další část popisuje některé z nejčastěji používaných technologií pro popis součástí. Stručně jsou nastíněny principy jednotlivých technologií, představeny možnosti a omezení z nich plynoucí. Přednostně jsou uvedeny technologie značení, které se využívají v automobilovém průmyslu.

Následující kapitola uvádí důvody pro využívání simulací robotických buněk a výrobních procesů a jejich možnosti spolu s představením několika používaných zástupců softwarů pro jejich tvorbu.

Po specifikaci zadání je uvažován vlastní návrh pracoviště. Nejdříve je vytvořeno a popsáno několik variant layoutu výstupu z linky, z nichž je vybrána nejvhodnější varianta pro implementaci do provozu. Tato varianta je dále rozpracována a konstrukčně řešena. Je navržen koncový efektor a na jeho základě vybrán vhodný model robotu. Následně jsou řešeny technologie značení, pásové dopravníky pro výstup ramen a krytování stroje.

Tyto modely jsou převedeny do programu RobotStudio, aby bylo možné vytvořit simulaci procesu. Pomocí této simulace se ověří výsledný takt buňky a opraví případné kolize a problémy ještě ve fázi návrhu.

V poslední části je provedeno technicko – ekonomické zhodnocení návrhu a v závěru jsou shrnuty výstupy z celé diplomové práce.

2 SPECIFIKACE ZADÁNÍ – PŘEDMONTÁŽ RAMEN A POŽADAVKY NA ZNAČENÍ

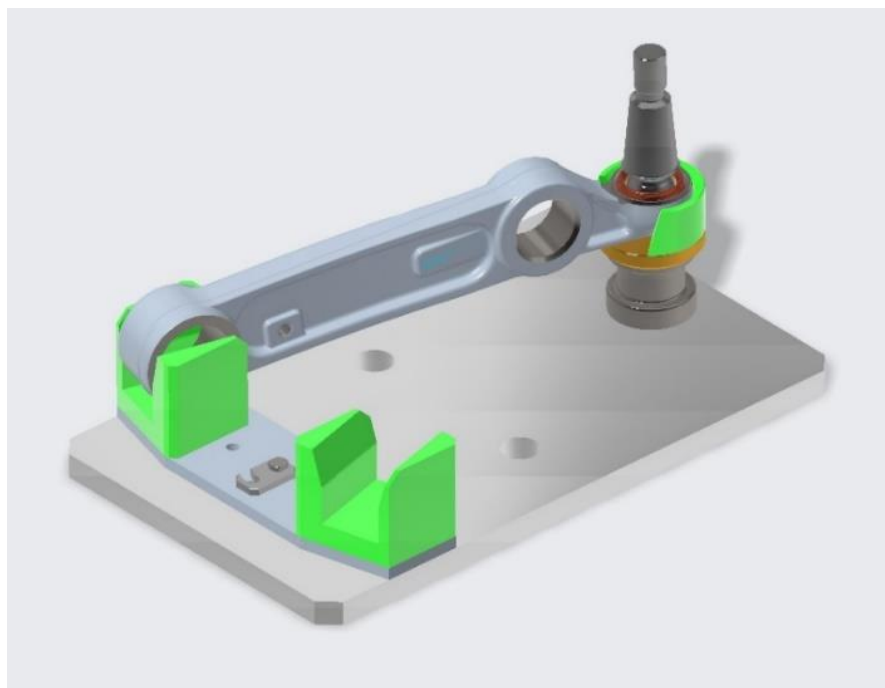
Cílem této práce je navrhnout robotickou buňku, která má sloužit pro manipulaci předmontovaných ramen nápravy osobního automobilu (obrázek 29) z linky předmontáže, jejich označení požadovanými popisy a třídění na OK a NOK kusy. Robotická buňka přímo navazuje na předmontážní linku, která bude operovat ve třísměnném pracovním provozu.

Rameno se skládá z těla, misky, kulového čepu a ocelového kroužku. Tělo ramena je tlakově litý duralový odlitek, který je obrobený na funkčních plochách. Rameno je z klecí ručně zakládáno do palet v lince předmontáže. Palety jsou v prostoru obsluhy unášeny dopravníkem konstantní rychlostí, dokud nedojedou do vlastní linky, zde dochází k přesunutí na krokový dopravník. Krokový dopravník má takt 8 s.

V první pozici se do ramena pomocí robotu Scara zakládá vazelínou namazaná plastová miska. Plastové misky jsou do linky dávkovány z vibračního zásobníku. Z vibračního zásobníku vypadávají neorientované, proto je využitý systém FlexiBowl s kamerovým systémem pro orientaci misek a pro jejich zakládání do ramena je využit zmiňovaný Scara robot.

V další technologické pozici je do ramena zakládán kulový čep. Kulové čepy se zavážejí do zásobníku v plastových blistrech a jsou odebrány robotem za kulovou plochu. Protože v paletě je nutné založit kulový čep závitem nahoru, robot zakládá čep do pomocného manipulátoru, který čep otočí a založí do misky. V následující pozici čep předlisován servolisem.

Po předlisování následuje založení ocelového kroužku. Ten je do ramena zakládán stejným způsobem jako miska. V tomto místě předává krokovací dopravník palety na druhý, který má větší zdvih a polohuje palety po dvojicích.



Obrázek 1: Přemontované rameno založené v paletě – pravé [Zdroj: vlastní]

Posledním technologickým úkonem je zaválcování ocelového kroužku. To probíhá na zdvojeném servolisu z důvodu dodržení cyklového času linky. Zaválcování trvá přibližně 11 s a celkový takt linky je shodný s taktem prvního krokového dopravníku, tedy 8 s. Manipulováním pomocí zdvojeného krokového dopravníku a zaválcováním ramen po dvojicích ve zdvojeném servolisu tedy dochází ke zvýšení taktu na výstupu na 16 s pro dvojici ramen. Po zaválcování je rameno připraveno ke značení. Pokud lisovací křivky neodpovídají požadavkům, je kus vyhodnocen jako NOK.

Značení ramen je požadováno dvojí. Prvním je vypálení DMC kódu (Data Matrix Code) (obrázek 30) na OK kusy, do kterého jsou uloženy informace o datu výroby, výrobním závodě a data z prováděných technologických operací. V tomto případě se jedná o průběh lisování čepu a zaválcování kroužku. U každého DMC je nutné potvrdit jeho čitelnost pomocí čtečky DMC. Pokud kód nemá požadovanou spolehlivost čtení, je kus vyhodnocen jako NOK.



Obrázek 2: Značení DMC kódem pro dohledávání výrobku [1]

Druhé značení probíhá pomocí technologie InkJet (obrázek 31). Značit se mají primárně pouze OK kusy, aby bylo na první pohled pro obsluhu patrné, že se jedná o OK kus, a aby bylo možné kus dohledat bez použití čtečky (označení bude obsahovat datum, výrobní dávku a označení závodu).



Obrázek 3: Značení technologií InkJet [2]

3 TECHNOLOGIE PRŮMYSLOVÉHO ZNAČENÍ

Naprostá většina dnešních výrobků je nějakým způsobem označena. Ať už si výrobce na výrobek nechá vytisknout svoje logo a název firmy, nalepí etiketu s čárovým kódem nebo přinýtuje tabulku s vyraženými údaji. V automobilovém průmyslu se provádí značení veškerých komponent pro trasování výrobku k jeho zdroji, tedy k výrobnímu závodu, datu výroby, výrobní dávce nebo konkrétní osobě zodpovědné za produkci. Kromě alfanumerických znaků se pro toto označení často používají i další typy kódů. Jejich výhodou je zvýšení množství informací, které je možné uložit na omezené ploše. Z toho důvodu je možné a často používané i ukládání dat z výroby do těchto kódů. Mezi tato data lze zařadit údaje o prováděných elektronických kontrolách a jejich výsledcích, lisovací křivky, údaje z kamerových kontrol s odkazy na webové úložiště a nepřehledné množství dalších. [3], [4]



Obrázek 4: Příklad 1D a 2D kódu [4]

Pro značení výrobků a polotovarů se používá řada technologií. Aby byla vybrána vhodná technologie pro konkrétní značení, je potřeba zvážit množství faktorů. Prvním je vlastní typ značení. Pokud budeme požadovat označení pouze alfanumerickým kódem, máme pro označení více možností, než pokud požadujeme označení datovým kódem (např. čárový kód, QR kód, DMC ...), či dokonce grafikou. Na druhé straně je třeba vzít v úvahu materiál, povrch a tvar značené součásti. Stejně tak je potřeba vzít v potaz i prostředí, ve kterém bude značení probíhat, dosažitelnou rychlost značení, maximální množství kusů značených současně i náročnost na obsluhu.

V automobilovém průmyslu je požadavek na značení veškerých součástí hotového automobilu. Je tedy nutné značit stovky komponent různých tvarů a z rozličných materiálů, a to tak, aby byla zaručena dlouhodobá čitelnost tohoto označení, aniž by došlo k narušení materiálu nebo změně struktury. [5]

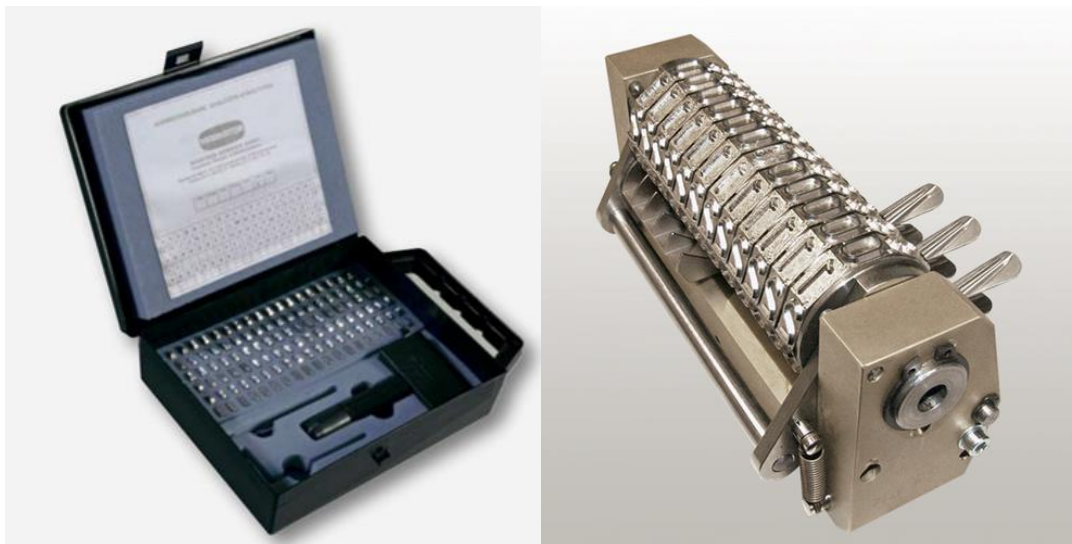


Obrázek 5: Značení VIN kódu pomocí ruční mikroúderové jednotky [6]

Je tedy nutné vybrat z dostupných technologií tu nejvhodnější variantu pro každý výrobní proces.

3.1 Ražba

Ražba je nejstarší zde popisovaná forma značení (ražba mincí začala probíhat již před začátkem našeho letopočtu), při níž dochází k vytlačení reliéfu do materiálu pomocí razníku. Nejjednodušším způsobem je značení pomocí ručního razníku a kladiva, kde se celkový text skládá dohromady postupně po písmenech. Další možností je skládání razníků do šablon a následné ražení celého textu najednou. Tímto způsob je možné provádět ražbu v případech, že se požadovaný text příliš často nemění, např. výrobní číslo nebo datum výroby. Speciální formou těchto razníků jsou číselníčky, které umožňují jednoduché přestavování vyrážení čísla. [6], [7]



Obrázek 6: A): kufřík s razníky; B): číselníčka [7]

Razníky mohou být ruční nebo strojově poháněné. Značí se buďto úderem nebo statickou silou, v tomto případě je nutné vyvinout větší sílu oproti úderu. Úderová síla se používá kromě ručních razníků i u stolních, manuálně ovládaných zařízení. Ražba probíhá tak, že je označovaný materiál umístěn pod razicí hlavu, ovládací páka je stahována dolů, ta posune razicí hlavu k předmětu, kde se zastaví a další síla je akumulovaná do pružiny. Jakmile nakumulovaná síla přesáhne určitou mez, dojde k úderu s danou energií. Podobné stanice mohou být vybaveny i hydraulickým či pneumatickým pohonem. Tímto způsobem je také možné integrovat značení ražbou do výrobního procesu například formou pneumatické jednotky řízené PLC. [7]



Obrázek 7: Pneumatická razicí jednotka pro integraci [7]

Ražba je univerzální metoda značení, která umožňuje přesně označovat různé materiály (kov, plasty, kůže), nedá se ovšem operativně měnit popis (s výjimkou číslaček) či logo. Jsou tak zejména vhodné na označování stálých popisů, jako je logo výrobce nebo sériové číslo, kde může rychlostí značení předčít mikroúder.



Obrázek 8: Ražba sériového čísla [8]

I když je možné značit i válcové povrchy (odvalování), problém nastává u značení členitějších povrchů. Dalším problémem, podobně jako u mikroúderu, je nemožnost značení příliš měkkých nebo příliš tvrdých materiálů. Pro značení firemních log nebo nestandardních písem je navíc zpravidla nutné vyrobít speciální razníky, což může být omezující, stejně jako nutnost mít několik sad znaků pro značení různých textů, pokud se je chystáme měnit. Tato metoda se tedy nehodí pro značení 2D kódů. I přes tato omezení se však jedná o jeden z nejrozšířenějších způsobů značení. [8]

3.2 Gravírování

Jedná se o metodu značení, kdy dochází k odebrání materiálu z povrchu a vytvoření textu nebo loga jako reliéfu. Dříve se takto ručně rylo pomocí rycích nástrojů do tvrdých materiálů, jako jsou kovy nebo sklo. Dnes se pro ruční gravírování používají rotační nebo oscilační gravírovací pera. Gravírovací hrot může být z tvrdokovu nebo může být i diamantový pro tvrdší materiály. Hrot je kuželový pro použití v oscilačních gravírovačkách, pro použití u rotačních gravírovaček má tvar vyoseného kuželu. Gravírovací frézy mají složitější geometrii. Nejčastěji se používají elektricky poháněná gravírovací pera, ale můžeme se setkat i s pneumaticky poháněnými. Pro tvorbu složitějších nápisů, štítků či grafik se používají počítačem řízená gravírovací centra. [9]



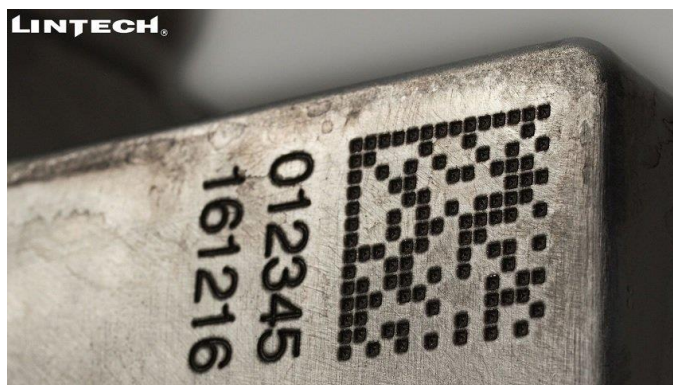
Obrázek 9: Gravírování skla ruční pistolí [10]

Pro sériové popisování pomocí gravírovacího nástroje se dříve, a v menší míře i dnes, používaly pantografy. Jedná se o mechanismus, který přenáší pomocí soustavy ramen pohyb kopírovacího kolíku na gravírovací frézku. Kopírovacím kolíkem ručně objíždíme konturu šablony a ramena pantografu přenášejí pohyb v měřítku, v závislosti na jejich délkách, na popisovaný předmět, respektive na gravírovací frézku, která předmět popisuje. [11]



Obrázek 10: Gravírovací zařízení Proxxon – využití pantografu [11]

Speciální formou gravírování je gravírování laserem. Na rozdíl od laserového popisu, který bude uveden v další části této práce, je gravírování laserem prováděno do větší hloubky. Cílem není vytvořit kontrast na materiálu, ale materiál odstranit (odpařit). Tím vznikne označení, které je odolnější proti otěru a je čitelné i po povrchové úpravě. [12]



Obrázek 11: Laserové gravírování DMC kódu [12]

Gravírováním se mohou vytvářet i popisové štítky na stroje nebo různé přívěsky. Štítky vyráběné speciálně pro tento typ značení, například Gravofoil od firmy Gravotech, mají tenkou povrchovou vrstvu z jiného materiálu a jiné barvy, než má zbytek tabulky. Obdobně je tomu i u duralových destiček, u nichž se odstraňuje horní vrstva z barevného eloxu a ven vystupuje přírodní materiál. [13]



Obrázek 12: Folie Gravofoil [13]

3.3 Značení mikroúderem a rytím

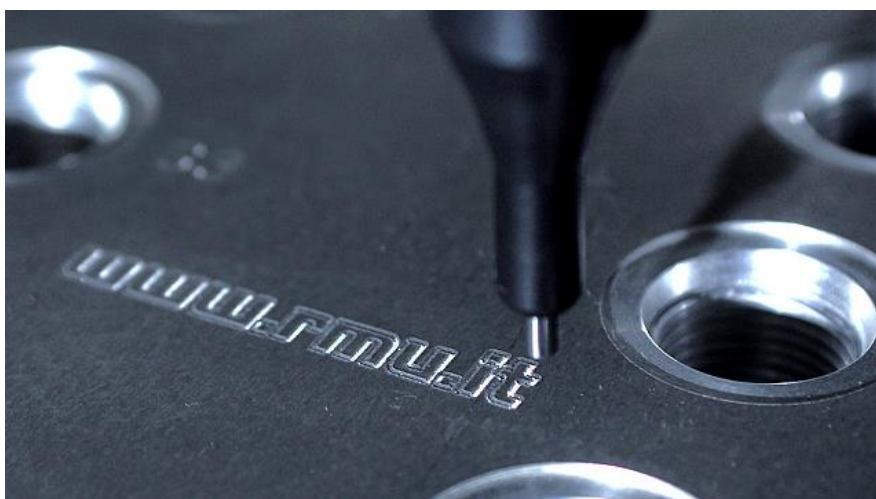
Jedná se o trvalé značení, které fyzicky narušuje značený povrch. Značení se provádí oscilujícím karbidovým hrotem, který vyráží body do značeného materiálu, a je viditelné i pod vrstvou barvy. Touto technologií je možné značit alfanumerické znaky, 2D kódy i jednoduché grafiky. Velmi časté je použití v automobilovém průmyslu, kde se značení mikroúderem používá například pro ražbu VIN kódu. Primárně se tímto způsobem značí tvrdé povrchy, jako je kov, plast nebo dřevo, je však možné takto označovat i sklo.

Značící jehla má programovatelné pohybové osy X a Y, které jsou ovládány krokovými motory, jejichž zdvih určuje velikost popisového pole. Pro pohon jehly se používá buď pneumatický nebo elektromagnetický pohon. Elektromagnetické značící jednotky mají oproti pneumatickým výhodu v nižší hlučnosti a nižších provozních nákladech, odpadá také nutnost přívodu stlačeného vzduchu. [5], [14], [15]



Obrázek 13: Bodové značení DMC a alfanumerického popisu [15]

Rycí jednotky, které umožňují kontinuální značení, většinou používají pneumatický pohon jehly. Na rozdíl od mikroúderu značící hrot neosciluje, ale je přímo vtlačěn do materiálu. Díky tomu je rytí méně hlučné než značení mikroúderem. [14], [15]



Obrázek 14: Značení rytím [4]

Mikrouderové značící jednotky se vyrábí v různých provedeních, prvním je ruční zařízení pro značení velkých dílů, dalším je stojanové provedení pro ruční zakládání dílů do značícího prostoru a posledním je provedení pro integraci. Tyto značící hlavy se používají jako součást výrobních linek a značí díly v rámci výrobního procesu.

Mikrouderové značení je spolehlivý a hojně používaný způsob značení, který umožňuje značení rovných i zakřivených tvrdých povrchů způsobem, který zaručuje delší životnost označení. Díky možnosti naprogramování pro každý kus zvlášť se hodí pro umísťování unikátních 2D kódů na každý výrobek. Výhodou je i relativně nízká pořizovací cena, nízké provozní náklady a dlouhá životnost. Není také nutné dokupovat spotřební materiál ani ochranné pomůcky pro obsluhu. Nevýhodou je nemožnost označování měkkých materiálů a rychlé opotřebování u velmi tvrdých materiálů.



Obrázek 15: Různá provedení mikrouderových jednotek [14]

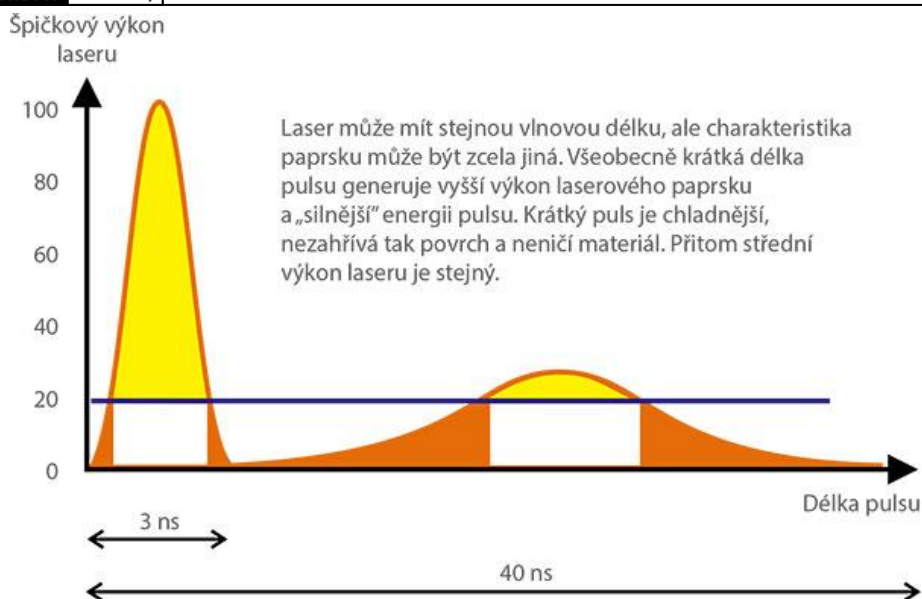
3.4 Laserové značení

Laserové značení je permanentní značící proces, při kterém dochází ke změně povrchu značeného materiálu působením úzce zaměřeného laserového paprsku. Takto zaměřený paprsek může být velice malý a umožňuje tak precizní značení i na velmi malých součástech. Z tohoto důvodu se jedná o velice rozšířený způsob značení v automobilovém, leteckém nebo elektrotechnickém průmyslu. Lasery se dělí podle použitého média (Tabulka 1), nejrozšířenějšími jsou plynové CO₂ lasery. [16]

Typ	Médium	Vlnová délka oscilace (nm)
Pevnolátkové lasery	Nd: YAG, ND: YVO ₄	1064
Plynové lasery	CO ₂	10600
Polovodičové lasery	AlGaAs, AlGaInP, GaN, atd.	různé
Vláknový laser	Nd/Yb dopované vlákno	1000 až 1150

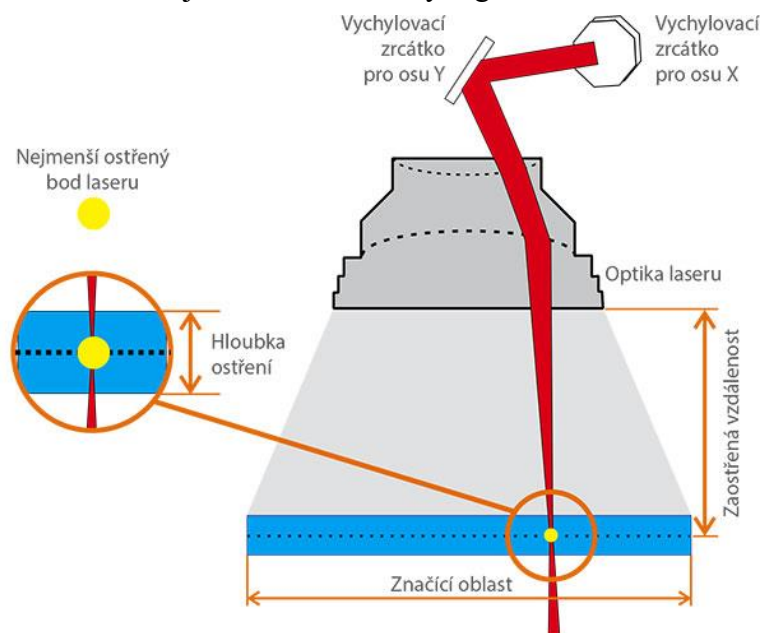
Tabulka 1: Rozdělení hlavních skupin laserů [16]

Kromě vlnové délky je určující i střední výkon a pulzní charakteristika laseru. Na Obrázku 16 je znázorněna pulzní charakteristika dvou laserů o stejném středním výkon. Podle této charakteristiky se lasery dělí na pulzní a kontinuální. Na základě této typologie se každý druh používá pro jiné aplikace. Výkon laseru kromě možností značení ovlivňuje i použitý princip chlazení. Do 55 W bývají lasery zpravidla chlazeny vzduchem, ale u výkonů nad 100 W jsou chlazeny vodou. [4], [16]



Obrázek 16: Pulzní charakteristiky z různých laserů o stejné vlnové délce [4]

Pro řízení pozice laserového paprsku se používá dvojice zrcadel (galvo), jejichž natočení je řízeno pomocí galvoserv. Takto namířený paprsek prochází optikou laseru, ve které je zaostřen a dopadá na označovanou plochu. Pomocí zaostření na co nejmenší plochu dochází ke změně povrchu materiálu a vytvoření kontrastu vůči okolní neoznačené ploše. Ke změně barvy dochází na základě termochemického a fotochemického procesu, napětí materiálu u některých plastů (změna barvy kvůli lokálnímu zahřátí a strukturálním změnám), odstranění laku na předtištěné etiketě nebo již dříve zmiňovaným gravírováním. [4]



Obrázek 17: Princip řízení laserového paprsku pro značení [4]

Laser popisuje značenou plochu po řádcích pomocí galvoserv a přerušuje paprsek při přejezdu neoznačovaných ploch. Typickým příkladem je značení DMC kódu, který se vypaluje postupně odshora až dolů. Například u hliníkových odlitků je kvůli zvýšení kontrastu a lepší čitelnosti nutné několik cyklů pálení.



Obrázek 18: Značení DMC kódu na hliníkový odlitek [17]

Laserový paprsek je potenciálně nebezpečný pro lidské oči a jeho infračervená složka dokonce pro celé lidské tělo. Laserový paprsek se navíc může částečně nebo i celkově odrazit od značeného materiálu a poranit obsluhu, proto jsou laserová zařízení rozdělena do 4 tříd nebezpečí podle normy ČSN EN 60825-1 ed. 3 a několika podtříd. [4]

Třída 1 je nejméně nebezpečná a umožňuje používání laserových zařízení zařazených v této třídě bez ochranných pomůcek. Laser nejvyšší třídy 4 je oproti tomu nebezpečný pro pokožku nejen napřímo, ale nebezpečný je i odražený paprsek. Všechna laserová zařízení třídy 1M a vyšší musí být označena výstražným textem podle § 35 odst. 2, § 36 a § 108 odst. 2 zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví. [4]



Obrázek 19: Alternativní výstražné štítky pro laserová zařízení [4]

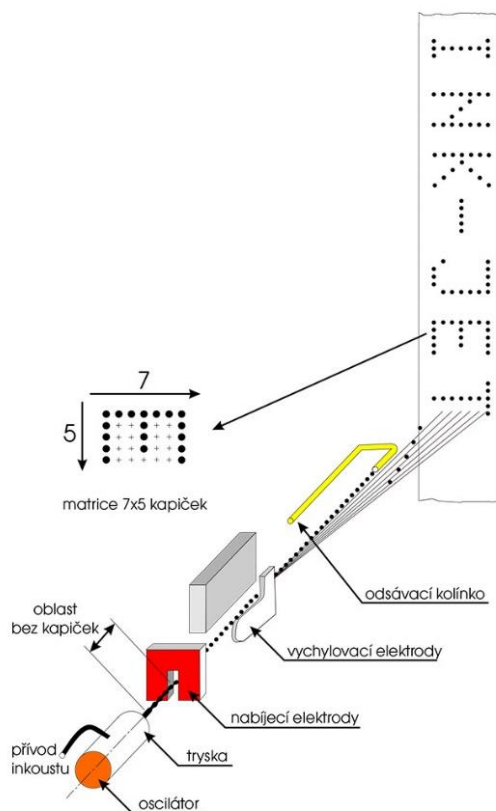
Při provozu laseru se musí používat ochranné pomůcky v závislosti na uvedené bezpečnostní třídě daného zařízení od ochranných brýlí, speciálních bezpečnostních skel, až po úplné zakrytování aktivního prostoru a zabránění úniku odražených paprsků. Dalšími prvky bezpečnosti mohou být vypínače na klíč, tlačítka nouzového zastavení a nošení ochranného oblečení spolu s ochrannými brýlemi. [18]

Kromě samotného laserového paprsku mohou být nebezpečné i zplodiny vznikající při značení, z toho důvodu je nutné odsávat značící prostor, pokud právě probíhá značení, a filtrovat tyto zplodiny.

