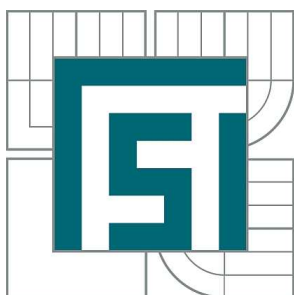


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTICS

NÁVRH ROBOTICKÉHO PRACOVISTĚ PRO ZÁTĚŽOVÉ TESTOVÁNÍ

DESIGN OF A ROBOTIC CELL FOR LOAD TESTING PURPOSES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. TOMÁŠ KONEČNÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ALEŠ POCHYLÝ

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Tomáš Konečný

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Výrobní stroje, systémy a roboty (2301T041)**

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

Návrh robotického pracoviště pro zátěžové testování

v anglickém jazyce:

Design of a Robotic Cell for Load Testing Purposes

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je návrh robotického pracoviště pro sérii zátěžových testů motorového plováku. Cílem je navrhnout strukturu (layout) pracoviště s průmyslovým robotem a navrhnout systém pro vyhodnocování naměřených výstupních dat po ukončení zátěžového testu.

Cíle diplomové práce:

1. Návrh koncepce robotického pracoviště.
2. Návrh systému vyhodnocování naměřených dat.

Seznam odborné literatury:

1. SICILIANO, B. KHATIB, O. Springer Handbook of Robotics. Springer-Verlag New York, Inc., 2008. 1611 s. ISBN 978-3-540-23957-4
2. PIRES, J. N. Industrial Robots Programming: Building Applications for the Factories of the Future. Springer, 2008. 282 s. ISBN 978-0-387-23325-3
3. NOF, S. Y. Springer Handbook of Automation. Springer, 2009. 1812 s. ISBN 978-3-540-78830-0
4. MONKMAN, G. J., HESSE, S., STEINMANN, R. SCHUNK, H. Robot Grippers. Wiley-VCH Verlag, 2007. 463 s. ISBN 978-3527406197

Vedoucí diplomové práce: Ing. Aleš Pochylý

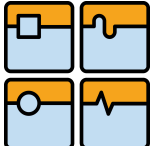
Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 20.1.2015

L.S.

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

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

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 5
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá problematikou návrhu robotického pracoviště pro zátěžové testování. Na začátku práce je stanoven cíl testování. Dále je popsán testovaný objekt, současné pracoviště, je zvolena vhodná varianta řešení a jsou vybrány hlavní prvky pracoviště. Následuje návrh layoutu pracoviště s ohledem na bezpečnost a je zpracována zjednodušená analýza rizik. Druhou polovinu práce tvoří vypracování řídicího programu robotu a návržení měřícího zařízení. V závěru práce je zpracována cenová kalkulace navrženého řešení.

KLÍČOVÁ SLOVA

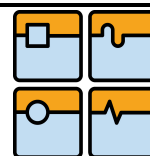
Průmyslový robot, zátěžové testování, Kuka, tenzometr, LabVIEW, měření

ABSTRACT

This thesis is focused on design of a robotic cell for load testing purposes. At the beginning the aim of work is determined by objective testing. Next part is description of a test object, current work station and the present state of work. Further is determined one variant of solutions and are selected elements of the robotic cell. The design of layout follows especially with regards to safety and is processed simplified risk analysis. The second half of the work consists of developing a driverless robot design of the measuring device. The end of thesis is price calculation.

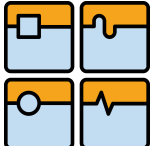
KEYWORDS

Industrial robot, load testing purposes, Kuka, tensometer, LabVIEW, measurement



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KONEČNÝ, T. Návrh robotického pracoviště pro zátěžové testování. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 86 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Aleš Pochylý.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 7
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

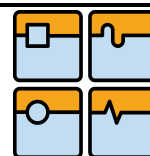
ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 28. května 2015

.....

Tomáš Konečný



PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Ing. Aleši Pochylému, za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

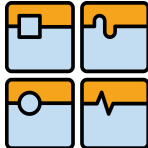
Také bych chtěl poděkovat své rodině a přátelům za podporu během studia a tvorbě diplomové práce.

OBSAH

Úvod.....	12
1 Popis úkolu	13
1.1 Cíl testování	13
1.2 Objekt testování	13
1.3 Stanovení postupu testování.....	14
2 Zhodnocení současného stavu	15
3 Varianty řešení	19
3.1 Použití průmyslového robotu	19
3.2 Použití portálového manipulátoru	20
3.3 Volba řešení	21
4 HLAVNÍ PRVKY PRACOVIŠTĚ	22
4.1 Průmyslový robot KUKA KR 150.....	22
4.2 Koncový efektor	23
4.3 Řídicí systém robotu	24
4.4 Vyhodnocující systém	28
5 Návrh pracoviště	29
5.1 layout pracoviště	29
5.2 Volba upínání plováku	32
5.2.1 Varianta s manuálním upínáním testovaného objektu.....	32
5.2.2 Varianta s automatickým upínáním testovaného objektu.....	32
5.3 Volba zámku dveří	33
5.4 Volba tlačítka nouzového zastavení.....	34
6 Analýza a posouzení rizik.....	35
6.1 Systémová analýza strojního zařízení	35
6.2 Analýza nebezpečných komponent dle normy ČSN EN ISO 10218-1.....	36
6.3 Analýza významných nebezpečí.....	39
7 návrh řízení pracoviště.....	44
7.1 Robot ve funkci PLC, komunikace přes bus terminal.....	44
7.2 Robot ve funkci PLC, komunikace přes sériovou linku	45
7.3 Robot ve funkci PLC, komunikace přez Interbus	46
7.4 Robot a PLC propojené přes Interbus, vyhodnocení pomocí OPC serveru.....	46
8 Volba hardwarového vybavení pracoviště.....	48
9 Způsob programování průmyslového robotu.....	51
10 Řídicí program [12]	52
10.1 Vývojový diagram programu	53

10.2	Komunikace mezi robotem a vyhodnocujícím počítačem ze strany robotu.....	55
10.3	Měřicí cyklus	55
11	Vyhodnocující systém.....	57
11.1	Blokový diagram vyhodnocujícího programu	57
11.2	LabVIEW.....	58
11.3	Kompatibilní Hardware	58
11.4	Konfigurace zařízení.....	59
11.5	Založení projektu	60
11.6	Čelní panel	61
11.7	Blokový diagram LabVIEW	62
11.8	Podprogramy pro měření hmotnosti	62
11.9	Podprogram pro kontrolu frekvence	63
11.10	Hlavní program	64
11.11	Test funkčnosti programu	66
11.12	Volba hardwarového vybavení a cenová kalkulace.....	67
12	Ekonomické zhodnocení	68
	Závěr	69
	Výkladový slovník	72
	Průmyslové manipulátory [17].....	72
	Jednoučelové manipulátory.....	72
	Universální manipulátory.....	72
	Adaptivní průmyslové roboty [18].....	73
	Koncový efektor.....	73
	Tenzometry [19].....	73
	PLC [20].....	74
	Rozhraní OPC[20].....	74
	Průmyslové sběrnice [21].....	75
	Profibus	75
	Interbus[22]	76
	Seznam použitých zkratk a symbolů	77
	Seznam příloh	78
	Seznam Tabulek.....	79
	Seznam Obrázků	80
	Příloha 1.	81
	Příloha 2.	82
	Příloha 3.	83

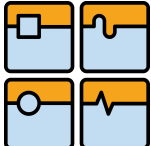
Příloha 4:.....	85
Příloha 5:.....	86

Str. 12	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

ÚVOD

Robotizace pracovišť v současnosti nachází uplatnění ve všech oborech strojírenské výroby. Od výroby prototypů, přes malosériovou a velkosériovou výrobu, až po montáž a zátěžové testování hotových výrobků. Tyto pracoviště nahrazují lidskou sílu například z důvodů namáhavé fyzické práce, její jednotvárnosti a stále častěji z ekonomických důvodů. Pokud je pracoviště správně navrženo, je robot levnější a efektivnější než člověk. Druhým důvodem je možnost robotu pracovat v nepříznivých podmínkách. V neposlední řadě je také využívána preciznost robotu.

Tato diplomová práce slouží k navržení robotického pracoviště náhradou za stávající řešení při testování motorového plováku. Firma, ve které bude realizováno toto pracoviště, se zabývá vlastním návrhem, vývojem i výrobou tohoto produktu. Velkým problémem ve výrobním procesu se stává kusové ověření výrobku. Proto má být součástí tohoto pracoviště i měřicí a záznamové zařízení, které měří navíc tah i otáčky motoru. Součástí práce bude i analýza rizik podle příslušných norem.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 13
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

1 POPIS ÚKOLU

Cílem práce je navrhnout robotické pracoviště sloužící k zátěžovému testování motorového plováku. Součástí plováku je spalovací motor vyvíjející tah plavidla. Jelikož jsou součásti výrobku vyráběny malosériově, je vhodné kusové ověřování každého plováku. Součástí návrhu je i měřicí a záznamové zařízení a tvorba příslušného programu.

1.1 CÍL TESTOVÁNÍ

Výsledkem testování by měla být zpráva obsahující data ke každému kusu plováku. Testovací cyklus se bude zabývat těmito body:

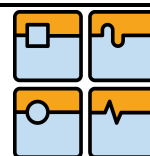
- Zvážení prázdné hmotnosti plováku
- Simulace reálných podmínek provozu plováku.
- Kompenzace zátěže, kterou vytváří obsluha plováku
- Měření výsledného tahu a vztlaku plováku v závislosti na otáčkách motoru
- Měření otáček motoru v zátěži
- Zjištění množství vniklé a nevyčerpané vody do tělesa plováku
- Kontrola výpadku motoru během testování
- Počet testovaných kusů měsíčně: 80-100

Nejdůležitějším prvkem testování je změření výsledného tahu a vztlaku plováku v závislosti na otáčkách motoru. Měření těchto veličin bude probíhat pomocí dvou tenzometrických snímačů umístěných v koncovém efektoru. Pomocí těchto snímačů je také zajištěno vážení hmotnosti plováku.

Druhý nejdůležitější bod testování je měření a zaznamenávání otáček motoru. Každý plovák je vybaven snímačem otáček motoru. Jde o Hallovu sondu generující digitální signál pulzně šířkové modulace. Pomocí vhodného konektoru se tento snímač připojí do koncového efektoru po uchycení plováku. Další zpracování signálu bude probíhat v měřicím počítači pracoviště.

