

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTROTECHNIKY A
TELEKOMUNIKACÍ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Aplikace robotů v automatizovaném testování řídicích
jednotek automobilů**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: **2014/2015**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Josef VANĚK**
Osobní číslo: **E12B0161P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Aplikace robotů v automatizovaném testování řídicích jednotek automobilů**
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Analyzujte požadavky na robota pro stimulaci ovládacích prvků předního panelu dané řídicí jednotky.
2. Vytvořte přehled vhodných robotů dostupných na trhu včetně technických a ekonomických parametrů.
3. Vyberte vhodné řešení robotického pracoviště pro danou řídicí jednotku.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Michal Kubík, Ph.D.

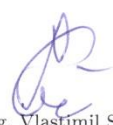
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2014**

Termín odevzdání bakalářské práce: **8. června 2015**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

Anotace

Cílem této práce je zmapovat historii robotiky a oblast kompaktních průmyslových robotů. Průmyslové roboty porovnat z hlediska technického a ekonomického. V praktické části je cílem sestavit a naprogramovat model robotu pro testování řídicích jednotek automobilu.

Provedeným výzkumem bylo zjištěno, že v České republice je velké zastoupení výrobců průmyslových robotů, tudíž pro český trh je dostatečně široká nabídka, ze které lze vybrat robot přesně podle požadavků.

Klíčová slova

Průmyslový robot, řídicí jednotka, historie robotiky, delta robot, HiL, ECU, LEGO Mindstorm, EV3

Abstract

The objectives of this thesis are to survey the history of robotics and industrial robots and also to compare compact industrial robots in their technical and economic terms. The practical part of the thesis is focused on the building and programming of a small robot for front panel stimulation of an automotive electronics control unit.

The survey showed the result that there are numerous manufacturers of industrial robots in the Czech Republic. The market offers sufficient wide selection of robots, from which a robot can be selected exactly according to requirements of a project.

Key words

Industrial robot, controller unit, robots history, delta robot, HiL, ECU, LEGO Mindstorms, EV3

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma „Aplikace robotů v automatizovaném testování řídicích jednotek automobilů“ vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....
Podpis

V Plzni dne 5.6.2015

Josef Vaněk

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Michalu Kubíkovi, Ph.D. za odborné vedení práce, věcné připomínky, profesionální rady, metodické vedení práce a vstřícnost při konzultacích bakalářské práce. Dále bych poděkoval Ing. Petru Weissarovi, Ph.D. za pomoc při stavbě modelu robotu a především celé své rodině a podporu při studiu a zpracovávání této práce.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM ZKRATEK	10
SEZNAM SYMBOLŮ	10
ÚVOD	11
1 HISTORIE ROBOTŮ	12
1.1 VZNIK SLOVA ROBOT	12
1.2 DEFINICE ROBOTIKY	12
1.3 HISTORIE A VÝVOJ	13
1.3.1 Starověk	13
1.3.2 Středověk	14
1.3.3 Novověk	14
1.3.4 Moderní doba	15
2 TESTOVÁNÍ ŘÍDICÍCH JEDNOTEK	19
2.1 CÍL TESTOVÁNÍ	19
2.2 TYPY TESTŮ	19
2.3 HiL TESTOVÁNÍ	20
2.4 APLIKACE ROBOTŮ PRO TESTOVÁNÍ	21
3 ZÁKLADNÍ PARAMETRY PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ	23
3.1 POČET STUPŇŮ VOLNOSTI	23
3.2 KINEMATICKÁ STRUKTURA	23
3.3 DRUH POHONU	23
3.4 VELIKOST A HMOTNOST	24
3.5 DOSAH	24
3.6 NOSNOST	24
3.7 PŘESNOST	24
3.8 RYCHLOST POHYBU	25
3.9 STUPEŇ KRYTÍ	25
3.10 POŽADAVKY PRŮMYSLOVÉHO ROBOTU PRO TESTOVÁNÍ	25
4 VÝROBCI PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ	26
4.1 ABB ROBOTICS	26
4.2 COMAU ROBOTICS	27
4.3 DENSO	28
4.4 FANUC	29
4.5 KAWASAKI ROBOTICS	30
4.6 KUKA ROBTER	31
4.7 MITSUBISHI	32
4.8 NACHI ROBOTIC SYSTEMS	33
4.9 OTC DAIHEN	33
4.10 STÄUBLI	34
4.11 UNIVERSAL ROBOTS	35
4.12 YASAKAWA	36
4.13 TECHNICKÉ A EKONOMICKÉ SROVNÁNÍ ROBOTŮ	37
5 LEGO MINDSTORMS	39
5.1 HISTORIE	39
5.1.1 RCX	39
5.1.2 NXT	39

5.1.3	EV3	40
5.2	MODEL ROBOTU PRO TESTOVÁNÍ ŘÍDICÍCH JEDNOTEK AUTOMOBILU	41
ZÁVĚR	43
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	45
PŘÍLOHY	50

Seznam zkratk

CD	Compact Disc - <i>kompaktní disk</i>
CPU	Central Processing Unit – <i>procesor</i>
ECU	Electronic control unit - <i>elektronická řídicí jednotka</i>
HiL	Hardware in the loop – <i>hardware ve smyčce</i>
ISO	International Organization for Standardization - <i>Mezinárodní organizace pro normalizaci</i>
IEC	International Electrotechnical Commission - <i>Mezinárodní elektrotechnická komise</i>
IP	Ingress protection – <i>stupeň krytí</i>
IR	Infrared – <i>infračervené záření</i>
MIT	Massachusetts Institute of Technology - <i>Massachusettský technologický institut</i>
RAM	Random Access Memory – <i>typ elektronické paměti</i>
RIS	Robocis Invention System
ROM	Read only Memory – <i>typ elektronické paměti</i>
SD	Secure Digital – <i>paměťová karta</i>
USB	Universal serial bus – <i>univerzální sériová sběrnice</i>

Seznam symbolů

Hz	Hertz [frekvence]
Kg	Kilogram [hmotnost]
mm	Milimetr [délka]
m/s	Metr za sekundu [rychlost]
m/s²	Sekunda na minus druhou [zrychlení]
VA	Voltampér [zdánlivý výkon]
W	Watt [činný výkon]
V	Volt [napětí]

Úvod

Tato práce je zaměřena na kompaktní průmyslové roboty a jejich použití pro testování řídicích jednotek automobilů.

Text je rozdělen do pěti částí; první se zabývá historií robotiky, v druhé části je popsáno testování řídicích jednotek, cíl testování a princip hardware in the loop (HiL) testování. V následující kapitole jsou uvedeny základní parametry průmyslových robotů a požadavky robotu pro stimulaci ovládacích prvků předního panelu automobilu. Čtvrtá část je věnována výrobcům kompaktních průmyslových robotů a vybraným robotům z jejich nabídky. Na konci čtvrté kapitoly je porovnání vybraných robotů. V páté části se seznámíme s programovatelnými kostkami LEGO Mindstorm a kostkou EV3, která byla použita pro sestavení a naprogramování robotu, v této části je také stručný popis programu robotu pro stimulaci řídicí jednotky automobilu.

Cílem práce bylo vybrat vhodné průmyslové roboty pro testování, porovnat je a vybrat jedno řešení robotického pracoviště pro stimulaci řídicí jednotky automobilu.

1 Historie robotů

Tato část je věnována počátkům robotiky a významným událostem, které jsou s roboty a robotikou spojovány.

1.1 Vznik slova robot

Toto slovo vzniklo z původně používaného pojmu robota, které se používalo již v 17. století, jehož význam je těžká práce poddaných.

Slovo robot ve smyslu, jak ho známe dnes, poprvé použil známý český spisovatel Karel Čapek v divadelní hře R.U.R. Původně však chtěl použít zcela jiné slovo, a to labor, ale toto slovo mu nepřišlo příliš vhodné, tak požádal svého bratra Josefa Čapka o pomoc: „*Ale já nevím, jak mám ty umělé dělníky nazvat. Řekl bych jim laboři, ale připadá mně to nějak papírové*“ řekl K. Čapek. „*Tak jim řekni roboti.*“ odpověděl J. Čapek.

Bratři Čapkové oficiálně představili slovo robot dne 25. ledna 1921, a tak v roce 2011 oslavilo 90. narozeniny [1-4].

1.2 Definice robotiky

Definic robotiky jako takové je velmi mnoho, ale pouze jedna definice je oficiální, vymyslela ji Mezinárodní organizace pro standardizaci. Tato definice, která je zapsaná v normě ISO 8373, zní: „*automaticky řízený, opětovně programovatelný, víceúčelový manipulátor pro činnost ve třech nebo více osách, který může být buď pevně upevněn na místě, nebo mobilní k užití v průmyslových automatických aplikacích.*“ [3].

Dále zde budu jmenovat některé další definice, které vystihují robota. Definice robota dle Phillipa McKerrowa: „*robot je stroj, který může být naprogramován k vykonávání různých činností*“ [5].

Robotika je věda o robotech, jejich designu, výrobě a aplikacích. Robot slouží k zjednodušení práce člověka nebo nahrazení člověka v lidské práci. Robotika úzce souvisí s elektronikou, mechanikou a softwarem [6, 7].

Robotika se dělí na několik odvětví:

- **Teoretická robotika**

Hledá principy, možnosti a omezení umělé inteligence, sensoriky a navigace.

- **Technická robotika**

Zahrnuje výzkum a vývoj systémů robotů, výpočty a metody jejich návrhu, konstrukční problematiku, provoz a údržbu.

- **Aplikační robotika**

Řeší problematiku nasazování robotů do výroby, jejich efektivitu.

Název robotika poprvé použil Isaac Asimov v knize „Já, robot“, což je soubor devíti sci-fi povídek, které postupně vycházely v časopisech „Super Science Stories“ a „Astounding Science Fiction“ v letech 1940 až 1950 [7-10].

1.3 Historie a vývoj

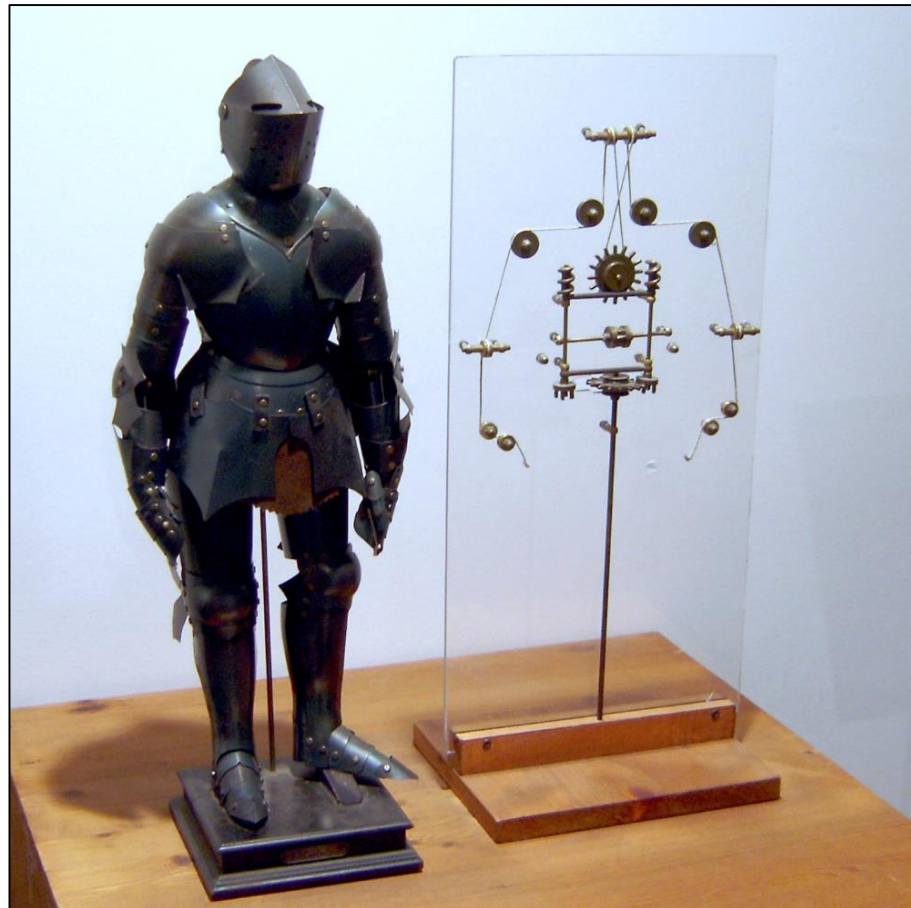
Průmyslové roboty vznikly přibližně v 2. polovině 20. století, ale zmínky o prvních umělých „pomocnících“ nalezneme již v řecké mytologii, takže zde zmíním některé historické milníky, které jsou spojovány s původem robotiky a robotů [11, 12].

1.3.1 Starověk

- Původní myšlenka o umělých lidech pochází už ze starých legend a bájí, kde Kadmos zasel dračí zuby, a ty se proměnily ve vojáky, nebo kde Pygmalión postavil sochu, a ta následně oživila [11-13].
- První návrhy podobající se robotům vznikly přibližně v roce 350 př. n. l., kdy řecký matematik Archytas z Tarentu postavil mechanického ptáka poháněného parou, který sloužil k historicky prvním studiím letu a pravděpodobně byl předlohou prvních modelů letadel [11, 12-14].
- Okolo roku 320 př. n. l. napsal řecký filozof Aristoteles citát: *“If every tool, when ordered, or even of its own accord, could do the work that befits it... then there would be no need either of apprentices for the master workers or of slaves for the lords.”*, což ve volném překladu znamená: pokud by se nástrojům dalo přikázat, aby udělaly nějakou práci nebo samovolně by dělaly práci, která je potřeba, nebylo by potřeba učňů a otroků [14], [16].