Celkově je laserové značení progresivní a hojně používaný způsob označování dílů v průmyslu i v marketingu, kde umožňuje široké spektrum možných aplikací. Nicméně je částečně limitován zvýšenými nároky na bezpečnost vyplývající z povahy laserových zařízení.

3.5 InkJet

Jedná se o druh tisku, nedochází tedy k zásahu do značeného materiálu. Inkoust je tlačěn do trysky o průměru okolo 50 μm a vystřikuje se rychlostí až 20 m/s. Tento proud je rozdělován na kapičky pomocí piezoelektrického měniče a přivedeného střídavého napětí v rezonanční frekvenci s paprskem. Toto vysoké napětí je přivedeno i do nabíjecí elektrody, kde dochází k nabití kapiček, které dále umožňuje jejich vychylování pomocí vychylovací elektrody. Ta je tvořena dvojicí desek s vysokým napětím, které vychylují jednotlivé kapičky na jednu nebo na druhou stranu. Nabíjeny jsou jen kapičky určené k tisku, nenabité kapičky směřují do odsávacího kolínka. Princip tisku je tedy podobný jako zobrazování obrazu u CRT obrazovek. [3], [4]



Obrázek 20: Schéma technologie Continuous InkJet (CIJ) [4]

Kvůli tomu, jakým způsobem probíhá tisk, se musí buď pohybovat označovaná plocha vůči tiskové hlavě nebo naopak. Tisk probíhá obvykle na vzdálenosti okolo 10 mm, je možné značit i na vzdálenosti až 25 mm, ale za cenu snížené kvality tisku. [3]



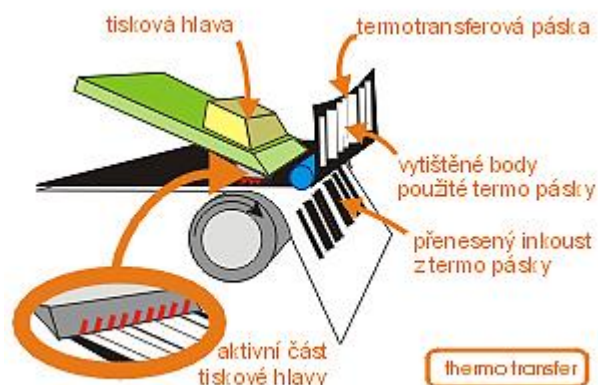
Obrázek 21: Značení komponent technologií InkJet na otočném stole [19]

Tento způsob značení je často využíván v potravinářském a spotřebním průmyslu, jeho výhodou je snadná adaptovatelnost a vysoká rychlost tisku. Za hlavní nevýhodu se dá označit používání inkoustu, tedy nutnost dalších nákupů spotřebního zboží pro provoz této technologie.

3.6 Termotransferový tisk

Jedná se o nepřímou metodu značení, kdy se označuje nejdříve páska, případně nálepka, která se teprve následně připevní na výrobek. Princip termotransferu vychází z termotisku, kdy tisková hlava tepelně působí na termocitlivý papír a dochází tak k tisku bez použití spotřebního média (kromě papíru). Tento způsob se používá při tištění účtenek, jízdenek atd. [3], [4]

Termotransferový tisk je možné použít na více typů materiálů, protože tisk probíhá pomocí tiskové hlavy, která působím tlaku a tepla na termotiskovou (přenášecí) pásku přenáší barvivo na potiskovaný povrch. Umožňuje je i barevný tisk s použitím speciálních pásek.



Obrázek 22: Princip termotransferových tiskáren [4]

Tímto způsobem se velice často tisknou nalepovací etikety, které se následně aplikují na hotové výrobky. Lepení může být prováděno ručně nebo může na tiskárnu navazovat automatický aplikátor (mechanický, pneumatický ...).



Obrázek 23: Automatický aplikátor etiket s tiskem VENTUS 920VL [20]

Jde o jednoduchý způsob značení výrobků, který je možné snadno přenastavit na zcela jiný výrobek. Velmi často se používá v potravinářském průmyslu. Nevýhodou je nutnost časté výměny cívek s etiketami a přenášečích pásek, tedy i jejich nákup a skladování zásob. Další nevýhodou je, že tento způsob nelze použít v případech, kdy je vyžadováno trvalé značení, jako je tomu v automobilovém nebo elektrotechnickém průmyslu.

3.7 Elektrochemické značení

Jde o způsob značení kovových elektricky vodivých předmětů. Je založený na povrchové korozi kovu, která je vyvolaná působením elektrického proudu na kovovou součást ponořenou v elektrolytu. Vlastní značení probíhá tak, že se na značený díl přitiskne přes kopírovací fólii značící elektroda obalená v nylonové látce napuštěné elektrolytem. Součást je stejně jako elektroda vodivě připojena do značící jednotky a samotné značení proběhne přivedením elektrického proudu na několik sekund do vzniklého obvodu. [7], [21]



Obrázek 24: Ruční elektrochemické značení [22]

Jelikož je tato metoda trvalá a šetrná k označované součásti, používá se například pro chirurgické nástroje a implantáty nebo pro značení výrobních nástrojů. Další použití nachází v automobilovém a leteckém průmyslu. [22]



Obrázek 25: Příklady využití elektrochemického značení [22]

Výhodou této metody jsou nízké pořizovací náklady, rychlost značení a šetrnost k výrobku. Nevýhodou je možnost značení pouze kovových dílů. Další nevýhodou je nutnost nové šablony pro každý typ značení.

4 SIMULACE ROBOTICKÝCH BUNĚK, OFFLINE PROGRAMOVÁNÍ A VIRTUÁLNÍ ZPROVOZNĚNÍ

Při návrhu robotických pracovišť se stále častěji používá nějaký z nabídky softwaru pro simulaci procesu, u větších firem se již pomalu jedná o standardní pomůcku při návrhu a programování stroje. Oproti klasickému způsobu, při němž se po vytvoření konstrukčního návrhu, výrobě a montáži zařízení provádí jeho naprogramování a oživení až jako poslední krok, probíhá simulace po nebo společně s konstrukcí stroje před samotnou montáží. V tomto bodě vývoje je možné předcházet kolizím, které by potenciálně mohly vzniknout při testovacím provozu a redukovat tak finanční ztráty vzniklé poškozením zařízení stejně tak jako nutné konstrukční změny bez vícenákladů, které bychom objevili až při jejich řešení na již vyrobeném stroji. Dalším využitím je validace sekvencí výrobního procesu, optimalizace cyklového času a hledání úzkých míst (bottlenecking). [23], [24], [25]

Kromě virtuálního výstupu ze simulačního programu (který je možné převést pro větší názornost do virtuální nebo rozšířené reality), je možné tyto softwary používat i pro OPL (offline programování). Oproti klasickému programování robota přes ovládací panel přímo na místě je možné vytvořit program pro robota bez nutnosti být přímo u robota nebo ho vůbec fyzicky pořídit. Je tedy možné připravit program dopředu a podstatně tak zkrátit čas nutný pro instalaci zařízení. Při používání ve výrobních procesech, kde dochází k časté změně programů, také výrazně snižuje nutné přestávky pro přeprogramování robota. Například při změně obrobku, který je odjehlován robotem, je možné připravit program na nový typ, zatímco dojíždí výroba posledních stávajících kusů. [24]



Obrázek 26: Digitální dvojče výrobní buňky vytvořené na ÚVSSR [26]

Virtuální zprovoznění digitálního dvojčete je dalším vývojovým krokem v simulaci výrobního stroje. Cílem je plně nasimulovat chování 3D modelu, jako by se jednalo o reálný stroj. Simuluje se tedy nejen kinematika modelu, ale i PLC a kontrolory robotů včetně všech vstupů a výstupů. Je tedy možné dopředu vytvořit řídicí systém včetně uživatelského prostředí a poté ho vyzkoušet na 3D modelu bez rizika nákladných kolizí, a to všechno před montáží u zákazníka. Motivací pro zavádění virtuálního zprovoznění do běžné praxe je významná úspora času a peněz, a to zejména u velkých a složitých projektů. Proto již dnes některé světové automobilky vyžadují virtuální přejímku zakázky, aby bylo možné prezentovat kompletní výrobní proces v reálném čase. [25]

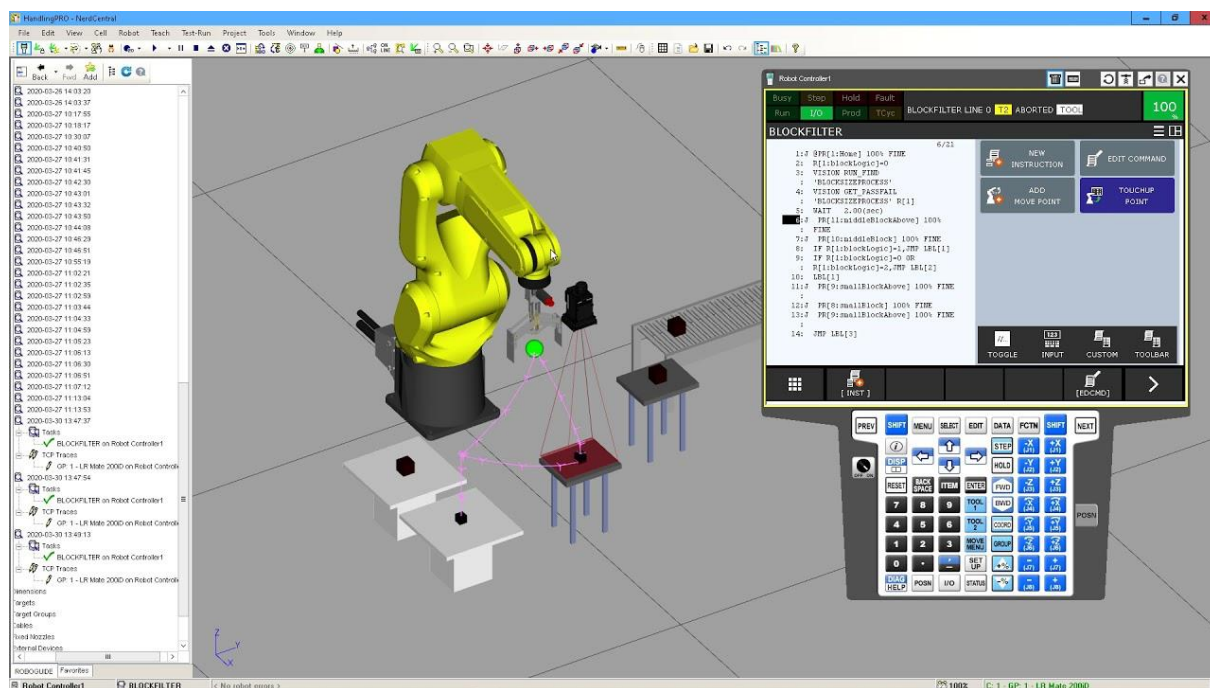
Stejně jako je mnoho výrobců robotů, existuje i mnoho softwarů pro jejich simulaci. Spousta výrobců robotů má vlastní simulační software, avšak existuje i velké množství dalších produktů, které se nezaměřují pouze na jednu značku. Další kapitoly jsou věnovány popisu některých z dostupných a v průmyslu používaných softwarů pro simulaci robotických pracovišť.

4.1 RoboGuide

Simulační software od firmy Fanuc obsahuje jak vlastní 3D modelář s možností importu modelů z externích CAD aplikací, tak knihovnu často používaných komponent. Lze tak rychle a jednoduše nasimulovat výrobní proces za použití robotů firmy Fanuc a poté pomocí Ethernetového připojení přenést program přímo do robota. [27]

Software obsahuje řadu nástrojů pro konkrétní aplikace, jako je odjehlování (ChamferingPRO), manipulace (HandlingPRO), lakování (PaintPRO), paletizace (PalletPRO), svařování (WeldPRO) a další.

Je možné využít pokročilou funkci AUTOPLACE pro výpočet nejlepší polohy robota podle doby cyklu a výkonu, CABLO pro simulaci připojení kabelů k robotům či periferiím nebo SPRAY pro vizualizaci lakování na konkrétních dílech.



Obrázek 27: Fanuc RoboGuide, nastavení 2D kamerového senzoru [28]

4.2 KUKA.Sim

Simulační software od firmy KUKA určený pro simulaci robotických aplikací používajících roboty KUKA. Podobně jako RoboGuide obsahuje všechny nástroje pro tvorbu a import modelů včetně předpřipravených knihoven. Nabízí také konfigurovatelnou kontrolu kolizí a kontrolu vzdáleností. [29], [30]

KUKA.Sim umožňuje využití VR příslušenství pro virtuální prezentaci konceptů a mobilní aplikaci Visual Components Experience pro prohlížení výsledků simulací na mobilních telefonech a tabletech.

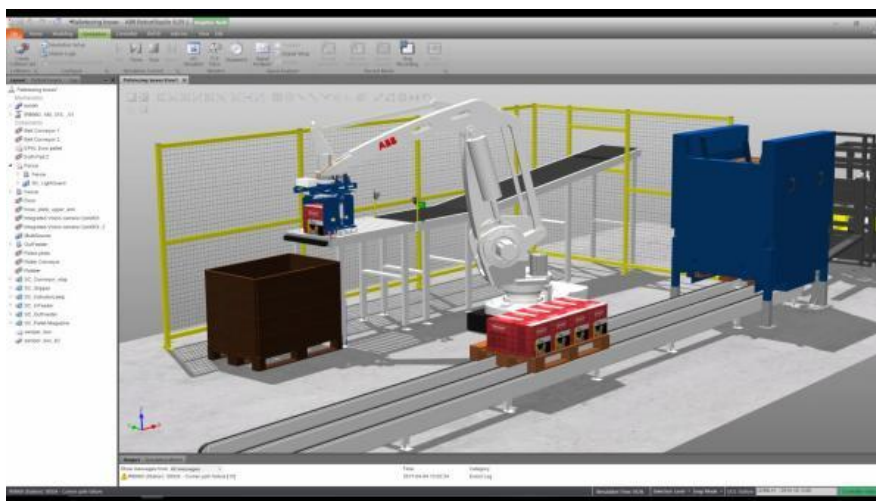


Obrázek 28: Starší verze KUKA.Sim 1.1 [31]

4.3 RobotStudio

Simulační software od firmy ABB je určený primárně pro simulaci robotů značky ABB. Obsahuje RAPID editor pro editaci programu robotu. Pomocí tohoto editoru je tedy možné vytvořit kompletní program kontroléru na PC a pouze ho nahrát do reálného robota. Jelikož je RobotStudio založeno na virtuálním kontroléru ABB, umožňuje přesné simulace na základě dat z reálných robotů. [30], [32]

RobotStudio lze využít pro virtuální zprovoznění digitálního dvojčete, jehož součástí mohou být i fyzikální modely. Pro prezentaci výstupů je možné používat prvky pro virtuální nebo rozšířenou realitu.



Obrázek 29: Simulace paletizace v RobotStudio 6.05 [33]

4.4 Tecnomatix Procs Simulate

Software pro digitalizaci výrobních procesů od firmy Siemens. Umožňuje simulaci s roboty od více výrobců včetně jejich offline programování. Je možné využívat RSC moduly (Robot Controller Simulation) pro přesný výpočet časů polohování, a to u robotů různých značek. Jedná se však o doplňkové placené moduly. [34]

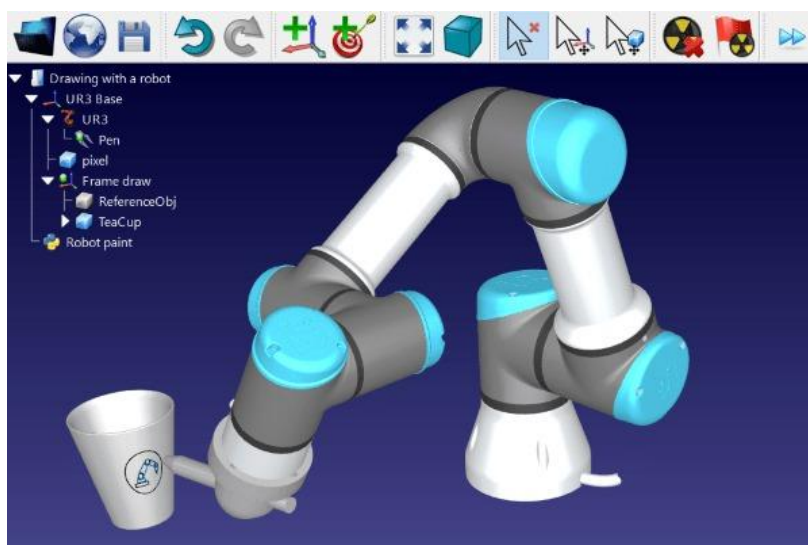
Spolu s dalšími produkty z rodiny Tecnomatix lze simulovat procesy v celém procesu vzniku výrobku od úrovně jedné výrobní buňky až po celý výrobní závod. Program Procs Simulate Human nabízí možnost simulace lidské obsluhy pro simulaci procesu nebo analýzy ergonomie pracoviště. [35]



Obrázek 30: Projekt v programu Tecnomatix Process Simulate Robotics [34]

4.5 RoboDK

Software pro simulaci robotických aplikací a OLP. Používá knihovnu s robotickými rameny od více než 40 výrobců. RoboDK podporuje mnoho robotických kontrolérů a umožňuje tak export programů do jazyků ABB RAPID, Fanuc LS a mnoha dalších. [36]



Obrázek 31: Simulace malování robotem pomocí RoboDK [36]

5 TVORBA LAYOUTU

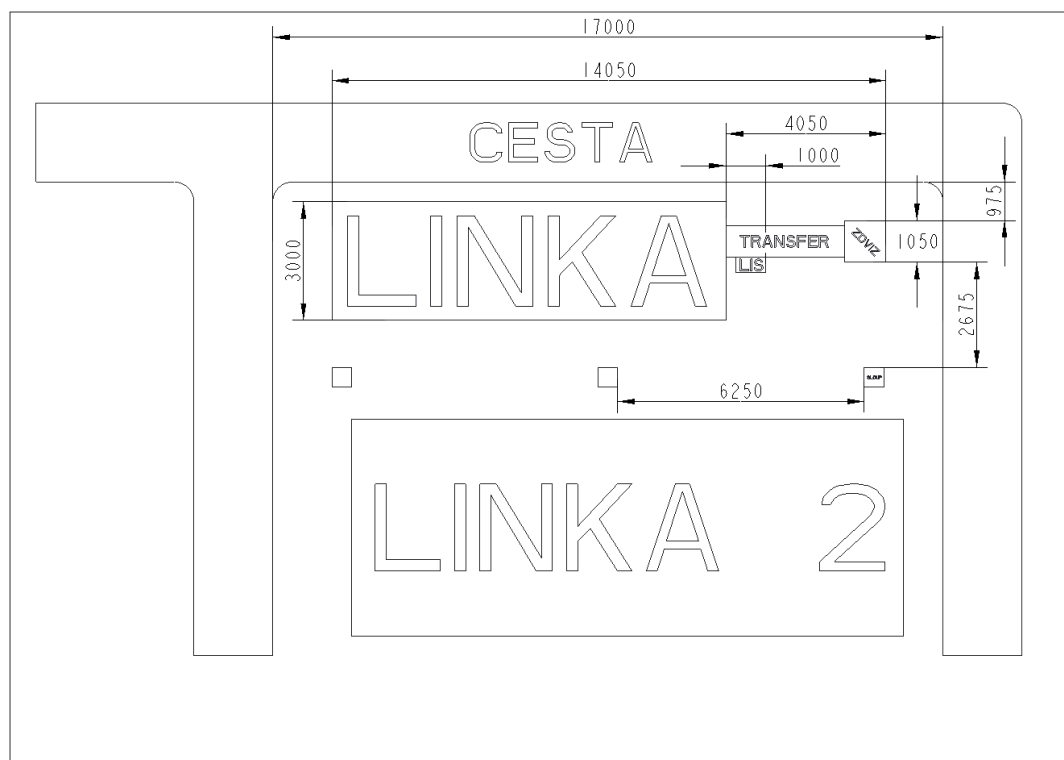
Na obrázku 32 je zjednodušený layout haly a výrobních linek, kam má být zakomponováno výstupní pracoviště. Jedná se o montážní linky určené pro montování nových typů ramen s možností rozšíření výroby v budoucnu.

Pracoviště bude navazovat na výstup z linky předmontáže kulového čepu (na obrázku označena jako LINKA) a předmontovaná ramena se zaválcovanými čepy budou dále pokračovat do vedlejší linky pro montáž gumové manžety (LINKA 2).

V rámci projektu byla uvažována i přímá manipulace mezi linkami bez přítomnosti obsluhy, ale po jednáních se zákazníkem bylo rozhodnuto, že ramena budou po předmontáži skládána obsluhou první linky do beden a následně budou další obsluhou zakládána do druhé linky. Takt linky je 8 s, na výstupu však vyjíždí palety s rameny po dvojicích, na zpracování dvojice ramen máme tedy 16 s. Ze zkoušek značení DMC kódem vychází čas značení přibližně 5 s.

Bylo tedy nutné navrhnout pracoviště, které vyjme ramena z linky, provede značení DMC, vytištění alfanumerického označení a odložení ramen pro další manipulaci, přičemž musí být zaručeně vyraženy všechny kusy, které nespĺňují požadované parametry, jako NOK.

Linka předmontáže ramen je obsluhována minimálně jedním člověkem, který zakládá hliníkové odlitky ramen do palet v levé části stroje, tato obsluha se stará rovněž o doplňování blistrů s kulovými čepy do depaletizační jednotky a doplňování misek s víčky do vibračních zásobníků. Tento pracovník také vyměňuje všechny vyměnitelné přípravky při přechodu na jiný typ výroby.



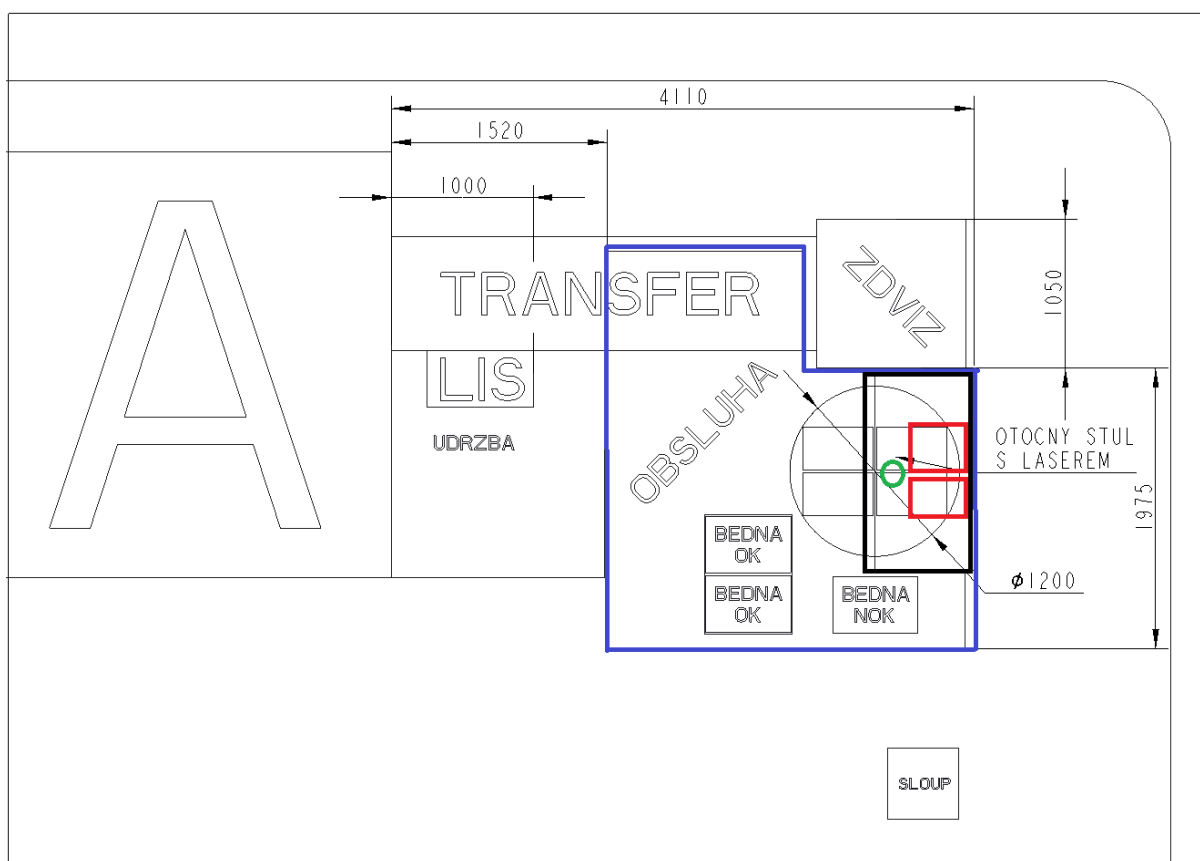
Obrázek 32: Layout haly [Zdroj: vlastní]

5.1 Varianta 1 – otočný stůl, manipulace obsluhou

První variantou bylo použití dvupolohového rotačního stolu s výměnnými lůžky a manipulace ramen dodatečnou obsluhou.

V tomto případě obsluha odebírá ramena z palet na transferu a zakládá je do přední polohy otočného stolu. Druhá poloha otočného stolu funguje jako laserové značící pracoviště, kde dojde k vypálení DMC kódu. Pro vytištění alfanumerického kódu by bylo nutné doplnit manipulátor s InkJetovou tiskovou hlavou, protože rameno zůstává nehybné.

Problémem této varianty je sledování ramen. Při zakládání do stolu pro označení není rameno sledováno a ze strany obsluhy může dojít k záměně. Na rameno by se tedy nemuselo vypálit správné označení se všemi údaji. Částečným řešením je střídavé zakládání levého a pravého ramene na vstupu, aby každá dvojice ramen z transferu šla založit do lůžek v otočném stole pouze jedním způsobem. Ani toto opatření ovšem nezaručí, že nebude označeno například předtím odložené rameno.



Obrázek 33: Detail layoutu – otočný stůl s obsluhou [Zdroj: vlastní]

Modře je vyznačena celá oblast stanice, černě je ohraničený zakrytovaný prostor (proti laseru), červeně pozice laserových hlav a zeleně značící hlava InkJet.

5.2 Varianta 2 – otočný stůl, robotická manipulace

Druhá varianta opět počítá s využitím otočného stolu, v tomto případě ovšem třípolohového.