1.2 OBJEKT TESTOVÁNÍ

Testovaným objektem je motorový plovák od firmy Jetsurf. Tělo je vyrobeno z karbonových vláken. Pohon tvoří dvoutaktní spalovací motor o objemu 100 cm³. Motor je chlazený kapalinou proudící v oběhu za pomoci čerpadla. Startování plováku se provádí vložením magnetu do rukojeti plynu. Tato součást zároveň zabezpečuje bezpečné odstavení motoru z provozu v případě náhodného vzdálení řidiče plováku. Otáčky motoru se nastavují pomocí plynové rukojeti. Plnění motoru je zajištěno karburátorem. Motor dosahuje maximálně 8000 otáček za minutu. Samotné stranové řízení plováku za provozu je způsobeno nakláněním vůči jeho svislé ose. Řídící elektronika je napájena Li-FePO₄ akumulátorem. Prázdná váha plováku je 14kg a jeho nosnost je 100kg. Váha se všemi náplněmi je 17kg.



Plovák je vybaven třemi na sobě nezávislými vodními čerpadly. Vývody čerpadel jsou umístěny v okolí krytu vnitřního prostoru. Proud čerpané vody směřuje kolmo vzhůru. Proud kapaliny je vidět na obr. 1

Tah motoru byl orientačně změřen a dosahuje hodnoty 500N.



Obr.1. Motorový plovák JetSurf GP [1]

1.3 STANOVENÍ POSTUPU TESTOVÁNÍ

Testovaným plovák se nachází v přípravné části pracoviště, kam je umístěný lidskou obsluhou. Součástí pracoviště je průmyslový robot, který plovák uchopí pomocí koncového efektoru. Plovák je na počátku testování zvážen pomocí tenzometrického snímače sil, který je součástí efektoru. Následně dojde k nastartování motoru plováku a jeho ponoření do nádrže s vodou. Dále je vykonán zátěžový cyklus, během něhož se zjišťují parametry výrobku jako je jeho těsnost, výkon, účinnost čerpadla a tah motoru. Robotické rameno v závislosti na tahu motoru přizpůsobí hloubku ponoru plováku a jeho náklon vůči hladině vody. Poté je plovák vytažen nad hladinu a je opětovně zvážen. Naměřená data jsou odeslána do kontrolního počítače a plovák je umístěn na odkládací plochu. Tím test končí.



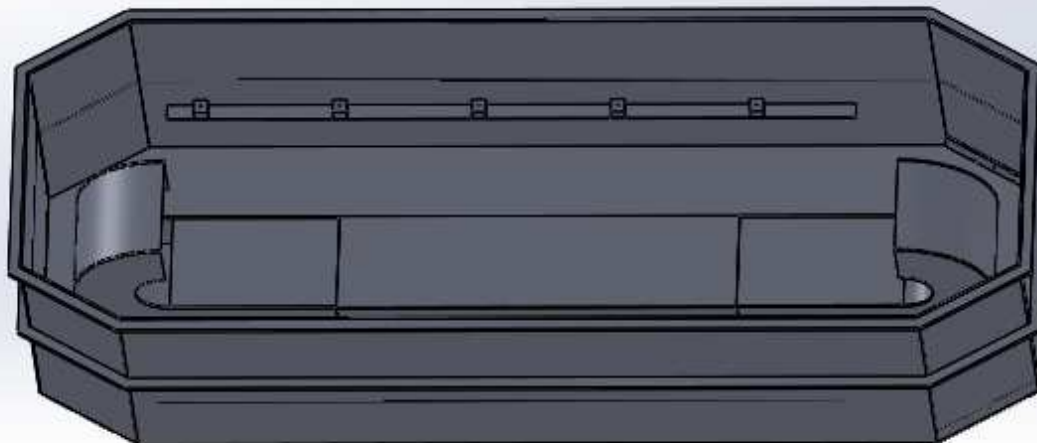
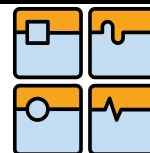
2 ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU

V současnosti testování plováku probíhá za plné asistence lidské obsluhy. Pracovník plovák položí do bazénu na hladinu vody, připojí hadici odsávání výfukových spalin na výfukové potrubí pomocí kleštinového upínače. Nastartuje ho za pomoci magnetu vložením do ovladače řízení a pomocí rukojeti plynu nastavuje požadované otáčky. Při testování se kontroluje především záběh motoru, těsnost systému, funkčnost vodních čerpadel a čerpadla chlazení motoru. Dále je potřeba zkontrolovat chování motoru v celém spektru provozních otáček.



Obr.2. Ovladač řízení

Pro testování slouží speciální bazén, který bude použitý i v automatickém testu za pomoci průmyslového robotu. Kontrola vlastností plováku probíhá čistě vizuálně. Případné nedostatky se vyřeší přímo na místě, nebo zaznamenají do průvodní dokumentace a předají zpět do výroby.



Obr.3. Bazén pro testování plováku



Obr.4. Náhled na stávající pracoviště

V zadní části bazénu se nachází otevřené potrubí, sloužící k uklidnění proudící vody z hnací turbíny plováku.



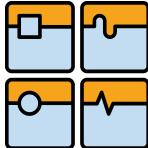
Obr.5. Proudění vody v zadní části bazénu



Obr.6. Odsávací hadice spalín

Součástí bazénu je i hadice sloužící k odsávání výfukových spalin, které produkuje dvoutaktní motoru plováku. Hadice je vybavena koncovkou, která se po nasazení na výfukové potrubí zajistí pomocí bajonetového spoje.

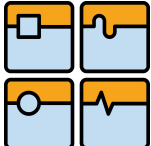
Hlavní nedostatky této metody tkví v nemožnosti opakování testu a jeho standardizace. Zároveň je nutná absolutní kontrola lidskou obsluhou. Také není možné plovák zatížit reálnou zátěží simulující hmotnost řidiče a případně nasimulovat potřebné namáhání.

Str. 18	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

V neposlední řadě není možné kusově ověřit tah motoru a těsnost systému, případně správnou funkci čerpadel.

Mezi hlavní výhody stávajícího zařízení patří jeho jednoduchost a relativně nízké náklady na samotný test a potřebné proškolení obsluhy.

Čas potřebný na otestování jednoho kusu je 30 minut.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 19
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

3 VARIANTY ŘEŠENÍ

Pro provedení testování je potřeba zajistit manipulaci s plovákem, jeho uchycení a umožnění změny pozice v průběhu testování na základě dat z tenzometrických snímačů. Manipulovaný objekt má rozměry 1800x600x150mm. Jeho váha je 14kg.

Při testování je třeba zajistit pohyb ve dvou osách a naklánění plováku kolem dvou os. Tyto pohyby jsou potřeba pro reálnou simulaci běžného provozu plováku, kdy rotací kolem podélné osy plováku dochází k zatáčení. Pohyb kolem příčné osy je potřeba pro simulaci náběhu na vlny.

Dále je potřeba nasimulovat hmotnost jezdce působící na plovák. Ta byla stanovena na 80kg. Koncový efektor je možné připojit k libovolnému zařízení pomocí šroubů. Váha efektoru je 30kg. Přesnost polohování je dostatečná v toleranci ± 1 mm. Z tohoto důvodu byly navrženy dvě varianty řešení.

POŽADAVKY NA ROBOT NEBO MANIPULÁTOR:

- Pohyb ve dvou podélných osách
- Rotace koncového efektoru ve dvou rotačních osách
- Minimální nosnost 134kg
- Minimální stupeň krytí IP 65
- Dostatek potřebných vstupů a výstupů v ŘJ (kapitola 9.)

3.1 POUŽITÍ PRŮMYSLOVÉHO ROBOTU

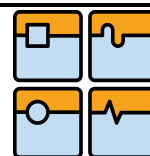
První variantou je použití průmyslového robotu. Robot použitý v této aplikaci musí umožňovat minimální nosnost 134kg. Nutné je krytí proti vniknutí vody k motorům, elektronice a mechanice robotu. Robot musí disponovat dostatečným dosahem, umožňující transport plováku ze vstupní pozice do prostoru bazénu. Zařízení musí umožňovat připojení dvou tenzometrů a ostatních senzorů a také musí umožňovat přenos dat do vyhodnocujícího počítače.

Pro tento účel je možné použít průmyslový robot od firmy KUKA verze KR150 se stupněm krytí IP 65. Řídicí systém robotu umožňuje připojení potřebných periférií, stejně tak dosah robotu i jeho nosnost je vyhovující.

Nevýhodou je jeho cena a větší nároky na bezpečnost pracoviště. Nevýhoda vysoké ceny se dá částečně kompenzovat nákupem repasovaného robotu. Mezi výhody patří značná univerzálnost, rychlost, přesnost a opakovatelnost. Zároveň není potřeba navrhnout ani vyrobit novou konstrukci, což umožní snížit náklady počáteční investice.

Výhody:

- ✓ Univerzálnost
- ✓ Rychlost
- ✓ Přesnost
- ✓ Opakovatelnost
- ✓ Nízké nároky na konstrukci

**Nevýhody:**

- Cena
- Nároky na bezpečnost pracoviště

3.2 POUŽITÍ PORTÁLOVÉHO MANIPULÁTORU

Druhou variantou je návrh víceosého portálového manipulátoru. Pro pojezdy stačí použít dvě osy, jednu vertikální a jednu horizontální. Rám konstrukce může být navržen jako svařenec, nebo mohou být použity univerzální hliníkové profily. Z důvodů požadované přesnosti a nosnosti je vhodné použít lineární valivé vedení s vozíky a kolejkami. Pro pohon je vhodné použít kuličkové šrouby, ale pro horizontální osu by bylo možné použít i pastorek a hřeben. Pro pozicování je možné použít inkrementální enkodéry na motorech v kombinaci s indukčními senzory, sloužícími jako referenční body. Druhou možností je použití lineárního odměřování. Pro nakládání efektoru je možné použít krokový motor nebo servomotor v kombinaci s planetovou převodovkou případně s převodem ozubeným řemenem. Je nutné vybrat materiály odolávající korozi. Pohony a jiné pohyblivé součásti, které mohou přijít do kontaktu s vodou, musí splňovat krytí alespoň IP 65.

Pro řízení je možné použít přímo LabVIEW s odpovídající nastavbou umožňující NC řízení servopohonů. Druhou možností je použití libovolného PLC s dostatkem potřebných vstupů a výstupů umožňující polohování servomotory. Pro tyto účely stačí PLC např. od firmy FATEK případně SIEMENS či BECKHOFF.

Výhody jsou nižší cena, nižší nároky na bezpečnost pracoviště a menší zástavbové rozměry. Nevýhodou je složitější programování, nutnost navržení komplexního systému včetně elektroniky a servopohonů. Zároveň je potřeba delší čas na konstrukční návrh a výrobu samotného manipulátoru včetně homologace a testování. V konstrukci by musel být dbán zvýšený důraz na voděodolnost celého systému a odolnost proti korozi.

