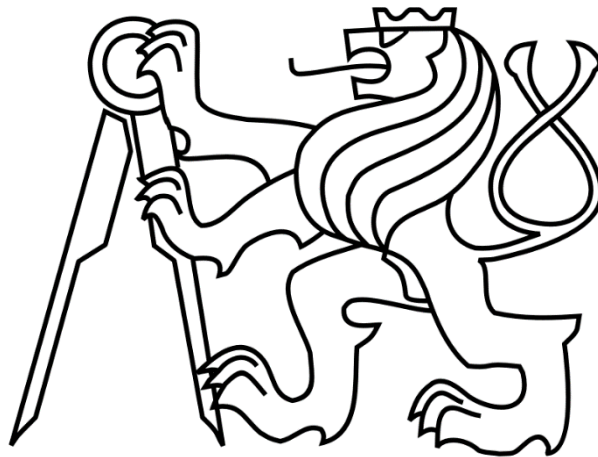


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



# Diplomová práce

**Integrace robotu do pracovního prostoru stroje pro pomocné funkce**

**2018**

**Bc. Alexander Pantelev**

## **Zadání diplomové práce**

Viz DP\_Panteleev\_zadani.pdf

## **Prohlášení**

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

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

V Praze dne 03.01.2018

.....

podpis



## **Poděkování**

Úvodem bych rád poděkoval především svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Jiřímu Švédovi, Ph.D. a konzultantovi Ing. Janu Smolíkovi, Ph.D. za vedení, odborné konzultace a podnětné připomínky při jejím vypracování. Děkuji i zaměstnancům výzkumnému centra RCMT za odborné konzultace a cenné rady.

Chtěl bych také poděkovat svým rodičům a přítelkyni za podporu a trpělivost, se kterou mě podporovali při celém mém studiu.



## Anotace

Jméno autora:	Alexander Panteleev
Název DP:	Integrace robotu do pracovního prostoru stroje pro pomocné funkce
Rozsah práce:	89 stránek, 86 obrázků, 5 tabulek, 4 výkresy
Školní rok vyhotovení:	2017/18
Škola:	ČVUT v Praze, Fakulta strojní
Ústav:	Ú12 135 – Výrobní stroje a zařízení
Vedoucí BP:	Ing. Jiří Švéda, Ph.D.
Konzultant BP:	Ing. Jan Smolík, Ph.D.
Zadavatel	ČVUT v Praze, Fakulta strojní
Klíčová slova:	Laser cladding, soustruh, hybrid manufacturing, průmyslový robot, integrace
Anotace:	Práce se zabývá integrací robotu do pracovního prostoru soustružnického stroje pro umožnění použití technologie Hybrid Manufacturing. Práce obsahuje popis průmyslových robotů a jejich parametrů, různých způsobů použití technologií laserového navařování, návrh řízení a mechanické implementace robotu do pracovního prostoru soustružnického stroje.



## Annotation

Autor:	Alexander Panteleev
Title of diploma thesis:	Industrial robot integration into the machine tool workspace for auxiliary functions
Extent:	89 pages, 86 figures, 5 tables, 4 drawings
Academic year:	2017/18
University:	CTU in Prague, Faculty of Mechanical Engineering
Department:	Ú12135 Department of Production Machines and Equipment
Supervisor:	Ing. Jiří Švéda, Ph.D.
Consultant:	Ing. Jan Smolík, Ph.D.
Submitter of the Theme:	CTU in Prague, Faculty of Mechanical Engineering
Key words:	Laser cladding, turning machine, hybrid manufacturing, industrial robot, integration
Annotation:	The paper contains introduction to industrial robots and various principles of using laser cladding in hybrid machines, design of control and mechanical implementation of the robot into working area of turning machine.

**Přehled použitých veličin a jednotek:**

$l_1$	[mm]	vzdálenost mezi osou navařování laserové hlavy a držákem
$l_2$	[mm]	vzdálenost mezi držákem a zápěstím zvoleného robotu
$L_1$	[mm]	vzdálenost osy navařování od zápěstí zvoleného robotu
$L$	[mm]	vzdálenost osy navařování a základu zvoleného robotu
$M$	[kg]	hmotnost manipulovaných objektů
$m_d$	[kg]	hmotnost držáku
$m_{lh}$	[kg]	hmotnost hlavy pro laserové navařování
$m_{\S}$	[kg]	hmotnost šroubu M5x25 DIN 912
$R$	[mm]	pracovní rozsah zvoleného robotu
$X$	[mm]	velikost odchylky
$\varepsilon$	[mm]	celková deformace desky



## **Přehled použitých zkratek**

CAD	Computer-aided Design
CAI	Computer-aided inspection
CAM	Computer-aided Manufacturing
CCD	Charge-coupled Device
CCU	Cabinet Control Unit
CNC	Computer Numerical Control
HMI	Human Machine Interface
HP	High Protection
I/O	Input/Output
IEC	International Electrotechnical Commission
IFR	International Federation of Robotics
IRT	Isochronous Real Time
IP	International Protection
IPO	Input-Process-Output
ISO	International Standard Organization
LMD	Laser Metal Deposition
NC	Numerical Control
PLC	Programmable Logic Controller
SLM	Selective Laser Melting
SLS	Selective Laser Sintering
SCARA	Selective Compliance Articulated Robot Arm
VNCK	Virtual Numerical Control Kernel



**Obsah:**

<b>1. Úvod .....</b>	<b>- 9 -</b>
<b>2. Cíle práce .....</b>	<b>- 10 -</b>
<b>3. Rešerše .....</b>	<b>- 11 -</b>
3.1 Rešerše v oblasti průmyslových robotů .....	- 11 -
3.1.1 Historie rozvoje.....	- 11 -
3.1.2 Stav trhu.....	- 14 -
3.1.3 Typy robotů.....	- 15 -
3.1.4 Důležité parametry průmyslových robotů .....	- 17 -
3.2 Rešerše možností spolupráce průmyslových robotů a obráběcích strojů ..	- 21 -
3.3 Charakteristika technologie Hybrid Manufacturing .....	- 24 -
3.4 Technologie laserového navařování .....	- 28 -
3.4.1 Typy laseru pro hybridní stroje.....	- 31 -
3.4.2 Laserové procesní hlavy .....	- 32 -
3.5 Rešerše existujících hybridních strojů, využívajících laser pro navařování kovů .....	- 36 -
3.5.1 Mazak INTEGREX i-400AM.....	- 36 -
3.5.2 Hamuel Reichenbacher HSTM 1500.....	- 37 -
3.5.3 WFL - MILLTURN M80 .....	- 37 -
3.5.4 DMG MORI Lasertec 65 3D .....	- 38 -
3.5.5 Sodick OPM 250L .....	- 39 -
3.6 Technické parametry uvedených strojů .....	- 40 -
<b>4. Určení koncepce vhodného robotu z hlediska požadavků a možností integrace do stroje .....</b>	<b>- 41 -</b>
4.1 Zvolený stroj .....	- 41 -
4.2 Specifikace požadavků pro robot.....	- 43 -
4.2.1 Možnost plné integrace řízení do CNC stroje.....	- 43 -
4.2.2 Dostatečná nosnost .....	- 44 -
4.2.3 Dostatečný pracovní rozsah .....	- 44 -
4.2.4 Možnost montáže pod úhlem.....	- 49 -



4.2.5	Vysoký stupeň ochrany proti prachu a vodě.....	- 49 -
4.3	Vytyčení vhodného robotu na základě předchozích požadavků.....	- 50 -
<b>5.</b>	<b>Návrh integrace vybraného robotu do řídicího systému stroje.....</b>	<b>- 51 -</b>
5.1	Popis možných konfigurací propojení .....	- 51 -
5.1.1	Easy Connect - propojení na úrovni I/O příkazů .....	- 51 -
5.1.2	Handling - propojení na úrovni PLC příkazu .....	- 52 -
5.1.3	Machining - propojení na úrovni polohové vazby v řídicím systému ...	- 54 -
5.2	Porovnání uvedených možností integrace řízení robotu KUKA do řídicího systému stroje .....	- 55 -
5.3	Schéma propojení .....	- 56 -
5.4	Odlišnosti v programování.....	- 59 -
5.4.1	Axiální programování .....	- 60 -
5.4.2	Programování v Kartézském souřadnicovém systému .....	- 60 -
5.4.3	Programování v souřadnicovém systému stroje/obrobku.....	- 60 -
5.4.4	Programování sekvence natočení v osách nástroje A, B, C.....	- 60 -
5.4.5	Programování pozice robotu pomocí STAT (State) .....	- 61 -
5.4.6	Programování pohybů.....	- 63 -
5.4.7	Programování směru otáčení v jednotlivých osách robotu.....	- 64 -
5.5	Realizace řízení robotu KUKA pomocí řídicího systému SINUMERIK ..	- 64 -
<b>6.</b>	<b>Návrh mechanické implementace vybraného robotu do stroje.....</b>	<b>- 67 -</b>
6.1	Pracovní polohy robotu.....	- 68 -
6.1.1	Navářovací poloha .....	- 68 -
6.1.2	Parkovací poloha.....	- 69 -
6.2	Kontrola nosnosti zvoleného robotu .....	- 71 -
6.3	Kontrola umístění průmyslového robotu na saně osy Z2 prostřednictvím navržené podložky .....	- 74 -
<b>7.</b>	<b>Zhodnocení technologie hybridní výroby s využitím průmyslového robotu ve stroji .....</b>	<b>- 78 -</b>
<b>8.</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>- 81 -</b>



<b>9. Seznamy .....</b>	<b>- 82 -</b>
9.1 Seznam obrázků.....	- 82 -
9.2 Seznam tabulek .....	- 85 -
9.3 Seznam použitého software .....	- 85 -
9.4 Seznam zdrojů.....	- 85 -
9.5 Seznam příloh .....	- 89 -



## 1. Úvod

Tato diplomová práce se zabývá koncepčním konstrukčním návrhem soustružnického stroje s technologií Hybrid Manufacturing, která spojuje aditivní a subtraktivní metody výroby v jednom stroji.

Zástupcem aditivních technologií jsou navařování buď pomocí laseru, nebo pomocí elektrického oblouku. Přenášení kovů pomocí elektrického oblouku je technologie známá, i když se v hybridních strojích zatím nepoužívala, na rozdíl od navařování pomocí laseru. Navařování pomocí laseru je relativně mladá technologie, která se v současné době rychle rozvíjí hlavně díky možnostem a výhodám, které přináší. Podstata spočívá v tom, že se kovový prášek, drát nebo pasta roztavují pomocí laserového svazku a po následovném ztuhnutí se stanou plnou částí výrobku. Tento princip výroby umožňuje vytvářet složité dílce (jako například dutinové dílce, skořepinové dílce, dílce s vnitřní podpůrnou strukturou), tak i opravovat určitá místa poškozených výrobků a tak dále.

Součástí této práce je rešerše v oblastech průmyslových robotů, technologií laserového navařování, rozbor existujících navařovacích hlav a strojů, návrh řízení vybraného robotu pro laserové navařování kovů v pracovním prostoru stroje, a zpracování vlastního návrhu úpravy konstrukce stroje.



## 2. Cíle práce

Hlavním cílem této diplomové práce je implementace průmyslového robotu do pracovního prostoru stroje Kovosvit MAS SP430 za účelem zajištění hybridní výroby. Různé stupně integrace přináší různé výhody z hlediska použití a ovládání stroje. Primární funkcí, kterou bude možno využívat na rozšířeném stroji, je práce stroje v režimu Hybrid Manufacturing, což znamená provádění klasických subtraktivních operací (jedná se o třískové obrábění) a aditivních operací (jedná se o laserové navařování kovů) na jedno upnutí. Pro splnění výše uvedeného cíle práce je nutno splnit jednotlivé dílčí cíle:

- provést rešerši v následujících oblastech:
  - průmyslové roboty a jejich integrace do CNC strojů,
  - hybridní stroje,
  - laserové navařovací technologie
- určit koncepci vhodného robotu z hlediska požadavků a možností integrace do stroje,
- navrhnout a popsat integraci vybraného robotu do řídicího systému stroje,
- navrhnout mechanickou implementaci vybraného robotu do stroje,
- zhodnotit technologii hybridní výroby s využitím průmyslového robotu ve stroji.

### **3. Rešerše**

Hlavní inovační myšlenkou této práce je umístění průmyslového robotu do pracovního prostoru stroje. V současné době je spolupráce robotu a stroje dostatečně rozšířená, ale ve většině případů se robot nachází mimo pracovní prostor stroje. Roboty, které se integrují ke strojům, plní hlavně jednoduché technologické funkce. Proto je první část rešerše věnována právě průmyslovým robotům a jejich možnosti integrace do CNC strojů.

Další kapitola pojednává o výhodách technologie Hybrid Manufacturing při aplikaci ve výrobě, jako například: výrobky jaké je možné pomocí technologie HM vyrobit, úspora materiálu a možné oblasti použití, které se pro klasickou subtraktivní technologii jeví buď příliš těžké, nebo nemožné.

Další podkapitola se zabývá známými druhy laserových navařovacích technologií s hodnocením pro použití ve výrobních strojích.

Poslední částí rešerše je ukázka některých existujících hybridních strojů.

#### **3.1 Rešerše v oblasti průmyslových robotů.**

Od doby svého vzniku jsou roboty nedílnou součástí průmyslu. V 60. letech 20. století došlo k velkému rozvoji z hlediska konstrukce, přesností a schopností plnit náročnější funkce. Dnes jsou roboty nedílnou součástí velké sériové výroby – a to díky své flexibilitě, výkonnosti a spolehlivosti byla rychlost výroby přenesena na novou úroveň, která by nebyla možná bez robotické automatizace. Trh robotů stále roste, neboť poptávka po robotech mezi velkými výrobci roste téměř v jakémkoliv odvětví průmyslu.

##### **3.1.1 Historie rozvoje**

Podle organizace ISO, pojem průmyslový robot znamená automaticky řízený víceúčelový manipulátor, s možností přeprogramování a s více než 3 osami.

První průmyslový robot, (viz. Obr. 1), odpovídající této definici byl zkonstruován v roce 1959 Georgem Devolem a Josephem Engelbergerem, a byl poháněn hydraulickým pohonem. Jednotlivé pohyby robotu byly naprogramovány jako úhly v jednotlivých kloubech robotu, které se zadávaly metodou teach-in. Programy pro robot byly uloženy na magnetickém bubnu.



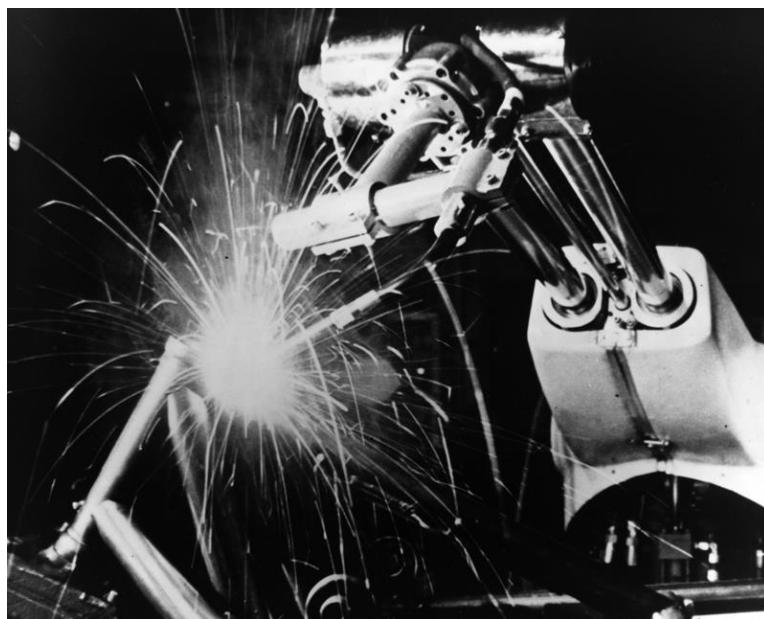
*Obr. 1 První robot, navržený Georgem Devolem a Josephem Engelbergerem [1]*

Dalším významným mezníkem v rozvoji průmyslových robotů byl rok 1973, kdy byl firmou KUKA vyvinut robot FAMULUS (Obr. 2) - první 6-osý robot s elektromechanickým pohaněním všech os.



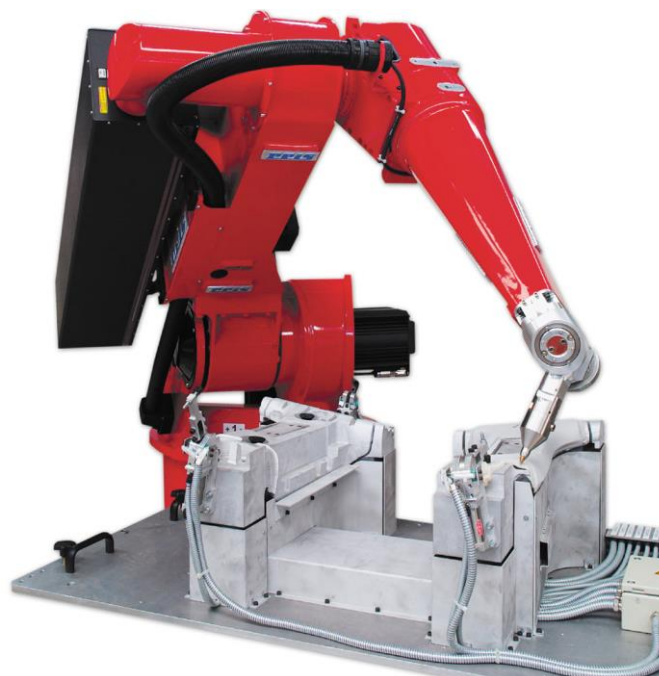
*Obr. 2 KUKA FAMULUS [1]*

V následujícím roce 1974 byl v Japonsku firmou Kawasaki uveden do provozu první svařovací robot (Obr. 3). Tento robot byl původně vyvinut pro výrobu rámu motocyklů. Navíc Kawasaki vyvinula vlastní systém pro detekci dotyku a snímání síly v jejich Hi-T-Hand robotu.



*Obr. 3 První svařovací robot firmy Kawasaki [1]*

V této diplomové práci je také důležité uvést jeden z významných kroků v rozvoji aplikací robotů. V roce 1999 firma Reis Robotics dostala patent na integraci laserového systému do průmyslového robotu (viz Obr. 4). Vedení laserového paprsku pro CO2 typ laserů bylo poprvé integrováno do konstrukce robotu. Toto řešení otevírá novou oblast pro praktické využití.



*Obr. 4 První robot s integrovaným laserovým systémem od Reis Robotics [1]*

V současné době se roboty vyskytují téměř ve všech odvětvích průmyslu. Nejvíce se ovšem používají pro svařování a pomocné manipulace. Co se týče laserových technologií,

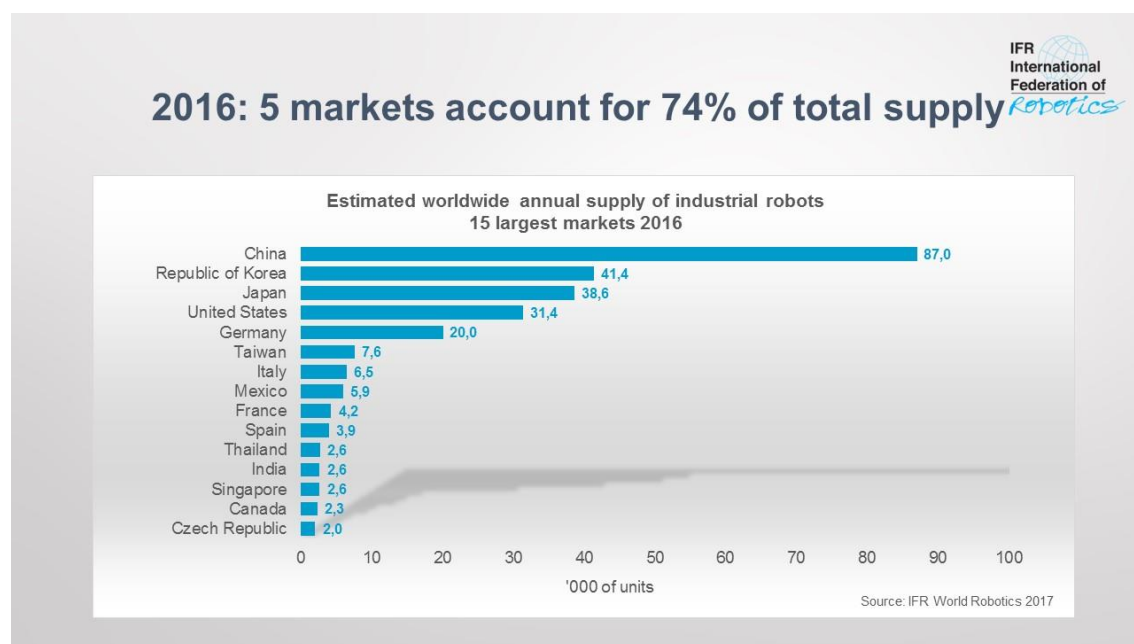


kteře jsou realizované pomocí robotů, hlavní aplikací je laserové řezání a svařování, v poslední době se také aktivně rozšiřuje použití laserového kalení a navařování. [1]

### 3.1.2 Stav trhu

Od doby svého začátku, trh průmyslových robotů se neustále roste. Tomu přispívá úroveň přesnosti, se kterou pracují roboty a jejich možnost připojení k jiným strojům a zařazením pro spolupráci, která přináší velké množství dalších výhod.

Podle dat (viz Obr. 5) od Mezinárodní federace robotiky (IFR), 74 % celkové dodávky robotů představují 5 největších trhů: Čína, Jižní Korea, Japonsko, USA a Německo. Prudký růst Číny v roce 2016 se vyjadřuje zvýšením počtů jednotek o 30 % nebo o 87000 průmyslových robotů, což je o něco menší, než přírůstek počtu robotů v Evropě a Americe, které dohromady mají růst o 97 300 jednotek. Česká republika s navýšením 2 000 jednotek v roce 2016 uzavírá top 15 států s největším růstem počtu průmyslových robotů.

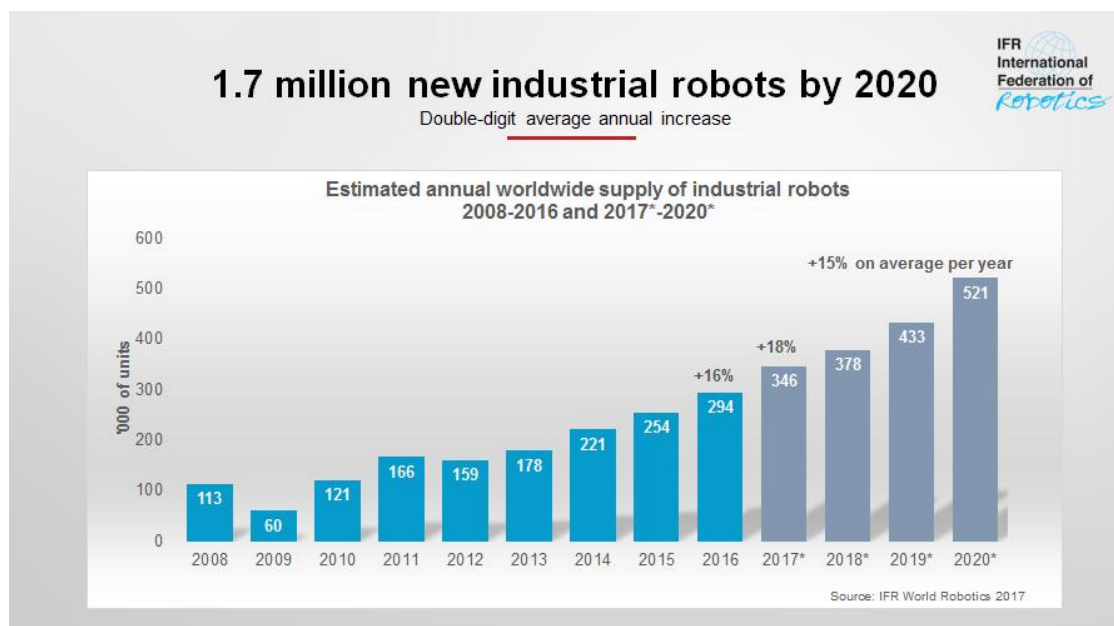


Obr. 5 Přehled 15 největších trhů průmyslových robotů [1]

Samozřejmě, v nejbližší budoucnosti se předpokládá pokračování růstu dodávky robotů. Současný stav je takový, že v roce 2016 celkový počet průmyslových robotů sestavuje zhruba 1 828 000 jednotek a předpoklad pro zvýšení počtů provozních robotů v roce 2017 je následující: v regionu Asie – Austrálie +16 %, v Americe +9 %, v Evropě jen +7 %.

Co se týče předpokladu na delší dobu, v roce 2020 se očekává 3 053 000 robotů uvedených do provozu. Tato předpověď od Mezinárodní Federace Robotiky (viz Obr. 6), je založena na předpokladu, že střední roční růst mezi roky 2018 a 2020 bude

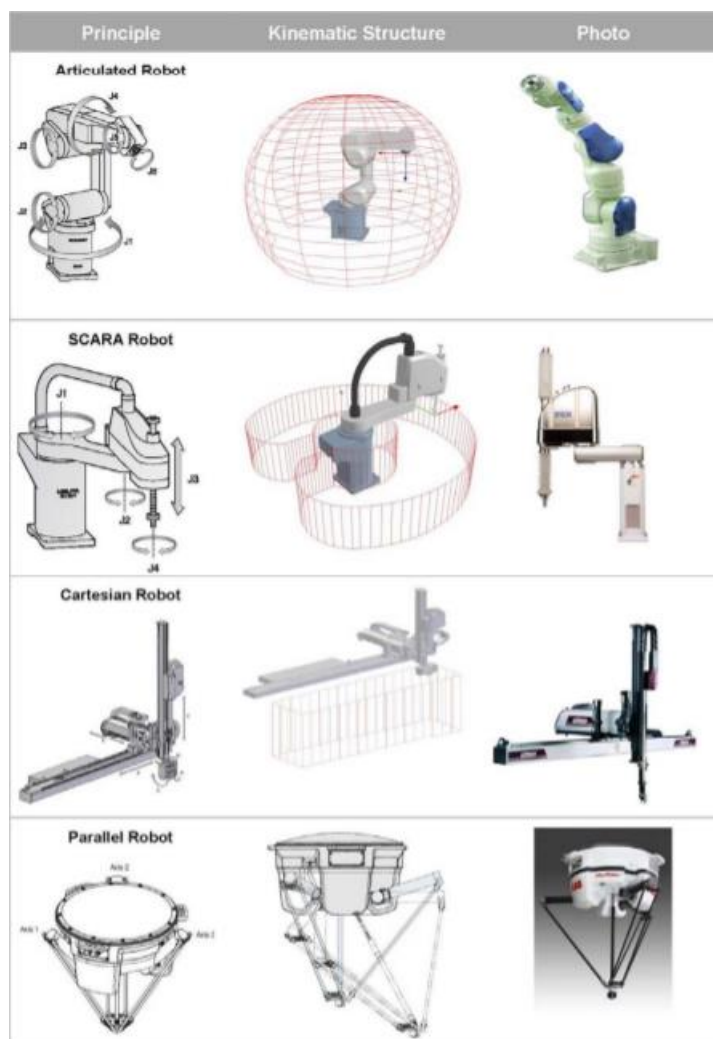
představovat 14 %. Na Asijském trhu podle této předpovědi budou v provozu zhruba 1 900 000 milionu robotů, což se přibližně rovná celkovému počtu robotů na konci roku 2016.[1]



Obr. 6 Předpověď poptavky robotů v rocích 2017-2020 [1]

### 3.1.3 Typy robotů

V následující kapitole je představeno základní rozdělení typů robotů podle jejich kinematické struktury, která přináší různé vlastnosti. Z typů robotů, které jsou uvedené na následujícím Obr. 7, jsou v současné době nejvíce užívané kloubové roboty a roboty s paralelní strukturou.



