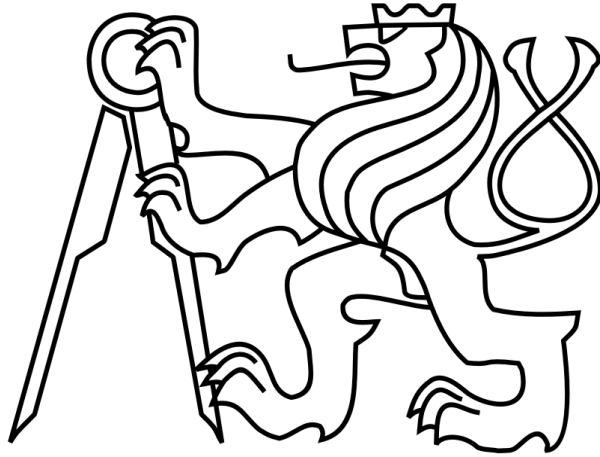


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



# Bakalářská práce

Návrh robotického pracoviště pro svařování dílu karosérie

2017

Jan Pulec

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Pulec** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **439075**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav výrobních strojů a zařízení**  
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Návrh robotického pracoviště pro svařování dílu karosérie**

Název bakalářské práce anglicky:

**The design of robotic workstation for welding of bodywork part**

Pokyny pro vypracování:

Popis tématu:

Návrh uspořádání robotizovaného pracoviště pro svařování dílu střechy karoserie osobního automobilu a 3D simulace činnosti na tomto pracovišti včetně technicko-ekonomického zhodnocení.

Osnova práce:

- rešerše základních částí robotizovaného pracoviště
- rozbor technologického postupu, návrh variant řešení, hodnocení variant a výběr konečného řešení
- rozpracování finální varianty (specifikace hlavních manipulačních a technologických prostředků)
- zpracování návrhového výkresu pracoviště a počítačové 3D simulace činnosti pracoviště
- závěrečné zhodnocení

Rozsah grafické části: návrhový výkres pracoviště a 3D simulace

Rozsah textové části: 40 - 60 stran

Seznam doporučené literatury:

ANDRLÍK, Vladimír a kol. Průmyslové roboty a manipulátory. Praha, ČVUT v Praze, 2012, 236 s.

RUMÍŠEK, Pavel. Automatizace: Roboty a manipulátory. Brno, VÚT v Brně, 2003, 31 s.

SKAŘUPA, Jiří. Průmyslové roboty a manipulátory. Ostrava, VŠB - TU Ostrava, 2007, 260 s. ISBN 978-80-248-2613-4.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Martin Kolář, ústav výrobních strojů a zařízení FS**

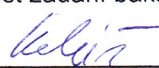
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:


**doc. Ing. Vladimír Andrlík CSc., ústav výrobních strojů a zařízení FS**


Datum zadání bakalářské práce: **09.04.2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **10.07.2017**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2017**

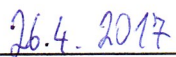
  
Podpis vedoucí(ho) práce

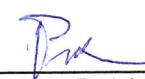
  
Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

  
Podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

  
Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou 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 23.6.2017

  
.....  
podpis

## **Poděkování**

Zde bych chtěl poděkovat vedoucímu práce Ing. Martinu Kolářovi za rady a podněty, kterými mi pomáhal při psaní bakalářské práce. Rád bych také poděkoval doc. Ing. Vladimíru Andrlíkovi, CSc. za připomínky k práci. Velké poděkování patří mým rodičům, kteří mě při celém studiu podporovali a vytvářeli mi zázemí.



# Anotace

Autor:	Jan Pulec
Název BP:	Návrh robotického pracoviště pro svařování dílu karosérie
Rozsah práce:	64 str., 69 obr., 12 tab.
Školní rok vyhotovení:	2017
Škola:	ČVUT FS
Ústav:	Ú12135 – Ústav výrobních strojů a zařízení
Vedoucí BP:	Ing. Martin Kolář
Konzultant:	doc. Ing. Vladimír Andrlík, CSc.
Zadavatel:	ČVUT FS
Využití:	Návrh robotického pracoviště pro svařování s využitím v automobilovém průmyslu
Klíčová slova:	Bodové svařování, svařovací pracoviště, robot, robotické pracoviště, simulace, automotive, layout
Anotace:	Tato práce se zabývá návrhem robotického pracoviště pro svařování dílu karosérie. Jedná se o svaření rámu střechy s příčnou výztuhou. Na základě vypracované rešerše byly navrženy varianty řešení pro zadaný svařovaný díl. Pro zvolenou variantu byl vytvořen 3D model pracoviště. Návrh byl ověřen pomocí 3D simulace.



# Annotation

Author:	Jan Pulec
Title of bachelor dissertation:	The design of robotic workstation for welding of bodywork part
Extent:	64 p., 69 fig., 12 tab.
Academic year:	2017
University:	CTU in Prag – Faculty of Mechanical Engineering
Department:	Ú12135 – Department of productions machines and equipment
Supervisor:	Ing. Martin Kolář
Consultant:	doc. Ing. Vladimír Andrlík, CSc.
Submitter of the Theme:	CTU in Prag – Faculty of Mechanical Engineering
Application:	Design of a robotic workstation for welding in automotive industry
Key words:	Spot welding, welding workstation, robot, robotic workstation, simulation, automotive, layout
Annotation:	This thesis deals with design of a robotic workstation for welding a body part. The welded part is roof frame with traverse reinforcement. On the basis of the elaborated research were designed three options. For the selected option was created the 3D model of the workplace. The design was verified with 3D simulation.



# Obsah

1	Úvod.....	9
2	Zadání .....	10
3	Stav řešené problematiky.....	12
3.1	Úvod do problematiky průmyslových robotů a manipulátorů .....	12
3.2	Rozdělení průmyslových robotů a manipulátorů .....	14
3.2.1	Znaky jednotlivých typů.....	15
3.3	Průmyslové roboty .....	15
3.3.1	Generace robotů.....	15
3.3.2	Kinematická hlediska .....	16
3.3.3	Tuhost konstrukce .....	17
3.3.4	Pohony průmyslových robotů.....	18
3.4	Pracovní hlavice .....	22
3.5	Výroba, prodej a nasazení průmyslových robotů ve světě a Evropě.....	26
3.6	Automatizovaná pracoviště pro svařování .....	27
3.6.1	Používané technologie svařování .....	27
3.6.2	Koncepce robotizovaných pracovišť .....	29
3.6.3	Struktury pracovišť obloukového svařování .....	30
3.6.4	Struktury pracovišť bodového svařování.....	32
3.7	Polohovací manipulátory.....	34
3.8	Konstrukce svařovacích přípravků.....	36
4	Návrh pracoviště pro zadaný díl .....	38
4.1	Popis technologického postupu .....	38
4.2	Návrhové varianty .....	41
4.2.1	Porovnání výrobních časů návrhových variant.....	43
4.2.2	Porovnání nákladů na návrhové varianty .....	45
4.2.3	Další kritéria .....	46
4.2.4	Vyhodnocení variant.....	46
4.3	Rozpracování vybrané varianty.....	46
4.3.1	Odhad výrobního času .....	46
4.3.2	Výběr robotů.....	47
4.3.3	Výběr svařovacích kleští .....	49
4.3.4	Specifikace zařízení pro navařování šroubů .....	49
4.3.5	Specifikace zařízení pro lisování matic .....	51
4.3.6	Specifikace otočného stolu .....	52
4.3.7	Návrh celého pracoviště .....	52
4.4	Kontrola návrhu pomocí offline simulace.....	57
4.4.1	Vyhodnocení simulace .....	58
5	Závěr .....	60
6	Seznamy .....	61
6.1	Seznam obrázků .....	61
6.2	Seznam tabulek .....	62
6.3	Seznam použité literatury.....	63
6.4	Seznam použitého softwaru .....	64
6.5	Seznam příloh.....	64



## Seznam použitých symbolů a veličin

Označení	Název veličiny	Jednotka
$c_F$	tuhost v posunutí	$[N \cdot m^{-1}]$
$c_\varphi$	tuhost v natočení	$[N \cdot m \cdot rad^{-1}]$
$C_-$	cena	$[Kč]$
$F$	síla	$[N]$
$M_k$	kroučící moment	$[N \cdot m]$
$M_{SH}$	superhrubá mzda	$[Kč]$
$n_-$	počet	$[-]$
$N_R$	roční náklady	$[Kč/rok]$
$O_R$	roční odpisy	$[Kč/rok]$
$s$	směnnost	$[-]$
$t_-$	čas	$[s]$
$y$	posunutí	$[m]$
$\varphi$	natočení	$[rad]$





# 1 Úvod

Automatizace je v současné době zásadním hybatelem průmyslové výroby. V historickém vývoji navazuje na předchozí mechanizaci a pásovou výrobu a její podstatou je snížení nároků na přítomnost lidského faktoru při samotné výrobě. Jako každá vývojová fáze sebou přináší změny – mění se požadavky na potřebné dovednosti pracovníků, vznikají nové profese a jiné zanikají. V posledních letech se s rozvojem digitálních a informačních systémů hovoří o 4. průmyslové revoluci (taktéž Průmysl 4.0 ev. Industry 4.0), pro kterou je typické informační propojení mezi jednotlivými automatizovaným stroji, vzájemná komunikace těchto zařízení a následná optimalizace výrobního procesu.

Důležitou součástí automatizace jsou robotizace a obor, který se zabývá roboty – robotika. Z hlediska průmyslové výroby jsou nejdůležitější průmyslové roboty. Roboty nahrazují lidské pracovníky v takových aplikacích, kdy se díky použití robotů dosahuje zvýšení produkce, vyšší kvality a nižší zmetkovitosti. Dále se roboty používají pro úkony, které jsou pro člověka namáhavé nebo příliš monotónní, a pro úkony v nebezpečných (např. výbušných) prostředích.

Tato práce se zabývá návrhem robotizovaného pracoviště pro aplikaci svařování v oblasti automobilového průmyslu. Cílem práce je navrhnout pracoviště pro svaření dílu karoserie a pro provedení následujících technologických operací – navaření šroubů a nalisování matic. Před samotným návrhem bude provedena rešerše problematiky, na jejímž základě budou vypracovány návrhové varianty.

Návrhové varianty budou posuzovány z hlediska běžného uplatnění v průmyslové výrobě – mezi hlavní kritéria tak bude patřit produktivita pracoviště a náklady spojené s pracovištěm – tj. jednorázové investiční náklady a provozní náklady.

Vybraná varianta bude rozpracována v podobě 3D modelu pracoviště. Modely jednotlivých technologických stanovišť a prostředků budou zpracovány zjednodušeně se zachováním vnějších rozměrů, ale bez detailního rozpracování. Samotná konstrukce přípravku nebo úchopné hlavice by byla velice rozsáhlá a není předmětem této bakalářské práce.

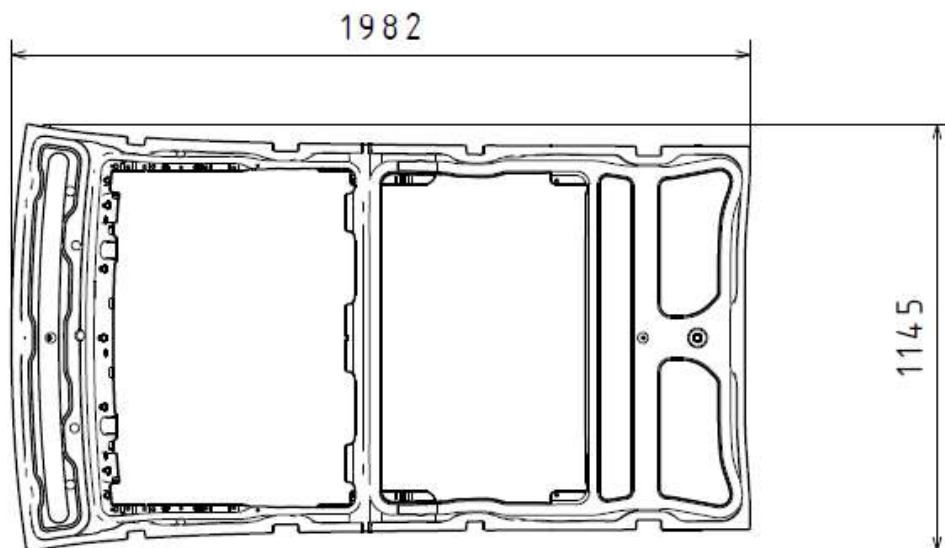
Pro ověření návrhu pracoviště a přesnější stanovení výrobního času bude provedena offline simulace činnosti pracoviště. Pomocí této simulace se také kontrolují dosahy robotů a zda nedochází ke kolizím.

Na základě ověřeného 3D modelu bude následně vytvořen návrhový výkres pracoviště.

## 2 Zadání

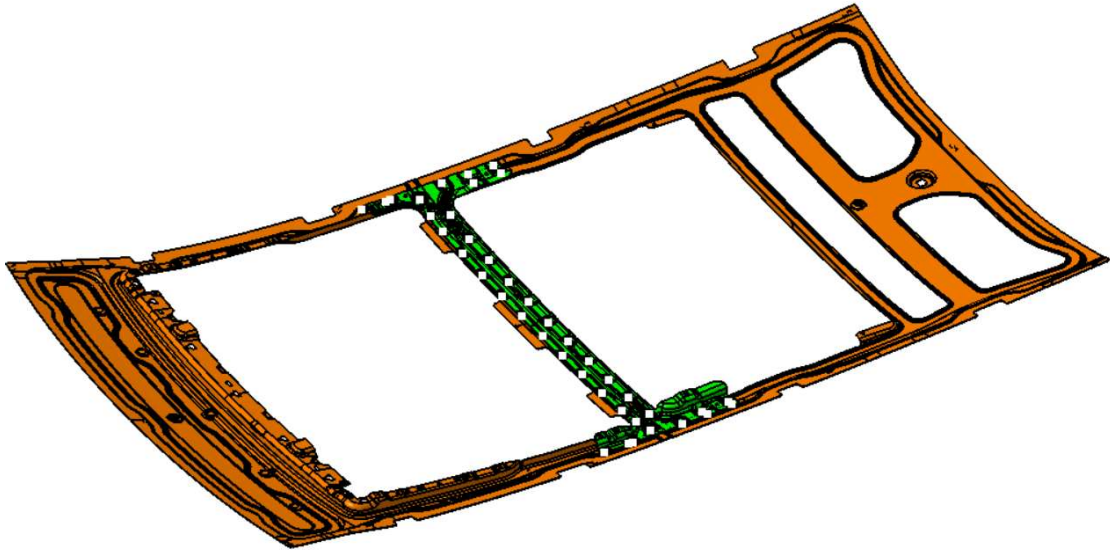
Zadání této práce je z firmy KPL-Design s.r.o. Tato firma se zabývá především návrhem přípravků, jednoúčelových strojů a dopravní a manipulační techniky pro automobilový průmysl.

V navrhovaném pracovišti se bude svařovat část karoserie osobního automobilu, skládající se z rámu střechy a příčné výztuhy. Oba díly jsou výlisky z plechu o tloušťce 1 mm. Vnější rozměry svařence jsou zobrazeny na Obr. 2.1.1. Celková hmotnost svařence je 5,3 kg.



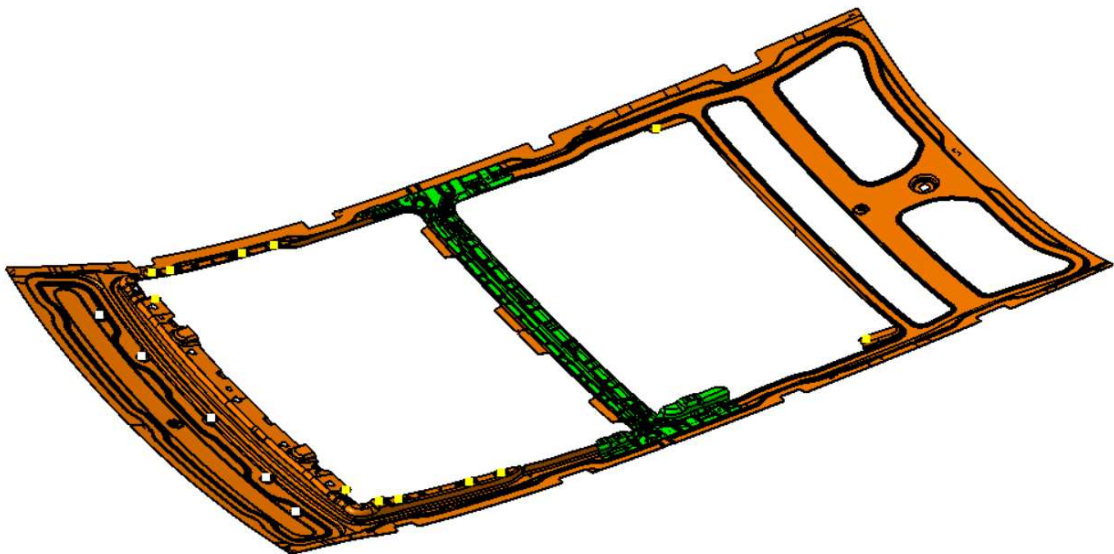
Obr. 2.1.1 - Rozměry svařence [1]

Výztuha a rám jsou nejprve svařeny pomocí technologie bodového svařování. Bodových svarů je celkem 41. Poloha svařovací bodů je vyznačena na Obr. 2.1.2.



Obr. 2.1.2 - Poloha svařovacích bodů [1]

Dalšími operacemi v pracovišti je navaření šroubů a lisování matic. Navařovaných šroubů je celkem 5, jejich poloha je vyznačena na Obr. 2.1.3 bílou barvou. Lisovaných matice je celkem 12, jejich umístění je vyznačeno na tomtéž obrázku žlutou barvou.



Obr. 2.1.3 - Poloha navařovaných šroubů (bíle) a lisovaných matic (žlutě) [1]

Požadavky na pořadí operací jsou následující: nejdříve musí proběhnout bodové svařování. Pořadí dalších operací je volitelné, z technologického hlediska je jedno, zdali budou nejdříve navařeny šrouby, nebo zdali budou nejprve nalisovány matice. Pořadí těchto dvou operací se rozhodne až při modelování pracoviště.

Pro návrh je velice důležitý požadovaný výrobní čas jednoho dílu - ten činí maximálně 150 s.

## 3 Stav řešené problematiky

### 3.1 Úvod do problematiky průmyslových robotů a manipulátorů

Průmyslové roboty a manipulátory jsou základními prvky automatizovaného pracoviště. V návaznosti na jeho možnosti, parametry vyráběného dílu a dispozice pracoviště se volí přípravy, způsob obsluhy atd.

Průmyslové roboty umožňují zásadním způsobem zvyšovat produktivitu výroby. Umožňují nahradit lidského pracovníka na místech škodlivého prostředí, zbavují pracovníky monotónní práce. Dále jsou používány tam, kde přesnost stroje převyšuje lidské možnosti nebo kde je nutný vysoký počet opakování, při kterých může lidský pracovník ztrácet koncentraci, pečlivost. Problematika automatizace obsahuje celou řadu aspektů, nejedná se tedy pouze o samotný stroj – nelze opomenout dopravu a manipulaci s materiálem, kontrolu a měření aj. [2]

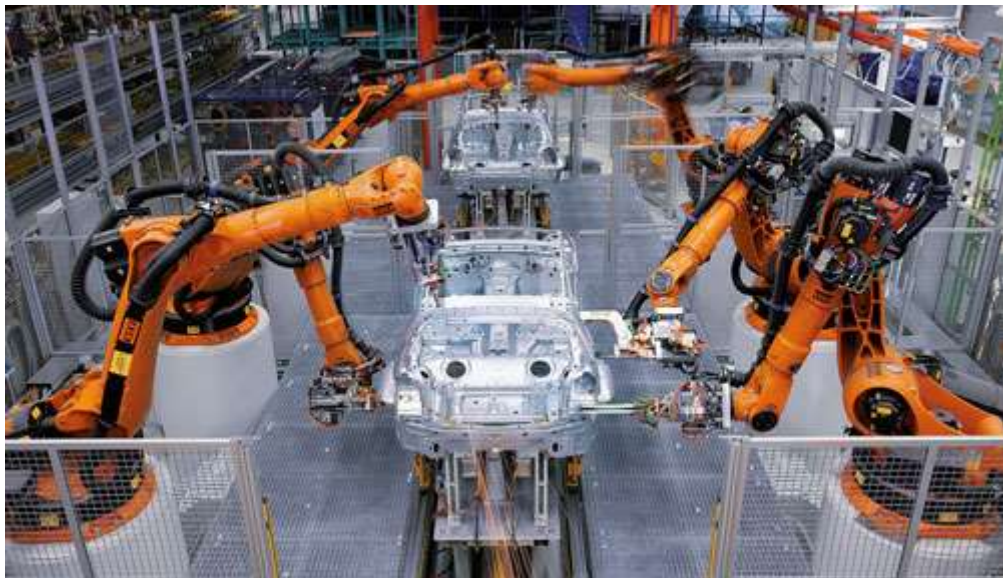
V současné době se průmyslové roboty a manipulátory používají nejčastěji v automobilové výrobě, v balicí technice (paletizace a balení vyráběné produkce), v elektronickém průmyslu (aplikace typu „pick and place“ pro přemísťování součástek). Procentuální zastoupení robotů v jednotlivých technologických operacích viz Tab. 3.1.1.