1.3.2 Středověk

- Přibližně v roce 1495 Leonardo DaVinci navrhl mechanické zařízení, které vypadalo jako obrněný rytíř, který měl být schopen sedět, mávat pažemi, hýbat hlavou a čelistmi. Je však otázkou, zda DaVinci dokázal sestrojít tohoto robota. Tento návrh je první zachovaný návrh humanoidního robota [11, 12, 14-16].



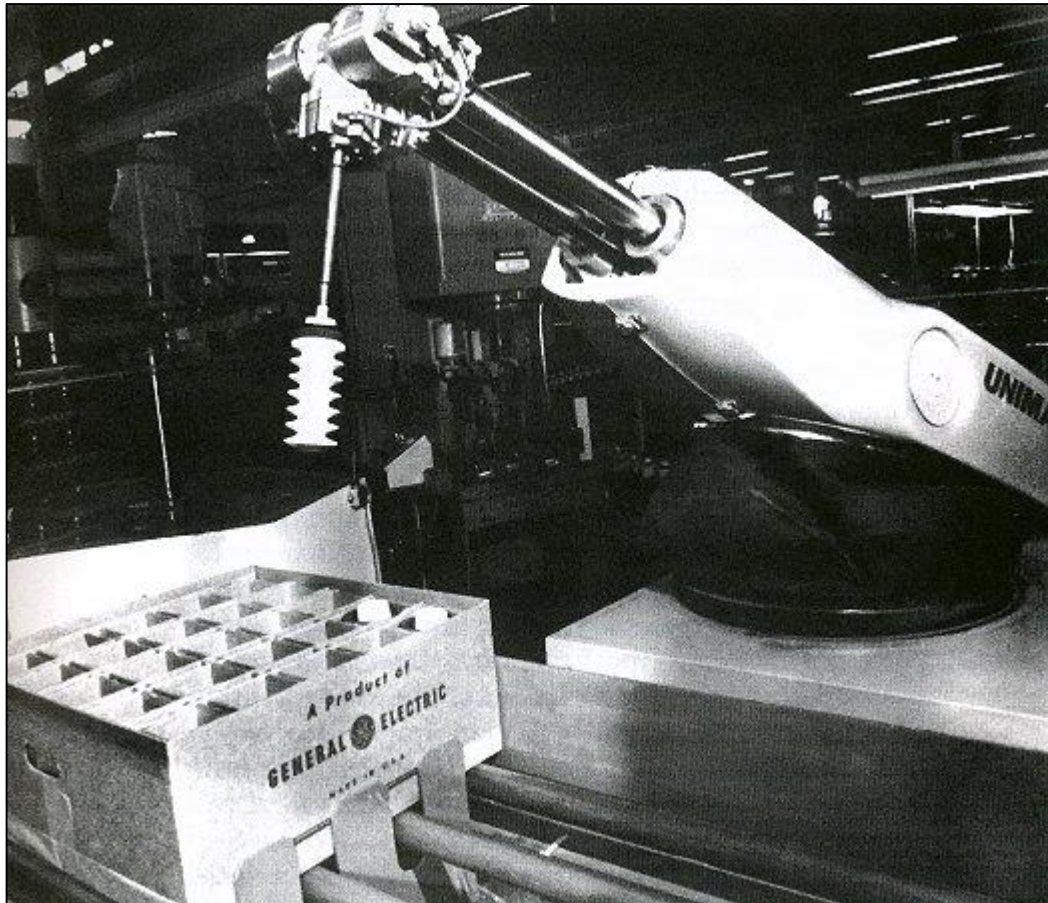
Obr. 1.2 Model Da Vinciho robota vystavený v Berlíně (upraveno a převzato z [32])

1.3.3 Novověk

- V letech 1738 - 1739 postavil Jacques de Vaucanson mechanickou kachnu, kterou nazval „moving anatomy“. Kachna se dokázala pohybovat, kvákala, mávala křídly a dokonce jedla zrní, které následně trávila a vylučovala [11, 14-16].
- Joseph Jacquard v roce 1801 sestavil automatický tkací stroj, který byl ovládán pomocí dřevných štítků, které byly později použity jako metoda vstupu u některých z nejstarších počítačů z 20. století [14, 16, 17].
- Na konci 19. století roku 1898 Nikola Tesla představil vynález „teleautomaton“, první dálkové ovládání, které předvedl na modelu lodi v Medison Square Garden. Diváci, kteří byli přítomni představení bezdrátového ovládání, si mysleli, že se jedná o trik [14, 16, 18].

1.3.4 Moderní doba

- Během roku 1913 Henry Ford nainstaloval jako první na světě pohyblivý dopravník na výrobní lince jeho automobilky, to vedlo k revoluci ve světě masové výroby. Rychlost výroby se výrazně zvýšila, automobil Ford model T mohl být díky první pásové lince vyroben do 93 minut [19].
- V roce 1920 Karel Čapek poprvé použil slovo „robot“ pro humanoidní stvoření, které slouží k usnadnění práce [1-4].
- V roce 1926 společnost Westinghouse Electric Corporation vyrobila Televox, prvního robota, který bych schopný vykonávat užitečnou práci – dokázal přijmout telefonní hovor tím, že zvedl sluchátko [11, 20].
- Isaac Asimov roku 1942 vymyslel tři zákony, které roboti musí splňovat. Tyto zákony byly zveřejněny v povídkách, které Isaac Asimov napsal [7-10].
 - 1) Robot nesmí ublížit člověku nebo svou nečinností dopustit, aby bylo člověku ublíženo.
 - 2) Robot musí uposlechnout příkazů člověka, kromě případů, kdy jsou tyto příkazy v rozporu s prvním zákonem.
 - 3) Robot musí chránit sám sebe před poškozením, kromě případů, kdy je tato ochrana v rozporu s prvním nebo druhým zákonem.
- V letech 1948 a 1949 William Gray Walter vytvořil první elektronické samostatné roboty, kteří byli schopni vnímat světlo a reagovat na vnější objekty [11, 15, 16].
- Alan Turing během roku 1950 navrhl test, který měl zjistit, zda stroje mají opravdu moc myslet a rozhodovat za sebe. Při zkoušce muselo být zařízení při rozhovoru k nerozeznání od člověka. To se stalo známé jako „Turingův test“ [14, 21].
- George Devol a Joe Engleberger sestrojili první programovatelnou robotickou ruku jménem UNIMATE, která byla zveřejněna v roce 1954, její podobu lze vidět na *Obr. 1.3*. Robot se poprvé uplatnil roce 1961 pro nebezpečné a opakující se úkoly na montážní lince v General Motors [11, 14-16].
- V roce 1968 Marvin Minsky na Massachusetts Institute of Technology (MIT) vyvinul robotickou ruku, která se pohybovala jako chobotnice, proto byla pojmenována Tentacle Arm. Měla dvanáct kloubů a byla navržena tak, aby dokázala sahat okolo překážek. Robotické rameno bylo poháněno hydraulickým systémem [22].
- Stanford Arm, vyvinuta v roce 1969 Victorem Scheinmanem, byla první elektricky poháněná počítačem řízená robotická ruka. Victor Scheinman dále navrhl průmyslové roboty řady PUMA, které se používaly především v automobilovém průmyslu [14, 22].

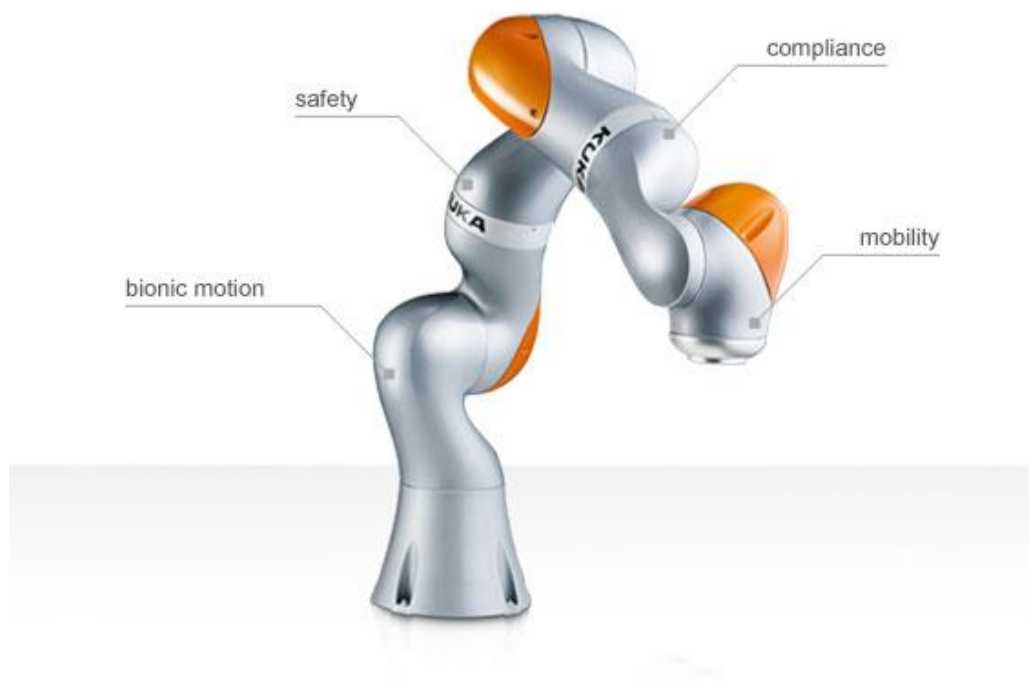


Obr. 1.3 Robotická ruka na lince v General Motors (převzato z [34])

- V roce 1973 KUKA Robot Group vytvořila první průmyslový robot s šesti řízenými elektromechanickými osami [23].
- Během roku 1981 bylo poprvé použito umístění elektromotoru přímo uvnitř samotných kloubů. Tento průmyslový robot se jmenoval Direct Drive Arm a pracoval s nižším třením a odporem, ve srovnání s robotickými pažemi. Chod robotu byl tedy rychlejší a přesnější. Sloužil jako prototyp pro komerční použití robotických paží [14].
- V roce 1985 vynalezl Raymond Clavel prvního Delta robota, jednalo se o robota se třemi paralelními pažemi, který byl velmi rychlý [26, 27].

V následujících letech se zájem o robotiku velmi zvýšil, na trh vstupovaly nové společnosti, a proto docházelo u průmyslových robotů k rychlému vývoji, konstrukce se již příliš neměnila, ale docházelo k technickým zlepšením, která zajišťovala přesnější a rychlejší pohyb, lehčí konstrukci, větší dosah, nosnost a pohyblivost ramene. K vývoji docházelo také u systému řízení robotů. Řídicí systémy zvládaly v jednom okamžiku ovládat více os a více robotů. V roce 1988 byl zaveden systém Motoman ERC, který zvládl ovládat až 12os. O deset let později kontroler XRC umožnil ovládat až 27 os a synchronizovaně ovládat až čtyři roboty [24, 25].

- V červnu 2014 představila KUKA Robotics první průmyslový robot na světě, který nemusí pracovat ve chráněném prostoru, jeho jméno je LBR iiwa („Leichtbauroboter intelligent industrial work assistant“). Jedná se o velmi malý kompaktní robot, který v se odlišuje od ostatních robotů svojí bionickou konstrukcí, kterou lze vidět na *Obr. 1.5*, přičemž má v každé ose umístěný momentový senzor [28-30].



Obr. 1.4 Robot KUKA LBR iiwa (převzato z [30])

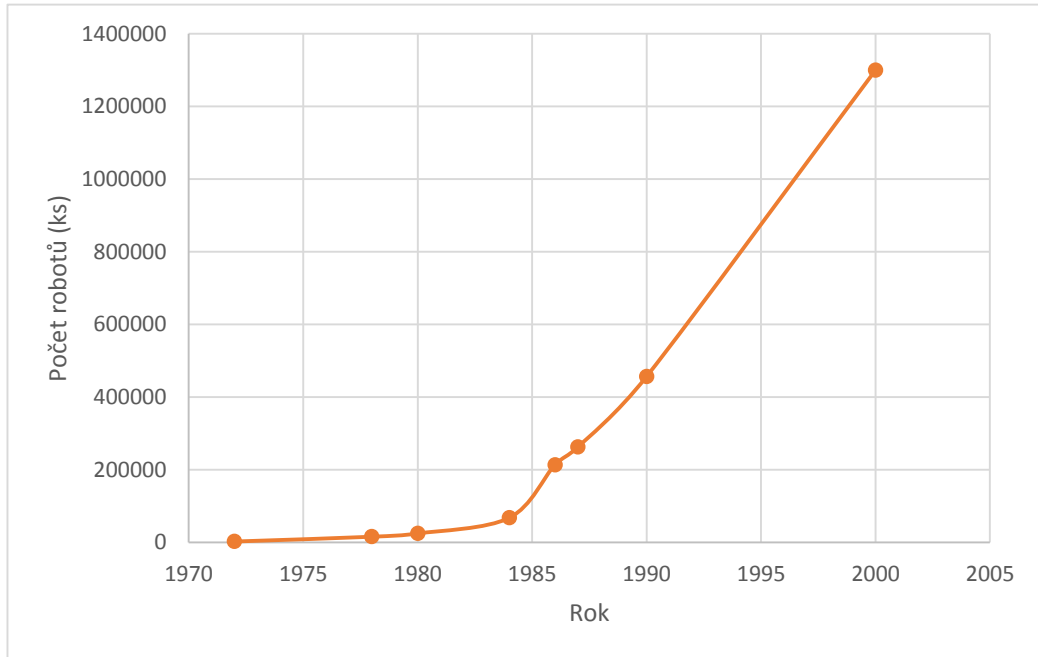
V níže uvedených tabulkách *Tab. 1.1* a *Tab. 1.2* lze vidět, jak se zvyšoval počet robotů uplatněných ve výrobě v počátečním období jejich rozvoje až do roku 2000, na *Obr. 1.5* lze vidět grafické znázornění nárůstu počtu robotů ve světě. V následujících letech se průmyslové roboty rozšiřují výrazně rychleji.