Obr. 7 Nejčastější typy robotů [1]

**Articulated robot** – robot se sériovou kinematickou strukturou (open-loop chain), který má 3 nebo více rotačních os.

**SCARA robot** – robot, který má dvě paralelní rotační osy pro zajištění pohybu v rovině.

**Cartesian robot** – robot, který má tři prismatické klouby s osy, jež jsou paralelní s osami kartézského souřadného systému.

**Parallel robot** – robot, který má paralelní kinematickou strukturu (closed-loop chain) a má několik (zpravidla tři) paralelní ramena s prismatickými nebo rotačními osy[1].

### 3.1.4 Důležité parametry průmyslových robotů

Obecně existuje více parametrů, podle kterých se provádí volba vhodného průmyslového robotu. S rozšířeným seznamem parametrů průmyslových robotů je možné se seznámit podrobněji v [3]. V této diplomové práci jsou uvedené jako nejdůležitější parametry tyto:

- aplikace robotu,
- nosnost,
- počet os,
- rychlost jednotlivých os,
- pracovní rozsah,
- opakovatelnost a přesnost,
- stupeň ochrany.

#### Aplikace robotu

Každý robot je určen pro určitý typ aplikace se svými specifickými požadavky. Průmyslové roboty mají široký rozsah využití a mají zastoupení téměř ve všech odvětvích průmyslu. V rámci spolupráce s obráběcími stroji se většinou používají k manipulačním účelům [4]. Na Obr. 8 je znázorněn robot firmy ABB, který plní manipulační funkce pro CNC stroj.



*Obr. 8 Spolupráce robotu ABB a soustruhu [4]*

#### Nosnost

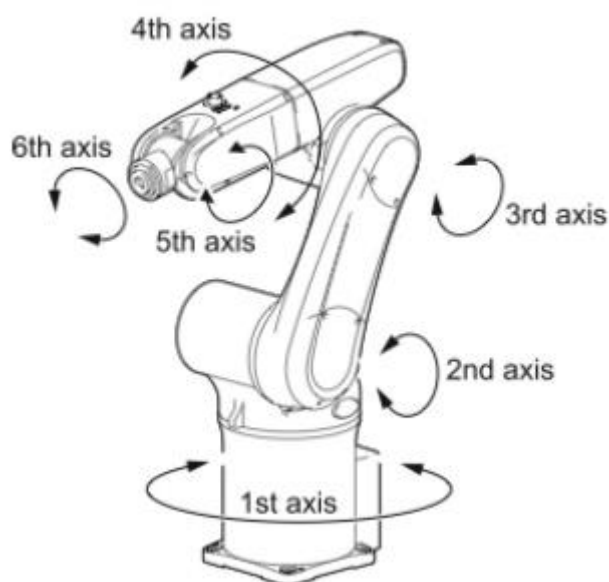
Obecně nosnost udává maximální hmotnost na zápěstí, se kterou může robot operovat ve svém pracovním prostoru. Většinou se tento parametr udává v kilogramech [kg] a obvykle je daný výrobcem příslušného robotu. Tato hodnota by neměla být překročena,

neboť může dojít k chybám pohybu anebo zastavení celého robotu. Proto je důležité ve výpočtech zahrnout všechny jednotlivé prvky, které jsou spojené se zápěstím robotu (držák koncového efektoru, koncový efektor atd.), a také použít bezpečnostní koeficient pro práci s rezervou[5].

### Počet os

Tento parametr je přímo spojen se stupni volnosti. Obvykle tento parametr závisí na aplikaci robotu. Před volbou robotu je potřeba stanovit, jaký počet os bude vhodný pro splnění všech požadovaných pohybů.

Většinou se názvy os nebo kloubů u robotů označují v následujícím pořadí: první kloub (J1) je nejbližší k základu robotu. Následující klouby se nazývají J2, J3 a tak dále do zápěstí, které bude posledním kloubem [4]. Obvykle označení os robotu je zobrazeno na Obr. 9.



Obr. 9 Obvyklé označení os robotu [5]

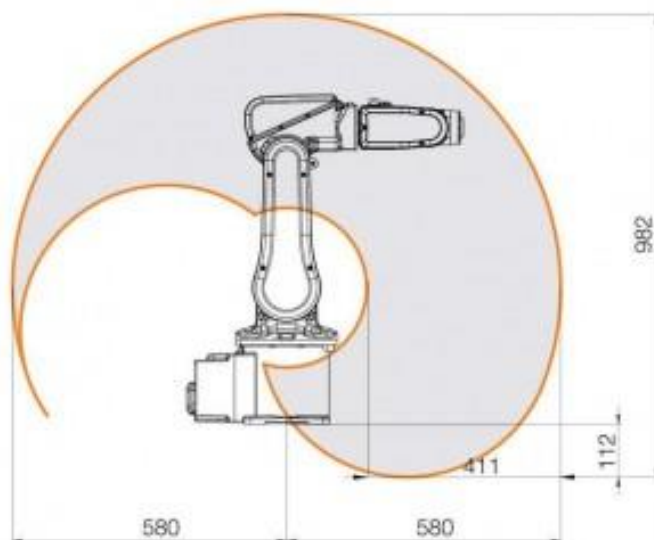
### Rychlost jednotlivých os

Tento parametr se u současných průmyslových robotů se obvykle udává ve stupních za sekundu [ $^{\circ}/s$ ], což odpovídá maximální rychlosti otáčení v jednotlivé ose. Toto je katalogový údaj, avšak často se roboty pohybují v krátkých úsecích a nedosahují maximální rychlosti. V takových případech jsou důležitější spíše hodnoty zrychlení v jednotlivých osách robotu [5].

## Pracovní rozsah

Tento parametr obvykle znamená maximální vzdálenost, kterou robot může dosáhnout svým zápěstím. Při použití efektoru se velikost pracovního rozsahu může měnit zvětšuje.

Maximální dosah ve svislém směru se měří od nejnižšího bodu, který často bývá níž než základ robotu, po nejvyšší bod, kterého je schopen dosáhnout robot svým zápěstím. Maximální dosah v horizontálním směru se udává jako vzdálenost od osy prvního kloubu J1 do nejvzdálenějšího bodu ve svislém směru.[5] Ukázka pracovního rozsahu je znázorněna na Obr. 10.

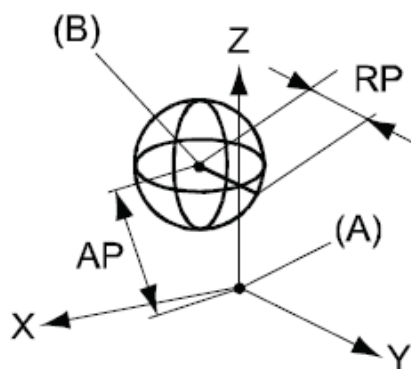


Obr. 10 Ukázka pracovního rozsahu robotu [5]

Pracovní rozsah jednotlivých pohybových os se uvádí ve stupních. Tento parametr se výrazně liší u různých robotů a je většinou limitován podle určitých aplikací.

## Opakovatelnost a přesnost

Tyto pojmy jsou u robotů těsně spojeny. Přesnost může být definována jako vzdálenost skutečného bodu od programovaného bodu kdekoliv v pracovním prostoru robotu. Opakovatelnost znamená tolerance pozice konkrétního bodu při opakovaném najetí. U kvalitních moderních robotů opakovatelnost obvykle dosahuje setin milimetrů, přesnost desetin milimetru. Podle aplikace je potřeba rozhodnout, zda je to klíčový parametr [6]. Na Obr. 11 graficky představen rozdíl mezi robotickou přesností a opakovatelností.



Obr. 11 Opakovatelnost a přesnost. (A) je programovaná poloha koncového bodů, (B) je skutečná poloha koncového bodu, AP je přesnost, RP je opakovatelnost [6]

### Stupeň ochrany.

V závislosti na okolních podmínkách, ve kterých bude robot plnit své funkce, je potřeba zvolit model robotu, který by měl určitý stupeň ochrany proti škodlivým vlivům okolí. Pro označení stupně ochrany se používá IP kód. IP kód byl definován v normě IEC 60529 a skládá se ze znaků „IP“ a následujících dvou čísel. První číslo znamená stupeň ochrany před vniknutím tvrdých těles, druhé číslo znamená stupeň krytí před vniknutím kapalin [7].



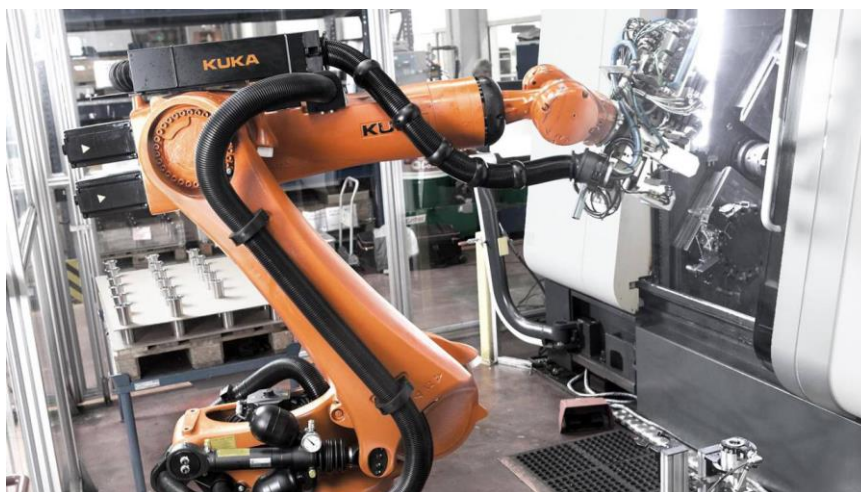
Obr. 12 Voděodolný robot KR AGILUS se stupněm krytí IP67 [8]

## 3.2 Rešerše možností spolupráce průmyslových robotů a obráběcích strojů

Většinou se jedná o pomocné technologické funkce. Nejčastějším případem spolupráce robotu a stroje je vložení a vyndávání obrobků. Bez využití průmyslových robotů tato varianta spolupráce bývá realizována buď manuálně, nebo pomocí manipulačního zařízení. Použití robotů jako automatizačních prostředků výrazně zvýšilo efektivitu použití stroje a tím i produktivitu celého procesu. Kromě níže uvedených začínají přibývat další funkce, které mohou plnit roboty spolupracující se stroji. Dále v této kapitole budou uvedené nejčastěji používané způsoby realizace spolupráce robotu a obráběcího stroje.

### Manipulace s obrobky (Handling workpieces)

Roboty vkládají obrobek do obráběcího stroje a po skončení obrábění vyndávají hotový obrobek. Manipulace s obrobky je nejrozšířenější a nejjednodušší formou spolupráce průmyslových robotů a CNC strojů. V podstatě tím je nahrazena fyzická práce člověka. Jedná se nejen o rychlost a preciznost založení obrobku, ale i o možnost práce bez směn a bez přestávek, což ve výsledku výrazně zvyšuje produktivitu stroje [8]. Ukázka takové spolupráce je znázorněna na Obr. 13.



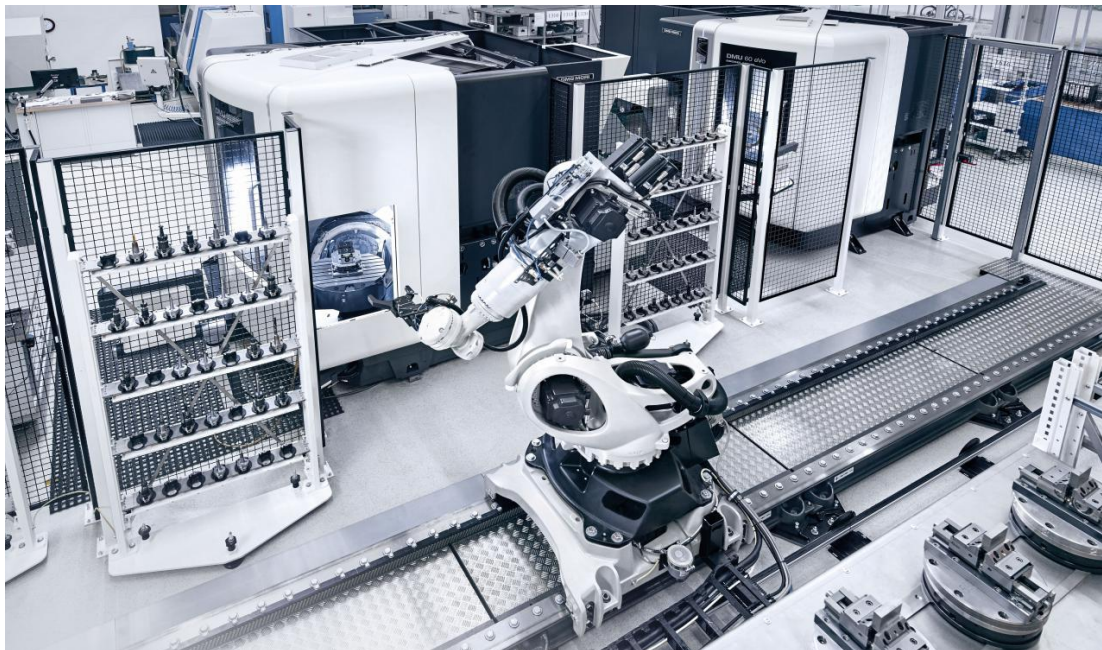
Obr. 13 Robot KUKA KR QUANTEC manipuluje s obrobky [9]

### Manipulace s nástroji (Handling tools)

Podobně jako s obrobky, průmyslové roboty lze použít k výměně nástrojů přímo na stroji (ukázka je na Obr. 14). Počet dostupných pozic pro výměnu nástrojů je omezen pouze dosahem robotu. Pro zvýšení dosahu robotu mohou být použity speciální lineární



jednotky, které jsou obvykle v portfoliu výrobce robotu. Jeden robot může obsluhovat i více obráběcích strojů [8].



*Obr. 14 Robot KUKA se používá ke výměně nástrojů ve strojích DMG[10] [10]*

### **Manipulace s paletami s obrobky (Pallet Handling)**

Roboty mohou být používány nejen pro manipulaci s obrobky, ale i s celými paletami, což ve výsledku značně zrychluje výrobu. Příklad práce průmyslového robotu, který manipuluje s palety stroje je zobrazen na Obr. 15.



*Obr. 15 Robot KUKA KR QUANTEC, manipulující s paletami[8]*

### **Spojování strojů (Linking Machines):**

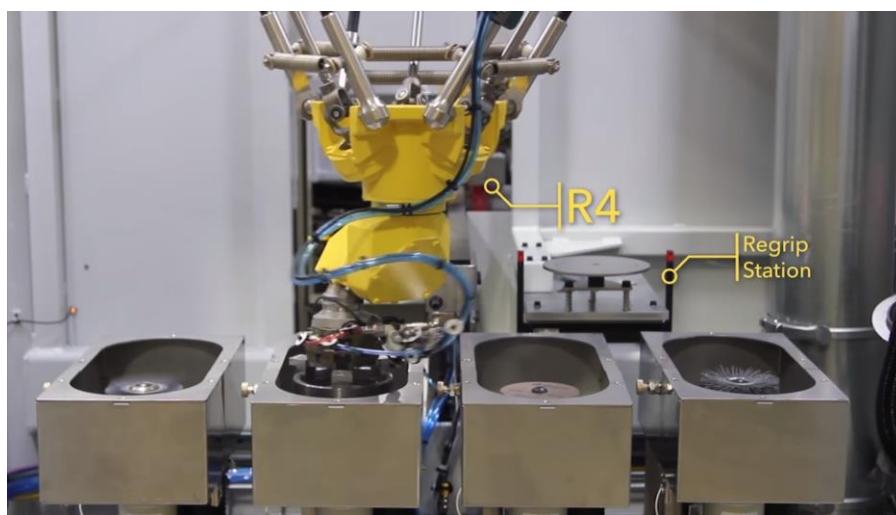
Roboty mohou být použity k propojení několika pracovních kroků. Buď pro vkládání obrobků do několika strojů z jednoho zdroje, nebo pro vkládání obrobků na stroj z různých zdrojů. Mezi vložením obrobku z jednoho stroje do dalšího může být mezioperační kontrola. Před vložením obrobku do obráběcího stroje robot může umístit obrobek do příslušného měřicího zařízení, z kterého pak dostane informace, zda může robot pokračovat v manipulaci s obrobkem, nebo jej má odstranit. Tento mezikrok zvyšuje konečnou kvalitu výroby [8]. Na Obr. 16 je znázorněna ukázka, jak jednotlivé stroje jsou spojené pomocí průmyslových robotů.



*Obr. 16 Ukázka spojení strojů pomocí robotů [11]*

#### **Obrábění (Robot machining):**

Roboty mohou provádět jednoduché kroky pro zpracování obrobku v obráběcím stroji a tím zvyšovat jeho produktivitu. Kromě toho, díky robotu může být operátor zbaven některých nezbytných kroků při obrábění, jako je například kartáčování nebo odstraňování otřepu (Obr. 17), a následně se může operátor zaměřit na náročnější úkoly.



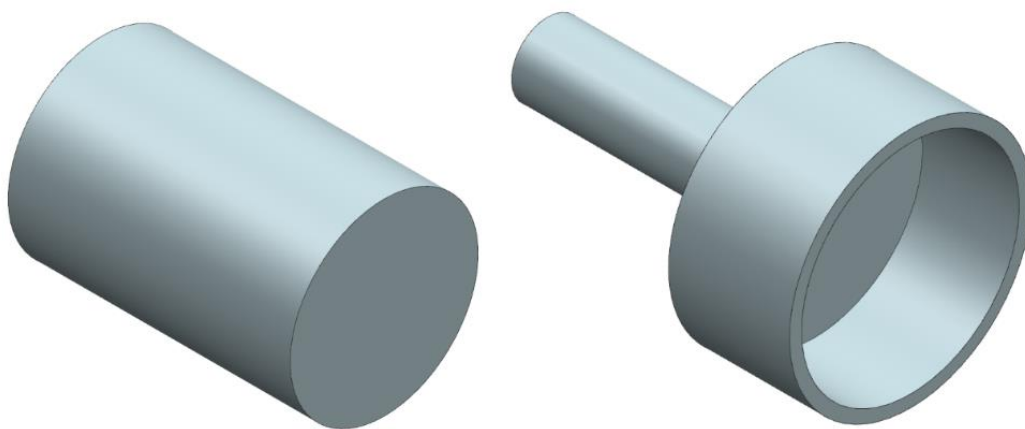
*Obr. 17 Ukázka práce robotu odstraňujícího otřepy [12]*

### 3.3 Charakteristika technologie Hybrid Manufacturing

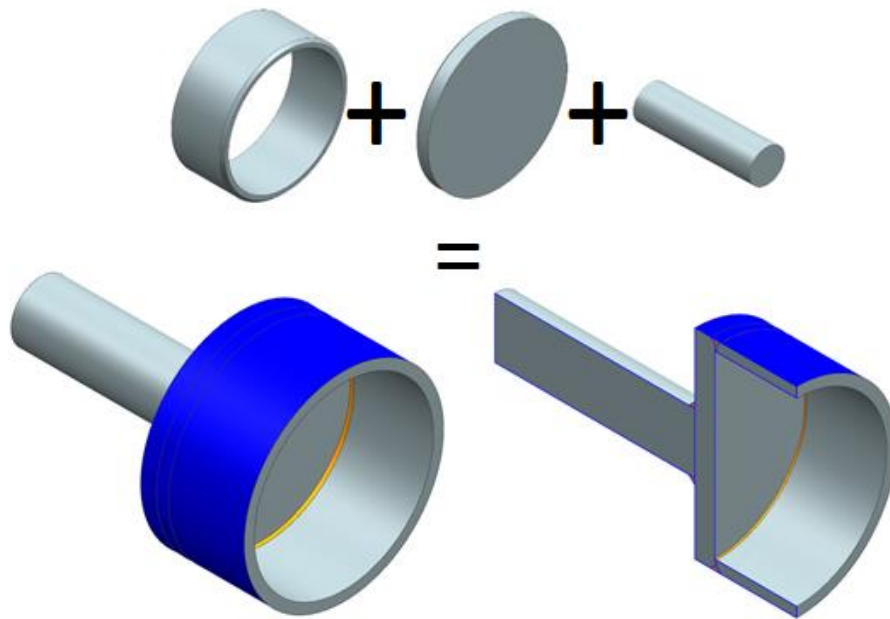
Spolehlivá a ekonomická výroba kovových dílů s komplikovanou geometrií má značný význam pro různé odvětví průmyslu jako je letecký, lékařský, automobilový, a tak dále. Proto jedním z hlavních směrů výzkumu v obráběcích strojích je integrace aditivních technologií do multifunkčních strojů, což by mělo mít za následek zkracování výrobních časů, výrobních nákladů a požadavků na pracovní sílu. Provádění aditivních a subtraktivních operací v jednom pracovním prostoru přináší různé výhody: jako je například výrazná úspora materiálu při vytváření některých dílců, vytváření funkčních povrchů z materiálů, odlišných od materiálu dílce a oprava tvarově složitých dílců.

#### • Výrazná úspora materiálu při vytváření některých dílců

Při použití klasické subtraktivní technologie (třískové obrábění) u některých tenkostěnných dílců množství odebraného materiálu může dosahovat i více než 90 % (jeden z možných typů výrobků je na Obr. 18). Technologie Hybrid Manufacturing umožňuje ušetřit „zbytečné“ množství odebraného materiálu díky spojování dílčích částí budoucího dílu pomocí svařování a následujícím obráběním funkčních ploch (viz Obr. 19).



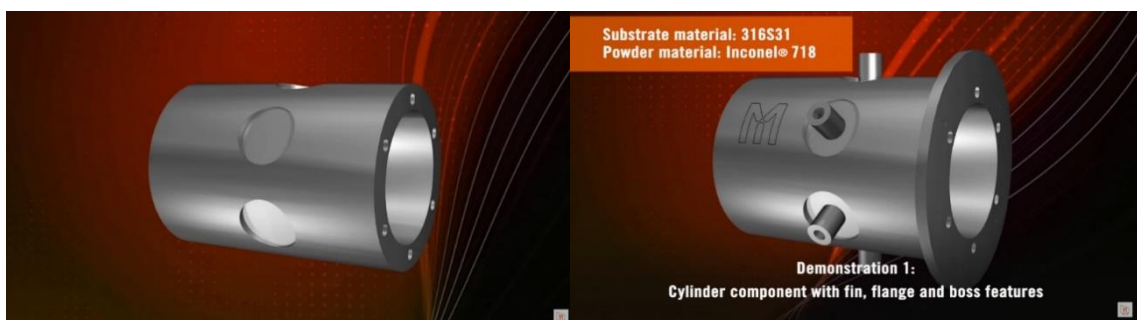
Obr. 18 Výroba dílce odebráním materiálu [13]



Obr. 19 Výroba stejného dílce technologií Hybrid Manufacturing (oranžově jsou označené místa svarů, modře jsou označené obrobené funkční plochy) [13]

#### • Vytváření funkčních povrchů z materiálů, odlišných od materiálu dílce

Jiný nanesený materiál než základní materiál dílce, může mít korozivzdorné nebo otěruvzdorné vlastnosti. To má velkou výhodu v případech, kde není potřeba mít celý dílec z korozivzdorného či otěruvzdorného materiálu, který se řadí mezi těžkoobrobitelné materiály, jako je například Inconel. U těchto dílců je možné vytvořit jen některé funkční části ze zmiňovaného materiálu. Vytváření takových částí umožňuje zkrácení celkového času výroby oproti výrobě klasickou subtraktivní metodou (pro ukázkou viz Obr. 20)

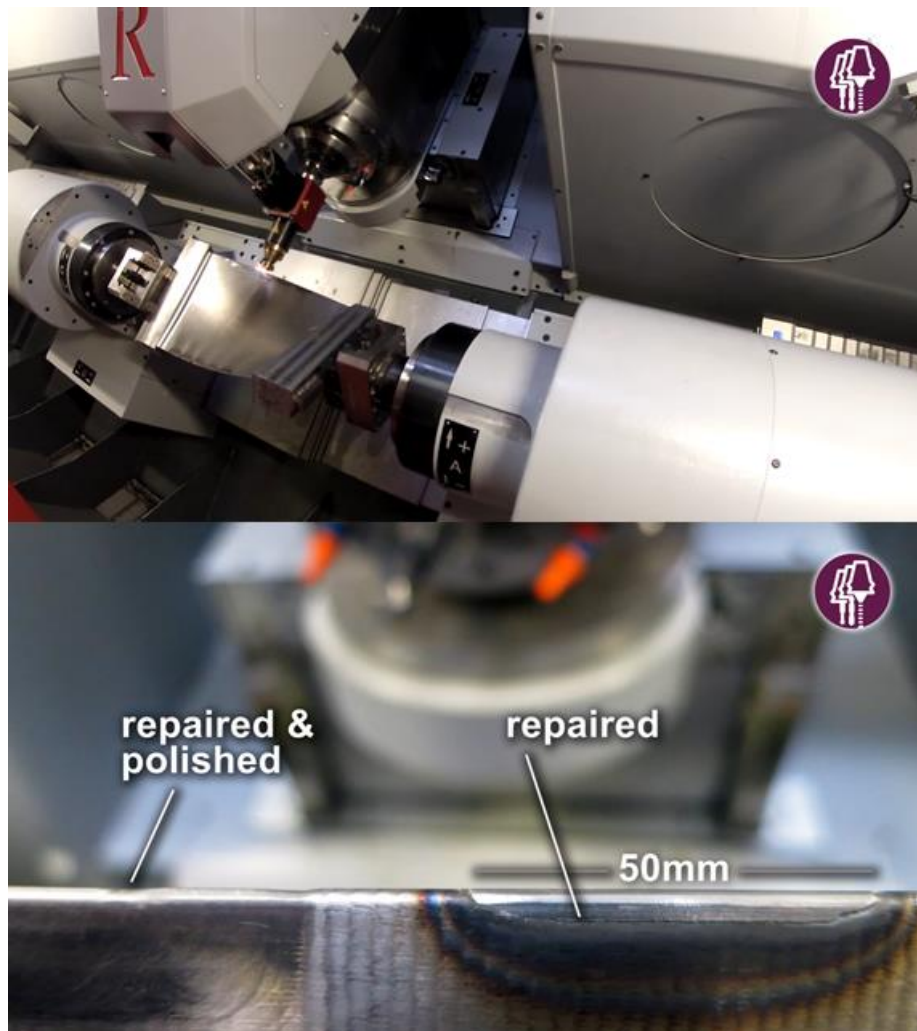


Obr. 20 Vytváření funkčních povrchů z materiálů, odlišných od materiálu dílce [24]

#### • Oprava tvarově složitých dílců

Navařování (nejenom metoda laserového navařování, ale i například navařování pomocí elektrického oblouku atd.) přináší velké výhody do realizace oprav tvarově složitých dílců, jako jsou např. lopatky turbín. Teplotně ovlivněná zóna je menší ve srovnání s jinými metodami založenými na principu svařování, které se používaly u klasických

metod oprav součástí. Tím pádem jsou deformace a pnutí v dílci sníženy. Díky následujícímu obrábění na konečný rozměr v jednom pracovním prostoru na jedno upnutí se zvyšuje přesnost procesu a výrazně se zkracuje celkový čas opravy. Ukázka procesu opravy turbinové lopatky spolu s výsledkem procesu jsou patrné na Obr. 21.