Tab. 3.1.1 - Procentuální zastoupení robotů v jednotlivých technologických operacích [3]

Manipulace na obráběcích strojích, paletizace	52%
Bodové odporové svařování karosérií a podvozků	15%
Povrchové úpravy	12%
Tlakové lití kovů a plastických hmot	8%
Manipulace u tvářecích strojů	7%
Obloukové svařování pod ochrannými plyny	2%
Montážní a měřicí práce	2%
V hutích (odpichové roboty, těžké manipulační roboty)	1%
Jiné práce (hlubinné dobývání)	1%



*Obr. 3.1.1 - Robot pro manipulaci s obrobkem [4]*



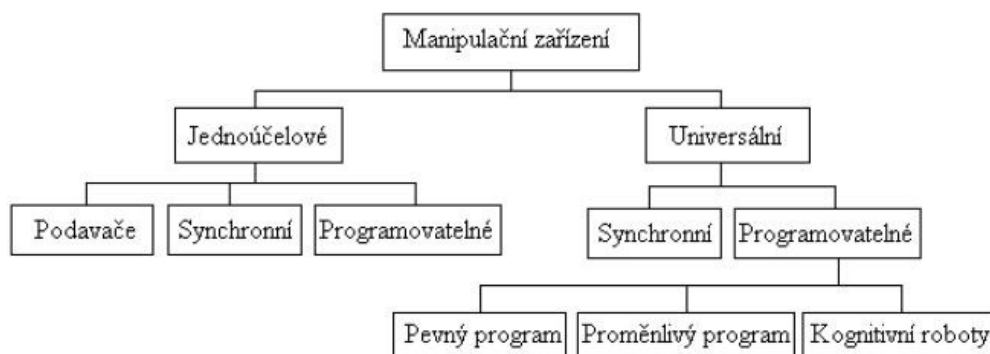
*Obr. 3.1.2 - Linka pro svařování karoserie [5]*



Obr. 3.1.3 - Linka pro lakování karoserie [6]

Při návrhu automatizovaného pracoviště je nutné se zabývat nejenom technickou stránkou, ale i ekonomickou stránkou problému. Robotizované pracoviště je spojeno s vyšší investicí do zařízení, s vyšší energetickou náročností. Důsledkem takové investice je pak snížení nákladů na výrobu jednoho dílu, zvýšení bezpečnosti a produktivity práce. [2]

## 3.2 Rozdělení průmyslových robotů a manipulátorů



Obr. 3.2.1 - Rozdělení průmyslových robotů a manipulátorů [3]

**Členění dle základního pojetí**

- jednoučelové
- univerzální



- Jednoúčelové** - omezené pohybové možnosti (dle dané aplikace)  
- úroveň řízení dle dané aplikace  
- konstrukční provedení dle obsluhovaných zařízení
- Univerzální** - možné přizpůsobit různým technologiím

Volba mezi univerzálním a jednoúčelovým zohledňuje použitou technologii, pracoviště i ekonomická hlediska. [2]

### 3.2.1 Znaky jednotlivých typů

**Podavače** – jednoúčelové manipulátory, tvoří jeden celek se strojem – včetně řízení a pohonu

**Synchronní** – řízeny průběžně pracovníkem. Zesilují pohyby vyvolané pracovníkem. Je možné je řídit na dálku – využití pro vojenské a lékařské účely. Jsou nezávislé na obsluhovaném stroji.

**Programovatelné** – řízeny programovým ústrojím. Provedení, pohon a funkce jsou nezávislé na obsluhovaném stroji

**S pevným programem** – tzv. jednoduché průmyslové roboty – program je stálý, nemění se během činnosti, programové ústrojí je jednoduché

**S proměnlivým programem** – možnost přepínání nebo volby programu. Obvykle umožňují adaptivní řízení.

**Kognitivní roboty** – jsou schopné vnímání a racionálního myšlení

Společným znakem všech zmíněných typů je vykonávání fyzikálního vlivu na okolní prostředí, tímto se odlišují od informačních systémů. Fyzikální vliv může být manipulační nebo výrobně technologický. [2]

Konstrukční provedení všech zmíněných typů může být modulární (stavebnicové) nebo nedomulární (nestavebnicové). Modulární uspořádání se skládá ze samostatných funkčních celků. Tato stavba umožňuje stavbu složitějších mechanismů z jednodušších celků. [2]

## 3.3 Průmyslové roboty

### 3.3.1 Generace robotů

- **nultá** – bez zpětné vazby – veškeré poruchy vedou k zastavení stroje
- **první** – jednoduchá zpětná vazba – možnost přepínat do několika podprogramů
- **druhá** – schopnost optimalizace – samostatný výběr z předem zadaných programů
- **třetí** – samostatná tvorba programu dle zkušeností, zadán pouze cíl činnosti
- **čtvrtá** – samostatná volba práce [2]

V současné době jsou nejčastěji nasazeny roboty nulté a první generace. Objevují se již aplikace robotů druhé generace, které jsou umožněny vývojem senzorů robotického vidění a umělé inteligence.

### 3.3.2 Kinematická hlediska

Geometrie konstrukce je rozhodující pro možnost popsat pohyb efektoru (výstupní část – pracovní hlavice). Kinematické řetězce jsou uskutečňovány pomocí dvou druhů základních vazeb (kinematických dvojic) – posuvných a rotačních. K popisu se obvykle používají dva druhy souřadnic: kloubové a kartézské. Dále se rozlišují dvě základní úlohy: [2] [3]

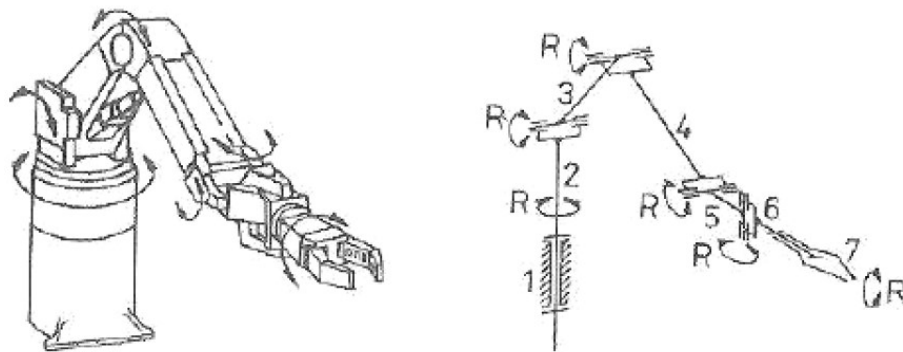
- **přímá** – na základě znalosti pohybu jednotlivých členů určit pohyb efektoru
- **nepřímá** – dle pohybu efektoru určit pohyb jednotlivých členů

#### Používané kinematické struktury:

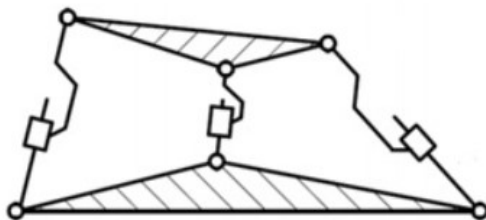
Sériová kinematická struktura – využívá otevřený kinematický řetězec

Paralelní kinematická struktura – využívá uzavřený nebo složený řetězec

Příklady kinematických struktur a robotů viz Obr. 3.3.1 až Obr. 3.3.3. Porovnání sériové a paralelní kinematické struktury viz Tab. 3.3.1.



Obr. 3.3.1 - Průmyslový robot se sériovou kinematickou strukturou [3]



Obr. 3.3.2 - Složený kinematický řetězec [3]



Obr. 3.3.3 - Robot s paralelní kinematickou strukturou [7]





Tab. 3.3.1 - Porovnání paralelní a sériové kinematické struktury [3]

Vlastnosti	Paralelní kinematická struktura	Sériová kinematická struktura
Tuhost	Vysoká (namáháno především tahem a tlakem)	Nízká (zatěžováno především ohybem)
Rychlost a zrychlení stroje	Vysoké	Průměrné
Šíření chyb	Chyby jsou průměrem chyb v jednotlivých osách	Hromadění chyb v jednotlivých osách
Hmotnost pohybujících se částí	Nízká	Vysoká
Řízení (regulace)	Složitě	Jednoduché

### 3.3.3 Tuhost konstrukce

Tuhost konstrukce je velice důležitá kvůli pevnosti a také kvůli přesnosti polohování. Nízká tuhost vede dále k horší součinnosti jednotlivých mechanismů, zvyšuje tření a opotřebení. [2]

**Tuhost se odvíjí od:**

- materiálu
- geometrie
- typu podpěr
- druhu zatížení

**Konstrukce je zatěžována:**

- tíhou vlastní konstrukce a zátěže
- dynamickými silami při provozu (rozběh, zastavení, odstředivé síly)
- silami způsobenými technologickými operacemi

Zatížení je určující pro návrh pohonu a pro návrh kinematického uspořádání. Parametrem, který posuzuje odolnost konstrukce proti deformaci, je tuhost. Jsou dva druhy deformace - posuv a natočení - těm odpovídají dvě tuhosti viz rovnice (1) a (2). [2]

$$c_F = \frac{F}{y} \quad (1)$$

$$c_M = \frac{M_k}{\varphi} \quad (2)$$



### 3.3.4 Pohony průmyslových robotů

Základním principem pohonu je transformace vstupní energie na mechanický pohyb. Transformaci vykonává motor, dalšími součástmi pohonu jsou blok pro ovládání toku energie do motoru a spojovací blok. Spojovací blok zajišťuje vazbu mezi výstupem motoru a pohyblivou částí pohybové jednotky, a to buď přímo, nebo přes transformační blok. [2]

Spojení motoru s pohybovou jednotkou:

- **mechanické** – nejrozšířenější – ozubená kola, hřebeny, vačky
- **magnetické nebo elektrické** – pro speciální aplikace (vysoké tlaky, vakuum)

Funkce a použití průmyslových robotů klade následující požadavky na pohon: [2]

- **plynulý rozběh a brždění** - kvůli bezpečnosti přenášeného objektu – při pohybu bez rázu stačí menší úchopná síla
  - vylučuje kmitání kolem konečné polohy, které vede k vyššímu namáhání a rychlejšímu opotřebení
- **přesnost polohování** - pro přesnost polohování hlavice je nutné i přesné ovládání pohonu a způsob registrace polohy. Používají se dva principy: bez zpětné vazby (otevřený systém) a se zpětnou vazbou (uzavřený systém)
- **polohová tuhost** - pohon musí být schopný udržet danou polohu i při působení vnějších sil. Vysokou polohovou tuhost mají hydraulické motory, nízkou naopak elektromotory bez vložených převodů a pneumatické motory (nutnost instalace brzd)
- **nízká hmotnost** - zvláště pokud je pohon umístěn v jednotlivých pohybových jednotkách ovlivňuje hmotnost pohonu chování celé konstrukce
  - nízká hmotnost snižuje dynamické zatížení a energetickou náročnost
- **malé rozměry** - souvisí s již zmíněnou hmotností a zlepšuje manipulační vlastnosti konstrukce
- **prostorové uspořádání** - ovlivňuje celkovou konstrukci, a tím i pracovní možnosti zařízení

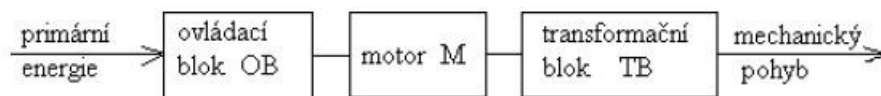
## Typy pohonů

Základní rozlišení pohonů je podle druhu energie přiváděné na vstup motoru: [2]

- **elektrické** - nyní nejrozšířenější
- **tekutinové** - hydraulické – zařízení vyšších nosností  
- pneumatické – jednoduché manipulátory s nižší nosností
- **kombinované** - v rámci jedné pohybové jednotky nebo celého manipulátoru

Pohon tvoří dle blokového znázornění následující části: [2]

- Motor
- Ovládací blok
- Transformační blok



Obr. 3.3.4 - Schéma pohonu [3]

Podle vnitřní struktury se rozlišují dvě základní koncepce pohonů: [2]

- **s transformačním blokem** - transformační blok mění charakter pohybu ve vztahu k výstupnímu pohybu pohybové jednotky (tj. translační jednotka s rotačním motorem nebo rotační jednotka s přímočarým motorem)
- **bez transformačního bloku** - charakter pohybu motoru odpovídá požadavkům na výstup pohybové jednotky (tj. translační jednotka s přímočarým motorem nebo rotační jednotka s rotačním motorem)  
- především hydraulické, popř. pneumatické přímočaré motory

## Uspořádání pohonů

Členění z hlediska konstrukce robotu nebo manipulátoru: [2]

- **oddělené** - každá pohybová jednotka disponuje samostatným motorem
- **společné** - pohybové jednotky mají odvozený pohon od společného motoru

Zatímco oddělené uspořádání je typické pro roboty, společné uspořádání se používá především u manipulátorů. U společného uspořádání se rozlišují následující modifikace: [2]

- **paralelní uspořádání** - od výstupu společného motoru je odvozen pohon několika pohybových jednotek v paralelních větvích



- **sériové uspořádání** - rozvětvení pomocí společného transformačního bloku nebo pomocí dílčích ovládacích bloků na vstupech jednotlivých větví
- **semiparalelní uspořádání** - pohyb následující pohybové jednotky odvozen od pohybu předcházející jednotky
- **semiparalelní uspořádání** - kombinace paralelního a sériového uspořádání v rámci jedné konstrukce

U společného uspořádání se dále vzhledem k možnosti oddělit motor pohon nabízí dvě koncepce: [2]

- **vnější pohon** - pohyb následující pohybové jednotky odvozen od pohybu předcházející jednotky
- **vnitřní pohon** - kombinace paralelního a sériového uspořádání v rámci jedné konstrukce

Vnější pohon se používá především u účelových manipulátorů – např. pro automatickou výměnu nástrojů. [2]

## Elektrické pohony

Elektrické pohony zaujímají přední místo v konstrukcích. Hlavní výhody elektrického pohonu jsou: snadno dostupný zdroj energie, jednoduché vedení zdroje k motoru, jednoduché spojení s řídicími prvky, jednoduchá údržba, čistota provozu. Další výhody v porovnání s ostatními typy pohonů jsou: nižší hlučnost, menší nároky na chlazení a nižší pořizovací, provozní i udržovací náklady. Nevýhody elektrického pohonu jsou závislost na dodávkách elektrického proudu, požadavky na provedení jednotlivých částí, nebezpečí úrazu elektrickým proudem. Elektrické motory se uplatňují ve dvou verzích: střídavé a stejnosměrné motory. [2]

- Motory s rotačním výstupem:
- rotační motory se spojitým pohybem
  - rotační krokové motory
  - otočné elektromagnety

- Motory s přímočarým výstupem
- lineární motory se spojitým pohybem
  - lineární krokové motory
  - hybridní motory
  - přímočaré elektromagnety



## **Pneumatický a hydraulický pohon**

Společným znakem hydraulických a pneumatických pohonů je typ pracovního média - tekutina. U hydraulického pohonu se jedná o pracovní kapaliny – minerální oleje, u pneumatického pohonu je pracovním médiem stlačený vzduch. Hydraulický pohon se používá především pro zařízení s vyššími výkony, pneumatický pohon pro jednodušší konstrukce s menší nosností. [2]

- |  |   |
|--|---|
| - <b>výhody hydraulických pohonů</b>   | - vysoká tuhost, vysoká účinnost<br>- plynulý chod<br>- vysoká účinnost   |
| - <b>nevýhody hydraulických pohonů</b> | - energetický blok musí být samostatný, oddělený<br>- obtížné dosažení vyšších rychlostí<br>- závislost fyzikálních vlastností kapaliny na teplotě<br>- některé používané kapaliny jsou hořlavé |
| - <b>výhody pneumatických pohonů</b>   | - připojení na centrální rozvod stlačeného vzduchu<br>- schopné vykonávat rychlé přímočaré pohyby<br>- mohou pracovat ve velkém teplotním rozsahu, ve výbušném prostředí                        |
| - <b>nevýhody pneumatických pohonů</b> | - obtížné udržování rovnoměrného pohybu (obzvláště při malých rychlostech)<br>- složité mazání<br>- drahá výroba stlačeného vzduchu   |

## **Kombinovaný pohon**

Kombinovaný pohon využívá možnosti a výhody různých druhů pohonů v jednom pohonu. Jedná se o kombinace elektrického, pneumatického nebo hydraulického pohonu. Ačkoliv se nabízí šest teoreticky možných kombinací, prakticky se používá pouze elektrohydraulický a pneumohydraulický. [2]

Elektrohydraulický pohon využívá možnosti řízení elektromotorů, které jsou na vstupu, s možnostmi hydromotorů dosahovat velkých sil a výkonů, hydromotor funguje de facto jako zesilovač. [2]



## 3.4 Pracovní hlavice

Pracovní hlavice (taktéž se používá označení efektor) je funkční část robotu nebo manipulátoru. Činnost robotu nebo manipulátoru spočívá v nastavování daných poloh pracovní hlavice, popř. v jejím pohybu po dané trajektorii. Neméně důležitá je též orientace pracovní hlavice. [2]

Pracovní hlavice mohou mít podle úkolu zařízení tyto úkoly: [2]

- vkládání a vyjímání objektu z pracovního prostoru
- mezioperační manipulace
- technologické operace
- kontrolní operace

Podle úkolu pracovní hlavice, resp. operace prováděné pracovní hlavicí se rozlišují jejich typy:

- úchopné hlavice
- technologické, kontrolní a měřicí
- kombinované hlavice
- speciální hlavice

Úchopné hlavice zajišťují manipulaci s objektem, resp. jeho uchopení při manipulaci. Technologická hlavice disponuje nástrojem pro danou technologickou operaci. Měřicí a kontrolní hlavice jsou vybaveny čidly pro měření požadovaných veličin. Kombinované hlavice obstarávají více funkcí, např. technologickou a manipulační, v rámci jedné konstrukce. To umožňuje nejenom snížení času potřebného pro celý výrobní cyklus, ale i zjednodušení celého pracoviště. [2]

Podle provedení pracovní hlavice je možná realizace jediné nebo více operací. Z tohoto hlediska se rozlišují pracovní hlavice: [2]

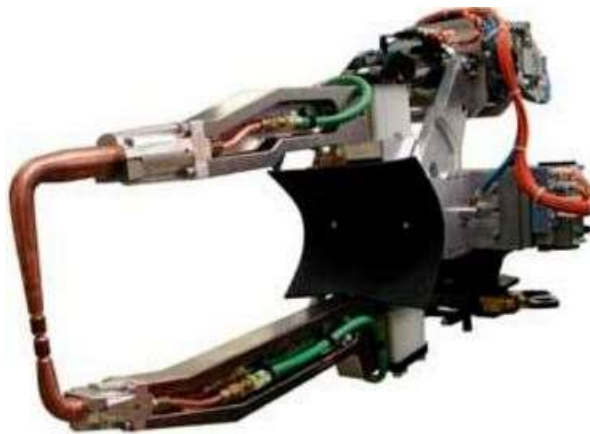
- monofunkční
- multifunkční

Pro multifunkční pracovní hlavice se používají dvě možnosti provedení: [2]

- využití systému revolverové hlavy
- automatická výměna pracovní hlavice



*Obr. 3.4.1 – Mechanická úchopná hlavice [8]*



*Obr. 3.4.2 - Pracovní hlavice pro bodové svařování – tzv. svařovací kleště [9]*



Obr. 3.4.3 - Pracovní hlavice pro lakování [10]

## Úchopné hlavice

Pro uchopení objektu je nutný mechanický styk tzv. úchopných prvků hlavice s uchopovaným objektem. Mechanický styk může být: [2]

- **vícestranný** - síly vyvozené hlavicí působí proti sobě na protilehlých částech povrchu tělesa
  - princip lze připodobnit k funkci lidské ruky
  - mechanické čelisti
- **jednostranný** - využívá gravitační, magnetické nebo podtlakové síly

Úchopné prvky jsou hlavními částmi konstrukce úchopné hlavice. Pokud je jejich funkce ovládána řídicím systémem, jedná se o aktivní úchopné prvky. Pokud úchopnou sílu nelze ovládat řídicím systémem, jedná se o pasivní úchopné prvky. Podle principů uchopení a podle hlediska možnosti ovládání se rozlišují úchopné prvky: [2]

- mechanické
  - pasivní - pevné opěry, odpružené čelisti
  - aktivní - pohyblivé čelisti s pohonem
- podtlakové
  - pasivní - deformační přísavky
  - aktivní - podtlakové komory
- magnetické
  - pasivní - permanentní magnety
  - aktivní - elektromagnety



Pokud úchopná hlavice disponuje pouze mechanickými prvky, nazývá se **mechanická úchopná hlavice**, pokud disponuje výhradně magnetickými prvky, jedná se o **magnetickou úchopnou hlavici**. V rámci jedné úchopné hlavice je prvky možné kombinovat, můžeme se tedy setkat s mechanicko-podtlakovými nebo mechanicko-magnetickými hlavicemi. Stejně tak mohou být ve zmíněných typech hlavic kombinovány pasivní a aktivní prvky. Počet úchopných prvků se volí podle tvaru, rozměru, hmotnosti a tuhosti objektu. Důležitým faktorem je též požadovaná přesnost uchopení objektu. [2]



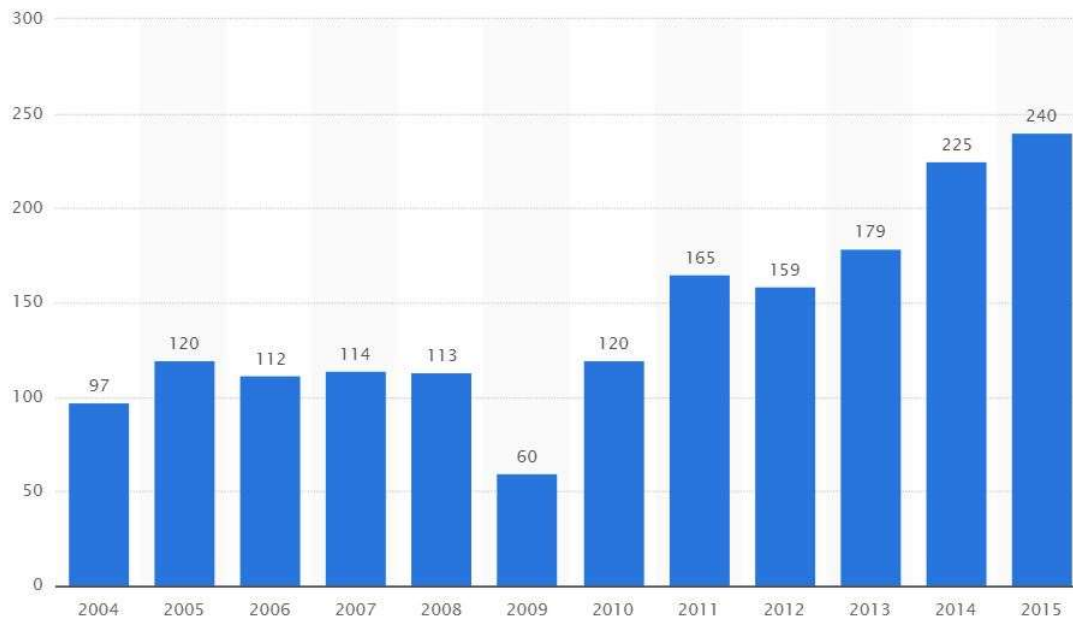
*Obr. 3.4.4 - Magnetická úchopná hlavice [11]*



*Obr. 3.4.5 - Podtlaková úchopná hlavice [12]*

## 3.5 Výroba, prodej a nasazení průmyslových robotů ve světě a Evropě

Vzhledem k současnému celosvětovému ekonomickému růstu stoupá i výroba průmyslových robotů. Oproti roku 2004 narostl roční prodej na více než dvojnásobek z 97 000 na 240 000 v roce 2015 viz Obr. 3.5.1.