Pro zjednodušení konstrukce manipulátoru je možné použít již některé hotové prvky. Např. firma Bosch Rexroth nabízí produkt EasyHandling. Jedná se o univerzální systém vhodný pro stavbu víceosých manipulátorů. Maximální délka osy y je omezena na 5 500mm. Což pro tuto aplikaci vyhovuje. Pohony mohou být buď pneumatické, nebo elektrické. Systém používá kuličkové šrouby, nebo ozubené řemeny. Tento výrobce nabízí i řídicí jednotky pro tento systém. Tento manipulátor by musel být doplněn o dvě koncové rotační osy.

Výhody

- ✓ Cena
- ✓ Nároky na bezpečnost
- ✓ Teoreticky menší zástavbové rozměry

Nevýhody

- Složitější programování
- Navržení komplexního systému včetně elektroniky a řízení
- Náročnost konstrukčního návrhu
- Doplnění manipulátoru o dvě rotační koncové osy



Obr.7. Manipulační systém EasyHandling od Bosch Rexroth [2]

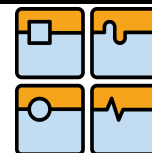
3.3 VOLBA ŘEŠENÍ

Po srovnání všech kladů a záporů obou řešení byla zvolena varianta použití průmyslového robotu. Tato volba byla také upřednostněna firmou, zadávající tento úkol.

Hlavní důvod byl kratší čas na vývoj pracoviště a to, že vhodný průmyslový robot byl již zakoupen a neměl využití. Investice nutná do pořízení robotu byla snížena nákupem použitého robotu. Mezi značné výhody patří i možnost jednoduchého přeprogramování robotu a upravení postupu testování. Odolnost proti vniknutí vody a vzniku koroze je u těchto výrobků deklarována výrobcem a neklade tak zvýšené nároky na návrh pracoviště.

Tab.1. Srovnání možných řešení

	Průmyslový robot	Portálový manipolátor
Cena	✗	✓
Návrh konstrukce	✓	✗
El. A sw. Vybavení	✓	✗
Nároky na bezpečnost	✗	✓
Rychlost programování	✓	✗
přesnost, rychlost	✓	✗



4 HLAVNÍ PRVKY PRACOVIŠTĚ

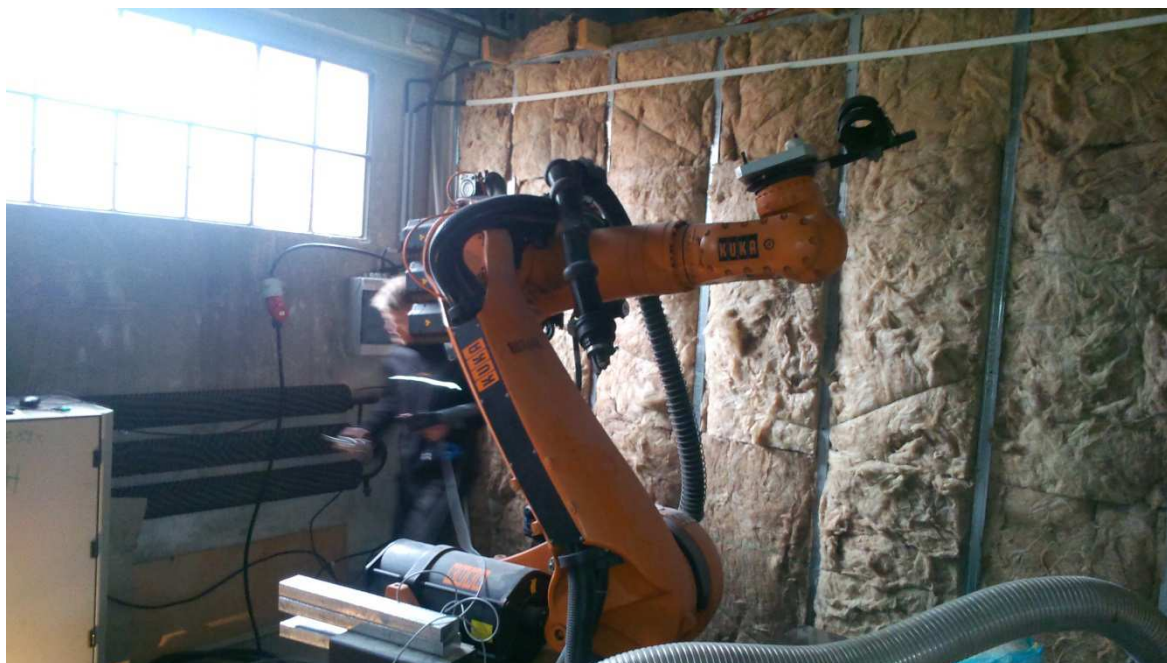
Pro navržení měřicího pracoviště je nutné nejprve vybrat vhodné strojní, hardwarové a softwarové vybavení. Důležitá je volba vhodného robotu. S ním je spojený řídicí systém, který bývá zpravidla dodáván s robotem. Individualizace tohoto systému se skládá především z volby rozšiřujících karet a velikosti skříně. O volbu servozesilovačů, počítače a další elektroniky se stará výrobce a není možné zařízení dále upravovat. Toto zařízení bývá standardně vybaveno periferiemi pro šest os robotu.

4.1 PRŮMYSLOVÝ ROBOT KUKA KR 150

Hlavním prvkem robotického pracoviště je průmyslový robot od firmy KUKA model KR150. Tento robot byl vyroben v roce 2003. Nosnost robotu je 150kg. Jde o univerzální šestiosý robot, určený pro manipulaci se střední zátěží. Tento robot se hodí pro nejrůznější aplikace jako je svařování, manipulace či montáž. Pro konkrétní aplikaci je nutné rozšířit robotu o vhodný koncový efektor. Ten může tvořit např. vhodný svařovací nástroj nebo manipulační chapadlo.

Konkrétně použitý robot byl pro daný úkol odkoupen od firmy BMW. Zde svařoval rámy automobilů. Tomu odpovídá i stav, vybavení a cena daného modelu.

Robot nejeví žádné známky poškození. Opotřebení odpovídá době nasazení v průmyslu a pro daný úkol je vyhovující. Všechny kabely mají izolaci v dobrém stavu a nejsou přerušené. Těsnění krytování jednotlivých os je také v pořádku a splňují deklarovanou třídu IP 65. Přesnost polohování splňuje požadavky zadání.



Obr.8. Zakoupený robot Kuka KR150

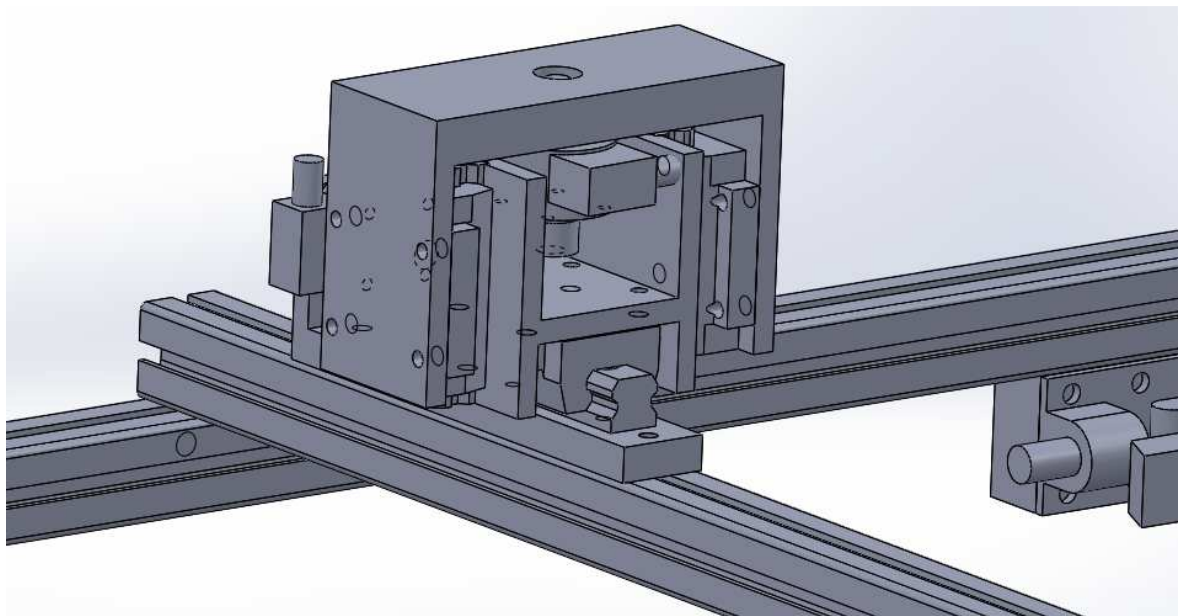


Tab.2. Technické parametry robotu

Název:	KUKA-KR2150 S C2 FLR ZH150/180“
Datum výroby:	2003
Maximální dosah:	3100 mm
Počet os:	6
Užitečná nosnost:	150 kg
Opakovatelná přesnost:	0,15mm

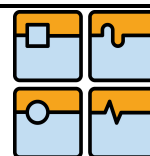
4.2 KONCOVÝ EFEKTOR

Součástí této práce není návrh koncového efektoru. Tento úkol je v době psaní této práce řešen jako téma jiné závěrečné práce. Koncový efektor se skládá z montážní příruby, rámové konstrukce fixující samotné tělo plováku, dvou tenzometrických snímačů a dvou systémů lineárního vedení. Ty mají za úkol eliminovat klopný moment působící na tenzometrický snímač a izolovat pouze axiální sílu, která na něj působí. Na upínacích ližinách budou koncové spínače signalizující správné uzamčení mechanismu. Ty budou připojeny na digitální vstupy robotu.



Obr.9. Náčrt tenzometrické části koncového efektoru

Tenzometrické snímače byly vybrány od firmy Omega. Pro měření tahu byl zvolen typ LC401-500. Jedná se o průmyslové snímače síly vyrobené z nerezové oceli a splňující stupeň krytí IP68. Cena jednoho kusu je 18 450Kč. Připojení je pomocí vícekolíkového průmyslového konektoru. Měřící rozsah senzoru byl zvolen s ohledem na rezervu 0 -



227kg. Senzor může být vybaven 5V zesilovačem výstupního signálu. V základní verzi je 3mV výstup. Pro měření vztlakové síly a váhy plováku bylo zvolen model LCHD-500. Jedná se o nízkoprofilové tahové a tlakové vážní čidlo. Technické parametry odpovídají předchozímu modelu. Cena tohoto senzoru je 23 250Kč.