*Obr. 21 Ukázka procesu opravy turbinové lopatky a výsledek procesu [25]*

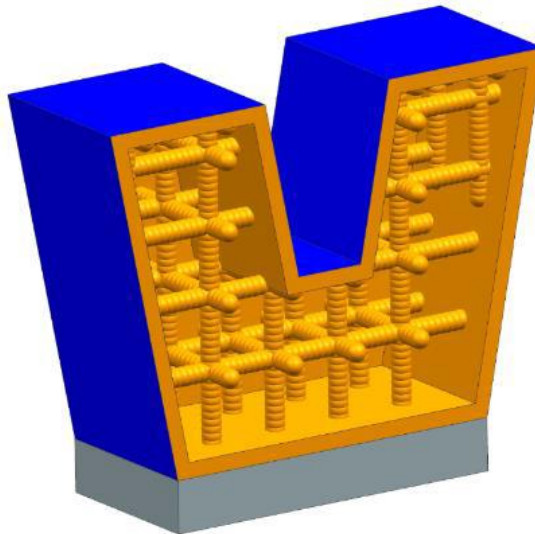
#### • Výroba složitých, jinak těžko vyrobitelných dílců

Například se může jednat o výrobu forem pro vstřikování plastu s vnitřními kanály (příklad je uveden na Obr. 22). Takové formy se lépe chladí, snižují dobu pracovního cyklu a mají větší produktivitu, a proto výrobu tvarově složitých dílců mnozí výrobci hybridních strojů uvádí ve svých katalozích jako možný příklad aplikace. Výroba jinými způsoby se v tomto případě jeví jako velmi obtížná, až nereálná. [13].



*Obr. 22 Příklad dílce s vnitřními kanály [13]*

Dalším příkladem jinak nevyrobitelných dílců mohou být dílce s vnitřní podpůrnou strukturou (Obr. 23). Vnitřní podpůrná struktura umožňuje výrazně snížit hmotnost dílce. Příkladem výrobku s takovou vnitřní strukturou může být ukázka na následujícím obrázku, kde šedou barvou je označen základní materiál, žlutou barvou je označen přidaný navařený materiál, modrou barvou jsou pak označeny obrobeneé plochy.[13]



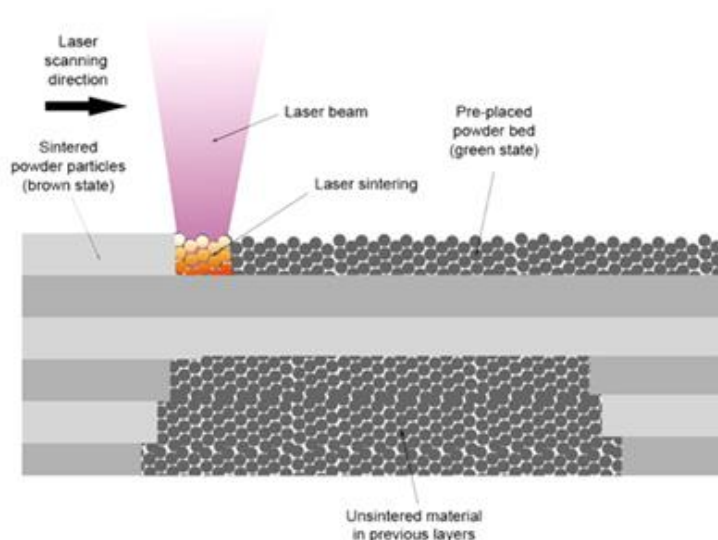
*Obr. 23 Příklad dílce s vnitřními podpůrnou strukturou [13]*

### 3.4 Technologie laserového navařování

Laserové technologie jsou známé už od šedesátých let minulého století a od té doby jsou ve stálém rozvoji. V současné době se laserová zařízení používají pro velký rozsah aplikací, jako kalení, řezání, svařování a samozřejmě k laserovému navařování, které se vztahuje ke kategorii 3D tisku z kovu. Přídavný materiál pro laserové navařování může být ve formě drátu, pasty nebo prášku, který je nejrozšířenější formou materiálu pro tuto technologii. Podstata této technologie spočívá v tom, že přídavný materiál je taven laserovým paprskem společně s podkladovým materiálem, v důsledku čehož tohoto procesu vzniká pevná metalurgická vazba. V současné době nejsou standardizované názvy technologií laserového navařování, proto ve světě existuje více různých názvů pro stejné technologie (např. jeden z jiných názvů technologie Laser Metal Deposition je Powder Injection Cladding), Mezi další nejčastěji používané[14] názvy patří:

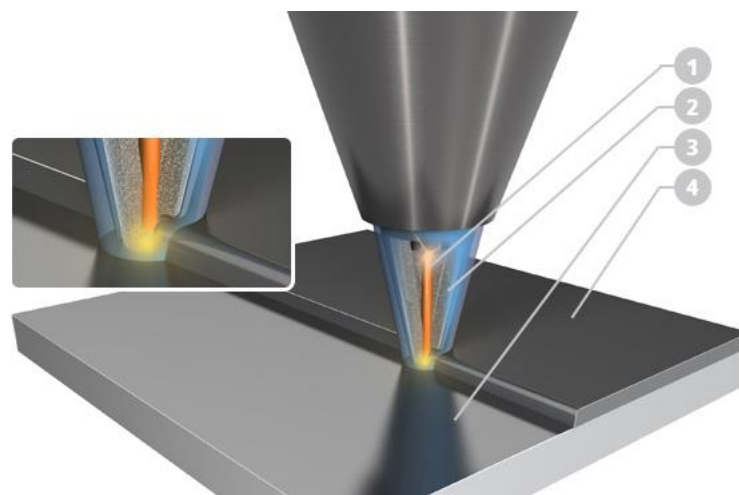
- 1) Selective Laser Melting (SLM)
- 2) Laser Metal Deposition (LMD)
- 3) Laser Wire Cladding
- 4) Paste Cladding

Metoda SLM nebo SLS (Obr. 24) spočívá v nanášení tenké vrstvy kovového prášku na podkladový materiál, který je dále spékán neboli sintrován laserovým paprskem v požadovaných místech. Prášek se nanáší pomocí speciálního zařízení, tloušťka nanášené vrstvy se mění dle materiálu a geometrie výrobku, ale nejčastěji se používá tloušťka 50  $\mu\text{m}$ . Jednou z výhod této metody je využití nespečeného prášku jako podpůrného materiálu pro navařování následujících vrstev. Takový podpůrný materiál umožňuje vytváření struktury s větším sklonem stěn. Po ukončení navařování je zbývající prášek odstraněn. Tato metoda se používá většinou u 3D kovových tiskáren bez následujícího obrábění ve stejném pracovním prostoru [13].



*Obr. 24 Metoda SLM [15]*

Metoda LMD (Obr. 25) je v poslední době nejvíce využívaná metoda laserového navařování, zejména u hybridních strojů. Podstata této metody spočívá v nanášení přídavného materiálu ve formě prášku do místa zaostření laserového paprsku, ve kterém je spékán. Důsledkem pohybu laserové hlavy vůči výrobku nebo naopak pohybem výrobku vůči laserové hlavě vzniká návar, která má požadovaný tvar a rozměry. Právě tato metoda se většinou využívá u strojů s technologií Hybrid Manufacturing. Existuje velké množství různých kovových prášků pro tuto technologii, například nerezové, nástrojové, a jiné druhy ocelí, hliníkové slitiny, Inconel, měď atd.[14]

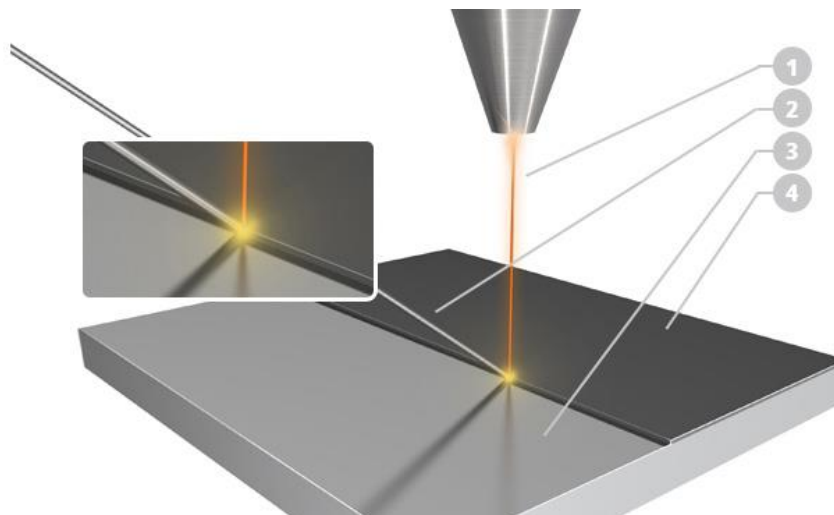


*Obr. 25 Metoda LMD (1-laserový paprsek, 2-nanšený prášek v ochranné atmosféře, 3-podkladový materiál, 4-nanesený materiál) [16]*

Metoda Laser Wire Cladding (Obr. 26) v podstatě využívá stejný princip jako předchozí uvedená metoda, ale jako přídavný materiál se používá speciální drát pro laserové

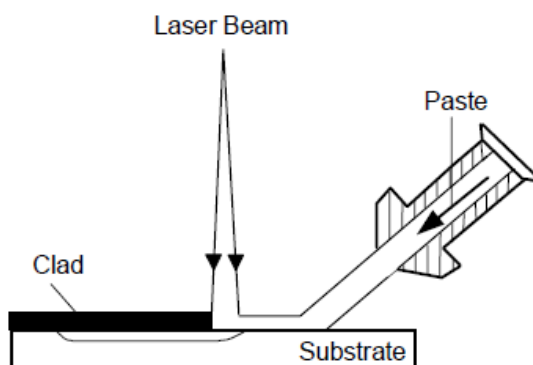


navařování. Výhodou této metody oproti metodě LMD je maximální využití materiálu, protože navařování prášku předpokládá materiálové ztráty. Díky možnosti navařovat v určitém rozsahu úhlů beze ztrát kvality je možné např. navařování kovů na vnitřní stěně trubky. Hlavním problémem této metody je nekontinuální proudění kovu na konci drátu do místa návaru, ale tento problém se dá vyřešit pomocí vhodné volby procesních parametrů.[14]



Obr. 26 Metoda wire feeding cladding [17] (1 paprsek, drát, podkladový material, nanesená vrstva)

Poslední z uvedených metod Paste Laser Cladding (Obr. 27) využívá jako přídavný materiál pastu, která se skládá ze směsi kovového prášku a vhodného pojiva. Pojivo se během navařování musí odpařit a během odpařování vzniká ochranná atmosféra. Hlavní nevýhodou této metody je problematické udržení množství pasty dodávané do místa navařování. Větší porezita výsledného návaru a citlivost na stabilitu procesních parametrů zmenšují šance dalšího rozvoje této metody. [13]



Obr. 27 Metoda paste laser cladding [18]

Pro účely této práce budou dále uvedené systémy pro laserové navařování metody LMD a laser wire cladding. Metoda SLM je uvažovaná jako nevhodná pro zabudování do

soustružnického stroje, protože její uplatnění a nanášení tenkých vrstev nespečeného prášku se jeví jako obtížné a nevýhodné z hlediska spotřeby prášku.

### 3.4.1 Typy laseru pro hybridní stroje

Pro aplikaci laser cladding jsou vhodné laserové zdroje na principu diodovém, vláknovém nebo pevno-látkovém, málokdy se vyskytuje použití CO<sub>2</sub> laserového zdroje. Při volbě laserového zdroje je nezbytné, aby splňoval požadované parametry pro danou aplikaci. Dále je nezbytné, aby byl zdroj kompatibilní s navrženou procesní hlavou. O kompatibilitě rozhoduje především druh laseru nebo také zda je podporován konektor optického vlákna procesní hlavou. Kromě typu laseru je zdroj definován dodávaným výkonem paprsku, vlnovou délkou paprsku, charakterem laserového paprsku, to znamená, zda je kontinuální nebo pulzní, případně dalšími parametry [18]. Dále uvedené laserové zdroje jsou svými parametry vhodné k použití pro laserové navařování.

Níže je uvedena tabulka (Tab. 1) s některými parametry pro nejvíce používané typy laserů ve výrobních strojích. Uvedené aplikace pro použití uvedených typů laserů nejsou zcela kompletní [19].

Typ	Vlnová délka	Výkon v kontinuálním režimu	Výkon v pulzním režimu	Další možné aplikace
Diodový laser	Od infračerveného do viditelného pásma	až 250 W	2,5 kW	Zdroj lampového buzení
Vláknový laser (Yb:glass)	1,03-1,06 μm	1 W–10 kW	až 1 GW	Metrologie, medicína
Diskový laser (Yb:YAG)	1,03 μm	50 W–16 kW	Až 100 GW	Metrologie, medicína
CO <sub>2</sub> laser	10,6 μm	1 W–40 kW	100 MW	Medicína

Tab. 1 Parametry vybraných typů laserů [19]

### 3.4.2 Laserové procesní hlavy

#### Precitec YC 52

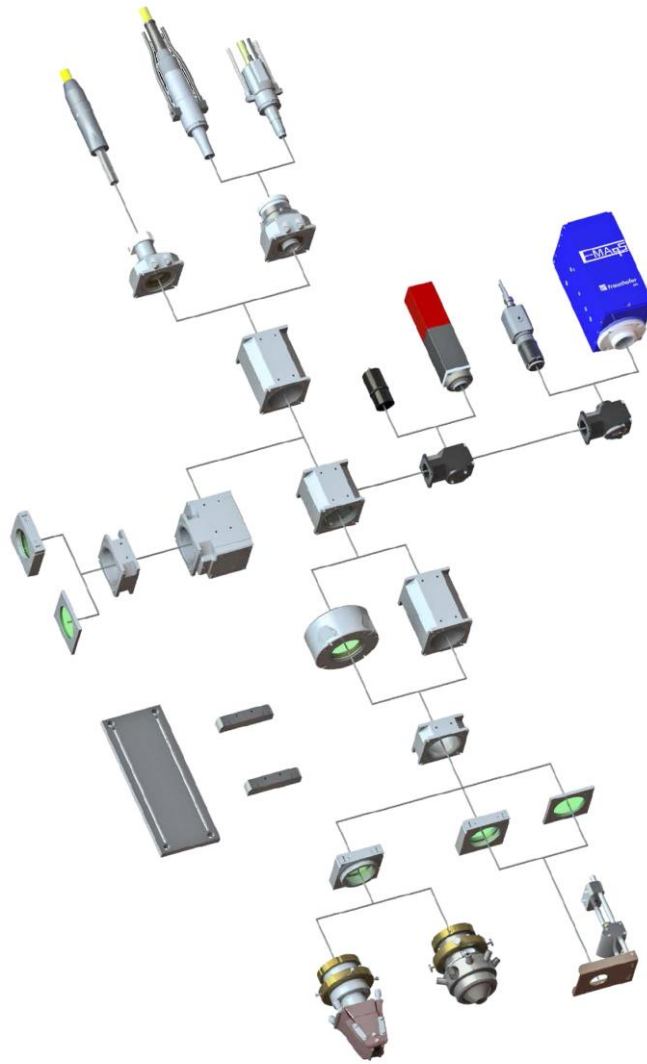
Firma Precitec je výrobcem komponent pro aplikace využívající laserové technologie. Nabízené navařovací hlavy se vyznačují modulární stavbou, tím pádem umožňují nakonfigurovat procesní hlavy pro konkrétní použití, například lze vybrat ze dvou variant přívodu prášku: buď koaxiálně nebo pod úhlem 90°. Daná laserová hlava navařuje metodou LMD [14]. Ukázka hlavy YC 52 je na Obr. 28.



*Obr. 28 Varianty konfigurace laserové hlavy Precitec YC52 [19]*

#### OTS Laserline

Společnost Laserline, podobně jako Precitec má zavedený modulární systém tvorby procesních hlav pro laserové technologie. Schéma modulární tvorby hlav pro laserové navařování řady OTS je zobrazeno na Obr. 29. Devízou je možnost kontroly procesu přes vložený pyrometr, CCD kameru nebo kameru snímající teplotní oblast návaru. V průběhu navařování lze snímat informace o teplotě a na základě toho přizpůsobit výkon přiváděného laserového paprsku, což vede ke stabilnějšímu průběhu návaru. Stejně jako Precitec nabízí i společnost Laserline různé typy trysek pro přívod prášku. Kromě toho je možné místo trysky pro prášek zvolit modul pro přívod drátu z boku. Hlavy pro laserové navařování spadají do série OTS.



*Obr. 29 Modulární design procesních hlav OTS – Laserline [20]*

### **Coherent HighLight D-Series**

Společnost Coherent zabývající se laserovými technologiemi prezentuje laserové procesní hlavy HighLight D-Series (Obr. 30) určené pro výkony laseru 4, 8 a 10 kW. Hlavy jsou určeny jak pro laserové kalení, tak pro aditivní technologie, tedy navařování a svařování. Hlava je tvořena boxem obsahující optické prvky a tryskou. Lze volit z velkého množství trysek jak pro technologii laser cladding, tak pro další laserové technologie. Výhodou procesních hlav Coherent je jejich robustní provedení, zaručující dostatečnou tuhost a pevnost. Toto je vyváжено poněkud větší hmotností, která činí přibližně 23 kg a je značně větší než hmotnosti hlav jiných výrobců.[13]



*Obr. 30 Coherent HighLight D-Series [21]*

### **Fraunhofer COAXwire**

Jedinou komerčně nabízenou navařovací hlavou s koaxiálním přívodem drátu jako přídavného materiálu představuje výzkumný institut Fraunhofer IWS s označením COAXwire (Obr. 31). Pro navařování lze použít všechny kovové komerčně vyráběné dráty pro svařování a pájení o průměru  $0,4 \div 1,6$  mm. Deklarováno je stoprocentní využití materiálu. Rychlost tvorby struktury je v rozsahu  $100 \div 250$  cm<sup>3</sup>/hod v závislosti na materiálu drátu a geometrii tvořené součásti. Maximální přípustný výkon zdroje jsou 4 kW laserového výkonu, i když proběhly úspěšné testování navařování s výkonem 6 kW. Přiváděný laserový paprsek je speciálním optickým elementem rozdělen na tři samostatné paprsky po 120° okolo osy přívodu drátu, posléze jsou všechny tři paprsky zaostřeny do fokusačního bodu, kde dochází k tavení drátu a částečné i podkladového materiálu. [14]



*Obr. 31 Fraunhofer COAXwire [22]*

### **MWO powder optics**

Laserová procesní hlava MWO powder optics (Obr. 32), byla vyvinutá firmou Reis Lasertec. Tato laserová navařovací hlava využívá patentované práškové trysky od společnosti Fraunhofer Institute of Laser Technology (ILT) a nabízí vysokou přesnost a extrémně nízkou spotřebu práškových materiálů. Další výhodou této optiky je možnost mírného nastavení šířky návaru výměnou trysek s různými konfiguracemi nebo různými čočkami. Jedná se možnost výběru mezi tryskou Coax Nozzle a tryskou Three-Jet-Nozzle od Fraunhofer ILT. Daná laserová hlava je nabízena firmou KUKA jako část produktové nabídky.[23]



*Obr. 32 MWO powder optics [23]*

### 3.5 Rešerše existujících hybridních strojů, využívajících laser pro navařování kovů

Trh hybridních strojů (hlavně obráběcích strojů s možností laserového navařování kovů) neustále roste. výrobci multifunkčních strojů se snaží sledovat trendy a rozšiřovat své portfolio. Jedná se například o takové firmy jako DMG MORI, Mazak, Matsuura a jiné. Současné hybridní stroje lze rozdělit na dvě kategorie:

- a) Stroje s třískovým obráběním (frézování, soustružení) + laserové navařování technologií LMD
- b) Frézovací stroje + laserové navařování technologií SLM

Dále budou uvedeni známí zástupci obou skupin. Následující stroje se liší hlavně technologickými možnostmi, kde každý ze strojů je vhodnější pro určitý typ součástí. Další rozdíly jsou ve výkonnosti, velikosti pracovního prostoru atp. Většinou se jedná o stroje nové, a proto reálná zpětná vazba od uživatelů je zatím velice omezená. Všechny existující hybridní stroje nepoužívají pro navařování roboty. [13]

#### 3.5.1 Mazak INTEGREX i-400AM

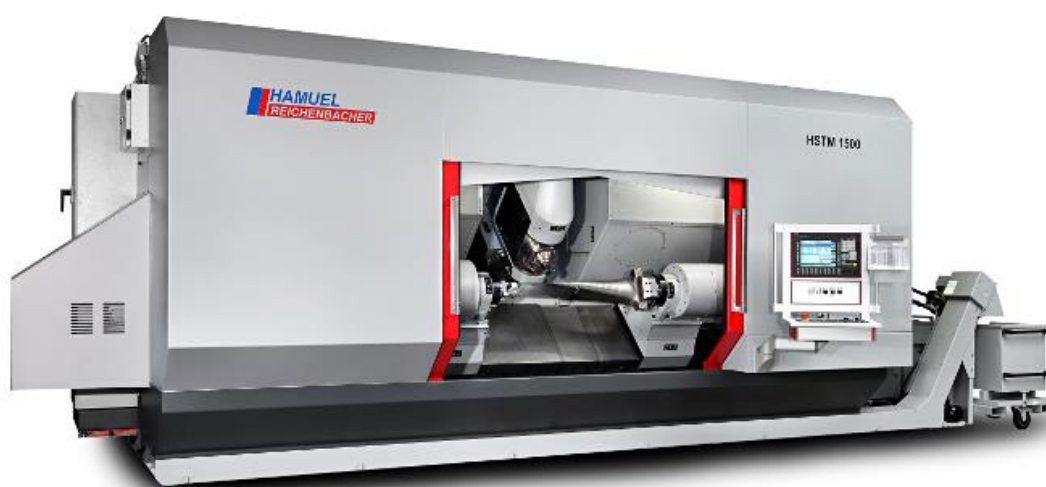
V roce 2015 firma Mazak představila svou verzi hybridního stroje (Obr. 33). Jedná se o 5-osé multifunkční obráběcí centrum se dvěma vřeteny pro soustružnické a frézovací operace, které je rozšířeno o možnost laserového navařování prostřednictvím dvou laserových hlav a pevnolátkovým laserovým zdrojem. Laserové hlavy se upínají přes nástrojová rozhraní, po dokončení aditivní části procesu laserové hlavy se ukládají do zásobníku nástrojů [14].



Obr. 33 Mazak INTEGREX i-400AM [24]

### 3.5.2 Hamuel Reichenbacher HSTM 1500

Daný stroj, který je zobrazen na Obr. 34, má poměrně velký pracovní prostor především ve směru hlavní osy soustružnického vřetene. Dvě protilehlá soustružnická vřetena umožňují úspěšně opravovat velké turbínové lopatky, které jsou pomocí speciálních upínek umístěny mezi oběma vřeteny. Navařovací prášková hlava se upíná do nástrojového rozhraní pomocí AMBIT™ multi-task systému a je vyvíjená firmou Hybrid Manufacturing Technologies [25]. Výměna této hlavy podle výrobce stroje trvá méně než 20 sekund. V kombinaci s měřicími sondami a brusnými nástroji má daný stroj velké možnosti ve zhotovování tvarově složitých ploch s velkou přesností. [14]



*Obr. 34 Hamuel Reichenbacher HSTM 1500 [25]*

### 3.5.3 WFL - MILLTURN M80

Na výstavě EMO 2015 v Milaně byl představen hybridní stroj firmy WFL Millturn M80 (Obr. 35). Daný stroj je multifunkčním obráběcím centrem, do kterého byla integrovaná laserová navařovací hlava o výkonu 6 kW od firmy Laserline. Ta může být vyměněna také za laserovou hlavu určenou k povrchovému kalení. Vzhledem k velkému točnému průměru stroje, který má velikost 1000 mm, se spíše nebude jednat o vytvoření malých součástí pomocí laserového navařování, ale o navařování malých a složitých prvků. [14]





*Obr. 35 WFL – MILLTURN M80 [26]*

### **3.5.4 DMG MORI Lasertec 65 3D**

Hybridní stroj Lasertec 65 3D známé firmy DMG MORI (viz Obr. 36) je výsledkem rozšíření 5-osé frézky DMU 65 přidáním aditivní technologie, která je zastoupená laserovou hlavou s výkonem 2 kW pro navařování práškem metodou LMD. Výrobce uvádí, že tvorba součástí je 10krát rychlejší v porovnání s metodou SLM. Laserová hlava se upíná do vřetene stejně jako nástroje. Stroj má pracovní prostor, který umožňuje práci s výrobky o velikosti průměru 600 mm, výšky 400 mm a maximální hmotností 600 kg. Stroj umožňuje vyrábět tvarově složité dílce, opravovat stávající dílce a vytvářet kovové povrchy z jiných materiálů, než je základní materiál dílce. Testovanými materiály pro navařování pro tento stroj jsou nerezová ocel, Inconel 625/718, materiál na bázi wolframu a uhlíku, slitiny bronzu a mosazi a nástrojové oceli. [14]



*Obr. 36 DMG MORI Lasertec 65 3D [25]*

### 3.5.5 Sodick OPM 250L

Daný stroj od japonské firmy Sodick (viz Obr. 37), na rozdíl od předchozích strojů, spadá do kategorie b) podle rozdělení na začátku kapitoly 3.5. Povlakovací lišta rovnoměrně nanese na podklad vrstvu prášku o tloušťce 0,05 mm, dále laserová hlava sinteruje prášek v požadovaných místech, kde se taví a pak tuhne v požadovaných tvarech. Takovým způsobem je sintrováno 10 vrstev (0,5 mm), dále následuje proces obrábění vzniklé struktury. Tato sekvence se opakuje, dokud nebude dokončen proces výroby. Po navaření jedné vrstvy pracovní stůl klesá o hodnotu tloušťky návaru, tím pádem navařování vždy probíhá ve stejné rovině. Pracovní prostor během navařování je plněn přiváděným ochranným plynem (dusíkem). Laserovým zdrojem je Ytterbium vláknový zdroj laseru o výkonu 500 W a vlnové délce 1 070 nm. [28]



*Obr. 37 Sodick OPM 250L [28]*

### 3.6 Technické parametry uvedených strojů

V dané Tab. 2 jsou uvedeny technické parametry zmíněných strojů.

Stroj	Mazak INTEGREX i-400AM	Hamel Reichenbacher HSTM 1500	WFL MILLTURN M80	DMG MORI Lasertec 65 3D	Sodick OPM 250L
Parametr					
Aditivní proces	LMD	LMD	LMD	LMD	SLM
Subtraktivní proces	5osé CNC obrábění	5osé CNC obrábění	5osé CNC obrábění	5osé CNC obrábění	3osé CNC obrábění
Uložení nav. hlavy	Do vřetene	Samostatná pozice	-	Do vřetene	Samostatná pozice
Fréz. vřet. ot. [ $\text{min}^{-1}$ ]	20000 [ $\text{l}/\text{min}$ ]	16000 [ $\text{l}/\text{min}$ ]	8000 [ $\text{l}/\text{min}$ ]	18000 [ $\text{l}/\text{min}$ ]	450000 [ $\text{l}/\text{min}$ ]
Výkon laseru [W]	-	-	6 000	2 500	500
Velik.výr.AM [mm]	-	-	-	$\varnothing 600 \times 400$	250x250x250
Rychlost AM [ $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$ ]				1	
Materiály	-	-	-	Ocel, inconel, bronz, mosaz	-
CAD, CAM, CAI	-	Delcam INSPECT, SHAPE, MILL	-	Siemens NX	MARKS-MILL, OPM, GenLaser, Opti mizer Verify

Tab. 2 Parametry uvedených hybridních strojů [14]

## 4. Určení koncepce vhodného robotu z hlediska požadavků a možností integrace do stroje

Při výběru vhodného robotu pro integraci do stroje je nejprve je potřeba zvolit vhodný obráběcí stroj.