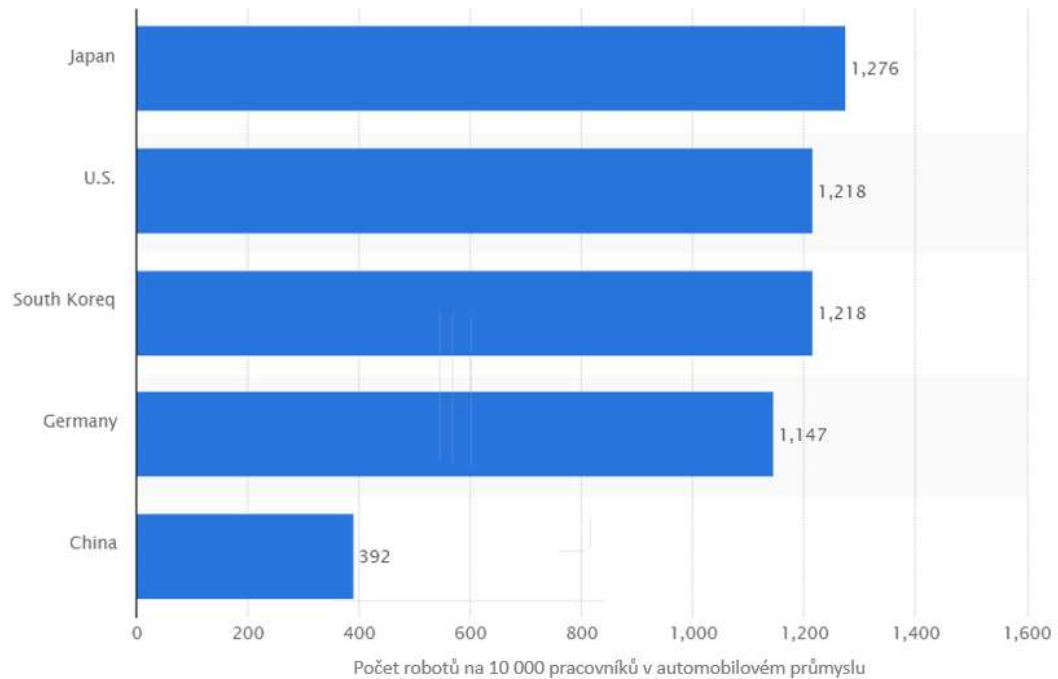


Obr. 3.5.1 - Prodej průmyslových robotů ve světě v letech 2004-2015 [13]

Nejrychleji rostoucím trhem je v současnosti jihovýchodní Asie, a to především Čína viz Příloha 2.

Vysoká míra robotizace, tedy celkový počet robotů a jejich hustota na počet lidských pracovníků, je znakem efektivní a vysoce automatizované průmyslové výroby. Hustota robotů se obvykle udává v počtu kusů na 10 000 lidských pracovníků. Nejvyšší míra robotizace je ve státech západní Evropy, v jihovýchodní Asii a ve Spojených státech amerických viz Příloha 2.

V samotné oblasti automobilové výroby pak dosahuje hustota robotů výrazně vyšších hodnot viz Obr. 3.5.2.



Obr. 3.5.2 - Státy s nejvyšším počtem robotů na 10 000 pracovníků v automobilovém průmyslu [13]

## 3.6 Automatizovaná pracoviště pro svařování

Jednou z prvních technologií, u kterých se začaly používat průmyslové roboty, byla technologie svařování. Jedná se o následující způsoby svařování: [14]

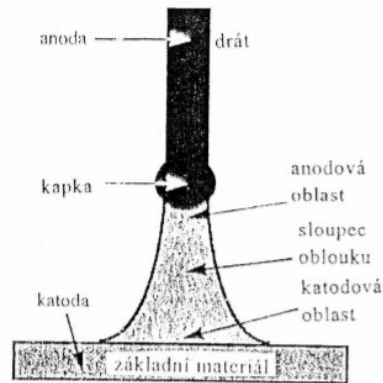
- obloukové svařování
- bodové (odporové) svařování

### 3.6.1 Používané technologie svařování

#### Obloukové svařování

Při obloukovém svařování je zdrojem tepla elektrický oblouk, který hoří zpravidla mezi elektrodou a základním materiálem. Elektroda může být netavná nebo kovová, která se odtavuje a vytváří tak svarový kov. Elektroda je zpravidla připojena na minus pól, základní materiál na plus pól. Při dotyku elektrody a základního materiálu dojde ke zkratu a místo dotyku se rozžhaví odporovým teplem. Po následném oddálení elektrody od základního materiálu dojde k emisi elektronů z jejího rozžhaveného konce (katoda). Tyto elektrony jsou přitahovány kladně nabitým základním materiálem. Elektrické pole mezi anodou a katodou urychluje emitované elektrony, důsledkem je ionizace vzduchové mezery, ta se tím stává vodivou. K udržení ionizace

je nutný potenciálový spád, nazývaný napětí oblouku. Výsledkem je dlouhodobý elektrický výboj v plynném prostředí – nazývaný elektrický oblouk. Kinetická energie elektronů se nárazem na základní materiál mění v tepelnou energii, tím dochází k tavení základního materiálu a vzniká anodová skvrna. Naopak proud iontů, které se vlivem elektrostatických sil pohybují od anody, vyvolá na elektrodě katodovou skvrnu, která natavuje materiál elektrody. [15]



Obr. 3.6.1 - Schéma elektrického oblouku [15]

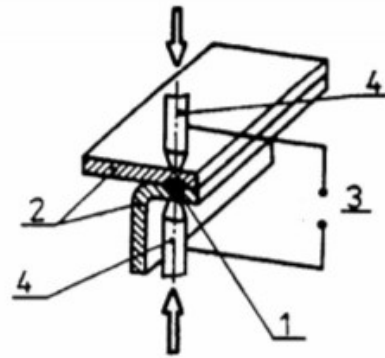
### Bodové svařování

Bodové svařování je druh odporového svařování. Při odporovém svařování vzniká teplo, které je potřebné k natavení materiálu, průchodem proudu. Proud dosahuje vysokých hodnot (až 100 000 A), hodnoty napětí jsou nízké (5 - 15 V). Vzniklé teplo je dáno Jouleovým-Lenzovým zákonem: [15]

$$Q = R \cdot I^2 \cdot t \quad (3)$$

Odpor svarového spojení je součtem přechodových odporů a odporů svařovaných materiálů. V místě styku svařovaných materiálů je odpor nejvyšší, vznikne zde tedy největší množství tepla. Působením tlaku a natavení materiálu vznikne svarový spoj. [15]

Bodové svařování se z druhů odporové svařování používá nejčastěji. Mezi elektrody bodovacího stroje se vloží svařované díly. Poté se elektrody sevrou, tím se stlačí díly a zapne se proud. Ve stykovém místě vznikne bodový svar. Bodové svařování se využívá pro svařování plechů o tloušťkách 0,4-5 mm. Velmi často se používá v automobilovém průmyslu. [15]



(1–bodový svar, 2–svažovaný materiál, 3–zdroj proudu – transformátor, 4–elektrody)

Obr. 3.6.2 - Bodové svažování [15]

## 3.6.2 Koncepce robotizovaných pracovišť

Pro koncepci robotizovaných pracovišť je důležité rozdělení technologických a manipulačních členů. Dle základního rozlišení funkcí robotů, manipulátorů a stabilních automatů (viz následující dva odstavce) se následně určují struktury pracovišť (viz 3.6.3 a 3.6.4). [14]

### 1. Svažovací robot (R) a polohovací manipulátor (M)

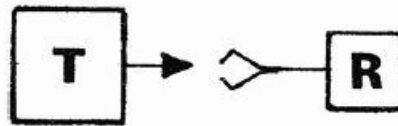
Koordinace pohybů svažovací hlavičky robota a pohybů svažovaných dílů, které jsou upnuty v polohovacím manipulátoru. Výsledkem je svažování na obecné prostorové dráze. [14]



Obr. 3.6.3 - Svažovací robot a polohovací manipulátor [14]

### 2. Stabilní svažovací automat (T) a polohovací robot (R)

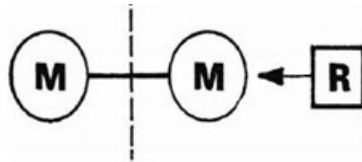
Svažovací hlavička je nepohyblivá (součást automatu), průmyslový robot drží svažované díly a nastavuje jejich polohu vůči svažovací hlavičce. Tato koncepce je výhodná, pokud má svažovec malou hmotnost (menší hmotnost než svažovací hlavička). Díky tomu stačí robot o menší nosnosti. [14]



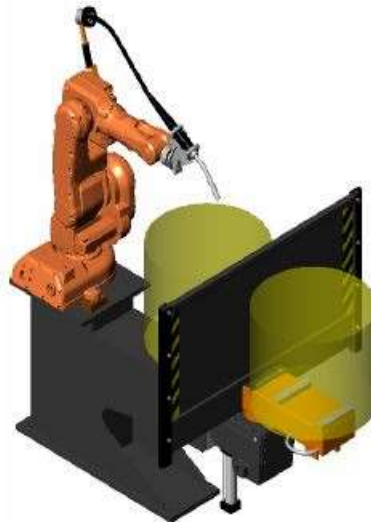
Obr. 3.6.4 - Stabilní svařovací automat a polohovací robot [14]

### 3.6.3 Struktury pracovišť obloukového svařování

1. Svařovací robot a dvojnásobný polohovací manipulátor

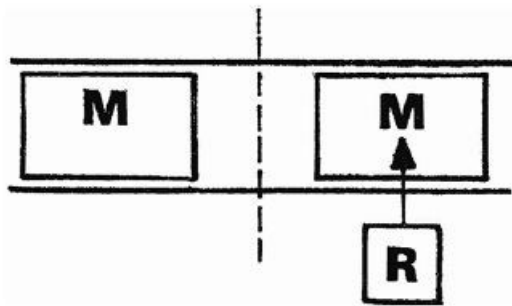


Obr. 3.6.5 - Schéma - Svařovací robot a dvojnásobný polohovací manipulátor [14]



Obr. 3.6.6 - Model - Svařovací robot a dvojnásobný polohovací manipulátor [14]

2. Stabilní průmyslový robot a translačně přestavitelné polohovací manipulátory

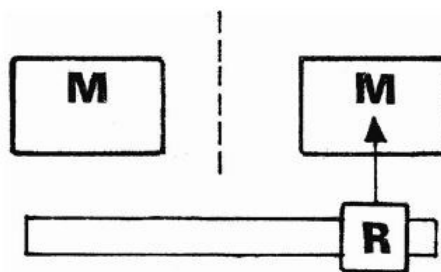


Obr. 3.6.7 - Schéma - Stabilní průmyslový robot a translačně přestavitelné polohovací manipulátory [14]



Obr. 3.6.8 - Stabilní průmyslový robot a translačně přestavitelné polohovací manipulátory [14]

3. Svařovací robot umístěný na transportním modulu a dvěma stabilními polohovacími manipulátory [14]



Obr. 3.6.9 - Schéma - Svařovací robot umístěný na transportním modulu a dvěma stabilními polohovacími manipulátory [14]



*Obr. 3.6.10 - Svařovací robot umístěný na transportním modulu a dvěma stabilními polohovacími manipulátory [14]*

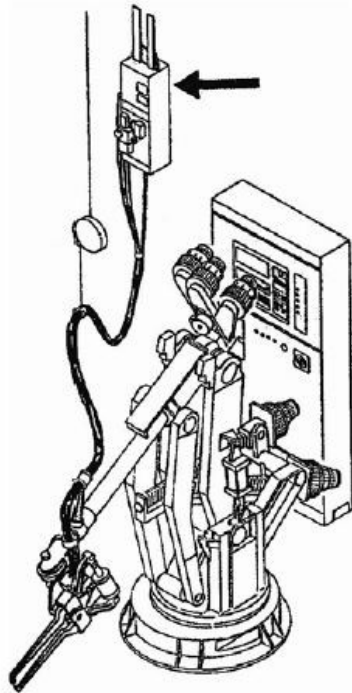
### 3.6.4 Struktury pracovišť bodového svařování

Rozhodujícím faktorem u pracovišť bodového svařování je umístění svařovacího transformátoru. Podle jeho umístění se rozlišují následující varianty: [14]

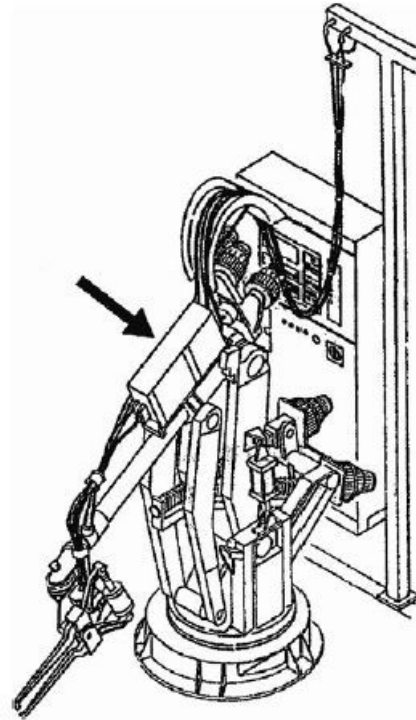
1. Svařovací transformátor je umístěn mimo konstrukci robota (např. zavěšen nad pracovištěm)
2. Svařovací transformátor je umístěn na ramenu robota odděleně od svařovacích kleští
3. Svařovací transformátor je integrovanou součástí bodových kleští
4. Svařovací transformátor je oddělený od dvojice elektrod, které nejsou uspořádány v rámci kleští

Zobrazení výše uvedených struktur viz Obr. 3.6.11 až Obr. 3.6.14.

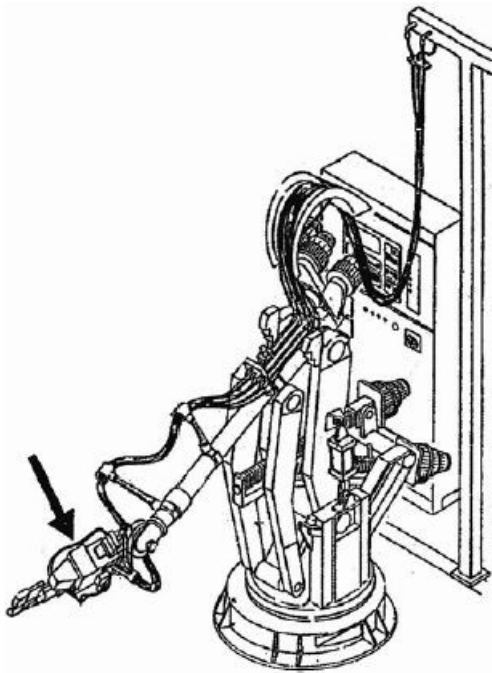




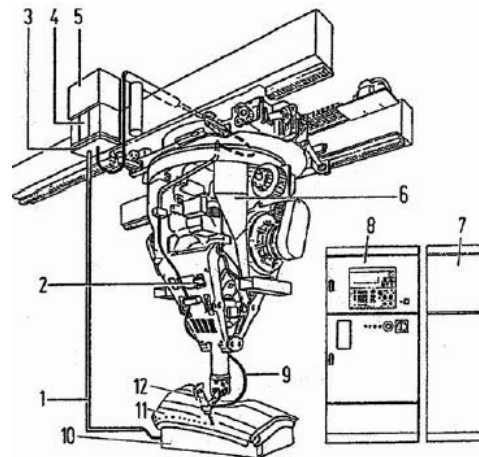
Obr. 3.6.11 - Svařovací transformátor umístěn mimo konstrukci robota [14]



Obr. 3.6.12 - Svařovací transformátor umístěn na ramenu robota odděleně od svařovacích kleští [14]



Obr. 3.6.13 - Svařovací transformátor jako integrovaná součást bodových kleští [14]





Obr. 3.6.14 - Svařovací transformátor oddělený od dvojice elektrod, které nejsou uspořádány v rámci kleští [14]

### 3.7 Polohovací manipulátory





V předchozí kapitole zmíněné polohovací manipulátory (taktéž pozicionéry, polohovací zařízení nebo polohovadla) jsou důležitou součástí svařovacích pracovišť. Umožňují pohyb svařovaných dílů, tím lze dosáhnout optimální procesní polohy. Výsledkem je vyšší kvalita svaru a nižší čas nutný pro danou operaci. Dvojnásobné polohovací manipulátory pak umožňují i zvýšení výrobní kapacity tak, že zatímco na jedné straně robot svařuje, na druhé je možné zakládat a vyjímat díly. Proto bývají často vybaveny ochrannou přepážkou, aby nemohlo dojít ke zranění pracovníka.

Polohovací manipulátory rozlišují výrobci zpravidla do produktových řad podle pohybů, které polohový manipulátor umožňuje vykonat. V jednotlivých řadách jsou pak modely odstupňovány dle nosnosti, popř. dle velikosti upínaných dílů. Pro názornou ukázkou je níže shrnuta nabídka polohovacích manipulátorů firmy ABB viz Tab. 3.1.1.