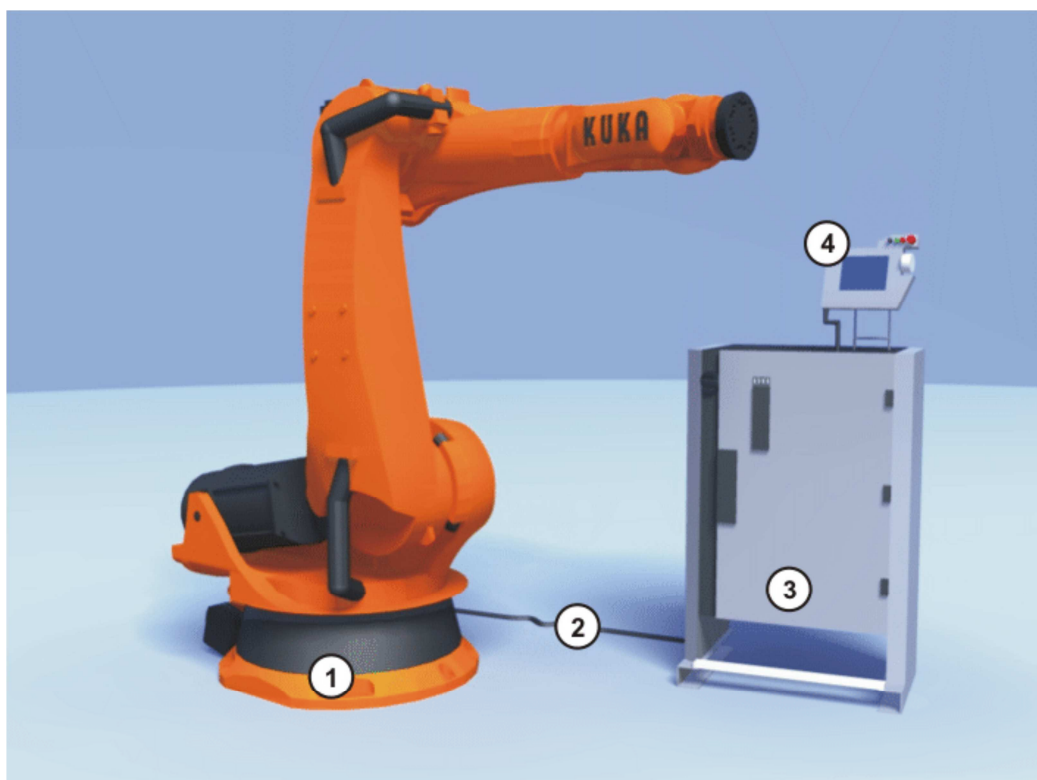


Obr.10. LCDH-500 [3]

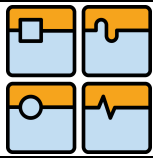
4.3 ŘÍDICÍ SYSTÉM ROBOTU

Popis řídicího systému robotu od firmy KUKA je převzat z manuálu k danému zařízení [4]:

Pohony jednotlivých os zabezpečují servomotory řízené systémem robotu. Řídicí systém v tomto případě byl k dispozici ve verzi C2. Robot komunikuje s obsluhou pomocí ručního programovacího a ovládacího panelu KUKA KCP. Jednotlivé prvky jsou propojeny viz Obr.11



Obr.11. Schéma robotu a řízení od firmy KUKA [4]

**Popis obrázku:**

1. Robot
2. Spojovací vedení
3. Řídicí systém robotu
4. Ruční programovací přístroj KCP

Součástí řídicího systému společnosti KUKA je KUKA System Software (KSS). Tento software přebírá základní funkce nutné k provozu robotu, jako jsou:

- Plánování dráhy
- I/O management
- Správa dat a souborů

Tento systém je možné rozšířit pomocí případných technologických paketů. Ty obsahují specifické instrukce a konfigurace pro konkrétní aplikace.

Uživatelské rozhraní tvoří tzv. obslužná plocha. KUKA.HMI (KUKA Human-Machine Interface). Ta obsahuje tyto aplikace:

- Správa uživatele
- Program-editor
- KRL KUKA Robot Language
- Inline formuláře pro programování
- Konfigurační okno
- Nápověda

Řídicí systém robotu se skládá z následujících komponent:

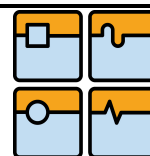
- PC řídicího systému
- Výkonová část
- Ruční programovací přístroj VKCP
- Bezpečnostní logika ESC
- Připojovací panel

PC řídicího systému přejímá svými zásuvnými komponentami všechny funkce řídicího systému robotu. Mezi ně patří:

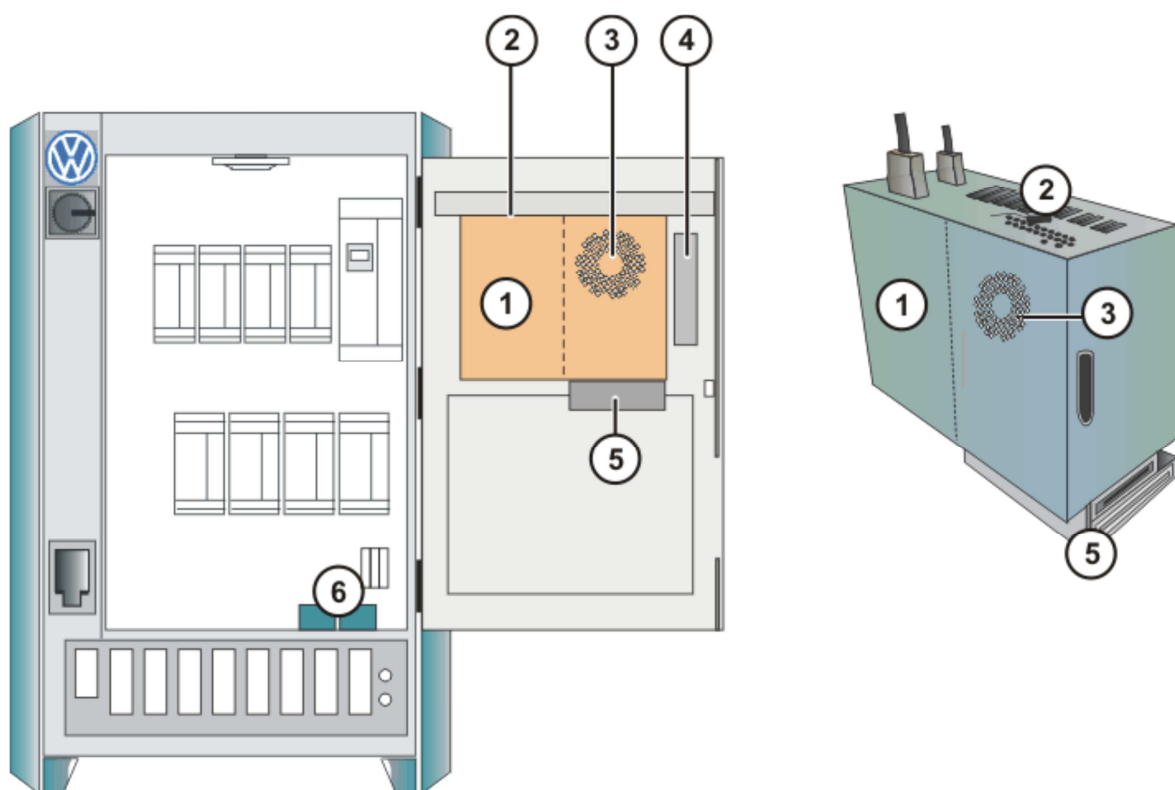
- Obslužná plocha Windows s vizualizací a se vstupy
- Vytváření programu, opravy, archivace a ošetřování programu
- Řízení průběhu
- Plánování dráhy
- Ovládání obvodu pohonu
- Kontrola
- Části bezpečnostního obvodu ESC
- Komunikace s externí periferií (jiné řídicí systémy, hlavní počítač, PCs, síť)

Součásti, ze kterých se řídicí systém skládá, jsou:

- Mainboard s rozhraními



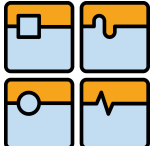
- Procesor a hlavní operační paměť
- Pevný disk
- Disketová mechanika (volitelné)
- CD-ROM mechanika (volitelné)
- MFC3
- KVGA
- DSE-IBS-C33
- Akumulátory
- Volitelné moduly, např. polní sběrnice karty



Obr.12. Přehled řídicího systému robotu [4]

Popis obrázku:

1. PC řídicího systému
2. PC rozhraní
3. PC ventilátor
4. FD mechanika ve dveřích (volitelné)
5. diskové jednotky (volitelné)
6. akumulátory

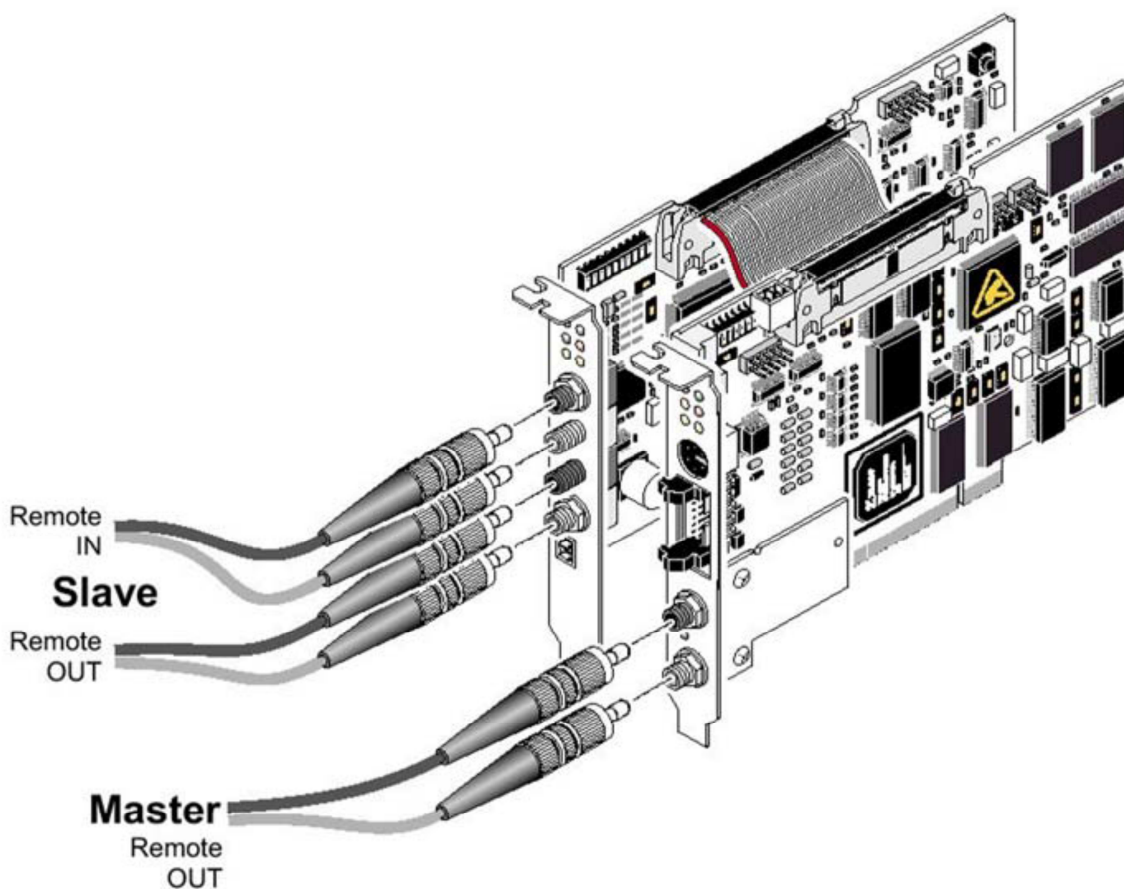
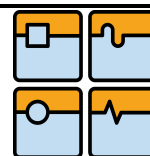
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 27
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