### 4.1 Zvolený stroj

Zvoleným strojem pro zabudování průmyslového robotu ve smyslu umožnění využití technologie Hybrid Manufacturing je soustruh SP 430 od českého výrobce Kovosvit MAS, a.s., který je zobrazen na Obr. 38. Stroj je multifunkčním soustružnickým centrem, který se vyznačuje modulárním provedením, což umožňuje sestavit celou řadu technologických variant dle požadavků zákazníka. Stroj se vyznačuje vysokou tuhostí díky robustnímu základu. Použití předepnutého valivého vedení ve všech osách zaručuje dlouhodobé obrábění s vysokou přesností, dobré dynamické vlastnosti a zkrácení vedlejších výrobních časů.



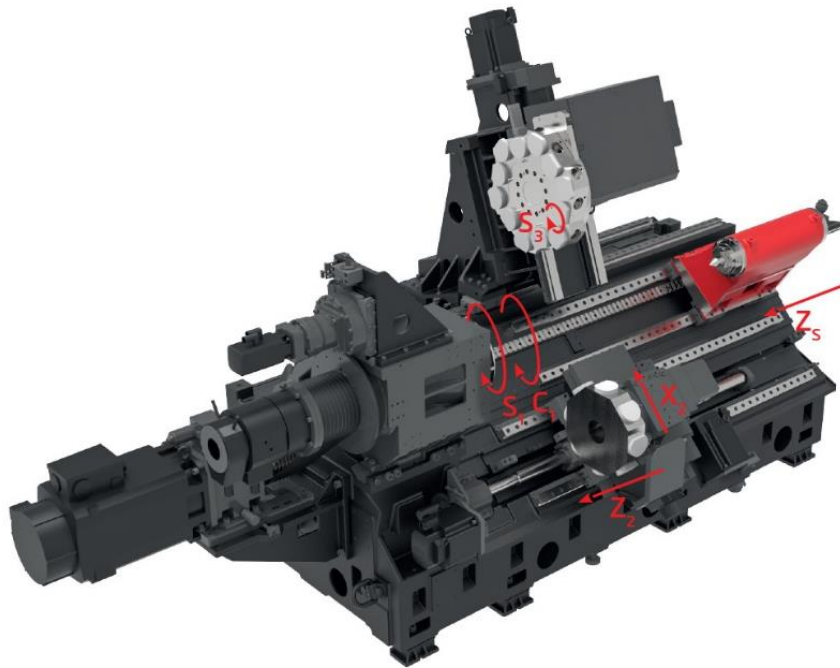
*Obr. 38 Soustružnické centrum SP 430 [29]*

Důležité parametry stroje uvedené v následující tabulce Tab. 3.

<b>Parametr</b>	<b>Hodnota</b>	<b>Jednotka</b>
Oběžný průměr nad ložem	680	mm
Max. Ø soustružení – horní hlava	550	mm
Max. délka soustružení	1100	mm
Max. hmotnost obrobku	500	kg
<b>Hlavní vřeteno</b>		
Výkon	28	kW
Max. otáčky vřetene	3800	ot./min
Max. krouticí moment	1433	Nm
<b>Horní nástrojová hlava</b>		
Počet poloh	12	-
Průměr otvoru VDI	50	mm
Max. otáčky nástrojového vřetena	4000	ot./min
<b>Pojezdy os</b>		
Pojezd os X	325	mm
Pojezd os Z	1225	mm
Pojez osy Y	-100 / +80	mm
Rychloposuv X/Z	30	m/min
Rychloposuv Y	25	m/min
<b>Rozměry stroje</b>		
Rozměry stroje (d×š×v)	5033×2180×2264	mm
Hmotnost stroje	8300	kg

Tab. 3 Parametry stroje SP 430 [29]

Vzhledem k upnutí výrobku ve sklíčidle se použití technologie laserového navařování SLM jeví jako nevhodné. Umístění robotu z důvodu co nejmenších zásahu do konstrukce stroje se předpokládá na saně osy Z2 (označení os soustruhu – viz Obr. 39), která je původně určená pro pinolu nebo spodní revolverovou hlavu. Osa X2 se v takovém případě nevyužije.



Obr. 39 Rozložení os na soustruhu SP 430 [29]

## 4.2 Specifikace požadavků pro robot

Pro úspěšnou integraci robotu do soustruhu SP 430 je potřeba vybrat robot, který by splňoval určité požadavky. Jedná se o:

- možnost plné integrace řízení do CNC stroje,
- dostatečná nosnost,
- dostatečný pracovní rozsah,
- možnost montáže pod úhlem,
- vysoký stupeň ochrany proti prachu a vodě.

Následovně bude proveden popis a podrobnější stanovení požadavků. Poté bude vybrán průmyslový robot, který bude vyhovovat všem stanoveným požadavkům.

### 4.2.1 Možnost plné integrace řízení do CNC stroje

Spolupráce průmyslových robotů a strojů je běžnou záležitostí a jak bylo uvedeno v rešerši, nejčastěji se realizuje pro pomocné technologické funkce, jako vyndávání a vložení obrobků atd. Z hlediska ovládání pohybu robotu probíhá realizace takové spolupráce tak, že robot má svůj vlastní program a svou řídicí jednotku, která ovládá celou činnost robotu. Řídicí jednotka robotu dostává ze stroje (pomocí digitálních výstupu PLC nebo komunikační sběrnici) jen signály na spuštění konkrétního programu (například, když stroj skončí obrábění, posílá řídicí jednotce robotu signál pro zahájení programu na vyndání obrobku atp.). Pro splnění hlavního cíle dané práce – překonstruovat soustružnický stroj na stroj pro hybridní výrobu – je nutno ovládat robot jako část stroje,

jinými slovy, aby pro uživatele bylo možné ovládat stroj a robot najednou prostřednictvím jednoho ovládacího panelu včetně návaznosti jednotlivých operací. S ohledem na to, že stroj SP 430 se obvykle dodává s řídicím systémem Siemens SINUMERIK 840 D sl, je nutno aby řízení robotu bylo možné integrovat právě do tohoto řídicího systému.

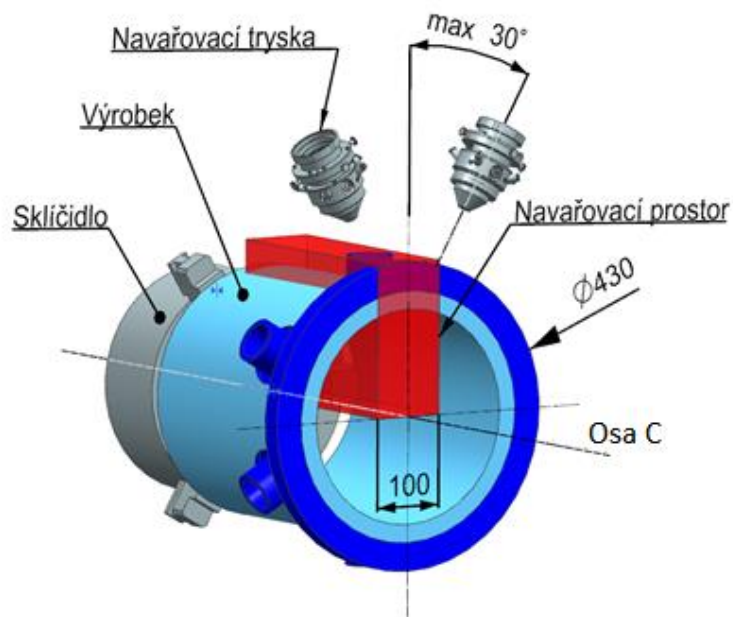
Pro řízení průmyslových robotů pomocí řídicího systému Siemens SINUMERIK nabízí firma Siemens opci Run MyRobot, která umožňuje integrovat roboty několika výrobců v různé úrovni včetně integrace do uživatelského prostředí SINUMERIK Operate. Mezi nejvíce propracované varianty patří propojení řídicího systému SINUMERIK s roboty firmy KUKA, které umožňuje plné řízení robotu z řídicího systému Sinumerik dle uživatelského NC programu stejně jako v případě řízení běžného obráběcího stroje. Vzhledem k tomu skutečnosti je dále při výběru konkrétního robotu uvažováno hlavně s roboty KUKA.

#### **4.2.2 Dostatečná nosnost**

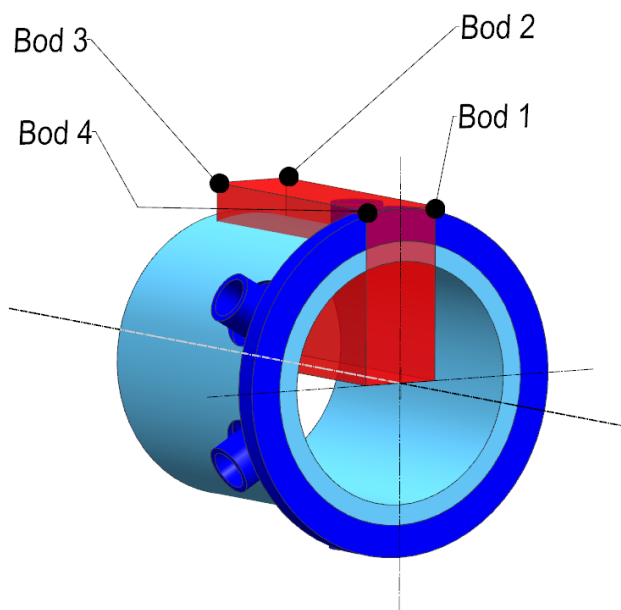
Každý robot má svou předepsanou nosnost, která definuje, s jakou maximální hmotností je robot schopen operovat na konci svého zápěstí (wrist). Přetížení robotu není dovoleno. Proto je důležité, aby robot měl dostatečnou nosnost. Vybraná hlava pro laserové navařování OTS – 5 výrobce Laserline má samotnou hmotnost přibližně 4,7 kilogramů, k této hmotnosti je ještě potřeba přidat hmotnost držáku pro spojení hlavy a zápěstí robotu, speciální kamery pro snímání teploty v místě návaru, kabely pro přívod prášku a laserové energie. Tím pádem celková hmotnost, se kterou bude operovat robot, je odhadnuta na 10 kg. Po výběru robotu bude provedena zpětná kontrola nosnosti, která se provádí podle příslušného diagramu. Do diagramu se zadává vzdálenost těžiště a hmotnost objektu, se kterým se bude operovat.

#### **4.2.3 Dostatečný pracovní rozsah**

Pro stanovení dostatečného pracovního rozsahu robotu byl zvolen pracovní navařovací prostor, ve kterém by byl schopen robot navařovat. Tento prostor je znázorněn na následujícím Obr. 40 červenou barvou. Jedná se o kvádr o šířce 100 mm a výšce 215 mm, což odpovídá polovině maximálního průměru obrábění 430 mm pro soustruh SP 430). Maximální dovolený úhel vůči svislé ose je 30°. Dostatečný pracovní rozsah se stanoví podle rozsahu nejmenšího průmyslového robotu, který bude schopen navařovat v bodech označených na Obr.41 z uvedeného navařovacího prostoru.



Obr. 40 Požadovaný navařovací prostor



Obr. 41 Body pro vyhodnocení možností navařování

Pro stanovení pracovního rozsahu byl použit software RobotStudio 6.04.01. Tento software je určen pro offline programování a simulaci práci robotu v navrženém pracovišti od firmy ABB. Nicméně vzhledem k tomu, že kinematika 6-osých robotů obou firem je stejná a software se předpokládá použít jen na stanovení dosahu, použití softwaru se jeví jako vhodné. Důvodem pro použití softwaru RobotStudio je možnost volně stáhnout demo-verzi softwaru, což KUKA u svého produktu neumožňuje. Využití softwaru RobotStudio bude spočívat v následujících krocích:



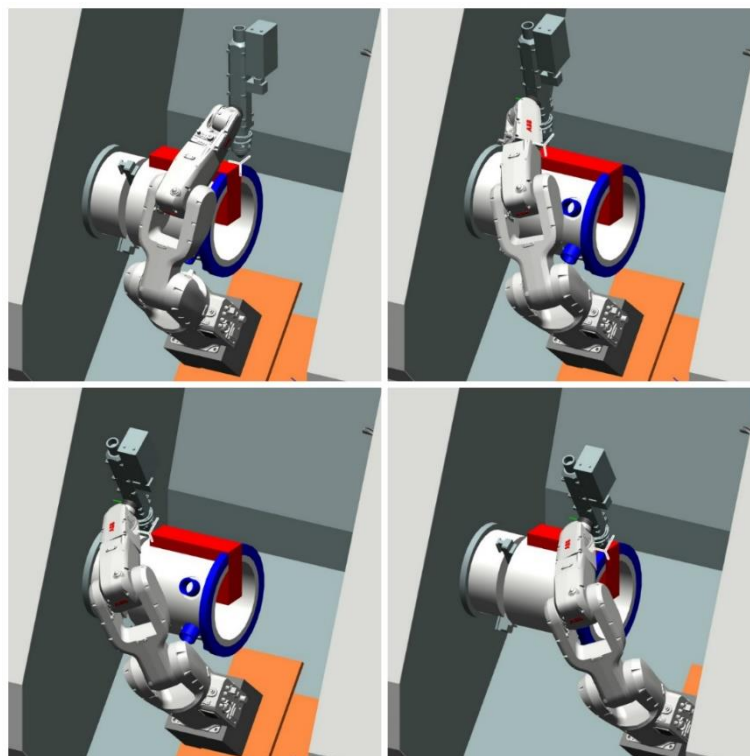
1. Integrace modelu stroje
2. Integrace modelu obrobku
3. Integrace modelu laserové navařovací hlavy jako nástroje
4. Umístění robotu se zkoumaným dosahem na saně osy Z2 stroje
5. Najetí na požadované body s požadovanou orientací
6. Hodnocení dosahu

Prvním robotem pro zkoumání dosahu je robot IRB 1200 (Obr. 42) s dosahem 900 mm.



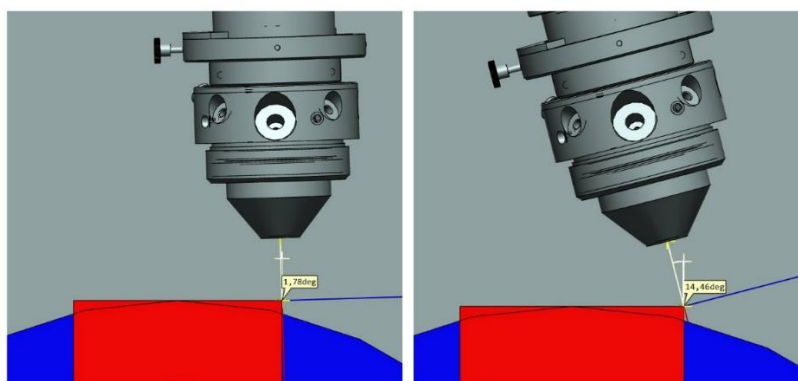
*Obr. 42 robot IRB 1200 s dosahem 900 mm [30]*

Vzhledem k malým rozměrům bylo rozhodnuto umístit robot na větší podložku o výšce 200 mm, aby bylo možné dosažení čtyř horních bodů. Nadále se však ukázalo, že kompaktnost robotu v daném případě je sice výhodou z hlediska zástavbového prostoru uvnitř stroje, ale na druhou stranu přináší velké omezení z hlediska požadovaných možností navařování.



*Obr. 43 Ukázka možností dosažení bodů 1-4 robotem IRB 1200*

Robot s připevněnou na zápěstí navařovací hlavou OTS-5 je schopen dosáhnout požadovaných bodů 1-4, ale vzhledem ke svým malým rozměrům není schopen dosáhnout body 1 a 2 pod požadovaným úhlem  $30^\circ$ . Na Obr. 44 jsou znázorněny maximální úhly orientace navařovací hlavy vůči svislé ose, které je možné dosáhnout pomocí robotu IRB 1200.



*Obr. 44 Maximální úhly dosažitelné robotem IRB 1200*

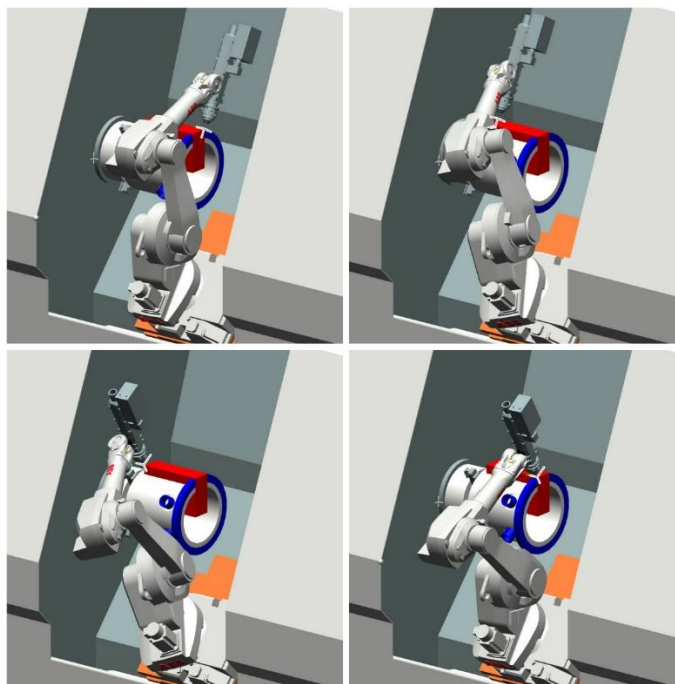
V bodě 1 maximální úhel ve svislé ose je  $-1,78^\circ$ , tím pádem rozdíl mezi požadovanou hodnotou  $30^\circ$  činí  $31,78^\circ$ . V bodě 2 maximální úhel je  $14,46^\circ$ , tím pádem rozdíl činí už  $44,46^\circ$ . V této variantě je robot schopen dosáhnout jen bodů 3 a 4 s požadovanou orientací. Tím pádem kritérium na dosažení požadovaných bodů s určitou orientací robot s rozsahem 900 mm splňuje jenom částečně.

Dalším robotem pro zkoumání dosahu je robot IRB 1600 (Obr. 45), který má pracovní rozsah 1200 mm.



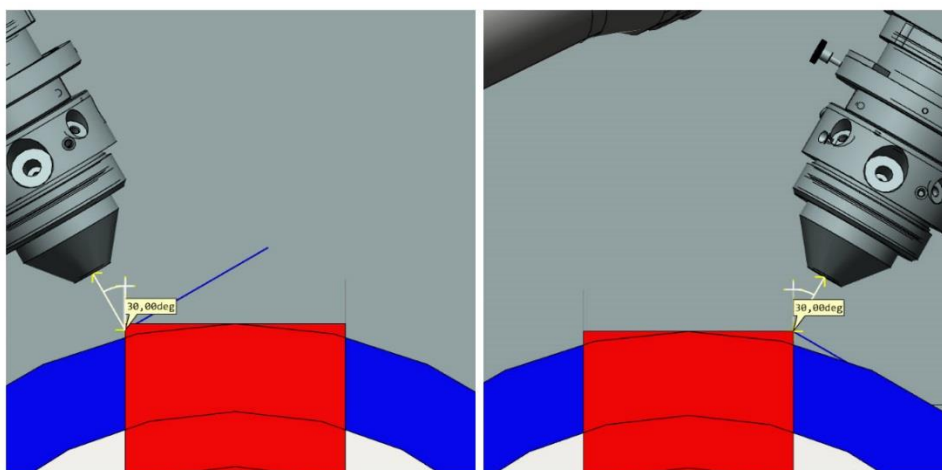
*Obr. 45 Robot IRB 1600 10/1.2 [31]*

Kontrola čtyř požadovaných bodů je znázorněna na následujícím Obr. 46.



*Obr. 46 Ukázka možností dosažení bodů 1-4 robotem IRB 1600*

Z hlediska orientace laserové navařovací hlavy, integrace robotu IRB 1600 s dosahem 1200 mm splňuje požadavek na navařování pod úhlem  $30^\circ$ . Na následujícím Obr. 47 je ukázka orientace navařovací hlavy v bodech 3 a 2.



Obr. 47 Ukázka orientace navařovací hlavy v bodech 3 a 2

Na základě použití softwaru RobotStudio bylo stanoveno, že minimální pracovní rozsah 6-osého robotu dané kinematické struktury pro plnění požadovaných navařovacích funkcí je 1200 mm. Samozřejmě, stanovení dostatečného pracovního rozsahu není jediným parametrem pro posouzení, zda průmyslový robot s namontovanou laserovou navařovací hlavou je schopen dosáhnout požadovaných bodů s požadovanými úhly. Dalším parametrem, který na to může mít vliv je délka jednotlivých ramen. Proto po výběru průmyslového robotu bude provedena zpětná kontrola, která bude spočívat v umístění 3D modelu zvoleného robotu do pracovního prostoru stroje.

#### 4.2.4 Možnost montáže pod úhlem

Jelikož nejvhodnějším místem pro umístění robotu z důvodů co nejmenších konstrukčních zásahů byly zvolené saně osy Z2, je důležité, aby měl robot možnost montáže pod úhlem vůči podlaze.

#### 4.2.5 Vysoký stupeň ochrany proti prachu a vodě

Pro bezpečnou práci robotu v nepříznivém prostředí z hlediska obsahu kapalin a trysek je potřeba mít kvalitní ochranu proti vniknutí cizích těles a kapalin do vnitřního prostoru robotu. Proto je vhodné volit roboty s minimálním stupněm krytí IP 67, což by mělo plně zabránit vniknutí třísek a mít relativně velký odpor proti vniknutí kapaliny. Pro bezpečnou a trvalou práci v takovém prostředí je potřeba mít nejen dobrou ochranu samotného robotu, ale také i jeho konektorů. Firma KUKA označuje své roboty, které jsou určeny na práci v náročných prostředích, zkratkou HP.

### 4.3 Vytyčení vhodného robotu na základě předchozích požadavků

Jako jediný vhodný robot z celé produktové řady výrobce KUKA, který splňuje všechny výše uvedené požadavky, je robot KR10 1420 HP (Obr. 48). Parametry tohoto robotu jsou uvedeny níže v Tab. 4.



Obr. 48 KUKA KR10 1420 HP [32]

<b>Maximální dosah</b>	1420 mm
<b>Nosnost</b>	10 kg
<b>Nosnost ramena</b>	10 kg
<b>Celková nosnost</b>	20 kg
<b>Opakovatelnost polohy (ISO 9283)</b>	±0,4 mm
<b>Počet os</b>	6
<b>Možnost montáže</b>	Podlaha Strop Stěna Požadovaný úhel
<b>Montážní plocha</b>	333,5 mm x 307 mm
<b>Hmotnost</b>	cca 160 kg
<b>Stupeň ochrany</b>	IP65 (IP 67 zápěstí)

Tab. 4 Parametry robotu KR10 1420 HP [32]

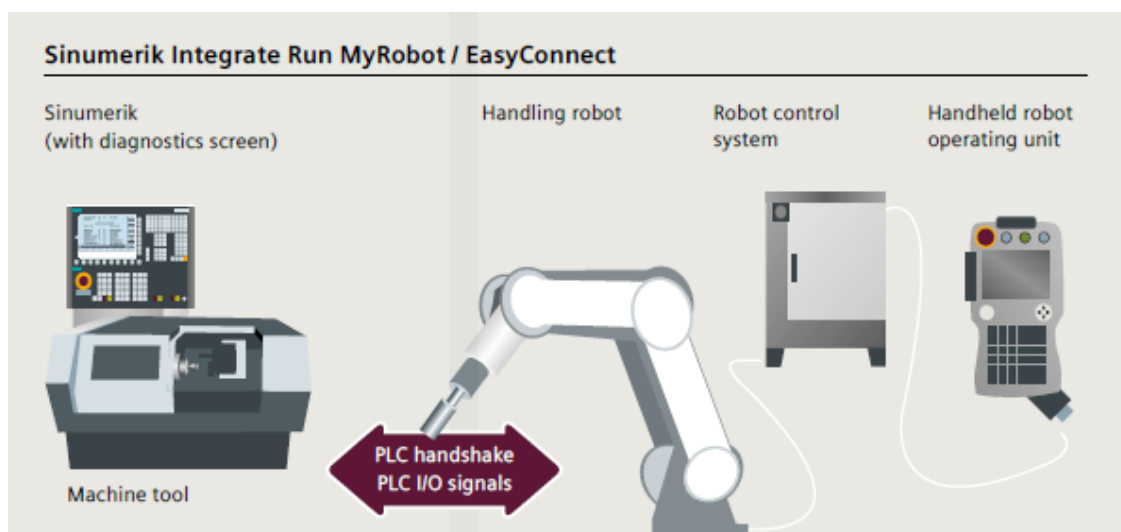
## 5. Návrh integrace vybraného robotu do řídicího systému stroje

Jak bylo popsáno výše, řídicí systém Siemens SINUMERIK 840D sl nabízí pro řízení robotů opci Run MyRobot. Tato opce má tři možné konfigurace propojení robotu a řídicího systému:

- Easy Connect
- Handling
- Machining

### 5.1 Popis možných konfigurací propojení

#### 5.1.1 Easy Connect - propojení na úrovni I/O příkazů

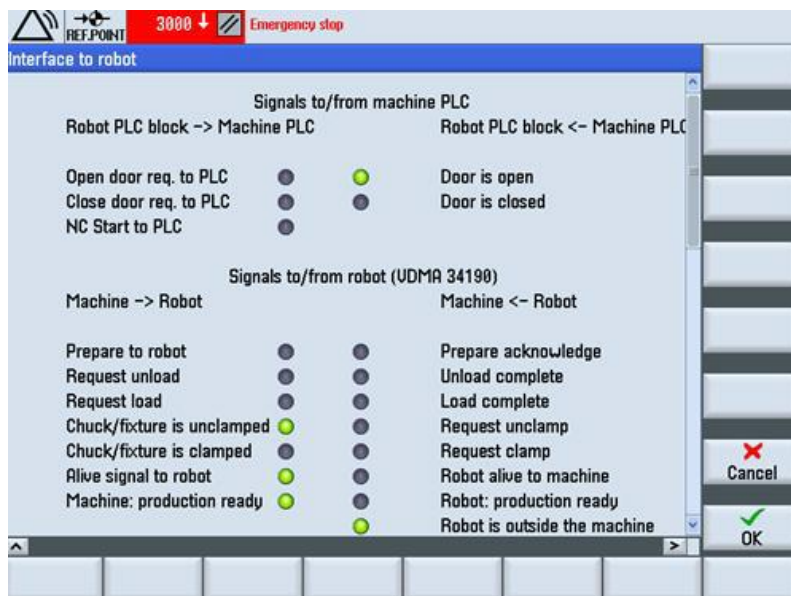


Obr. 49 Run MyRobot Easy Connect [33]

Při využití této varianty propojení robotu a řídicího systému SINUMERIK kompletní řízení pohybu probíhá v řídicí jednotce robotu. Pohyby robotu se programují v programovacím jazyce zvoleného robotu. V podstatě robot má uložené programy a řídicí systém obráběcího stroje je jen spouští. Koncept je založen na signálech PLC handshake – standardu, který je vytvořen Německou asociací výrobců strojních nástrojů / Německou strojírenskou federací pro připojení robotů nebo manipulátorů k obráběcím strojům. Práce se standardními a předem definovanými rozhraními NC / PLC, alarmy, diagnostickými obrazovkami a pečlivě zdokumentovanými příklady aplikací umožňuje rychlou a snadnou integraci systémů.