Tab. 3.7.1 - Přehled výrobního programu polohovacích manipulátorů firmy ABB [7]

 <p>Obr. 3.7.1 - Polohovací manipulátor firmy ABB řady IRBP L</p>	<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">IRBP L</th></tr></thead><tbody><tr><td>nosnost:</td><td>300-5000 kg</td></tr><tr><td>max. pracovní průměr:</td><td>1500-2200 mm</td></tr><tr><td>max. délka:</td><td>4000-5000 mm</td></tr><tr><td>násobnost</td><td>1</td></tr><tr><td>manipulační možnosti:</td><td>rotace v podélné ose</td></tr></tbody></table>	IRBP L		nosnost:	300-5000 kg	max. pracovní průměr:	1500-2200 mm	max. délka:	4000-5000 mm	násobnost	1	manipulační možnosti:	rotace v podélné ose
IRBP L													
nosnost:	300-5000 kg												
max. pracovní průměr:	1500-2200 mm												
max. délka:	4000-5000 mm												
násobnost	1												
manipulační možnosti:	rotace v podélné ose												
 <p>Obr. 3.7.2 - Polohovací manipulátor firmy ABB řady IRBP K</p>	<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">IRBP K</th></tr></thead><tbody><tr><td>nosnost:</td><td>300-1000 kg</td></tr><tr><td>max. pracovní průměr:</td><td>1200-1400 mm</td></tr><tr><td>max. délka:</td><td>4000 mm</td></tr><tr><td>násobnost:</td><td>2</td></tr><tr><td>manipulační možnosti:</td><td>rotace v podélné ose</td></tr></tbody></table>	IRBP K		nosnost:	300-1000 kg	max. pracovní průměr:	1200-1400 mm	max. délka:	4000 mm	násobnost:	2	manipulační možnosti:	rotace v podélné ose
IRBP K													
nosnost:	300-1000 kg												
max. pracovní průměr:	1200-1400 mm												
max. délka:	4000 mm												
násobnost:	2												
manipulační možnosti:	rotace v podélné ose												



 <p>Obr. 3.7.3 - Polohovací manipulátor firmy ABB řady IRBP R</p>	<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">IRBP R</th></tr></thead><tbody><tr><td>nosnost:</td><td>300-1000 kg</td></tr><tr><td>max. pracovní průměr:</td><td>1000-1200 mm</td></tr><tr><td>max. délka:</td><td>1600-2000 mm</td></tr><tr><td>násobnost:</td><td>2</td></tr><tr><td>manipulační možnosti:</td><td>rotace v podélné ose</td></tr></tbody></table>	IRBP R		nosnost:	300-1000 kg	max. pracovní průměr:	1000-1200 mm	max. délka:	1600-2000 mm	násobnost:	2	manipulační možnosti:	rotace v podélné ose
IRBP R													
nosnost:	300-1000 kg												
max. pracovní průměr:	1000-1200 mm												
max. délka:	1600-2000 mm												
násobnost:	2												
manipulační možnosti:	rotace v podélné ose												
 <p>Obr. 3.7.4 - Polohovací manipulátor firmy ABB řady IRBP A</p>	<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">IRBP A</th></tr></thead><tbody><tr><td>nosnost:</td><td>250-750 kg</td></tr><tr><td>max. pracovní průměr:</td><td>1000-1450 mm</td></tr><tr><td>max. délka:</td><td>900-950 mm</td></tr><tr><td>násobnost:</td><td>1</td></tr><tr><td>manipulační možnosti:</td><td>rotace ve svislé ose rotace ve vodorovné ose</td></tr></tbody></table>	IRBP A		nosnost:	250-750 kg	max. pracovní průměr:	1000-1450 mm	max. délka:	900-950 mm	násobnost:	1	manipulační možnosti:	rotace ve svislé ose rotace ve vodorovné ose
IRBP A													
nosnost:	250-750 kg												
max. pracovní průměr:	1000-1450 mm												
max. délka:	900-950 mm												
násobnost:	1												
manipulační možnosti:	rotace ve svislé ose rotace ve vodorovné ose												
 <p>Obr. 3.7.5 - Polohovací manipulátor firmy ABB řady IRBP B</p>	<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">IRBP B</th></tr></thead><tbody><tr><td>nosnost:</td><td>250-750 kg</td></tr><tr><td>max. pracovní průměr:</td><td>1000-1450 mm</td></tr><tr><td>max. dostupná délka:</td><td>900-1000 mm</td></tr><tr><td>násobnost:</td><td>2</td></tr><tr><td>manipulační možnosti:</td><td>rotace ve svislé ose rotace ve vodorovné ose</td></tr></tbody></table>	IRBP B		nosnost:	250-750 kg	max. pracovní průměr:	1000-1450 mm	max. dostupná délka:	900-1000 mm	násobnost:	2	manipulační možnosti:	rotace ve svislé ose rotace ve vodorovné ose
IRBP B													
nosnost:	250-750 kg												
max. pracovní průměr:	1000-1450 mm												
max. dostupná délka:	900-1000 mm												
násobnost:	2												
manipulační možnosti:	rotace ve svislé ose rotace ve vodorovné ose												
 <p>Obr. 3.7.6 - Polohovací manipulátor firmy ABB řady IRBP C</p>	<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">IRBP C</th></tr></thead><tbody><tr><td>nosnost:</td><td>500-1000 kg</td></tr><tr><td>max. pracovní průměr:</td><td>-</td></tr><tr><td>max. délka:</td><td>-</td></tr><tr><td>násobnost:</td><td>2</td></tr><tr><td>manipulační možnosti:</td><td>rotace ve svislé ose rotace ve vodorovné ose</td></tr></tbody></table>	IRBP C		nosnost:	500-1000 kg	max. pracovní průměr:	-	max. délka:	-	násobnost:	2	manipulační možnosti:	rotace ve svislé ose rotace ve vodorovné ose
IRBP C													
nosnost:	500-1000 kg												
max. pracovní průměr:	-												
max. délka:	-												
násobnost:	2												
manipulační možnosti:	rotace ve svislé ose rotace ve vodorovné ose												

### 3.8 Konstrukce svařovacích přípravků

Návrh svařovacích přípravků hlavic je důležitou součástí návrhu pracoviště pro svařování. Svařovací přípravek musí zajistit požadovanou polohu svařovaných dílů během procesu, z toho plynou požadavky na jeho přesnost a tuhost. V praxi se velice často uplatňují stavebnicové systémy, tedy že konstruktér nenavrhuje všechny díly, ale používá do sestavy i nakupované díly, které tvoří kostru přípravku. Výhodou takového řešení je nižší cena, než při kusové výrobě požadovaných částí.

Součástí stavebnicových systémů mohou být:

- stoly (popř. základní desky a nohy)
- tyče, profily
- úhelníky
- dorazy
- čepy
- upínky

Přední firmou na českém trhu, poskytující stavebnicové systémy, je vsetínská firma JC-metal.



Obr. 3.8.1 - Stavebnicový systém Siegmund firmy JC-metal [16]

Důležitou součástí svařovacích přípravků a úchopných hlavic jsou upínky a čepy. Jejich úkolem je fixace svařovaných dílů, tedy odebrání stupňů volnosti. Čep odebrá dle konstrukce plechu jeden nebo dva stupně volnosti (oválná nebo kruhová díra), upínky odebírají jeden stupeň volnosti.

Upínky se dle způsobu vyvození pohybu rozlišují na následující druhy:

- ruční
- pneumatické
- elektrické



*Obr. 3.8.2 - Ruční upínka firmy JC-metal [16]*



*Obr. 3.8.3 - Pneumatická upínka firmy Tinkers [17]*



## 4 Návrh pracoviště pro zadaný díl

### 4.1 Popis technologického postupu

Technologický postup je následující: nejdříve se svařované díly založí do přípravku. Poté probíhá bodové svařování. Následně je svařenec uchopen robotem s úchopnou hlavici a postupuje pracovištěm k dalším technologickým operacím: navařování šroubů a nalisování matic. Nakonec již svařený díl opouští pracoviště a probíhá paletizace.

Nejdříve je nutné díly, které jsou přivázeny v paletách, založit do svařovacího přípravku. Založení může být prováděno buď ručně, nebo pomocí robota vybaveného technologií robotického vidění. Dále je nutné zvolit typ svařovacího přípravku, jestli bude použit stacionární či v některých osách pohyblivý a jestli bude jednoduchý nebo dvojnásobný. Následně probíhá bodové svařování za pomoci robota. Je možné použít robota s technologickou hlavici nebo stabilní svařovací automat a robotický manipulátor. Při použití robota s technologickou hlavici je nutné zvolit, jestli bude použit jeden robot s výměnnou hlavici nebo pro svařování a následnou manipulaci budou použity roboty dva. Taktéž je nutné zvolit, zda se bude technologická hlavice navrhovat nebo bude-li použit nakupovaný díl. Obdobně je nutné zvolit, jestli pro navařování šroubů bude použit robot s technologickou hlavici nebo stabilní automat a robotický manipulátor. I v tomto případě je třeba zvolit, zda se bude technologická hlavice navrhovat nebo bude-li použit nakupovaný díl. Stejně tak je nutné zvolit, jestli pro nalisování matic bude použit robot s technologickou hlavici nebo stabilní automat a robotický manipulátor. I v tomto případě je třeba zvolit, zda se bude technologická hlavice navrhovat nebo bude-li použit nakupovaný díl. Po nalisování matic již svařenec opouští pracoviště – je třeba zvolit jak. Nabízejí se dvě možnosti – pomocí otočného manipulátoru nebo pomocí pásového dopravníku. Poté, co svařenec opouští pracoviště následuje paletizace. Paletizaci může zajistit buď člověk nebo robot. Zmíněné technologické možnosti jsou shrnuty viz Tab. 4.1.1

Tab. 4.1.1 - Technologické možnosti

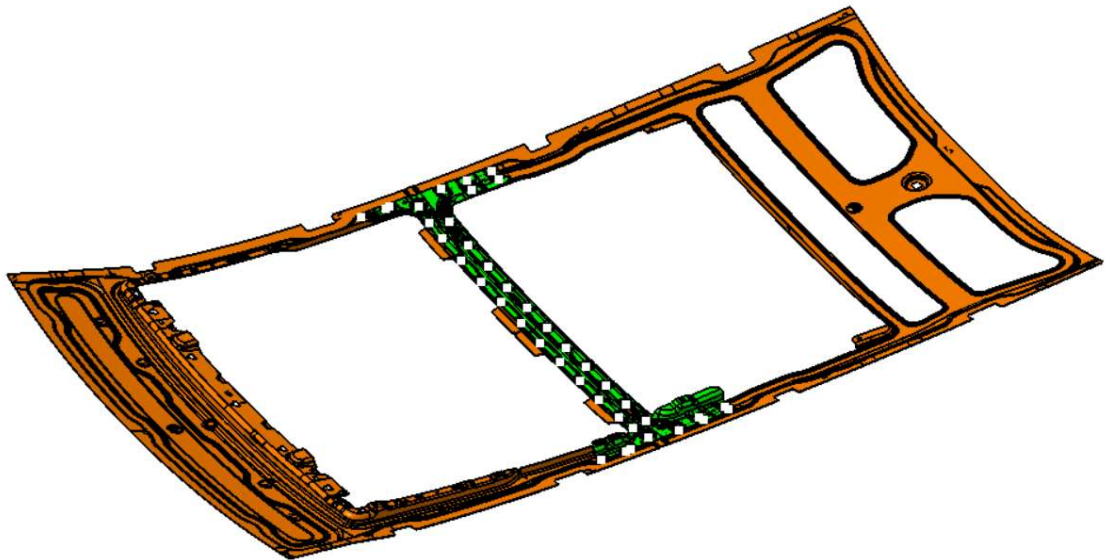
Operace	Možnosti	
Zakládání dílů	Dělník	Robot
Polohovací manipulátor I	Stacionární	Pohyblivý
Polohovací manipulátor II	Jednoduchý	Dvojnásobný
Bodové svařování I	Stabilní svařovací automat + robotický manipulátor	Robot s technologickou hlavicí

Bodové svařování II	Technologická hlavice navrhována	Technologická hlavice nakupovaná
Počet robotů	Jeden robot s výměnnou hlavicí	Dva roboty
Lisování matic I	Stabilní automat + robotický manipulátor	Robot s technologickou hlavicí
Lisování matic II	Technologická hlavice navrhována	Technologická hlavice nakupovaná
Navařování šroubů I	Stabilní automat + robotický manipulátor	Robot s technologickou hlavicí
Navařování šroubů II	Technologická hlavice navrhována	Technologická hlavice nakupovaná
Paletizace	Člověk	Robot
Transport dílu z pracoviště	Otočný manipulátor	Pásový dopravník

Zatímco některá rozhodnutí podléhají hlubší analýze, o některých parametrech lze rozhodnout rovnou. Jedná se o následující (v pořadí, jak se vyskytují v Tab. 4.1.1)

#### **Polohovací manipulátor I**

Vzhledem k dobré dostupnosti bodů pro svařování – body leží téměř v jedné rovině (viz Obr. 4.1.1) - postačí použití stacionárního polohovacího manipulátor



Obr. 4.1.1 - Rozmístění bodů pro svařování



## **Polohovací manipulátor II**

Dvojnásobný polohovací manipulátor umožňuje zvýšit výrobní kapacitu pracoviště – dovoluje zároveň svařovat na jedné straně a zakládat díly na straně druhé. Proto bude použit dvojnásobný polohovací manipulátor.

### **Bodové svařování I**

Vzhledem k rozměrům svařence volím pro bodové svařování variantu robota s technologickou hlavicí

### **Bodové svařování II**

Na základě široké nabídky svařovacích kleští pro automobilový průmysl, na základě zkušeností zákazníka a pro snížení nákladu volím použití kupované technologické hlavice.

### **Lisování matic I**

Volím použití stabilního automatu a robotického manipulátoru. Manipulaci bude obstarávat tentýž robot, jako manipulaci po svaření bodových svarů a manipulaci při navařování šroubů viz výše.

### **Lisování matic II**

Vzhledem k nabídce technologických zařízení pro lisování matic, vzhledem ke zkušenostem zákazníka a pro snížení nákladů volím použití kupované technologické hlavice

### **Navařování šroubů I**

Jelikož po svaření bodových svarů je se svařencem manipulováno pomocí robota s úchopnou hlavicí, volím možnost použití stabilní automatu a robotického manipulátoru. Manipulaci po svaření bodových svarů (vyjmutí svařence z přípravku) a manipulaci pro navařování šroubů může obstarávat tentýž robot během jediného uchopení svařence.

### **Navařování šroubů II**

Vzhledem k nabídce technologických zařízení pro navařování šroubů, vzhledem ke zkušenostem zákazníka a pro snížení nákladů volím použití kupované technologické hlavice

### **Paletizace**

Pro paletizaci volím vzhledem k úspoře zástavbového prostoru ruční variantu, při které hotové díly odebírá dělník.

### **Transport dílu z pracoviště**

Pro volbu způsobu transportu dílu z pracoviště je důležitý způsob paletizace. Pokud by paletizace probíhala roboticky, volil bych dvojnásobný polohovací manipulátor, ale vzhledem k rozhodnutí v předchozím odstavci volím pásový dopravník.



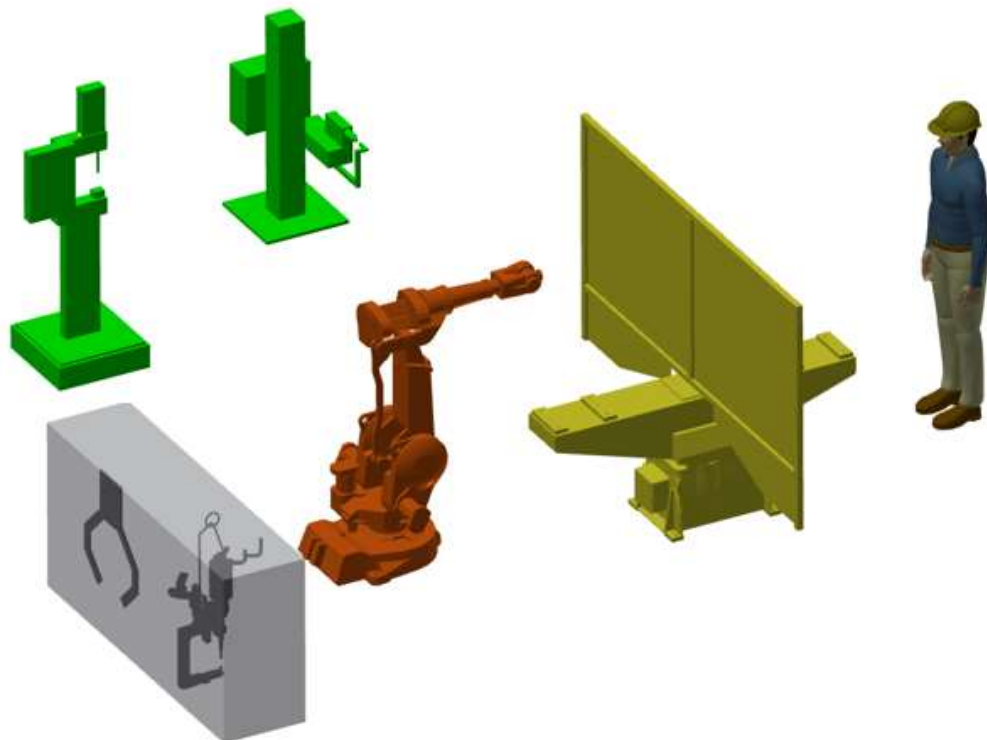
## 4.2 Návrhové varianty

Na základě technologických možností a již provedených rozhodnutí jsem vypracoval tři návrhové varianty pracoviště. Varianty jsou odstupňovány dle počtu robotů. Konečná varianta bude vybrána metodou vícekritériálního hodnocení. Rozhodujícími kritérii pro výběr jsou následující:

- čas pro výrobu jednoho dílu
- náklady
- zástavbový prostor, bezpečnost

### Varianta 1

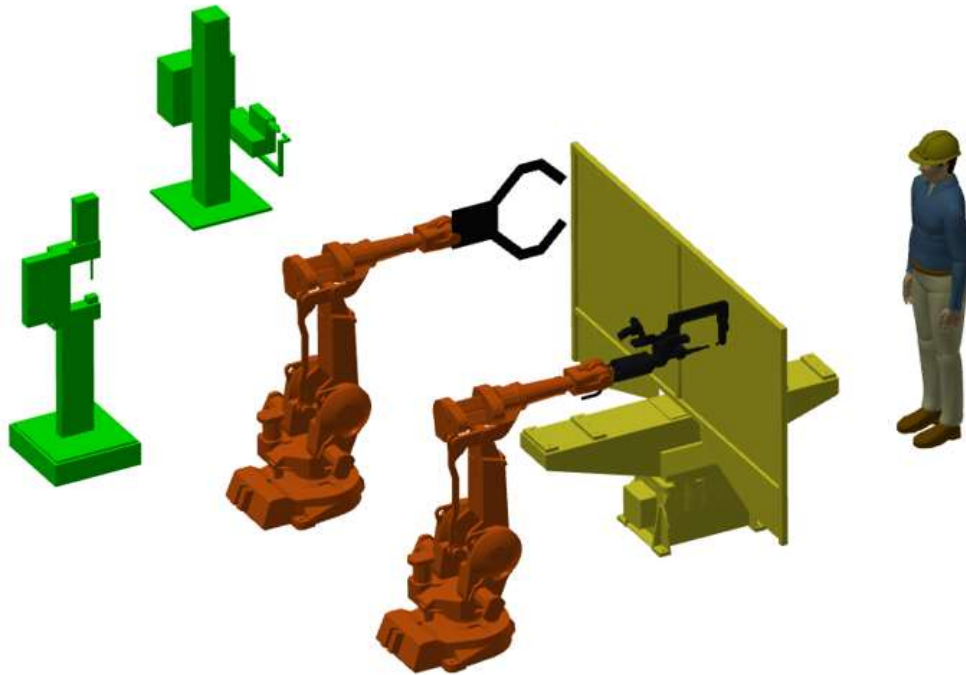
Díly jsou ručně zakládány do přípravku na otočném stole (dvoupolohový stacionární manipulátor). Svařování i následnou manipulaci k dalším zařízením obstarává jeden robot za použití technologie vyměnitelných hlavic. Otočný stůl je vyznačen žlutou barvou, zařízení pro lisování matic a navařování šroubů zelenou barvou. Zásobník hlavic je vyznačen šedivou barvou.



Obr. 4.2.1 - Schéma návrhové varianty 1

### Varianta 2

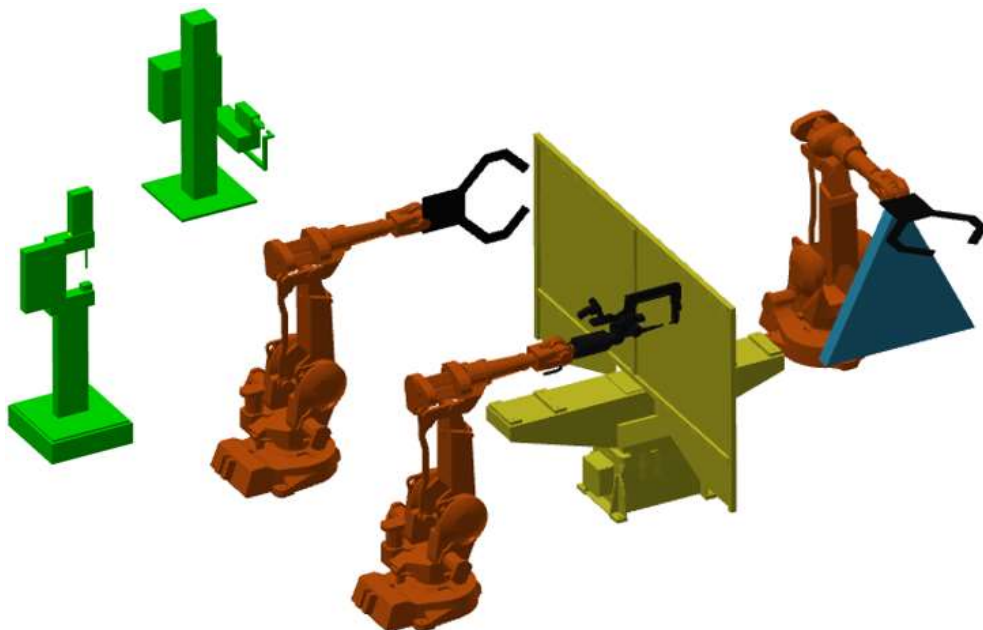
Svařování a následnou manipulaci obstarávají na rozdíl od první varianty dva roboty, každý s vlastní hlavicí. Není proto třeba použití vyměnitelných hlavic. Barevné značení shodné jako v Obr. 4.2.1.



*Obr. 4.2.2 - Schéma návrhové varianty 2*

### **Varianta 3**

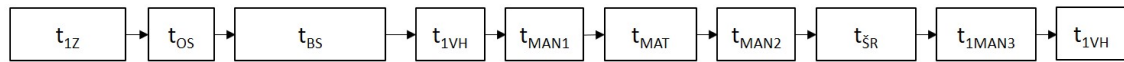
Díly jsou do přípravku zakládány robotem vybaveným technologií robotického vidění, pro svařování a manipulaci jsou použity dva roboty jako ve variantě 2. Barevné značení shodné.