VSTUPY A VÝSTUPY ROBOTU:

Řídicí systém robotu je schopný jak monitorovat, tak i ovládat digitální i analogové vstupy či výstupy. K robotu je možné připojit maximálně 4096 digitálních vstupů nebo výstupů. U analogových typů je tento počet snížen na 32 vstupů a 32 výstupů. Dovolené vstupní napětí na analogovém vstupu je od -10V do +10V. K řídicímu systému je možné připojit zároveň 4 externí moduly. Ty se mohou připojit buď pomocí ethernetového, nebo sériového rozhraní. Každé použité rozhraní je nutné nakonfigurovat. To se provádí v samostatných souborech. Pro sériové rozhraní je to soubor SERIAL.INI. Dále je možné systém rozšířit pomocí rozšiřujících sběrnic. To se provádí instalací tzv. BUS karet, které jsou do řídicí jednotky připojeny přes PCI rozhraní a podle typu komunikují s ostatními zařízeními pomocí průmyslových protokolů jako je např. PROFIBUS či EtherCAT. Pomocí těchto sběrnic můžeme periferie připojit dvojnásobem.

- a) Připojení pomocí PLC – vstupy a výstupy jsou připojeny na PLC, to může rovnou vykonávat logické operace a přímo komunikovat s robotem. Ten se pak už stará jen o pohybové funkce. PLC může ovládat i větší množství robotů, kteří spolu mohou spolupracovat. Zároveň je možné na PLC přesměrovat i některé bezpečnostní funkce, jako je ovládání zámků krytů atd. Tyto zařízení mohou být připojeny jak v režimu MASTER či SLAVE. Samozřejmě je možné i využívat OPC rozhraní podporované automatem.
- b) Připojení Bus Coupler – jedná se o terminály rozšiřujících vstupů a výstupů. S robotem komunikují pomocí dané sběrnice a je možné je dále rozšiřovat pomocí I/O karet. Tyto zařízení nejsou schopny vykonávat logické funkce, ani je není možno programovat. Slouží pouze k zprostředkování komunikace mezi jednotlivými vstupy, výstupy a řídicím systémem robotu. Aby bylo možné připojit zařízení různých výrobců, je nutné nahrát do řídicí jednotky robotu konfigurační GSD soubor.

Připojení externích zařízení je možné jak pomocí metalických kabelů, tak i pomocí kabelů s optickým vláknem. Vybraný způsob konektivity musí podporovat BUS karta robotu. Většinou každá karta podporuje pouze jeden typ připojení.



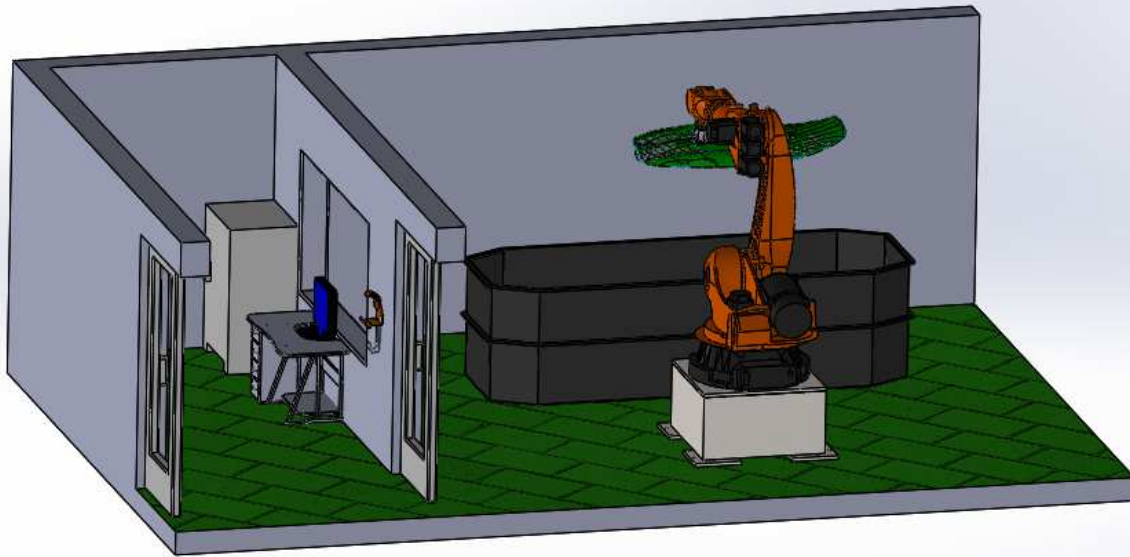
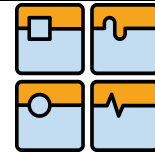
Obr.13. Rozšiřující karta IBS PCI SC/RI-LK [5]

V této aplikaci byla použita karta umožňující komunikaci pomocí protokolu Interbus. Konkrétní název je IBS PCI SC/RI-LK system coupler v provedení pro použití kabelů s optickými vlákny.

Jedná se o dvě paralelně zapojené PCI karty, které jsou ještě navzájem propojeny komunikační sběrnici. První karta slouží pro připojení zařízení v SLAVE rozhraní. Součástí karty mimo připojovacích konektorů ještě 24V výstup pro napájení zařízení. Typ konektorů pro připojení zařízení je FSMA. Propojovací optické kabely musí být z HCS plastu nebo z polymeru. Protože má Interbus kruhovou strukturu sítě, jsou na kartě vždy dva konektory pro připojení vstupních zařízení a dva pro připojení výstupních. Druhá karta slouží k připojení zařízení v MASTER režimu.

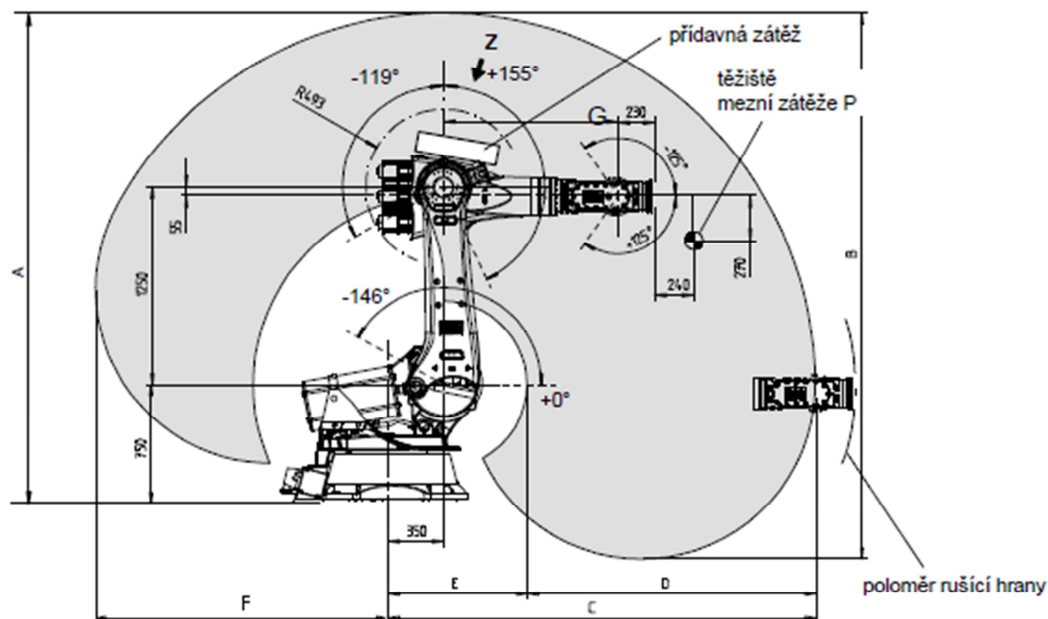
4.4 VYHODNOCUJÍCÍ SYSTÉM

Vyhodnocující systém bude spuštěn na běžném stolním počítači s architekturou x86. Na daném počítači poběží buď OPC server s vhodnou nastávkou, LabView nebo jiný vhodný software. S řídicím systémem robotu bude komunikovat buď pomocí vhodné sběrnice, nebo bude vybaven rozšiřujícím modulem vstupů a výstupů. Touto problematikou se podrobně zabývá kapitola 13.



Obr.15. 3D vizualizace robotického pracoviště

Místnost bude rozdělena pevně vestavěnou zděnou příčkou. Do této příčky bude vsazeno rozměrné okno z materiálu vyhovující bezpečnostním normám. Součástí příčky budou i vstupní dveře do operačního prostoru robotu. Ty budou vybaveny automatickým bezpečnostním zámek napojený na bezpečnostní okruh robotu. Robot je schopný pracovat v mezikruží (na výkresu je vyznačené dvěma čerchovanými kružnicema). Vnější kružnice má průměr 6190mm a vnitřní 2440mm. S ohledem na geometrii robotu prostor není válcový, ale odpovídá nákresu na obrázku Obr.16. Dosah robotu je ověřen 3D vizualizací pracoviště.