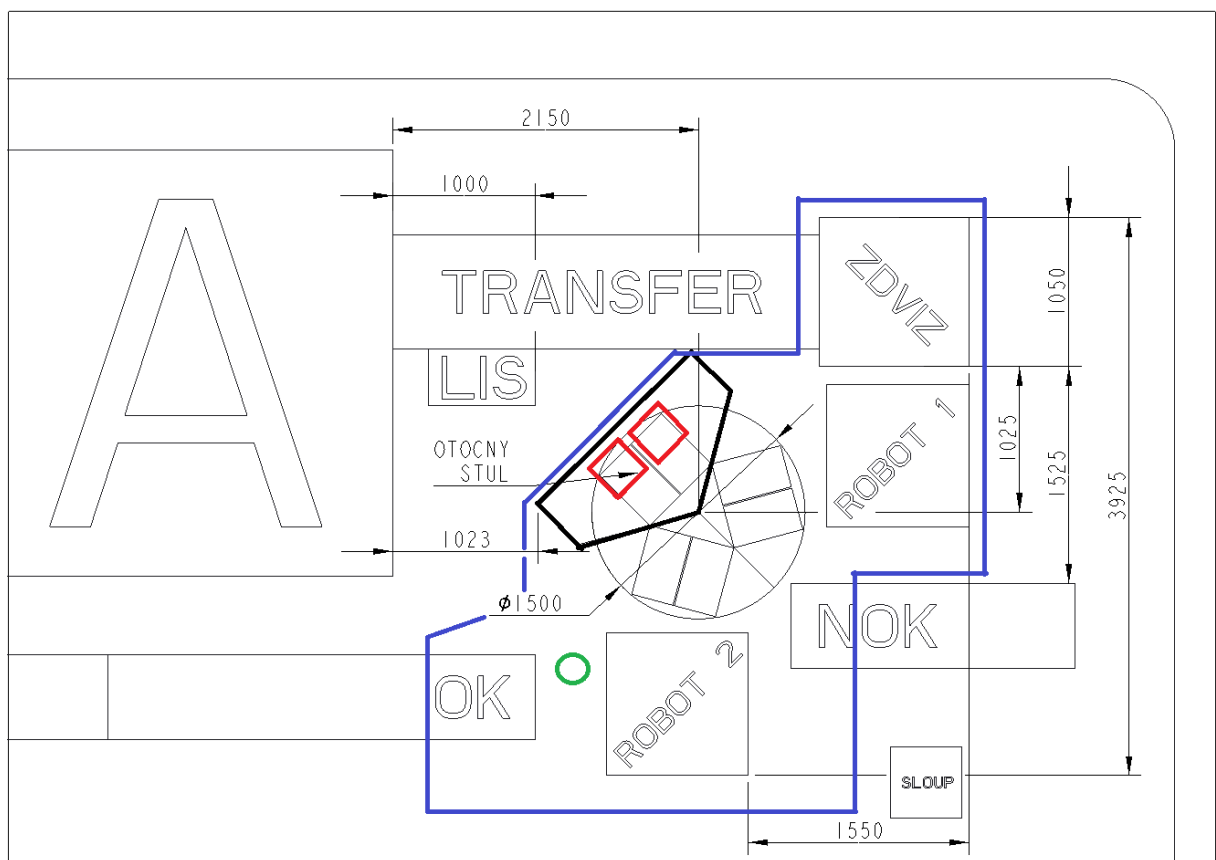
Manipulaci rameny zajišťuje dvojice šestiosých robotických manipulátorů. První robot zakládá ramena z transferu (zdvíž je poslední pozicí na transferu, po odebrání ramen jsou prázdné palety elektrickou lineární osou odebrány z horní větve a přesunuty na spodní) do lůžek

v první pozici otočného stolu (nejblíže robotu 1). Druhá pozice otočného stolu slouží pro označení DMC laserem obdobně jako ve variantě jedna. Ze třetí pozice otočného stolu druhý robot odeberá rameno a pokládá ho na pásové dopravníky.

NOK dopravník směřuje mimo prostor linky a je opatřený krytem se zámkem, aby s NOK kusy mohl manipulovat jen pověřený pracovník.

OK pás vede až k obsluze linky vlevo, není tedy potřeba další dodatečná obsluha pro manipulaci s předmontovanými rameny. Dopravník bude muset být složen z několika segmentů, z nichž jeden musí být odsuvný nebo výklopný, aby bylo možné se dostat k některým technologiím pro údržbu (na layoutu je vyznačený poslední ze servolisů, ke kterému musí být přístup minimálně pro výměnu zaválcovací hlavy).

Tisková hlava pro značení DMC kódu může být v této variantě stacionární, protože se vůči ní bude pohybovat rameno sevřené v chapači robota.



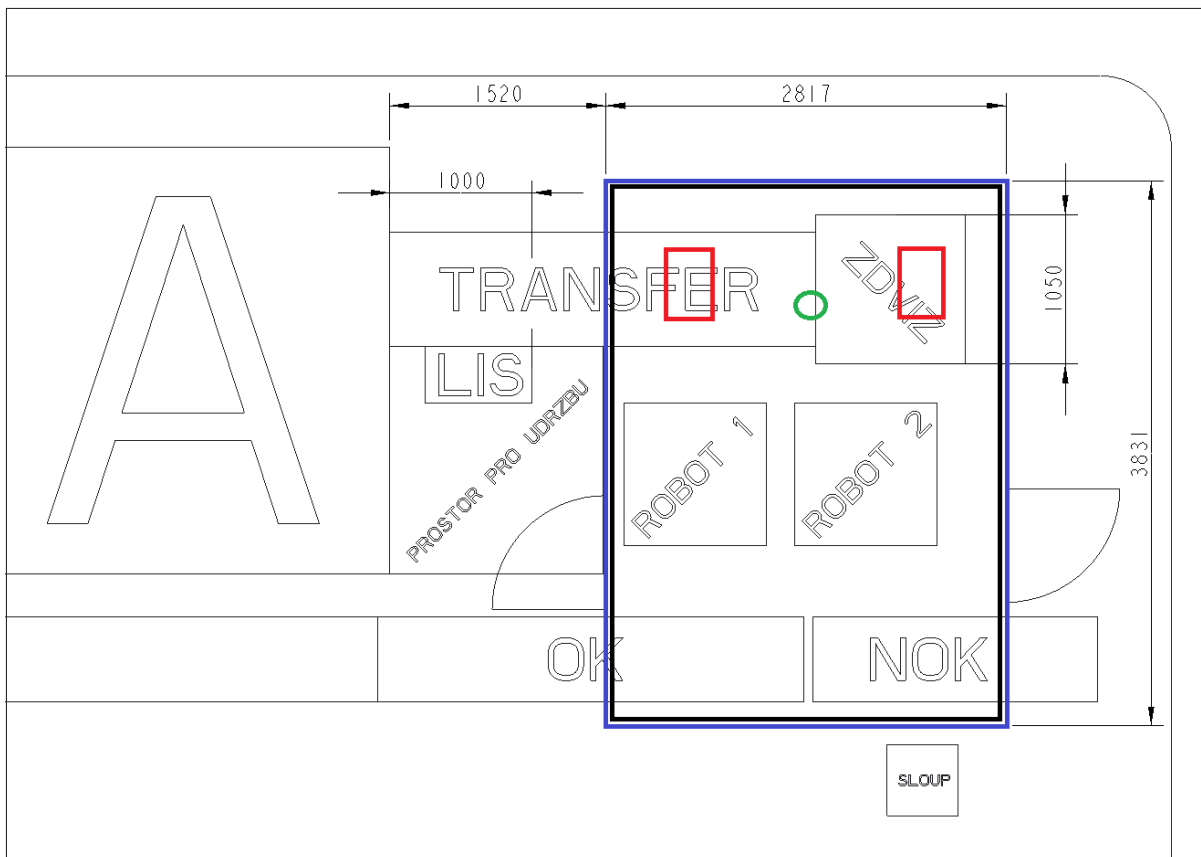
Obrázek 34: Detail layoutu – otočný stůl s robotickou manipulací [Zdroj: vlastní]

5.3 Varianta 3 – značení nad transferem, robotická manipulace

Ve třetí variantě zajišťuje manipulaci rameny dvojice robotů, avšak bez použití otočného stolu. V této variantě se počítá s umístěním značících jednotek přímo nad jednotku transferu a držení ramen při značení roboty.

Jelikož by bylo velmi obtížné zakrytovat pouze část robota, který drží rameno a okolí značící jednotky, je nutné vytvořit bezpečnostní krytování okolo celé buňky, kde probíhá manipulace s rameny.

Pásové dopravníky i tisk InkJetem je obdobný jako u varianty 2, avšak prostor, kam jsou ramena zakládána, musí být oddělený od prostoru laserového značení posuvnými dveřmi, které se budou otevírat v každém cyklu, nebo musí být zakrytovány spolu s tímto prostorem.



Obrázek 35: Robotická manipulace se značením nad transferem [Zdroj: vlastní]

5.4 Výběr varianty pro implementaci

Výběr varianty pro implementaci probíhal eliminační metodou.

Varianta 1 byla eliminována jako první hned z několika důvodů. Pozitivní bylo sice to, že by měla nejmenší pořizovací náklady, ale bylo by nutné řešit množství technických a provozních problémů, které tuto výhodu převážily.

Předně se jedná o problém s párováním ramena a popisu kódem. Protože dochází k zásahu lidské a eventuálně chybné obsluhy, není principiálně zajištěná záruka správnosti popisu u daného dílu. Pokud by nedošlo k úpravám zajišťujícím uzamčení NOK dílů na paletě v lince, může dojít i ke zpracování NOK dílu jako OK kusu.

Dalším problémem je bezpečnost obsluhy. Protože by obsluha odebírala ramena z palety na krokovém dopravníku z transferu, musí být zajištěná její bezpečnost. Při použití bezpečnostních dveří by docházelo k prodloužení cyklového času a při použití bezpečnostní světelné závory by mohlo docházet k nechtěnému zastavování stroje, tedy k přerušení operací, což by mělo za následek prostoje a zbytečný vznik NOK kusů jako důsledek přerušených operací.

Ve výsledku se tedy rozhodovalo mezi variantou 2 a 3. Ve variantě 2 se používá osvědčený způsob značení, který byl v minulosti již několikrát realizován, zatímco varianta 3

je řešením pouze pro tuto konkrétní linku. Pro implementaci však nakonec byla vybrána varianta 3, a to ze dvou hlavních důvodů.

Prvním důvodem je počet výměnných přípravků, který je nutné vyměnit při přestavbě stroje na jiný typ ramen. Palce na chapačích robotů je nutné měnit v obou variantách, ale v případě otočného stolu je nutné měnit i zakládací lůžka pro značení laserem. Jde o dalších šest přípravků navíc, které je nutné vyměnit a potom i někde skladovat.

Druhým důvodem jsou pořizovací náklady. Varianta 3 má sice složitější krytování, ale oproti variantě 2 odpadají náklady na pořízení otočného stolu a přípravků do něj. To se ještě výrazněji projeví při zavádění výroby nového typu ramen, kdy odpadá nutnost výroby lůžek do otočného stolu (nové palce na chapače se musí vyrobit pro obě varianty).

Na základě výše popsaných důvodů byla pro implementaci zvolena varianta 3.

6 NÁVRH PRACOVIŠTĚ

6.1 Návrh koncového efektoru

Pro uchopování ramen byl zvolen pneumatický paralelní chapač od společnosti Schunk s rychlovýměnnými palci, a to na základě předchozích zkušeností z obdobných aplikací. Pro dimenzování chapače, které je popsáno dále, jsem vycházel kromě výpočtu i z předpokladu plánovaného rozšíření výroby o další typy ramen, je tedy nutné naddimenzovat chapač kvůli budoucímu neznámému zatížení.



Obrázek 36: Ramena R a L [Zdroj: vlastní]

Váha ramene po sesazení je dle výpočtu 2555 g a pozice těžiště je poměrně blízko středovému otvoru. Tělo ramene je tlakově litý hliníkový odlitek, za který je možno rameno manipulovat mimo funkční obrobene plochy. Opracované průchozí otvory a miska jsou funkční, zbylé opracování včetně sražení na středovém otvoru již funkční není. Manipulace za dřík kulového čepu není vhodná z důvodu možného natočení ramene. Rameno tedy bude odebíráno pomocí tvarového palce v místě středového otvoru tak, aby případná dotyková plocha byla na neobrobených plochách a na sražení. Jednak je toto místo blízko těžiště a nezakrývá plochu, která má být označena, zároveň také umožňuje použít na tomto konkrétním typu ramen stejné palce pro pravou i levou variantu. Požadovaný zdvih na čelist je 10 až 20 mm.



Obrázek 37: Výpočet váhy a těžiště ramene [Zdroj: vlastní]

Pro výpočet byl použit online nástroj od firmy Schunk, který je dostupný na jejich webových stránkách. [37]

Kromě váhy a těžiště uchopovaného ramena a palců je pro výpočet potřeba zadat tlak na přívodu stlačeného vzduchu a koeficient tření mezi tvarovou čelistí a ramenem. Pro přívod uvažujeme 0,5 MPa namísto klasických 0,6 MPa kvůli rozvodům stlačeného vzduchu na hale, kde bude linka umístěna, a koeficient tření 0,2 jako nejhorší variantu pro styk hliník-ocel. Síly od technologií jsou nulové. Kvůli variabilitě manipulace je síla od gravitačního zrychlení přítomná ve všech osách. Stejně tak jako zrychlení od robotu, které je nastaveno na 10 m/s². Celý protokol je v příloze.



Application-specific degree of utilization of the product: PGN-plus-P 160-1

	%	Calculated	Nominal	Sicherheitsfaktor
Gripping force	59.9%	911.2 N	1521.9 N	2.0
Vehicle	1.2%	123.1 N	10000.0 N	2.0
M _x	10.1%	19.2 Nm	190.0 Nm	2.0
M _y	6.3%	11.4 Nm	180.0 Nm	2.0
M _z	72.3%	144.7 Nm	200.0 Nm	2.0

Obrázek 38: Doporučený chapač podle konfigurátoru Schunk [37]

Po zadání všech proměnných konfigurátor doporučuje chapač PGN-plus-P 160-1 (výpočtový protokol v příloze), který má dle výpočtu ještě rezervy pro sílu a zatížení, takže je pravděpodobné, že bude dostačující i pro nové typy.



Obrázek 39: Paralelní pneumatický chapač PGN-plus-P 160-1 [38]

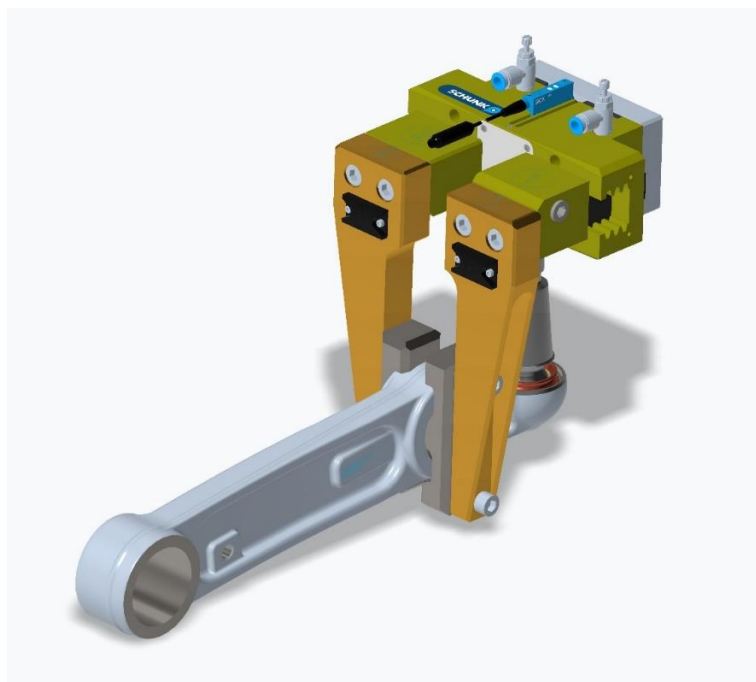
Chapač bude ovládaný samostatným 5/3 ventilem umístěným na rameni robotu a přívod vzduchu bude opatřený redukčním ventilem pro regulaci uchopovací síly.

Protože mají být palce na chapači rychlovýměnné, bude chapač doplněn rychlovýměnnými systémem BSWS-PGZN-plus od firmy Schunk. [39]



Obrázek 40: Rychlovýměnný systém BSWS-PGZN-plus [39]

Systém slouží pro rychlou manuální výměnu palců, kdy kostky BSBS-B 160 jsou přišroubovány přes centrační kroužky na chapač a dvojice kolíků BSWS-AR 160 na palce. Pro výměnu chapačů stačí každou kostku odemknout pomocí inbusového klíče. Rychlovýměnné kolíky jsou přichycené k ocelovým palcům sloužícím jako základ výměnných přípravků, ke kterým jsou přišroubované vyměnitelné tvarové čelisti z POMu.



Obrázek 41: Chapač s upnutým ramenem [Zdroj: vlastní]

Pro detekci otevření chapače je použitý analogový polohový senzor od firmy Sick MPS-025CLTP (1079358). Místo dvou klasických jazýčkových relé je použit analogový snímač jednak z důvodu menšího množství kabelů, ale hlavně kvůli případným dalším výměnným chapačům, které mohou mít jiné zdvihy než ten současný. [40]

Výměnné chapače jsou opatřeny RFID čipy pro kontrolu založení správného palce, určitým zvoleným způsobem pro momentální program. Pro kódování je použita čtecí

a zapisovací hlava BIS014K od firmy Balluff používající vysokou frekvenci (HF) 13, 56 MHz podporující standard podle normy DIN ISO 15693. K nim jsou použité kompatibilní datové nosiče BIS004F. [41], [42]



Obrázek 42: A): Datový nosič HF BIS004F [42]; B): Čtecí hlava BIS014K [41]

Čtecí hlava je upevněna na rámu spolu s technologiemi značení, při výměně typu nebo při doplňování nových robot najíždí s otevřenými čelistmi v dané vzdálenosti od čtečky a kontroluje založení správného palce. Chapač je připojený k flangi robota přes Plancastovou mezidesku.

6.2 Výběr robotů

Při výběru robota je nutné vzít v úvahu řadu důležitých parametrů, mezi něž patří počet os, dosah, nosnost, výrobce, prostředí, způsob montáže a řada dalších.

Pro tuto aplikaci jsou uvažovány pouze roboty ABB kvůli požadavkům zadavatele, pro kterého je buňka určena. Z tohoto důvodu bude také využíván program pro simulaci RobotStudio. Kvůli složitosti polohování jsou uvažovány pouze šestiosé roboty. Prostředí, ve kterém bude robot operovat, je standardní bez agresivních částic a není tedy potřeba vyššího krytí než standardního. Montáž na stěnu ani na strop není vyžadovaná.

Jsou tedy uvažovány roboty ABB z řad IRB 2400 a IRB 2600, které splňují následující požadavky.

Verze robota	IRB 2400/10	IRB 2400/16	IRB 2600-20/1.65	IRB 2600-12/1.65	IRB 2600-12/1.85
Dosah [m]	1,55	1,55	1,65	1,65	1,85
Nosnost [kg]	10	16	20	12	12
Váha [kg]	380	380	272	272	284
Opakovatelná přesnost [mm]	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04

Tabulka 2: Tabulka uvažovaných modelů robotů [43], [44]

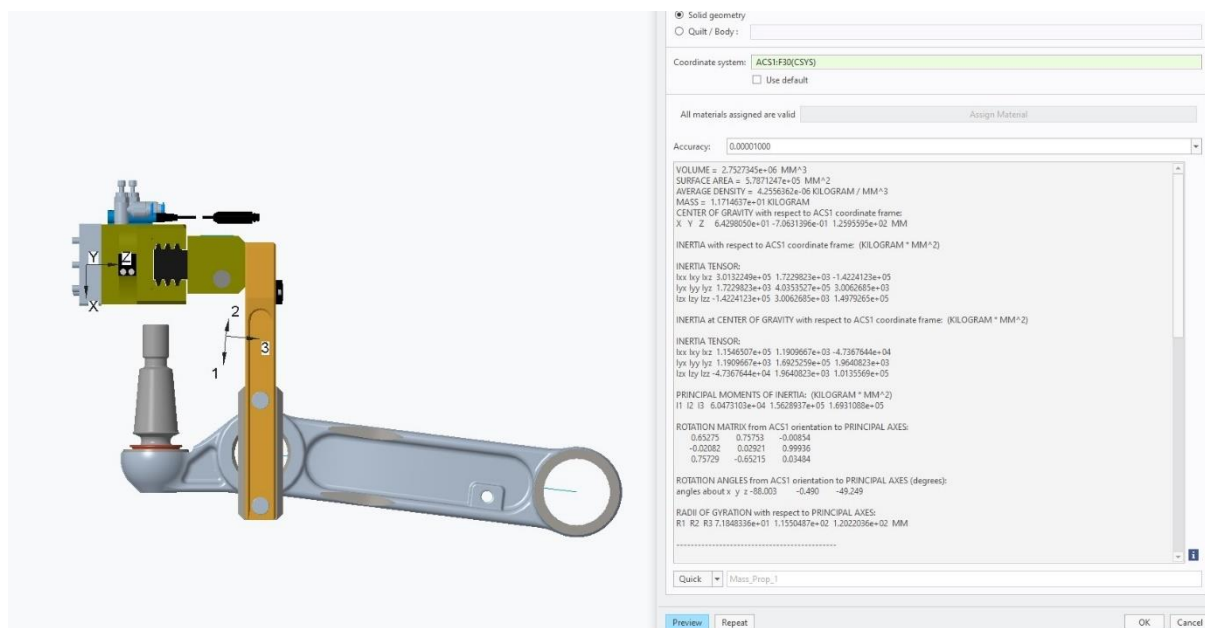
Nyní je nutné provést kontrolní výpočet zatížení robotu. Nejdříve orientační na základě váhy efektoru.

Díl	Rameno	Tvarová čelist	Prst	Rychlovýměna – kolík	Rychlovýměna – domek	Chapač	Mezideska	Spojovací materiál, konektory ...
Váha [g]	2555	125	1800	85	480	3000	422	350
Počet [-]	1	2	2	4	2	1	1	1
Váha všech komponent [kg]	2555	250	3600	340	960	3000	422	350
Celková váha [kg]								11477

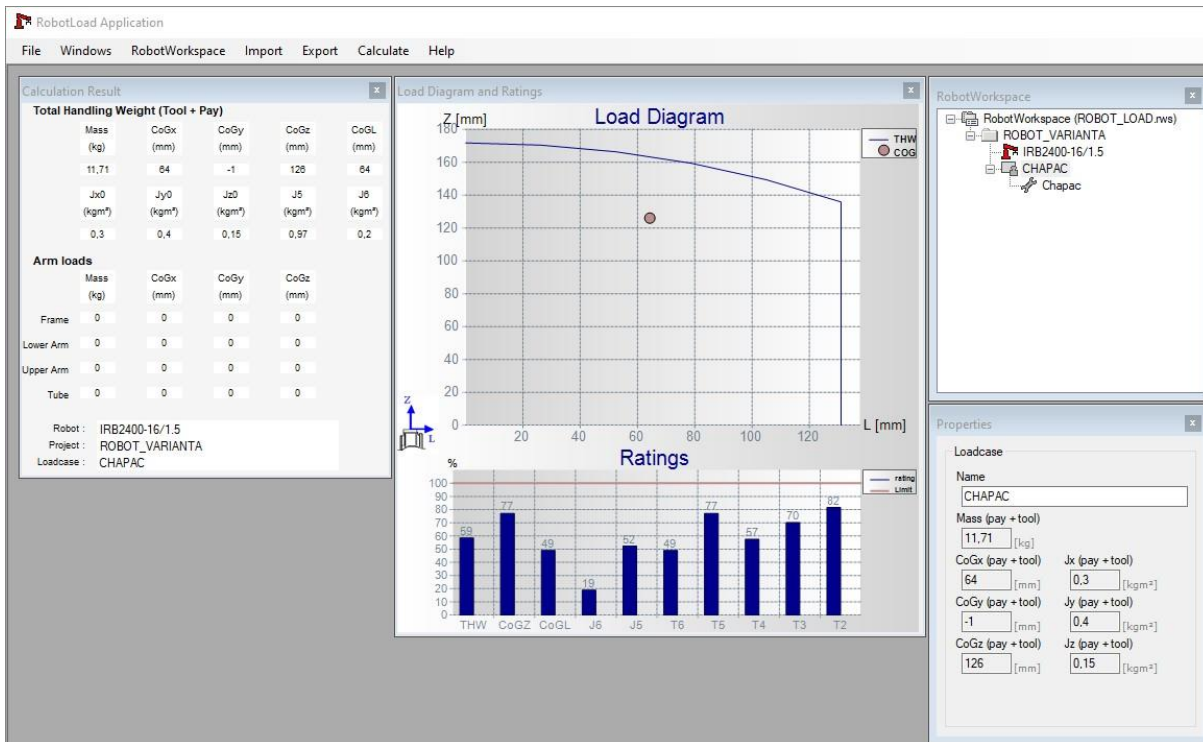
Tabulka 3: Výpočet váhy koncového efektoru [Zdroj: vlastní]

Z váhy efektoru vychází jako potenciální možnosti roboty IRB 2400/16 a IRB 2600-20/1.65. Statické zatížení vychází i pro IRB 2600-12/1.65 a IRB 2600-12/1.85, ale vzhledem k velikosti chapače, který posouvá těžiště dále od flange robota a k nutnosti rezervy nosnosti pro budoucí typy ramen, nebudou tyto roboty uvažovány.

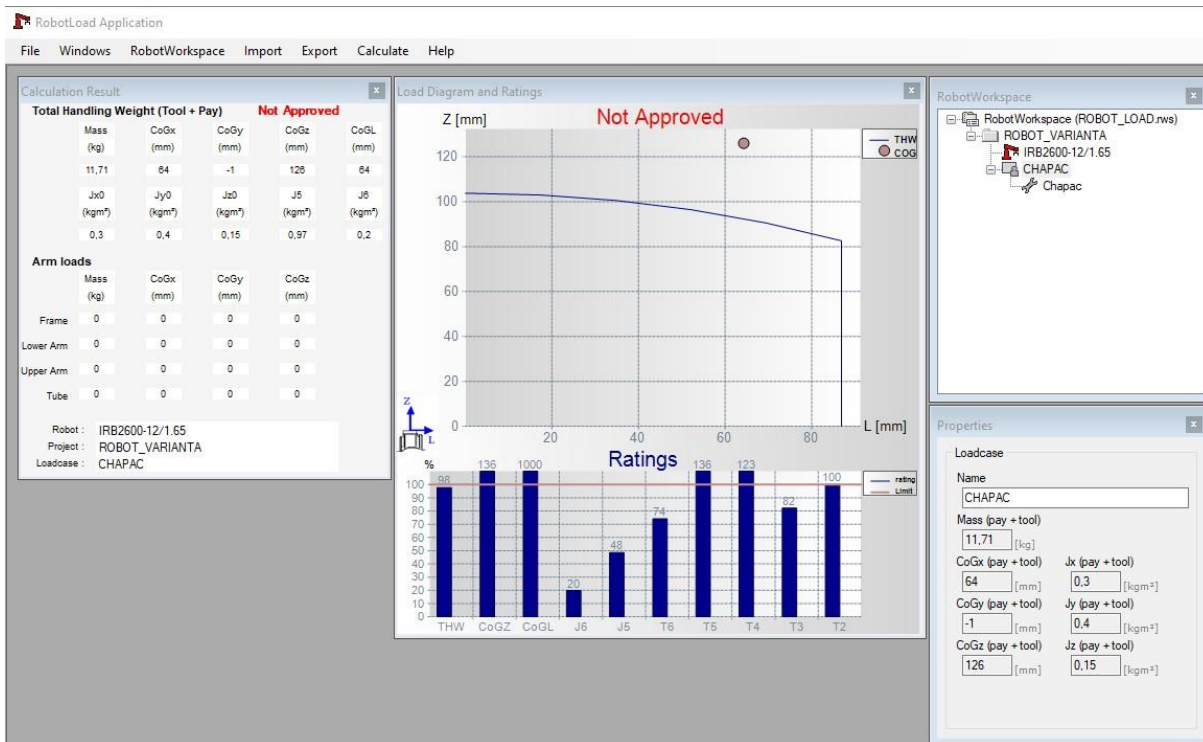
Pro přesnější výpočet byl použit program ABB RobotLoad pro určení dovoleného zatížení. Přiřazením odpovídajících materiálů do 3D modelu a doplněním souřadného systému flange robota byla získána data pro definici zatížení v programu ABB RobotLoad.