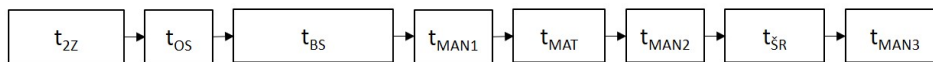
*Obr. 4.2.3 - Schéma návrhové varianty 3*

## 4.2.1 Porovnání výrobních časů návrhových variant

Technologické postupy jednotlivých varianty jsou až na drobné odchylky shodné. U varianty 1 se v postupu vyskytuje navíc výměna hlavice, u varianty 3 se počítá s menším časem pro založení. Technologický postup pro jednotlivé varianty znázorňují Obr. 4.2.4 až Obr. 4.2.6



Obr. 4.2.4 - Technologický postup pro variantu 1



Obr. 4.2.5 - Technologický postup pro variantu 2



Obr. 4.2.6 - Technologický postup pro variantu 3

Použité značení v Obr. 4.2.4 až Obr. 4.2.6

$t_{iz}$  čas zakládání dílů pro variantu  $i$

$t_{OS}$  čas pro otočení stolu

$t_{BS}$  čas pro bodové svařování

$t_{1VH}$  čas pro výměnu pracovní hlavice robota u varianty 1

$t_{MAN1}$  čas pro manipulaci mezi bodovým svařováním a navařováním šroubů

$t_{SR}$  čas pro navařování šroubů

$t_{MAN2}$  čas pro manipulaci mezi navařováním šroubů a lisováním matic

$t_{MAT}$  čas pro lisování matic

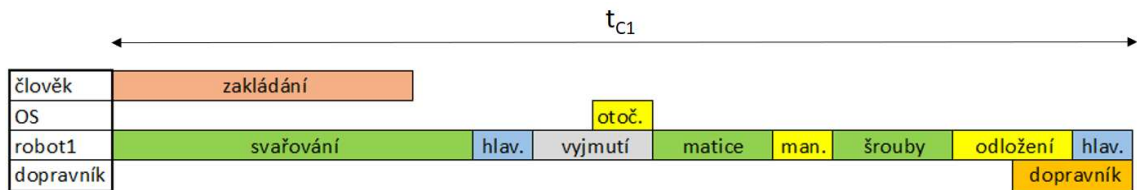
$t_{MAN3}$  čas pro manipulaci mezi lisováním matic, pásovým dopravníkem a výchozí polohou robota

Pro porovnání výrobních časů jednotlivých variant byly použity Ganttovy diagramy. Ty znázorňují výrobní proces jako cyklus složený z dílčích operací o určité časové náročnosti. Jelikož pro navržené varianty jsou časy většiny dílčích operací shodné, ale liší se jejich řazení, nebyly zatím počítány časy jednotlivých dílčích operací. Zatímco například čas pro bodové svařování je pro všechny varianty stejný, čas pro založení dílu je pro třetí variantu menší. Pro porovnání postačují Ganttovy diagramy, které znázorňují možnosti souběžného průběhu operací viz Obr. 4.2.7 až Obr. 4.2.9



### Varianta 1

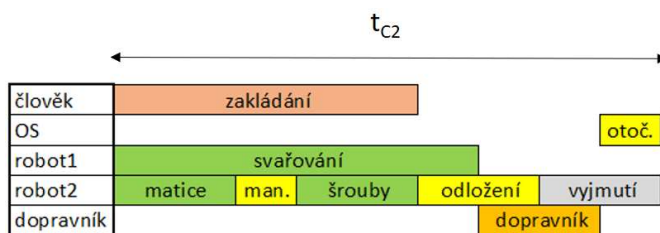
- výchozí stav - po otočení stolu
- díly v oběhu - celkem 2
  - 1. díl: vně pracoviště, před založením
  - 2. díl: vevnitř pracoviště, založen v přípravku, před svařováním



Obr. 4.2.7 - Ganttův diagram pro variantu 1

### Varianta 2

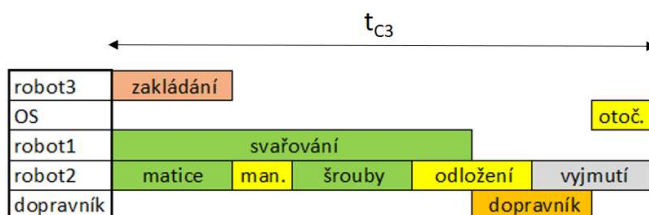
- výchozí stav - po otočení stolu
- díly v oběhu - celkem 3
  - 1. díl: vně pracoviště, před založením
  - 2. díl: vevnitř pracoviště, založen v přípravku, před svařováním
  - 3. díl: uchopen po vyjmutí z přípravku



Obr. 4.2.8 - Ganttův diagram pro variantu 2

### Varianta 3

- výchozí stav - po otočení stolu
- díly v oběhu - celkem 3
  - 1. díl: vně pracoviště, před založením
  - 2. díl: vevnitř pracoviště, založen v přípravku, před svařováním
  - 3. díl: uchopen po vyjmutí z přípravku



Obr. 4.2.9 - Ganttův diagram pro variantu 3



Z diagramů vyplývá, že čas pro výrobu jednoho dílu je u varianty 1 vyšší než u varianty 2 a 3. U variant 2 a 3 je výrobní čas stejný. Pro přesné stanovení výrobního času bude u konečné varianty provedena offline simulace.

#### 4.2.2 Porovnání nákladů na návrhové varianty

Roční náklady jsou tvořeny dvěma složkami: odpisy z investičních nákladů a náklady na provoz pracoviště. Odpisy z investičních nákladů ovlivňuje výše investičních nákladů (pořizovací cena robotů, PLC, úchopných hlavice, bezpečnostních zařízení, ohrazení a ev. robotického vidění pro variantu 3) a doba odpisů (je uvažována zkrácená doba odpisů - 5 let). Náklady na provoz tvoří mzdy, energie a údržba.

Odpisy z investičních nákladů se vypočítají dle vzorce (4):

$$O_R = \frac{1}{t_o} \cdot (n_{rob} \cdot C_{rob} + C_{PLC} + C_{úh} + C_{ohr} + C_{bezp} + C_{rv}) \quad (4)$$

Výpočet ročních odpisů je shrnut v Tab. 4.2.1.

Tab. 4.2.1 - Výpočet ročních odpisů

<b>Položka</b>	<b>Varianta 1</b>	<b>Varianta 2</b>	<b>Varianta 3</b>
Cena robotů	1 500 000 Kč	3 000 000 Kč	4 500 000 Kč
PLC	100 000 Kč	100 000 Kč	100 000 Kč
Úchopné hlavice	150 000 Kč	150 000 Kč	300 000 Kč
Ohrazení	80 000 Kč	80 000 Kč	100 000 Kč
Bezpečnostní zařízení	120 000 Kč	120 000 Kč	150 000 Kč
Robotické vidění	0 Kč	0 Kč	400 000 Kč
<b>Celkem</b>	<b>1 950 000 Kč</b>	<b>3 450 000 Kč</b>	<b>5 550 000 Kč</b>
Doba odpisů [roků]	5	5	5
<b>Roční odpisy</b>	<b>390 000 Kč</b>	<b>690 000 Kč</b>	<b>1 110 000 Kč</b>

Roční náklady na provoz pracoviště se vypočítají dle vzorce (5):

$$N_R = s \cdot n_d \cdot M_{sh} \cdot 12 + N_{rob} \cdot n_{rob} \quad (5)$$

Výpočet ročních nákladů na provoz je shrnut v Tab. 4.2.2

Tab. 4.2.2 - Výpočet ročních nákladů na provoz

<b>Položka</b>	<b>Varianta 1</b>	<b>Varianta 2</b>	<b>Varianta 3</b>
Směnnost	2	2	2
Superhrubá mzda	20 100 Kč	20 100 Kč	20 100 Kč
Měsíců	12	12	12
Dělníků	2	2	1
Mzdy	964 800 Kč	964 800 Kč	482 400 Kč
Údržba a provoz robotů	100 000 Kč	200 000 Kč	300 000 Kč
<b>Celkem</b>	<b>1 084 900 Kč</b>	<b>1 184 900 Kč</b>	<b>802 500 Kč</b>



### 4.2.3 Další kritéria

Dalšími kritérii při výběru výsledné varianty jsou: velikost zástavbového prostoru a bezpečnostní hlediska. Pro variantu 3 je zástavbový prostor vyšší než u variant 1 a 2, jelikož se musí ohradit i prostor okolo třetího robota pro zakládání. Z hlediska bezpečnosti jsou všechny varianty - při správné instalaci ohrazení a dalších bezpečnostních prvků- rovnocenné.

### 4.2.4 Vyhodnocení variant

Závěrečné srovnání a vyhodnocení se provede metodou vícekritériálního hodnocení. Výsledky jsou shrnuty v Tab. 4.2.3.

Tab. 4.2.3 - Vyhodnocení variant

Kritérium	Váha	Var 1	Var 2	Var 3
Výrobní čas	5	3	5	5
Roční odpisy	3	5	4	1
Roční náklady	3	1	1	3
Zástavbový prostor	2	3	3	2
Bezpečnost	4	3	3	3
<b>Celkem</b>		<b>51</b>	<b>58</b>	<b>53</b>

Na základě vícekritériálního hodnocení volím jako výslednou variantu 2 - se dvěma roboty vevnitř pracoviště a ručním zakládáním.

## 4.3 Rozpracování vybrané varianty

### 4.3.1 Odhad výrobního času

Pro odhad výrobního času bylo nutné spočítat přibližně časy úkonů obou robotů. Výrobním časem celého pracoviště pak bude delší z nich. Empirické vzorce pro výpočet času a dílčí časy (např. pro svaření jednoho bodu) byly voleny na základě konzultace ve firmě KPL-Design.

Odhad času robota 1 se provede dle vzorce (6):

$$t_{R1} = n_{SB} \cdot t_{SB} + n_{P1} \cdot t_P + t_{OS} + t_{VYJ} \quad (6)$$

$t_{R1}$	pracovní čas robota 1	
$n_{SB}$	počet svařovacích bodů	$n_{SB} = 41$
$t_{SB}$	čas pro svaření jednoho bodu včetně přejezdů mezi body	$t_{SB} = 3 \text{ s}$
$n_P$	počet přejezdů robota z jedné polohy do jiné (např. z pracovní do vyčkávací)	$n_{P1} = 2$
$t_P$	čas pro přejezdu robota z polohy do jiné (např. z pracovní do vyčkávací)	$t_P = 5 \text{ s}$
$t_{VYJ}$	čas pro vyjmutí dílu z přípravku	$t_{VYJ} = 10 \text{ s}$
$t_{OS}$	čas pro otočení stolu	$t_{OS} = 5 \text{ s}$



Dosazení do vzorce:  $t_{R1} = 41 \cdot 3 \text{ s} + 2 \cdot 5 \text{ s} + 5 \text{ s} + 10 \text{ s} = 148 \text{ s}$

Odhad času robota 2 se provede dle vzorce (7):

$$t_{R2} = n_{MAT} \cdot t_{MAT} + n_{\text{ŠR}} \cdot t_{\text{ŠR}} + n_{P2} \cdot t_P + t_{VYJ} + t_{LO\text{Ž}} \quad (7)$$

$t_{R2}$	pracovní čas robota 2	
$n_{MAT}$	počet lisovaných matic	$n_{MAT} = 12$
$t_{MAT}$	čas pro nalisování jedné matice včetně přejezdů mezi maticemi	$t_{MAT} = 4 \text{ s}$
$n_{\text{ŠR}}$	počet navařovaných šroubů	$n_{\text{ŠR}} = 5$
$t_{\text{ŠR}}$	čas pro navaření jednoho šroubu včetně přejezdů mezi šrouby	$t_{\text{ŠR}} = 5 \text{ s}$
$n_P$	počet přejezdů robota z jedné polohy do jiné (např. mezi stanovišti)	$n_{P2} = 5$
$t_P$	čas pro přejezdu robota z polohy do jiné (např. mezi stanovišti)	$t_P = 5 \text{ s}$
$t_{VYJ}$	čas pro vyjmutí dílu z přípravku	$t_{VYJ} = 10 \text{ s}$
$t_{LO\text{Ž}}$	čas pro odložení dílu na dopravník	$t_{LO\text{Ž}} = 10 \text{ s}$

Dosazení do vzorce:

$$t_{R2} = 12 \cdot 4 \text{ s} + 5 \cdot 5 \text{ s} + 5 \cdot 5 \text{ s} + 10 \text{ s} + 10 \text{ s} = 118 \text{ s}$$

Odhadovaný výrobní čas celého pracoviště:

$$t_{CO} = 148 \text{ s}$$

### 4.3.2 Výběr robotů

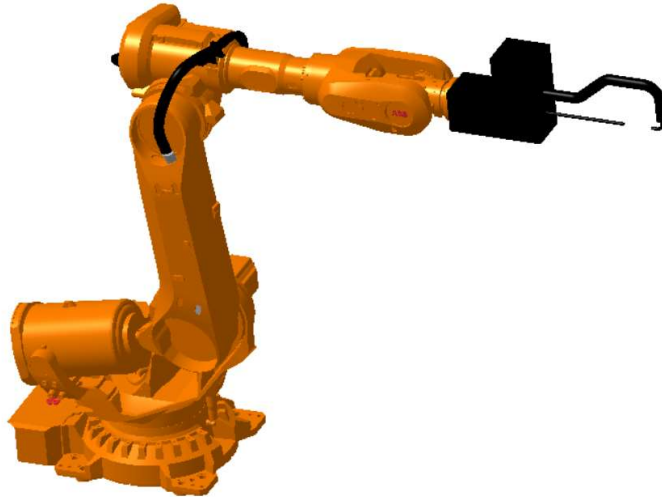
Volba robotů se provádí na základě potřebné nosnosti a potřebného dosahu robota. Potřebný dosah robota je nejvíce ovlivněn rozměry svařovaného dílu a vlastnostmi dílu. Pro robota se svařovacími kleštěmi (dále již jen robot 1) předpokládám zátěž 120 kg, pro robota s úchopnou hlavicí 150 kg (dále již jen robot 2). Pro robota se v běžné praxi<sup>1</sup> počítá s rezervou okolo 50 %. Vzniká tím prostor pro případnou pozdější modifikaci přípravku nebo pro změny vyráběného dílu. Bude se tedy jednat o roboty pro střední až velkou zátěž. Přibližné rozměry vnější obalové plochy plechu jsou 2000x1200x100 mm. Z toho vyplývají požadavky na dosah robota 2, v běžné praxi<sup>1</sup> se volí o 25-50 % větší než největší rozměr manipulovaného dílu. Pro dosah robota 1 je důležité umístění svařovacích bodů - ty nejsou rozmístěny po celém dílu viz Obr. 4.1.1. Je však nutné zohlednit fakt, že robot 1 musí být umístěn v dostatečné vzdálenosti od přípravku, aby mohl být svařený díl vyjmut z přípravku robotem 2 - tím vzrůstají požadavky na dosah robota 1.

<sup>1</sup> v zadávající firmě KPL-Design, s.r.o.

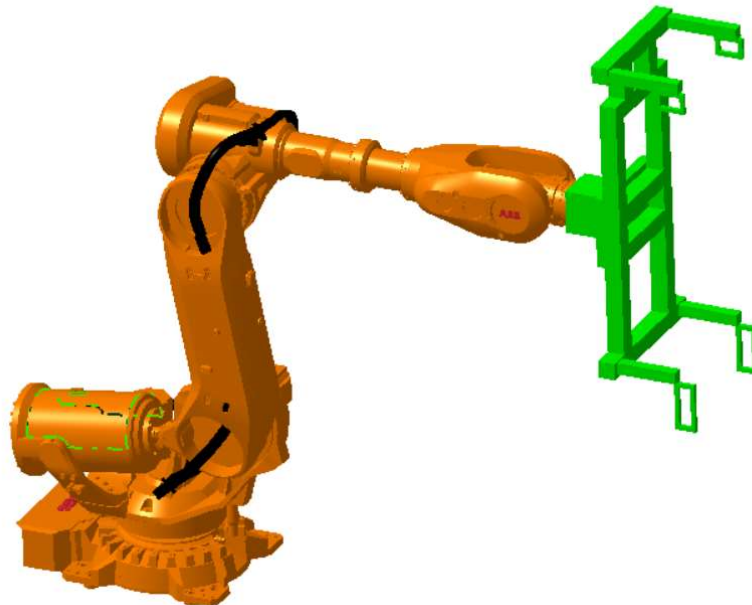


Zvolené roboty:

- |            |                      |                                    |
|------------|----------------------|------------------------------------|
| - robot 1: | ABB IRB 6700-200-260 | - nosnost 200 kg<br>- dosah 2,60 m |
| - robot 2: | ABB IRB 6700-245-300 | - nosnost 245 kg<br>- dosah 3,00 m |



Obr. 4.3.1 - Robot ABB IRB 6700-200-260 se zjednodušeným modelem svařovacích kleští



Obr. 4.3.2 - Robot ABB IRB 6700-245-300 se zjednodušeným modelem úchopné hlavice



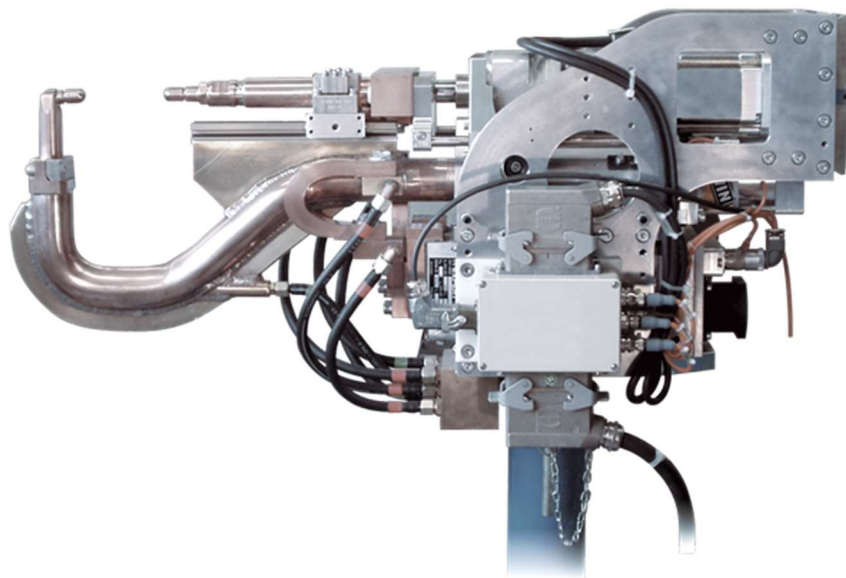
### 4.3.3 Výběr svařovacích kleští

Pro volbu svařovacích kleští jsou důležité následující parametry: konstrukce svařovaných dílů, počet svařovaných plechů a jejich tloušťka. Podle konstrukce svařovaných dílů - především podle rozmístění a dostupnosti svařovacích bodů – se volí typ konstrukce kleští. Počet svařovaných plechů a jejich tloušťka má vliv na potřebnou vyvozovanou sílu a proud pro napájení. Dále je možné volit mezi pneumatickým pohonem a servopohonem kleští, tato volba závisí na dispozicích pracoviště a na přání zákazníka. Pro požadovanou aplikaci je nutné taktéž ověřit konstrukci elektrod – lze navrhnout úpravy konstrukce pro dosažení lepšího kontaktu s plechy, popř. pro zamezení kolizí. Parametry pro výběr svařovacích kleští viz Tab. 4.3.1.

Tab. 4.3.1 - Parametry pro výběr svařovacích kleští

Konstrukce	typ C
Potřebný zdvih	100 mm
Počet svařovaných plechů	2
Tloušťka plechů	1 mm

Dle požadovaných parametrů byly vybrány následující svařovací kleště: NIMAK C 50



Obr. 4.3.3 - Svařovací kleště NIMAK C 50 [18]

### 4.3.4 Specifikace zařízení pro navařování šroubů

Pro navařování šroubů jsou použity nakupovaná zařízení – firmy specializující se na spojovací materiál vyvíjejí technologie přímo dle potřeb automobilového průmyslu. Ty spočívají především

v možnostech automatizace výroby a v aplikaci na svařované plechové karoserie. Výběr zařízení je tedy dán již při samotném návrhu karoserie volbou spojovacího materiálu. V tomto případě se jedná o navařované šrouby Tucker dodávané i s technologií firmou Stanley. Parametry navařovaných šroubů a navařovací hlavice viz Tab. 4.3.2 a Tab. 4.3.3.



Obr. 4.3.4 - Šrouby Tucker firmy Stanley pro navařování k plechovým dílům [19]



Obr. 4.3.5 - Tucker LM 240 - Navařovací hlavice firmy STANLEY [19]

Tab. 4.3.2 - Parametry navařovaných šroubů Tucker [19]

Závit	M6
Délka závitu	11,7 mm
Délka celého šroubu	18 mm
Povrchová úprava	Pozinkované

Tab. 4.3.3 - Parametry navařovací hlavice Tucker LM 240 [19]

Hmotnost	5,5 kg
Napájecí napětí – stejnosměrný proud	140 V
Maximální proud	2,5 A
Operační tlak	0,4 - 0,8 MPa

### 4.3.5 Specifikace zařízení pro lisování matic

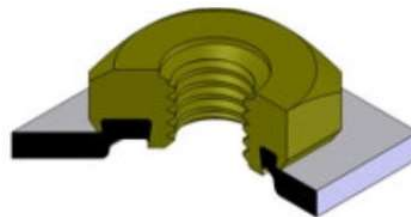
U zařízení pro lisování matic je situace obdobná jako u navařovaných šroubů – výběr zařízení je dán již použitím spojovacího materiálu. Jedná se o matice dodávané firmou Arnold Shinjo spolu i s potřebnými technologiemi.

Použité matice: PIAS KP5S

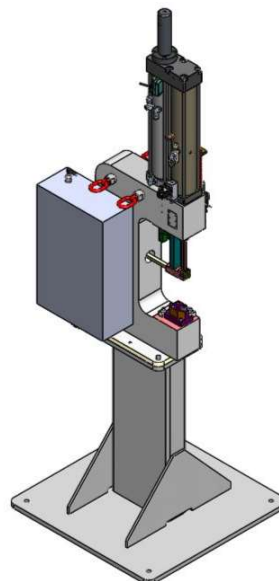
Označení lisu: Arnold Shinjo C-Bügel 60kN

Tab. 4.3.4 - Parametry matic a lisu

Velikost matice	M5
Lisovací síla	60 kN



Obr. 4.3.6 - Matice PIAS KP5S [20]



Obr. 4.3.7 - Lis Arnold Shinjo [20]

### 4.3.6 Specifikace otočného stolu

Pro výběr otočného stolu jsou zásadní následující parametry: požadovaný počet poloh, doba otočení a moment setrvačnosti přípravků upnutých na stole vůči ose otáčení stolu. Hodnoty požadovaných parametrů viz Tab. 4.3.5.