Tato varianta propojení je nejjednodušší z hlediska uvedení do provozu a zároveň je nejlevnější. Ukázka uživatelského rozhraní pomocí Easy Connect je uvedena na Obr. 50. Toto rozhraní bylo navrženo podle následujících kritérií:

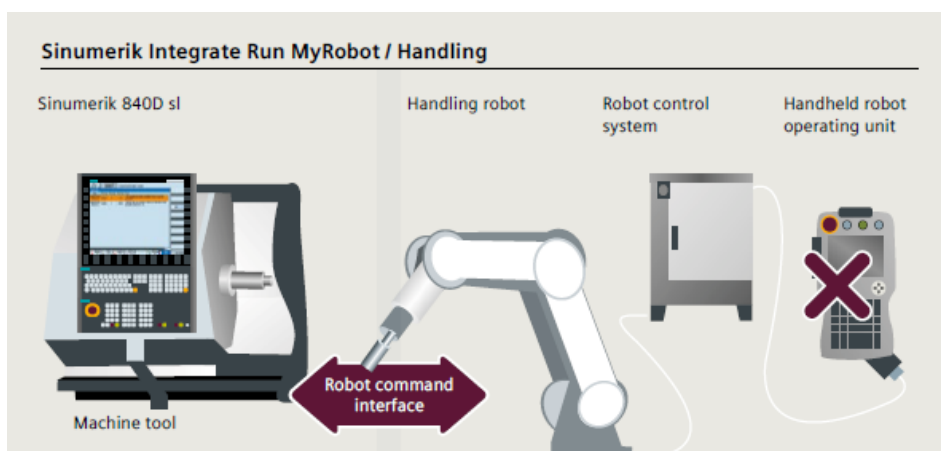
- Široká použitelnost pro všechny obvyklé typy robotů od širokého spektra výrobců
- Použití robotů s jednoduchými nebo dvojitými grippery
- Robot by měl obsluhovat jeden nebo několik strojů za sebou.
- Aplikace by měla být co nejjednodušší [33]



Obr. 50 Ukázka rozhraní RMR Easy Connect v Sinumerik Operate [35]

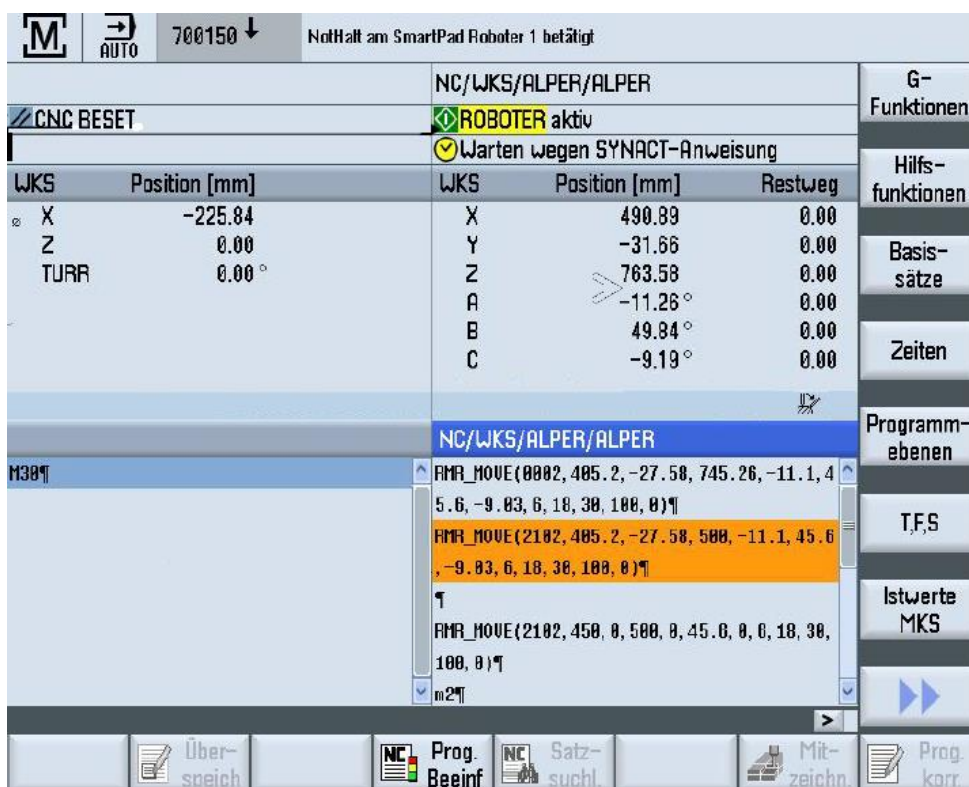
Tato varianta propojení může být realizována mezi roboty různých výrobců a systémy SINUMERIK 840D sl a SINUMERIK 828.

### 5.1.2 Handling - propojení na úrovni PLC příkazu



Obr. 51 Run MyRobot Handling [33]

Stejně jako v předchozí variantě propojení, v Run MyRobot Handling (Obr. 51) řízení robotu je stále na stráně řídicí jednotky robotu, ale na rozdíl od Easy Connect, zadání trajektorie formou diskretních bodů robotu je možno v řídicím systému SINUMERIK. Celé ovládání robotu je realizováno pomocí PLC bloků. Například, programování pohybu a drah robotu je možné přímo v řídicím systému SINUMERIK díky speciálním přednastaveným PLC blokům z knihovny MxAutomation, která obsahuje různé potřebné PLC bloky pro ovládání různých robotu. Tyto připravené bloky výrazně zkracují a zjednodušují uvedení robotu do provozu. Pro vlastní potřeby je možné naprogramovat další PLC bloky s požadovanými funkcemi. Vzhledem k tomu, že tato varianta umožňuje ovládání jen pomocí přednastavených PLC bloků pro diskretní body bez možnosti řízení celé trajektorie a bez možností využití všech programovacích funkcí pro obráběcí stroje v SINUMERIKu, je hlavní oblastí použití Run MyRobot Handling manipulace s nástroji a obrobky. Níže na Obr. 52 je uvedena ukázka rozhraní Run MyRobot Handling na operátorském panelu SINUMERIK. Aktuální stav robotu, poloha os a vlastní program jsou zobrazeny v pravé části obrázku. [35]

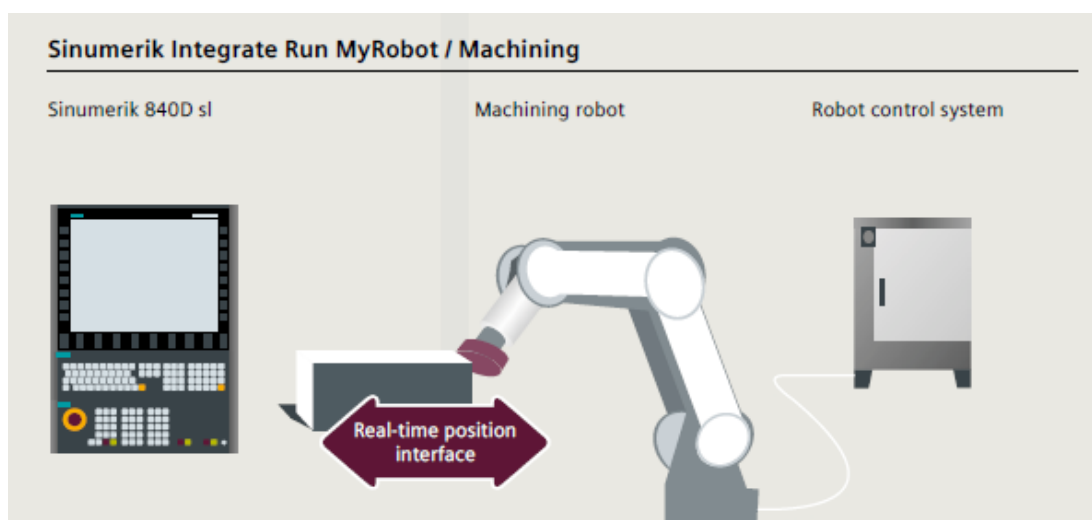


Obr. 52 Ukázka rozhraní RMR Handling v Sinumerik Operate [34]

Tato varianta propojení může být realizována mezi roboty různých výrobců, jako například KUKA, Stäubli atd. a systémem SINUMERIK 840D sl.

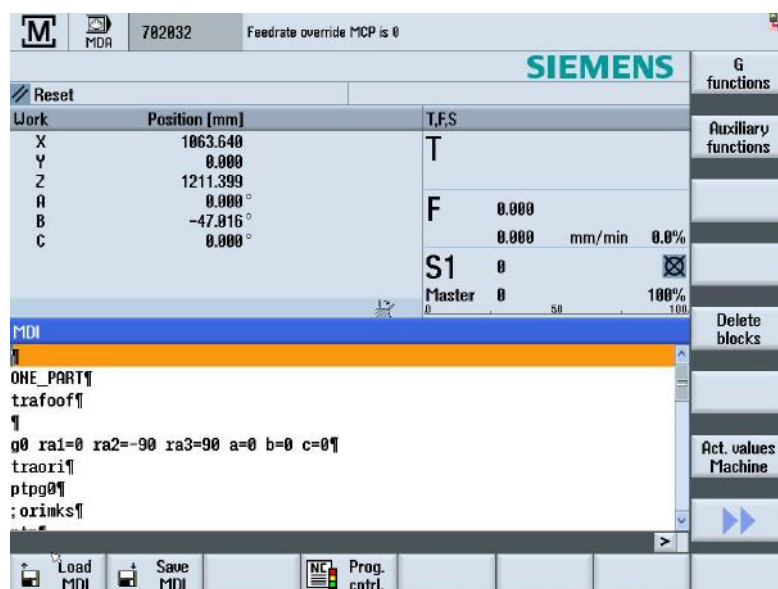


### 5.1.3 Machining - propojení na úrovni polohové vazby v řídicím systému



Obr. 53 Run MyRobot Machining [33]

Opce Run MyRobot Machining (Obr. 53) představuje nejužší vazbu mezi řídicím systémem Siemens SINUMERIK a řídicím systémem robotu. Opce umožňuje ovládání pohybu robotu prakticky jako normálního stroje, jinými slovy to znamená v případě robotu možnost použití všech programovacích metod pro obráběcí stroje, které umožňuje systém SINUMERIK včetně ovládání z operátorského panelu SIEMENS. Je to umožněno díky propojení na úrovni polohové vazby prostřednictvím PROFINET sítě. Po realizaci této varianty propojení je veškerá inverzní kinematika včetně polohové smyčky každého kloubu odbavována přímo v NCU jednotce SINUMERIK a v řídicí jednotce KUKA zůstává pouze řízení motorů robotu ve smyslu rychlostní a proudové smyčky. Pro uživatele to znamená ovládání stroje a robotu z jednoho panelu a možnost využití všech programovacích metod řídicího systému SINUMERIK. Další výhodou využití této varianty propojení je možnost využití standardních CAM nástrojů pro obráběcí stroje – např. NX CAM pro generaci drah pro robot. Další výhodou je možnost vytvoření digitálního dvojčete v NX CAM s využitím virtuálního jádra řídicího systému VNCK Siemens SINUMERIK. Na následujícím Obr. 54 je znázorněna ukázka rozhraní pro ovládání robotem v Siemens Operate.[35]



Obr. 54 Ukázka rozhraní RMR Machining v SINUMERIK Operate [36]

Tato varianta propojení v současné době je připravena pouze pro roboty KUKA. Nicméně se vyvíjí rozšíření této varianty, aby z řídicího systému SINUMERIK bylo možné řídit i roboty jiných firem, jako např. Stäubli atd.

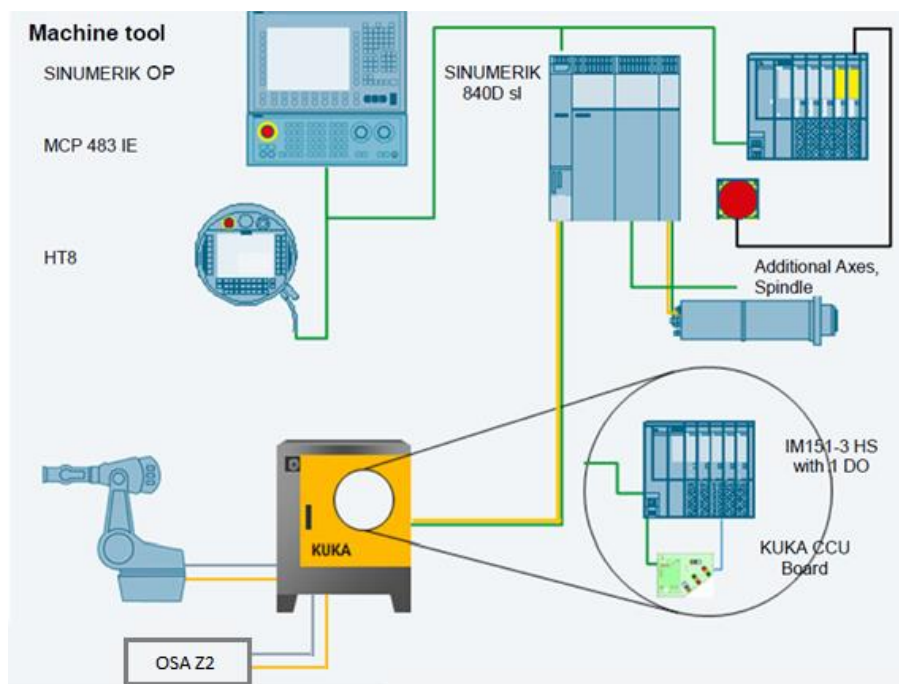
## 5.2 Porovnání uvedených možností integrace řízení robotu KUKA do řídicího systému stroje

Níže je uvedená tabulka se stručným porovnáním jednotlivých variant propojení robotů KUKA a řídicího systému Siemens SINUMERIK (viz Obr. 55). Co se týče většiny aplikací při použití průmyslového robotu u CNC strojů, jsou vhodné varianty provedení Easy Connect nebo Handling. Navíc tyto varianty podporované pro širokou škálu robotů různých výrobců. Avšak při použití robotu v aplikacích, kde tento robot bude plnit technologické funkce (buď ve spolupráci s CNC strojem, nebo bez něj), jako například navařování nebo obrábění, je vhodné vybrat opci Run MyRobot Machining [37].

	Run MyRobot /EasyConnect	Run MyRobot /Handling	Run MyRobot /Machining
Technologie	manipulace	manipulace	obrábění
Typická aplikace	výměna nástrojů, obrobků	Výměna nástrojů, obrobků	obrábění, nýtování, leštění...
Integration level	PLC I/O	PLC funkční bloky	Polohová vazba přes NC
Programování robota	Standardně v řízení robota + I/O povely z PLC	Cykly v SINUMERIKu	Všechny programovací metody Sinumeriku (G-Code, Cycles, ...)
Diagnosis	přes PLC I/O	Hlášení a alarmy na obrazovce NC	Hlášení a alarmy na obrazovce NC
Bezpečnost	-	Safety integrated NC přes profisafe	Safety integrat. NC přes profisafe
Zdroje zadání pohybu robota	(PLC)	PLC, HMI	NC
Hardware	828 D (808 D, 840 D sl)	840 D sl	840 D sl
Software	4.7	4.5 standard	4.7 standard
Uvádění do provozu	PLC, programování robota v řízení robota	PLC, HMI, Safety programování robota v Sinumeriku	Použití Create myConfig, safety

Obr. 55 Porovnání různých variant propojení Run MyRobot [35]

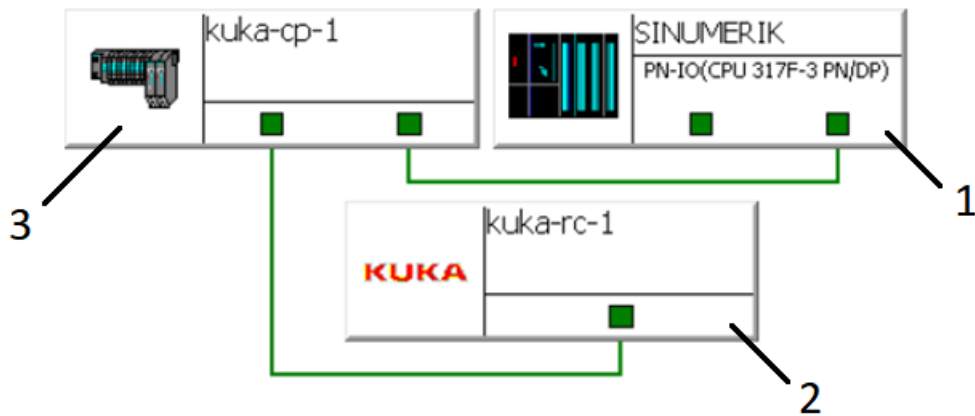
### 5.3 Schéma propojení



Obr. 56 Schematické znázornění propojení robotu a řídicího systému SINUMERIK [36]

Propojení mezi řídicí jednotkou KUKA KR C4 a řídicí jednotkou Siemens NCU je realizováno prostřednictvím sítě PROFINET (Industrial Ethernet) (Obr. 56). PROFINET kabel z NCU jednotky je spojen se synchronizační jednotkou IM151-3 HS (princip synchronizace pomocí této jednotky je vysvětlen v této kapitole níže). K této jednotce je také připojen PROFINET kabel z základní desky KUKA CCU Board. Výstupem z IM151-3, Digitální výstup z IM151-3, je připojen k rychlému digitálnímu vstupu na KUKA CCU Board v řídicí jednotce KUKA KR C4. Podle tohoto schématu na obrázku výše, osa Z2 stroje (osa pro saně spodní nástrojové hlavy nebo lunetu) je taky připojená na řídicí jednotku robotu a bude se řídit měniči KUKA ve stejném kanále jako robot. Pro robot to znamená, že všechny potřebné pohyby robotu se budou provádět v jednom kanále, což se jeví jako vhodné řešení – jednak z hlediska programování, jednak z hlediska ovládání. Tím z původní 6-osé konfigurace vznikne 7-osá (6 os robotu + 1 lineární osa). Řízení robotu probíhá v samostatném kanále, než je řízení ostatních os stroje. Ostatními uvedenými na schematickém obrázku elementy zapojení jsou operační panel, klávesnice, PLC a osy stroje.

Co se týče propojení mezi porty NCU a KR C4, realizuje se to následujícím způsobem (viz Obr. 57): X150 port 2 (NCU) je spojen s X1 Port 2 (IM151-3), X1 Port 1 (IM151-3) je spojen s PROFINET výstup KUKA CCU board.



Obr. 57 Topologie PROFINET komunikace. NCU SINUMERIK – 1, KR C4 – 2, synchronizační jednotka IM 151-3 PN HF – 3 [36]

Vzhledem k tomu, že řídicí systém SINUMERIK dovoluje interpolovat pohyb pro osy řízené pouze v jednom kanále, není možné interpolovat pohyby robotu a stroje najednou, jinými slovy stroj a robot se nemohou pohybovat synchronně. Proto při dvoukanálovém řízení je nutno nastavit tzv. čekací body, aby došlo k synchronizaci strojních os v daných kanálech. V NC programu se poté nacházejí tzv. synchronizační značky. Pro systém Siemens SINUMERIK jde o příkaz „WAITM“ [38]. Příklad synchronizace pohybu stroje a robotu ve dvou různých kanálech může být realizován podle následujícího příkladu, který je představen pomocí dvou ukázkových programů a schematického znázornění na Obr. 58, který znázorňuje běh obou programů stroje a robotu v čase:

Program pro kanál 1:

```

N10 INIT (2, "ROBOT"); inicializace kanálu 2
...; operace, které provádí stroj
N50 START (2); start program v kanálu 2
N60 WAITM (1,1,2); teď kanál 1 čeká na tuto značku v kanále 2, další zpracování
v kanálu 1
...; technologické operace stroje
N200 WAITM (1,1,2); synchronizační značka 2
N210 WAITE (2); teď kanál 1 čeká na ukončení programu v kanálu 2
N1000 M30; konec programů

```

Program pro kanál 2:

```

; $PATH=/_N_MPF_DIR

N10 ...; začátek programu

... technologické operace v kanálu 2

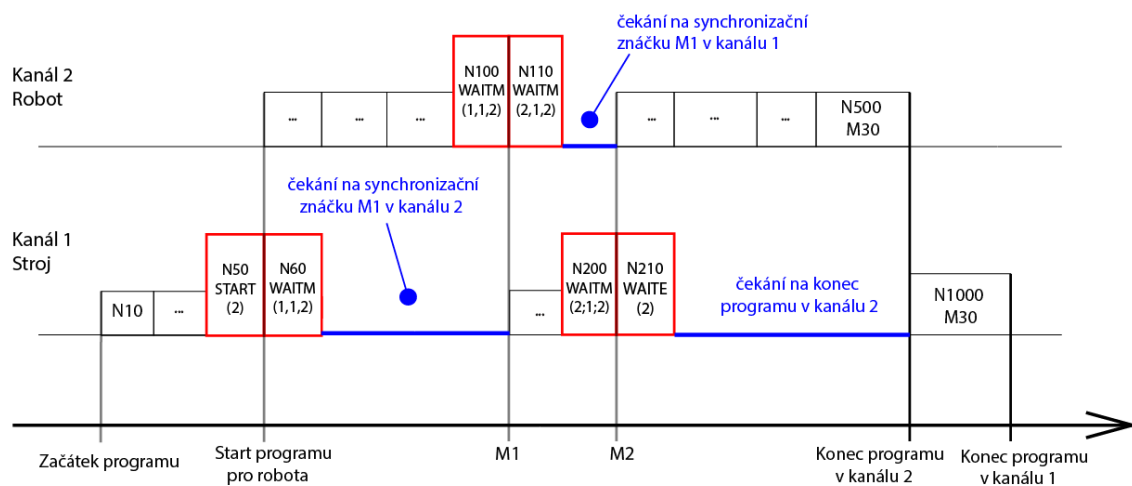
N100 WAITM (1,1,2); synchronizační značka M1, na kterou čekal kanál 1

N110 WAITM (2,1,2); synchronizační značka M2, čekání na stejnou značku v kanále 1

... technologické operace v kanále 2

N500 M30; konec programu v kanále 2

```

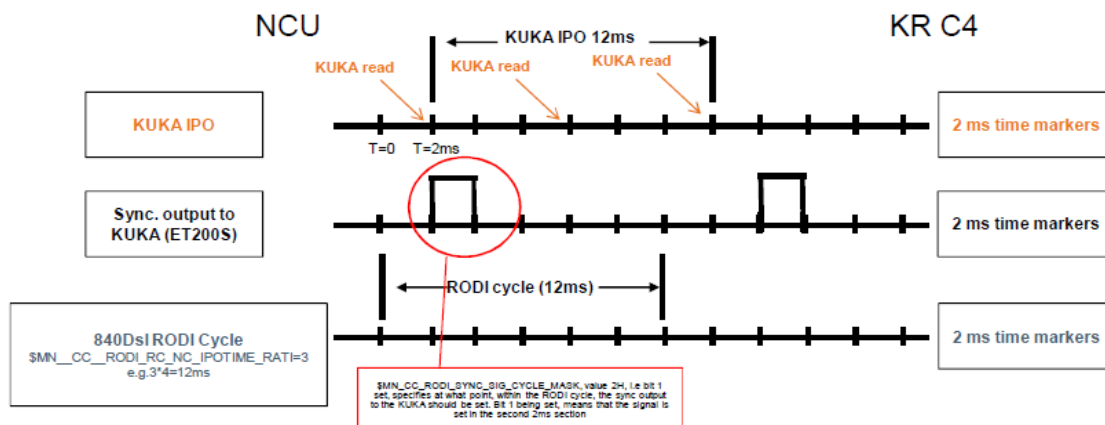


Obr. 58 Schematická ukázka možné práce stroje a robotu najednou pomocí synchronizačních značek

Z důvodů různých architektur SINUMERIKu a KR C4 není možná přímá real-time výměna dat, ale pouze datová výměna bez zajištění časové synchronizace po sběrnici. Časová synchronizace je zajištěna distribuovaným digitálním výstupem pomocí interface modulu IM151-3HS. [36].

Na Obr. 57 je znázorněna topologie PROFINET komunikace mezi NCU jednotkou Siemens a řídicí jednotkou KUKA KR C4

Princip funkce časového signálu je představen na Obr. 59 a funguje následujícím způsobem:



Obr. 59 Princip synchronizace pomocí časového signálu [35]

1. V SINUMERIKU prochází IPO cyklus výpočet pro každý IPO cyklus (např. 4 ms), výsledkem výpočtu IPO jsou nové hodnoty pro polohu jednotlivých os ve stupních pro robot a další osy.
2. V KR C4 se aktualizují nové hodnoty poloh os každých 12 ms (v rámci těchto 12 ms jednotka IM151-3(ET200s) posílá stejné hodnoty každé 2 ms)
3. KUKA provádí časové nastavení tak, že 12 ms má stejnou dobu trvání jak na NCU, tak na KR C4 (řídící jednotka robotu zprůměruje dobu mezi 100 výstupními pulzy a podle potřeby tato data upraví)
4. NCU zpřístupňuje nové hodnoty na  $T = 0$  spolu se sériovým číslem
5. KUKA IPO se spouští na vzestupné hraně z výstupu synchronizační jednotky IM151-3
6. KR C4 čte nové hodnoty os 6 ms po zahájení svého IPO cyklu a poté po uplynutí 6 ms KUKA znovu čte tyto hodnoty, aby byla zajištěna konzistence – tím pádem KUKA očekává, že bude mít stejné hodnoty dvakrát, každý z nich bude číst se inkrementálním sériovým číslem sériovým číslem.

Tím pádem obnovení polohy probíhá každých 12 ms. Tato hodnota má vliv na nastavení regulace polohy a tím pádem také na polohovou odchylku při průjezdu trajektorií. Pro zvolenou technologii navařování to však není kritické.

## 5.4 Odlišnosti v programování

I když ovládání celého robotu se teď provádí v řídicím systému SINUMERIK, čímž umožňuje programování pohybů robotu pomocí známého G kódu, programování pohybů robotu má několik odlišností vůči programování normálního CNC stroje s řídicím systémem SINUMERIK.