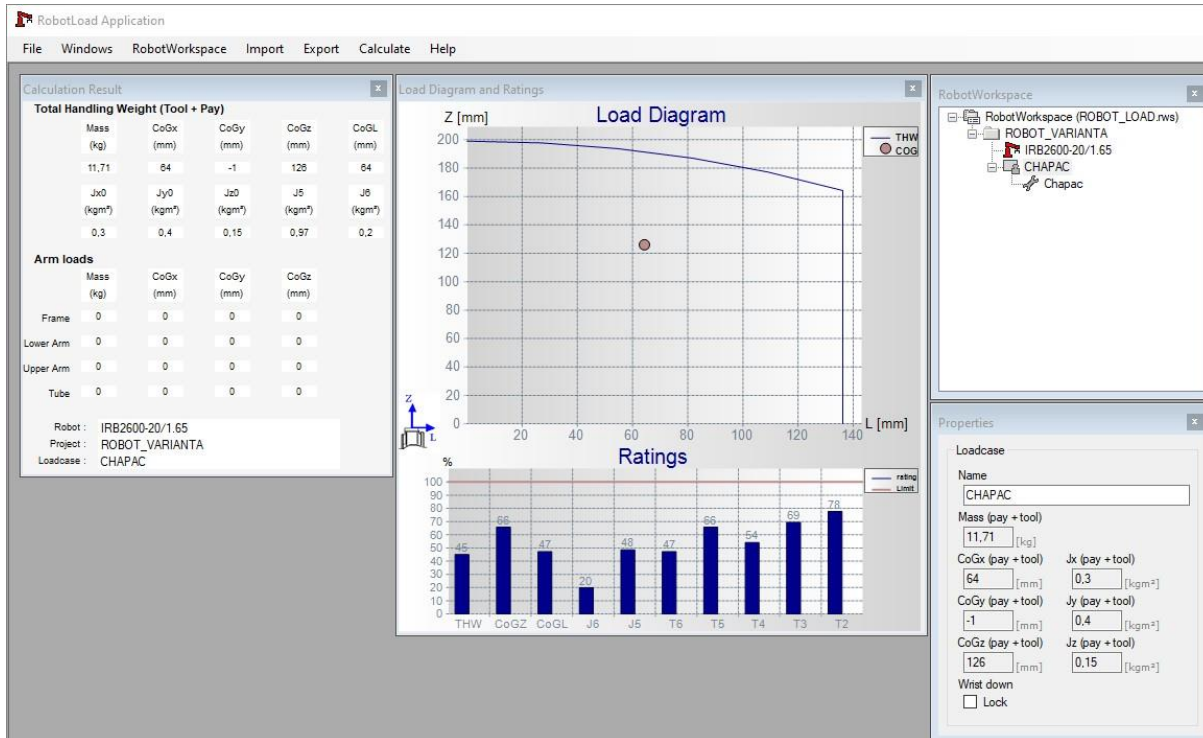
Obrázek 43: Výpočet těžiště a kvadratických momentů v programu Creo Parametric 7.0.2.0 [Zdroj: vlastní]



Obrázek 44: Výpočet v programu RobotLoad pro robot IRB 2400/16 [Zdroj: vlastní]



Obrázek 45: Výpočet v programu RobotLoad pro robot IRB 2600-12/1.65 [Zdroj: vlastní]



Obrázek 46: Výpočet v programu RobotLoad pro robot IRB 2600-20/1.65 [Zdroj: vlastní]

Na základě předběžného výpočtu vychází, že roboty IRB 2600-12 nejsou doporučeny vzhledem k vyložení zátěže. Roboty IRB 2400/16 a IRB 2600-20/1.65 vyhovují z hlediska zatížení a je možné je použít. Z těchto dvou byl vybrán robot IRB 2600-20/1.65 díky vyšší povolené zátěži, delšímu dosahu a nižší hmotnosti, i když má o něco nižší opakovatelnou přesnost.



Obrázek 47: Robot IRB 2600-20/1.65 [44]

Roboty budou umístěny na svařované stojany z jeklů s obrobenou horní deskou, které budou přikotveny do podlahy.



Obrázek 48: Roboty s podstavci v pozici odebrání ramen [Zdroj: vlastní]

Pro řízení robotů bude použit kontrolér IRC5 Single Cabinet s dodatečným Compact Drive modulem pro řízení obou robotů. Kontrolér robota bude řídit pouze jejich pohybové funkce, všechny ostatní periferie budou řízeny pomocí hlavního PLC. Komunikace mezi kontrolérem a PLC bude probíhat na síti s komunikačním protokolem Profinet.



Obrázek 49: Kontrolér IRC5 Single Cabinet [45]

6.3 Technologie značení

Jak již bylo uvedeno v předchozích kapitolách, je vyžadováno označení ramen dvojího druhu.

Pro značení DMC kódem je použita laserová značící jednotka od firmy Keyence MD-X1000, která se již u zákazníka používá na jiných aplikacích. Pro každý robot je použita jedna jednotka, protože podle předběžných testů vychází čas značení jednoho DMC na 5 s.

Jednotka sestává z řídicího boxu a značící hlavy, které jsou spojené neodpojitelným kabelem o délce 4,3 m, což limituje možnosti umístění řídicích jednotek. Výhodou této jednotky je možnost značení nerovných a složitě tvarovaných povrchů za předpokladu, že se vejdu do značícího prostoru o velikosti $125 \times 125 \times 42$ mm. Je možné dokoupit modul pro kontrolní čtení DMC přímo do značící hlavy, ale modul stejně vyžaduje externí osvětlení a ani tak není zaručená stejná spolehlivost a vlastnosti jako při použití plnohodnotné externí čtečky. [46]



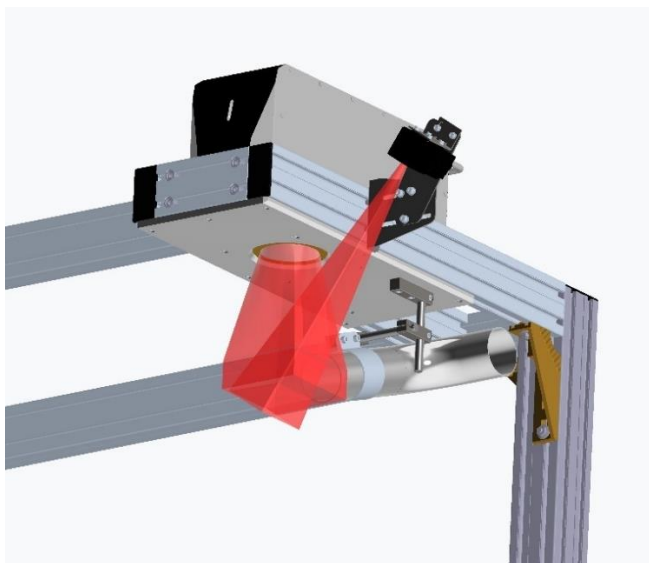
Obrázek 50: Značící hlava Keyence MD-X1000 s řídicí jednotkou [46]

Pro kontrolní čtení je ke každému laseru doplněná čtečka SR-1000, opět od firmy Keyence. Čtečka má vlastní zdroj světla, není tedy nutné další externí osvětlení a umožňuje spolehlivé čtení kódu i při naklonění čtečky vůči rovině značení. Poté, co robot najede s ramenem do prostoru značení a dojde k vypálení DMC, čtečka zkontroluje vypálený kód a určí, jestli je OK nebo NOK. Pokud by nebylo zajištěné spolehlivé čtení přímo v místě značení, robot natočí rameno kolmo ke čtečce. [47]



Obrázek 51: Čtečka DMC Keyence SR-1000 [47]

Komunikace s PLC je v obou případech prováděná přes Profinet.



Obrázek 52: Laserová značící hlava MD-X1000 se čtečkou DMC SR-1000 a vývodem odsávání [Zdroj: vlastní]

Značící paprsek je klasifikován jako laserové zařízení třídy 4, je tedy nezbytné zabezpečit pracoviště tak, aby nemohlo dojít k zasažení obsluhy, a to ani odraženým paprskem. Tato opatření jsou podrobněji popsána v jedné z dalších kapitol.

Kromě nebezpečí, které představuje samotný laserový paprsek, jsou škodlivé i výpary vznikající při značení do materiálu ramena (duralová slitina). Pro obdobné aplikace byly již dříve u zákazníka používány odsávací a filtrační jednotky od firmy Bofa. Pro toto pracoviště byla vybrána výkonnější jednotka AD Oracle iQ pro odsávání z prostoru u obou laserů. U každé značící hlavy je samostatný vývod odsávání, které se následně spojují před přivedením do odsávací jednotky. Pokud by se při provozu ukázala tato jednotka jako nedostatečná, je možné jednu větev připojit k další dodatečné jednotce. [48]



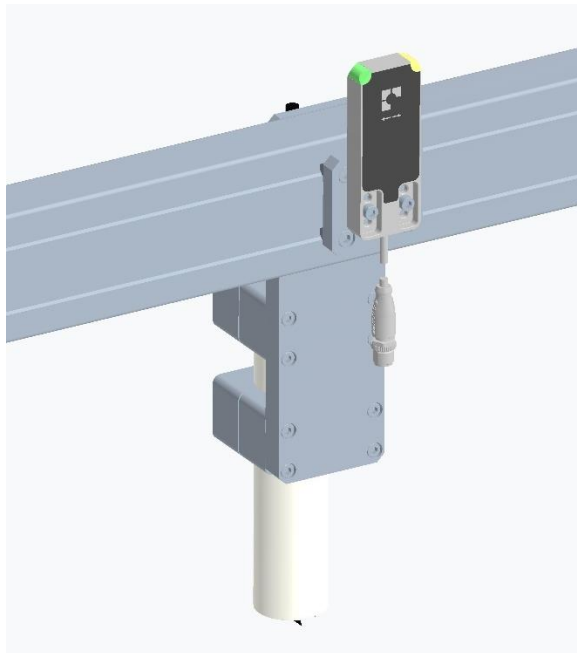
Obrázek 53: Odsávací a filtrační jednotka BOFA AD Oracle iQ [48]

Pro tisk alfanumerického kódu je použita InkJetová tisková jednotka Leibinger JET2neo dodávaná firmou Leonardo Technology. Jednotka sestává z válcové tiskové hlavy a řídicí jednotky. Řídicí jednotka slouží zároveň jako zásobník inkoustu, musí být proto dobře přístupná pro jeho doplňování. Možnosti umístění řídicí jednotky jsou opět omezené dosahem přívodní hadice. [4]



Obrázek 54: Inkoustová tiskárna LEIBINGER JET2neo [4]

Protože je princip tisku technologií InkJet založený na vzájemném pohybu tiskové hlavy a značící plochy, musí se rameno při značení vůči tiskové hlavě pohybovat známou rychlostí. Tento pohyb v našem případě zajišťuje robot, tisková hlava může tedy být stacionární. Protože je rychlost tisku v tomto případě omezená jenom rychlostí robotu (hlava zvládne až 268 m/min) je možné použít jednu hlavu na oba roboty. Hlava je umístěna do středu buňky mezi oba roboty spolu se čtecí hlavou od Balluffu (viz kapitola 7.1).



Obrázek 55: Tisková hlava JET2neo s čtecí hlavou RFID čipů [Zdroj: vlastní]

Všechny značící jednotky jsou umístěné na společném rámu z duralových profilů Bosch Rexroth řady 40 × 40 L (80 × 80 L). Nohy rámu jsou ukotveny do země a celý rám není spojený s kryty ani s transferem. Je to z důvodu možného přenosu vibrací z linky předmontáže na značící hlavy. V minulosti se objevily problémy se značením laserem, pokud byla značící jednotka připevněna na rám linky. Vibrace z ostatních technologií na společném rámu zhoršovaly kvalitu vypalovaného kódu, byl tedy vznesen požadavek na samostatné umístění laserových značících technologií.

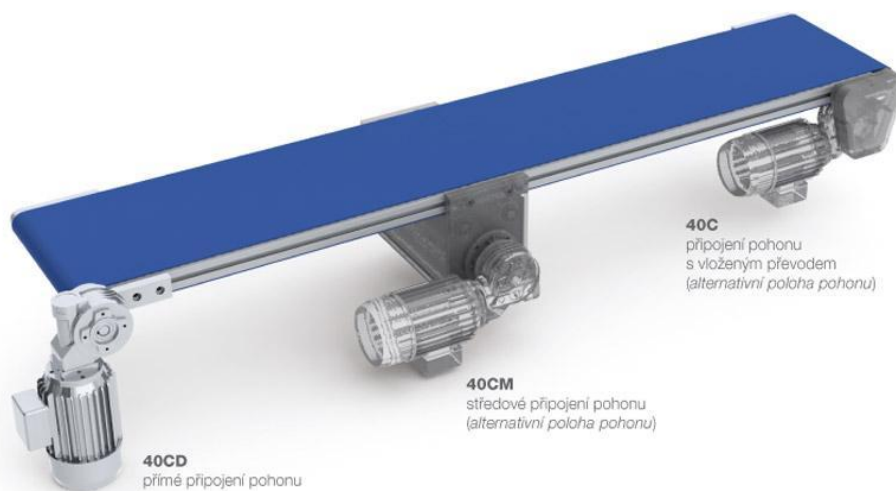


Obrázek 56: Rám značení s technologiemi [Zdroj: vlastní]

Řídící jednotky laserů, InkJetu i odsávání jsou umístěny ven mimo kryty, aby k nim byl možný přístup pro údržbu a seřizování. Všechny přívody skrz ochranné kryty budou řešené přes kabelové průchodky od firmy Icotek.

6.4 Výstupní dopravníky

Pro výstup ramen jsou použité pásové dopravníky od firmy Haberkorn. Pro konfiguraci dopravníků byl využit formulář dostupný ze stránek Haberkorn. [49]



Obrázek 57: Různé konfigurace motoru pro dopravníky řady 40 [49]

Dopravníky se liší celkovou délkou, barvou pásu a požadavky na pohony. OK dopravník má celkovou délku 3 000 mm a zelený pás. NOK dopravník bude mít celkovou délku 1 960 mm a barva pásu bude červená. Oba budou použité ve verzi 40CD s šířkou 600 mm a budou dodány bez podstavy. Rychlost obou pásů je 12 m/min, a to z důvodu rychlého odjetí kusů z odkládacího prostoru.

OK dopravník jede kontinuálně, zastavuje se pouze v případě přerušení provozu linky. Vzhledem k rychlosti pásu a taktu linky mohou být na pásu současně maximálně 4 ks ramen, zatížení na metr je tedy velmi malé (0,3 kg/m).

NOK dopravník jede pouze při zakládání NOK ramen, a to jen dokud rameno neodjede ze zakládací polohy. Ramen tedy může být na dopravníku naskládáno současně více než na OK pásu, ale většinu času by se dopravník neměl pohybovat. Počítáme-li však s nejhorší variantou, tedy s naplněným dopravníkem a častým spínáním, počet zapnutí/vypnutí je nastavený na 50 cyklů za hodinu a zatížení dopravníku na 9 kg/m.

Dotazníky na poptávky dopravníků jsou v příloze.

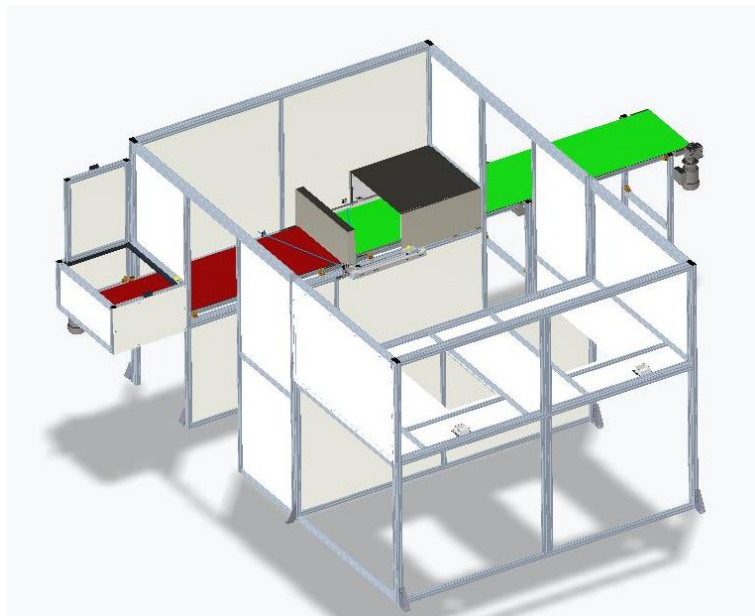
Pro detekci ramen na dopravnících v odkládacích pozicích a pro detekci naplnění NOK pásu jsou použité reflexní optické závory od firmy Balluff BOS0122 spolu s reflektory BAM0331. [50], [51]



Obrázek 58: A) Reflexní závora BOS0122 [50]; B) Reflektor BAM0331 [51]

Výstup NOK dopravníku je zakrytý a opatřený zámek, aby NOK kusy mohl odebírat jenom k tomu určený personál. Pro vyprazdňování bude pás vybavený tlačítkem pro ruční posuv.

Na OK pás bude navazovat další pro dopravu ramen dopředu k obsluze.



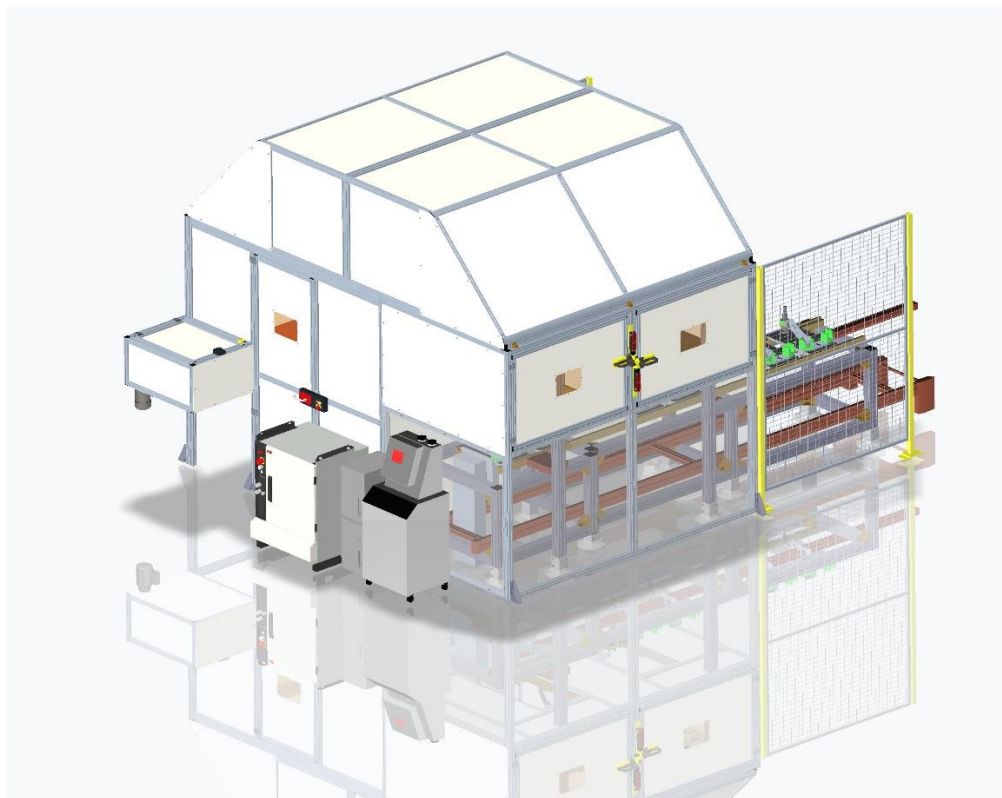
Obrázek 59: Rám stanice s namontovanými dopravníky [Zdroj: vlastní]

6.5 Prvky ochrany obsluhy

Roboty spolu s dalšími pohybujícími se zařízeními nejsou jediným zdrojem nebezpečí v této buňce. Jelikož je značící hlava MD-X1000 kategorizovaná jako laserové zařízení třídy 4, je nutné zabezpečit okolní prostor vůči odraženým laserovým paprskům, protože i ty mohou způsobit popálení kůže a poškození rohovky. [52]

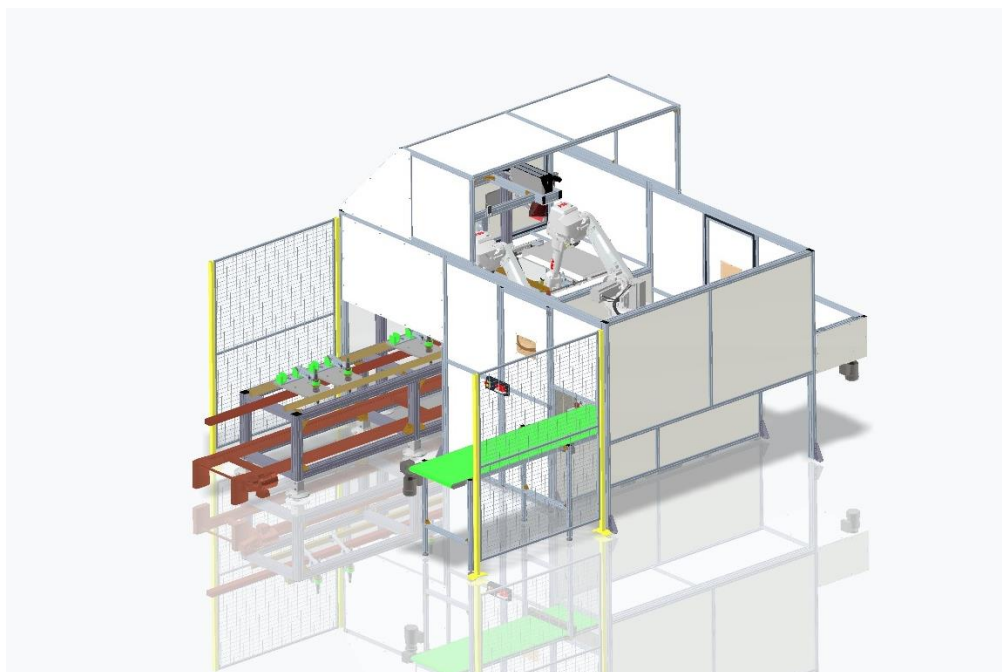
Proto je celý prostor zakrytý konstrukcí z hliníkových profilů, mezi které jsou vsazené do výplňových profilů komaxitované plechy. Tato konstrukce slouží nejen jako ochrana před laserovými paprsky, ale zároveň omezuje přístup obsluhy do pracovního prostoru robotů. Pro montážní přístup robotům je buňka opatřena dvojicí dveří s robotickými zámky a dvojicí montážních dvířek s bezpečnostními petlicemi pro přístup k chapačům robotů při výměně palců na chapačích. Všechny dveře jsou opatřeny průhledy. Odebírací pozice robota

a OK pás jsou vybaveny přesuvnými kryty s bezpečnostním snímačem v zavřené pozici. Laserové značení se tedy nespustí, dokud nejsou odbavené všechny procesní bezpečnostní snímače.



Obrázek 60: Zakrytovaná robotická buňka, pohled od cesty [Zdroj: vlastní]

Horní část buňky je tvořena dvojicí samostatných konstrukcí pro jednodušší manipulaci s krytovaním a usnadnění montáže u zákazníka. Na levé straně jsou vidět řídicí jednotky robota a značících technologií. Hlavní rozvaděč je umístěný v prostoru linky.



Obrázek 61: Buňka bez poloviny horních krytů, pohled od linky [Zdroj: vlastní]

Vchodové dveře jsou vybaveny robotickými zámky Euchner řady MGB-AP (116233) s jištěním ochranného krytu silou pružiny (zamknutí krytů při výpadku proudu) a únikovým odjišťovacím prvkem (panic handle). Při výběru zámků byla zohledněna norma ČSN EN 14119. [53] [54]



Obrázek 62: Robotický zámek MGB-AP, zde bez únikového odjišťovacího prvku [53]

Pro zajištění montážních dvířek slouží bezpečnostní spínač TP (084115) od firmy Euchner s jištěním ochranného krytu silou pružiny a monitorováním stavu jištění. Aktuátor je připevněný na petlici, která je připevněna na křídlo dveří. [55]



Obrázek 63: Bezpečnostní spínač TP s petlicí [55]

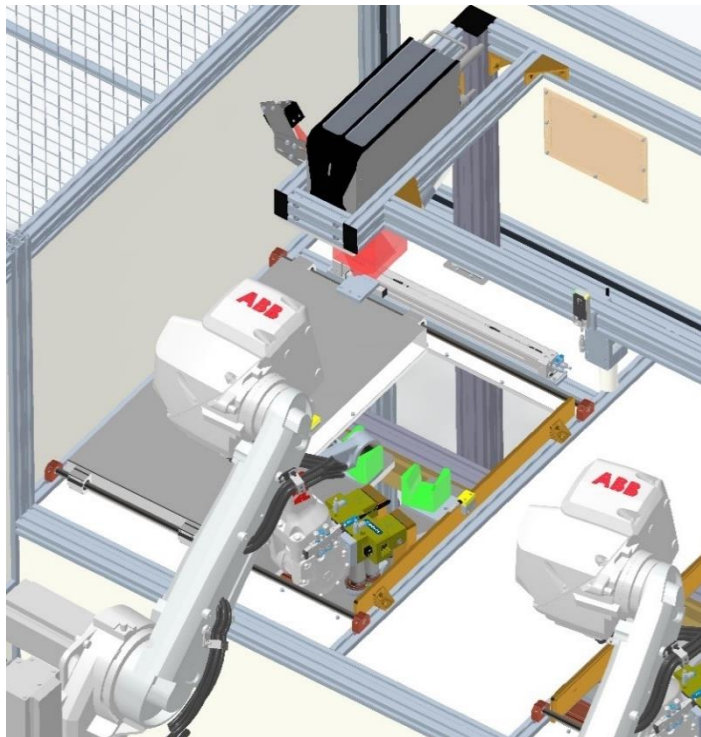
Průhledy do pracovního prostoru musí být z bezpečnostního skla, které blokuje elektromagnetické záření o dané vlnové délce, což je pro tento konkrétní případ 1,064 nm. Ochranná skla použitá ve dveřích jsou od firmy Lintech. [56]



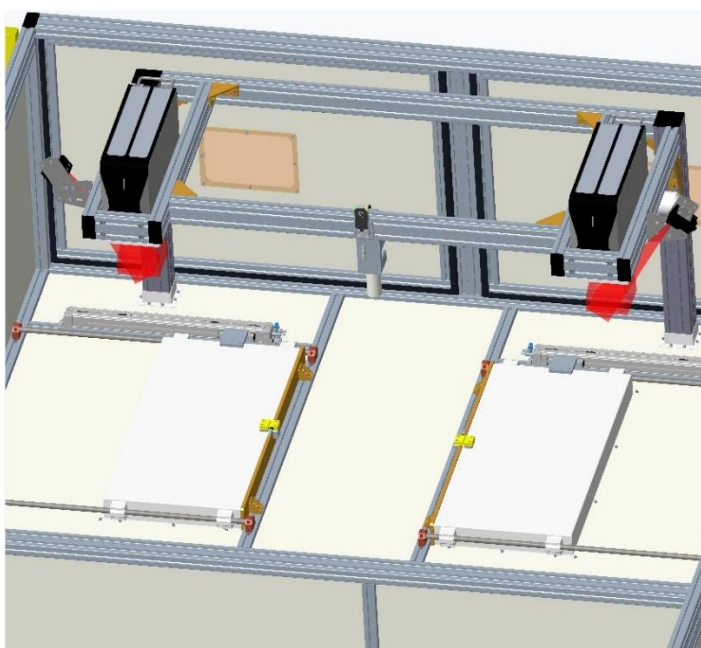
Obrázek 64: Bezpečnostní minerální sklo od firmy Lintech [56]

Jako alternativa pro bezpečnostní skla může sloužit například bezpečnostní kamera umístěná do pracovního prostoru s výstupem na vnější monitor. Tato varianta byla uvažována a může být později doplněna pro lepší přehled o dění v robotické buňce.

Prostor buňky je kompletně zakrytý pouze během samotného pálení kódu. Pro odebrání ramen z transferu a jejich zakládání na výstupní OK dopravník je vstup i výstup vybavený posuvnými kryty. Kryty se zavírají po zjetí robotů do prostoru buňky a znovu otevírají ihned po dokončení značení laserem. Posuvné kryty jsou vytvořeny tak, aby byly mezery mezi pevnými kryty a dveřmi zalemované, nebo okraje krytů zajížděly do drážek. Toto je obzvláště důležité u vstupních krytů, jelikož leží přímo pod značícími lasery.



Obrázek 65: Posuvný kryt pozice odebrání – otevřený [Zdroj: vlastní]



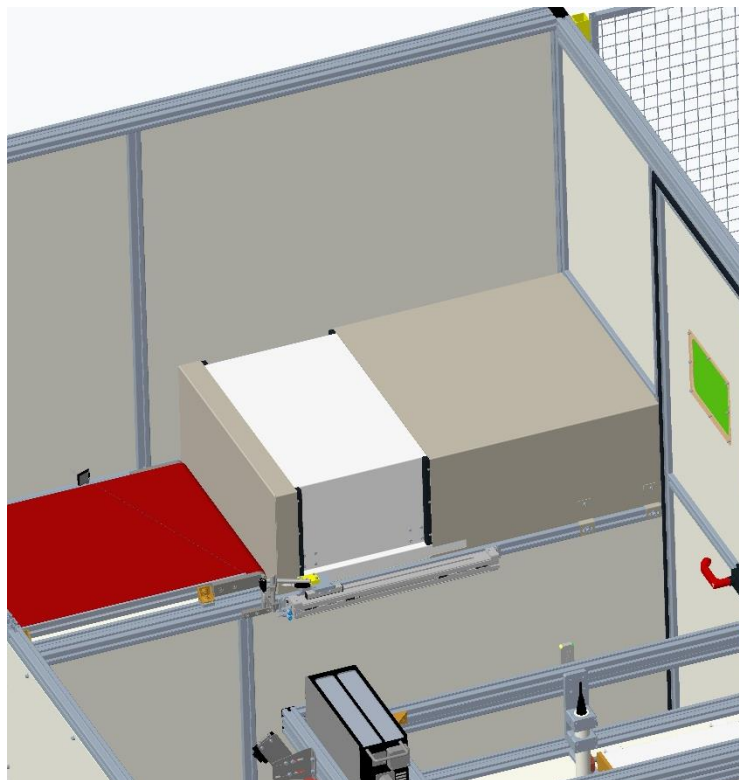
Obrázek 66: Posuvný kryt pozice odebrání – zavřený, bez robotů [Zdroj: vlastní]

Posuvné panely se pohybují po vedení pomocí pneumatické osy od Festa DGC-K-25-420-PPV-A-GK (1312501). Jedná se o osu s pneumatickým tlumením v koncových polohách, takže není nutné používat externí tlumiče. Pohony jsou ovládány pomocí 5/2 bistabilních ventilů z ventilového terminálu a vybavené škrticími ventily GRLA se škrčením na odvětrávání. Pneumatické schéma je v příloze, všechny komponenty kromě robotických chapačů jsou od firmy Festo. [57]

Vedení posuvných krytů je z vodících tyčí W16-910 a lineárních setů SC-16-UU od firmy Hiwin s domečky WBC-16 pro uchycení vodících tyčí. Vodící tyče jsou upravené, na koncích mají osazení pro pojistné kroužky. [58]

Kromě magnetických limitních snímačů na pneumatických osách jsou samotné pohyblivé kryty hlídány pomocí bezpečnostních snímačů Sick RE11-SAC pro hlídání fyzického zavření krytů před značením. [59]

Mimo prostoru, ve kterém probíhá značení, je nutné zakrytovat i transfer linky předmontáže, ze které roboty odebírají ramena. Na obrázku 67 je znázorněno, že spodní část hliníkové konstrukce je zakrytá panely z průhledného Lexanu pro omezení přístupu, stejným způsobem je zakrytý prostor pod OK pásem. Zbytek linky předmontáže je chráněn pomocí bezpečnostního oplocení od firmy Alvaris, jehož poslední panely jsou v modelu z obou stran linky.