Tab. 4.3.5 - Parametry pro výběr otočného stolu

Počet poloh	2
Čas otočení	5 s
Moment setrvačnosti	1070 kg.m <sup>2</sup>

Na základě požadovaných parametrů byl vybrán otočný stůl:

FIBROTOR EM.18.0750.0

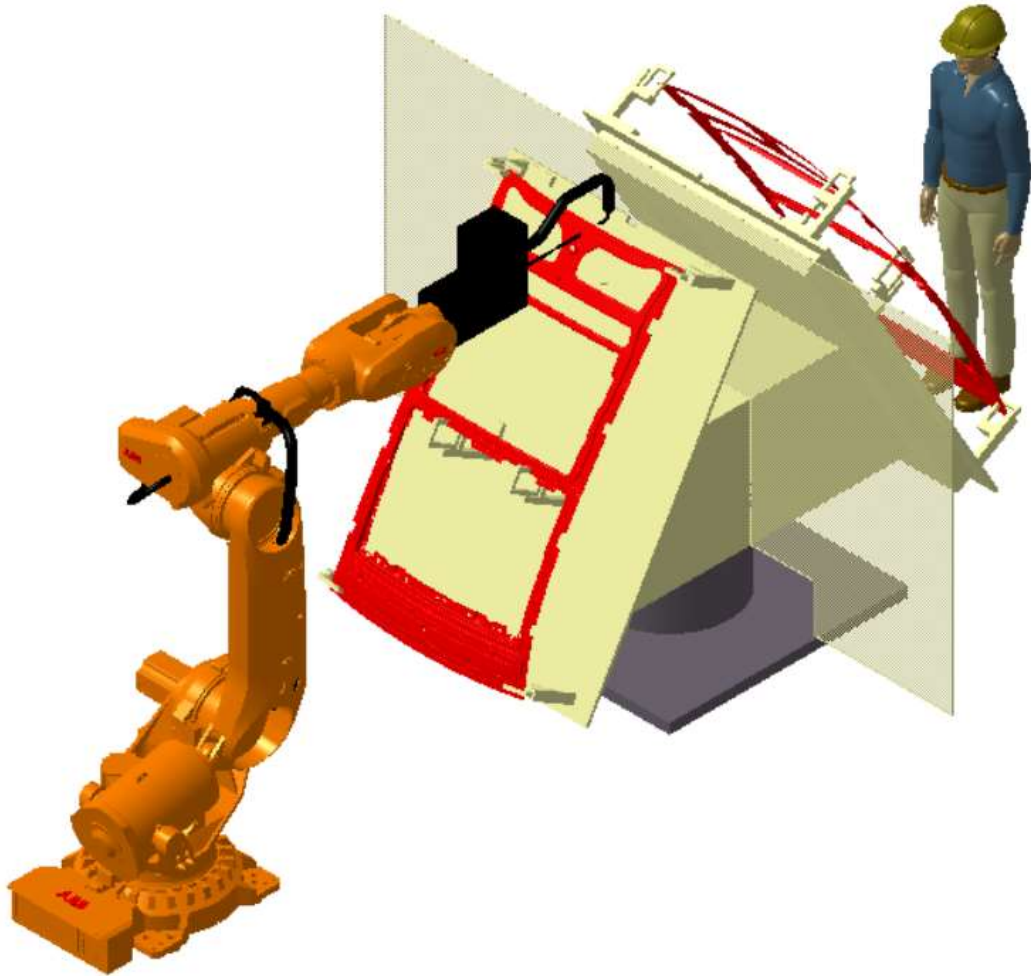


Obr. 4.3.8 - Otočný stůl FIBROTOR EM [21]

### 4.3.7 Návrh celého pracoviště

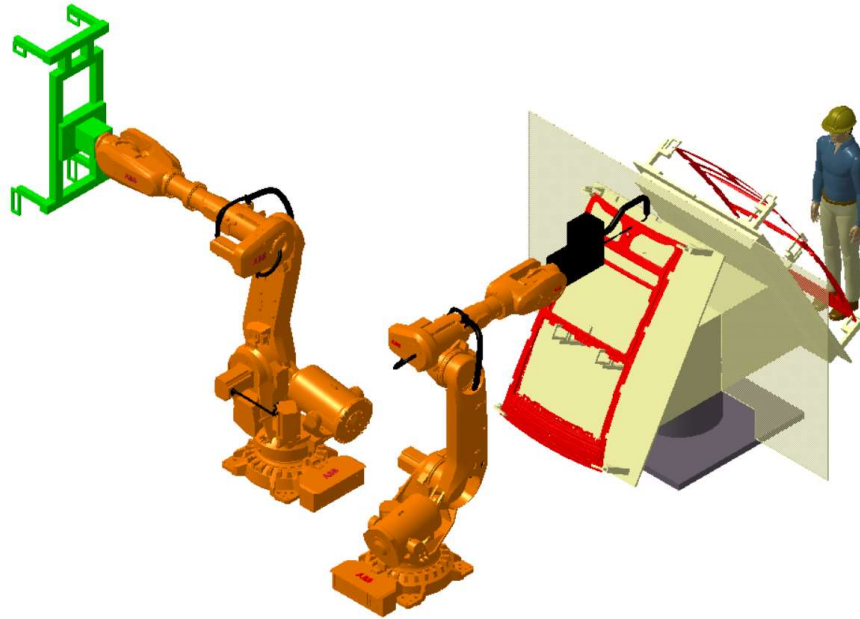
Pro návrh pracoviště byly vytvořeny zjednodušené 3D modely zařízení v softwaru Catia V5. Modely použitých robotů byly staženy ze webových stránek firmy ABB. Při návrhu pracoviště je nutné rozmístit jednotlivá stanoviště tak, aby byla v dosahu robotů, a zároveň tak, aby nedocházelo ke kolizím. Lze využít možnosti 3D softwaru - modely robotů umožňují zobrazit dosah (páté osy), do modelů stacionárních zařízení je vhodné vložit manipulovaný díl v krajních polohách - to umožňuje volbu pozic zařízení s ohledem na potřebný prostor a dosah robotů.

Nejprve byl umístěn otočný stůl s přípravkem. Z jedné strany bude probíhat ruční zakládání, z druhé strany bude probíhat bodové svařování. Pozice robota pro svařování byla zvolena přímo proti přípravku. Vzdálenost robota byla zvolena s ohledem na dosah robota a na rozměr svařovacích kleští.



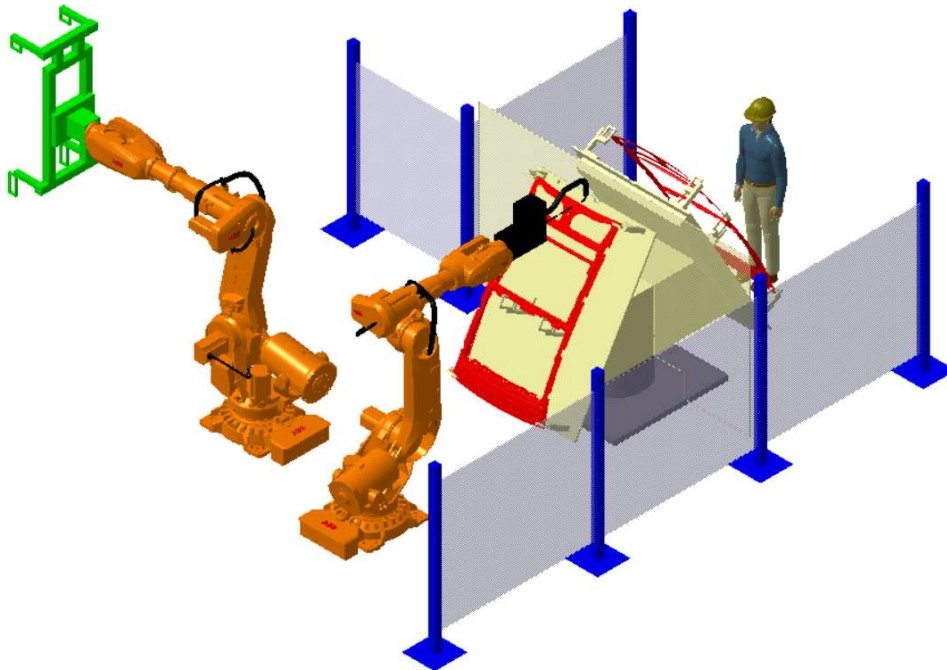
*Obr. 4.3.9 - Umístění otočného stolu s přípravkem, robota pro svařování a obsluhy*

Následně je nutné umístit manipulačního robota. Manipulační robot bude vyjímat svařenec z přípravku, zatímco svařovací robot uhne ke straně. Poté bude manipulační robot polohovat svařenec ke stacionárnímu zařízení, aby bylo možné navařit šrouby a nalisovat matice. Proto byl manipulační robot umístěn tak, aby při vyjímání svařence z přípravku byl na hranici dosahu - tím se dosáhne většího prostoru pro následnou manipulaci a zabrání se tím kolizím.



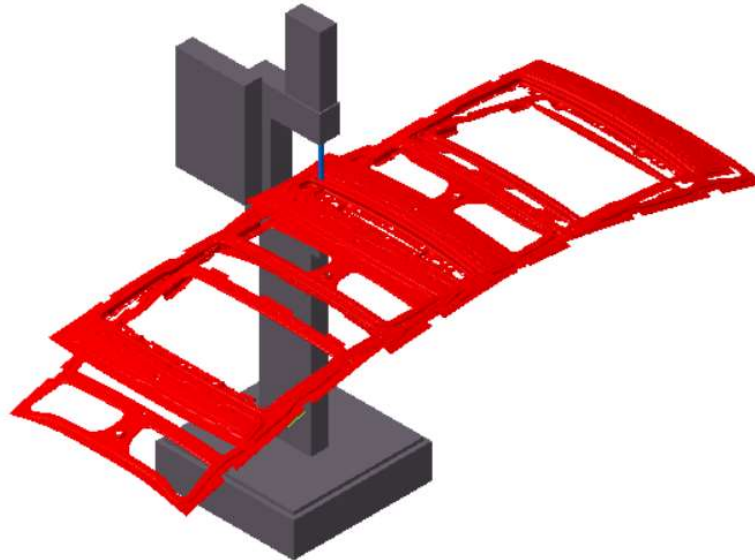
*Obr. 4.3.10 - Umístění robota s úchopnou hlavici*

V této fázi návrhu lze začít tvořit oplocení pracoviště. Oplocení je bezpečnostním prvkem, který zabraňuje zranění dělníků pohyblivými částmi (ramenem robota, otočným stolem). Oplocení se běžně volí obdélníkové půdorysu okolo robotické části, k té je nutné přidat další části pro zabezpečení otočného stolu.



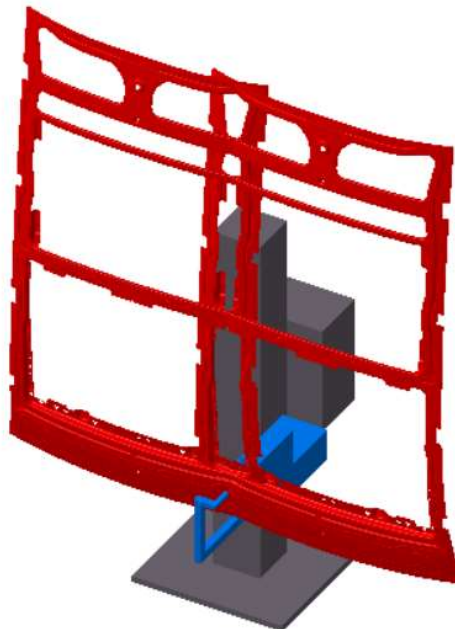
*Obr. 4.3.11 - Umístění části oplocení*

Pozice stacionárních zařízení se volí s ohledem na potřebný manipulační prostor. U zařízení pro lisování matic se pracovní poloha svařence nachází ve vodorovné rovině, okolo tohoto zařízení tedy bude muset být více volného prostoru.



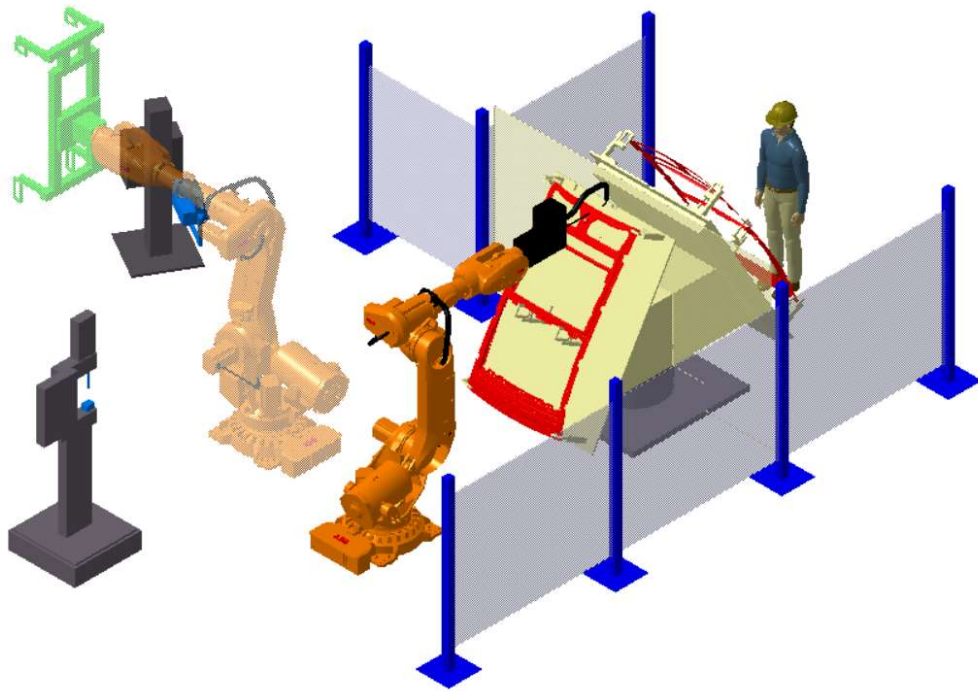
*Obr. 4.3.12 - Stacionární zařízení pro lisování matic se zobrazenými krajními polohami dílu*

Naopak u zařízení pro navařování šroubů leží pracovní rovina svařence ve svislé rovině, toto zařízení tedy nevyžaduje okolo sebe tolik volného prostoru.



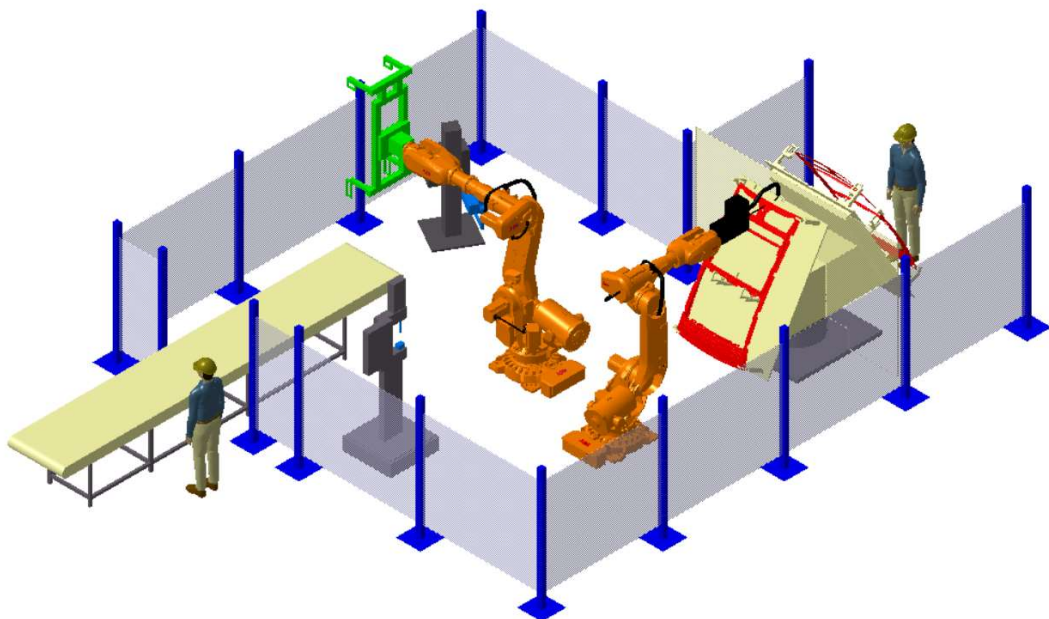
*Obr. 4.3.13 - Stacionární zařízení pro navařování šroubů se zobrazenými krajními polohami dílu*

Pozice zařízení pro lisování matic a zařízení pro navařování šroubů byla zvolena s ohledem na zmíněné nároky na prostor.



*Obr. 4.3.14 - Umístění stacionárních zařízení*

Při posledním kroku návrhu pracoviště byl umístěn dopravník, pomocí kterého hotový díl opouští pracoviště, a bylo doplněno oplocení. Na Obr. 4.3.15 je zobrazen výsledný model návrhu pracoviště. Návrh bude následně ověřen pomocí offline simulace. Provedení simulace je nezbytné pro ověření dosahu robotů. Dále se kontroluje, zdali nedochází ke kolizím.



*Obr. 4.3.15 - Model celého pracoviště*



## 4.4 Kontrola návrhu pomocí offline simulace

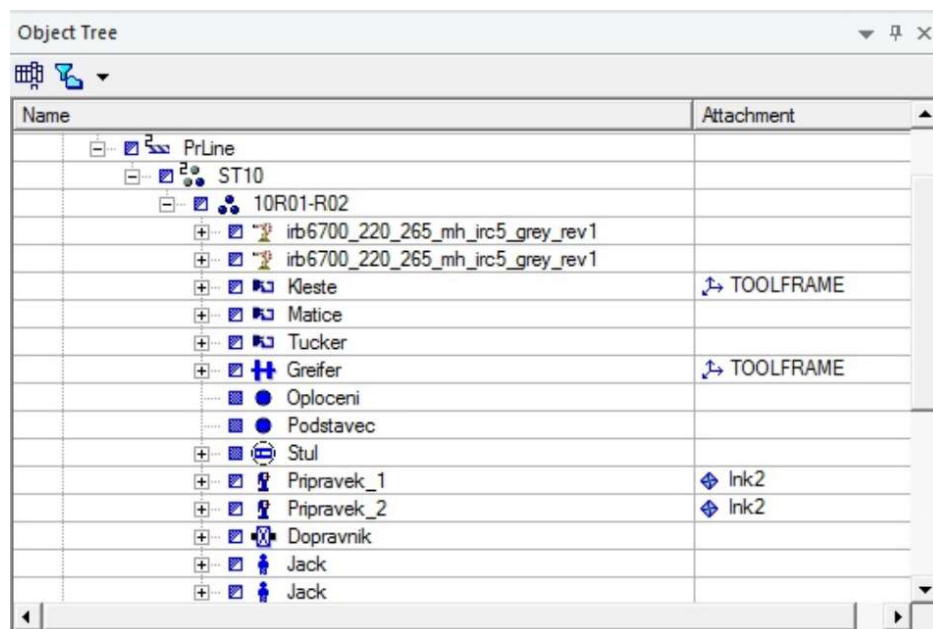
Offline simulace byla provedena v softwaru Process Simulate (dále jen PS) firmy Siemens. Nejprve bylo nutné nahrát vytvořené modely do systémového prostředí PS - vytvořené modely z Catie bylo nutno převést do formátu \*.jt, se kterým pracuje PS. Po nahrání do systémového prostředí byly modely vloženy jako objektu do studie - v tomto okamžiku bylo nutné definovat typy objektů (Gun - svař. kleště nebo jiné technologické hlavice, Conveyer – dopravník, Turntable – otočný sůl atd.). Roboty se vkládají z knihovny softwaru. Jelikož v knihovně PS, ani na webových stránkách podpory ABB, ani jinde na internetu nebyly k dispozici kinematizované modely vybraných robotů, rozhodl jsem se pro použití jiných robotů, než zvolených v kapitole 4.3.2. Toto rozhodnutí lze brát jako modelovou situaci, kdy si zákazník vyžádal použití jiného druhu robotů, např. jelikož mu z předchozích zakázek zůstaly na skladě navíc.