Tab. 1.1 Počet robotů nasazených ve výrobě (převzato z [35])

Rok	1972	1978	1980	1984
Japonsko	1500	7000	8400	34000
USA	850	3500	6000	13000
Západní Evropa	300	2500	4000	21000
Celkem svět	2800	16000	25000	68000

Tab. 1.2 Nárůst počtu robotů nasazených ve výrobě ve světě (převzato z [35])

Rok	1 984	1986	1987	1990	2000
Celkem svět	68 000	214000	263000	457000	1300000



Obr. 1.5 Vývoj počtu robotů ve světě do roku 2000 (převzato a upraveno z[35])

2 Testování řídicích jednotek

V současné době je v automobilech čím dál více elektroniky, téměř vše, co je v automobilu, je řízeno elektronikou. Nejspíš také proto je porucha elektroinstalace nebo elektroniky v automobilu jednou nejčastějších závad. Testování elektroniky (řídicích jednotek) je tedy velmi důležitá část výrobního procesu. Testy se provádí jak během výroby, tak po výrobě, aby byla zajištěna co nejvyšší spolehlivost produktu. Abychom byli schopni navrhnout vhodný test, tak je nutné znát specifikaci testovaného produktu, respektive požadavky na něj [36].

2.1 Cíl testování

Cílem testování je navrhnutý nebo vyrobený produkt vyzkoušet ve stavech, které mohou nastat (v případě, že testujeme již vyrobený produkt – v našem případě multimediální systém automobilu), anebo i případně ve stavech reálných i nereálných, které jsou nasimulovány. Testování má zjistit, zda systém selže anebo testem projde. V případě selhání je na vývojovém a výrobním teamu, aby ošetřily produkt proti poruše. Přínos správně provedeného testování je kvalita produktů a snížení zmetkovitosti výroby [36].

2.2 Typy testů

Je několik typů testů, ty jsou rozděleny podle toho, jak daleko ve výrobním procesu se nacházíme [36].

- ***Ověřovací testy***

Provádí se během vývoje systému, mají za úkol odhalit základní chyby v rozměru, principu funkčnosti a v umístění součástí.

- ***Funkční testy***

Slouží k ověření, že systém splňuje funkce dle zadání a že nedochází k nedefinovaným stavům.

- ***Testování parametrů***

Testuje se zde napětí na vstupech a výstupech, rozsah napájecího napětí a vlastnosti prostředí, kde produkt bude pracovat.

- **Zahořovací testy**

Produkt se zde testuje v extrémních podmínkách, aby se ověřila spolehlivost, stabilita a odolnost produktu při provozních podmínkách.

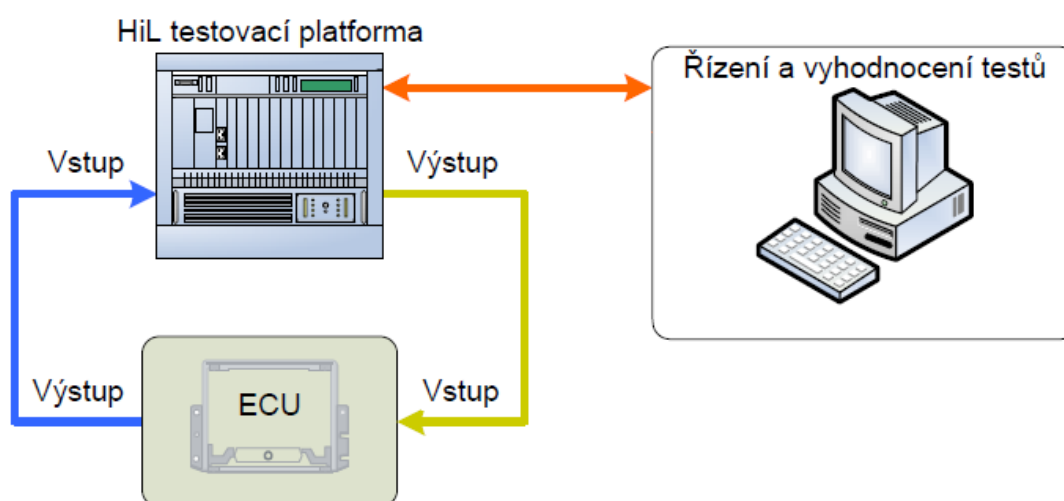
- **Výrobní testy**

Tyto testy slouží k ověření spolehlivosti výroby a k omezení zmetkovitosti.

2.3 HiL testování

HiL simulátor – Hardware in the Loop je prakticky testovací jednotka, která je navržena jako programovatelný testovací a simulační systém s vlastním výpočetním výkonem.

Testování HiL spočívá v zapojení elektronické řídicí jednotky do smyčky s HiL platformou, která je propojena s PC. Testovací systém simuluje reálnou situaci tak, že stimuluje vstupy řídicí jednotky (ECU) a zjišťuje, co se následně děje na výstupu ECU. Testovací platforma během testování přiřazuje k vydaným podnětům a k zachyceným odezvám časové značky, aby bylo možné změřit dobu odezvy a vytvářet vyhodnocení testů, které provádí PC zapojený k HiL. PC také slouží k řízení testování. Testovací soustava se musí skládat z HiL, jelikož PC s operačním systémem Windows není schopen zaznamenat změny trvající kratší dobu než 1 ms. Platforma HiL disponuje potřebnými vstupy a výstupy, komunikačním rozhraním a časovači, které zajišťují přesné testování [36].



Obr. 2.1 Princip testování HiL (převzato a upraveno z [36])

2.4 Aplikace robotů pro testování

Průmyslový robot pro testování slouží k reálné stimulaci ovládacích prvků multimediálního systému automobilů, jako je zapnutí rádia, vložení CD, vložení SD karty, přepnutí z přehrávání CD na rádio atd. Toto testování je pomalejší než simulované testování pomocí HiL, ale pokud nám jde o reálně testování multimediálního systému, tak robot zcela nahrazuje lidský faktor a lze ho synchronizovat s HiL testovací platformou – lze tedy přesně určit, kdy je tlačítko stlačeno a v ten daný okamžik sledovat chování výstupů řídicí jednotky a dle toho vyhodnocovat testy.

Požizovací cena kompaktního průmyslového robotu je vysoká. Cena robotu, který splňuje požadavky pro testování je přibližně 23 000 € (v přepočtu přibližně 650 000 Kč). Z dlouhodobého hlediska se ale nákup průmyslového robotu jako náhrada za lidský faktor vyplatí.

Pro výpočet nákladů za koupi, údržbu a provoz robotu ve srovnání s náklady na zaměstnance byla použita průměrná měsíční hrubá mzda 27 200 Kč [62], předpokládaný příkon energie 500 W, průměrná cena el. energie 5 Kč za kWh a náklady na údržbu robotu 1000 Kč za měsíc. Pro výpočet bylo předpokládáno, že robot bude pracovat 165 hodin měsíčně. Z toho vyplývá, že měsíční náklady na jednoho zaměstnance jsou 36 448 Kč, viz *Tab. 2.1*. Měsíční náklady na provoz robotu jsou pouze 1412,5 Kč, viz rovnice (2.1) a (2.2).

Tab. 2.1 Tabulka výpočtů mzdových nákladů zaměstnavatele

Položky	% mzdy	výpočet	náklady [Kč]
Průměrná hrubá mzda	-	-	27 200
Sociální pojištění placené zaměstnavatelem	25	$27200 \cdot 0,25$	6800
Zdravotní pojištění placené zaměstnavatelem	9	$27200 \cdot 0,09$	2448
Odvody zaměstnavatele celkem	34	$27200 \cdot 0,34$	9248
Celkové mzdové náklady zaměstnavatele	-	$27200 + 9248$	36 448

Výpočet měsíčních nákladů na provoz robotu

$$s = P \cdot t = 500 \cdot 165 = 82\,500 \text{ Wh} = 82,5 \text{ kWh} \quad (2.1)$$

scelková měsíční spotřeba energie [Wh]

Ppříkon spotřebiče [W]

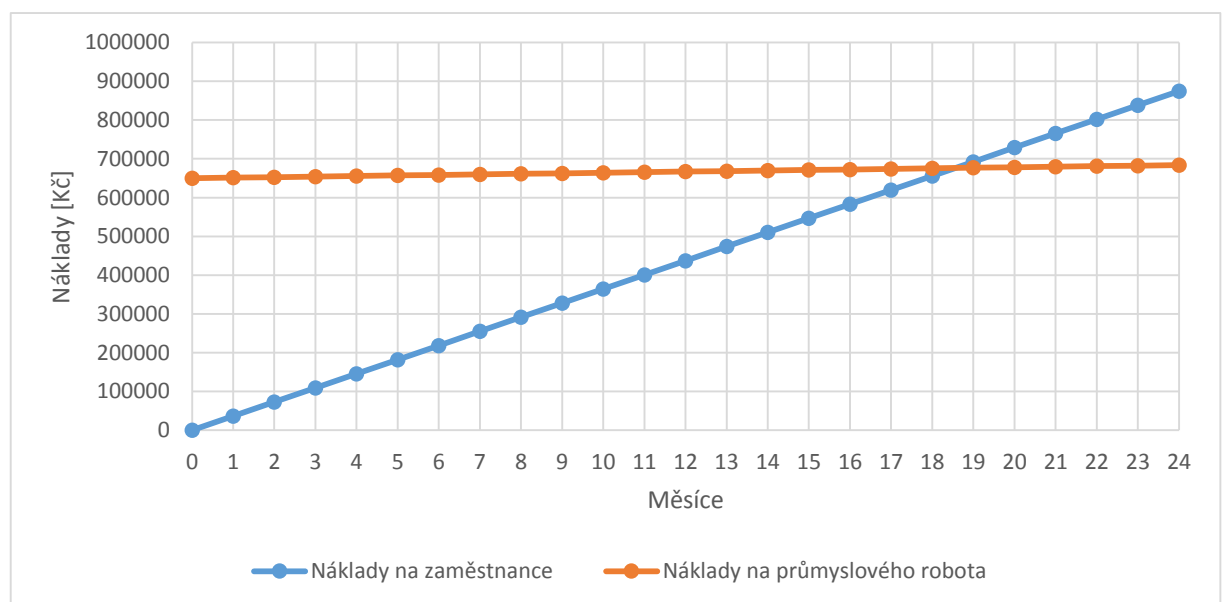
tčas [hod]

$$N = s \cdot e = 82,5 \cdot 5 = 412,5 \text{ Kč} \quad (2.2)$$

Nměsíční náklady na spotřebovanou elektrickou energii [Kč]

eprůměrná cena el. energie za kWh [Kč]

V grafu na *Obr. 2.2* lze vidět srovnání nákladů průmyslového robotu a zaměstnance pro testování řídicích jednotek v čase. Z tohoto grafu vyplývá, že nákup průmyslového robotu se začne vyplácet po 19 měsících. Robot ale může teoreticky pracovat až 24 hodin denně, takže pokud bychom uvažovali, že by se testovalo 24 hodin denně, museli bychom najmout tři zaměstnance, tím pádem by se nákup robotu začal vyplácet už za 6,5 měsíce.



Obr. 2.2 Porovnání nákladů na zaměstnance s náklady na nákup a provoz průmyslového robotu

3 Základní parametry průmyslových robotů

Roboty mají několik základních parametrů, podle kterých se dělí. Velmi důležité při výběru robotu je určit si, k čemu přesně bude sloužit – jakou pohyblivost, nosnost, dosah, přesnost a stupeň krytí budeme potřebovat.

3.1 Počet stupňů volnosti

Degrees of freedom – počet stupňů volnosti nám určuje, kolik má robot os, podle kterých se může pohybovat, velmi často se počet os shoduje s počtem pohonů. Čím více má robot stupňů volnosti, tím má větší pohyblivost [40].

- **Univerzální robot**

Má 6 stupňů volnosti (os), které určují v kartézské soustavě souřadnic možnost manipulace.

- **Redundantní robot**

U tohoto typu robotu nalezneme více než 6 os, využívá se především ve stísněných prostorech, nebo v případech kdy je v cestě nějaká překážka. Robot má redundantní (nadbytečný) počet stupňů volnosti, to mu pomáhá k větší volnosti pohybu.

- **Deficitní robot**

Tento robot má méně než 6 os, používá se k jednodušším úkolům.

3.2 Kinematická struktura

Roboty se dělí podle kinematických dvojic. Mezi nejvíce rozšířené struktury patří TTT, RTT, RRT a RRR. První je TTT, což jsou tři translační (posuvné) dvojice, pracovní prostor je ve tvaru krychle. RTT má jednu rotační dvojici a dvě translační, robot je schopen se pohybovat v oblasti ve tvaru válce. Uspořádání RRT má dvě rotační dvojice a jednu translační, pohybuje se v prostoru koule. Poslední kinematická struktura RRR má tři rotační dvojice, tento robot se pohybuje v oblasti rotační plochy, zvané torus nebo anuloid [40, 41].

3.3 Druh pohonu

Jako první je mechanický pohon, používá se u nejjednodušších aplikací. Další jsou roboty s pneumatickým pohonem, u kterých jsou nízké pořizovací náklady, výhoda čistoty prostředí

a snadná údržba. Nevýhodou je vyšší hlučnost a obtížná regulace. Průmyslové roboty s velkou nosností mají většinou hydraulický pohon, tyto roboty lze velmi plynule ovládat, ale velká nevýhoda je ztráta účinnosti a oleje při netěsnosti. Nejpoužívanější pohon v současné době je elektrický, většinou se jedná o servopohony. Poslední v současnosti používaný pohon je kombinovaný, většinou se jedná o kombinaci elektrického a hydraulického nebo elektrického a pneumatického pohonu [41].