Obrázek 67: Posuvný kryt OK výstupu – zavřený [Zdroj: vlastní]

7 SIMULACE

7.1 Manipulace s rameny

Před samotnou tvorbou simulace je nejdříve nutné rozvrhnout si rámec, na jehož základě budou ramena manipulována. Jako první je však třeba zkontrolovat shodu vyráběných ramen s typem výměnných chapačů na robotech.

Ramena z linky předmontáže se nejprve odeberou z palet na transferu. Následuje založení do značícího prostoru laseru, uzavření všech posuvných krytů a vypálení DMC kódu. Pak se provádí tisk popisu pomocí InkJetu a založení na výstupní OK dopravník.

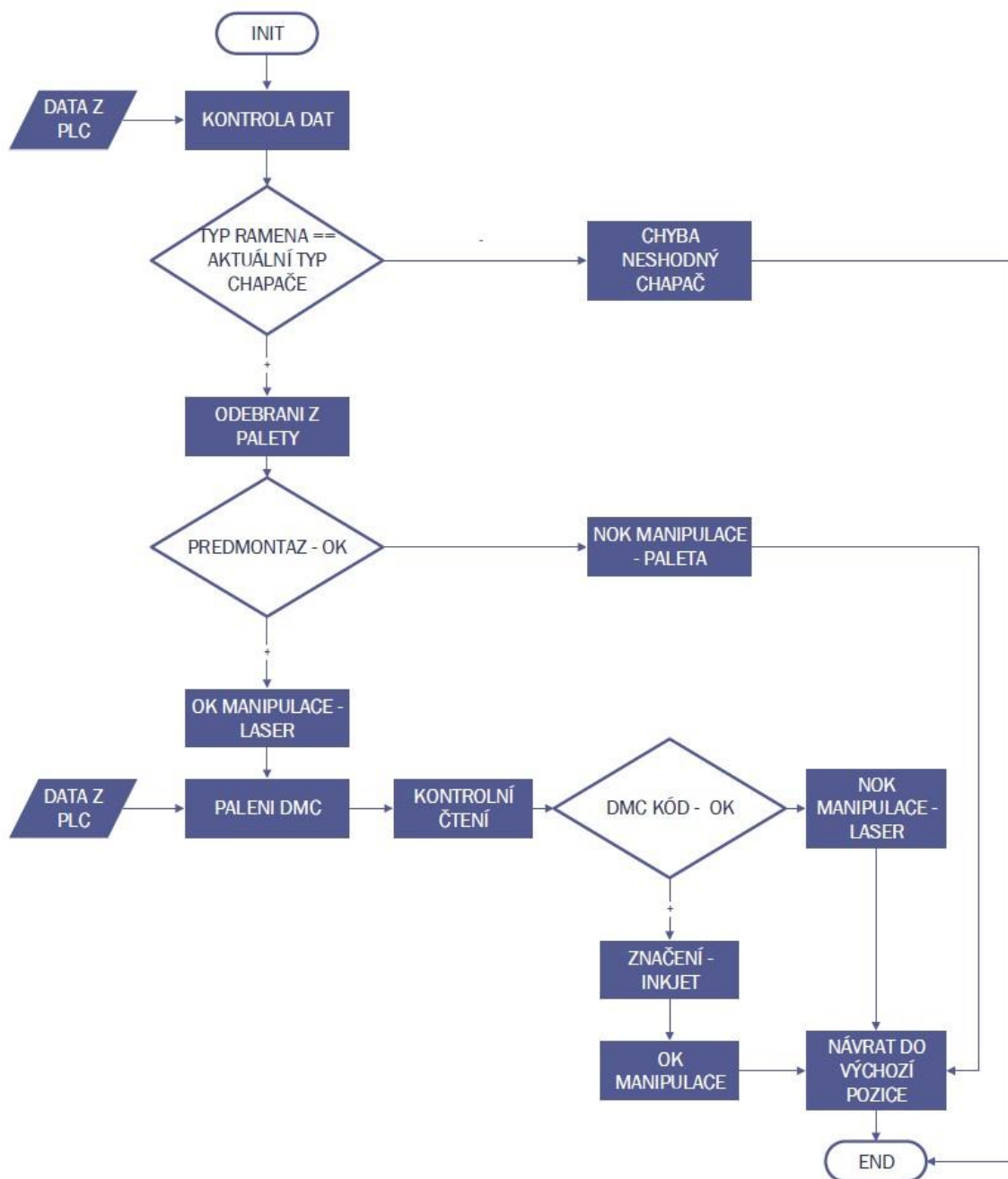
Ramena, která výrobní linka vyhodnotí jako NOK, se rovnou odloží na NOK dopravník a nebudou se žádným způsobem značit. Pokud kontrolní čtení DMC vyhodnotí kód jako nevyhovující, neprovádí se již značení InkJetem a rameno je umístěno na NOK pás. Ze zadání vyplývá požadavek na to, aby se InkJetem neznačily žádné NOK kusy, není to však vyžadováno za každou cenu, důležitějším kritériem je cyklový čas.

Pro vizualizaci tohoto procesu je vhodné použít vývojový diagram. Na obrázku 68 je znázorněná posloupnost operací pro každý robot zvlášť.

Jelikož jsou umístěny dva roboty ve stejné buňce, je nutné vzít v úvahu jejich vzájemné vztahy. Každý robot má sice vlastní místo odebrání a vlastní laserovou hlavu, ale oba musí najíždět pod InkJet a oba zakládají do stejných míst na OK i NOK dopravníku. Je tedy nutné, aby nedošlo ke kolizi v těchto kritických místech. Aby se zamezilo střetu těchto robotů, byl proveden rozpis jednotlivých stavů a identifikace kritických pozic. V tabulce 4 jsou tyto pozice popsány.

Manipulace robot 1	Manipulace robot 2	Zakládání do stejné pozice/ křížení drah
OK	OK	zakládání do stejné pozice
OK	NOK – vstup	ne
OK	NOK – laser	ne
NOK – vstup	OK	křížení (možná manipulace NOK z linky při pálení kódu)
NOK – vstup	NOK – vstup	ano (dostatek času – absence pálení)
NOK – vstup	NOK – laser	stejná pozice (možná manipulace NOK z linky při pálení kódu)
NOK – laser	OK	křížení drah
NOK – laser	NOK – vstup	křížení (možná manipulace NOK z linky při pálení kódu)
NOK – laser	NOK – laser	zakládání do stejné pozice

Tabulka 4: Vzájemné vztahy mezi roboty pro různé druhy manipulací [Zdroj: vlastní]



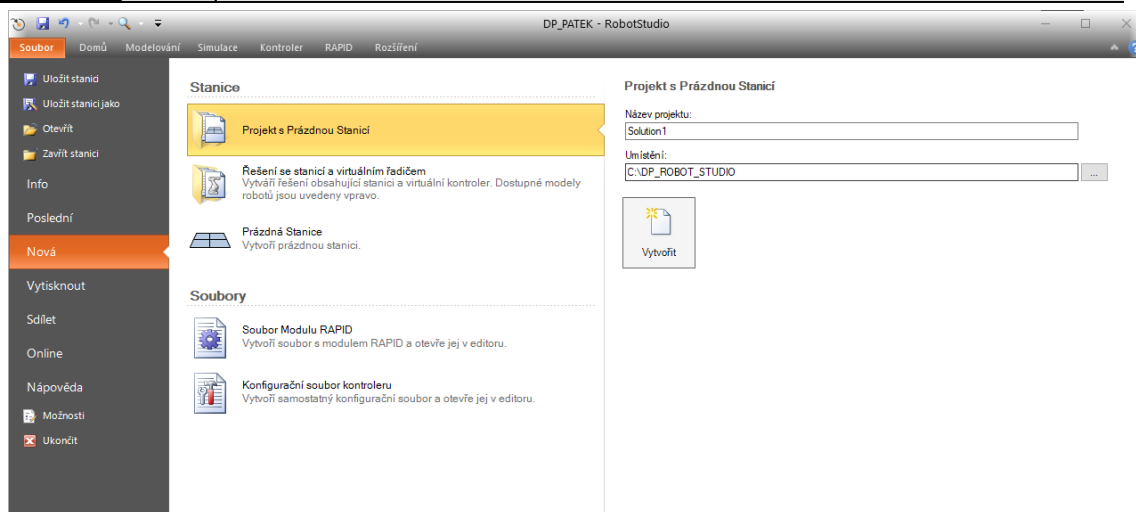
Obrázek 68: Vývojový diagram manipulace ramen [Zdroj: vlastní]

Tato problematika je detailněji popsána v následujících kapitolách.

7.2 Vytvoření stanice a import 3D geometrie

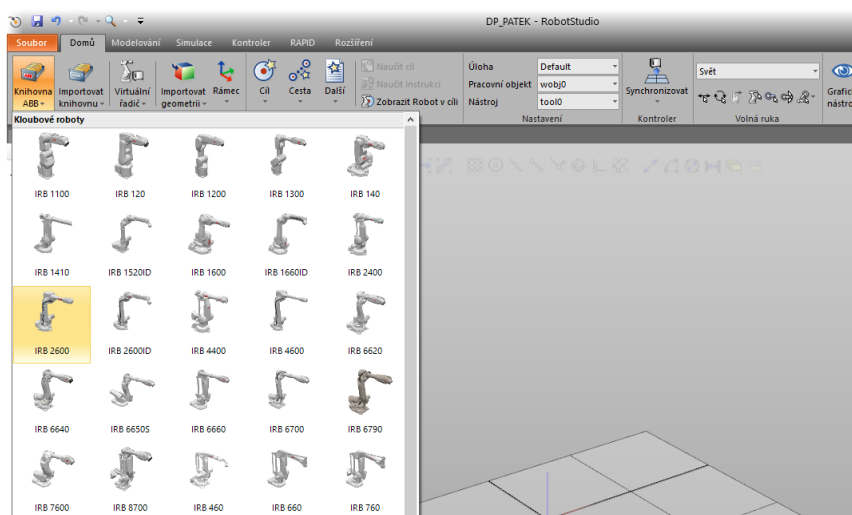
Simulace je vytvořena v programu RobotStudio 2021 (RS) od firmy ABB. [60]

Začneme vytvořením nového projektu. Je doporučeno používat Windows účty bez jakékoliv diakritiky, protože RS neumí dobře pracovat s adresáři obsahujícími tyto znaky. Takové pojmenování může způsobit například nemožnost startu kontroléru.



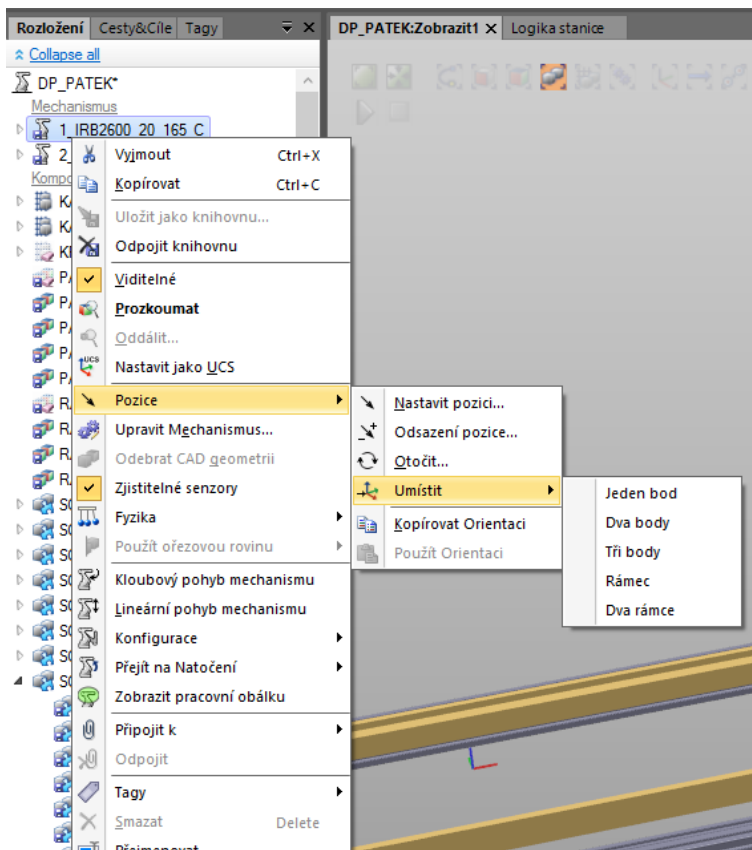
Obrázek 69: Základní nabídka – vytvoření nového projektu [Zdroj: vlastní]

Nyní lze do simulace umístit roboty a 3D modely z programu Creo. RS má předinstalované knihovny robotů ABB a dalšího vybavení, dále je možné využít modelář přímo v RS, ale to v tomto případě nebude nutné.



Obrázek 70: Vložení modelu z knihovny robotů [Zdroj: vlastní]

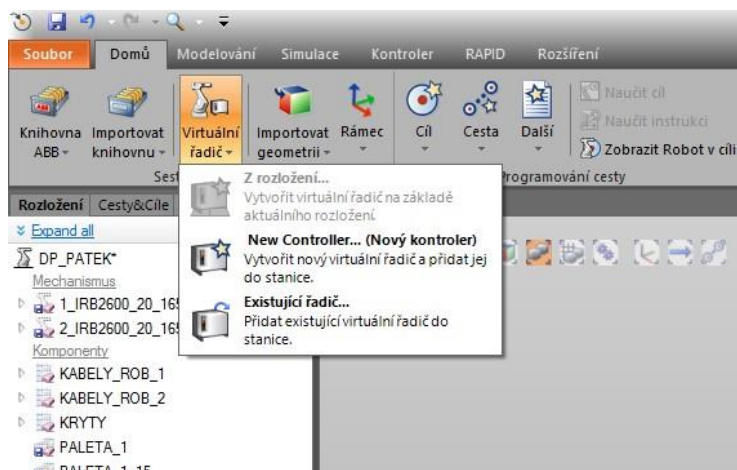
Prvním krokem je výběr robota z knihovny. Každý model je umístěný do počátku souřadného systému stanice. Pro umístění komponent do prostoru stanice je možné požívat několik funkcí, nastavení pozice, posunutí pozice, otočení a umístění. Tímto způsobem je možné pozicovat modely vůči různým rámcům (souřadným systémům).



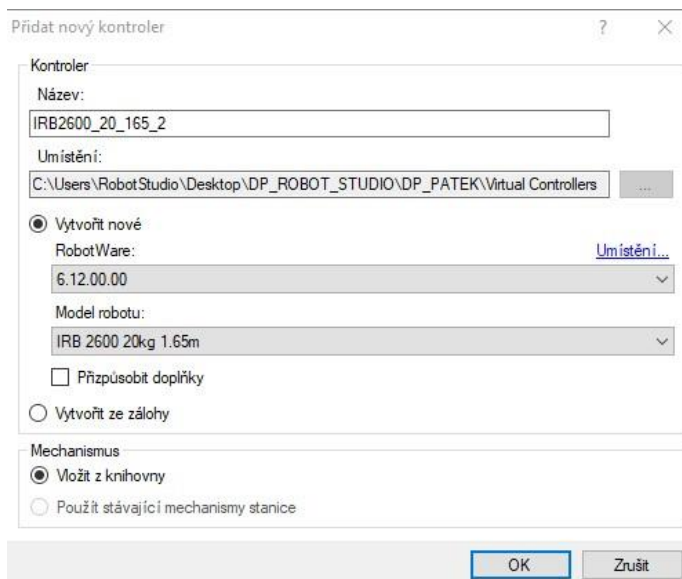
Obrázek 71: Nástroje pro polohování modelů [Zdroj: vlastní]

Dalším krokem je importování, ikona importovat geometrii je na stejné záložce jako knihovna ABB. Není možné importovat všechny formáty 3D modelů, proto bylo nutné převést nativní soubory Crea na formát ACIS (.sat), které lze naimportovat. Při importování však není zachována stromová struktura modelu, vložená sestava je interpretována jako jedna komponenta, ve které jsou všechny díly a pod sestavy znázorněny jako těla (typově i název). Proto byly následně vyexportovány všechny hlavní sestavy samostatně a stejně tak i části mechanismů, které se mají vzájemně pohybovat. Takto vytvořené komponenty už je možné umístit a dále s nimi pracovat.

Pro ukončení prvotního nastavení byl vložen kontrolér robota. V ikoně virtuální řadič klikneme na nový kontrolér a vybereme RobotWare pro náš model robota.



Obrázek 72: Tvorba nového řadiče [Zdroj: vlastní]



Obrázek 73: Výběr verze RobotWary a konkrétního modelu robota [Zdroj: vlastní]

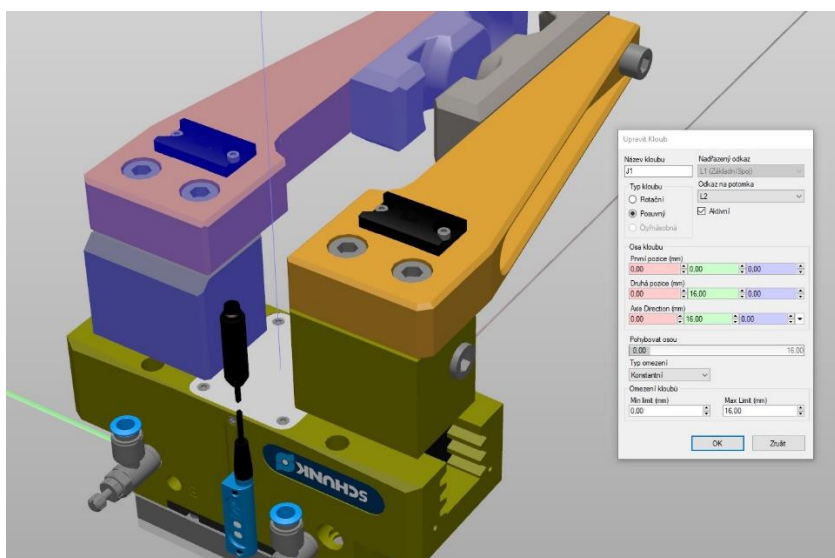
Vytvoření a spuštění kontroléru nám zpřístupní záložky kontroler a Rapid, které využijeme pro tvorbu logiky stanice, virtuálních signálů a vlastního programu v jazyce Rapid.

7.3 Mechanismy

Po importu komponent můžeme začít vytvářet kinematické mechanismy. Pro tuto stanici to jsou zdviž transferu, kryty odebíracích pozic, kryt výstupního dopravníku a chapače robotů.

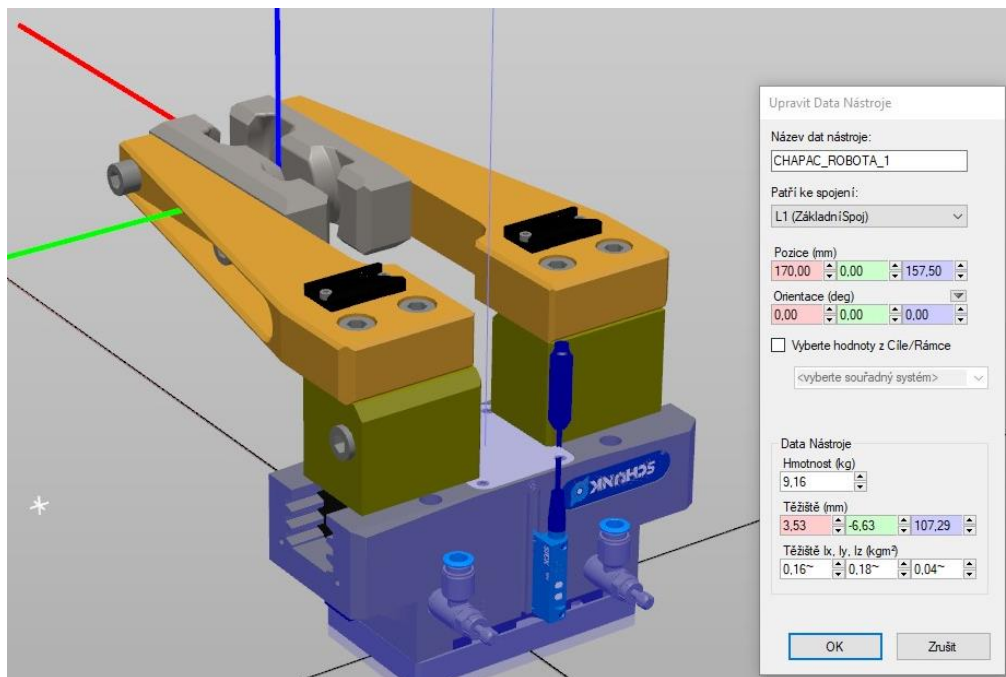
V záložce modelování je ikona vytvořit mechanismus, po kliknutí vyskočí nová nabídka pro tvorbu mechanismu, prvním krokem je tvorba linků (spojení). V případě chapače je základní link těleso s mezideskou a dalšími linky jsou jednotlivé prsty.

Dále je nutné definovat klouby, tedy relativní pohyby mezi jednotlivými linky. Nastavuje se druh pohybu (rotační nebo translační), osa pohybu a maximální zdvih.



Obrázek 74: Tvorba kloubu mechanismu [Zdroj: vlastní]

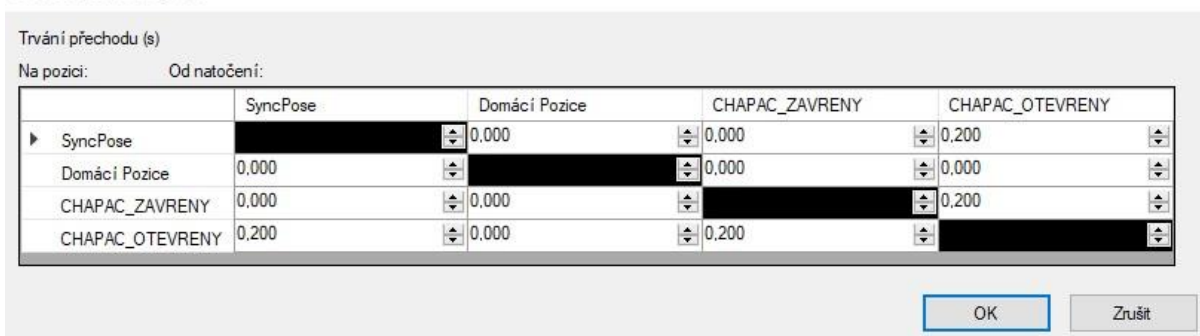
Protože vytváříme mechanismus chapače, tedy nástroje robota, musíme vyplnit tooldata. Jde o souřadnice a natočení TCP, váhu nástroje souřadnice těžiště a momenty setrvačnosti. Pro tvorbu nástroje je potřeba míst umístěný celý mechanismus vůči souřadnému systému stanice tak, aby jeho pozice odpovídala TCP na flangi robota, protože souřadnice TCP se zadávají vzhledem k tomuto souřadnému systému.



Obrázek 75: Tvorba dat nástroje [Zdroj: vlastní]

S takto nadefinovaným nástrojem můžeme nyní vytvořit konfigurace a nastavit přechodové časy. Protože jde o pneumaticky ovládaný chapač bez externích dorazů, máme pouze polohy otevřeno a zavřeno. Přechodový čas je získán ze stránek výrobce.

Nastavit přechodový čas

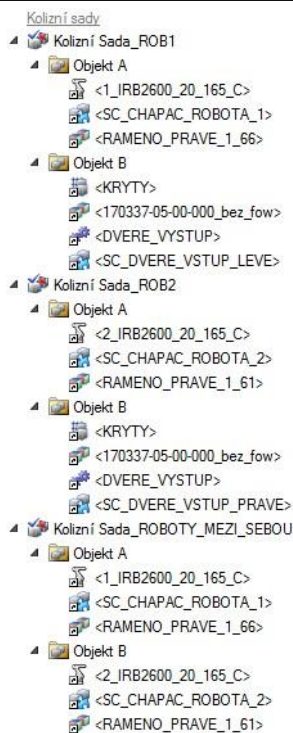


Obrázek 76: Nastavení přechodových časů chapače [Zdroj: vlastní]

Chapače pro oba roboty jsou stejné, na druhý robot je tedy pouze zkopírován. Ostatní mechanismy jsou tvořeny obdobně.

7.4 Kolizní sady

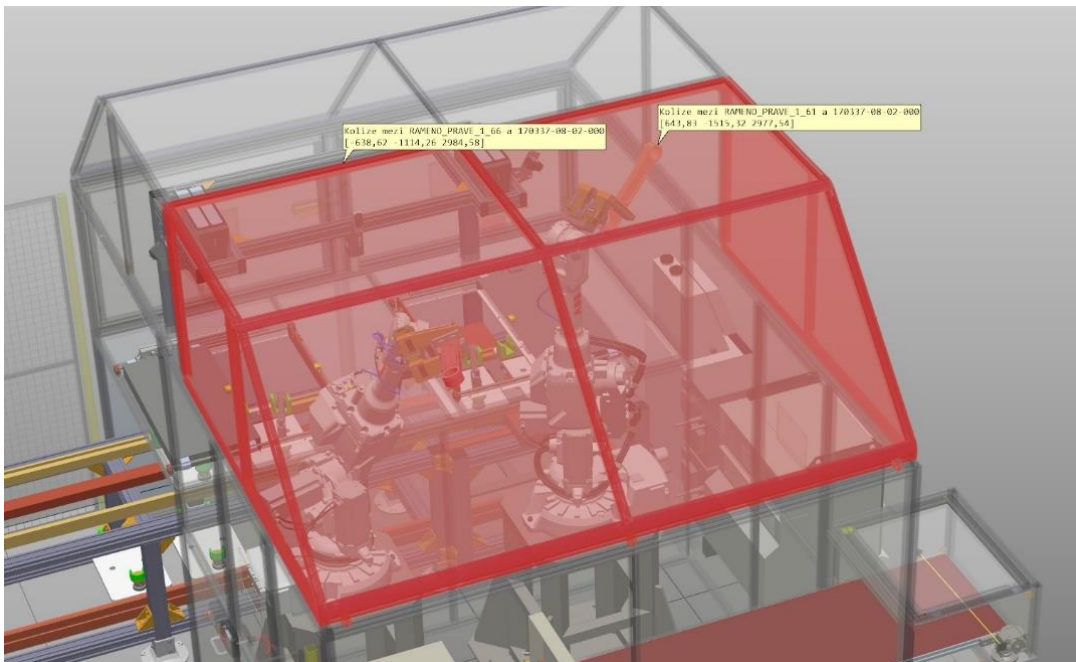
Pro kontrolu kolizí je potřeba vytvořit kolizní sady. Kolizní sady určují, mezi kterými skupinami komponent se během simulace detekují kolize, protože v základním nastavení není detekce kolizí nastavena. Chceme tedy hlídat kolize mezi roboty včetně chapače a upnutého ramena, kryty stejně tak jako u robotů mezi sebou.



Obrázek 77: Seznam kolizních sad simulace [Zdroj: vlastní]

Díky detekci kolizí je možné upravit cíle a dráhy robotů tak, aby nedocházelo ke střetům s kryty a technologiemi. Stejně tak je možné na základě těchto informací upravit kryty.