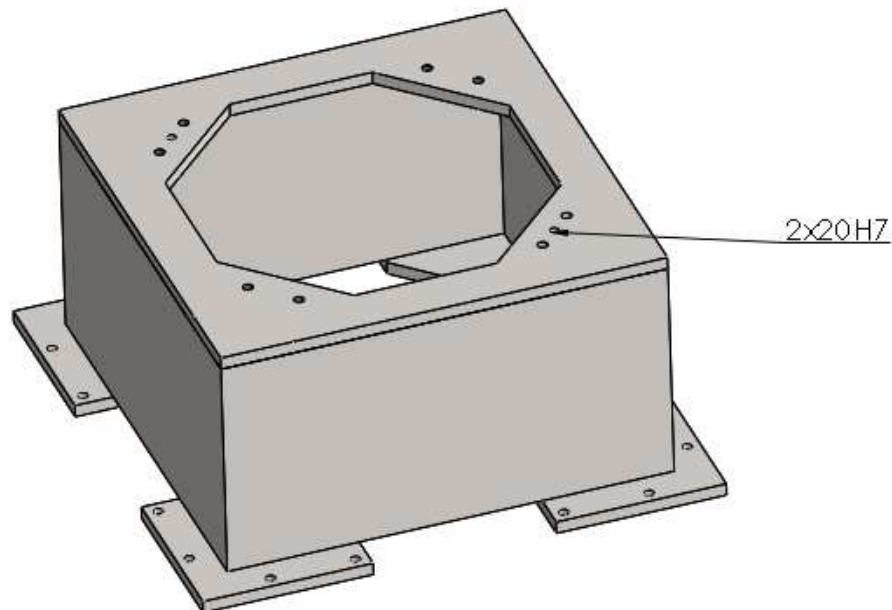


	A	B	C	D	E	F	G
KR 150-2	3100	3450	2700	1875	825	1788	1100

Obr.16. Rozsah robotu KR150 [5]



Zmíněný robot je určený k montáži na podlahu. Pro montáž je použit distanční podstavec. Ten tvoří ocelový svařenec, který umožňuje lepší využití pracovní zóny robotu. Spojení robotu s podstavcem je provedeno osmi metrickými šrouby M24. Středění pro případ opakované montáže zajišťují dva kolíky o průměru 20mm. Podstavec je s podlahou spojen pomocí 16 kotevních šroubů určených pro montáž do betonu. Horní plocha přípravku je zafrézována do roviny.



Obr.17. Podstavec robotu

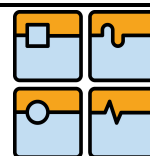
Obdélníkem kolem bazénu je označen vyhrazený prostor pro příslušenství, přívodní potrubí a odpady. Bazén je odsazen od zdi o 500mm z důvodu údržby a případného servisu.

Samostatný prostor pro zakládání plováku do koncového efektoru je v oblasti zádveří. Tato lokalita byla zvolena z důvodu maximálního zkrácení vzdálenosti od skladu polotovaru.

V případě, že by bylo zvoleno automatické upínání plováku, bude se zde nacházet manipulační přípravek. Ten je možné ukotvit pomocí šroubů do vestavěných závitových vložek. Tato lokalita se také nachází v dosažitelném prostoru robotu.

Volný prostor v dolním levém rohu místnosti je připraven pro umístění budoucího příslušenství robotu, které je možné využít např. v automatickém režimu. Případně je sem možné umístit podle potřeby další odkládací přípravek. Tato oblast je v současnosti nevyužita a nachází se také v dosažitelném prostoru robotu.

Protože v této místnosti bude docházet ke vzniku vlhkosti a případně i k úniku vody z bazénu, tak zdi i strop musí být opatřeny vodoodpudivým nátěrem. Ze stejného důvodu musí být v podlaze vybudován odtokový kanál a plocha, po které se bude pohybovat obsluha, musí být pokryta materiálem s protiskluzovými vlastnostmi. Osvětlení, spínače či bezpečnostní vypínače musí splňovat alespoň krytí IP 65.



Použité zařízení je běžně dostupné a za dodržení příslušných norem zodpovídá výrobce daného zařízení.

Místnost s robotem je vybavena dále nucenou cirkulací vzduchu pro případ netěsnosti lokálního odsávání výfukových spalin. Bezpečné množství hladiny oxidu uhelnatého ve vzduchu signalizují instalované autonomní detektory oxidu uhelnatého. Ty signalizují zvýšení koncentraci CO v prostoru poplachovým zvukovým signálem a blikajícím červeným indikátorem. Odsávání spalin je společné s vedlejším pracovištěm, kde se nachází motorová brzda. Z tohoto důvodu zde není řešen výběr tohoto zařízení.

Druhou část místnosti tvoří prostor pro obsluhu, výpočetní techniku a řídicí systém robotu. Tato místnost je stavebně oddělena od prostoru robotu. Proto použité elektrozařízení nemusí splňovat příslušné krytí proti vniknutí vody. Řídicí systém robotu je umístěn v rohu místnosti s ohledem na dosah kabeláže k robotu. Na layoutu pracoviště je znázorněn pouze schematicky. Vedle něj se nachází počítač s LabVIEW sloužící k zaznamenávání a vyhodnocování získaných dat. V této místnosti se také nacházejí jističe od robotu, počítače a ostatních elektrických zařízení. Přítomen je i hasicí přístroj.

5.2 VOLBA UPÍNÁNÍ PLOVÁKU

Celkově byly zpracovány dvě varianty řešení upnutí plováku. Volba libovolné varianty nemá vliv na změnu navrženého layoutu.

5.2.1 VARIANTA S MANUÁLNÍM UPÍNÁNÍM TESTOVANÉHO OBJEKTU

Robot se nachází uprostřed pracoviště, jeho osy jsou nasměrovány tak, aby umožňovaly jeho plný dosah do přední i zadní části prostoru. V horní části se nachází prostor, přípravek, na který obsluha umístí testovaný plovák. Přípravek je tvořen příhradovou konstrukcí.

Výchozí pozice robotu (Home) je shodná s upínací pozicí. Tím není nutné vstupovat do prostoru robotu během programu. Před spuštěním obsluha provede upnutí plováku. Poté nasadí na jeho výfuk hadici odsávání spalin, vznikajících za běhu motoru. Správné upnutí je signalizováno rozsvícením kontrolky na efektoru. Potvrzovací signál je také vyslán do řídicího počítače robotu. Poté obsluha opustí testovací prostor, potvrdí svou nepřítomnost spínačem souhlasu a spustí testovací program. Po ukončení programu robot opět najede do upínací pozice.

5.2.2 VARIANTA S AUTOMATICKÝM UPÍNÁNÍM TESTOVANÉHO OBJEKTU

Pracoviště v této konfiguraci je prakticky shodné s předchozí variantou. Zásadní rozdíl je pouze v upínání plováku. Ten je před zahájením testování umístěn na přípravek, kde je aretován pomocí podtlakových přísavek. Tím je dosažena jeho přesná poloha. Po zapnutí programu robot najede nad upnutý plovák a pomocí koncového efektoru uchopí plovák. Ten je poté uvolněn z přípravku což umožní zahájení testovacího cyklu.

Polotovar, z kterého jsou jednotlivé díly konstrukce přípravku vyřezány, tvoří překližkové desky o síle 18 a 12mm. Tento přípravek je připraven k podlaze, aby byla zakládací pozice plováku vždy stejná. Výhodou je nízká cena materiálu a jednoduchá změna v případě modifikace plováku.

U této varianty odpadá lidský faktor při upevnění plováku do koncového efektoru. Navíc je možné do místnosti umístit několik odkládacích přípravků. Tím se zvýší množství plováků, které je možné otestovat bez zásahu lidské obsluhy.

Nevýhodou je nutnost zřídit automatické odsávání spalin. Tento prvek by byl kvůli tvaru plováku velice komplikovaný. Stejně tak senzor otáček a řízení motoru plováku by se muselo připojit bezdrátově.

5.3 VOLBA ZÁMKU DVEŘÍ

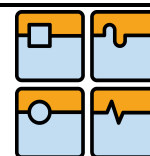
Aby zámek dveří mohl být napojen na bezpečnostní okruh robotu v robotickém pracovišti, musí splňovat jasně požadavky definované normou. Vybrán byl zámek přímo určený pro robotické pracoviště od firmy Schmersal. Celý název modelu je AZM200.

[7] Tento zámek je vybaven klouzavou multifunkční mechanickou spojkou, ovládací rukojetí, multifunkční protipanikovou rukojetí (mechanická spoušť je současně elektrická) a spřaženým mikrosystémem 4. Kategorie. Tento zámek umožňuje jak mechanické, tak i elektrické uvolnění s pomocí jediné operace a nevyžaduje žádné další bezpečnostní spínače pro 4. Kategorii. Další parametry zařízení:

- Cena 11 512Kč
- Tolerance ± 5 mm pro senzorickou techniku
- V souladu s EN ISO 13849-1, IEC 61508, IEC 60947-5-3
- Vhodné pro aplikace až do kategorie 4 – až po SIL 3 – PL až po „e“
- Jednoduchá montáž
- Možné otevírání zevnitř jednoduchým a intuitivním způsobem obsluhy



Obr.18. Zámek AZM200 [8]



Druhou alternativou je možnost použití koncového spínače připojeného na bezpečnostní okruh robotu. Tento spínač by byl umístěn na rámu dveří. V případě otevření dveří by došlo automaticky k nouzovému zastavení pohybu robotu. Ventilace vzduchu by běžela bez přerušení. Tato alternativa jde použít v případě, že se v blízkosti buňky robotu bude vyskytovat pouze proškolený personál. Výhodou je nízká cena. Koncový spínač může být buď mechanický s rolnou, nebo indukční. Dveře by byly jištěny běžným zámkem montovaným do dveří. Cena snímače je 500 Kč.

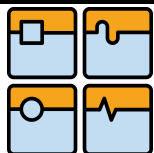
5.4 VOLBA TLAČÍTKA NOUZOVÉHO ZASTAVENÍ

Uvnitř i vně buňky musí být nainstalovány tlačítka nouzového zastavení z důvodu bezpečnosti. Tyto tlačítka musí být napojena na bezpečnostní okruh robotu a v případě aktivace musí dojít k zastavení všech os robotu.

Výrobce zvolených tlačítek je firma Schneider Electric. Konkrétní model byl volen s ohledem na dodržení příslušných norem a musel splňovat stupeň krytí IP 65. Konkrétní označení modelu tlačítka je XALK178E. Jedná se o krytované provedení umožňující montáž na zeď. Cena jednoho kusu tohoto modelu je 625 Kč bez DPH. Konkrétní technické specifikace je možné nalézt v přílohách této práce.



Obr.19. Tlačítko nouzového zastavení XALK178E [9]



6 ANALÝZA A POSOUZENÍ RIZIK

Aby bylo možné dané robotické pracoviště provozovat v České republice, je nutné zajistit ES prohlášení o shodě s ohledem na legislativní požadavky platné v našem státě a v Evropské unii.