3.4 Velikost a hmotnost

Velikost a hmotnost robotu závisí na zvoleném pohonu, počtu os, dosahu, prostoru a také na požadované nosnosti. Výrobci se samozřejmě snaží docílit toho, aby pohyblivé části byly co nejlehčí a nejmenší, ale musí hledět na pevnost a tuhost robotu [40].

3.5 Dosah

Udává maximální vzdálenost od osy základny robotu do koncového místa, kterého je schopen průmyslový robot dosáhnout. Dosah robotu se liší podle velikosti robotu, ale také podle konstrukce a počtu os [39].

3.6 Nosnost

Výrobci udávaná nosnost nám říká, jak těžké břemeno lze nainstalovat na koncovou přírubu robotu. V některých případech výrobci udávají, jakou maximální zátěž lze nainstalovat na horní rameno robotu, případně je dána tabulka nebo grafické zobrazení zátěže v závislosti na vzdálenosti od osy robotu [39].

3.7 Přesnost

Přesnost průmyslového robotu je závislá na vzdálenosti koncového bodu ramene robotu, na jeho zatížení, tuhosti celé jeho konstrukce a také na konstrukčním uspořádání kinematického řetězce [41]. Přesnost robotů se zkouší normou ČSN EN ISO 9283: Manipulační průmyslové roboty - Technické parametry a související zkušební metod. Např.: Překmit polohy, přesnost vzdálenosti a opakovatelnost vzdálenosti, odchylky kývání, přesnost dráhy, opakovatelnost dráhy a další [42].

3.8 Rychlost pohybu

Zásadní vliv na výslednou rychlost robotu má typ zvoleného pohonu a zatížení ramene, jelikož při větším zatížení a vysoké rychlosti je obtížné zachovat přesnost pohybu. Všeobecně se paralelní roboty považují za rychlejší, jelikož zátěž je rozložena mezi více ramen, která jsou připojena k základně [41].

3.9 Stupeň krytí

Stupeň krytí udává odolnost robotu (všeobecně elektrospotřebiče) proti vniknutí kapalin a vniknutí cizího tělesa. Určuje ho tzv. IP kód (*ingress protection*), který je definován standardem IEC 60529 [37]. IP kód se skládá ze dvou čísel, první určuje odolnost vůči vniknutí cizího předmětu a druhé číslo určuje odolnost proti vodě. Nejvyšší stupeň ochrany je IP68, kdy je elektrospotřebič chráněn před prachem a nebezpečným dotykem jakoukoliv pomůckou. Zařízení lze provozovat pod vodou nepřetržitě za podmínek, které určí výrobce [38].

3.10 Požadavky průmyslového robotu pro testování

Průmyslový robot musí být schopen stimulovat multimediální systém automobilu, který je umístěn ve speciálním přípravku, ve kterém je také umístěno příslušenství, jako CD a SD karty. Aby byl robot schopen plně ovládat multimediální systém, musí unést speciální efektor (úchopný mechanismus), který váží cca 1,5 kg. Ovládání multimediálního systému zahrnuje stisk tlačítek, otáčení tlačítka, ovládání dotykové obrazovky, vložení a vysunutí CD a SD karty.

Z těchto úkolů, které má robot testující řídicí jednotku automobilu splnit, vyplynulo, že průmyslový robot musí dokázat obsluhovat desku o rozměrech 500x500mm, užitečné zatížení musí být více než 2 kg a posuv robotu musí být minimálně 100mm/s, aby byla zajištěna určitá rychlost testování. Další požadavek je na přesnost - opakovatelnost, která musí dosahovat hodnot +/-0,1 mm a je zde také požadavek na co nejnižší rozměry a hmotnost robotu, z důvodu častého přemísťování. Řídicí systém by měl mít také malé rozměry a zajištěnou konektivitu s PC pomocí běžně dostupných portů: USB/Ethernet. Napájecí napětí musí být přizpůsobeno síťovému napětí 230V nebo 400V. Cena robotu včetně řídicího systému by neměla přesáhnout 10 000€.

4 Výrobci průmyslových robotů

V této kapitole bych se rád věnoval výrobcům robotů a průmyslovým robotům, které byly vybrány podle požadavků. V poslední části této kapitoly jsou uvedeny tabulky, kde je technické a ekonomické srovnání těchto robotů.

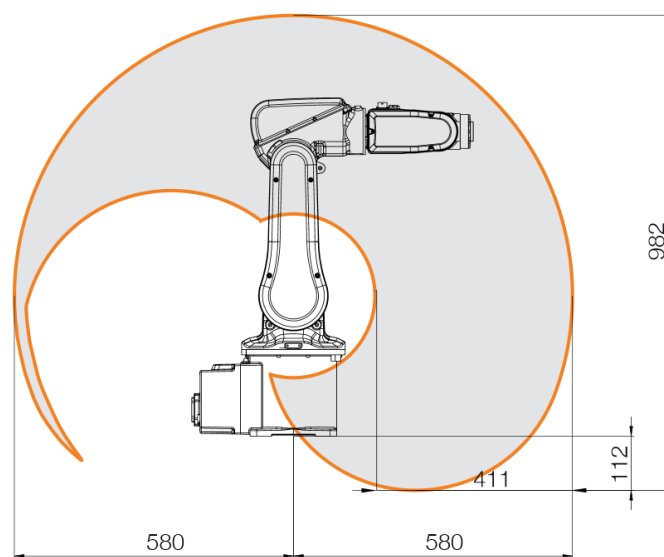
4.1 ABB Robotics

ABB Group je globálním lídrem v oblasti energetiky a automatizace, společnost byla založena v roce 1883 a sídlí v Curychu ve Švýcarsku, má více než 140 000 zaměstnanců a působí ve zhruba 100 zemích. ABB je rozdělena do pěti divizí. Divize robotiky je dodavatelem průmyslových robotů, automatizovaných výrobních systémů a s tím spojených služeb. Hlavním cílem je pomáhat výrobcům ve zvýšení produktivity, kvality výrobků a bezpečnosti pracovníků. ABB již nainstalovalo více než 250 000 robotů po celém světě [43].

Z nabídky ABB byl dle požadavků na testování řídicích jednotek vybrán model **ABB IRB 120**. Jedná se o nejmenší průmyslový robot nabízený touto společností, je vhodný pro manipulaci s materiálem a montážní práce. Robot lze umístit na zem, zeď nebo strop. Tento malý kompaktní robot splňuje všechny požadavky až na cenu, kterou se mi nepodařilo zjistit ani přes obchodního zástupce ABB [43].

Technické parametry: IRB 120

Počet stupňů volnosti: 6
 Užitečné zatížení: 3 kg
 Dosah ramene: 580 mm
 Maximální rychlost: 6,2 m/s
 Maximální akcelerace 28 m/s²
 Přesnost: 0,01 mm
 Výška robotu: 700 mm
 Hmotnost: 25 kg
 Rozměr základny: 180 x 180 mm
 Třída ochrany: IP30
 Napájení 200 – 600 V, 50/60 Hz
 Příkon: 250 W
 Montáž: podlaha, zeď, strop



Obr. 4.1 Pracovní rozsah robotu ABB IRB 120 (převzato z [43])

4.2 COMAU Robotics

Comau je mezinárodní společnost s pobočkami ve 13 zemích a se 40 letou tradicí. Tato společnost byla založena v Turíně v Itálii v roce 1973. V současné době je Comau součástí Fiat Group, zaměřuje se na vývoj a výrobu automatizovaných systémů a zaměstnává více než 14 500 lidí. Název COMAU vznikl z italského **CO**nsorzio **MA**chine **Ut**ensili, což v překladu z italštiny znamená *konsorcium obráběcí stroje* [44].

Comau mezi roboty s malým užitečným zatížením uvádí modely **SMART SIX 6-1.4** a **RACER 7-1.4**, oba dva průmyslové roboty byly zahrnuty do srovnání. I když jsou relativně těžké, tak jsou nejmenšími zástupci od tohoto výrobce [44].

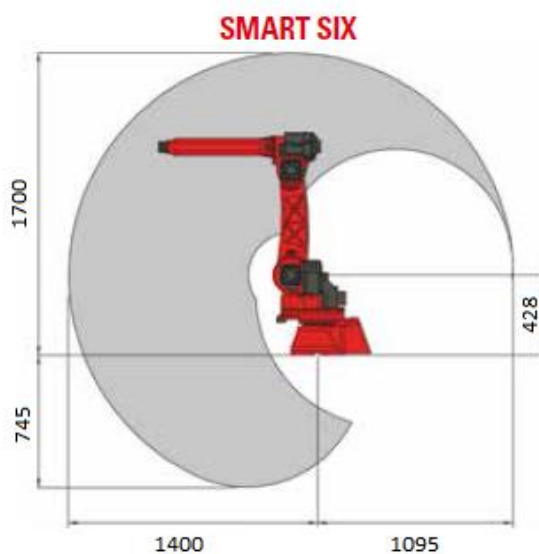
Technické parametry:

SMART SIX 6-1.4

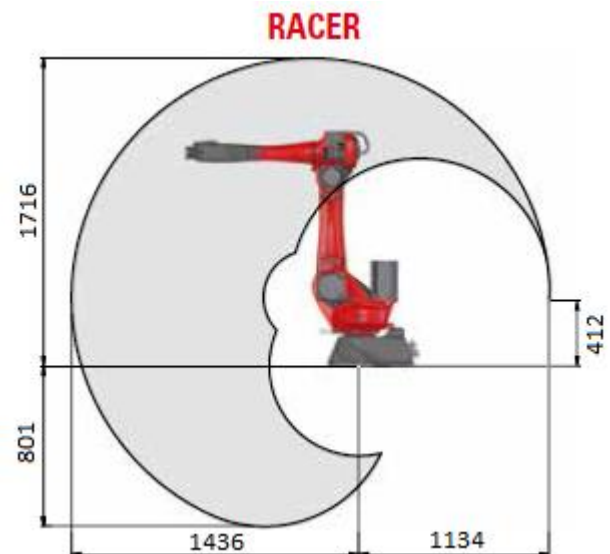
Počet stupňů volnosti: 6
 Užitečné zatížení: 6 kg
 Dosah ramene: 1400 mm
 Přesnost: 0,05 mm
 Hmotnost: 160 kg
 Výška základny: 428 mm
 Třída ochrany: IP65
 Montáž: podlaha, strop, zeď (max 45°)

RACER 7-1.4

Počet stupňů volnosti: 6
 Užitečné zatížení: 6 kg
 Dosah ramene: 1460 mm
 Přesnost: 0,05 mm
 Hmotnost: 160 kg
 Výška základny: 414 mm
 Třída ochrany: IP65
 Montáž: podlaha, strop, zeď



Obr. 4.2 Pracovní rozsah robotu Comau SMART SIX 6-1.4 (převzato a upraveno z [44])



Obr. 4.3 Pracovní rozsah robotu Comau RACER 7-1.4 (převzato a upraveno z [44])

4.3 DENSO

DENSO Robotics je součástí společnosti DENSO, která patří mezi 500 největších světových společností a je také jedním ze dvou největších světových výrobců automobilových dílů. Společnost Denso byla založena v roce 1949 v Japonsku. DENSO Robotics se svými více než 77 000 roboty instalovanými po celém světě se řadí mezi lídry v segmentu malých montážních průmyslových robotů [45].

V České republice zajišťuje obchodní a servisní zastoupení společnost FineTec Systems, s.r.o. z jejich nabídky jsem vybral robot **VS-060**, který má dostatečný dosah i zatížení zápěstí. V nabídce jsou i menší roboty, ale ty už nesplňují dané požadavky nebo jsou příliš drahé [46].

Technická parametry: VS-060

Počet stupňů volnosti: 6

Užitečné zatížení: 4 kg

Dosah ramene: 605 mm

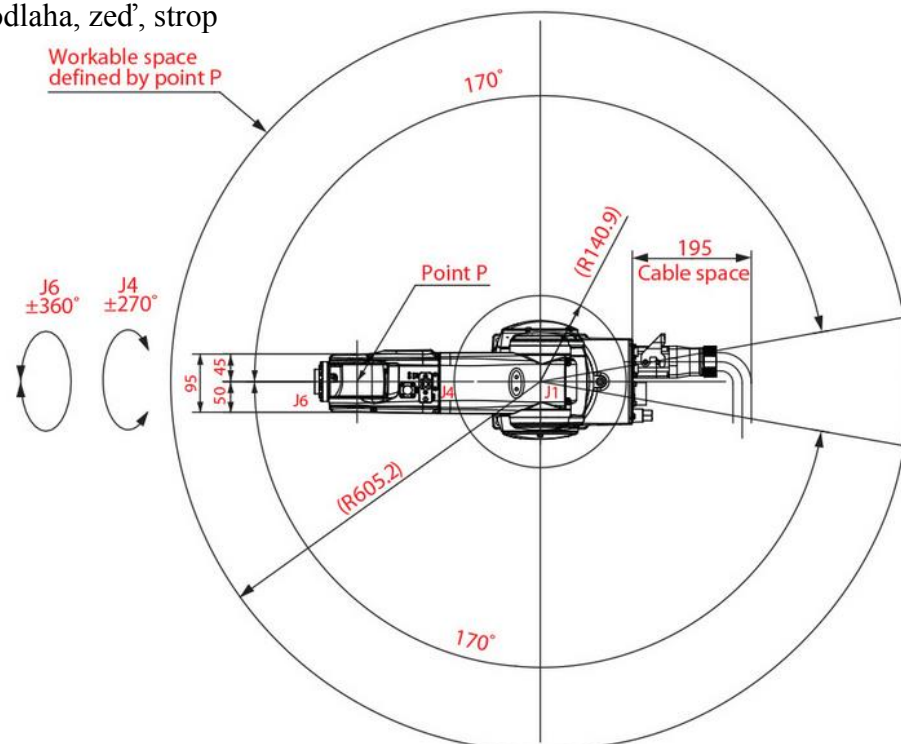
Kombinovaná rychlost: 9 m/s

Přesnost: 0,02 mm

Hmotnost: 30 kg

Třída ochrany: IP40, IP65/54, IP67

Montáž: podlaha, zeď, strop



Obr. 4.4 Dosah ramene robotu Denso VS-060 (převzato z [46])

4.4 FANUC

FANUC je Japonská společnost založena v roce 1956 a pojmenovaná podle města Fanuc, které se nachází na úpatí hory Fuji. V České republice se nachází pobočka této společnosti, která je určena pro celou střední a východní Evropu. V dnešní době se FANUC s více než 2,4 milionami CNC a 360 000 roboty instalovanými po celém světě řadí mezi přední světové výrobce průmyslové automatizace [47].