### 5.4.1 Axiální programování

Pro axiální programování v osách robotu, které se vyjadřuje natočením jednotlivých kloubů robotu, je nutné použít příkaz TRAFOOF, pak se zadávají natočení ve stupních v jednotlivých kloubech.[36]

Příklad:

```
N15 TRAFOOF  
N16 G0 RA1=0.0000 RA2=-90.0000 RA3=90.0000 A=0.0000 B=0.0000 C=0.0000
```

### 5.4.2 Programování v Kartézském souřadnicovém systému

Pro programování v Kartézském souřadnicovém systému je potřeba mít zapnutou transformaci TRAORI. Po zapnutí této funkce je možné programovat ve známém souřadnicovém systému X, Y, Z a pomocí orientačních úhlů A, B, C.[36]

Příklad:

```
N15 TRAORI  
N16 G1 X1336.4283 Y1016.1269 Z426.6311 A=136.0484 B=-32.2151  
C=160.9643 F2000
```

### 5.4.3 Programování v souřadnicovém systému stroje/obrobku

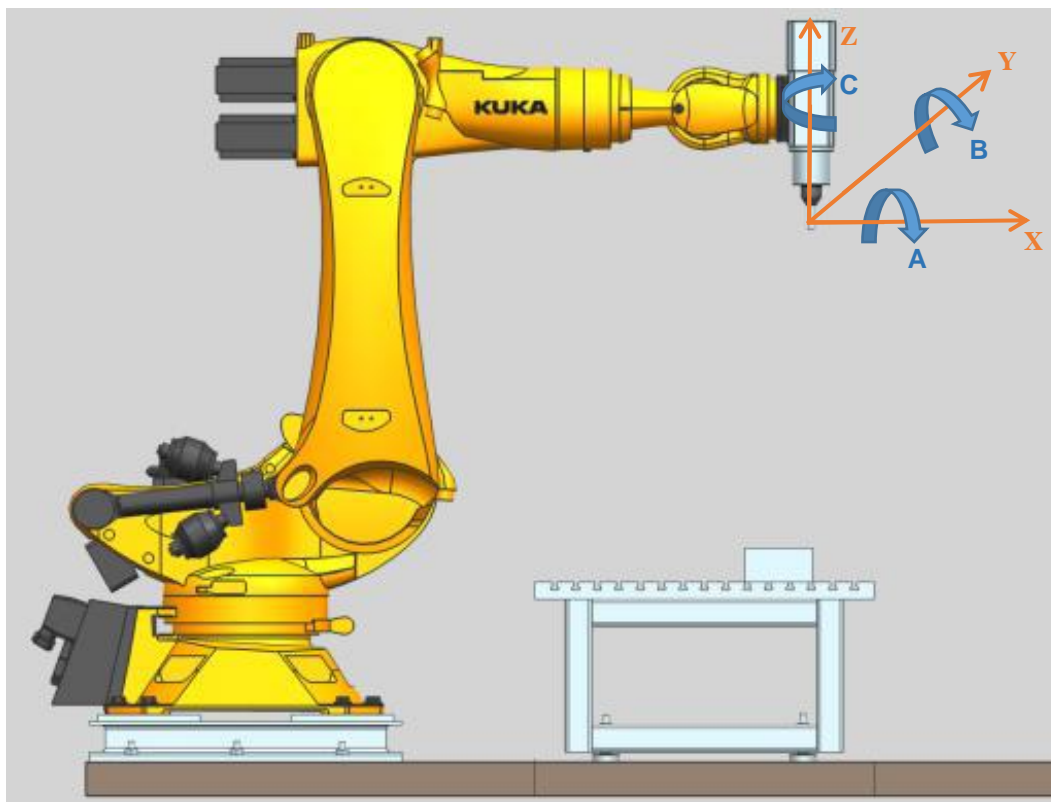
Referenční systém aktivní pro orientační programování je nastaven pomocí programovacích příkazů ORIMKS a ORIWKS. U příkazu ORIMKS je referenčním systémem souřadnicový systém stroje, u příkazu ORIWKS je referenčním systémem souřadný systém obrobku.

Příklad:

```
N13 ORIMKS
```

### 5.4.4 Programování sekvence natočení v osách nástroje A, B, C

Sekvenci při rotaci os nástroje A, B, C (Obr. 60) je možné nastavit v položkách \$MC\_ORIAX\_TURN\_TAB\_1[0-2]. Čísla 1 až 3 udávají pořadí při rotaci (Obr. 61).



Obr. 60 Ukázka os A, B a C na nástroji podle RMR Machining [36]

Machine data	Value	Unit
N21120 \$MC_ORIAX_TURN_TAB_1[0] =	1	First rotation about X (A turns about X)
N21120 \$MC_ORIAX_TURN_TAB_1[1] =	2	Second rotation about Y (B turns about Y')
N21120 \$MC_ORIAX_TURN_TAB_1[2] =	3	Third rotation about Z (C turns about Z'')

Obr. 61 Nastavení pořadí otáčení jednotlivých os [36]

Dané pořadí při rotaci se pak volá v G kódu pomocí příkazu ORIVIRT1.

Příklad:

N14 ORIVIRT1

### 5.4.5 Programování pozice robotu pomocí STAT (State)

Pozice v kartézských souřadnicích musí mít jednoznačné hodnoty natočení jednotlivých os robotu. Proto některé pozice kloubů musí být zadané pomocí STAT. Příkaz STAT obsahuje 3 bity pro definici polohy prvních třech kloubů robotu.

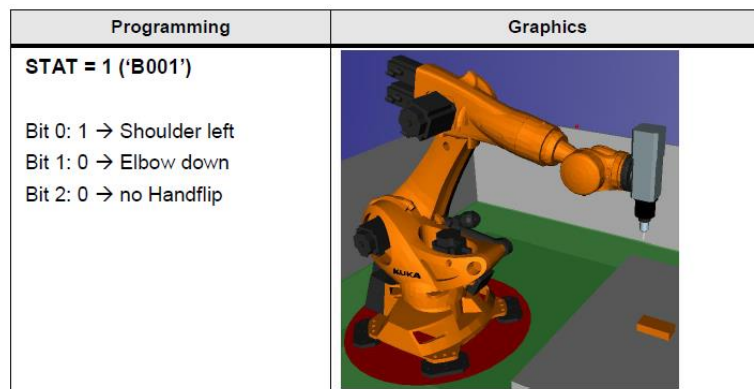
- Bit 0: Shoulder left/right – Kloub 1 zleva/zprava
- Bit 1: Elbow up/down – Kloub 2 nahore/dole
- Bit 2: Handflip/ no Handflip – Kloub 3 normální poloha / otočená poloha



Dále budou následovat příklady použití jednotlivých STATu a jejich vliv na konfiguraci robotu při nájezdu na stejnou pozici. [36]

Příklad pro STAT=(,B001') (Obr. 62):

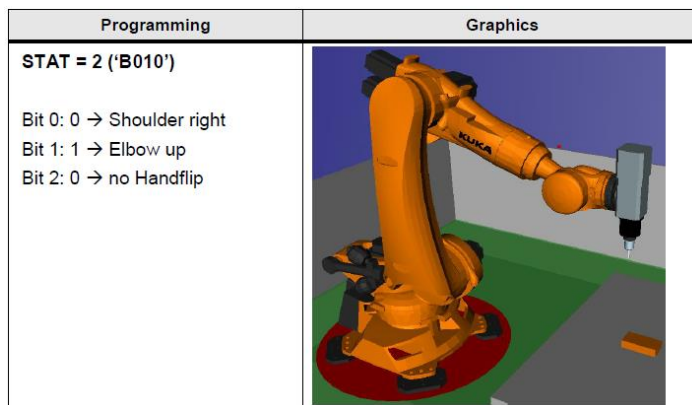
N17 G1 PTP X1665.67 Y0 Z1377.405 A=0 B=0 C=0 <b>STAT='B001'</b> F2000
---



Obr. 62 STAT=(,B001')[36]

Příklad pro STAT=(,B010') (Obr. 63):

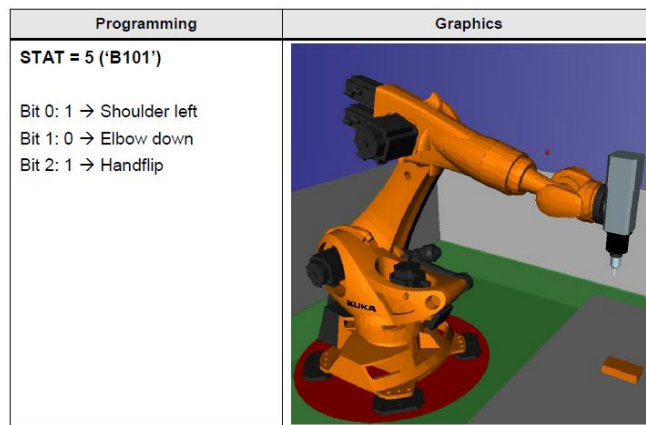
N17 G1 PTP X1665.67 Y0 Z1377.405 A=0 B=0 C=0 <b>STAT='B010'</b> F2000
---



Obr. 63 STAT=(,B010')[36]

Příklad pro STAT=(,B101') (Obr. 64):

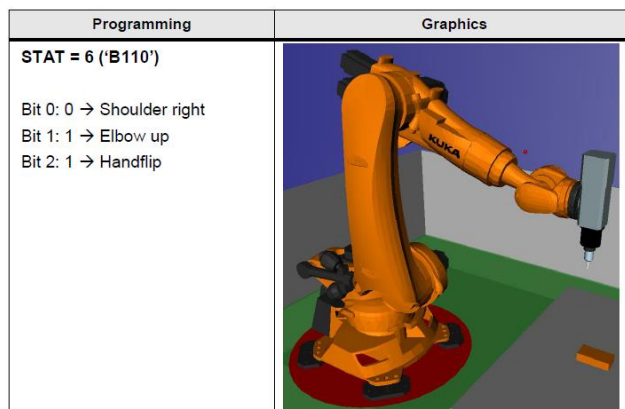
N17 G1 PTP X1665.67 Y0 Z1377.405 A=0 B=0 C=0 <b>STAT='B101'</b> F2000
---



Obr. 64  $STAT=(,B101')$ [36]

Příklad pro  $STAT=(,B101')$  (Obr. 65):

N17 G1 PTP X1665.67 Y0 Z1377.405 A=0 B=0 C=0 <b><u>STAT='B110'</u></b> F2000
--



Obr. 65  $STAT=(,B101')$ [36]

### 5.4.6 Programování pohybů

Řídicí systém Siemens SINUMERIK umožňuje zadávání pohybu v G-kódu s použitím klasických funkcí pro pohyb robotu. Jedná se o PTP (Point to point) a CP (Continuous Path).

- PTP – pohyb do žádaného bodu nejrychlejší cestou pro robot
- CP – pohyb do žádaného bodu po přímkách (výchozí nastavení – když se neudává žádná z těchto definic pohybu, robot se počítá s CP)
- PTPG0 – zapíná funkci pohybu PTP pro každé použití G0 v kódu.

Příklad:

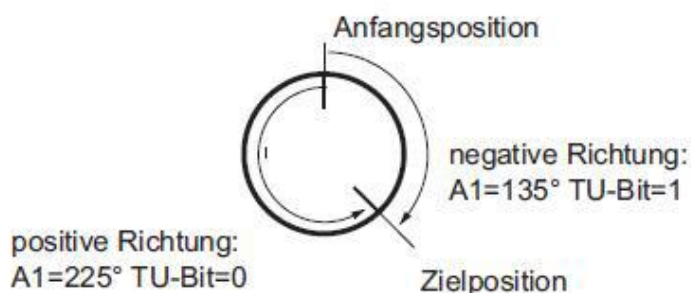
```
N13 G0 PTP X1369.2426 Y956.7528 Z502.5517 A=135.5761 B=-33.2223  
C=161.1435 STAT='B010'
```

#### 5.4.7 Programování směru otáčení v jednotlivých osách robotu

Proměnná TU obsahuje bit, který udává směr otáčení (Obr. 66) pro každou osu robotu, která se podílí na transformaci.

TU bit = 0:  $0^\circ \leq \theta < 360^\circ$

TU bit = 1:  $360^\circ < \theta < 0^\circ$



Obr. 66 Směr otáčení jednotlivých kloubů pomocí proměnné TU [36]

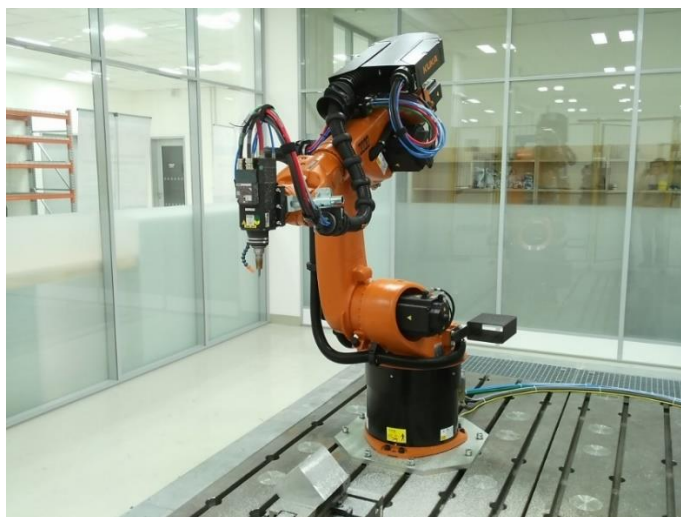
Příklad:

```
N14 G0 X1355.1242 Y1014.9394 Z424.9695 A=135.8491 B=-33.1439  
C=160.9941 STAT='B010' TU='B001011'
```

Další upřesnění těchto programovacích funkcí řídicího systému SINUMERIK, které jsou užitečné pro programování pohybu robotu, jsou ve funkčním manuálu pro SINUMERIK 840D sl / 828D Extended Functions [39].

### 5.5 Realizace řízení robotu KUKA pomocí řídicího systému SINUMERIK

Pro verifikaci uvedených způsobů řízení byla provedena realizace řízení robotu KUKA řídicím systémem Siemens SINUMERIK. Jedná se o průmyslový robot KR 60 HA s namontovaným frézovacím vřetenem HSD (Obr. 67). Tato realizace zapojení nebyla provedena jen v rámci této DP, ale i v rámci pomocné vědecké práce a jiných projektů.



*Obr. 67 KUKA KR60 HA s frézovacím vřetenem HSD [35]*

Robot a vřeteno byly součástí dodání Milling Package od firmy KUKA, pro přestavbu bylo potřeba implementovat následující komponenty Siemens: řídicí jednotka NCU 730.3B, monitor OP15 black, klávesnice MCP 483C, switch XC208 a zdroj napětí SITOP 4x10A. Tyto komponenty byly umístěny na speciálně zkonstruované stojany (Obr. 68) pro pohodlnější ovládání. Do řídicího kabinetu KUKA KR C4 byla přidána a zapojená podle návodu (kapitola 5.3 Schéma propojení) synchronizační jednotka ET200s.



*Obr. 68 Ovládací (vpravo) a řídicí stojany pro komponenty Siemens SINUMERIK [35]*

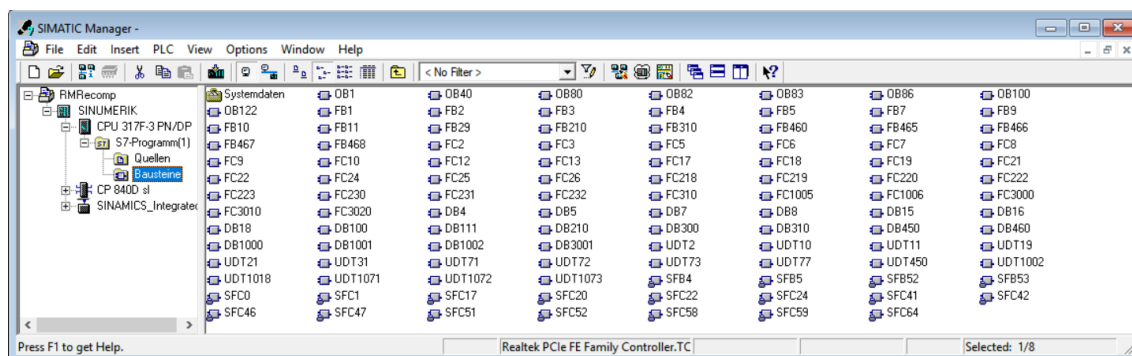
Výsledkem této realizace zapojení bylo zprovoznění ovládání robotu KUKA řídicím systémem SINUMERIK a vyzkoušení robotem programovacích funkcí, které umožňuje nový pro robot řídicí systém.

Postup při propojení robotu a řídicího systému SINUMERIK pomocí opce Run MyRobot Machining je následující:

1. Oživení robotu KUKA a nahrání opce KUKA.CNC

2. Zapojení všech prvků podle schéma
3. Vytvoření HW konfigurace v STEP 7
4. Nahrání bloků do PLC projektu z připraveného vzorového projektu
5. Nahrání konfigurace pro diagnostiku robotu v SINUMERIKu RoboDiag
6. Nahrání dat robotu do řídicího systému
7. Úprava strojních dat pro robot v řídicím systému
8. Nahrání do řídicího systému programu SAFE
9. Testování

Po celém zprovoznění robot se ovládá řídicím systémem SINUMERIK přes operační panel OP15black a klávesnici MC 483C PN. Ilustrační ukázka vytvořeného projektu v softwaru STEP 7 je na následujícím Obr. 69.

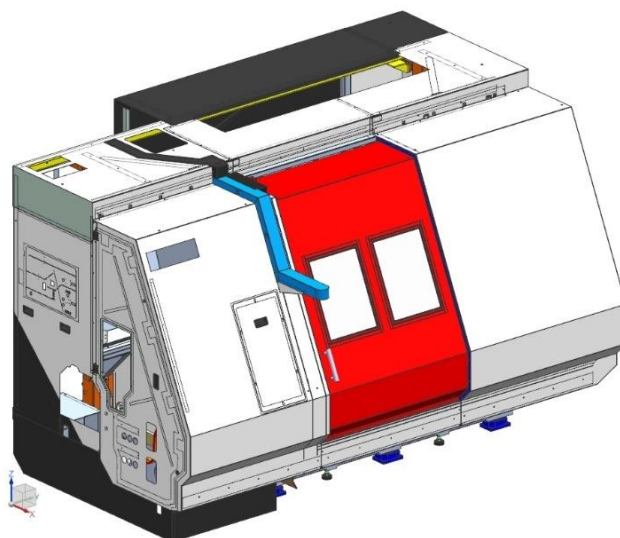


Obr. 69 Ukázka projektu Run MyRobot/Machining v STEP 7

V příloze k dané diplomové práci je k dispozici schéma zapojení jednotlivých komponentů pro realizaci řízení robotu pomocí řízení robotu KUKA KR60 HA pomocí řídicího systému Siemens SINUMERIK [35].

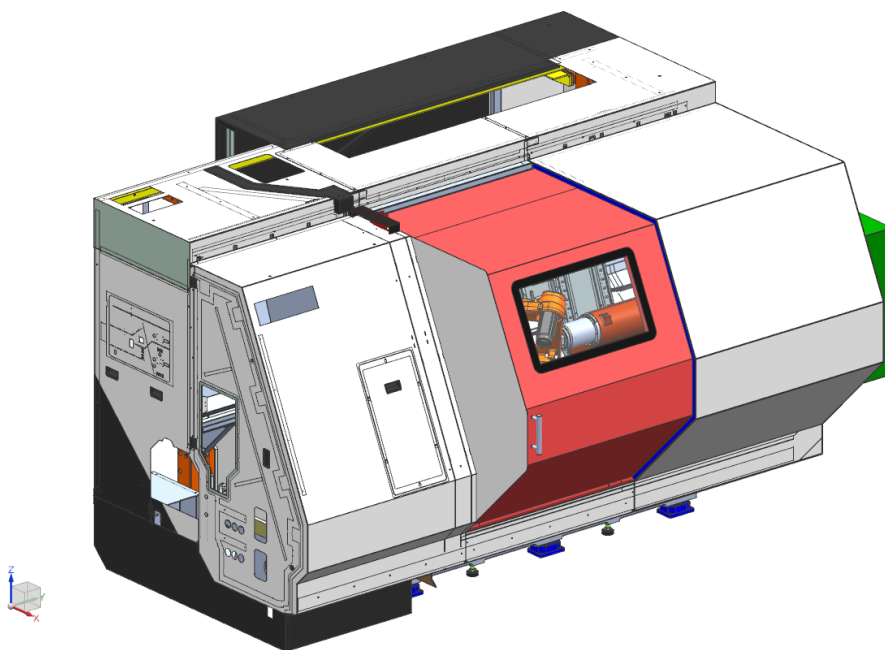
## 6. Návrh mechanické implementace vybraného robotu do stroje

Vzhledem k tomu, že integrace vybraného průmyslového robotu nevyžaduje změny veškerých prvků stroje, kromě krytování, pro návrh konstrukční úpravy stroje SP430 firmou Kovosvit MAS, a.s. byly poskytnuté modely krytování a nosné konstrukce (Obr. 70).



Obr. 70 Původní model stroje, poskytnutý firmou Kovosvit MAS, a.s.

Změna krytování hlavně spočívala v rozšíření posuvných dveří a krytování pravé části stroje. Toto bylo realizováno pro umožnění bezkolizních pohybů robotu v pracovním prostoru stroje. Z bezpečnostních důvodů se musí vyměnit sklo ve dveřích za vhodné pro bezpečné sledování laserových operací. Celkový pohled na upravený stroj je na Obr. 71.



Obr. 71 Ukázka navržené konstrukce soustruhu s integrovaným robotem

Změna rozměrů se týká nejen samotného stroje, ale i jeho periférií, neboť je potřeba dodat ke stroji zdroj laserové energie, chladicí zařízení pro laserový zdroj a navařovací hlavu, zásobník prášku, zařízení na přívod prášku a řídicí jednotku robotu KUKA, což výrazně zvětší zástavbový prostor stroje.

Pro zajištění nových funkcí stroje je potřeba provést nejen mechanické a rozměrové změny, ale i upravit rozvod stlačeného vzduchu, elektro projekt a základní PLC projekt stroje. Do PLC projektu se mají přidat další zařízení a naprogramovat bezpečnostní funkce.

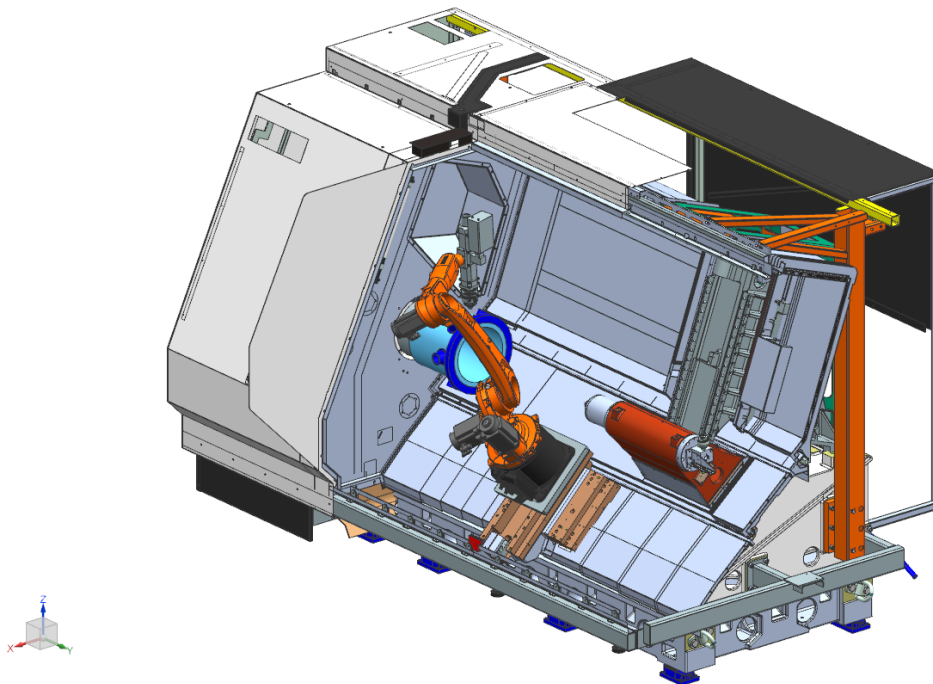
## **6.1 Pracovní polohy robotu**

Navržená integrace robotu do pracovního prostoru stroje má dvě hlavní varianty poloh, ve kterých se může nacházet robot: navařovací a parkovací poloha.

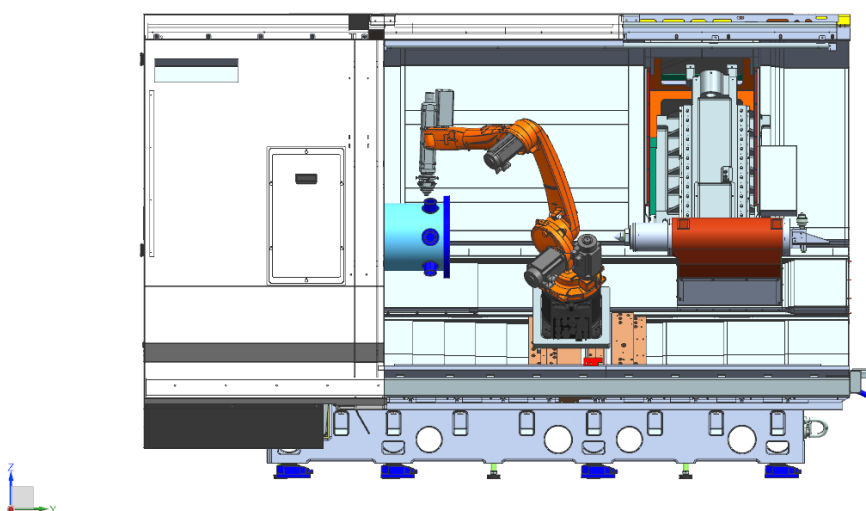
Navařovací polohou se rozumí poloha robotu, při které robot se nachází v komfortní vzdálenosti pro plnění navařovacích funkcí. Parkovací poloha je taková poloha robotu ve stroji, při které neprobíhá navařování a robot schovává navařovací hlavu ve speciálně navřeném boxu. Tyto dvě varianty budou probrány podrobněji v následujících podkapitolách.

### **6.1.1 Navařovací poloha**

Na rozdíl od parkovací polohy, navařovací poloha, která je představená na Obr. 72 a na Obr. 73, se může měnit na základě velikostí výrobku. Polohu udává jednak poloha sání v ose Z2, jednak natočení jednotlivých kloubů robotu. Řízení osy Z2 se bude odbavovat v kanále pro robot a bude provedeno pomocí měniče KUKA. Jelikož pracovní rozsah průmyslového robotu KR10 1420 HP je větší, než minimální stanovený 1200 mm (navíc po ignorace CAD modelu robotu do modelu stroje bylo zkontrolováno, že zvolený robot dosahuje požadovaných bodů navařování), základ robotu se vždy může nacházet v bezpečnostní vzdálenosti od výrobku bez omezení z hlediska prostorových možností navařování robotem.