Před uvedením tohoto zařízení do provozu je nutné, aby zařízení splňovalo základní požadavky na ochranu zdraví a bezpečnost. Dále je nutné, aby byla k dispozici technická dokumentace, návod k používání a aby výrobce vypracoval analýzu rizik podle platných norem. Tuto činnost vykonává zpravidla konstruktér daného zařízení. Pokud jsou splněny všechny náležitosti, je zařízení označeno znakem CE.

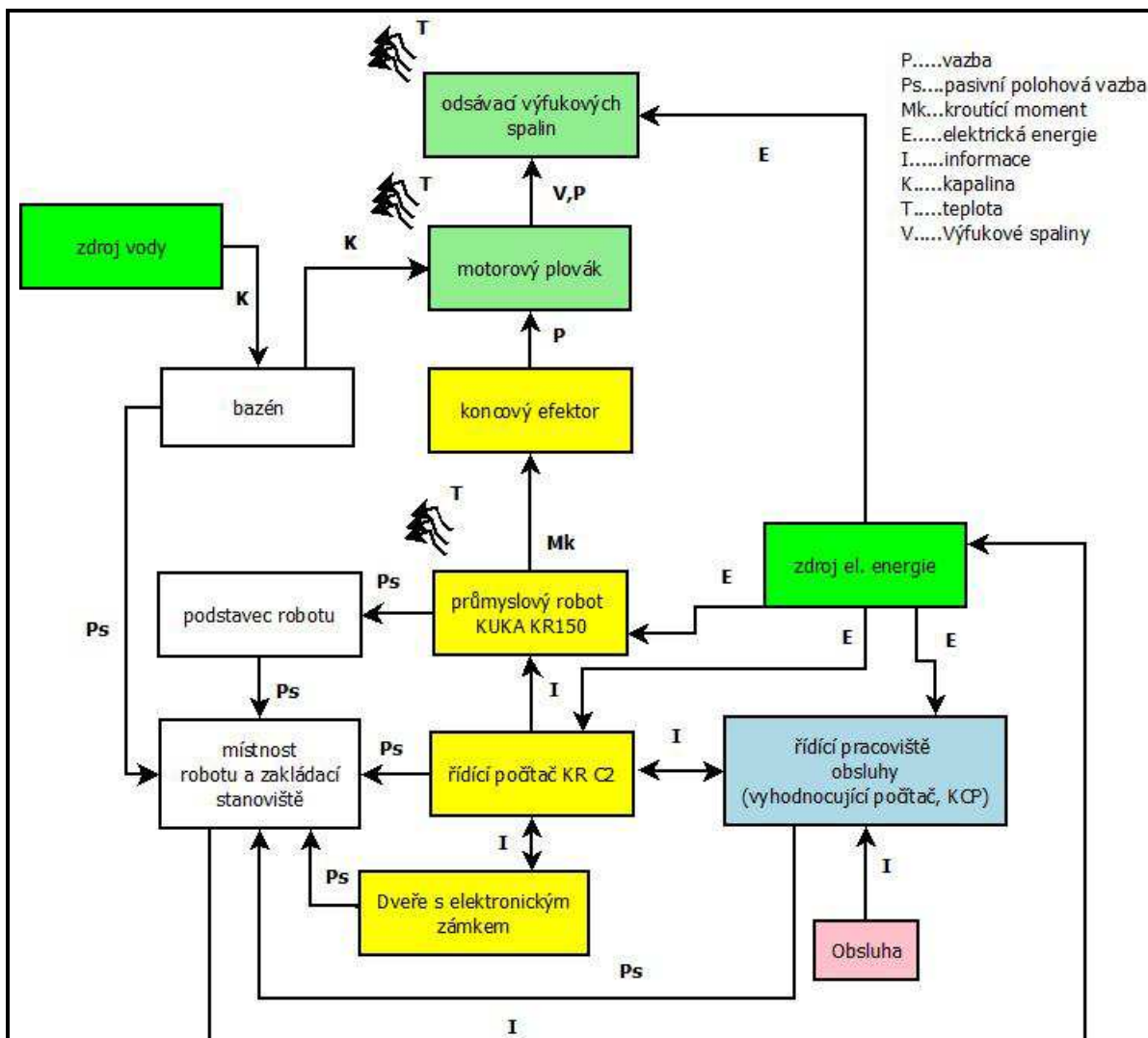
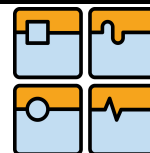


Obr.20. Znak CE prohlášení o shodě [10]

V případě robotických buněk se při vypracovávání analýzy a posouzení rizik postupuje podle normy ČSN EN ISO 10218-2. Úplný název normy je *Roboty a robotická zařízení - Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů - Část 2: Systémy robotů a integrace* a jde o českou verzi evropské normy EN ISO 10218-2:2011. Metodika tvorby tohoto dokumentu vychází z normy ČSN EN ISO 12100:2011. Název této normy je *Bezpečnost strojních zařízení - Všeobecné zásady pro konstrukci - Posouzení rizika a snižování rizika*. Jelikož je součástí pracoviště i návrh krytování, musí se vzdálenosti krytů řídit normou ČSN EN ISO 13857. Vybrané bezpečnostní zámky a spínače se musí řídit normou ČSN EN ISO 13849-1.

6.1 SYSTÉMOVÁ ANALÝZA STROJNÍHO ZAŘÍZENÍ

V první fázi je nutné vyhotovit systémovou analýzu strojního zařízení. Tento úkol spočívá ve vytvoření blokového diagramu znázorňující všechny podstatné interakce prvků pracoviště. Poté následuje stanovení všech relativních nebezpečí a nalezení nebezpečných prostor pracoviště.



Obr.21. Blokový diagram interakcí jednotlivých prvků

6.2 ANALÝZA NEBEZPEČNÝCH KOMPONENT DLE NORMY ČSN EN ISO 10218-1

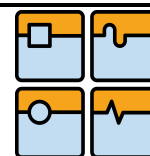
Druhým krokem je analýza nebezpečných komponent systému. U jednotlivých prvků vyhodnocujícího pracoviště se provede průzkum potenciálních nebezpečí a zapíše do tabulky. Seznam nebezpečí s přiřazeným číslováním dle normy se nachází v tabulce druhé v pořadí.

V této tabulce jsou také zapsány míry rizika na stupnici 0 až 18. Kdy 0 znamená nulové riziko a 18 riziko maximální možné. Výběr hodnoty se řídí dle přílohy číslo 5. Riziko do hodnoty 6 je ještě akceptovatelné a nemusí se snižovat. Rizika větší než 6 jsou neakceptovatelné a musí se navrhnout vhodné opatření pro jeho snížení. To se skládá ze tří kroků. V prvním kroku se navrhnou opatření zabudovaná v konstrukci. Druhý krok řeší doplňkovou a bezpečnostní ochranu. Třetí krok je cílen na informace pro používání. V příloze se nachází ukázkový formulář pro snížení rizika s nejvyšší hodnotou. V případě, že by měla být analýza rizik úplná, musí být tyto formuláře vyhotoveny pro všechna zjištěná rizika. Jelikož cílem této práce nebyla úplná analýza, je zpracována její zjednodušená podoba.



Tab.3. Dokumentace zdrojů relevantních nebezpečí u strojních zařízení

Název komponenty systému	Poloha komponenty v systému	Typ nebezpečí dle ČSN EN 14121-1
Bazén	Zabezpečený prostor stroje	Mechanická nebezpečí (1.1_7, 1.1_8, 1.4_2)
Podstavec robotu	Základ stroje	Mechanická nebezpečí (1.1_7, 1.1_8)
Místnost robotu a základací stanoviště	Zabezpečený prostor stroje	Mechanická nebezpečí (1.1_8), Ergonomická nebezpečí (8.1_2, 8.2_1), Kombinace nebezpečí (10.4_1)
Koncový efektor	Koncová část strojního zařízení	Mechanická nebezpečí (1.1_2, 1.1_3, 1.1_6, 1.2_1)
Průmyslový robot KUKA KR150	Zabezpečený prostor stroje	Mechanická nebezpečí (1.1_1, 1.1_4, 1.1_5, 1.1_7, 1.1_8), Kombinace nebezpečí (10.2_1)
Řídicí počítač KR C2	Základ stroje	Mechanická nebezpečí (1.1_7, 1.1_8), Elektrická nebezpečí (2.1_1)
Dveře s elektronickým zámkem	Zabezpečený prostor stroje	Mechanická nebezpečí (1.3_1)
Odsávání výfukových spalin	Zabezpečený prostor stroje	Nebezpečí hluku (4.1_1, 4.1_2, 4.2_1), nebezpečí materiálu látek (7.1_1)
Motorový plovák	Koncový prvek	Mechanická nebezpečí (1.2_1, 1.4_1), tepelná nebezpečí (3.1_1), nebezpečí hluku (4.1_1, 4.1_2, 4.2_1)
Zdroj vody	Zabezpečený prostor stroje	Kombinace nebezpečí (10.4_1)
Zdroj el. Energie	Zabezpečený prostor stroje	Elektrická nebezpečí (2.1_1)
Řídicí pracoviště obsluhy (vyhodnocující PC, KCP)	Pracoviště operátora	Ergonomická nebezpečí (8.1_1, 8.1_3), kombinace nebezpečí (10.1_2, 10.1_3)
Obsluha	Pracoviště operátora	Mechanická nebezpečí (1.2_2), kombinace nebezpečí (10.1_1, 10.3_1)