Nabídka robotů FANUC je široká, nachází se v ní více než 100 robotů. Byly zde vybrány dva kandidáti pro testování, první je **M-10iA/7L** a druhý **M-10iA/10MS** [47]. Oba dva roboty jsou ale bohužel relativně těžké a mají zbytečně velký dosah. FANUC má v nabídce také delta roboty, které jsou rychlejší a hlavně kompaktnější, nezařadil jsem je do výběru z důvodů počtu os a menšího dosahu.

Technické parametry:

M-10iA/7L

Počet stupňů volnosti: 6
Užitečné zatížení: 7 kg
Dosah ramene: 1633 mm
Přesnost: 0,08 mm
Hmotnost: 135 kg
Rozměr základny: 283 x 283 mm
Třída ochrany: IP54/55, IP67
Napájení 380 - 575 V, 50/60 Hz
Příkon: 1000 W
Montáž: podlaha, zeď, strop

M-10iA/10MS

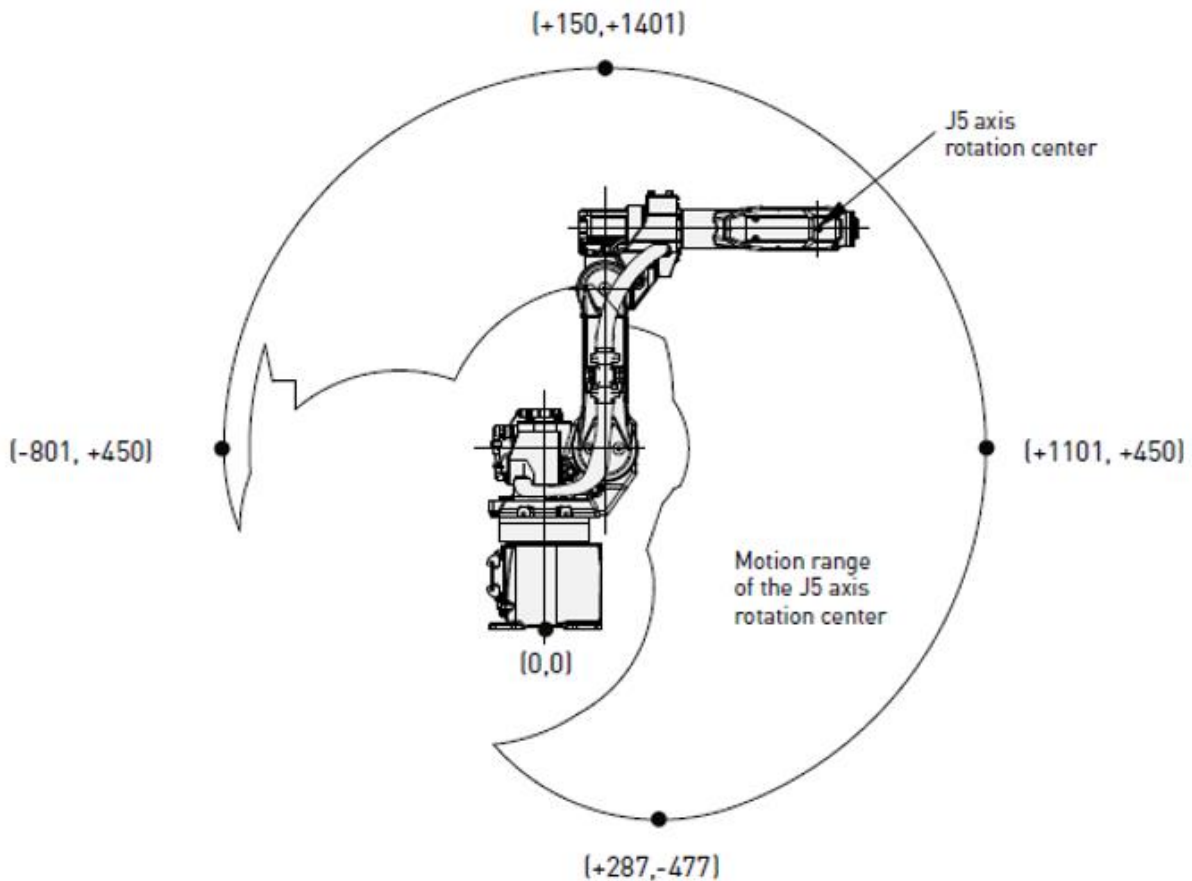
Počet stupňů volnosti: 6
Užitečné zatížení: 10 kg
Dosah ramene: 1101 mm
Přesnost: 0,08 mm
Hmotnost: 130 kg
Třída ochrany: IP54/55, IP67
Napájení 380 - 575 V, 50/60 Hz
Příkon: 1000 W
Montáž: podlaha, zeď, strop



Obr. 4.5 Fotografie robotu M-10iA/7L
(převzato z [47])



Obr. 4.6 Fotografie robotu M-10iA/10MS
(převzato z [47])



Obr. 4.7 Pracovní rozsah robotu M-10iA/10MS
(převzato a upraveno z [47])

4.5 KAWASAKI ROBOTICS

Kawasaki Heavy Industries je Japonská mezinárodní společnost. Vznikla již v roce 1896 a je pojmenována podle zakladatele Shōzō Kawasaki. Původně se jednalo o společnost zabývající se loděmi, v současné době jsou nejznámější výrobky této společnosti motocykly a terénní vozidla, ale dceřiné společnosti Kawasaki vyrábějí lodě, traktory, vlaky, malé motory a letadla a v neposlední řadě také průmyslové roboty. Kawasaki Robotics má více než 40letou tradici v oblasti průmyslové automatizace a nabízí širokou škálu automatizovaných řešení pro různé průmyslové odvětví [48].

Roboty Kawasaki série R patří mezi malé až střední průmyslové roboty, mají kompaktní konstrukci, vysokou rychlost, dosah i pracovní rozsah ramene. Pro testování řídicích jednotek je nevhodnější robot **RS03N**.

Technické parametry:

RS03N

Počet stupňů volnosti: 6

Užitečné zatížení: 3 kg

Dosah ramene: 620 mm

Maximální rychlost: 6,0 m/s

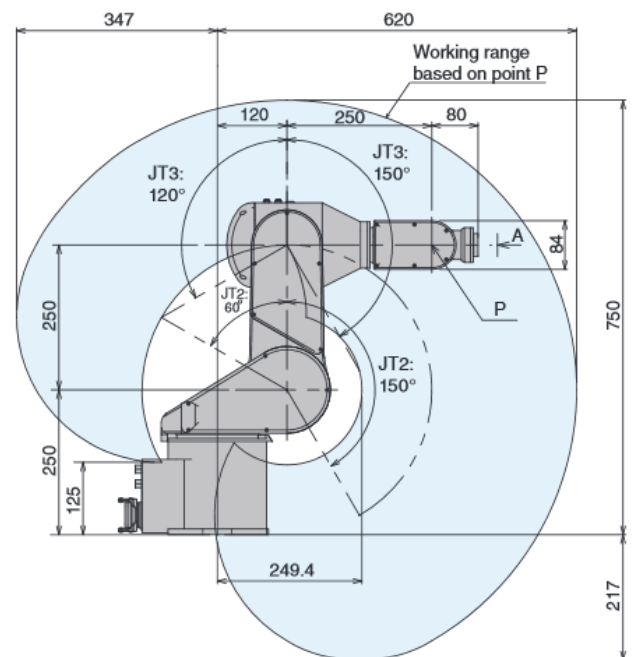
Přesnost: 0,02 mm

Hmotnost: 20 kg

Rozměr základny: 170 x 218

Třída ochrany: IP54

Montáž: podlaha, strop



Obr. 4.8 Pracovní rozsah robotu Kawasaki RS03N
(převzato z [48])

4.6 KUKA Roboter

Společnost KUKA byla založena Josefem Kellerem a Jacobem Knappichem v roce 1898 v německém Ausbugu. V počátcích se společnost věnovala výrobě a vývoji osvětlení, časem se přeorientovala na výrobu svářecích strojů a velkých zásobníků. V roce 1973 byl představen první průmyslový robot KUKA FAMULUS, jednalo se o první průmyslový robot na světě s šesti elektromechanicky řízenými osami. V současnosti je KUKA Roboter významný světový výrobce průmyslových robotů a řešení automatizace výroby, který měl v roce 2012 přes 3125 zaměstnanců po celém světě [49].

Pro testování řídicích jednotek automobilu byl z nabídky společnosti KUKA vybrán model **KR 6 R700 SIXX (KR AGILUS)**. Tento model je malý průmyslový robot, který je velmi rychlý a zvládne díky své robustní konstrukci unést i relativně těžká břemena [49].

Technické parametry:**KR6 R700 SIXX**

Počet stupňů volnosti: 6

Užitečné zatížení: 6 kg

Dosah ramene: 706,7 mm

Přesnost: 0,03 mm

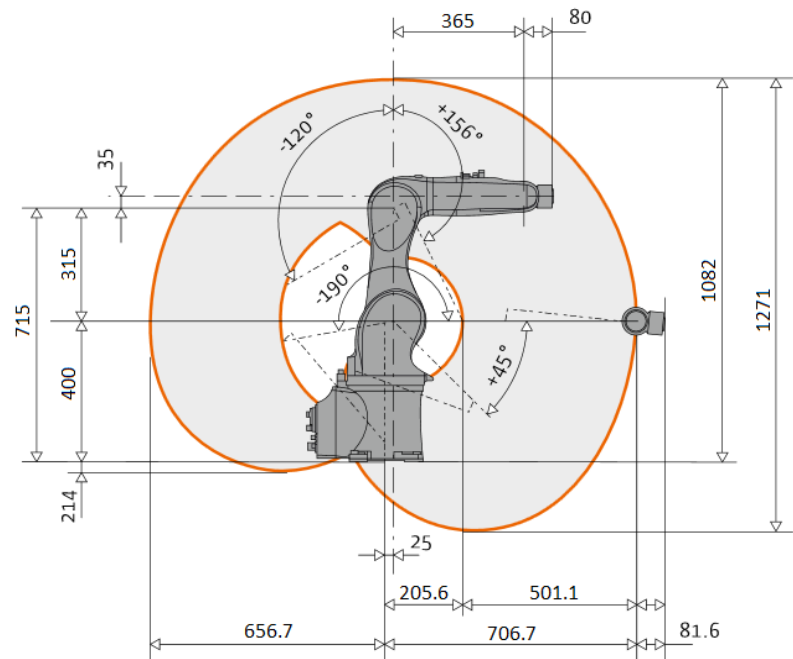
Výška robotu: 715 mm

Hmotnost: 50 kg

Rozměr základny: 209 x 207

Třída ochrany: IP54

Montáž: podlaha, zeď, strop



Obr. 4.9 Rozsah pohybu ramene robotu KUKA KR 6 R700 SIXX (převzato a upraveno z [49])

4.7 MITSUBISHI

Tuto původně loďářskou společnost založil v roce 1870 Jataró Iwasaki, koncem 19. století se začala společnost věnovat i těžářství. Během několika dalších let se společnost rozrostla a stala se nadnárodní společností. V současnosti tvoří Mitsubishi v Japonsku největší průmyslový konglomerát, který se skládá z 29 hlavních společností [50].

Technické parametry:**RV-2S**

Počet stupňů volnosti: 6

Užitečné zatížení: 3 kg

Dosah ramene: 504 mm

Maximální rychlost: 4,4 m/s

Přesnost: 0,02 mm

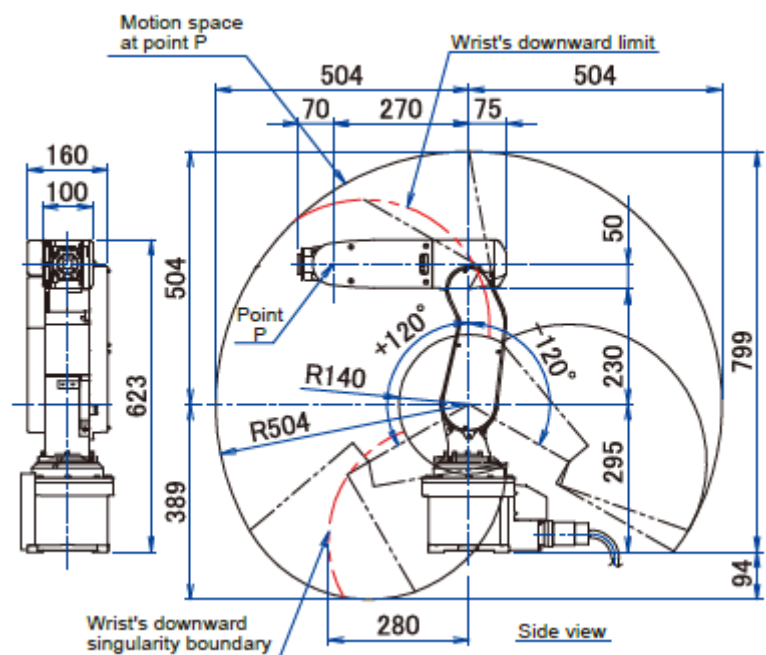
Výška robotu: 623 mm

Hmotnost: 19 kg

Rozměr základny: 160 x 160

Třída ochrany: IP30

Montáž: podlaha, zeď, strop



Obr. 4.11 Rozměry a rozsah robotu RV-2S (převzato z [50])

4.8 NACHI Robotic Systems

Nachi Robotic Systems je dodavatelem robotů a robotických systémů. Tuto japonskou společnost založil Kohki Imura v roce 1925. Zpočátku se orientovala na generátory vodních elektráren. Časem se společnost začala věnovat rámovým pilám a poté v roce 1990 začíná výrobu robotů pro manipulaci s materiálem. V současnosti se tato společnost může pochlubit 25 000 roboty nainstalovaných v Severní Americe [51].