Nově zvolený typ: ABB IRB 6700-220-265

Původně zvolené typy: ABB IRB 6700-200-260

ABB IRB 6700-245-300

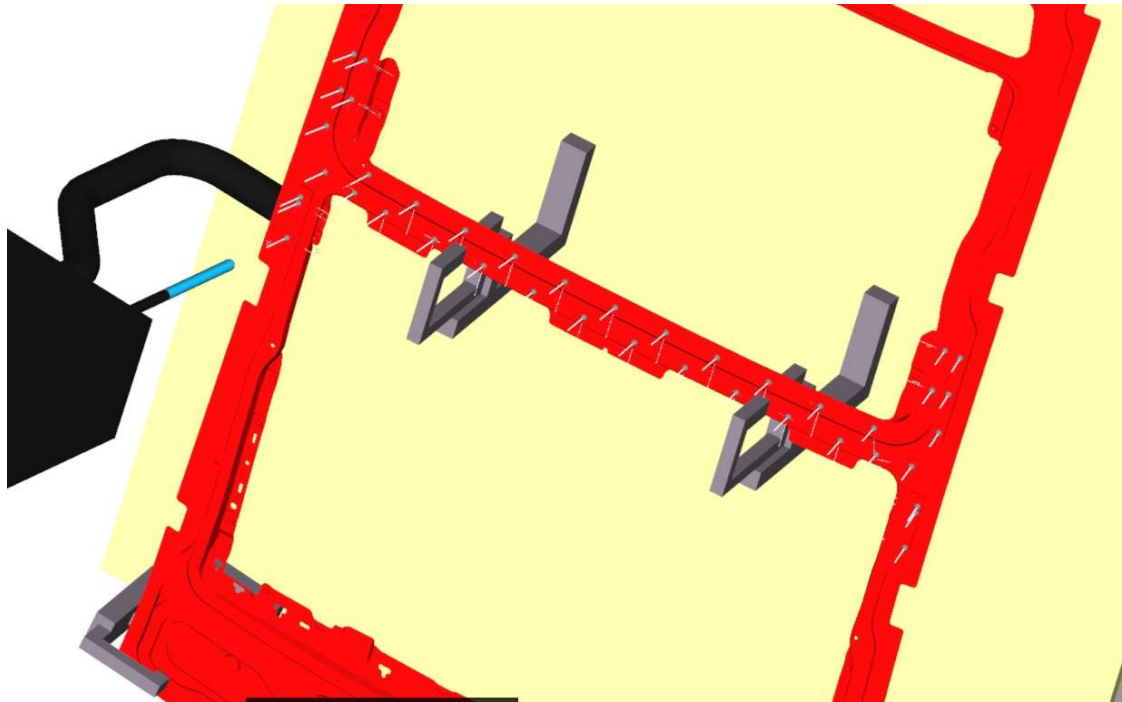
Jedná se o typ ze stejné modelové řady, pouze v jiné konfiguraci. Oproti původní volbě robota 1 je jeho dosah i nosnost vyšší, u robota 2 nižší. Vzhledem k původně uvažovaným rezervám, lze dosah i nosnost u robota 2 považovat za dostačující – ověřeno bude pomocí simulace.



Obr. 4.4.1 - Object tree v Process Simulate

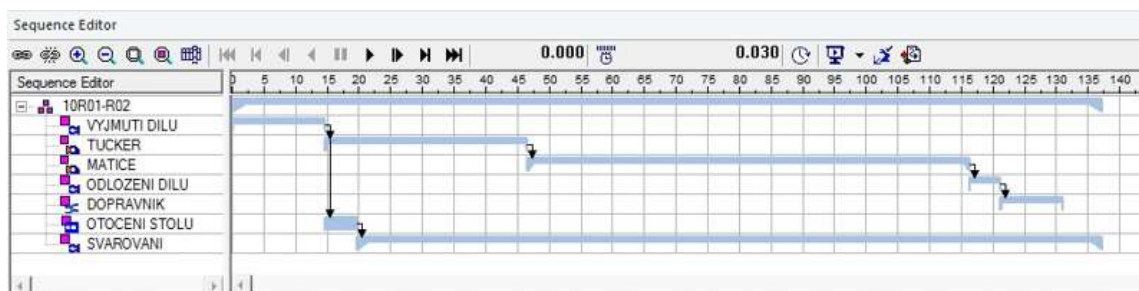
Po nahrání objektů bylo nutné připnout kleště a úchopnou hlavici k robotům. Následně se již mohly tvořit dráhy pro pohyb robotů. Dráhy se tvoří pomocí cílových bodů, kterých dosahuje pracovní bod hlavice. V případě svařovacích kleští je hlavice s pracovním bodem pohyblivá,

cílové body jsou nehybné na plechu v přípravku. V dalších případech navařovaných šroubů a matic je pracovní bod hlavice nehybný a polohován je díl s cílovými body.



Obr. 4.4.2 - Svařovací body v Process Simulate

U všech bodů se stanoví ještě potřebná orientace a v případě potřeby se doplní další body mezi svařovací pro zabránění kolizí s přípravkem. Obdobně se zvolí body u dalších zařízení. Po vytvoření drah při jednotlivých operacích se dodělaly přejezdy mezi operacemi. V dalším kroku se jednotlivé operace řadí za sebe tak, jak budou ve skutečnosti probíhat viz Obr. 4.4.3.



Obr. 4.4.3 - Sequence Editor v Process Simulate

Posledním krokem byla optimalizace z hlediska souběžné činnosti robotů - např. před zahájením lisování matic bylo nutné přidat časovou prodlevu, aby se zabránilo kolizi.

#### 4.4.1 Vyhodnocení simulace

Pomocí offline simulace byla ověřena možnost dosažení všech pracovních poloh robotů - bylo však nutné provést změny v rozmístění zařízení - robot 2 byl natočen o 15° okolo svislé osy a byl umístěn na podstavec

Změny v rozmístění zařízení byly následně doplněny i v 3D modelu pracoviště. Výsledný model pracoviště se zmíněnými změnami i se změněným typem robotů je na Obr. 4.4.4.

Pomocí simulace byl také upřesněn výrobní čas. Výrobní čas stanovený simulací:

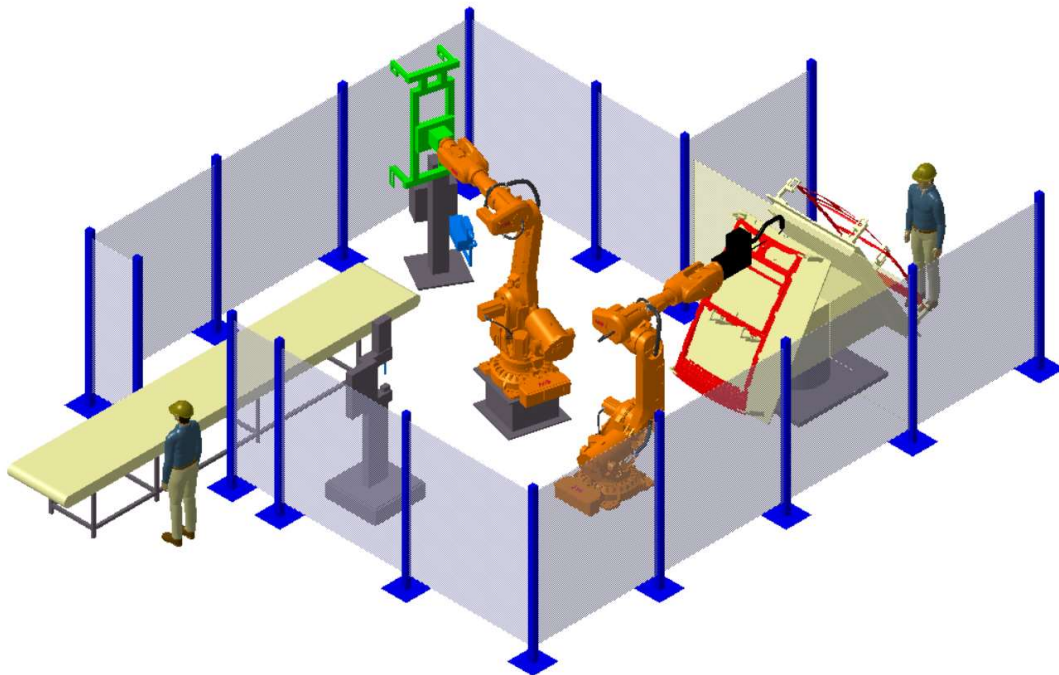
$$t_{cv} = 137,4 \text{ s}$$

Výrobní čas stanovený simulací je nižší, než byl odhad předběžným výpočtem – předběžným výpočtem bylo stanoveno:

$$t_{co} = 148 \text{ s}$$

Výrobní čas také splňuje požadavek zadání:

$$t_{cv} \leq t_{MAX} = 150 \text{ s}$$



Obr. 4.4.4 - Model celého pracoviště se změnami dle simulace



## 5 Závěr

Na základě vypracované rešerše byly navrženy tři varianty pracoviště – odstupňované dle míry robotizace. Metodou vícekritériálního hodnocení byla jako výsledná vybrána varianta dvě – se dvěma roboty vevnitř pracoviště pro svařování a technologické operace a lidskou obsluhou vně pracoviště pro zakládání dílů do přípravku a paletizaci hotových dílů. Hlavní předností zvolené varianty byla kombinace krátkého výrobního času a nízkých provozních a investičních nákladů.

Při rozpracování vybrané varianty byly s ohledem na potřebný dosah a potřebnou nosnost vybrány vhodné roboty. Dále byla specifikována ostatní použitá technologická zařízení – svařovací kleště, zařízení pro navařování šroubů a zařízení pro lisování matic.

Následně byly vytvořeny zjednodušené 3D modely všech součástí pracoviště. Kromě technologických prostředků se jednalo ještě o otočný stůl, přípravek, úchopnou hlavici, dopravník a bezpečnostní oplocení pracoviště. Na základě velikosti jednotlivých prvků a potřebného manipulačního prostoru okolo jednotlivých zařízení bylo navrženo celé pracoviště – rozmístění jednotlivých prvků uvnitř pracoviště.

Pro vytvoření návrh pracoviště byla v dalším kroku zpracována offline simulace. Během simulace se odhalila potřeba drobných úprav v rozvržení pracoviště kvůli dosahům robotů. Tyto úpravy byly poté zapracovány i do 3D modelu pracoviště. S potřebnými úpravami již byla simulace bez problémů – dosahy robotů byly dostatečné ani nedocházelo ke kolizím. Pomocí simulace se taktéž přesněji stanovil výrobní čas jednoho dílu.

Výsledný výrobní čas splňuje požadavek zadání, je nižší než požadovaných 150 s - cíl práce byl splněn.

K výslednému návrhu byl vypracován 2D návrhový výkres pracoviště viz příloha 2017-BP-0219-NV.

## 6 Seznamy

### 6.1 Seznam obrázků

- Obr. 2.1.1 - Rozměry svařence [1]
- Obr. 2.1.2 - Poloha svařovacích bodů [1]
- Obr. 2.1.3 - Poloha navařovaných šroubů (bíle) a lisovaných matic (žlutě) [1]
- Obr. 3.1.1 - Robot pro manipulaci s obrobkem [3]
- Obr. 3.1.2 - Linka pro svařování karoserie [4]
- Obr. 3.1.3 - Linka pro lakování karoserie [5]
- Obr. 3.2.1 - Rozdělení průmyslových robotů a manipulátorů [2]
- Obr. 3.3.1 - Průmyslový robot se sériovou kinematičnou strukturou [2]
- Obr. 3.3.2 - Složený kinematičký řetězec [2]
- Obr. 3.3.3 - Robot s paralelní kinematičnou strukturou [6]
- Obr. 3.3.4 - Schéma pohonu [2]
- Obr. 3.4.1 – Mechanická úchopná hlavice [7]
- Obr. 3.4.2 - Pracovní hlavice pro bodové svařování – tzv. svařovací kleště [8]
- Obr. 3.4.3 - Pracovní hlavice pro lakování [9]
- Obr. 3.4.4 - Magnetická úchopná hlavice [10]
- Obr. 3.4.5 - Podtlaková úchopná hlavice [11]
- Obr. 3.5.1 - Prodej průmyslových robotů ve světě v letech 2004-2015 [12]
- Obr. 3.5.2 - Státy s nejvyšším počtem robotů na 10 000 pracovníků v automobilovém průmyslu [12]
- Obr. 3.6.1 - Schéma elektrického oblouku [14]
- Obr. 3.6.2 - Bodové svařování [14]
- Obr. 3.6.3 - Svařovací robot a polohovací manipulátor [13]
- Obr. 3.6.4 - Stabilní svařovací automat a polohovací robot [13]
- Obr. 3.6.5 - Schéma - Svařovací robot a dvojnásobný polohovací manipulátor [13]
- Obr. 3.6.6 - Model - Svařovací robot a dvojnásobný polohovací manipulátor [13]
- Obr. 3.6.7 - Schéma - Stabilní průmyslový robot a translačně přestavitelné polohovací manipulátory [13]
- Obr. 3.6.8 - Stabilní průmyslový robot a translačně přestavitelné polohovací manipulátory [13]
- Obr. 3.6.9 - Schéma - Svařovací robot umístěný na transportním modulu a dvěma stabilními polohovacími manipulátory [13]
- Obr. 3.6.10 - Svařovací robot umístěný na transportním modulu a dvěma stabilními polohovacími manipulátory [13]
- Obr. 3.6.11 - Svařovací transformátor umístěn mimo konstrukci robota [13]
- Obr. 3.6.12 - Svařovací transformátor umístěn na ramenu robota odděleně od svařovacích kleští [13]
- Obr. 3.6.13 - Svařovací transformátor jako integrovaná součást bodových kleští [13]
- Obr. 3.6.14 - Svařovací transformátor oddělený od dvojice elektrod, které nejsou uspořádány v rámci kleští [13]
- Obr. 3.7.1 - Polohovací manipulátor firmy ABB řady IRBP L
- Obr. 3.7.2 - Polohovací manipulátor firmy ABB řady IRBP K
- Obr. 3.7.3 - Polohovací manipulátor firmy ABB řady IRBP R
- Obr. 3.7.4 - Polohovací manipulátor firmy ABB řady IRBP A
- Obr. 3.7.5 - Polohovací manipulátor firmy ABB řady IRBP B
- Obr. 3.7.6 - Polohovací manipulátor firmy ABB řady IRBP C
- Obr. 3.8.1 - Stavebnicový systém Siegmund firmy JC-metal [15]
- Obr. 3.8.2 - Ruční upínka firmy JC-metal [15]
- Obr. 3.8.3 - Pneumatická upínka firmy Tünkers [16]



- Obr. 4.1.1 - Rozmístění bodů pro svařování
- Obr. 4.2.1 - Schéma návrhové varianty 1
- Obr. 4.2.2 - Schéma návrhové varianty 2
- Obr. 4.2.3 - Schéma návrhové varianty 3
- Obr. 4.2.4 - Technologický postup pro variantu 1
- Obr. 4.2.5 - Technologický postup pro variantu 2
- Obr. 4.2.6 - Technologický postup pro variantu 3
- Obr. 4.2.7 - Ganttův diagram pro variantu 1
- Obr. 4.2.8 - Ganttův diagram pro variantu 2
- Obr. 4.2.9 - Ganttův diagram pro variantu 3
- Obr. 4.3.1 - Robot ABB IRB 6700-200-260 se zjednodušeným modelem svařovacích kleští
- Obr. 4.3.2 - Robot ABB IRB 6700-245-300 se zjednodušeným modelem úchopné hlavice
- Obr. 4.3.3 - Svařovací kleště NIMAK C 50 [17]
- Obr. 4.3.4 - Šrouby Tucker firmy Stanley pro navařování k plechovým dílům [18]
- Obr. 4.3.5 - Tucker LM 240 - Navařovací hlavice firmy STANLEY [18]
- Obr. 4.3.6 - Matice PIAS KP5S [19]
- Obr. 4.3.7 - Lis Arnold Shinjo [19]
- Obr. 4.3.8 - Otočný stůl FIBROTOR EM [20]
- Obr. 4.3.9 - Umístění otočného stolu s přípravkem, robota pro svařování a obsluhu
- Obr. 4.3.10 - Umístění robota s úchopnou hlavicí
- Obr. 4.3.11 - Umístění části oplocení
- Obr. 4.3.12 - Stacionární zařízení pro lisování matic se zobrazenými krajními polohami dílu
- Obr. 4.3.13 - Stacionární zařízení pro navařování šroubů se zobrazenými krajními polohami dílu
- Obr. 4.3.14 - Umístění stacionárních zařízení
- Obr. 4.3.15 - Model celého pracoviště
- Obr. 4.4.1 - Object tree v Process Simulate
- Obr. 4.4.2 - Svařovací body v Process Simulate
- Obr. 4.4.3 - Sequence Editor v Process Simulate
- Obr. 4.4.4 - Model celého pracoviště se změnami dle simulace

## 6.2 Seznam tabulek

- Tab. 3.1.1 - Procentuální zastoupení robotů v jednotlivých technologických operacích [2]
- Tab. 3.3.1 - Porovnání paralelní a sériové kinematické struktury [2]
- Tab. 3.7.1 - Přehled výrobního programu polohovacích manipulátorů firmy ABB [6]
- Tab. 4.1.1 - Technologické možnosti
- Tab. 4.2.1 - Výpočet ročních odpisů
- Tab. 4.2.2 - Výpočet ročních nákladů na provoz
- Tab. 4.2.3 - Vyhodnocení variant
- Tab. 4.3.1 - Parametry pro výběr svařovacích kleští
- Tab. 4.3.2 - Parametry navařovaných šroubů Tucker [18]
- Tab. 4.3.3 - Parametry navařovací hlavice Tucker LM 240 [18]
- Tab. 4.3.4 - Parametry matic a lisu
- Tab. 4.3.5 - Parametry pro výběr otočného stolu



## 6.3 Seznam použité literatury

- [1] KPL-Design, s.r.o. Praha, 2016.
- [2] RUMÍŠEK, Pavel. Automatizace: Roboty a manipulátory, Brno: VUT v Brně, 2003.
- [3] SKAŘUPA, Jiří. Roboty a manipulátory: učební text. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2613-4
- [4] Moderní technologie produktivního obrábění [online]. MISAN s.r.o. [cit. 2016-12-13]. Dostupné z: <http://www.misan.cz/akce/akce/mazak-amp-iscar---moderni-technologie-produktivniho-obrabeni---20-a-21102010/>
- [5] KUKA – Alles, was sich in der Automatisierung bewegt [online]. ÖlCheck. [cit. 2016-12-13]. Dostupné z: <https://www.oelcheck.de/wissen-von-a-z/schmierstoffe-im-einsatz/industrie/kuka-alles-was-sich-in-der-automatisierung-bewegt.html>
- [6] Roboter ersetzen Maschinen [online]. Autogramm. [cit. 2016-12-13]. Dostupné z: [http://autogramm.volkswagen.de/09\\_12/standorte/standorte\\_16.html](http://autogramm.volkswagen.de/09_12/standorte/standorte_16.html)
- [7] Robotics [online]. ABB. [cit. 2016-12-13]. Dostupné z: <http://new.abb.com/products/robotics>
- [8] Grippersystems [online]. Goeke-Group. [cit. 2016-12-13]. Dostupné z: <http://www.goeke-group.com/en/technologies/grippersystems/grippersystems.html>
- [9] Punktschweißzange für Roboter [online]. Direct Industry. [cit. 2016-12-18]. Dostupné z: <http://www.directindustry.de/prod/aro/product-8013-39500.html>
- [10] Mehr Qualität in der Fensterlackierung [online]. Besser lackieren [cit. 2016-12-18]. Dostupné z: <http://www.besserlackieren.de/Industrielle-Anwendungen/Sonstige-Beschichtungen/Mehr-Qualitaet-in-der-Fensterlackierung>
- [11] Manufacturing solutions [online]. Eclipse Magnetics. [cit. 2016-12-18]. Dostupné z: [http://www.magnets2buy.com/global/page.php?id=Manufacturing\\_Solutions&lang=de](http://www.magnets2buy.com/global/page.php?id=Manufacturing_Solutions&lang=de)
- [12] Schmalz Vacuum [online]. Airpower [cit. 2016-12-18]. Dostupné z: <http://airpower.ie/schmaizireland.html>
- [13] Statistics and Market Data about Engineering [online]. Statista [cit. 2017-01-9]. Dostupné z: <https://www.statista.com/markets/407/topic/433/engineering/>
- [14] JALOVÁ, Martina. Výrobní stroje a zařízení. Praha: interní učební text Ú12135, 2015.
- [15] NĚMEC, Milan, Jan SUCHÁNEK a Jan ŠANOVEC. Základy technologie I. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN 80-010-3530-1.
- [16] Produkty [online]. JC-Metal [cit. 2017-02-23]. Dostupné z: <https://www.jcmetal.cz/produkty.html>
- [17] VARIO CLAMP V 40-80 [online]. Tünkers [cit. 2017-02-23]. Dostupné z: [http://www.tuenkers.com/d3/d3\\_product\\_detail.cfm?productid=P0013011](http://www.tuenkers.com/d3/d3_product_detail.cfm?productid=P0013011)
- [18] *Punkt- und Buckel-Schweißzangen* [online]. NIMAK [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <https://www.nimak.de/de/produkte-loesungen/produktgruppen/roboter-schweisszangen/punkt-buckel-schweisszangen/>



- [19] *Tucker Stud Welding* [online]. STANLEY [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.emhart.eu/eu-en/products-services/products-by-category/tucker-stud-welding/>
- [20] *Pias self piercing KP Nuts* [online]. Northern Precision [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.npfasteners.com/arnoldshinjo/pias-kp.htm>
- [21] *Rotary tables for automation systems* [online]. FIBRO [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.fibro.de/en/rotary-tables/product-groups/rotomotionrotary-tables-for-automation-systems/>

## 6.4 Seznam použitého softwaru

- CATIA V5R24
- Tecnomatix Process Simulate v12.1 - licence firmy KPL-Design
- MS Word 2013
- MS Excel 2013
- Adobe Acrobat Reader

## 6.5 Seznam příloh

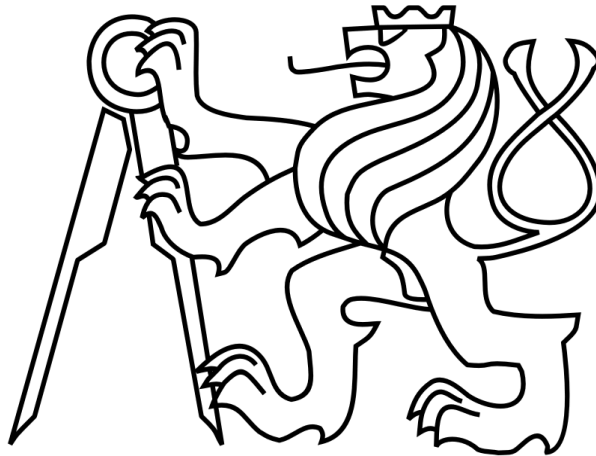
- Textové:
- Příloha 1: Technická data robotů ABB IRB6700
  - Příloha 2: Výroba, prodej a nasazení průmyslových robotů ve světě a v Evropě
- Výkresová dokumentace:
- 2017-BP-0219-NV - Robotizované pracoviště
  - 2017-BP-0219-K - Kusovník
- Elektronické:
- CD - elektronická podoba práce, 3D modely, data simulace



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



# Bakalářská práce

Návrh robotického pracoviště pro svařování dílu karosérie

**Přílohová část**

# Příloha č.1 - Technická data robotů ABB IRB6700

## Simplified maintenance

In designing the new robot, easier serviceability was identified as a critical aspect for improving its total cost of ownership. The end result is a doubling of time between service intervals and an optimization of maintenance. Service and repair time has been reduced by as much as 15 percent.