*Obr. 72 Ukázka navařovací polohy robotu v trimetrickém pohledu*



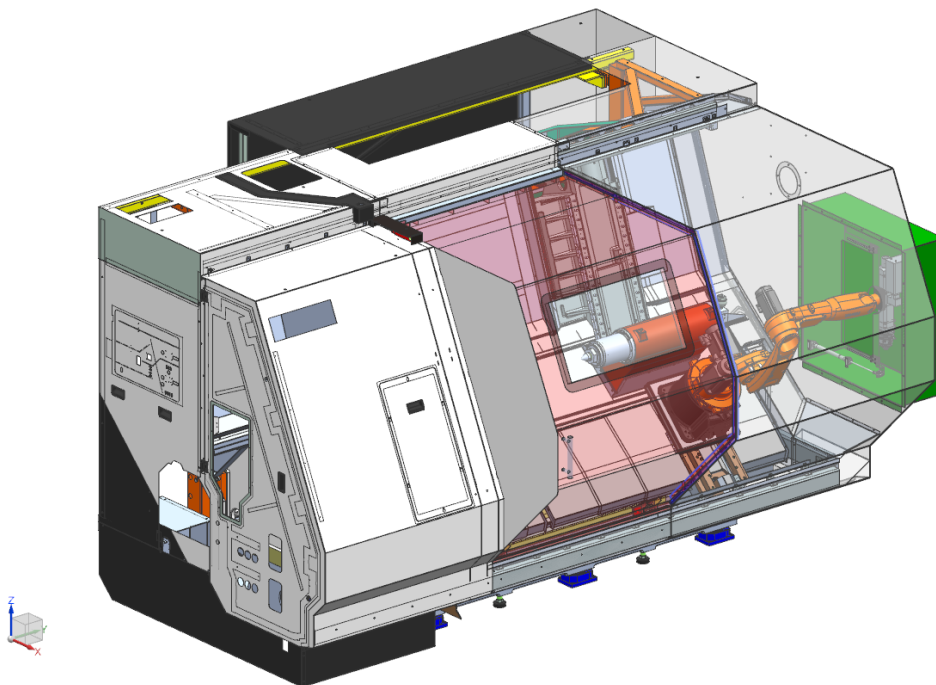
*Obr. 73 Ukázka navařovací polohy robotu v nárysu*

## 6.1.2 Parkovací poloha

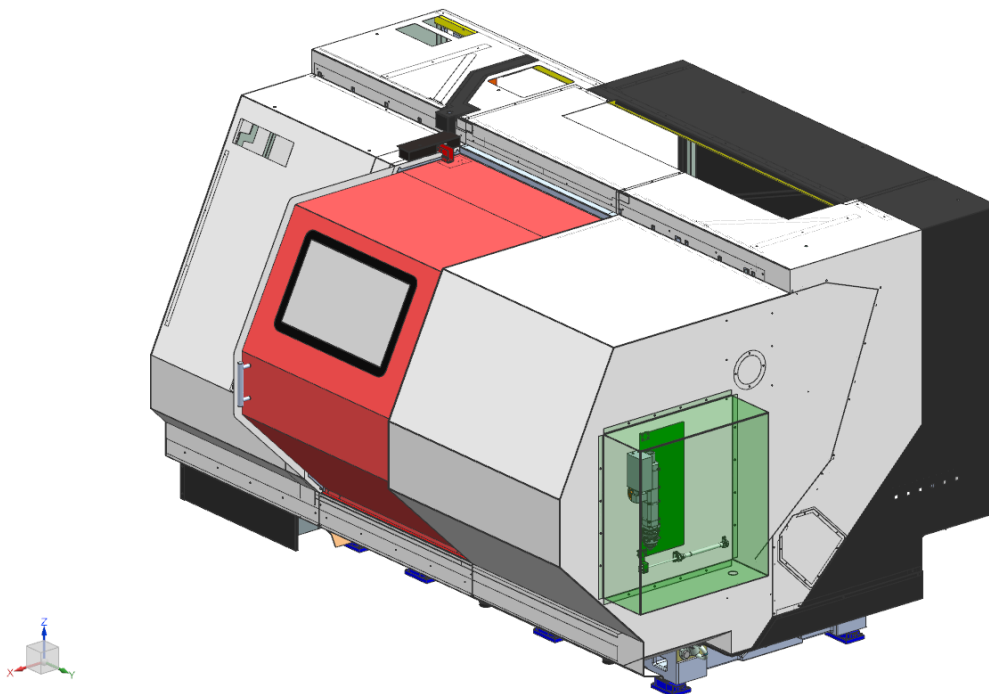
Při návrhu parkovací polohy, která je představena na Obr. 74 a na Obr. 75, se vycházelo z toho, že při provádění běžných soustružnických funkcí stroje laserová hlava potřebuje ochranu proti zvýšené vlhkosti, která určitě vznikne při obrábění s použitím řezné kapaliny. Proto byl navržen speciální ochranný box, ve kterém je laserová navařovací hlava během obrábění skryta (viz Obr. 76). Ochranný box se skládá z plechu, jehož velikost byla učená tak, aby mohla umístit navařovací hlava, dvířek s otvorem pro držák laserové hlavy a kabely na prášek a přívod laserové energie a pneumatického pístu, který



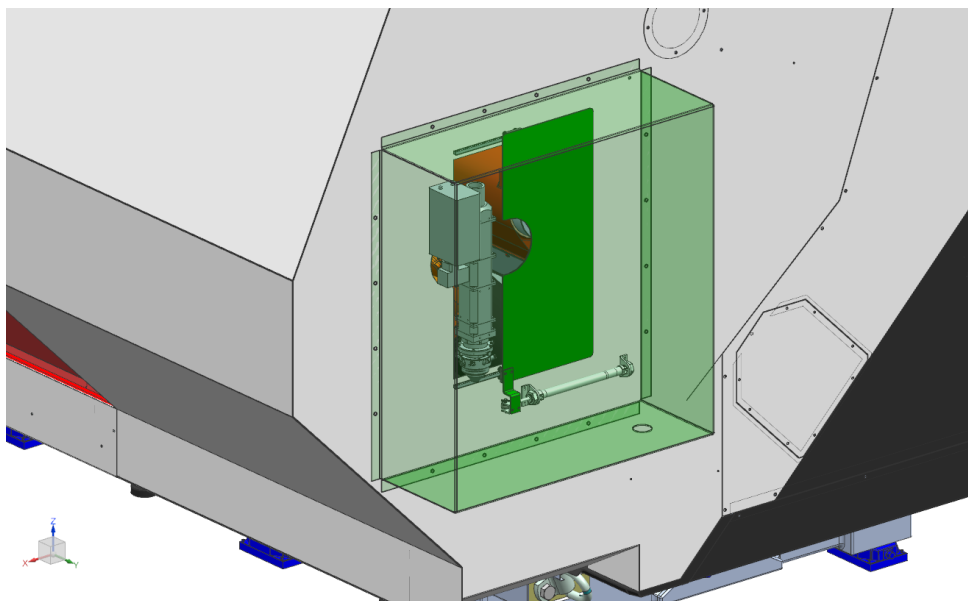
ovládá pohyb dvířek. Jinou variantou místo ochranného boxu by mohl být výměník nástrojů, který by obsahoval jednak laserová zařízení, jednak nástroje pro obrábění, různé grippery anebo jiné technologické nadstavce.



*Obr. 74 Ukázka parkovací polohy stroje v trimetrickém pohledu*



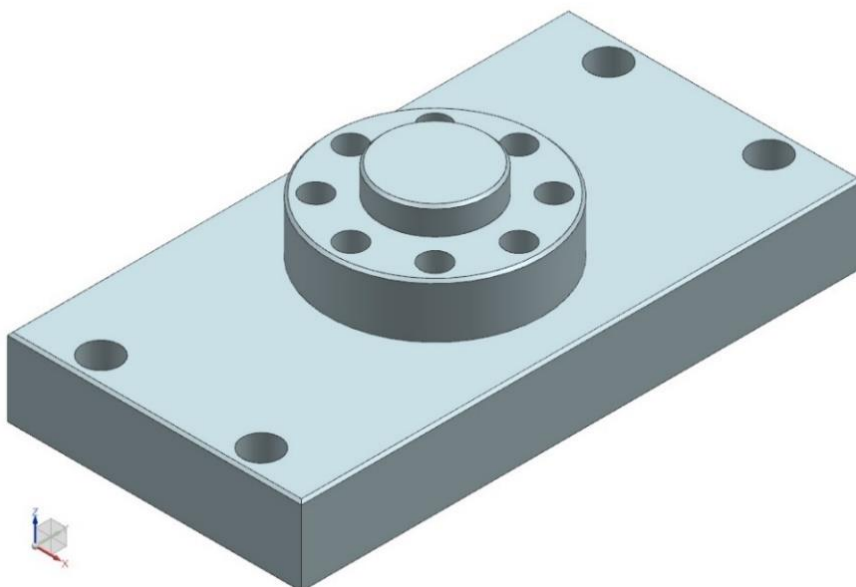
*Obr. 75 Ukázka laserové hlavy ve speciálním ochranném boxu*



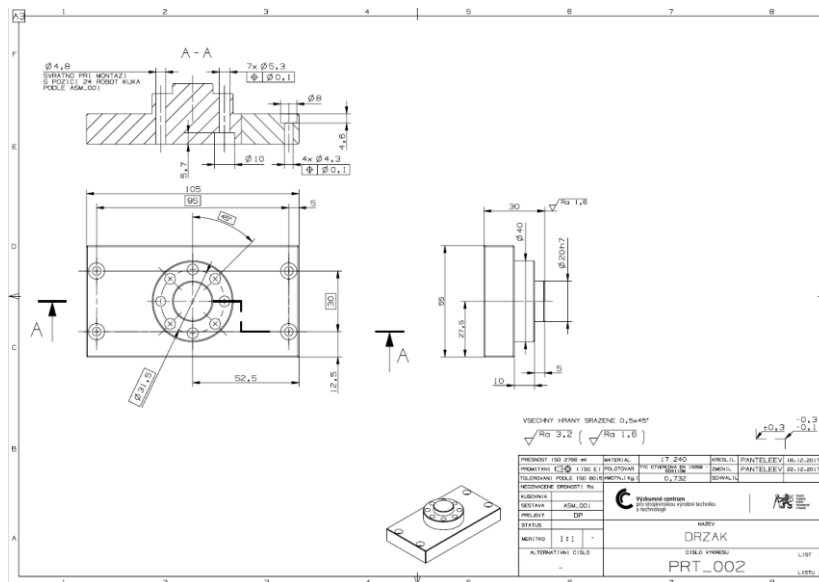
*Obr. 76 Podrobnější ukázka otevřených dveří ochranného boxu*

## **6.2 Kontrola nosnosti zvoleného robotu**

Pro upevnění laserové navařovací hlavy na zvoleném robotu byl navržen speciální držák (viz Obr. 77), který odpovídá montážním požadavkům jednak ze strany robotu KR10 1420 HP, jednak ze strany laserové navařovací hlavy Laserline OTS-5. Ilustrační obrázek výrobního výkresu držáku je zobrazen na Obr. 78. Hmotnost navrženého držáku je 0,7 kg.



*Obr. 77 Držák pro laserovou hlavu*



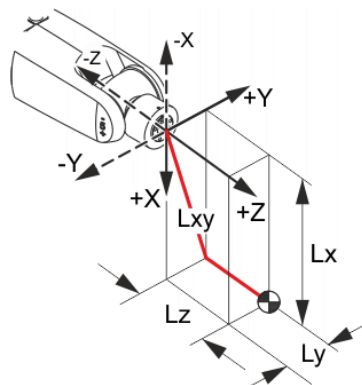
Obr. 78 Ilustrační obrázek výrobního výkresu držáku PRT\_002

Pro kontrolu nosnosti robotu v posledním kloubu je nutno vědět hmotnost a polohu těžiště manipulovaných objektů. Jinak pro přesnější kontrolu je také potřeba spolu s polohou těžiště a hmotnosti vědět navíc momenty setrvačnosti manipulovaného objektu a pak využít tyto data v speciálním softwaru, který je určen pro kontrolu nosnosti konkrétního robotu.

Hmotnost všech manipulovaných objektů zahrnuje hmotnost laserové hlavy OTS-5, držáku, 7 šroubů M5x25 DIN 912 (hmotnost kolíku se zanedbává kvůli hmotností kolem 0,001 kg). Výpočet této hmotnosti je proveden v následujícím vzorci (1).

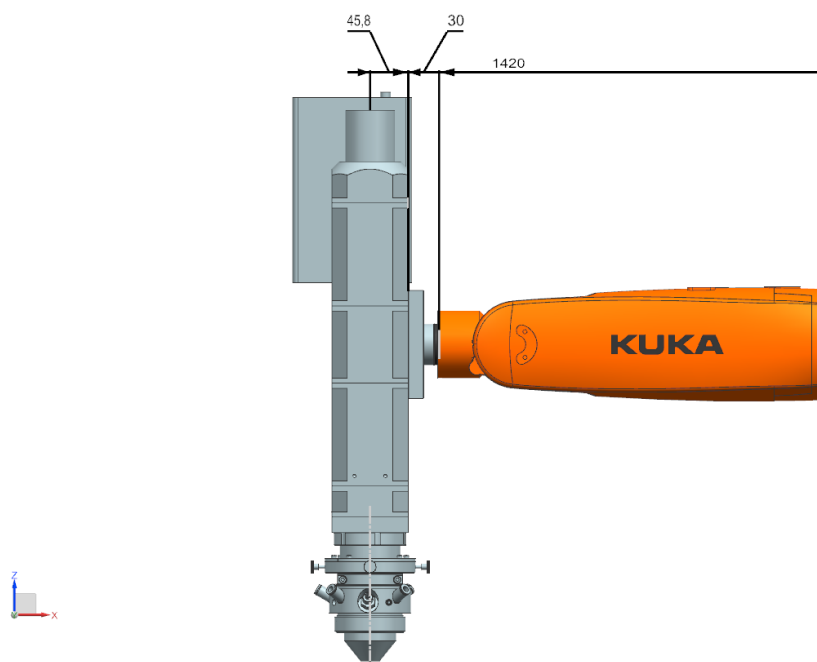
$$M = m_{lh} + m_d + 7 \cdot m_s = 4,7 + 0,723 + 7 \cdot 0,048 = 5,4566 \text{ kg} \quad (1)$$

Bohužel, poloha těžiště se výrobcem neposkytuje a je tedy neznámá. Proto pro zpětnou kontrolu se bude uvažovat, že se těžiště všech manipulovaných objektů se nachází v ose navařování laserové hlavy a zároveň v ose Z podle Obr. 79.



Obr. 79 Vzdálenosti těžiště od zápěstí, které se používají pro kontrolu nosnosti [40]

Pokud se těžiště bude nacházet uvnitř označené oblasti s příslušnou hmotou, nosnost robotu se prohlašuje za dostačující. Bod těžiště pro danou laserovou hlavu, je na níže uvedeném Obr. 80, označen červeně.

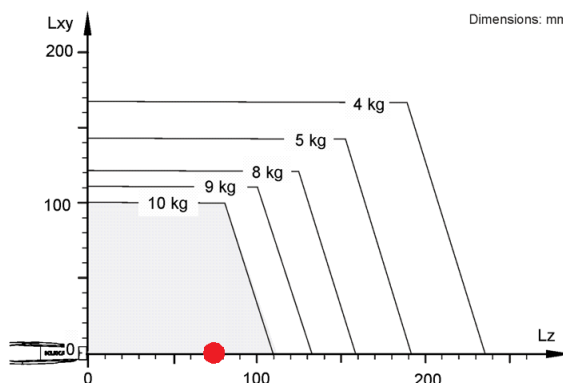


Obr. 80 Výpočet vzdálenosti osy navařování od zápěstí robotu KR10 1420 HP

Vzdálenost předpokládaného těžiště manipulovaných objektů od zápěstí zvoleného robotu v ose Z Obr. 80 je vypočítaná podle následujícího vzorce (2)

$$L_1 = l_1 + l_2 = 45,8 + 30 = 75,8 \text{ mm} \quad (2)$$

Táto zjištěná hodnota vzdáleností těžiště manipulovaných objektu se vynese na příslušný diagram pro kontrolu nosností robotu KR10 1420 HP (Obr. 81). Pro provedení kontroly je třeba stanovit, zda se hmotnost manipulovaných objektů se nachází uvnitř dovolené oblasti pro danou vzdálenost těžiště.

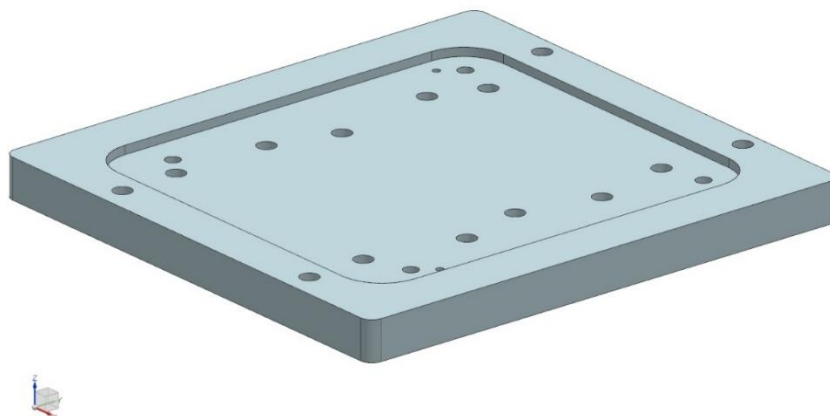


Obr. 81 Předpokládaná vzdálenost těžiště manipulovaných objektů na diagramu pro kontrolu nosnosti robotu KR10 1420 HP [40]

Spočítaná hmotnost manipulovaných objektů  $M$  se nachází uvnitř dovolené oblasti pro předpokládanou vzdálenost těžiště, tím pádem lze konstatovat, že s ohledem na uvedené výše předpoklady, nosnost robotu je dostačující. Hodnoty  $M$  a  $L$  nejsou hraniční podle diagramu na Obr. 81, což znamená, že zvolený robot má rezervu nosnosti. Tato rezerva je nutná vzhledem k neznámým hodnotám kabelů pro laserovou energii a přívod prášku.

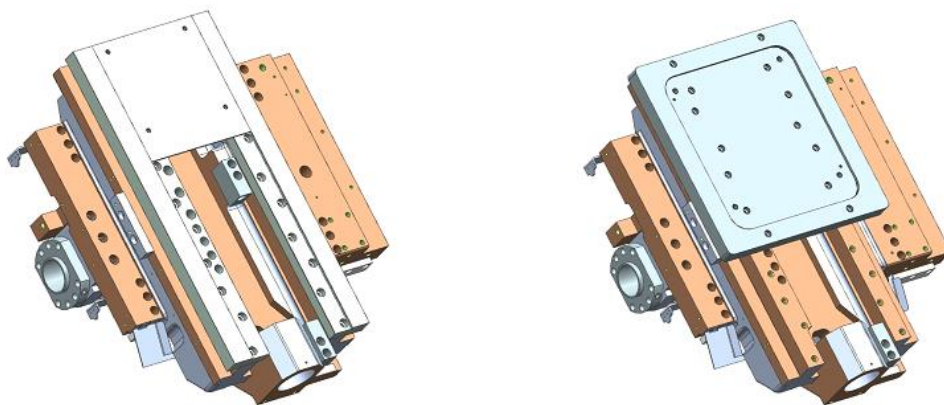
### **6.3 Kontrola umístění průmyslového robotu na saně osy Z2 prostřednictvím navržené podložky**

Pro upevnění robotu na saních osy Z2 je navržená speciální deska (Obr. 82), která byla navržená tak, aby vyhovovala montážním požadavkům robotu KUKA KR10 1420 HP (tloušťka, kvalita povrchu, rozměry celkové a rozměry pro závity a kolíky), a také, aby bylo možné ji namontovat na saně osy Z.



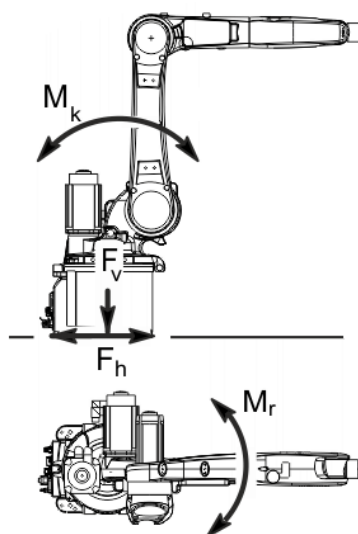
*Obr. 82 Deska pro upevnění robotu na stroji*

Pro montáž na saně je potřeba nejprve odstranit lišty lineárního vedení pro osu X2 a využít díry se závitem pro upevnění tohoto vedení (Obr. 83).



*Obr. 83 Montáž desky na saně spodní osy*

Kontrola desky bude probíhat maximálními zatíženími na základ robotu KR10 1420 HP, které jsou uvedené v katalogu a zobrazené níže na Obr. 84.



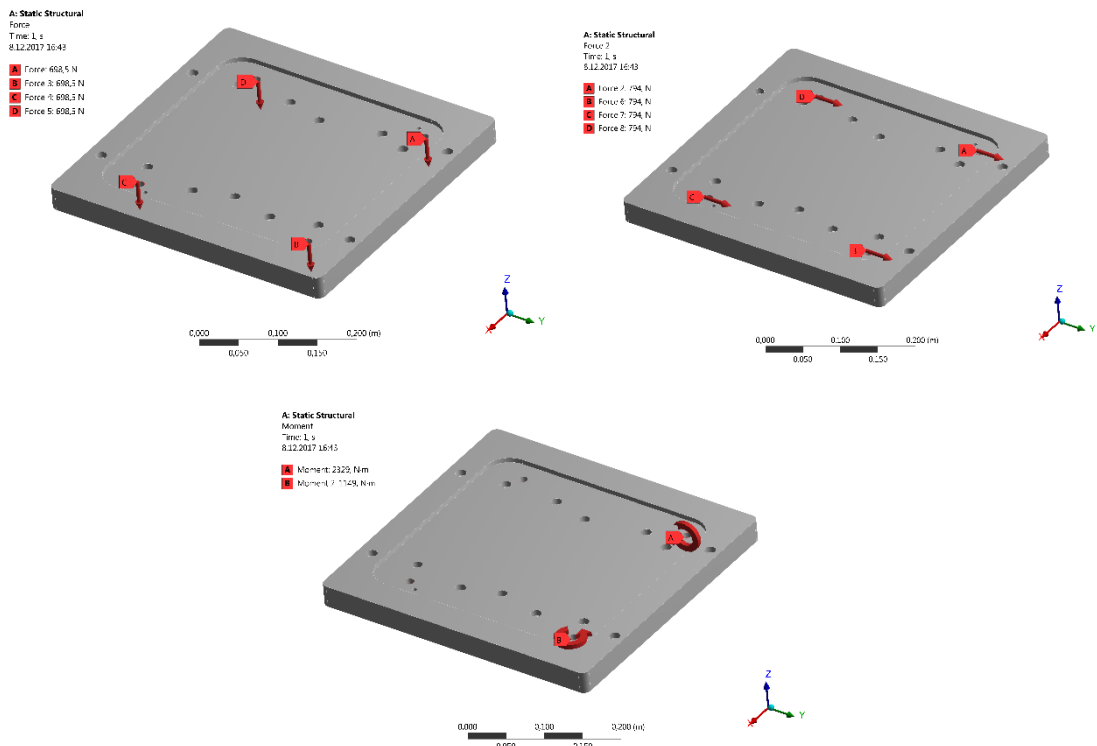
Foundation loads for ceiling mounting position	
F(v normal)	2712 N
F(v max)	2794 N
F(h normal)	1282 N
F(h max)	1624 N
M(k normal)	1832 Nm
M(k max)	2329 Nm
M(r normal)	1029 Nm
M(r max)	1149 Nm

Obr. 84 Zatížení základu robotu [40]

Kontrola navržené desky je provedená v softwaru ANSYS 17.0 a zahrnovala následující kroky:

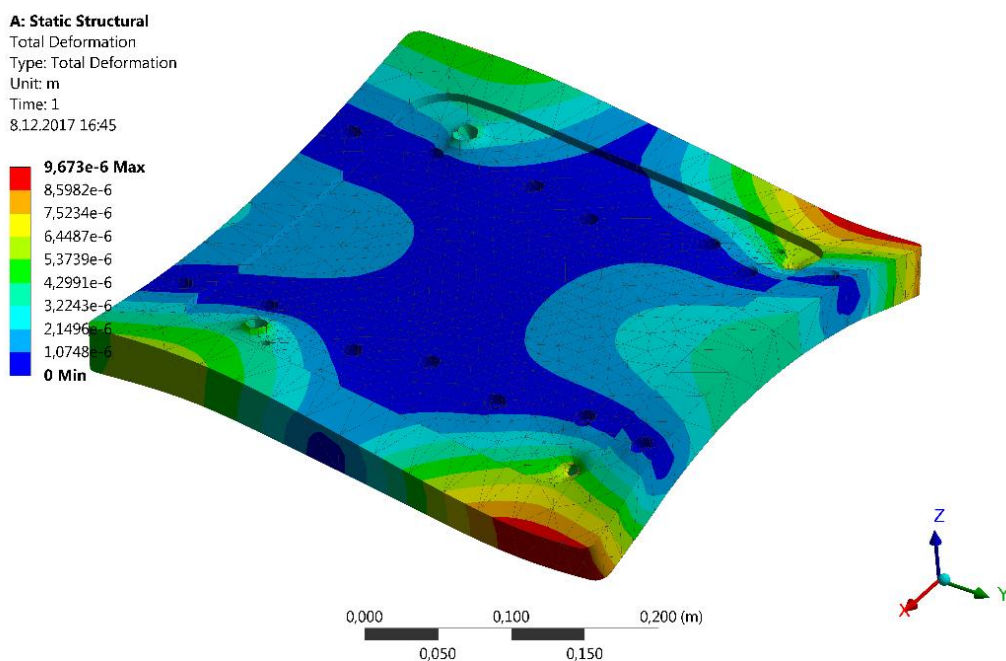
1. Volba statické analýzy v ANSYS Workbench 17.0
2. Nahrání modelu desky do prostředí ANSYS
3. Generování sítě (mesh)
4. Přiřazení materiálu (v tomto případě je ocel)
5. Zavedení pevných podpor (v místech zahloubení pro šrouby pro spojení desky a saní osy Z2)
6. Zavedení všech zatížení podle manuálu (Obr. 85)
7. Výpočet celkové deformace

Výsledek celkové deformace je zobrazen na Obr. 86



Obr. 85 Zatížení desky v softwaru ANSYS

Nejdůležitějším výsledkem této studie v softwaru ANSYS je maximální celková deformace, která je rovná  $\varepsilon = 9.673 \cdot 10^{-6}$  m. Za zmínku stojí také, že počítané hodnoty zatížení jsou maximální, se kterými je robot schopen plnit své pohybové funkce. Proto se jedná se o orientační výpočet, který v sobě zahrnuje dostatečnou rezervu



Obr. 86 Celková deformace

Dále je potřeba stanovit, zda navřená deska bude zdrojem velkých geometrických chyb, které by mohly ovlivnit proces navařování. Vliv je vypočítán pomocí násobení maximální deformace desky pracovním rozsahem celého robotu. Tím bude stanoveno, jaký vliv má deformace desky na programovaný bod navařování. Nejprve je potřeba stanovit vzdálenost programovacího bodu pro navařování od vzdáleností, kterou reprezentuje pracovní rozsah.

Pracovní rozsah se počítá jako maximální vzdálenost zápěstí robotu od základu. Pracovní rozsah robotu s namontovanou laserovou navařovací hlavou je větší díky jednak samotné laserové navařovací hlavě, jednak díky držáku pro spojení laserové hlavy a zápěstí robotu. Pro výpočet maximální vzdálenosti  $L$  jsou použité hodnoty z Obr. 80, výpočet je dan vztahem (3).

$$L = l_1 + l_2 + R = 45,8 + 30 + 1420 = 1495,8 \text{ mm} \quad (3)$$

Podle vzorce (4), maximální deformace na pracovním rozsahu robotu s připevněnou hlavou pro laserové navařování způsobí následující odchylku:

$$X = \varepsilon \cdot L = 1495,8 \cdot 9,673 \cdot 10^{-3} = 1,652 \text{ mm} \quad (4)$$

Vzhledem k tomu, že tato odchylka byla vypočítána pro všechna maximální zatížení, která působí najednou, takový případ lze chápat jako extrémní a taková situace by se neměla nastat během správné práce robotu ve stroji čili pojezdu v ose  $Z_2$ , parkování v určené poloze a plnění navařovacích funkcí. Navíc všechny chybné rozměry, které se vzniknou po navařování na výrobek, lze odstranit odebráním materiálu na samotném stroji.