Technické parametry:

MZ07-01

Počet stupňů volnosti: 6

Užitečné zatížení: 7 kg

Dosah ramene: 723 mm

Přesnost: 0,02 mm

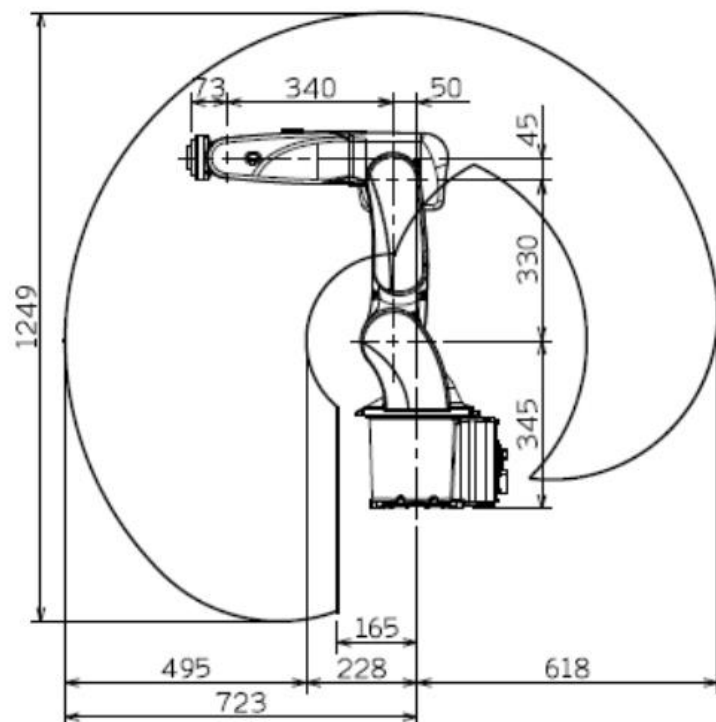
Výška robotu: 720 mm

Hmotnost: 30 kg

Rozměr základny: 190 x 191

Třída ochrany: IP67

Montáž: podlaha, zeď, strop



Obr. 4.12 Pracovní rozsah průmyslového robotu MZ07-01
(převzato z [51])

4.9 OTC DAIHEN

Společnost OTC (Osaka Transformer Company) byla založena v roce 1919 v japonském městě Osaka. Společnost se soustředila na výrobu svařovacích strojů a postupně vytváří další pobočky v Americe a v Evropě. Evropská pobočka společnosti OTC Daihen Europe vznikla v roce 1983 v Německu. V současnosti má evropské zastoupení přibližně 250 zaměstnanců a věnuje se vývoji automatizace a robotických systémů [52].

Nabídka robotů společnosti OTC Daihen čítá 20 modelů, z nichž byl vybrán nejmenší model **FD-H5**.

Technické parametry:**FD-H5**

Počet stupňů volnosti: 6

Užitečné zatížení: 5 kg

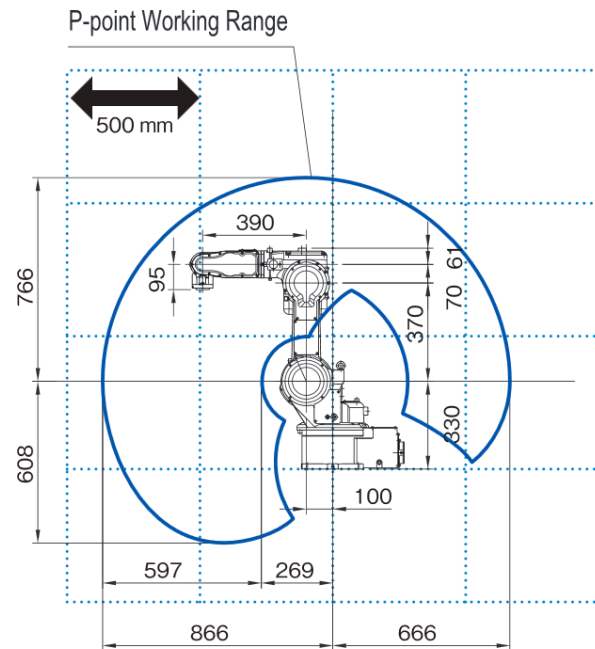
Dosah ramene: 866 mm

Přesnost: 0,05 mm

Výška robotu: 770 mm

Hmotnost: 59 kg

Montáž: podlaha, zeď, strop



Obr. 4.12 Rozsah pohybu ramene robotu FD-H5
(Převzato z [52])

4.10 STÄUBLI

Firma Stäubli byla založena roku 1892 jako malá dílna. V současnosti má více než 4000 zaměstnanců se zastoupením na všech kontinentech, konkrétně působí celkově ve více než 75 zemích, pobočka v České republice byla založena v roce 2005. Společnost Stäubli se specializuje na tři divize: textilní, konektorovou a robotovou [53].

V nabídce robotů Stäubli s nízkým užitečným zatížením se nachází devět robotů. Z nabídky byly vybrány dva roboty: **TX60** a **TX2-40** [53].

Technické parametry:**TX60**

Počet stupňů volnosti: 6

Užitečné zatížení: 3,5 kg

Dosah ramene: 670 mm

Přesnost: 0,02 mm

Třída ochrany: IP65/IP67

Montáž: podlaha, zeď, strop



Obr. 4.13 Robotické rameno TX60
(převzato z [53])

Technické parametry:**TX2-40**

Počet stupňů volnosti: 6

Užitečné zatížení: 2,3 kg

Dosah ramene: 515 mm

Přesnost: 0,02 mm

Třída ochrany: IP65/IP67

Montáž: podlaha, zeď, strop



Obr. 4.13 Robotické rameno TX2-40
(převzato z [53])

4.11 UNIVERSAL ROBOTS

Dánská společnost Universal Robots byla oficiálně založena v roce 2005. Jejím cílem bylo zpřístupnit robotickou technologii malým a středně velkým podnikům. V roce 2009 byl představen první robot UR5. Postupem času se společnost začala rozšiřovat do celé Evropy, Asie, Číny a do Jižní Ameriky. V roce 2012 byl uveden na trh robot UR10. V současné době je po celém světě nainstalováno přes 3500 robotů UR. V České republice UR zastupují společnosti Teximp. Spol s.r.o. a Exatec [54].

Nabídka UR tvoří tři robotická ramena, která vynikají svou velmi nízkou hmotností, snadnou ovladatelností a jednoduchostí programování. Výhoda UR spočívá také v tom, že dokáží spolupracovat s lidmi a v 80% případů pracují bez ochranných bariér. Z velmi úzké nabídky UR jsem vybral robot se střední velikostí – **UR5** [54].

Technické parametry: UR5

Počet stupňů volnosti: 6

Užitečné zatížení: 5 kg

Dosah ramene: 850 mm

Maximální rychlost: 1 m/s

Rozsah kloubů: +- 360°

Přesnost: 0,1 mm

Hmotnost: 18 kg

Příkon: 200 W

Třída ochrany: IP54

Napájení 200 – 240 V, 50/60 Hz



Obr. 4.14 Průmyslový robot UR5 (převzato z[54])

4.12 YASAKAWA

Japonská společnost Yasakawa Electric Group byla založena v roce 1915, skládá se ze 78 dceřiných společností a kromě divize robotiky se Yasakawa věnuje též divizím systémového inženýrství, řízení pohybu a informační technologie. V České republice je zastoupení obstaráno dceřinou společností německé pobočky Yasakawa EUROPE [55].

V nabídce společnosti Yasakawa je 71 robotických paží od malých robotů s dosahem 400 mm až po velké roboty s dosahem 4000 mm. Z této nabídky pro testování robotů byl vybrán model **MH5S/MH5F**, jedná se o kompaktní vysokorychlostní robot s šesti osami [55].

Technické parametry:

MH5S/MH5F

Počet stupňů volnosti: 6

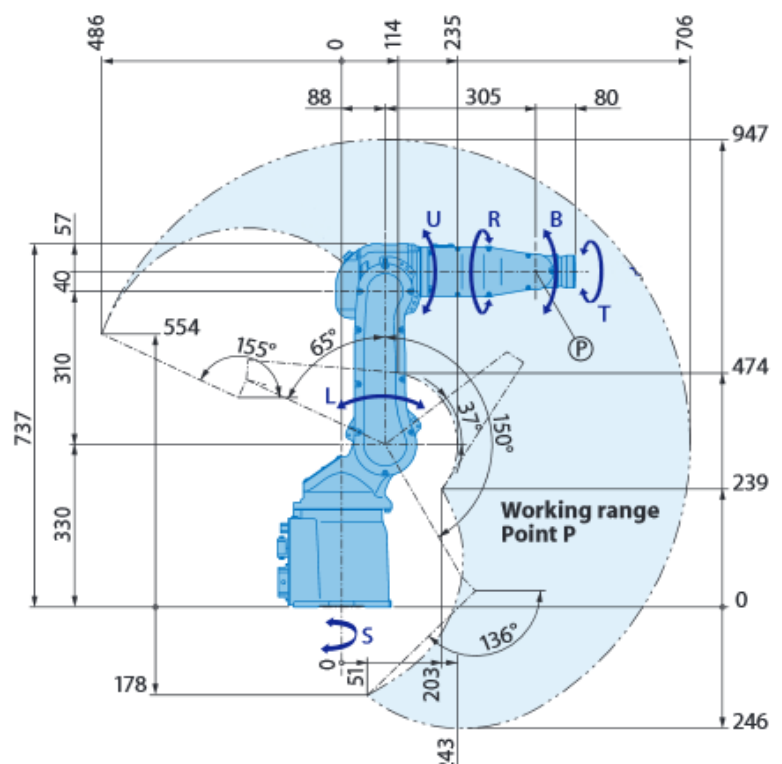
Užitečné zatížení: 5 kg

Dosah ramene: 706 mm

Přesnost: 0,02 mm

Hmotnost: 27 kg

Jmenovitý výkon: 1 kVA



Obr. 4.12 Rozsah pohybu průmyslového robotu Yasakawa (převzato a upraveno z [55])

4.13 Technické a ekonomické srovnání robotů

Tab. 4.1 Technické a ekonomické srovnání robotů [43-48]

výrobce	název robotu	počet os	maximální zatížitelnost zápěstí [kg]	dosah ramene [mm]	Třída ochrany	opakovatelnost +/- [mm]	hmotnost [kg]	Řídicí systém	cena [€]	odkaz na dodavatele/výrobce
ABB	IRB 120	6	3	580	IP 30	0,01	25	IR C5	-	abb.com
	SIX 6-1,4	6	6	1400	IP 65	0,05	160	C5G	-	robotics.comau.com
COMAU	Racer 7-1,4	6	6	1460	IP 65	0,05	160	C5G	-	robotics.comau.com
DENSO	VS-060	6	4	605	IP 40 IP 65/54 IP67	0,02	30	RC7 RC8	23 500	fine-tec.cz
FANUC	M-10iA/7L	6	7	1633	IP 54/55 IP67	0,08	135	R-30iB	-	fanurobotics.cz
	M-10iA/10MS	6	10	1101	IP 54/55 IP 67	0,08	130	R-30iB	-	fanurobotics.cz
KAWASAKI	RS03N	6	3	620	IP 54	0,02	20	E76	-	kawasakirobotics.com

Tab. 4.2 Technické a ekonomické srovnání robotů [49-55]

výrobce	název robotu	počet os	maximální zatížitelnost zápěstí [kg]	dosah ramene [mm]	Třída ochrany	opakovatelnost +/- [mm]	hmotnost [kg]	Řídicí systém	cena [€]	odkaz na dodavatele/výrobce
KUKA	KR 6	6	6	706,7	IP 54	0,03	50	KR C4 compact	25 000	kuka-robotics.com
	R700 sixx									
MITSUBISHI	RV-2S	6	3	580	IP 30	0,02	19	CR1QA-772	-	mitsubishirobotics.com
NACHI	MZ07-01	6	7	723	IP 67	0,02	30	CFD	-	nachirobotics.com
OTC DAIHEN	FD-H5	6	4	866	-	0,05	59	-	-	otc-daihen.de
STÄUBLI	TX60	6	3,5	670	IP 54	0,03	-	CS8C	24 000	staubli.com
	TX2-40	6	2,3	515	IP 65 IP 67	0,02	-	CS9	-	
UNIVERSAL ROBOTS	UR5	6	5	850	IP 54	0,1	18	-	24 990	universal-robots.cz
YASAKAWA	MH5S/ MH5F	6	5	706	-	0,02	27	DX200	-	motoman.cz

5 LEGO Mindstorms

5.1 Historie

LEGO Mindstorms je obchodní název pro programovatelné robotické stavebnice od společnosti LEGO, počátky této stavebnice se datují k roku 1998, kdy byly známé pod názvem Robotics Invention System (RIS) [56].