Access to motors has also been improved and technical documentation for maintenance has become easier to read and understand through the use of improved graphics and 3D simulations called "Simstructions."

## Built around LeanID

Every robot in the 6700 family has been designed to accommodate LeanID—a new Integrated Dressing (ID) solution meant to achieve a balance between cost and durability by integrating the most exposed parts of the dress pack into the robot. Equipping an IRB 6700 with LeanID makes it easier to program and simulate with predictable cable movements, creates a more compact footprint, and lengthens service intervals due to lessened wear and tear.

## Features and benefits

- Increased service intervals and decreased service times
- Longer uptime—mean time between failures 400,000 hours
- Available with LeanID for cost effectively increasing dress pack lifetimes
- More robust with a rigid structure and a new generation of motors and compact gearboxes
- Increased speed and shorter cycle times—on average 5 percent faster
- Improved accuracy and higher payloads
- Built to operate in the harshest environments—available with Foundry Plus 2 package
- 15 percent lower energy consumption

## Specification without LeanID

Robot versions	Reach	Handling capacity	Center of gravity	Wrist torque
IRB				
6700-200	2.60 m	200 kg	300 mm	981 Nm
6700-155	2.85 m	155 kg	300 mm	927 Nm
6700-235	2.65 m	235 kg	300 mm	1324 Nm
6700-205	2.80 m	205 kg	300 mm	1263 Nm
6700-175	3.05 m	175 kg	300 mm	1179 Nm
6700-150	3.20 m	150 kg	300 mm	1135 Nm
6700-300	2.70 m	300 kg	300 mm	1825 Nm
6700-245	3.00 m	245 kg	300 mm	1693 Nm

Extra loads can be mounted on all variants.

50 kg on upper arm and 250 kg on frame of axis 1.

Number of axes	6
Protection	Complete robot IP 67
Mounting	Floor mounted
IRCS Controller variants	Single cabinet, Panel Mounted Controller

## Specification with LeanID

Robot versions	Reach	Handling capacity	Center of gravity	Wrist torque
IRB				
6700-200	2.60 m	175 kg	300 mm	981 Nm
6700-155	2.85 m	140 kg	300 mm	927 Nm
6700-235	2.65 m	220 kg	300 mm	1324 Nm
6700-205	2.80 m	200 kg	300 mm	1263 Nm
6700-175	3.05 m	155 kg	300 mm	1179 Nm
6700-150	3.20 m	145 kg	300 mm	1135 Nm
6700-300	2.70 m	270 kg	300 mm	1825 Nm
6700-245	3.00 m	220 kg	300 mm	1693 Nm

Extra loads can be mounted on all variants.

50 kg on upper arm and 250 kg on frame of axis 1.

Number of axes	6
Protection	Complete robot IP 67
Mounting	Floor mounted
IRCS Controller variants	Single cabinet, Panel Mounted Controller

## Performance

	6700-200	6700-155	6700-235	6700-245
Pos. repeatability RP (mm)	0.10	0.10	0.10	0.10
Path repeatability RT (mm)	0.06	0.12	0.08	0.12
	6700-205	6700-175	6700-150	6700-300
Pos. repeatability RP (mm)	0.10	0.10	0.10	0.10
Path repeatability RT (mm)	0.08	0.12	0.14	0.07

Power and productivity  
for a better world™ 

### IRB 6700-200, IRB 6700-155

Axis movements	Working range	Axis max speed
Axis 1 Rotation*	+170° to -170°	110°/s
Axis 2 Arm	+85° to -65°	110°/s
Axis 3 Arm	+70° to -180°	110°/s
Axis 4 Wrist	+300° to -300°	190°/s
Axis 5 Bend**	+130° to -130°	150°/s
Axis 6 Turn***	+360° to -360°	210°/s

A supervision function prevents overheating in applications with intensive and frequent movements.

\* Option  $\pm 220^\circ$ , \*\*  $\pm 120^\circ$  for LeanID option, \*\*\*  $\pm 220^\circ$  for LeanID option

### IRB 6700-235, IRB 6700-205, IRB 6700-175, IRB 6700-150

Axis movements	Working range	Axis max speed
Axis 1 Rotation*	+170° to -170°	100°/s
Axis 2 Arm	+85° to -65°	90°/s
Axis 3 Arm	+70° to -180°	90°/s
Axis 4 Wrist	+300° to -300°	170°/s
Axis 5 Bend**	+130° to -130°	120°/s
Axis 6 Turn***	+360° to -360°	190°/s

A supervision function prevents overheating in applications with intensive and frequent movements.

\* Option  $\pm 220^\circ$ , \*\*  $\pm 120^\circ$  for LeanID option, \*\*\*  $\pm 220^\circ$  for LeanID option

### IRB 6700-300, IRB 6700-245

Axis movements	Working range	Axis max speed
Axis 1*	+170° to -170°	100°/s
Axis 2****	+85° to -65°	88°/s
Axis 3	+70° to -180°	90°/s
Axis 4	+300° to -300°	140°/s
Axis 5**	+130° to -130°	110°/s
Axis 6***	+360° to -360°	180°/s

A supervision function prevents overheating in applications with intensive and frequent movements.

\* Option  $\pm 220^\circ$ , \*\*  $\pm 120^\circ$  for LeanID option, \*\*\*  $\pm 220^\circ$  for LeanID option

\*\*\*\* Working range +85 to -58 when axis 3 is within +70 to -40

### Electrical Connections

Supply voltage	200-600 V, 50/60 Hz
Energy consumption	ISO-Cube 2.85kW

### Physical

Dimensions robot base	1004 x 720 mm
Weight	1170 - 1280 kg

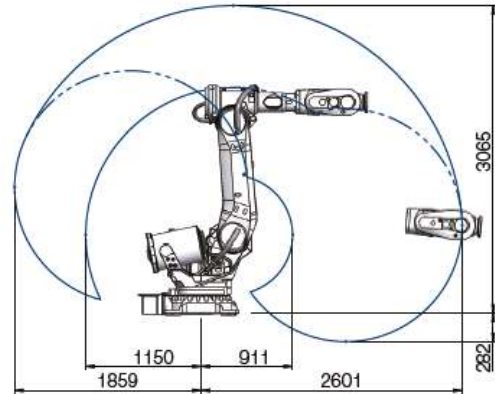
### Environment

Ambient temperature for mechanical unit	
During operation	+5°C (41°F) - +50°C (122°F) *
During transportation and storage for short periods (max 24h)	-25°C (13°F) - +55°C (131°F)
Relative humidity	Max 95 %
Noise level	Max 71 dB
Safety	Double circuits with supervision, emergency stops and safety functions, 3-position enable device
Emission	EMC/EMI-shielded
Options	Foundry Plus 2 LeanID

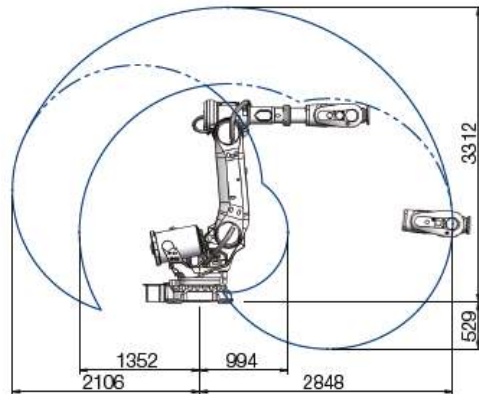
\* Data and dimensions may be changed without notice.

### Working range IRB 6700

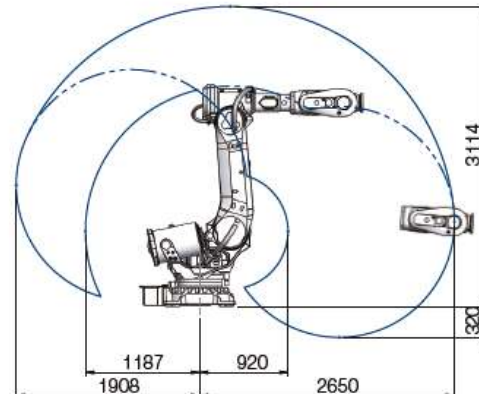
IRB 6700-200/2.60



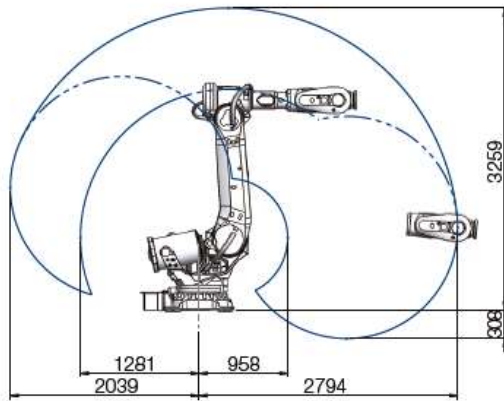
IRB 6700-155/2.85



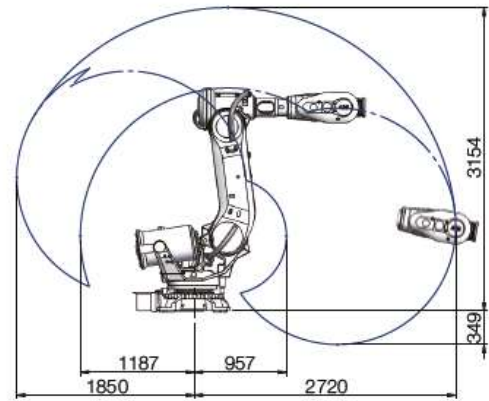
IRB 6700-235/2.65



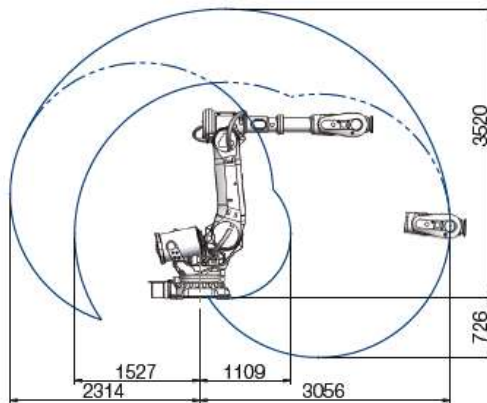
IRB 6700-205/2.80



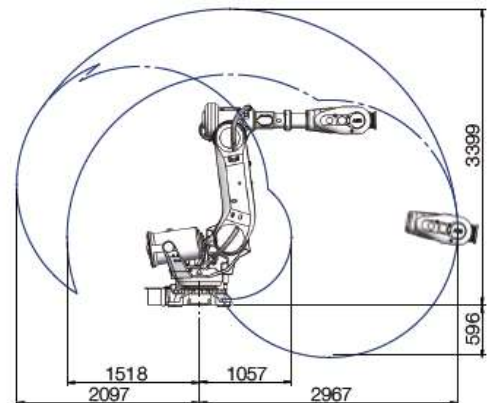
IRB 6700-300/2.70



IRB 6700-175/3.05

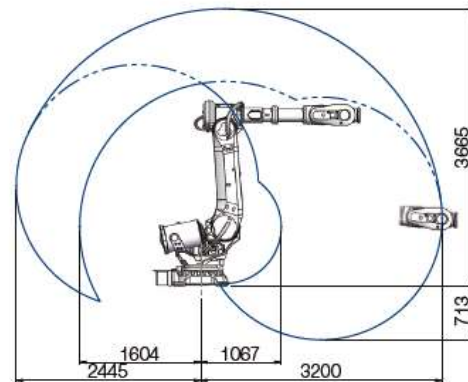


IRB 6700-245/3.00



IRB 6700-150/3.20

IRB 6700-150/3.20



For more information please contact:

**ABB AB**  
**Robotics**  
 Hydrovägen 10  
 SE-721 36 Västerås, Sweden  
 Phone: +46 21325000  
[www.abb.com/robotics](http://www.abb.com/robotics)

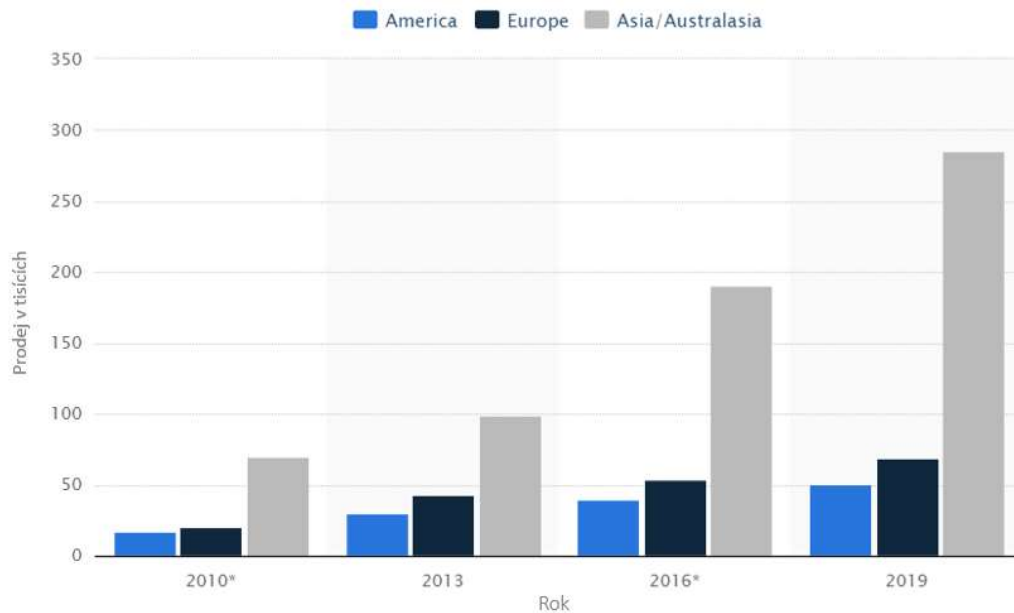
**Please note:**

We reserve the right to make technical changes to the product and to the information in this document without notice. The agreed conditions at the time of the order shall apply. ABB assumes no responsibility for any errors or omissions that may appear in this document. We reserve all rights in this document and in the information contained therein. Without prior written approval from ABB, reproduction, disclosure to third parties or use of any information, in whole or in part, is strictly forbidden.

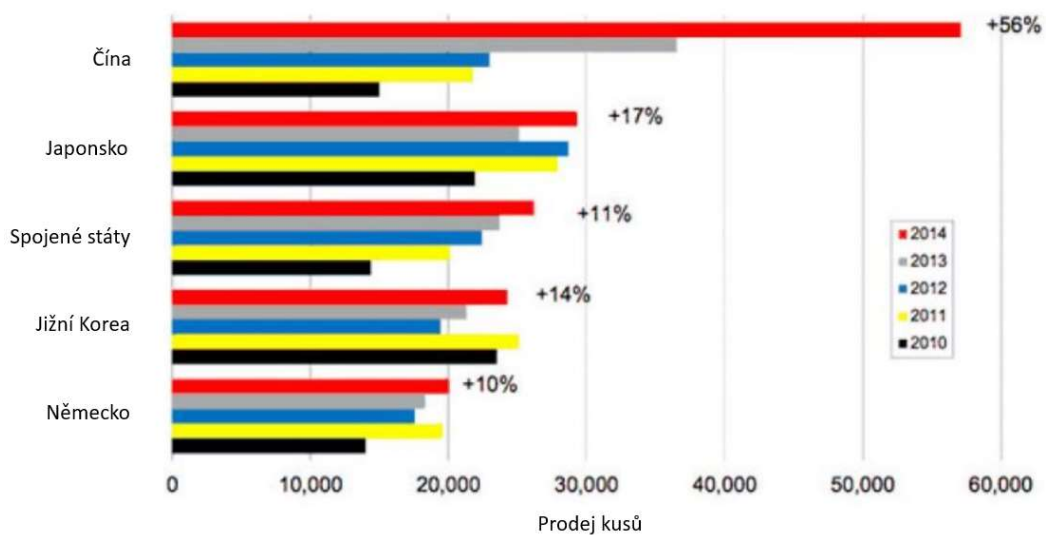
Copyright© 2014 ABB, all rights reserved

Power and productivity  
 for a better world™ **ABB**

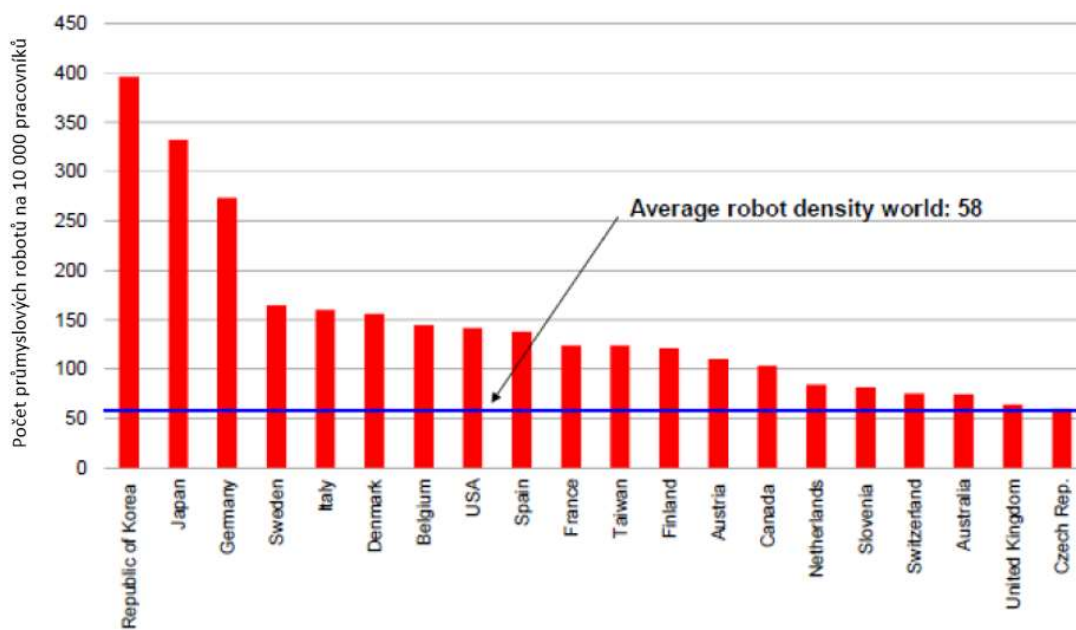
## Příloha č.2 - Výroba, prodej a nasazení průmyslových robotů ve světě a Evropě



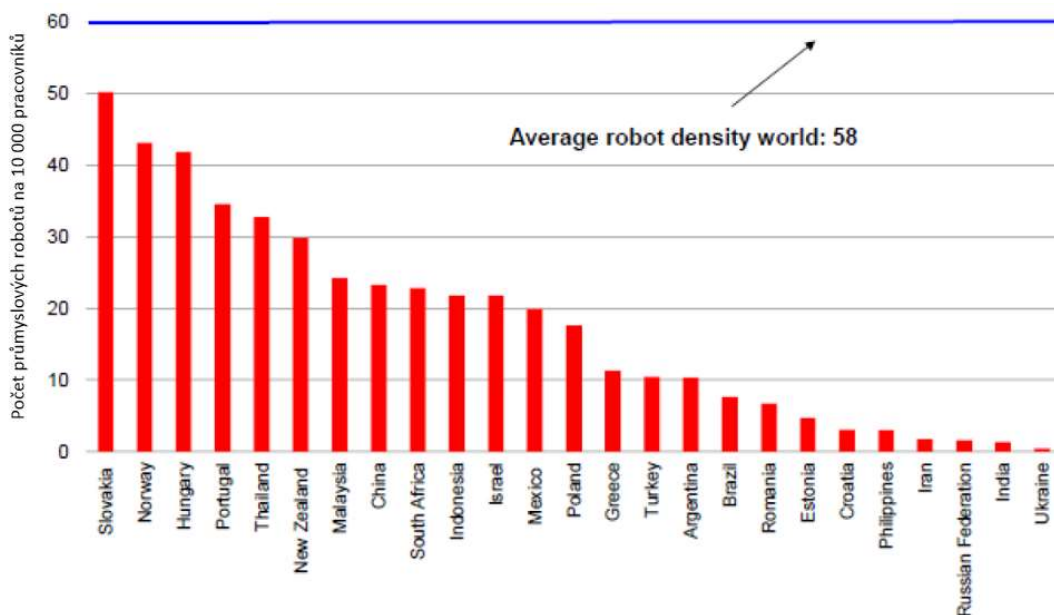
Obr. II.1 - Prodej a odhad prodeje průmyslových robotů - rozdělení dle regionů  
zdroj: lit. [12]



Obr. II.2 - Státy s nejvyšším prodejem průmyslových robotů  
zdroj: lit. [12]



Obr. II.3 - Počet průmyslových robotů na 10 000 pracovníků v jednotlivých státech (řazeno od nejvyšší) - část 1.  
zdroj: lit. [12]



Obr. II.4 - Počet průmyslových robotů na 10 000 pracovníků v jednotlivých státech (řazeno od nejvyšší) - část 2.  
zdroj: lit. [12]