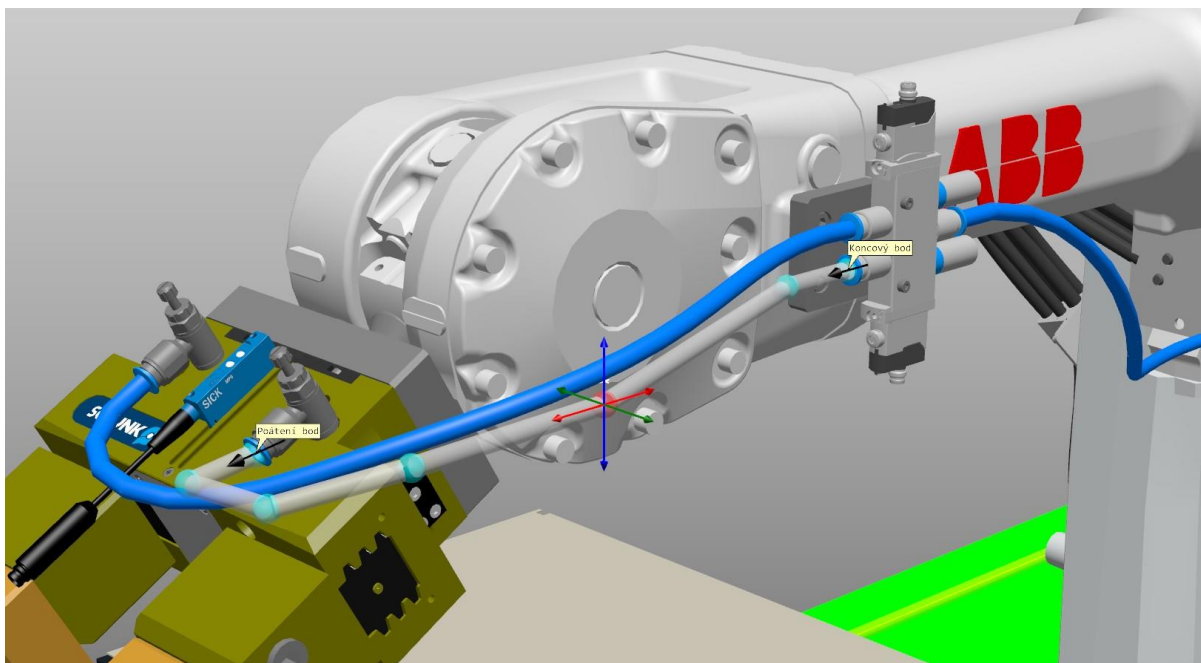
Právě na základě detekce kolizí bylo potřeba zvýšit horní kryty o 300 mm, aby nedocházelo k srážkám s upnutým ramenem při zakládání na výstupní dopravníky. Roboty se otáčejí přes vršek stanice, aby nekolidovaly mezi sebou a před úpravou tam neměly dostatek prostoru.



Obrázek 78: Kolize s původními horními kryty [Zdroj: vlastní]

7.5 Kabely

Pomocí RS je možné tvořit fyzikální modely přívodních kabelů a hadic. Kabel je definován pomocí poloměru, modulu pružnosti, počátečního a koncového bodu a libovolného množství vodičích bodů. Pomocí těchto prvků je možné upravovat konfigurace cílových bodů robotů tak, aby při reálné aplikaci nedocházelo k přílišnému namáhání nebo dokonce destrukci přívodů. Dále můžeme kontrolovat případné zachycení o další objekty ve stanici.



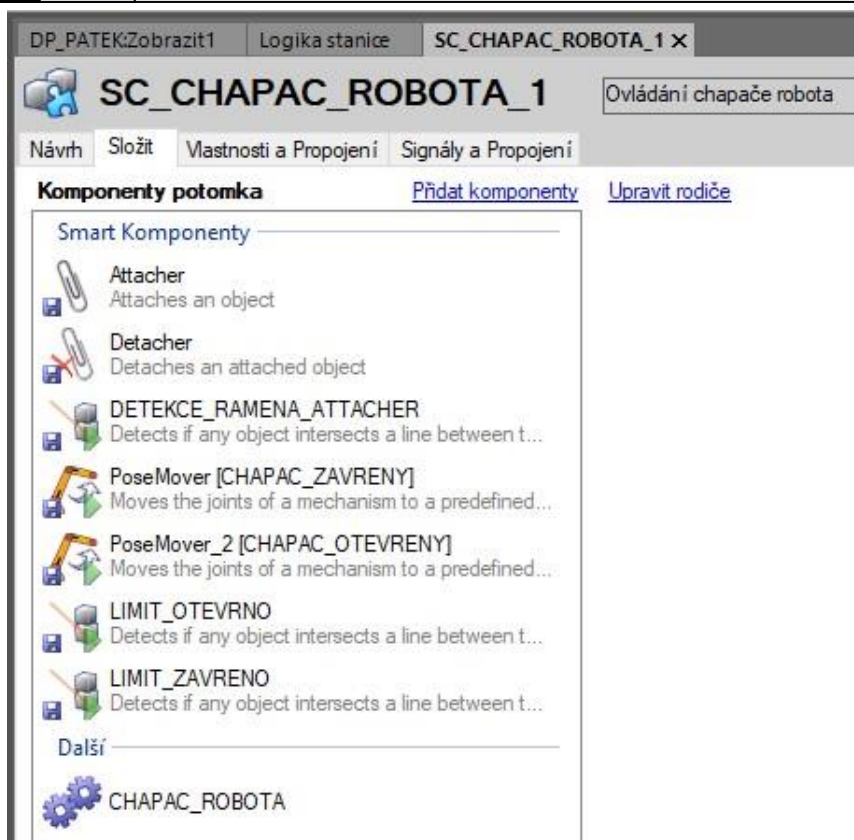
Obrázek 79: Tvorba přívodů pneumatiky [Zdroj: vlastní]

7.6 Smart komponenty a logika stanice

Aby bylo možné řídit vytvořené mechanismy během simulace, je třeba na jejich základě vytvořit Smart Komponenty (SC). Takto vytvořené objekty je možné ovládat pomocí virtuálních signálů kontroléru, které je potřeba nadefinovat.

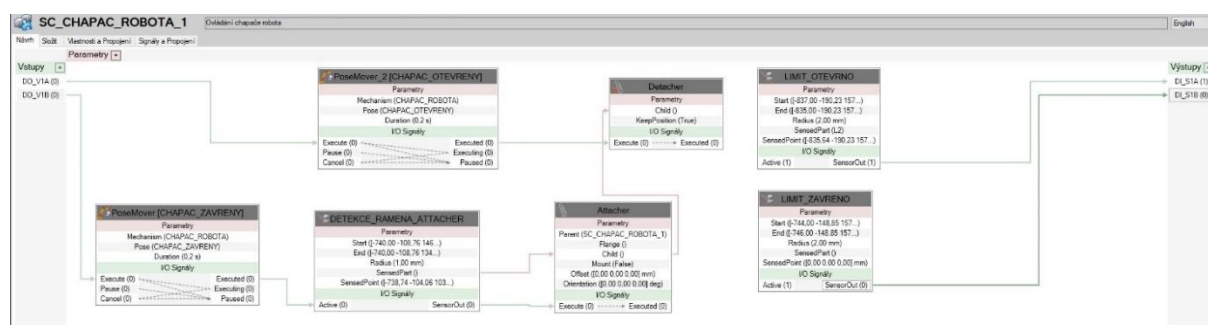
Ikona Smart Komponenta na záložce modelování vytvoří prázdnou SC. Do ní můžeme, ale nemusíme, vkládat vytvořené mechanismy a geometrie, ale hlavně slouží pro přidávání logických prvků a vytváření vazeb mezi nimi.

Například chapač robota obsahuje prvky attacher a detacher pro připojení a následné odpojení modelů ke komponenty. Aby je bylo možné použít v automatickém režimu, je třeba přidat liniový senzor, který snímá oblast, ve které upínáme. Tento senzor snímá přítomnost dílů v celé své délce a zároveň identifikuje snímaný díl. Pro samotné ovládání mechanismu slouží bloky PoseMover, které po aktivaci nastaví mechanismus do jedné z přednastavených konfigurací. PoseMover nevyužívá přechodové časy, které byly nastavené v samotném mechanismu, časy trvání přechodů je tedy nutné znovu nadefinovat. Jako poslední je dvojice liniových senzorů, které imitují funkci limitních snímačů pneumatického chapače, konkrétněji naučených koncových poloh analogového snímače, který je na chapači použit.



Obrázek 80: Tvorba Smart Komponenty – chapač robota [Zdroj: vlastní]

V dalším kroku jsou pospojovány požadované vstupy a výstupy jednotlivých bloků SC a doplněny vstupní a výstupní signály. Jedná se o vstupy a výstupy pouze pro danou SC, nikoliv pro celou stanici. Ty jsou tvořeny jinde.



Obrázek 81: Schéma SC – chapač robota [Zdroj: vlastní]

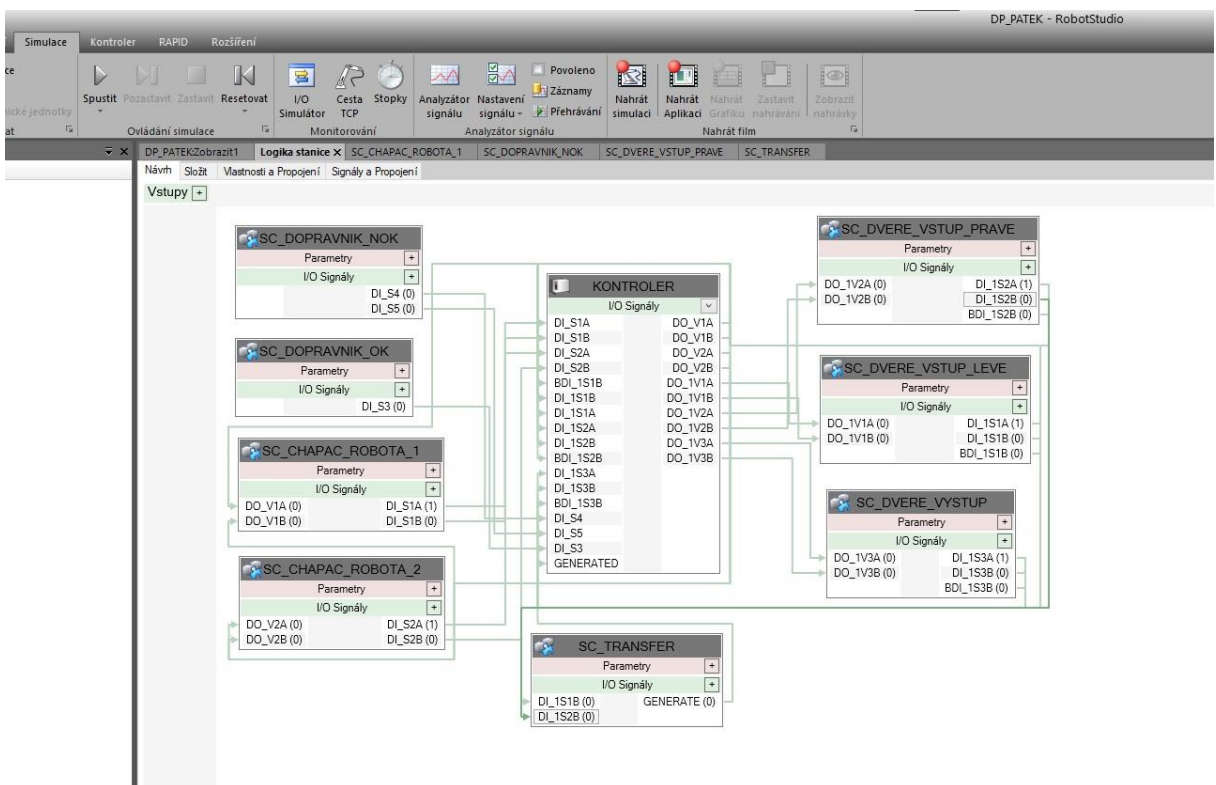
V záložce Kontroler a pod ikonou Konfigurace je položka I/O System. Takto se dostaneme do konfigurace I/O systému, kde nás zajímá záložka Signal. Zde můžeme přidávat nové signály, které využijeme při tvorbě simulace.

Nově jsou přidány signály pro všechny použité snímače, pro všechny cívky na pneumatických ventilech. Dále jsou doplněny signály simulující probíhající značení laseru a pomocné signály pro řízení manipulačních cyklů robotů.

Typ	Name	Type of Signal	Assigned to Device	Signal Identification Label	Device Mapping	Category	Access Level	Default Value	Filter Time Passive (ms)	Filter Time Active (ms)	Invert Ph
Access Level	AS1	Digital Input	PANEL	Automatic Stop chain(X5.11 to X5.6) and (X5.9 to X5.1)	13	safety	ReadOnly	0	0	0	No
Cross Connection	AS2	Digital Input	PANEL	Automatic Stop chain backup(X5.5 to X5.6) and (X5.3 to X5.1)	14	safety	ReadOnly	0	0	0	No
Device Trust Level	AUTO1	Digital Input	PANEL	Automatic Mode(X9.6)	5	safety	ReadOnly	0	0	0	No
EtherNet/IP Command	AUTO2	Digital Input	PANEL	Automatic Mode backup(X9.2)	6	safety	ReadOnly	0	0	0	No
EtherNet/IP Device	BDL_1S1B	Digital Input		Jisteni krytu 1	N/A		Default	0	0	0	No
Industrial Network	BDL_1S2B	Digital Input		Jisteni krytu 2	N/A		Default	0	0	0	No
Route	BDL_1S3B	Digital Input		Jisteni krytu vstupu	N/A		Default	0	0	0	No
Signal	CH1	Digital Input	PANEL	Run Chain 1	22	safety	ReadOnly	0	0	0	No
Signal Safe Level	CH2	Digital Input	PANEL	Run Chain 2	23	safety	ReadOnly	0	0	0	No
System Input	DI_1S1A	Digital Input		Snimac krytu 1 - otevreno	N/A		Default	0	0	0	No
System Output	DI_1S1B	Digital Input		Snimac krytu 1 - zavreno	N/A		Default	0	0	0	No
	DI_1S2A	Digital Input		Snimac krytu 2 - otevreno	N/A		Default	0	0	0	No
	DI_1S2B	Digital Input		Snimac krytu 2 - zavreno	N/A		Default	0	0	0	No
	DI_1S3A	Digital Input		Snimac krytu vstupu - otevreno	N/A		Default	0	0	0	No
	DI_1S3B	Digital Input		Snimac krytu vstupu - zavreno	N/A		Default	0	0	0	No
	DI_S1A	Digital Input		Snimac gripperu 1 - otevreno	N/A		Default	0	0	0	No
	DI_S1B	Digital Input		Snimac gripperu 1 - zavreno	N/A		Default	0	0	0	No
	DI_S2A	Digital Input		Snimac gripperu 2 - otevreno	N/A		Default	0	0	0	No
	DI_S2B	Digital Input		Snimac gripperu 2 - zavreno	N/A		Default	0	0	0	No
	DI_S3	Digital Input		Snimac ramena na OK pasu	N/A		Default	0	0	0	No
	DI_S4	Digital Input		Snimac ramena na NOK pasu	N/A		Default	0	0	0	No
	DI_S5	Digital Input		Snimac naplneni NOK pasu	N/A		Default	0	0	0	No
	DO_1V1A	Digital Output		Ventil krytu 1 - otevrit	N/A		Default	0	N/A	N/A	No
	DO_1V1B	Digital Output		Ventil krytu 1 - zavrit	N/A		Default	0	N/A	N/A	No
	DO_1V2A	Digital Output		Ventil krytu 2 - otevrit	N/A		Default	0	N/A	N/A	No
	DO_1V2B	Digital Output		Ventil krytu 2 - zavrit	N/A		Default	0	N/A	N/A	No
	DO_1V3A	Digital Output		Ventil krytu vstupu - otevrit	N/A		Default	0	N/A	N/A	No
	DO_1V3B	Digital Output		Ventil krytu vstupu - zavrit	N/A		Default	0	N/A	N/A	No
	DO_1V1A	Digital Output		Ventil gripperu 1 - otevrit	N/A		Default	0	N/A	N/A	No
	DO_1V1B	Digital Output		Ventil gripperu 1 - zavrit	N/A		Default	0	N/A	N/A	No
	DO_1V2A	Digital Output		Ventil gripperu 2 - otevrit	N/A		Default	0	N/A	N/A	No
	DO_1V2B	Digital Output		Ventil gripperu 2 - zavrit	N/A		Default	0	N/A	N/A	No
	DRV1BRAKE	Digital Output	DRV_1	Brake-release coil	2	safety	ReadOnly	0	N/A	N/A	No
	DRV1BRAKEFB	Digital Input	DRV_1	Brake Feedback(X3.6) at Contactor Board	11	safety	ReadOnly	0	0	0	No
	DRV1BRAKEOK	Digital Input	DRV_1	Brake Voltage OK	15	safety	ReadOnly	0	0	0	No

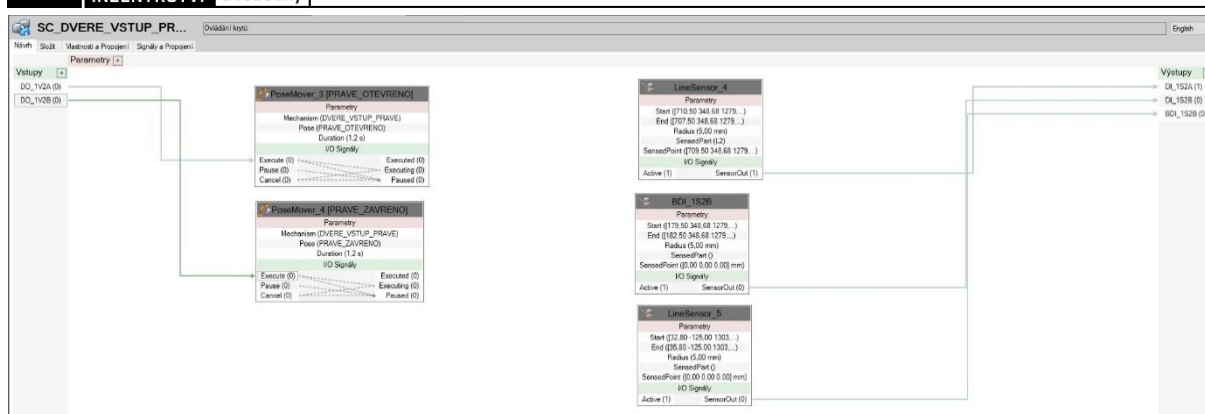
Obrázek 82: Seznam signálu virtuálního řadiče [Zdroj: vlastní]

Po nadefinování všech potřebných signálů je lze přiřadit k místním signálům SC. Dá se k tomu využít buď grafické rozhraní jako na obrázku níže nebo použít funkci přidat spojení I/O v další záložce.



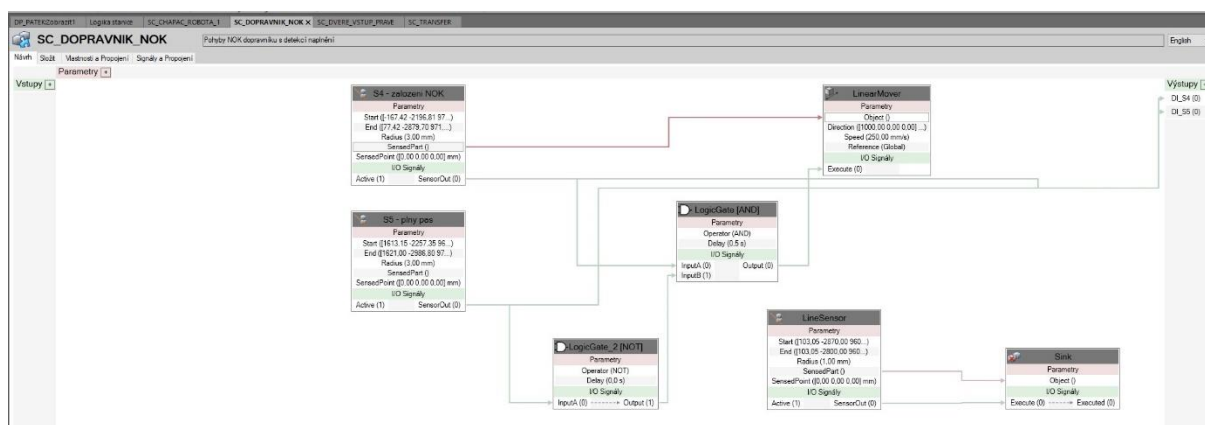
Obrázek 83: Logika stanice – grafické schéma [Zdroj: vlastní]

Obdobným způsobem jako chapač robota jsou vytvořeny i ostatní použité SC. Vstupní a výstupní kryty jsou složeny pouze z liniových snímačů a bloků PoseMover. Kromě koncových snímačů na pneumatických válcích je doplněný i signál z bezpečnostního snímače.



Obrázek 84: Schéma SC – dveře vstupní [Zdroj: vlastní]

U dopravníků jsou použité bloky LinearMover pro pohybování odložených ramen konstantní rychlostí a člen Sink pro odstranění modelů ramen ze simulace, aby zbytečně nezatežovaly paměť počítače. U NOK dopravníku je doplněný snímač naplnění, který slouží pro signalizaci plného NOK pásu a následné přivolání obsluhy pro jeho vyprázdnění.



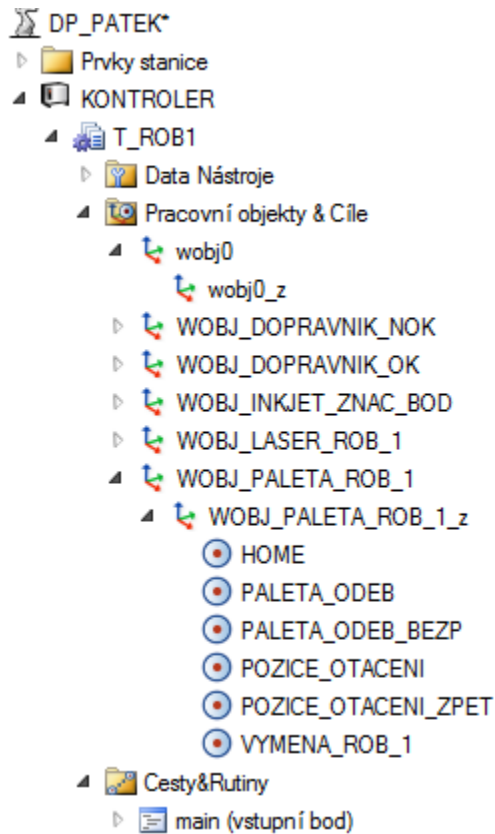
Obrázek 85: Schéma SC – dopravník NOK [Zdroj: vlastní]

Posledním a nejsložitějším komponentem je transfer. Základním prvkem je Source, který slouží pro generování kopií geometrie, tady umožňuje simulování ramen přijíždějících zpod dvojlistu na lince předmontáže. Dále jsou využity prvky LinearMover2 pro posuv dílů o danou vzdálenost zastupujících krokový dopravník transferu. Kromě toho je použitý podobný princip jako na chapačích robotů pro přesuv prázdných palet na spodní dopravník, stejné bloky jako na dopravnících pro jejich posuv a následné odstranění pomocí bloku Sink.

7.7 Pracovní objekty, cíle a cesty

Cíle je možné tvořit několika způsoby, pomocí souřadnic a natočení v bodě vůči některému souřadnému systému (a to buď v grafickém prostředí nebo přímo do souboru v RAPIDu), pomocí natočení os robota nebo pomocí volného pohybu s koncovým efektozem a naučení momentálně nastavené konfigurace, jako cíle.

Další možností je vytvoření cílů na hraně geometrie, což se hodí při tvoření drah například pro svařování nebo odjehlování.

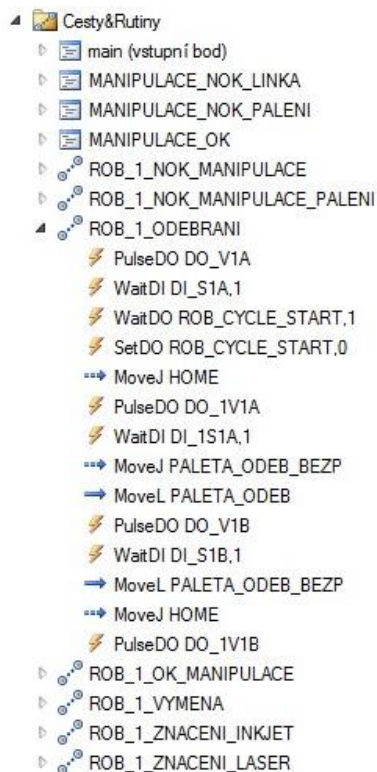


Obrázek 86: Seznam pracovních objektů robota 1 [Zdroj: vlastní]

Cíle se vždy vztahují k určitému workobjektu (pracovnímu bodu), který je vlastně nulovým bodem relativního souřadného systému. Výchozím pracovním bodem je **wobj0**, který je základním souřadným systémem celé stanice. Dalšími jsou například základny robotů. Můžeme však vytvářet vlastní pracovní objekty, vůči kterým budou umístěvané nově vytvořené cíle. Výhodou těchto pracovních cílů je možnost jejich použití při kalibraci robota na místě. Například pokud vztáhneme cíle robota při manipulování dílů vzhledem k paletě, na které probíhá polohování, při vlastním ožívování stačí zaměřit pozice a natočení palety, protože cíle robota jsou umístěné vůči tomuto bodu.

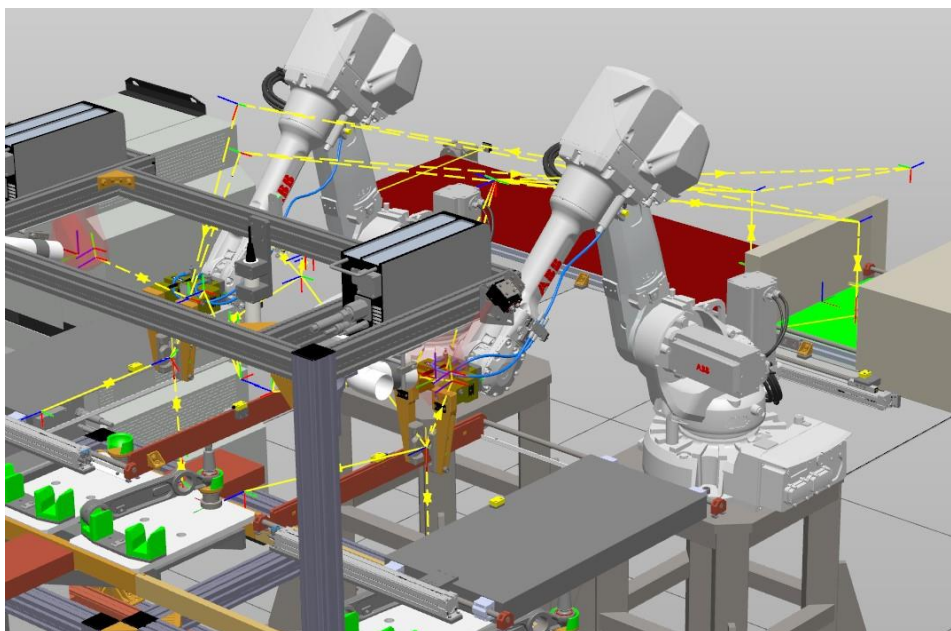
Z toho důvodu jsou všechny cíle v simulaci vztažené vůči nově vytvořeným pracovním objektům. Jsou to palety s rameny pro každý robot, laser pro každý robot, jednotka InkJet, OK dopravník a NOK dopravník.

Z připravených cílů tvoříme cesty. Přidáváním cílů do cesty dochází k vytváření pohybových instrukcí, u kterých nastavujeme několik hlavních parametrů. Prvním je typ pohybu, lineární pohyb mezi cíli (MoveL), kloubový pohyb mezi cíli (MoveJ) a pohyb po kružnici. Dalším je rychlost pohybu v rozmezí od **v5** do **vmax**, případně lineární nebo rotační rychlost. Nastavení zón určuje, v jaké vzdálenosti od cíle se pohybová instrukce považuje za dokončenou a program může přejít na další v pořadí. Hodnota **fine** nastaví zónu přímo do cíle. Posledním nastavením je určení nástroje a pracovního objektu cíle.



Obrázek 87: Cesty a rutiny robotu 1 [Zdroj: vlastní]

Kromě cílů je možné vkládat do cest instrukce akcí, jako je vysílání pulzů, nastavování signálů na určité hodnoty a nastavení čekání na tyto signály. Tímto způsobem lze například ovládat periferie, jako je pneumatický ventil na rameni robota ovládající chapač. Dále je možné volat celé procedury.