5.1.1 RCX

První výrobek měl název RCX 1.0 (Robotic Command eXplorers), jednalo se o programovatelnou jednotku, která v sobě měla tři hlavní součásti počítače: procesor, paměti a vstupní/výstupní porty. Jednalo se v té době o low-end počítač s jednou sběrnici sloužící k připojení procesoru, paměti a vstupních/výstupních zařízení a s infračerveným (IR) rozhraním, to bylo určeno ke komunikaci mezi kostkami a k přenosu programu z Windows do RAM. Řízení obstarával mikroprocesor Hitachi H8/3292 s CPU jádrem H8/300H. Šířka sběrnice byla 16 bitů s maximální frekvencí 16MHz, velikost ROM 16kB a RAM 512B. K programovatelné kostce bylo možné připojit až tři senzory a tři motory, LEGO dodávalo dva motory a čtyři typy senzorů: dotykový, tepelný, světelný a senzor otáček [56-58].

5.1.2 NXT

V roce 2006 bylo představena další generace LEGO MINDSTORMS: NXT [55]. Tato inteligentní kostka může ovládat až čtyři senzory a tři motory přes upravené kabely RJ12, které jsou velmi podobné telefonním kabelům RJ11. Kostka má LCD displej s rozlišením 100 x 60 pixelů a čtyři tlačítka, která slouží k navigaci v menu. V NXT jsou dva procesory, hlavní 32-bitový Atmel AT91SAM7S256 s 256KB FLASH paměti a 64KB RAM a pomocný 8-bitový Atmel AVR ATmega48. Tato programovatelná kostka má také reproduktor, a je tak možné přehrávat zvukové soubory se vzorkovací frekvencí až 8kHz. Napájení obstarává šest AA baterií nebo lze dokoupit dobíjecí baterii Li-Ion a nabíječku. K oslavě 10. výročí byla vydána kostka NXT 2.0, která však byla naprosto bez hardwarové změny, pouze se obměnily senzory [59].

Základní balení LEGO MINDSTORMS NXT obsahovalo programovatelnou kostku NXT, tři servomotory, jeden dotykový senzor, jeden ultrazvukový senzor, jeden světelný senzor, jeden zvukový senzor, kabely a konstrukční díly LEGO TECHNICS. K této kostce lze dokoupit

mnoho dalších senzorů, například úhlový senzor, přijímač IR signálu, kompas, senzor magnetického pole, barometrický senzor a mnoho dalších. V nabídce je také slučovač senzorů, který má vlastní napájení a může sloučit až 4 senzory do 1 portu [60].

5.1.3 EV3

V roce 2013 k 15. výročí LEGO MINDSTORMS představilo poslední generaci EV3 (evolution of the NXT series 3) [56]. Nová programovatelná kostka je rychlejší a zase o něco chytřejší, lze ji ovládat ze svého smartphonu přes bluetooth nebo přes Wi-Fi. Oproti předchůdci má lepší displej: 178 x 128 pixelů. V kostce je také čtečka SD karet, takže program lze vložit na SD kartu o velikosti až 32 GB. Výhodou EV3 je také možnost zapojení až čtyř motorů. Základní balení EV3 obsahuje programovatelnou kostku, barevný senzor, který rozpozná až 7 barev a intenzitu světla, dotykový senzor, vzdálený infračervený maják, díky kterému lze robot ovládat na dálku, dva velké servomotory, jeden střední servomotor a konstrukční díly. Velké servomotory pracují s přesností na 1 stupeň, jejich maximální rychlost je 170 ot/min a krouticí moment 0,2 Nm, střední motor je menší a je vhodný pro nižší zatížení, dosahuje až 250 ot/min a jeho krouticí moment je 0.08 Nm. Všechny senzory a motory z generace NXT jsou kompatibilní i s EV3, což je velké plus. Srdcem kostky je procesor ARM9 pracující na frekvenci 300MHz s paměťmi 16MB FLASH a 64MB RAM [56, 61].

Tab. 5.1 Srovnání tří generací LEGO MINDSTORMS (převzato a upraveno z[57-59, 61])

Model	EV3	NXT	RCX
Datum vydání	Září 2013	Červenec 2006	1998
Displej	černobílý LCD 178 x 128 pixel	černobílý LCD 100 x 64 pixel	černobílý LCD segmentový displej
Procesor	ARM9 (TI Sitara AM1808)	Atmel AT91SAM7S256	Hitachi H8/300
Frekvence	300 MHz	48 MHz	16 MHz
Paměť	16 MB FLASH 64 MB RAM	256 kB FLASH 64 kB RAM	16 kB ROM 512B RAM
Wi-Fi	USB modul	ne	ne
Bluetooth	ano	ano	ne
Porty senzorů	4	4	3
Porty motorů	4	3	3
Uživatelské rozhraní	6 tlačítek s podsvícením	4 tlačítka	4 tlačítka

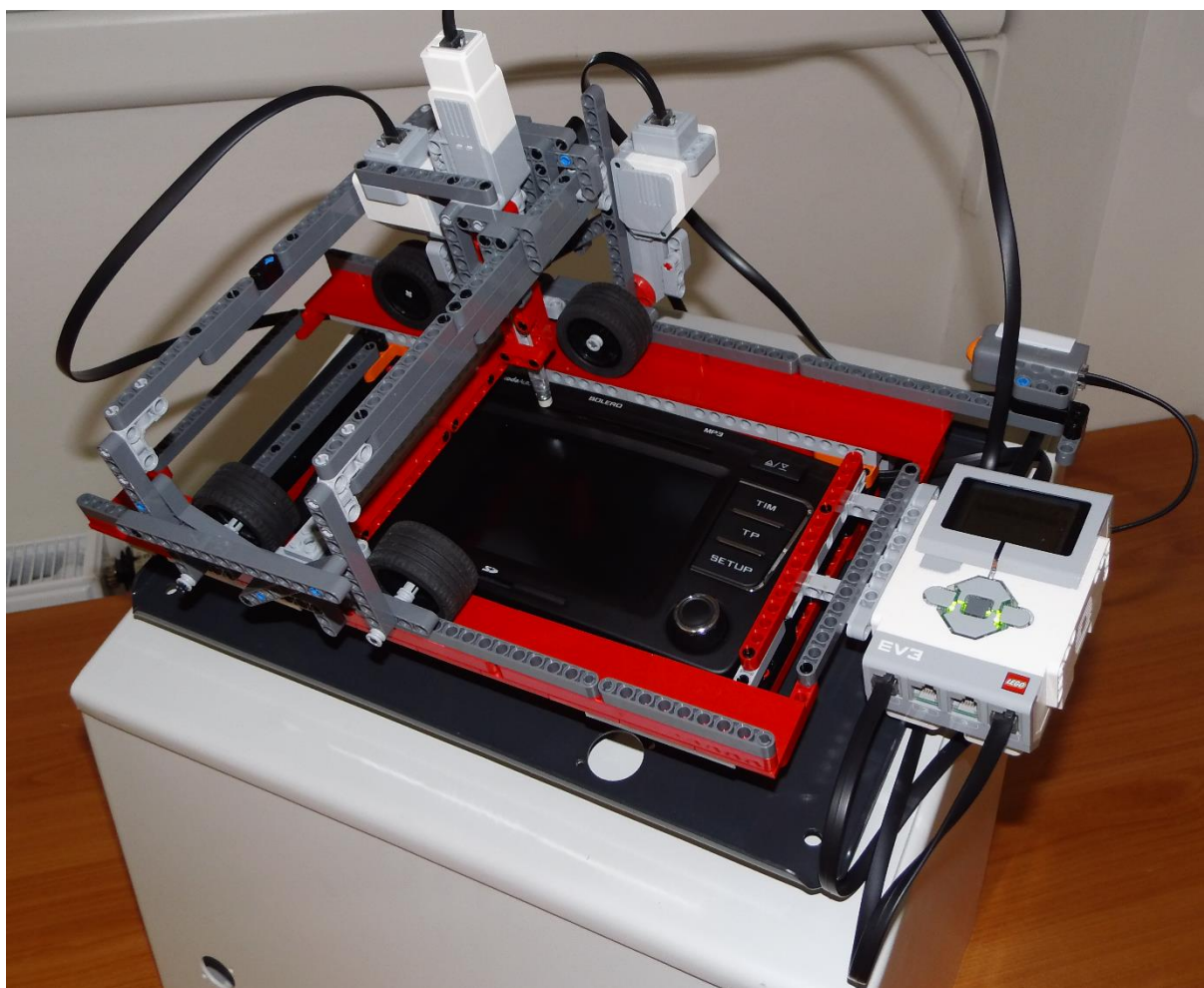
5.2 Model robotu pro testování řídicích jednotek automobilu

K sestavení robotu pro testování řídicích jednotek automobilu byla použita programovatelná kostka LEGO MINDSTORMS EV3. Původní plán byl vyrobit model robotického ramene, ale vzhledem k určité nepřesnosti lega a servomotorů jsem zvolil konstrukci ve stylu plotteru. Robotická ruka by byla relativně nepřesná a obtížně by se upevňovala k přípravku tak, aby byla stabilní, a zároveň by její konstrukce musela být velká, z důvodů váhy servomotorů. K programování kostky byl použit program od LEGO MINDSTORMS.

Model robotu má tři translační osy, pracuje tedy v krychlovém prostoru a je schopen ovládat všechna tlačítka multimediálního systému. Pohon obstarávají tři servomotory. Posuv v ose X je řešen pomocí velkého servomotoru, který pohání jedno ze čtyř kol, což není tak přesné, ale jelikož byl nedostatek ozubených dílů, tak nemohl být realizován posuv pomocí ozubených kol po ozubnici. Posuv v ose Y obstarává také velký servomotor, který pohání ozubené kolo, to jezdí po ozubnici. V ose Z se robot pohybuje díky střednímu servomotoru. K němu je připevněna hřídel, na které je umístěn šnekový převod, který posouvá ozubnici. Testovací program se skládá z cyklu stlačení tlačítek a zajetí do výchozí pozice, která zajišťuje přesnost robotu při vyšším počtu cyklů. Výchozí pozice je určována pomocí dvou koncových snímačů polohy, jeden v ose X a druhý v ose Y. Poloha v ose Z z důvodů nedostatku místa a rozměru koncového dotykového snímače není ošetřena.

Program se skládá z několika podprogramů, které jsou vizualizovány v příloze. Na prvním obrázku lze vidět strukturu programu a řešení opakování pomocí bloku Loop, který realizuje nekonečnou smyčku do doby, než se zmáčkne jedno z 6 tlačítek, a bloku Switch, který určí počet opakování. První podprogram „Start“ slouží k výpisu textu a potvrzení startu testování. Následující podprogram „Obr“ slouží k výpisu textu na obrazovku. Další blok „VychoziPoloha“ slouží ke kalibraci robotu – zajetí do výchozí pozice, v cyklu je použit hned několikrát, aby byl robot přesnější a zároveň byla ošetřen stav, kdy se robot zasekne nebo ho někdo sundá z platformy. Podprogram je řešen dvěma paralelními smyčkami s časovačem. Každá větev je určena pro jeden velký motor. Pokud robot není schopen do 5 sec zajet do výchozí polohy, zazní siréna, kostka EV3 začne rudě blikat a na displeji se zobrazí ERROR, program je následně ukončen. Dále je zde podprogram „Vypis“, který vypíše na displej možné volby počtu opakování, na které navazují již zmiňované bloky Loop a Switch, které souvisí

s počtem volby opakování. Blok „Blikani“ vypíše na obrazovku „TESTOVANI“ a rozblíká podsvícení zelenou barvou. Následuje několik podprogramů na řízení stisku tlačítka a posuvu.



Obr. 5.1 Fotografie sestaveného robotu pro stimulaci předního panelu automobilu

Závěr

Cílem této práce bylo seznámit se s oblastí průmyslové robotiky a zmapovat trh dostupných robotů vhodných pro testování řídicích jednotek automobilu.

První kapitola byla věnována historii robotiky. Zde je patrné, že robotika se v průmyslu začala rozmáhat až ve 20. století, nástup průmyslových robotů do výroby měl ale exponenciální průběh a i v současné době se použití průmyslových robotů stále zvětšuje. Zároveň se zvyšuje přesnost, rychlost robotů a možnost spolupráce s lidmi.

Následující kapitola je věnována testování řídicích jednotek, cílům testování, principu funkce testovací platformy HiL a aplikaci robotu pro stimulaci multimediálního systému automobilu. Zároveň je zde uvedeno srovnání nákladů na provoz a údržbu průmyslového robotu vůči nákladům na jednoho zaměstnance.

V další kapitole byly uvedeny základní technické parametry průmyslových robotů a požadavky na průmyslového robotu vhodného pro testování řídicích jednotek automobilu. Robot musí být co nejmenší a nejlehčí, aby se dal snadno přestěhovat, zároveň musí ale splnit uvedené požadavky.

Čtvrtá kapitola byla věnována společnostem, které vyrábí průmyslové roboty a mají zastoupení v České republice nebo v sousedním Německu. Zároveň je zde základní popis jednotlivých průmyslových robotů, bohužel ne u všech se podařilo zjistit veškeré potřebné informace, především cenu průmyslového robotu včetně řídicího systému. Některé společnosti ochotně odpovídaly na veškeré dotazy a sdělily mi všechny potřebné informace, vyzdvihnout bych chtěl především společnost Stäubli, která nabídla možnost osobní schůzky a pomoc s podklady na bakalářskou práci, bohužel se ale nakonec osobní schůzka nekonala. Mezi výrobci jsou ale uvedené i společnosti, které nereagovaly ani na opakovanou žádost o informace ve formě emailu. V ostatních případech bylo většinou požadováno zadání konkrétní zakázky a na základě této zakázky by byla sdělena cena robotu.