## **7. Zhodnocení technologie hybridní výroby s využitím průmyslového robotu ve stroji**

Po integraci robotu s navařovací laserovou hlavou do pracovního prostoru soustružnického stroje SP 430 bude možno použití strojem hybridní technologie výroby. Je to podobné jako u ostatních hybridních strojů: už existující stroj byl rozšířen o možnost laserového navařování, ale na rozdíl od jiných strojů, navařovací hlava je umístěna na průmyslovém robotu, který díky svému pohybu v 6 osách má lepší polohovací možnosti, než přídatné osy u většiny strojů. Relativně nízká přesnost lineární dráhy a opakovatelnost polohy robotu  $\pm 0,04$  mm s ohledem na funkci není odporující, neboť pokud bude požadována větší přesnost samotného obrobku, výrobek je možné doobrobit na konečnou a požadovanou přesnost.

Řízení robotu se provádí jako částí stroje. Pro uživatele stroje to znamená ovládání z jednoho panelu s použitím G-kódu s využitím všech programovacích metod SINUMERIKu. Samozřejmě, je potřeba zaškolení obsluhy pro doplnění znalostí ohledně nových funkcí stroje, ale v podstatě není potřeba se učit ovládání robotu pomocí robotických softwarů, programovacích jazyků atd.

Taková integrace nového zařízení do řídicího systému existujícího stroje znamená změny jednak v řídicím systému, což je složitá záležitost, která by měla být prováděná pracovníky s velkými zkušenostmi v oblasti řídicích systémů, a změnu v PLC projektu, do kterého je potřeba přidat nová zařízení a funkce pro ovládání těmito zařízeními. Také je potřeba naprogramovat nové bezpečnostní funkce.

Je potřeba počítat s tím, že stroj a robot jsou řízené v různých kanálech, což znamená nemožnost pohybu robotu a stroje zároveň. Takže například pro navařování po celém obvodě válce, je potřeba navařit část obvodu, pootočít obrobek a navařit další část válce.

Řízení v ose Z2 je provedeno ve stejném kanále společně s průmyslovým robotem. Pro robot to znamená, že všechny jeho potřebné pohyby robotu se budou provádět v jednom kanále, což se jeví jako vhodné řešení jednak z hlediska programování, jednak z hlediska ovládání. Tím z původní 6-osé konfigurace vznikne 7-osá (6 os robotu + 1 lineární osa).

Při integraci robotu jsou potřeba jen menší zákroky do konstrukce stroje, což znamená mírnou úpravu krytování. Samotný robot z hlediska konstrukce potřebuje jen podložku, prostřednictvím které bude připevňován a desku na upevnění laserové navařovací hlavy.

I když není potřeba měnit nosnou konstrukci stroje, stejně je potřeba změna krytování stroje, neboť robot potřebuje větší prostor pro své pohyby a parkovací polohu pro ukrytí laserové hlavy. Tento konstrukční zásah zvětšuje zástavbový prostor stroje. Jelikož se předpokládá navařování kovového prášku laserem, zástavbový prostor stroje se rozšíří o zdroj laserové energie, chladicí zařízení pro laserový zdroj a navařovací hlavu, zásobník prášku a zařízení na přívod prášku.

Pokud nebude zrovna zakázka na výrobek, který by bylo nutno vyrobit pomocí hybridní technologie, je možnost využití klasické varianty stroje SP 430. A naopak, stroj se může použít pouze k navařování, pokud je potřeba.

Jednou z nevýhod může být složitější servis stroje. Vzhledem k tomu, že do stroje přibývá další samostatné a principiálně jiné zařízení, v případě poruchy nebo servisu je potřeba využít servisních služeb nejen výrobce stroje Kovosvit MAS, a.s., ale i výrobce robotu KUKA.

Zatím Siemens plně podporuje integraci do svého řídicího systému jen pro roboty firmy KUKA, ale výhledově se pracuje na další variantě Run MyRobot Controlling, v které motory robotu budou se řídit pomocí frekvenčních měničů Siemens, což by ve výsledku znamenalo možnost použití robotů jiných výrobců pro integraci. Tato opce určitě přispívá k rychlejšímu rozvoji integrace průmyslových robotů do strojů, neboť výrobce strojů by mohly integrovat do svých strojů průmyslové roboty právě těch firem, se kterými spolupracují a tím vytvářet zcela nové modely strojů, které by měli mnohem větší variabilitu výrobků.

V budoucnu integrace robotu do pracovního prostoru stroje má velké perspektivy: při použití robotem výměnných technologických hlav, flexibilita stroje významně vzroste, neboť robot může plnit různé technologické funkce, jako kalení, různá měření, kartáčování, odstraňování ořepů, odjehlování atd. Funkce, které bude plnit robot, budou záležet pouze na výměnných hlavách, který bude mít uživatel k dispozici.

V následující Tab. 5 jsou shrnuté všechny popsané výhody a nevýhody.

Výhody	Nevýhody
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Možnost práce stroje v režimu Hybrid Manufacturing</li> <li>• Řízení robotu jako integrované části stroje –pro uživatele není nutná znalost robotického know-how</li> <li>• Není nutno měnit nosnou konstrukci stroje</li> <li>• Může pracovat jako normální stroj, pokud je potřeba jenom obrábět</li> <li>• Může pracovat jako navařovací stroj, pokud je potřeba jenom navařovat</li> <li>• V podstatě místo navařovací hlavy lze použít i jiné technologické nástavce (frézovací vřetena, měřicí zařízení, gripperly atd.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nelze interpolovat robot a stroj zároveň</li> <li>• Zásahy do krytování</li> <li>• Zásahy do řídicího systému a PLC stroje</li> <li>• Zvětšení zástavbového prostoru stroje</li> <li>• Složitější servis</li> <li>• Zatím lze integrovat jen roboty KUKA</li> </ul>

*Tab. 5 Shrnutí výhod a nevýhod integrace robotu do pracovního prostoru soustruhu SP430*

## 8. Závěr

Na začátku práce byla provedená rešerše, která se týkala několika oblastí. V oblasti průmyslových robotů, kde byly uvedené jejich rozdělení, důležité parametry a možnost integrace do stroje. V další části rešerše byly probrané výhody použití laserové technologie s uvedením možných výrobků a oblastí použití. V poslední části rešerše byly uvedené příklady existujících strojů.

Dále následoval výběr vhodného robotu, který se prováděl s ohledem na důležité parametry jako možnost plné integrace řízení do CNC stroje, dostatečná nosnost, dostatečný pracovní rozsah, možnost montáže pod úhlem, vysoký stupeň ochrany proti prachu a vodě. Nejvíce vyhovujícím průmyslovým robotem, vyhovujícím všem stanoveným požadavkům, je robot KR10 1420 HP firmy KUKA.

V další části práce byly popsány různé možnosti integrace řízení průmyslového robotu do řídicího systému stroje. Bylo stanoveno, že nejlépe vyhovující varianta propojení průmyslového robotu a řídicího systému SINUMERIK 840d sl je varianta Run MyRobot Machining, jehož podstata a princip funkce byly popsány v kapitole 5. Poslední částí této kapitoly byla ukázka realizace řízení robotu KUKA KR60 HA s frézovacím vřetenem řídicím systémem SINUMERIK pomocí ovládání z operačního panelu Siemens.

Dále následovalo konstrukční rozpracování vybrané varianty. Byly navrženy dvě pracovní polohy robotu: navařovací a parkovací. Pro parkovací polohu byl navržen speciální ochranný box, určený pro ochranu laserové navařovací hlavy.

V poslední části práce bylo provedeno zhodnocení technologie hybridní výroby pomocí průmyslového robotu. Byly popsány výhody a nevýhody přestavby stroje SP 430 na hybridní stroj s laserovým navařováním, které je realizováno pomocí průmyslového robotu SP430.

Hlavním výsledkem této práce je posouzení, že je možné přestavět soustružnický stroj SP430 na hybridní stroj s laserovým navařováním, realizovaným prostřednictvím robotu, který se nachází v pracovním prostoru stroje a je propojen s řídicím systémem stroje na úrovni polohové vazby. Integrace průmyslových robotů do pracovních prostorů strojů má velké perspektivy, neboť stroj po takové integraci může výrazně rozšířit řadu plněných funkcí a technologií.

## 9. Seznamy

### 9.1 Seznam obrázků

Obr. 1 První robot, navržený Georgem Devolem a Josephem Engelbergerem [1] ...	- 12 -
Obr. 2 KUKA FAMULUS [1] .....	- 12 -
Obr. 3 První svařovací robot firmy Kawasaki [1] .....	- 13 -
Obr. 4 První robot s integrovaným laserovým systémem od Reis Robotics [1].....	- 13 -
Obr. 5 Přehled 15 největších trhů průmyslových robotů [1] .....	- 14 -
Obr. 6 Předpověď poptavky robotů v rocích 2017-2020 [1] .....	- 15 -
Obr. 7 Nejčastější typy robotů [1] .....	- 16 -
Obr. 8 Spolupráce robotu ABB a soustruhu [4].....	- 17 -
Obr. 9 Obvyklé označení os robotu [5].....	- 18 -
Obr. 10 Ukázka pracovního rozsahu robotu [5] .....	- 19 -
Obr. 11 Opakovatelnost a přesnost. (A) je programovaná poloha koncového bodů, (B) je skutečná poloha koncového bodu, AP je přesnost, RP je opakovatelnost [6].	- 20 -
Obr. 12 Voděodolný robot KR AGILUS se stupněm krytí IP67 [8] .....	- 20 -
Obr. 13 Robot KUKA KR QUANTEC manipuluje s obrobky [9].....	- 21 -
Obr. 14 Robot KUKA se používá ke výměně nástrojů ve strojích DMG[10].....	- 22 -
Obr. 15 Robot KUKA KR QUANTEC, manipulující s paletami[8] .....	- 22 -
Obr. 16 Ukázka spojení strojů pomocí robotů [11] .....	- 23 -
Obr. 17 Ukázka práce robotu odstraňujícího otřepy [12] .....	- 23 -
Obr. 18 Výroba dílce odebráním materiálu [13].....	- 24 -
Obr. 19 Výroba stejného dílce technologií Hybrid Manufacturing (oranžově jsou označené místa svarů, modře jsou označené obrobené funkční plochy) [13] ...	- 25 -
Obr. 20 Vytváření funkčních povrchů z materiálů, odlišných od materiálu dílce [24] .....	- 25 -
Obr. 21 Ukázka procesu opravy turbinové lopatky a výsledek procesu [25] .....	- 26 -
Obr. 22 Příklad dílce s vnitřními kanály [13] .....	- 27 -
Obr. 23 Příklad dílce s vnitřními podpůrnou strukturou [13] .....	- 27 -
Obr. 24 Metoda SLM [15] .....	- 29 -
Obr. 25 Metoda LMD (1-laserový paprsek, 2-nanšený prášek v ochranné atmosféře, 3- podkladový materiál, 4-nanesený materiál) [16] .....	- 29 -
Obr. 26 Metoda wire feeding cladding [17] (1 paprsek, drat, podkladový material, nanesená vrstva).....	- 30 -
Obr. 27 Metoda paste laser cladding [18].....	- 30 -

Obr. 28 Varianty konfigurace laserové hlavy Precitec YC52 [19].....	- 32 -
Obr. 29 Modulární design procesních hlav OTS – Laserline [20].....	- 33 -
Obr. 30 Coherent HighLight D-Series [21] .....	- 34 -
Obr. 31 Fraunhofer COAXwire [22] .....	- 35 -
Obr. 32 MWO powder optics [23].....	- 35 -
Obr. 33 Mazak INTEGREGX i-400AM [24].....	- 36 -
Obr. 34 Hamuel Reichenbacher HSTM 1500 [25] .....	- 37 -
Obr. 35 WFL – MILLTURN M80 [26] .....	- 38 -
Obr. 36 DMG MORI Lasertec 65 3D [25] .....	- 38 -
Obr. 37 Sodick OPM 250L [28] .....	- 39 -
Obr. 38 Soustružnické centrum SP 430 [29] .....	- 41 -
Obr. 39 Rozložení os na soustruhu SP 430 [29] .....	- 43 -
Obr. 40 Požadovaný navařovací prostor .....	- 45 -
Obr. 41 Body pro vyhodnocení možností navařování .....	- 45 -
Obr. 42 robot IRB 1200 s dosahem 900 mm [30] .....	- 46 -
Obr. 43 Ukázka možností dosažení bodů 1-4 robotem IRB 1200 .....	- 47 -
Obr. 44 Maximální úhly dosažitelné robotem IRB 1200.....	- 47 -
Obr. 45 Robot IRB 1600 10/1.2 [31] .....	- 48 -
Obr. 46 Ukázka možností dosažení bodů 1-4 robotem IRB 1600 .....	- 48 -
Obr. 47 Ukázka orientace navařovací hlavy v bodech 3 a 2.....	- 49 -
Obr. 48 KUKA KR10 1420 HP [32] .....	- 50 -
Obr. 49 Run MyRobot Easy Connect [33] .....	- 51 -
Obr. 50 Ukázka rozhraní RMR Easy Connect v Sinumerik Operate [35].....	- 52 -
Obr. 51 Run MyRobot Handling [33].....	- 52 -
Obr. 52 Ukázka rozhraní RMR Handling v Sinumerik Operate [34].....	- 53 -
Obr. 53 Run MyRobot Machining [33] .....	- 54 -
Obr. 54 Ukázka rozhraní RMR Machining v SINUMERIK Operate [36].....	- 55 -
Obr. 55 Porovnání různých variant propojení Run MyRobot [35].....	- 55 -
Obr. 56 Schematické znázornění propojení robotu a řídicího systému SINUMERIK [36] .....	- 56 -
Obr. 57 Topologie PROFINET komunikace. NCU SINUMERIK – 1, KR C4 – 2, synchronizační jednotka IM 151-3 PN HF – 3 [36] .....	- 57 -
Obr. 58 Schematická ukázka možné práce stroje a robotu najednou pomocí synchronizačních značek .....	- 58 -

Obr. 59 Princip synchronizace pomocí časového signálu [35].....	- 59 -
Obr. 60 Ukázka os A, B a C na nástroji podle RMR Machining [36].....	- 61 -
Obr. 61 Nastavení pořadí otáčení jednotlivých os [36] .....	- 61 -
Obr. 62 STAT=(,B001‘)[36] .....	- 62 -
Obr. 63 STAT=(,B010‘)[36] .....	- 62 -
Obr. 64 STAT=(,B101‘)[36] .....	- 63 -
Obr. 65 STAT=(,B101‘)[36] .....	- 63 -
Obr. 66 Směr otáčení jednotlivých kloubů pomocí proměnné TU [36] .....	- 64 -
Obr. 67 KUKA KR60 HA s frézovacím vřetenem HSD [35] .....	- 65 -
Obr. 68 Ovládací (vpravo) a řídicí stojany pro komponenty Siemens SINUMERIK [35] .....	- 65 -
Obr. 69 Ukázka projektu Run MyRobot/Machining v STEP 7 .....	- 66 -
Obr. 70 Původní model stroje, poskytnutý firmou Kovosvit MAS, a.s.....	- 67 -
Obr. 71 Ukázka navržené konstrukce soustruhu s integrovaným robotem .....	- 67 -
Obr. 72 Ukázka navařovací polohy robotu v trimetrickém pohledu .....	- 69 -
Obr. 73 Ukázka navařovací polohy robotu v narysu .....	- 69 -
Obr. 74 Ukázka parkovací polohy stroje v trimetrickém pohledu.....	- 70 -
Obr. 75 Ukázka laserové hlavy ve speciálním ochranném boxu.....	- 70 -
Obr. 76 Podrobnější ukázka otevřených dveří ochranného boxu .....	- 71 -
Obr. 77 Držák pro laserovou hlavu.....	- 71 -
Obr. 78 Ilustrační obrázek výrobního výkresu držáku PRT_002 .....	- 72 -
Obr. 79 Vzdálenosti těžiště od zápěstí, které se používají pro kontrolu nosností [40]..... .....	- 72 -
Obr. 80 Výpočet vzdálenosti osy navařování od zápěstí robotu KR10 1420 HP.....	- 73 -
Obr. 81 Předpokládaná vzdálenost těžiště manipulovaných objektů na diagramu pro kontrolu nosnosti robotu KR10 1420 HP [40].....	- 73 -
Obr. 82 Deska pro upevnění robotu na stroji.....	- 74 -
Obr. 83 Montáž desky na saně spodní osy.....	- 74 -
Obr. 84 Zatížení základu robotu [40].....	- 75 -
Obr. 85 Zatížení desky v ANSYS.....	- 76 -
Obr. 86 Celková deformace .....	- 76 -

## 9.2 Seznam tabulek

Tab. 1 Parametry vybraných typů laserů [19].....	- 31 -
Tab. 2 Parametry uvedených hybridních strojů [14] .....	- 40 -
Tab. 3 Parametry stroje SP 430 [29].....	- 42 -
Tab. 4 Parametry robotu KR10 1420 HP [32].....	- 50 -
Tab. 5 Shrnutí výhod a nevýhod integrace robotu do pracovního prostoru soustruhu SP430.....	- 80 -

## 9.3 Seznam použitého software

Microsoft Office Word 2013

Microsoft Office Excel 2013

NX 10.0

ABB RobotStudio 6.04.01

ANSYS 17.0

Adobe Illustrator CC 2017

## 9.4 Seznam zdrojů

- [1] IFR Federation of Robotic [online]. [cit. 2017-12-21]. Dostupné z: <https://ifr.org/>
- [2] White Paper: Flexible Automation of Machine Tending Operations. ROBOTIQ [online]. [cit. 2017-06-27]. Dostupné z: <http://blog.robotiq.com/bid/59492/White-Paper-Flexible-Automation-of-Machine-Tending-Operations>
- [3] SKAŘUPRA, Jiří. Průmyslové roboty a manipulátory. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2008. ISBN 978-80-248-1522-0
- [4] White Paper: Flexible Automation of Machine Tending Operations. ROBOTIQ [online]. [cit. 2017-06-27]. Dostupné z: <http://blog.robotiq.com/bid/59492/White-Paper-Flexible-Automation-of-Machine-Tending-Operations>
- [5] How to Choose the Right Industrial Robot? Robotiq [online]. [cit. 2017-06-27]. Dostupné z: <http://blog.robotiq.com/bid/70408/How-to-Choose-the-Right-Industrial-Robot>
- [6] Product specification IRB 1600/1660. ABB [online]. [cit. 2017-06-27]. Dostupné z: <https://search->



[ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC023604-001&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch](http://ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC023604-001&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch)

- [7] Ingress Protection. Secure Systems & Technologies Ltd [online]. [cit. 2017-12-26]. Dostupné z: <http://sst.ws/downloads/Ingress-Protection-iss-4.pdf>
- [8] Optimizing machine tools through automation. KUKA Roboter GmbH [online]. [cit. 2017-12-26]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/en-de/industries/metal-industry/machine-tools>
- [9] KUKA uses two machine tools to manufacture 14 different components – for and with KUKA robots. KUKA Roboter GmbH [online]. [cit. 2017-12-26]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/en-de/industries/solutions-database/2016/07/solution-robotics-hall-10>
- [10] Automation: From the raw to the finished part: Complete know how from a single source. DMG MORI COMPANY LIMITED [online]. [cit. 2017-12-26]. Dostupné z: <https://journal.dmgmori.com/en-us/products/automation>
- [11] Robotic Success Stories. Productivity Inc. [online]. [cit. 2017-12-26]. Dostupné z: <https://www.productivity.com/success-stories/robotic-success-stories/>
- [12] Robotic System for Machining & Deburring Transmission Components - Matrix Design: FANUC America Corporation [online]. [cit. 2017-12-26]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=Tx9DU1ePVyQ&list=PL9679350D4AC4589A&index=15>
- [13] Nejlevnější technologie ADDITIVE MANUFACTURING pro výrobu dílců z kovu byla vyvinuta v České republice [online]. [cit. 2017-12-27]. Dostupné z: [https://www.fs.cvut.cz/go/http://www.rcmt.cvut.cz/file/\[qm\]\\$redakce\\$download\\$cz\\$HM%20tiskova%20zprava%20%20MSV.PDF](https://www.fs.cvut.cz/go/http://www.rcmt.cvut.cz/file/[qm]$redakce$download$cz$HM%20tiskova%20zprava%20%20MSV.PDF) .
- [14] PRONĚK, Jan. Konstrukce hybridního stroje - stroj pro možnost laserového navařování a frézování. Praha, 2016. Diplomová práce. ČVUT v Praze, Ústav výrobních strojů a zařízení. Vedoucí práce Ing. Jan Smolík Ph.D.
- [15] MATERIALGEEZA. SLS system schematic [online]. In: . [cit. 2017-12-26]. Dostupné z: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/33/Selective\\_laser\\_melting\\_system\\_schematic.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/33/Selective_laser_melting_system_schematic.jpg)
- [16] Laser cladding with powder. O.R. Lasertechnologie GmbH [online]. [cit. 2017-12-26]. Dostupné z: <https://www.or-laser.com/en/laser-cladding/laser-cladding-with-powder/>

- [17] Laser cladding with wire. O.R. Lasertechnologie GmbH [online]. [cit. 2017-12-26]. Dostupné z: <https://www.or-laser.com/en/laser-cladding/laser-cladding-with-wire/>
- [18] TOYSERKANI, Ehsan, Amir KHAJEPOUR a Stephen CORBIN. Laser Cladding. CRC PRESS, 2005.
- [19] Cladding head YC52 - basic model. Precitec Group [online]. [cit. 2017-12-26]. Dostupné z: <http://www.precitec.de/en/products/joining-technology/processing-heads/yc52/>
- [20] OTS Optics. Power on the Spot: Modular tools for materials processing. Laserline GmbH [online]. [cit. 2017-12-26]. Dostupné z: [https://www.laserline.de/fileadmin/Dokumente/Broschueren\\_EN/Laserline\\_OT\\_S\\_Optics.pdf](https://www.laserline.de/fileadmin/Dokumente/Broschueren_EN/Laserline_OT_S_Optics.pdf)
- [21] HighLight D-Series: High-Power Direct-Diode Industrial Laser System. Coherent, Inc. [online]. [cit. 2017-12-26]. Dostupné z: <https://edge.coherent.com/assets/pdf/HighLight-D-Series-Data-Sheet.pdf>
- [22] Coaxial laser wire cladding head COAXwire. Fraunhofer IWS [online]. [cit. 2017-12-26] Dostupné z [http://www.iws.fraunhofer.de/en/business\\_fields/surface\\_treatment/laser\\_cladding/system\\_technology/COAXwire.html](http://www.iws.fraunhofer.de/en/business_fields/surface_treatment/laser_cladding/system_technology/COAXwire.html)
- [23] Technology\_MWO-I Powder: Optics for laser cladding. KUKA Robotics GmbH [online]. [cit. 2017-12-26]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/en-de/products/production-systems/standard-products-for-automation/laser-optics>
- [24] INTEGREGX i-400AM. Mazakusa.com [online]. 2017 [cit. 2017-12-26]. Dostupné z: <https://www.mazakusa.com/machines/integrex-i-400am/>
- [25] HYBRID MANUFACTURING. Hamuel.de [online]. [cit. 2017-12-26]. Dostupné z: <http://www.hamuel.de/en/produkte/hstm/hybrid/index.php>
- [26] Turn-Mill Adds Laser Cladding Capability. Additivemanufacturing.media [online]. 2017 [cit. 2017-12-26]. Dostupné z: <http://www.additivemanufacturing.media/products/turn-mill-adds-laser-cladding-capability>
- [27] LASERTEC 65 3D. Dmgmori.com [online]. [cit. 2017-12-26] Dostupné z: <http://en.dmgmori.com/products/lasertec/lasertec-additivemanufacturing/lasertec-65-3d>
- [28] Sodick: Metal 3D Printer-OPM250L [online]. [cit. 2017-12-26]. Dostupné z:

- [http://www.sodick.jp/product/tool/metal\\_3d\\_printer/index.html](http://www.sodick.jp/product/tool/metal_3d_printer/index.html)
- [29] SP 430. KOVOSVIT MAS, a.s. [online]. [cit. 2017-06-27]. Dostupné z: <https://www.kovosvit.cz/sp-430-p13.html>
- [30] IRB 1200: A compact, flexible, fast and functional small industrial robot. ABB [online]. [cit. 2017-12-26]. Dostupné z: <http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-1200>
- [31] IRB 1600: The highest performance 10kg robot. ABB [online]. [cit. 2017-12-26]. Dostupné z: <http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-1600>
- [32] KR 10 R1420 HP. KUKA Robotics GmbH [online]. [cit. 2017-12-26]. Dostupné z: [https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/6b77eecacfe542d3b736af377562ecaa/0000258988\\_en.pdf](https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/6b77eecacfe542d3b736af377562ecaa/0000258988_en.pdf)
- [33] Successful integration. Siemens AG [online]. [cit. 2017-12-26]. Dostupné z: [https://www.industry.siemens.com/topics/global/en/cnc4you/tips\\_and\\_tricks/pages/successful-integration.aspx](https://www.industry.siemens.com/topics/global/en/cnc4you/tips_and_tricks/pages/successful-integration.aspx)
- [34] Application description: Run MyRobot Handling V3.1. Siemens AG [online]. [cit. 2017-12-26]. Dostupné z: [https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/67701073/67701073\\_Application\\_SINUMERIK\\_Run\\_MyRobot-Handling\\_en.pdf](https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/67701073/67701073_Application_SINUMERIK_Run_MyRobot-Handling_en.pdf)
- [35] Švéda, J., et al. Koncepční návrh robotické obráběcí hlavy. Praha. 2017. V-17-066.
- [36] Application example for connection of a KUKA robot with KR C4 to a SINUMERIK 840D sl with NCU 7x0.3: SINUMERIK Integrate Run MyRobot /Machining V2.0. Siemens AG [online]. [cit. 2017-12-26]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/ww/en/view/109478857>
- [37] The dream team for outstanding productivity: SINUMERIK Integrate Run MyRobot integrates robots and machine tools. Siemens AG [online]. [cit. 2017-12-27]. Dostupné z: [http://www.siemens.fi/pool/finland/industry/mc-sinumerik/mc\\_sinumerik\\_esitteet/mc\\_sinumerik\\_esitteet\\_20170426/e20001-a1940-p610-x-7600.pdf](http://www.siemens.fi/pool/finland/industry/mc-sinumerik/mc_sinumerik_esitteet/mc_sinumerik_esitteet_20170426/e20001-a1940-p610-x-7600.pdf)
- [38] Postprocesory pro multifunkční stroje a simulační modely pro analýzu kolizí [online]. [cit. 2017-12-27]. Dostupné z: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/postprocesory-pro-multifunkcni-stroje-a-simulacni-modely-pro-analyzu-kolizi\\_38674.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/postprocesory-pro-multifunkcni-stroje-a-simulacni-modely-pro-analyzu-kolizi_38674.html)

- [39] SINUMERIK 840D sl / 828D Extended Functions: Function Manual. Siemens AG [online]. [cit. 2017-12-27]. Dostupné z: [https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109481520/FB2sl\\_1015\\_en-en-US.pdf?download=true](https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109481520/FB2sl_1015_en-en-US.pdf?download=true)
- [40] KR CYBERTECH nano: Specification. KUKA Robotics GmbH [online]. [cit. 2017-12-27]. Dostupné z: [https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/9cb8e311bfd744b4b0eab25ca883f6d3/kuka\\_kr\\_cybertech\\_nano\\_pack\\_en.pdf](https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/9cb8e311bfd744b4b0eab25ca883f6d3/kuka_kr_cybertech_nano_pack_en.pdf)

## 9.5 Seznam příloh

### Výkresová dokumentace:

LASERPRINT SP 430	ASM_001
DESKA	PRT_001
DRZAK	PRT_002
KRYT	PRT_003

### Elektronické přílohy na CD:

KR CYBERTECH nano - Specification (en).pdf

KUKA - Robotics range (en).pdf

Schema\_zapojeni\_realizace\_RMR\_CIIRC.pdf

PRT\_003.dxf