Obrázek 88: Stanice se zobrazenými cíli a cestami [Zdroj: vlastní]

Pomocí těchto instrukcí byly vytvořeny cesty, jako části programu, které dohromady tvoří celou manipulační proceduru. Cesty jsou takto rozděleny (odebírání, značení laser, OK manipulace ...), protože není pouze jedna předdefinovaná rutina pro všechny pracovní cykly buňky, ale závisí na kvalitě dílů, podle které dochází k různým variantám manipulace.

7.8 Program

Nyní je možné z dílčích cest sestavit celý program simulace pro všechny varianty manipulace. Cesty a procedury je možné vkládat do hlavní procedury **main** buď ze záložky cesty a rutiny nebo voláním v proceduře **main** přímo v programu RAPID. Při editaci jedním nebo druhým způsobem je třeba synchronizovat stanici a program RAPID, protože úpravy v jednom z nich se bez synchronizace neprojeví v druhém.

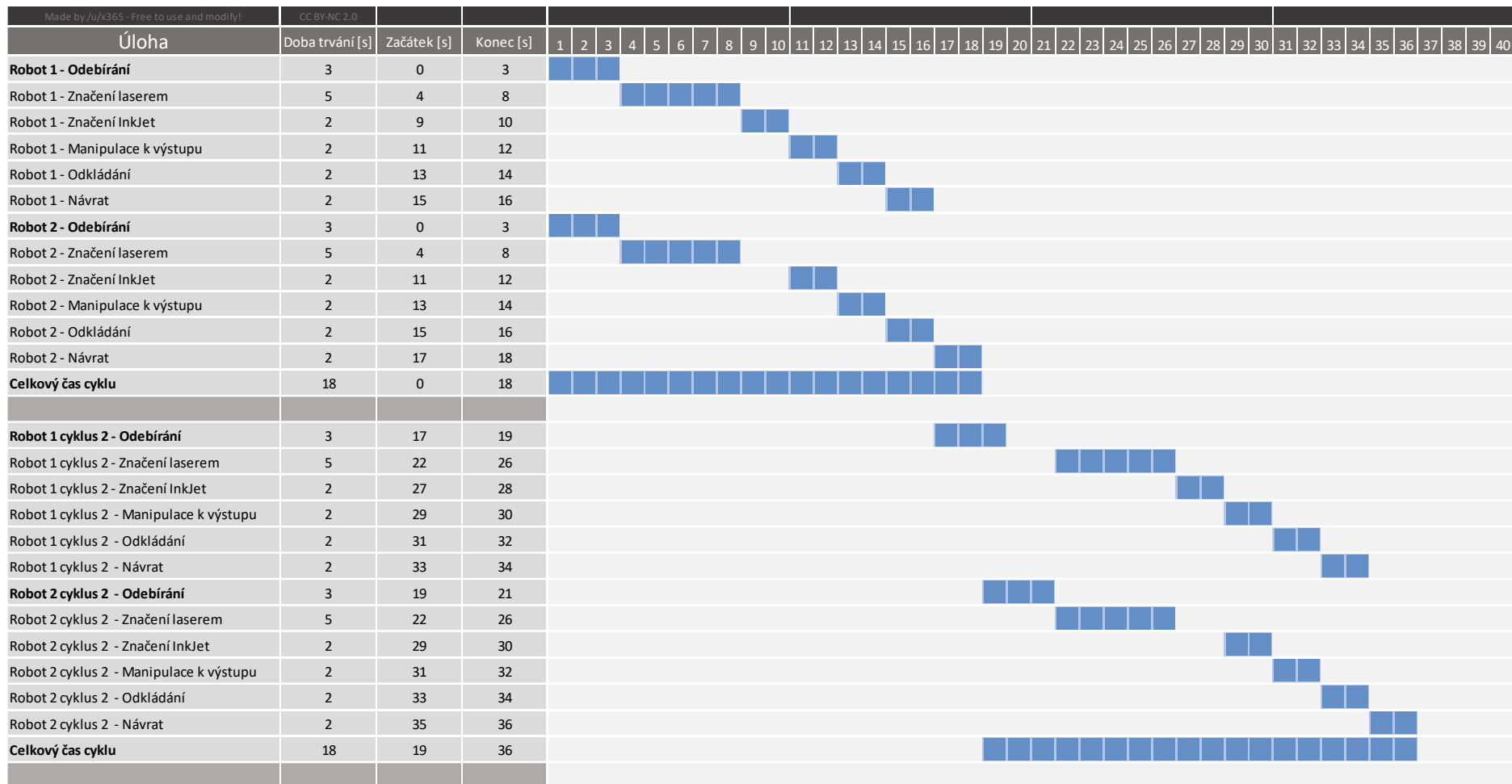
V reálné aplikaci by byla manipulace závislá na datech z PLC a kontrolní čtečky, na jejichž základě se rozhoduje, jak bude probíhat další manipulace. V simulaci jsou vytvořeny všechny možné varianty manipulace, které mohou nastat, včetně rutiny pro výměnu chapačů, aby bylo možné určit manipulační časy. Tyto časy jsou podobné pro všechny typy ramen (pravé, levé i případná další nová), protože se pouze upravují cíle pro odebrání a jednotlivá značení. Posloupnost jednotlivých operací a celková logika však zůstává stejná. Pro ověření cyklových časů je tedy program vytvořen pouze pro pravé rameno.

Operace mají danou posloupnost a několik omezení. Prvním je nutnost dodržení bezpečnosti při pálení kódu laserem. Pokud značí alespoň jeden laser, musí být zavřené bezpečnostní kryty a není tedy možné druhým robotem odebrat rameno nebo zakládat na OK dopravník (manipulace na NOK dopravník je možná). Druhým omezením je manipulace v kolizních bodech, jimiž jsou značení InkJetem a manipulace na výstupní dopravníky (tyto stavy pro různé souběhy manipulací jsou popsány v tabulce 4).

Na obrázku 89 je znázorněn Ganttův diagram pro OK manipulaci na obou robotech. Časy jsou přibližné, ale vycházejí z časů jednotlivých dílčích manipulací před úpravou drah a rychlostí pohybů. Jsou zohledněna omezení vycházející z posloupnosti operací a souběžných manipulací, proto robot 2 čeká v prvním cyklu na ukončení značení, které provádí první robot. V druhém cyklu čeká první robot na odebrání ramena prvním robotem, aby bylo možné zavřít kryty pro značení laserem. První cyklus probíhá při souběžném spuštění obou robotů, až druhý cyklus odpovídá kontinuálnímu provozu. Jak si lze povšimnout, kvůli prodlevám není dosaženo požadovaného cyklového času 16 s a je tedy nutné buď výrazně redukovat časy manipulací a operací anebo upravit proces.

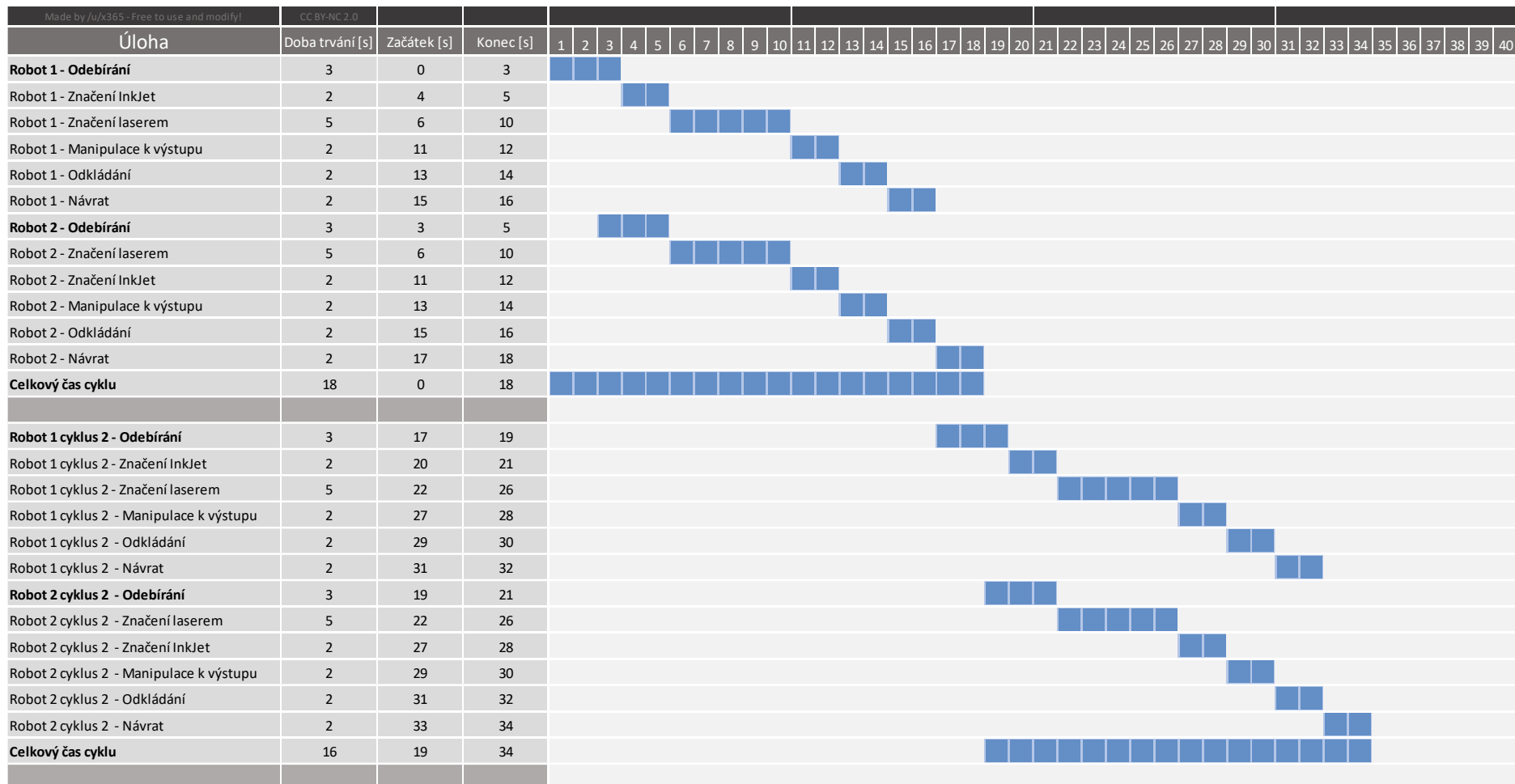
Ve variantě 2 na obrázku 90 je změněno pořadí operací na prvním robotu, značení InkJetem probíhá před značením laserem a odebrání na druhém robotu začíná později, aby značení laserem probíhalo ve stejnou chvíli. V prvním cyklu je cyklový čas stejný jako ve variantě 1, ale ve druhém cyklu (kontinuálním provozu) se již projeví odbourání prostojů a snížení cyklového času na požadovaných 16 s. Nevýhodou je, že při špatném označení DMC na prvním robotu je na NOK dopravník odložen vadný kus označený InkJetem, čemuž by se mělo předcházet. Jelikož je však tímto způsobem dosaženo požadovaného cyklového času ve většině případů, je zvolena tato varianta. InkJetem označená ramena mohou být buďto přeznačena InkJetem znovu (což zvýší cyklový čas v těchto případech, ale pokud bude správně nastavený laser, bude tato varianta nastávat pouze sporadicky), nebo bude obsluha poučena o možné přítomnosti ramen s tímto označením na NOK dopravníku a jejich významu.

Manipulace OK - varianta 1



Obrázek 89: Ganttův diagram OK manipulace – varianta 1 [Zdroj: vlastní]

Manipulace OK - varianta 2



Obrázek 90: Ganttův diagram OK manipulace – varianta 2 [Zdroj: vlastní]

Manipulace NOK z linky

Úloha	Doba trvání [s]	Začátek [s]	Konec [s]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Odebírání	3	0	3	█	█	█							
Manipulace k výstupu	2	4	5				█	█					
Odkládání	2	6	7						█	█			
Návrat	2	8	9									█	█
Celkový čas cyklu	18	0	9	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█

Obrázek 91: Ganttův diagram manipulace NOK ramena z linky předmontáže [Zdroj: vlastní]

Pokud je jedno nebo dokonce obě ramena vyhodnoceno jako NOK z linky předmontáže, nejsou prováděny žádné značící operace a cyklus je značně zkrácený. Není tedy nutné optimalizovat případy, při nichž jeden z robotů provádí tuto manipulaci, protože celá manipulace ramena proběhne při pálení na druhém robotu nebo je dostatek času na případné čekání u NOK dopravníku.

Manipulace NOK z laserového značení

Úloha	Doba trvání [s]	Začátek [s]	Konec [s]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Odebírání	3	0	3	█	█	█																	
Značení laserem	5	4	8				█	█	█	█	█												
Manipulace k výstupu	2	9	10									█	█										
Odkládání	2	11	12											█	█								
Návrat	2	13	14														█	█					
Celkový čas cyklu	14	0	14	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█

Obrázek 92: Ganttův diagram manipulace NOK ramena po špatném pálení [Zdroj: vlastní]

Protože je použita varianta 2 pro manipulaci s OK rameny, manipulace NOK z laserového značení platí pouze pro robot 2, jelikož rameno na robotu 1 je označeno InkJetem před pálením a kontrolou. Manipulace s ramenem na robotu 1, které má nevyhovující kvalitu DMC kódu, probíhá stejně jako u OK kusu.

Při najíždění nové výroby nastává situace, kdy ramena v jednom cyklu odebírá pouze první robot, protože před druhý ještě nedorazila plná paleta, ale tuto situaci není nutné z hlediska cyklového času řešit, protože pokud cyklus zvládnou oba roboty, jeden ho musí už z principu zvládnout také.

Nejčastější (a požadovaná) je OK manipulace na obou robotech, avšak, jak již bylo zmíněno v kapitole 7.1, může nastat dalších osm variant cyklu manipulace. Simulace je tedy programově řešena jako soustava kombinací jednotlivých variant manipulace pro kontrolu cyklových časů ve všech případech. Časy manipulací jsou získány jako intervaly mezi signály generujícími nové palety s rameny (v simulaci digitální input GENERATED).

Manipulace ROBOT 1	Manipulace ROBOT 2	Čas manipulace [s]
OK	OK	15,83
OK	OK	15,54
OK	NOK – linka	15,52
OK	NOK – laser	15,53
NOK – linka	OK	15,07
NOK – linka	NOK – linka	10,18
NOK – linka	NOK – laser	15,12
NOK – laser	OK	16,03
NOK – laser	NOK – linka	15,41
NOK – laser	NOK – laser	15,84

Tabulka 5: Výsledné časy pro všechny varianty manipulací [Zdroj: vlastní]

Získané časy splňují požadovaný cyklový čas 16 s výjimkou souběhu manipulací NOK z laseru na prvním robotu a OK manipulace na druhém. V tomto případě dochází ke křížení drah robotů a je tedy nutné s jedním robotem čekat kvůli kolizi. I tak je cyklový čas překročen spíše symbolicky (0,03 s), a to ještě na kombinaci, která by neměla být častá.

Jestli bude cyklový čas dodržen, závisí také na tom, na jakou rychlost budou nastaveny jednotlivé pohybové instrukce v reálné aplikaci. Zda bude dosaženo maximálních rychlostí manipulace ze simulace, nebo budou muset být některé rychlosti přejezdů sníženy. Naopak některé rychlosti bude třeba možné zvýšit (například při odebírání nebo značení InkJet) a pravděpodobně půjde optimalizovat doba pálení laserem. Toho může být dosaženo buď menším počtem přejezdů při pálení (kód je do hliníku pálen na několik cyklů) nebo zmenšením velikosti kódu. Nesmí se však na úkor doby pálení snížit čitelnost kódu.

Program řízení robotické buňky bude tvořený spolu s řízením celé linky předmontáže, kontroléry robotů budou zajišťovat pouze pohybové funkce, cesty a rutiny vytvořené v rámci simulace by však bylo možné využít při tvorbě tohoto programu a zkrátit tak celkovou dobu potřebnou pro jeho napsání.

8 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

S hotovým návrhem a funkčností ověřenou simulací je nutné zhodnotit ekonomickou stránku projektu. Nejdříve vyčíslíme náklady na jednotlivé části nutné pro realizaci zde navržené robotické buňky. Přímé náklady zahrnují nakupované díly od dodavatelů, vyráběné díly a práci lidí podílejících se na realizaci.

Název	Kusů	Číslo výkresu / objednací číslo	Norma / materiál / výrobce	Jednotková cena [Kč]	Celková cena [Kč]
Robot s kontrolérem	2	IRB 2600/20	ABB	650 000	1 300 000
RFID čtečka	1	BIS014K	Balluff	10 000	10 000
RFID čip	2	BIS004F	Balluff	600	1 200
Reflexní optická závora	3	BOS0122	Balluff	2 000	6 000
Reflektor	3	BAM0331	Balluff	250	750
Odsávací jednotka	1	AD Oracle iQ	Bofa	60 000	60 000
Robotický zámek	2	MGB-AP (116233)	Euchner	25 000	50 000
Blokovací zařízení	2	TP1-4131A024M	Euchner	8 000	16 000
Petlice	2	BTC-ST/G-S-TH-00-X	Euchner	3 500	7 000
Samostatný 5/3 ventil	2	VUVG-L14-P53C-T-Q8-U-1R8L	Festo	2 000	4 000
Pneumatický pohon	3	DGC-K-25-420-PPV-A-GK	Festo	4 500	13 500
Ventilový terminál	1	50E-F33GCQS-L/34L-CX-U4A-3JL	Festo	15 000	15 000
Dopravník OK	1	40CD-3000	Haberkorn	54 000	54 000
Dopravník NOK	1	40CD-1960	Haberkorn	46 000	46 000
Vodící tyč	6	W16-910	Hiwin	1 000	6 000
Kuličkové pouzdro	12	SC-16-UU	Hiwin	800	9 600
Uchycení tyče	12	WBC-16	Hiwin	600	7 200
Značící laser	2	MD-X1000	Keyence	700 000	1 400 000
Čtečka DMC kódů	2	SR-1000	Keyence	50 000	100 000
Tisková jednotka InkJet	1	Jet2Neo	Leibinger	180 000	180 000
Ochranné sklo	4	1,064 nm, 297x210	Lintech	12 000	48 000
Pneumatický chapač	2	PGN-PLUS-P 160-1	Schunk	40 000	80 000
Rychlovýměna – domek	4	BSWS-B 160	Schunk	5 000	20 000
Rychlovýměna – kolíky	4	BSWS-A 160	Schunk	2 000	8 000
Pohový senzor MPS-C	2	MPS-025CLTP0	Sick	12 000	24 000
Bezpečnostní snímač	4	RE11-SAC	Sick	1 800	7 200
Další položky	1	---	---	60 000	60 000
Náklady celkem					3 533 450

Tabulka 6: Přibližná cenová kalkulace nakupovaných dílů [Zdroj: vlastní]

Název	Kusů	Číslo výkresu / objednáací číslo	Norma / materiál / výrobce	Jednotková cena [Kč]	Celková cena [Kč]
Stojan na robota	2	170337-03-01-000	svařenec	32 000	64 000
Centráž na robota	4	170337-03-00-001	11 373	600	2 400
Deska pod ventil	2	170337-03-00-002	Plancast	500	1 000
Mezideska	2	170337-04-00-001	Plancast	5 000	10 000
Tělo čelisti – pravá	2	170337-04-01-001	Plancast	7 000	14 000
Tělo čelisti – levá	2	170337-04-01-002	Plancast	7 000	14 000
Tvarová čelist – pravá	2	170337-04-01-003	POM-C	6 000	12 000
Tvarová čelist – levá	2	170337-04-01-004	POM-C	6 000	12 000
Stojan technologií značení	1	170337-05-01-000	sestava (hliníkové profily)	25 000	25 000
Deska laseru	2	170337-05-01-000	Plancast	5 000	10 000
Držák RFID čtečky	1	170337-05-01-002	Plancast	5 000	5 000
Držák čtečky 1	2	170337-05-01-003	11 373	400	800
Držák čtečky 2	2	170337-05-01-004	11 373	300	600
Držák odsávání 1	1	170337-05-02-000	sestava	1 500	1 500
Držák odsávání 2	1	170337-05-03-000	sestava	1 500	1 500
Deska InkJet	1	170337-06-00-001	Plancast	2 500	2 500
Držák vnitřní	2	170337-06-00-002	dural	1 500	3 000
Držák vnější	2	170337-06-00-003	dural	1 500	3 000
Podložka	12	170337-07-00-001	Plancast	300	3 600
Rám krytování	1	170337-08-01-000	sestava (hliníkové profily)	120 000	120 000
Horní kryt	2	170337-08-02-000	sestava (hliníkové profily a výplně)	30 000	60 000
Posuvný kryt – pravý	1	170337-08-03-001	17 240	3 000	3 000
Posuvný kryt – levý	1	170337-08-03-002	17 240	3 000	3 000
Mezideska – válec vstup	2	170337-08-03-003	Plancast	1 800	3 600
Unašeč	2	170337-08-03-004	Plancast	3 500	7 000
Koncová deska	2	170337-08-03-005	Plancast	3 200	6 400
Držák snímače	2	170337-08-03-008	Plancast	1 000	2 000
Držák snímače	2	170337-08-03-009	Plancast	1 200	2 400
Posuvný kryt – výstup	1	170337-08-04-001	17 240	4 000	4 000
Mezideska – válec výstup	1	170337-08-04-002	Plancast	2 200	2 200
Kostka	4	170337-08-04-003	dural	1 100	4 400
Pevný kryt – výstup	1	170337-08-04-004	17 240	6 000	6 000
Držák	2	170337-08-04-005	11 373	400	800
Unašeč	1	170337-08-04-006	Plancast	3 500	3 500
Zábrana	4	170337-08-04-007	POM-C	800	3 200
Držák snímače	1	170337-08-04-008	dural	1 100	1 100
Výplně krytů	1	170337-08-05-000	sestava (výplně)	40 000	40 000
Servisní dvířka	2	170337-08-06-000	sestava (hliníkové profily a výplně)	8 000	16 000
Dveře – vstup zvenku	1	170337-08-07-000	sestava (hliníkové profily a výplně)	8 000	8 000
Dveře – vstup z linky	1	170337-08-08-000	sestava (hliníkové profily a výplně)	12 000	12 000
Kryt NOK	1	170337-08-09-000	sestava (hliníkové profily a výplně)	12 000	12 000
Kryt transferu 1	1	170337-08-10-001	Lexan	1 000	1 000
Kryt OK dopravníku	1	170337-08-10-002	Lexan	800	800
Kryt transferu 1	2	170337-08-10-003	Lexan	1 800	3 600
Náklady celkem					511 900

Tabulka 7: Přibližná cenová kalkulace vyráběných dílů [Zdroj: vlastní]

Práce	Hodinová dotace [h]	Hodinová sazba [Kč]	Celková cena [Kč]
Konstrukce	160	1 250	200 000
Konstrukce elektro	60	1 250	75 000
Simulace a OLP	80	1 400	112 000
Programování PLC a robotů	100	1 500	150 000
Montáž	150	800	120 000
Montáž elektro	90	850	76 500
Náklady celkem			733 500

Tabulka 8: Přibližná cenová kalkulace nákladů na práci [Zdroj: vlastní]

Všechny uvedené ceny jsou pouze orientační. Reálné ceny nakupovaných komponent závisí na cenové nabídce pro konkrétního zákazníka, která se liší od katalogových cen. Náklady na výrobu a práci jsou pouze odhadnuté a reálné náklady na vyráběné díly stejně jako náklady za lidskou práci budou odlišné. Pomocí těchto dílčích nákladů vypočítáme přibližné celkové náklady, které činí **4 778 850 Kč**.

Jelikož se nejedná o interní zakázku, celkovou částku za linku je nutné navýšit o marži dodavatele. V tomto případě jde o navýšení o 30 % a výsledná cena za linku je tedy **6 212 505 Kč**.

8.1 Návratnost investice

Protože robotická buňka neovlivňuje takt výroby ramen a neznáme marži za jednotlivá ramena, můžeme pouze spočítat relativní návratnosti vůči ostatním uvažovaným variantám.

Stanice značení by ovlivňovala počet vyrobených ramen pouze pokud by cyklus značení byl pomalejší než takt linky předmontáže a marže z ramen se rozpustí v ceně celé nové linky předmontáže, kterou také neznáme.

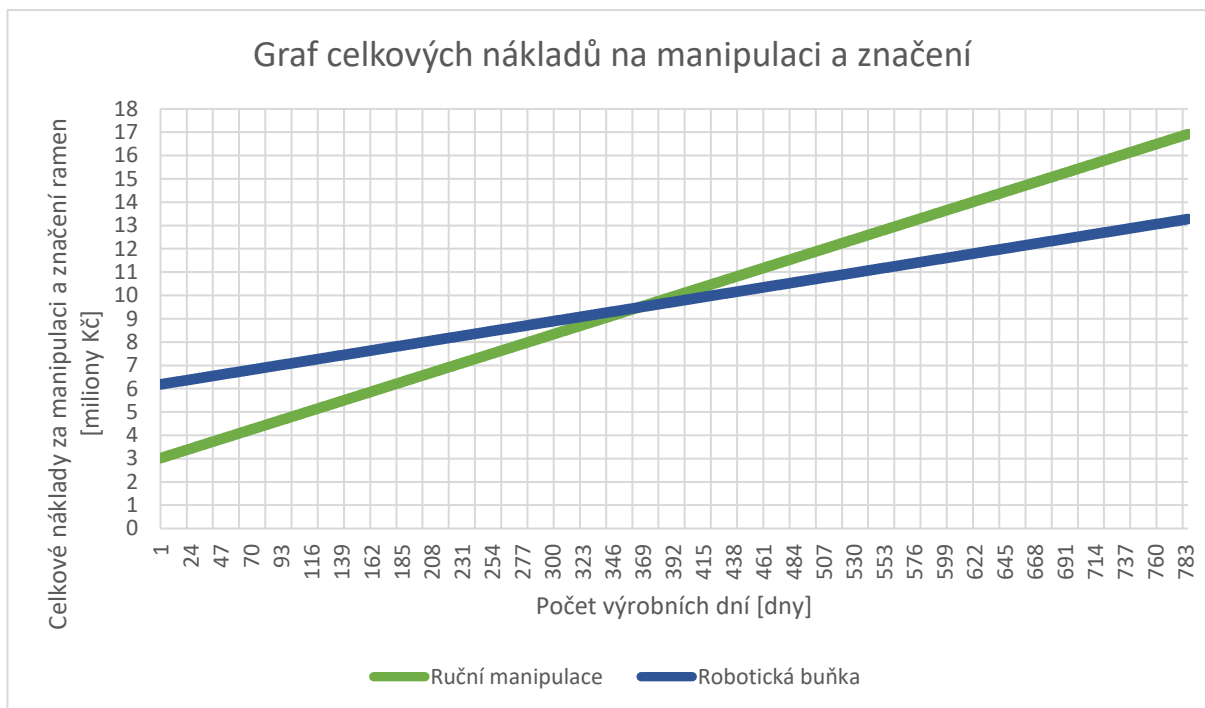
Pro srovnání tedy budeme počítat s návrhovou variantou 1, kdy by manipulaci s rameny prováděla lidská obsluha a značení probíhalo na otočném stole s výměnnými přípravky. Uvažujeme, že bude potřeba dvou pracovníků na jednu pracovní směnu. První odebírá ramena z transferu a zakládá je do otočného stolu, kde probíhá značení. Následně je třídí do KLT beden pro další manipulaci. Druhý manipuluje s plnými KLT bednami a zaváží je na navazující linku. Jelikož nebude tento pracovník plně vytížený, může provádět pomocné manipulace i na lince předmontáže (zavážení dílů, odvážení prázdných klecí ...), aby snížil prostoje na lince.

Uvažované pořizovací náklady pro tuto variantu jsou okolo **3 000 000 Kč**. Bylo by nutné pořídit opět dva lasery, InkJet, navíc by bylo nutné zakoupit otočný stůl, vyrobit výměnné přípravky a zajistit bezpečnost obsluhy. Částka již zahrnuje marži.

Srovnání	Ruční manipulace	Robotická buňka
Pořizovací náklady	3 000 000	6 173 505
Počet pracovníků	2	0
Náklady na pracovníka [Kč/h]	210	0
Provozní náklady [Kč/h]	368	402
Denní náklady na provoz [Kč]	17 730	9 045
Roční náklady za provoz [Kč]	4 432 500	2 261 250

Tabulka 9: Rozpis pořizovacích a provozních nákladů u jednotlivých variant manipulace [Zdroj: vlastní]

Náklady na pracovníka jsou počítány z předpokládané mzdy operátora výroby 25 000 Kč hrubého platu a z něj vycházejících nákladů zaměstnavatele. Provozní náklady jsou počítány z nákladů na elektřinu a stlačený vzduch spolu s dalšími předpokládanými fixními náklady.