Jako nejvhodnější řešení robotického pracoviště pro testování dané řídicí jednotky byl zvolen průmyslový robot od společnosti DENSO VS-060, který má dostatečnou nosnost i dosah pro obsluhu řídicí jednotky, zároveň je relativně lehký a ze všech robotů, u kterých se podařilo

zjistit cenu robotu včetně kontroleru, je nejlevnější. Řídicí systém RC8, který je zahrnut v ceně, má hmotnost pouze 12kg a disponuje základními porty pro komunikaci, jako je Ethernet a USB. Cena robotu však výrazně převyšuje požadavek 10 000 €, ovšem většina vybraných robotů se bude pohybovat v cenovém rozmezí od 23 000 € výš. Řešením by mohlo být pořízení delta robota, jehož nákupní cena je nižší, ale je zde nutnost upevnit robot přímo nad řídicí jednotku. Delta roboty mají menší pohybovou volnost a maximální dosah je malý, z těchto důvodů nebyly zařazeny do srovnání.

Pátá kapitola je zaměřena na multifunkční stavebnici LEGO Mindstorm a na praktickou část této práce – sestavení modelu robotu pro stimulaci řídicí jednotky automobilu. Programování praktické části bylo provedeno v programu LEGO Mindstorm EV3, které pracuje v upraveném prostředí labVIEW. Části tohoto programu lze vidět v příloze. V této kapitole jsou také uvedeny a vzájemně porovnány tři generace programovatelných kostek LEGO Mindstorm.

Seznam literatury a informačních zdrojů

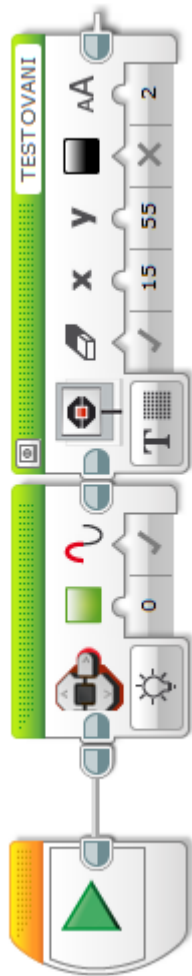
- [1] České slovo ROBOT zná celý svět už 90 let. KUŽNÍK, Jan. ČTK. *Technet* [online]. 2011 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/ceske-slovo-robot-zna-cely-svet-uz-90-let-fcw-/tec_technika.aspx?c=A110126_125558_tec_technika_kuz
- [2] VACULÍK, Přemysl. Slovo "ROBOT" slaví 90 let - svět dnes ví, kdo jsou to Češi. *Techman.blog.zive.cz* [online]. 2011 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://techman.blog.zive.cz/2011/01/slovo-%E2%80%9Crobot%E2%80%9D-slavi-90-let-svet-dnes-vi-kdo-jsou-to-cesi/>
- [3] ŘEHÁKOVÁ, Eva. Kdo vymyslel slovo robot? Karel Čapek to nebyl! *Factoryautomation.cz* [online]. 2014 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://factoryautomation.cz/kdo-vymyslel-slovo-robot-karel-capek-to-nebyl/>
- [4] What is the root of the word robot? *Eduqna.com* [online]. 2008 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://www.eduqna.com/Words-Wordplay/2879-1-Words-Wordplay-6.html>
- [5] McKerrow, P.: Introduction to Robotics. Massachusetts. Addison-Wesley, Reading, 1991
- [6] Robotika. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2015 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Robotika#Historie_experiment.C3.A1ln.C3.AD_robotiky
- [7] HLAVÁČ, Václav. *ÚVOD DO ROBOTIKY* [online]. Praha [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://cmp.felk.cvut.cz/~hlavac/TeachPresCz/51Robotika/01UvodRobotika.pdf>. Fakulta elektrotechnická ČVUT.
- [8] ASIMOV, Isaac. *Ocelové jeskyně*. Vyd. 4., (V Tritonu 2., V Argu 1.). Překlad Zdeněk Lorenc. Praha: Argo, c2012, 255 s. Trifid, sv. 462. ISBN 978-802-5706-886.
- [9] NEFF, Ondřej; OLŠA, Jaroslav. *Encyklopedie literatury science fiction*. Praha : AFSF, 1995. ISBN 80-85390-33-7. Kapitola Isaac Asimov, s. 175-178.
- [10] Já, robot(kniha). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2015 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/J%C3%A1,_robot_%28kniha%29
- [11] Automatizace a robotizace. In: SAS, STŘEDNÍ PRŮMYSLOVÁ ŠKOLA STROJÍRENSKÁ A JAZYKOVÁ ŠKOLA S PRÁVEM STÁTNÍ JAZYKOVÉ ZKOUŠKY KOLÍN. [online]. Kolín [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: http://www.sps-ko.cz/documents/ARO_prorok/Pr%C5%AFmyslov%C3%A9%20roboty.pdf
- [12] ŽÁČEK, Michal. *Factoryautomation. Historie robotů? Saha až do řecké mytologie!* [online]. [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://factoryautomation.cz/historie-robotu-saha-az-do-recke-mytologie/>

- [13] Deborah Levine Gera (2003). *Ancient Greek Ideas on Speech, Language, and Civilization*. ISBN 978-0-19-925616-7. Retrieved 31 December 2007.
- [14] ISOM, James. Robotics: megagiant. *A Brief History of Robotics* [online]. 2005 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://robotics.megagiant.com/history.html>
- [15] Robotshop. *History of Robotics: Timeline* [online]. 2008 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://www.robotshop.com/media/files/PDF/timeline.pdf>
- [16] EWALT, David M. Forbes. *30 Great Moments In The History Of Robots* [online]. 2012 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://www.forbes.com/sites/davidewalt/2012/11/27/30-great-moments-in-the-history-of-robots/2/>
- [17] HOBSBAWM, E. *The age of revolution 1789-1848*. 1st Vintage Books ed. New York: Vintage Books, 1996, x, 356 p. ISBN 06-797-7253-7
- [18] JOHNSTON, Casey. Arstechnica. *Nikola Tesla's remote-control boat, and other unpopular inventions* [online]. 2013 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://arstechnica.com/science/2013/07/nikola-teslas-remote-control-boat-and-other-unpopular-inventions/>
- [19] GOYETTE, Matthew. Apriso. *100 Years After Ford: Where the Conveyor Belt Has Taken Us* [online]. 2013 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://www.robotshop.com/media/files/PDF/timeline.pdf>
- [20] NOCKS, Lisa. *The robot: the life story of a technology*. Johns Hopkins pbk. ed. Baltimore, Md: Johns Hopkins University Press, 2008. ISBN 978-080-1890-710.
- [21] Turing, Alan (October 1950), "Computing Machinery and Intelligence", *Mind* **LIX** (236): 433–460, doi:10.1093/mind/LIX.236.433, ISSN 0026-4423, retrieved 2008-08-18
- [22] *Computer History Museum* [online.] Mountain View, CA [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: <http://www.computerhistory.org/timeline/?category=rai>
- [23] *KUKA Industrial Robots: The first KUKA robot* [online]. [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: <http://www.kuka-robotics.com/en/company/group/milestones/1973.htm>
- [24] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory: the life story of a technology*. Johns Hopkins pbk. ed. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007, 1 CD-R. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [25] Industrial Robot History. *Robot Worx* [online]. [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: <http://www.robots.com/education/industrial-history>
- [26] Delta robot. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2015 [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Delta_robot

- [27] CLAVEL, REYMOND. Device for the movement and positioning of an elem, US4976582. Uděleno 12.11.1990. Dostupné z: http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?CC=US&NR=4976582&KC=&FT=E&locale=en_EP
- [28] *Plastics Production: časopis pro plastikářský průmysl : magazine for plastics industry : Zeitschrift für Kunststoffindustrie* [online]. [cit. 2015-04-26]. ISSN 18021549. Dostupné z: <http://www.floowie.com/cs/cti/pp-2-2014/undefined>
- [29] Přichází nová éra robotiky: KUKA LBR iiwa. *Parlamentní listy* [online]. 2014 [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: <http://www.parlamentnilisty.cz/zpravy/tiskovezpravy/Prichazi-nova-era-robotiky-KUKA-LBR-iiwa-337155>
- [30] Lightweight Robotics. *KUKA LBR iiwa* [online]. [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: http://www.kuka-labs.com/en/service_robotics/lightweight_robotics/
- [31] ČAPEK, Josef. R.U.R. *Knihy Dobrovský* [online]. Omega [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: <http://eshop.knihydobrovsky.cz/eshop-rur-572502.html>
- [32] Leonardo's robot. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2015 [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Leonardo%27s_robot#/media/File:Leonardo-Robot3.jpg
- [33] Digesting Duck. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2015 [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Digesting_Duck
- [34] Unimate at General Electric. *Computer History Museum* [online]. [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: <http://www.computerhistory.org/revolution/artificial-intelligence-robotics/13/292/1272>
- [35] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007. 1 CD-R. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [36] KUBÍK, Michal. *Testování elektronických systému automobilu* [online]. Plzeň, 2011 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <https://portal.zcu.cz/StagPortletsJSR168/KvalifPraceDownloadServlet?typ=1>
- [37] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, et al. IEC 60529: degrees of protection provided by enclosures (IP code). *See Appendix*, 1989.
- [38] BERKA, Štěpán. *Elektrotechická schémata a zapojení 2: řídicí, ovládací a bezdrátové prvky*. 1. vydání. Praha: BEN - technická literatura, 2010, 240 s. ISBN 978-80-7300-254-1.
- [39] Informace o robotech: základní parametry robotů. *Roboti.cz* [online]. [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <http://www.roboti.cz/informace-o-robotech/zakladni-parametry-robotu>
- [40] KOLÍBAL, Zdeněk a Radek KNOFLÍČEK. *Morfologická analýza stavby průmyslových robotů*. 1. vyd. Košice: Viena, 2000, 178 s. Edice vědecké a odborné literatury. ISBN 80-889-2227-5.

- [41] FLORIÁN, Michal. *ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU V OBLASTI STACIONÁRNÍCH PRŮMYSLVÝCH ROBOTŮ A MOBILNÍCH ROBOTŮ PRO PRŮMYSLOVÉ POUŽITÍ*. Brno, 2007. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [42] ČSN EN ISO 9283. *Manipulační průmyslové roboty: Technické parametry a souvisící zkušební metody*. 1999.
- [43] ABB. *ABB Group: Automation and Power Technologies* [online]. 2015 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://www.abb.com/>
- [44] COMAU SPA. *Comau* [online]. [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://www.comau.com/>
- [45] *Denso: robotics* [online]. 2015 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://www.densorobotics-europe.com>
- [46] *FineTec Systems: FineTec Systems, s.r.o* [online]. 2015 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://www.fine-tec.cz/>
- [47] *FANUC* [online]. [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.fanuc.eu/cz/cs-cz>
- [48] KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES, LTD. 2015. *Kawasaki: Heavy Industries* [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://global.kawasaki.com/en/>
- [49] KUKA ROBOTER GMBH. 2015. *KUKA: Industrial Robots* [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://www.kuka-robotics.com/en/>
- [50] MITSUBISHI ELECTRIC AUTOMATION, INC. 2012. *Mitsubishi Electric: Robotics* [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://mitsubishirobotics.com/>
- [51] *Nachi Robotics System: Industrial Robotics and Automation* [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://www.nachirobotics.com/>
- [52] OTC DAIHEN EUROPE GMBH. 2015. *OTC Daihen* [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.otc-daihen.de>
- [53] STÄUBLI. 2015. *Stäubli: Textile, Connectors, Robotics - mechatronics and industrial automation* [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.staubli.com/cz/>
- [54] UNIVERSAL ROBOTS A/S. *Universal Robots: Flexibilní, jednoduchá, nízkonákladová, kooperativní robotická ramena* [online]. [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.universal-robots.com>
- [55] YASKAWA EUROPE GMBH. *Motoman: Yasakawa Česká Republika* [online]. 2013 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.motoman.cz/>
- [56] THE LEGO GROUP. *LEGO: Mindstorms* [online]. 2015 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: mindstorms.lego.com/
- [57] KEKOA PROUDFOOT. *RCX: Internals* [online]. 1999 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.mralligator.com/rcx/>

- [58] CAPRANI, Ole. *RCX Manual* [online]. 2006 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://legolab.daimi.au.dk/CSaEA/RCX/Manual.dir/RCXManual.htm>
- [59] Lego Mindstorms NXT. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2015 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Lego_Mindstorms_NXT
- [60] EDUXE S.R.O. *EDUXE: distributor učebních pomůcek* [online]. Velké Pavlovice [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.eduxe.cz/les/mindstorms/hitechnic/>
- [61] THE LEGO GROUP. *LEGO: Enducation* [online]. 2015 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://education.lego.com/cs-cz/preschool-and-school/secondary/mindstorms-education-ev3/support/faqs-and-technical-support>
- [62] ČTK. Průměrná mzda na konci roku přesáhla sedmadvacet tisíc. *IDNES.cz: Ekonomika* [online]. 2015 [cit. 2015-05-31]. Dostupné z: http://ekonomika.idnes.cz/prumerna-mzda-ve-4-ctvrtleti-2014-vzrostla-o-609-kc-na-27-200-kc-pic-/ekonomika.aspx?c=A150311_091024_ekonomika_nio



Obr. 6.4 Podprogram „Blikani“



Obr. 6.5 Podprogram „ITlacitko“