Obrázek 93: Graf celkových nákladů na manipulaci a značení [Zdroj: vlastní]

Z grafu na obrázku 93 vyplývá, že robotická buňka bude mít nižší celkové náklady oproti ruční manipulaci po 366 dnech provozu. Při 250 pracovních dnech v roce je tedy doba návratnosti investice 1,46 roku.

9 ZÁVĚR

Cílem práce bylo navrhnout robotickou buňku pro značení ramen v automobilovém průmyslu. Zadání je inspirováno reálnou aplikací a z toho vycházejí i požadavky na robotickou buňku.

V první kapitole byly definovány požadavky na operace, které má navrhovaná buňka plnit a je popsán postup sestavení ramene na lince předmontáže, ze které budou díly odebrány.

V další části byly popsány některé z technologií značení, které se v průmyslu používají. Předně je popisován jejich princip a možnosti využití. Následující kapitola se věnovala obecnému popisu simulací robotických buněk a důvodům pro jejich využívání. Kromě toho jsou představeny některé ze softwarů, se kterými se můžeme setkat v praxi.

Kapitola 5 se zabývá tvorbou variant pro operace manipulace a značení. Na základě layoutu montážní linky a jejího okolí ve výrobní hale byly vytvořeny tři varianty tohoto procesu. První varianta počítá s lidskou manipulací a slouží jako základ s nejnižšími pořizovacími náklady. Druhá varianta počítá s robotickou manipulací a lasery umístěnými na otočném stole. Třetí varianta taktéž uvažuje dvojici robotů, ale lasery jsou přímo nad transferem. V závěru kapitoly je provedeno kritické zhodnocení jednotlivých variant a je zvolena varianta 3.

Po výběru varianty pro implementaci začíná její samotná konstrukce. Tvorba 3D modelu probíhala v programu Creo Parametric 7.0.2.0 Student Edition. Na základě ramena byl proveden výběr chapače, návrh čelistí, které jsou univerzální pro pravé i levé rameno, a následně byl vybrán odpovídající robot. Bylo vytipováno příslušenství pro technologie značení a další potřebné operace, jako je odsávání zplodin a manipulace na výstupu.

Jelikož cílem práce nebyla tvorba analýzy rizik, není součástí této práce. V návrhu je však zohledňováno riziko, které představuje laserové značení a robotická manipulace. Při návrhu bezpečnostních prvků je tedy kladen důraz na to, aby bylo zachováno co nejvyšší bezpečí obsluhy. Celý prostor manipulace je zakrytován konstrukcí z hliníkových profilů Bosch Rexroth s lakovanými plechovými výplněmi jednak jako bezpečností zábrana nebezpečného prostoru robota, ale zároveň jako zabezpečení před přímými i odraženými laserovými paprsky. Všechny mezery jsou z tohoto důvodu zalemovány nebo zakryty, všechny průhledy do stanice jsou z bezpečnostního skla a všechny procesní i montážní dveře jsou signalizovány a blokovány. Vstupní dveře do prostoru stanice jsou vybaveny robotickými zámky s panickými klakami pro případ neúmyslného zavření člověka do stanice. U vybraných sestav a dílů byla vytvořena výkresová dokumentace, včetně pneumatického schématu.

Dalším krokem bylo vytvoření logiky manipulace a vytvoření simulace v programu RobotStudio 2021. Z importovaných 3D dat byly vytvořeny jednotlivé prvky a mechanismy, naprogramováno řízení jednotlivých komponent a vytvořeny dráhy pro roboty. Z dílčích drah jednotlivých operací byly vytvořeny rutiny pro všechny možné varianty manipulací všech jejich kombinací na obou robotech. První varianta manipulace, kdy probíhá značení InkJetem vždy až po pálení DMC kódu, byla modifikována kvůli nevyhovujícímu cyklovému času. Ve finální verzi probíhá značení InkJetem na jednom robotu před pálením kódu. Může tedy dojít k označení ramena tiskem, i když se jedná o NOK kus, ale primárním cílem je dodržení cyklového času u OK manipulace. Výskyt takto označených kusů však bude velmi sporadický. Byly zjištěné cyklové časy pro jednotlivé varianty manipulace, nejdůležitějším je manipulace OK kusů na obou robotech, jelikož se jedná o žádaný výstup z této linky. Zjištěný cyklový čas

u této kombinace manipulací byl mezi 15,54 s a 15,83 s, splňuje tedy požadovaný cyklový čas, který neměl přesáhnout 16 s.

Poslední částí této práce je ekonomické zhodnocení. Nejdříve byly spočítány náklady na nakupované díly, vyráběné díly a na lidskou práci. Náklady navýšené o marži dodavatele byly vyčísleny na 6 212 505 Kč. Dále bylo provedeno porovnání celkových nákladů na pořízení a provoz mezi navrhnutou buňkou a základní variantou, při které manipulaci s rameny provádí dodatečná obsluha. Z porovnání vychází, že i přes vyšší pořizovací náklady vychází robotická buňka po téměř 1,5 roce provozu na méně peněz než lidská obsluha.

Při případné realizaci projektu nebude s největší pravděpodobností zprvu vycházet cyklový čas stejný jako v simulaci. Případné zkracování cyklového času na požadovaný s případnou rezervou by bylo možné buď zkrácením času pálení DMC kódu, například zmenšením velikosti, při zachování čitelnosti, další optimalizací drah, a hlavně zrychlováním jednotlivých pohybových instrukcí, aniž by hrozilo uvolnění ramen z čelistí. Další oblastí k potenciální optimalizaci jsou kryty. Krytování bylo modelováno hlavně s ohledem na jeho funkčnost, návrh by mohl být přizpůsoben pro vyšší komfort při sestavení a manipulování. Kromě lepších vztahů s montáží by se tím snížil i čas montáže a zjednodušila přeprava, čímž by se v důsledku snížily celkové náklady. Další úpravou by bylo zajištění snadné demontovatelnosti v místech, která jsou nutná pro údržbu linky předmontáže i vlastní robotické buňky.

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Práci padělatelům ztěžuje kód DataMatrix. In: *MotoFocus.cz* [online]. [cit. 2021-03-01]. Dostupné z: <https://motofocus.cz/distributori/26866,praci-padelatelum-ztezuje-kod-datamatrix>
- [2] LEIBINGER JET2neo. In: *Leonardo technology: Automatizace průmyslového značení* [online]. [cit. 2021-03-01]. Dostupné z: <http://www.lt.cz/produkty/znaceni-inkoustem-inkjet/tiskarny-leibinger/leibinger-jet2neo>
- [3] SÁNDOR, Vácalv. *Značení výrobků v řemeslu*. Praha, 2017. Bakalářská práce. ČVUT. Vedoucí práce Ing. Martin Zůza.
- [4] *Leonardo technology: Automatizace průmyslového značení* [online]. 2020 [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: <http://www.lt.cz/>
- [5] Značení mikroúderem a rytím. *Oneindustry automotive* [online]. [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: <https://automotive.oneindustry.one/znaceni-mikrouderem-a-rytim/>
- [6] MARKSYS [online]. [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: <https://www.marksys.cz/>
- [7] *AJP tech* [online]. [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: <https://www.ajptech.cz/>
- [8] PRŮMYSLOVÉ ZNAČENÍ V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU. *Automator* [online]. [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: <https://www.automator.com/cs/prumyslove-znaceni-v-automobilovem-prumyslu/>
- [9] Gravírování – technologie úpravy materiálu. *Reklamní produkce* [online]. 2005, **2005**(2), 5 [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: <https://www.vseotisku.cz/gravirovani-technologie-upravy-materialu/>
- [10] Dremel 290JJ gravírovací pistole hobby. In: *Rucni-Naradi.cz* [online]. [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: <https://www.rucni-naradi.cz/dremel-290jj#popis-produktu>
- [11] Gravírovací zařízení Proxxon. In: *Boukal e-shop* [online]. [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: https://www.boukal.cz/gravirovaci-zarizeni-proxxon-ge-20/13311/produkt?gclid=CjwKCAiAp4KCBhB6EiwAxRxbpHxyg3Q1aQ4khKnFEUu4AGBKMDrWOU43ZyfHkHYRQXr7Su-H4SqPZR0CMUgQAvD_BwE
- [12] HLUBOKÉ GRAVÍROVÁNÍ LASEREM. *Lintech* [online]. [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: <https://www.lintech.cz/novinky/hluboke-gravirovani-laserem>
- [13] *Gravotech: Expression of things* [online]. [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: <https://www.gravotech.com/>
- [14] *Markator* [online]. [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: <https://www.markator.cz/index.php>
- [15] Značení mikroúderem. *SIC-VENIM* [online]. [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: <https://www.venim.cz/znaceni-mikrouderem>
- [16] KEYENCE CORPORATION. *Laser Technical Guide*. 2015. Dostupné také z: https://www.keyence.eu/cscz/mykeyence/?ptn=001&deqwas_inflow=QGRzcDUwOkV

tUnVKZXJ3dkV1dmdfWDhOY25OUmc6aXRlbTRkb2Nfdmllldzo6V1NfMTE0MDEx
OjFR&ad_local=recoassetgrpbottom

- [17] *VSP technology* [online]. [cit. 2021-03-06]. Dostupné z: <https://www.vsp-technology.cz/#>
- [18] KEYENCE CORPORATION. *Laser Safety Guide*. 2014. Dostupné také z: https://www.keyence.eu/cscz/mykeyence/?ptn=001&deqwas_inflow=QGRzcDUwOkVtUnVKZXJ3dkV1dmdfWDhOY25OUmc6aXRlbTRkb2Nfdmllldzo6V1NfMTE0MDExOjFR&ad_local=recoassetgrpbottom
- [19] Komponenty pro automobily označené od Leonardo technology. In: *Technika a trh* [online]. [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: <https://www.technikaatrh.cz/aktuality/komponenty-pro-automobily-oznacene-od-leonardo-technology>
- [20] Aplikátor VENTUS 920VL. In: *Eprin* [online]. [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: <https://www.eprin.cz/eshop-ventus-920vl.html>
- [21] Elektrochemické značení. *Pramark* [online]. [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: <https://www.pramark.cz/elektrochemicke-znaceni>
- [22] Elektrochemické značení. *Infocube* [online]. [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: <https://infocube.cz/cs/elektrochemicke-znaceni/>
- [23] SKOUPIL, Martin. *Simulace a optimalizace výrobních procesů* [online]. In: . [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/simulace-a-optimalizace-vyrobnich-procesu>
- [24] Offline programování. *Blumenbecker* [online]. [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: <https://www.blumenbecker.com/cz/prumyslova-automatizace/prumyslove-roboty/offline-programovani>
- [25] Virtuální zprovoznění - budoucnost průmyslu. *Industry Fórum* [online]. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <https://www.industryforum.cz/virtualni-zprovozneni-meni-budoucnost-prumyslu>
- [26] *Digitální dvojče výrobní buňky: VIRTUÁLNÍ ZPROVOZNĚNÍ* [online]. In: . [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: <https://www.bvv.cz/msv/zlata-medaile-msv/25-digitalni-dvojce-vyrobnich-bunky-virtualni-zprovo/>
- [27] Roboguide. *Fanuc* [online]. [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/p%C5%99%C3%ADslu%C5%A1enstv%C3%AD/roboguide>
- [28] *Fanuc Roboguide nastavení 2D kamerového senzoru* [online]. In: . [cit. 2021-04-11]. Dostupné z: <https://line.17qq.com/articles/swmgmkhsy.html>
- [29] KUKA.Sim. <https://www.kuka.com/cs-cz> [online]. [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/software/pl%C3%A1nov%C3%A1n%C3%AD-projektov%C3%A1n%C3%AD-servis-bezpe%C4%8Dnost/kuka_sim

- [30] LUKAČ, Duško. Comparative Selection of Industrial Robot Simulation Systems for Educational Purposes. *INFOTEH-JAHORINA* [online]. 2016, **2016**(15), 5 [cit. 2021-04-11]. Dostupné z: <https://infotech.etf.ues.rs.ba/zbornik/2016/radovi/SUP-2/SUP-2-8.pdf>
- [31] *KUKA.Sim Pro 1.1* [online]. In: . [cit. 2021-04-11]. Dostupné z: <https://unindustry.my/course/kuka-simpro-3-0-simulation-programming/>
- [32] RobotStudio. *ABB* [online]. 2021 [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/robotstudio>
- [33] *Simulace paletizace v RobotStudio 6.05* [online]. In: . [cit. 2021-04-11]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/budoucnost-vyvoje-prumyslovych-robotu.html>
- [34] Tecnomatix. *PLM - Správa životního cyklu výroby: Siemens Digital Industries* [online]. 2021 [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/cz/products/tecnomatix/>
- [35] PROCESS SIMULATE ROBOTICS. *AXIOM TECH* [online]. [cit. 2021-04-11]. Dostupné z: <https://www.axiomtech.cz/25343-tecnomatix-process-simulate-robotics>
- [36] *RoboDK* [online]. 2021 [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: <https://robodk.com/>
- [37] *On-line nástroj pro výpočet chapačů Schunk* [online]. [cit. 2021-04-17]. Dostupné z: <https://schunk.com/calc-g-frame-prod/?CheckFreigabeAuslegungsToolLive=true&lang=EN&country=ES>
- [38] *PGN-plus-P 160-1* [online]. [cit. 2021-04-17]. Dostupné z: https://schunk.com/de_en/clamping-technology/product/49954-0318592-pgn-plus-p-160-1/
- [39] *BSWS-PGZN-plus* [online]. [cit. 2021-04-17]. Dostupné z: https://schunk.com/de_en/clamping-technology/product/49954-0318592-pgn-plus-p-160-1/accessories/bsws-pgzn-plus/
- [40] *Polohové senzory MPS-C* [online]. [cit. 2021-04-17]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/magneticke-senzory-polohy-valcu/polohove-senzory/mps-c/mps-025cltp0/p/p457552>
- [41] *HF hlavy čtení/zápis (13,56 MHz) s integrovanou vyhodnocovací jednotkou* [online]. [cit. 2021-04-17]. Dostupné z: <https://www.balluff.com/local/cz/productfinder/#/ca/A0003/cg/G0304/product/F03405/variant/PV151953>
- [42] *Datový nosič HF (13,56 MHz)* [online]. [cit. 2021-04-17]. Dostupné z: https://www.balluff.com/local/cz/productfinder/#/ca/A0003/cg/G0304/product/F03401/variant/PV151737?bas_usermemory_type=3325706
- [43] *Product specification IRB 2400* [online]. [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC042195-001&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

- [44] *Product specification IRB 2600* [online]. [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC035959-001&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [45] *IRC5 Industrial Robot Controller* [online]. [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/controllers/irc5>
- [46] Třiosý hybridní popisovací laser Řada MD-X. *Keyence* [online]. [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://www.keyence.eu/cscz/ss/products/marking/md-x/>
- [47] Čtečka 1D a 2D kódů s automatickým zaostřením řada SR-1000. *Keyence* [online]. [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://www.keyence.eu/cscz/products/vision/barcode/sr-1000/>
- [48] *BOFA AD Oracle iQ* [online]. [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://bofainternational.com/en/find-products/extraction-systems/results/ad-oracle-iq/>
- [49] *HABERKORN Pásové dopravníky přímé* [online]. [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://www.haberkorn.cz/pasove-dopravniky-prime/>
- [50] *Reflexní optická závora BOS0122* [online]. [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://www.balluff.com/local/cz/productfinder/product/?key=BOS0122#/>
- [51] *Reflektor BAM0331* [online]. [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://www.balluff.com/local/cz/productfinder/#/ca/A0017/cg/G1704/product/F17401/variant/PV556904>
- [52] Ochrana zdraví při práci s lasery. *Oborový portál pro BOZP* [online]. [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.bozpinfo.cz/ochrana-zdravi-pri-praci-s-lasery>
- [53] MULTIFUNCTIONAL GATE BOX MGB-AP. *Euchner* [online]. [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.euchner.de/cs-cz/vyrobky/multifunctional-gate-box-mgb/multifunctional-gate-box-mgb-ap/>
- [54] Praktický přístup k volbě způsobu zabezpečení ochranných krytů podle ČSN EN ISO 14119. *Automa* [online]. 2015, **2015**(2), 15-17 [cit. 2021-05-18]. Dostupné z: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/prakticky-pristup-k-volbe-zpusobu-zabezpeceni-ochrannych-krytu-podle-csn-en-iso-14119-2015_02_53410_6803/
- [55] BEZPEČNOSTNÍ SPÍNACĚ TP. *Euchner* [online]. [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.euchner.de/cs-cz/vyrobky/elektromechanicke-bezpecnostni-spinace-s-jistenim-ochranneho-krytu/bezpecnostni-spinac-s-jistenim-ochranneho-krytu-a-monitorovanim-stavu-jisteni-tp/>
- [56] Příslušenství k laserové technologii. *Lintech* [online]. [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://www.lintech.cz/produkty/laserove-technologie/prislusenstvi-k-laserove-technologie>
- [57] Přímočarý pohon DGC-K. *Festo* [online]. [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/products_DGC_K
- [58] Kul. pouzdra a vodící tyče. *Hiwin* [online]. [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://www.hiwin.cz/cz/produkty/kul-pouzdra-a-vodici-tyce>

- [59] Bezdotyková blokovací zařízení RE1. *Sick* [online]. [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/blokovaci-zarizeni/bezdotykova-blokovaci-zarizeni/re1/c/g274652>
- [60] *ROBOTICS Operating manual RobotStudio*. 2021. Dostupné také z: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC032104-001&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

11 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

11.1 Seznam zkratek

DMC	...	Data Matrix Code
QR Code	...	Quick Response Code
VIN	...	Vehicle Identification Number (identifikační číslo vozidla)
AR	...	augmentovaná realita
VR	...	virtuální realita
OLP	...	offline programování
RSC	...	Robot Controller Simulation
RS	...	RobotStudio
TCP	...	Tool Center Point
SC	...	Smart Component

11.2 Seznam tabulek

Tabulka 1: Rozdělení hlavních skupin laserů [16]	24
Tabulka 2: Tabulka uvažovaných modelů robotů [43], [44]	44
Tabulka 3: Výpočet váhy koncového efektoru [Zdroj: vlastní]	45
Tabulka 4: Vzájemné vztahy mezi roboty pro různé druhy manipulací [Zdroj: vlastní]	59
Tabulka 5: Výsledné časy pro všechny varianty manipulací [Zdroj: vlastní]	76
Tabulka 6: Přibližná cenová kalkulace nakupovaných dílů [Zdroj: vlastní]	77
Tabulka 7: Přibližná cenová kalkulace vyráběných dílů [Zdroj: vlastní]	78
Tabulka 8: Přibližná cenová kalkulace nákladů na práci [Zdroj: vlastní]	79
Tabulka 9: Rozpis pořizovacích a provozních nákladů u jednotlivých variant manipulace [Zdroj: vlastní]	79

11.3 Seznam obrázků

Obrázek 1: Předmontované rameno založené v paletě – pravé [Zdroj: vlastní]	18
Obrázek 2: Značení DMC kódem pro dohledávání výrobku [1]	18
Obrázek 3: Značení technologií InkJet [2]	18
Obrázek 4: Příklad 1D a 2D kódu [4]	19
Obrázek 5: Značení VIN kódu pomocí ruční mikroúderové jednotky [6]	19
Obrázek 6: A): kufřík s razníky; B): číslovačka [7]	20
Obrázek 7: Pneumatická razící jednotka pro integraci [7]	20
Obrázek 8: Ražba sériového čísla [8]	21
Obrázek 9: Gravírování skla ruční pistolí [10]	21
Obrázek 10: Gravírovací zařízení Proxxon – využití pantografu [11]	22
Obrázek 11: Laserové gravírování DMC kódu [12]	22
Obrázek 12: Folie Gravofoil [13]	22
Obrázek 13: Bodové značení DMC a alfanumerického popisu [15]	23

Obrázek 14: Značení rytím [4]	23
Obrázek 15: Různá provedení mikroúderových jednotek [14]	24
Obrázek 16: Pulzní charakteristiky z různých laserů o stejné vlnové délce [4]	25
Obrázek 17: Princip řízení laserového paprsku pro značení [4].....	25
Obrázek 18: Značení DMC kódu na hliníkový odlitek [17].....	26
Obrázek 19: Alternativní výstražné štítky pro laserová zařízení [4]	26
Obrázek 20: Schéma technologie Continuous InkJet (CIJ) [4]	27
Obrázek 21: Značení komponent technologií InkJet na otočném stole [19]	28
Obrázek 22: Princip termotransferových tiskáren [4]	28
Obrázek 23: Automatický aplikátor etiket s tiskem VENTUS 920VL [20].....	29
Obrázek 24: Ruční elektrochemické značení [22].....	29
Obrázek 25: Příklady využití elektrochemického značení [22].....	30
Obrázek 26: Digitální dvojče výrobní buňky vytvořené na ÚVSSR [26]	31
Obrázek 27: Fanuc RoboGuide, nastavení 2D kamerového senzoru [28]	32
Obrázek 28: Starší verze KUKA.Sim 1.1 [31]	33
Obrázek 29: Simulace paletizace v RobotStudio 6.05 [33]	33
Obrázek 30: Projekt v programu Tecnomatix Process Simulate Robotics [34]	34
Obrázek 31: Simulace malování robotem pomocí RoboDK [36]	34
Obrázek 32: Layout haly [Zdroj: vlastní]	35
Obrázek 33: Detail layoutu – otočný stůl s obsluhou [Zdroj: vlastní].....	36
Obrázek 34: Detail layoutu – otočný stůl s robotickou manipulací [Zdroj: vlastní]	37
Obrázek 35: Robotická manipulace se značením nad transferem [Zdroj: vlastní].....	38
Obrázek 36: Ramena R a L [Zdroj: vlastní]	41
Obrázek 37: Výpočet váhy a těžiště ramene [Zdroj: vlastní]	41
Obrázek 38: Doporučený chapač podle konfigurátoru Schunk [37]	42
Obrázek 39: Paralelní pneumatický chapač PGN-plus-P 160-1 [38]	42
Obrázek 40: Rychlovýměnný systém BSWS-PGZN-plus [39].....	43
Obrázek 41: Chapač s upnutým ramenem [Zdroj: vlastní].....	43
Obrázek 42: A): Datový nosič HF BIS004F [42]; B): Čtecí hlava BIS014K [41].....	44
Obrázek 43: Výpočet těžiště a kvadratických momentů v programu Creo Parametric 7.0.2.0 [Zdroj: vlastní].....	45
Obrázek 44: Výpočet v programu RobotLoad pro robot IRB 2400/16 [Zdroj: vlastní].....	46
Obrázek 45: Výpočet v programu RobotLoad pro robot IRB 2600-12/1.65 [Zdroj: vlastní] ..	46
Obrázek 46: Výpočet v programu RobotLoad pro robot IRB 2600-20/1.65 [Zdroj: vlastní] ..	47
Obrázek 47: Robot IRB 2600-20/1.65 [44]	47
Obrázek 48: Roboty s podstavci v pozici odebrání ramen [Zdroj: vlastní].....	48
Obrázek 49: Kontrolér IRC5 Single Cabinet [45]	48
Obrázek 50: Značící hlava Keyence MD-X1000 s řídicí jednotkou [46].....	49
Obrázek 51: Čtečka DMC Keyence SR-1000 [47]	49
Obrázek 52: Laserová značící hlava MD-X1000 se čtečkou DMC SR-1000 a vývodem odsávání [Zdroj: vlastní]	49
Obrázek 53: Odsávací a filtrační jednotka BOFA AD Oracle iQ [48].....	50
Obrázek 54: Inkoustová tiskárna LEIBINGER JET2neo [4]	50
Obrázek 55: Tisková hlava JET2neo s čtecí hlavou RFID čipů [Zdroj: vlastní]	51
Obrázek 56: Rám značení s technologiemi [Zdroj: vlastní]	51
Obrázek 57: Různé konfigurace motoru pro dopravníky řady 40 [49]	52
Obrázek 58: A) Reflexní závora BOS0122 [50]; B) Reflektor BAM0331 [51].....	53

Obrázek 59: Rám stanice s namontovanými dopravníky [Zdroj: vlastní]	53
Obrázek 60: Zakrytovaná robotická buňka, pohled od cesty [Zdroj: vlastní]	54
Obrázek 61: Buňka bez poloviny horních krytů, pohled od linky [Zdroj: vlastní].....	54
Obrázek 62: Robotický zámek MGB-AP, zde bez únikového odjišťovacího prvku [53]	55
Obrázek 63: Bezpečnostní spínač TP s petlicí [55]	55
Obrázek 64: Bezpečnostní minerální sklo od firmy Lintech [56].....	55
Obrázek 65: Posuvný kryt pozice odebírání – otevřený [Zdroj: vlastní].....	56
Obrázek 66: Posuvný kryt pozice odebírání – zavřený, bez robotů [Zdroj: vlastní]	56
Obrázek 67: Posuvný kryt OK výstupu – zavřený [Zdroj: vlastní]	57
Obrázek 68: Vývojový diagram manipulace ramen [Zdroj: vlastní]	60
Obrázek 69: Základní nabídka – vytvoření nového projektu [Zdroj: vlastní]	61
Obrázek 70: Vložení modelu z knihovny robotů [Zdroj: vlastní].....	61
Obrázek 71: Nástroje pro polohování modelů [Zdroj: vlastní].....	62
Obrázek 72: Tvorba nového řadiče [Zdroj: vlastní]	62
Obrázek 73: Výběr verze RobotWaru a konkrétního modelu robota [Zdroj: vlastní].....	63
Obrázek 74: Tvorba kloubu mechanismu [Zdroj: vlastní].....	63
Obrázek 75: Tvorba dat nástroje [Zdroj: vlastní]	64
Obrázek 76: Nastavení přechodových časů chapače [Zdroj: vlastní]	64
Obrázek 77: Seznam kolizních sad simulace [Zdroj: vlastní]	65
Obrázek 78: Kolize s původními horními kryty [Zdroj: vlastní].....	65
Obrázek 79: Tvorba přívodů pneumatiky [Zdroj: vlastní].....	66
Obrázek 80: Tvorba Smart Komponenty – chapač robota [Zdroj: vlastní]	67
Obrázek 81: Schéma SC – chapač robota [Zdroj: vlastní].....	67
Obrázek 82: Seznam signálu virtuálního řadiče [Zdroj: vlastní]	68
Obrázek 83: Logika stanice – grafické schéma [Zdroj: vlastní]	68
Obrázek 84: Schéma SC – dveře vstupní [Zdroj: vlastní]	69
Obrázek 85: Schéma SC – dopravník NOK [Zdroj: vlastní]	69
Obrázek 86: Seznam pracovních objektů robota 1 [Zdroj: vlastní].....	70
Obrázek 87: Cesty a rutiny robota 1 [Zdroj: vlastní].....	71
Obrázek 88: Stanice se zobrazenými cíli a cestami [Zdroj: vlastní].....	71
Obrázek 89: Ganttův diagram OK manipulace – varianta 1 [Zdroj: vlastní]	73
Obrázek 90: Ganttův diagram OK manipulace – varianta 2 [Zdroj: vlastní]	74
Obrázek 91: Ganttův diagram manipulace NOK ramena z linky předmontáže [Zdroj: vlastní]	75
Obrázek 92: Ganttův diagram manipulace NOK ramena po špatném pálení [Zdroj: vlastní].	75
Obrázek 93: Graf celkových nákladů na manipulaci a značení [Zdroj: vlastní].....	80

12 SEZNAM PŘÍLOH

Model ve formátu STEP

- 170337-00-00-000.stp

Výkresy v PDF a kusovníky v xlsx

- 170337-00-00-000 výkres sestavy + kusovník
- 170337-03-00-000 výkres sestavy + kusovník
- 170337-03-01-000 výkres sestavy + kusovník
- 170337-04-00-000 výkres sestavy + kusovník
- 170337-04-00-001 výrobní výkres
- 170337-04-11-000 výkres sestavy + kusovník
- 170337-04-01-001 výrobní výkres
- 170337-04-01-003 výrobní výkres
- 170337-08-00-000 výkres sestavy + kusovník
- 170337-08-05-002 výrobní výkres

Projekt RobotStudio

- DP_PATEK.rspag

Video simulace

- simulace_ok
- simulace_komplet
- simulace_komplet_bez_krytu

Pneumatické schéma

- 170337-00-00-P01.pdf

Data pro ekonomické zhodnocení v xlsx

- ekonomicke_zhodnoceni.xlsx

Výpočtový protokol SCHUNK

- Schunk_Vypocet_Gripperu.pdf

Formuláře Haberkorn

- pasovy-dopravnik-40_NOK.pdf
- pasovy-dopravnik-40_OK.pdf

PŘÍLOHY