Tab.4. Tabulka seznamu možných rizik

1 MECHANICKÁ NEBEZPEČÍ		S	A	W	E	riziko
1.1 Nebezpečí stlačením						
1.1_1	pohybem jakékoliv části ramena robota	2	1	2	1	6
1.1_2	pohyby koncového efektoru nebo jakékoliv pohyblivé části buňky robota	2	1	2	1	6
1.1_3	porucha koncového efektoru (oddělení)	1	1			akc.
1.1_4	nechtěným pohybem stroje během manipulačních operací	2	1	2	3	8
1.1_5	pohybem části robota	2	1	1	1	5
1.1_6	mezi koncovým efektozem a jakýmkoliv pevným objektem	2	2	1	1	8
1.1_7	strojním zařízením při převozu	2	1	1	1	5
1.1_8	strojním zařízením při ustavování	2	1	1	1	5
1.2 Nebezpečí navinutí						
1.2_1	koncovým efektozem nebo plovákem	2	1	2	1	6
1.2_2	volný oděv, dlouhé vlasy	2	2	2	1	9
1.3 Vtažení nebo zachycení						
1.3_1	nemožnost opustit buňku robota (dveřmi buňky) pro zachyceného operátora v automatickém režimu	3	2	1	3	13
1.4 Vysokotlaký výron nebo vystříknutí kapaliny/plynu						
1.4_1	pád nebo vystřelení materiálů (kapalina z výdechů čerpadel)	1	2			akc.
1.4_2	neočekávané uvolnění potenciální energie z uchovávaných zdrojů (voda v bazénu)	1	2			akc.
2 ELEKTRICKÁ NEBEZPEČÍ						
2.1 Nebezpečí elektrického šoku						
2.1_1	Kontakt s živými částmi nebo spoji	2	1	1	1	5
3 TEPELNÁ NEBEZPEČÍ						
3.1 Nebezpečí popálení						
3.1_1	horkými povrchy spojenými s přípojným zařízením	1	2			akc.
4 NEBEZPEČÍ HLUKU						
4.1 Narušení sluchu a rovnováhy, vědomí						
4.1_1	ztráta rovnováhy, ztráta orientace v pracovní buňce robota	1	2			akc.
4.1_2	dlouhodobé vystavení zvýšené hladině hluku	2	2	3	3	12
4.2 narušení zvukové komunikace, příjem akustických signálů						
4.2_1	okolní hladina je vysoká, nebo rozptilující tak, že zabrání porozumění zvukových výstražných signálů	1	2			akc.
7 NEBEZPEČÍ MATERIÁLU LÁTEK						
7.1 Nebezpečí otrávení výfukovými plyny						
7.1_1	neočekávanou poruchou elektrických součástí systémů robota a ochranných systémů	2	1	1	3	7
8 ERGONOMICKÁ NEBEZPEČÍ						
8.1 Nebezpečí únavy						
8.1_1	špatným navržením rozhraní člověk-stroj tj. umístěním HMI nebo panelu vyhodnocujícího systému	1	2			akc.
8.1_2	špatným navržením základacího stanoviště plováku do koncového efektoru	1	2			akc.
8.1_3	rozhraní HMI umístěno příliš vysoko, nebo nízko pro vhodné pozorování	1	2			akc.
8.2 Následek lidských chyb						
8.2_1	rozpoznání nebezpečí a nebezpečných situací je stíženo z důvodu špatného osvětlení	2	1	3	2	8

10 KOMBINACE NEBEZPEČÍ						
10.1 Neočekávané spuštění						
10.1_1	systém robota je spuštěn jednou osobou, ale tato akce není očekávána jinou osobou	2	2	1	2	9
10.1_2	mylná interpretace spolupracujícího systému	2	1	1	3	7
10.1_3	porucha očekávané funkce přidruženého systému	2	1	1	3	7
10.2 Obnovení dodávky energie při jejím přerušení						
10.2_1	přetížení ramena robota nebo přidruženého zařízení vyústující ve zlomení nebo deformaci mechanických součástí	1	1			akc.
10.3 Nerespektování návodu k použití a bezpečnostních předpisů						
10.3_1	obsluhou	1	2			akc.
10.4 Zranění uklouznutím						
10.4_1	na kluzké podlaze	1	1			akc.

Na základě opatření popsaných ve formuláři ke konkrétnímu riziku je třeba zvolit vhodné bezpečnostní prvky. U nejvýznamnějšího rizika mechanického nebezpečí vtažení nebo zachycení nemožnost opustit buňku robota (dvěma buňky) pro zachyceného operátora v automatickém režimu to jsou tato opatření.

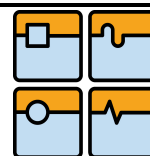
- Vyhrazení bezpečného prostoru v buňce robota
- Výběr vhodného tlačítka nouzového zastavení
- Výběr vhodného zámku dveří

Konkrétní volba se nachází v kapitole zabývající se návrhem pracoviště.

6.3 ANALÝZA VÝZNAMNÝCH NEBEZPEČÍ

Dalším krokem je provedení analýzy významných nebezpečí týkajících se životní fáze cyklu. Hledají se jednotlivé nebezpečí týkající se životního cyklu pracoviště od montáže až po likvidaci. Ke každému nebezpečí se napíše popis nebezpečné události, identifikační číslo nebezpečí a přiřadí se k fázi životního cyklu, kde se může vyskytnout. Některé nebezpečí se mohou vyskytovat i v různých fázích cyklu najednou.

Nalezená nebezpečí se porovnají křížovým pravidlem s nebezpečími, objevenými v předchozí analýze komponent. Ve výsledku by se měl počet nebezpečí shodovat v obou provedených analýzách, čímž je zajištěna zpětná kontrola.



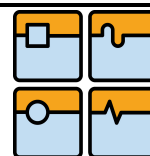
Tab.5. Analýza významných nebezpečí

ANALÝZA VÝZNAMNÝCH NEBEZPEČÍ				Typ stroje: Robotické pracoviště
Během přepravy, montáže a instalace				Typ: Zátěžové testování plováku
Poř. číslo	Fáze životního cyklu	Typ nebezpečí (dle ČSN EN ISO 10218-1)		Popis nebezpečné události:
		stručný popis	id. číslo	
1	Montáž robotu, ovládacího panelu, zábran a měřicího PC	Nebezpečí stlačením nechtěným pohybem stroje během manipulačních operací	1.1_4	Nebezpečí spojená s nerespektováním bezpečnostních opatření při zprovoznování robotického pracoviště, zapojení robotu a jeho náhodnému spuštění. Nepřímá nebezpečí. Hrozí stlačení částí těla ramenem robotu nebo efektoru, případně zranění uklouznutím na kluzké podlaze z důvodu napouštění bazénu. Hrozí zranění osob.
		Nebezpečí vysokotlakého vystříknutí kapaliny při neočekávaného uvolnění potenciální energie z uchovávaných zdrojů (voda v bazénu)	1.4_2	
		Zranění uklouznutím na kluzké podlaze	10.4_1	
2	Elektroinstalace	Kontakt s živými částmi nebo spoji	2.1_1	Nebezpečí spojená se špatným zapojením elektroinstalace a jejím poškozením. Hrozí popálení případně úraz elektrickým proudem.
		Nebezpečí popálení horkými povrchy spojenými s přípojným zařízením	3.1_1	
3	Programování stroje	Nebezpečí stlačením pohybem jakékoliv části ramena robotu	1.1_1	Nebezpečí spojená se pohybem robotu při programování stroje. Mohou nastat neočekávané pohyby robotu což může vést ke zranění osob v blízkosti manipulátoru, nebo poškození majetku.
		Nebezpečí stlačením pohybu koncového efektoru nebo jakékoliv pohyblivé části buňky robotu	1.1_2	
		Nebezpečí stlačením mezi koncovým efektozem a jakýmkoliv pevným objektem	1.1_6	
		Nebezpečí navinutí koncovým efektozem	1.2_1	



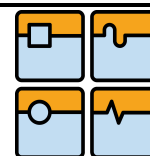
DIPLOMOVÁ PRÁCE

		Nebezpečí navinutí volného oděvu, dlouhých vlasů	1.2_2	
		Nebezpečí stlačení pohybem části robotu	1.1_5	Zranění způsobené plovákem při nesprávném naprogramování robotu a měřicího počítače. Špatné spuštění motoru, odsávání v nevhodné pozici.
		narušení zvukové komunikace, příjem akustických signálů, okolní hladina je vysoká, nebo rozptilující tak, že zabrání porozumění zvukových výstražných signálů	4.2_1	
		Obnovení dodávky energie při jejím přerušení přetížení ramena robotu nebo přídružného zařízení vyustující ve zlomení nebo deformaci mechanických součástí	10.2_1	Nebezpečí spojená se samovolným spuštěním robotu při výpadku elektrického proudu. Může nastat přetížení způsobící poškození plováku
4	Provoz stroje	Nebezpečí stlačení pohybem jakékoliv části ramena robotu	1.1_1	Nebezpečí stlačení tělem robotu nebo jeho efektem k pevnému tělesu, např. bazénu při obsluze stroje. Nepřímá nebezpečí. Hrozí zranění osob vyskytujících se v blízkosti stroje.
		Nebezpečí stlačení oddělením koncového efektoru	1.1_3	
		Nebezpečí stlačení mezi koncovým efektem a jakýmkoliv pevným objektem	1.1_6	
		Nebezpečí stlačení nechtěným pohybem stroje během manipulačních operací	1.1_4	
		Nebezpečí způsobené zachycením obsluhy, nemožnost opustit buňku robotu (dveřmi buňky) pro zachyceného operátora v automatickém režimu	1.3_1	Nebezpečí způsobené selháním bezpečnostního systému, způsobící zachycení obsluhy v buňce robotu během automatického procesu.
		Vysokotlaký výron nebo vystříknutí kapaliny/plynu způsobící pád nebo vystřelení materiálů (kapalina z výdechů čerpadel)	1.4_1	Nebezpečí způsobené vstupem obsluhy do prostoru robotu bez ochranných pomůcek. Hrozí nebezpečí zasažení očí proudem kapaliny z výdechů čerpadel plováku.
		Nebezpečí popálení horkými povrchy spojenými s přípojným zařízením	3.1_1	



	Narušení sluchu a rovnováhy, vědomí ztráta rovnováhy, ztráta orientace v pracovní buňce robotu	4.1_1	Nebezpečí způsobené hlukem plováku, při nedodržení bezpečnostních předpisů
	Narušení sluchu a rovnováhy, vědomí dlouhodobé vystavení zvýšené hladině hluku	4.1_2	
	Nebezpečí únavy špatným navržením rozhraní člověk-stroj tj. umístěním HMI nebo panelu vyhodnocujícího systému	8.1_1	Nebezpečí únavy, nezdravého postoje nebo nadměrné námahy špatným ergonomickým navržením řídicím pracovištěm operátora.
	Nebezpečí únavy špatným navržením základacího stanoviště plováku do koncového efektoru	8.2_1	
	Nebezpečí únavy kdy je rozhraní HMI umístěno příliš vysoko, nebo nízko pro vhodné	8.1_3	
	Neočekávané spuštění, systém robotu je spuštěn jednou osobou, ale tato akce není očekávána jinou osobou	10.1_1	Nerespektování bezpečnostních předpisů. Hrozí zranění osob vyskytujících se v blízkosti stroje, případně poškození majetku.
	Následek lidských chyb, rozpoznání nebezpečí a nebezpečných situací je ztíženo z důvodu špatného osvětlení	8.2_1	
	Neočekávané spuštění mylná interpretace spolupracujícího systému	10.1_2	Zařízení musí být naprogramováno, aby v případě selhání některého systému, mylné interpretaci nebo poruše spolupracujících systémů nemohlo dojít k neplánovanému spuštění motoru nebo k nebezpečným pohybům. Nepřímá nebezpečí. Hrozí zranění osob vyskytujících se v blízkosti stroje případně poškození majetku.
	Neočekávané spuštění porucha očekávané funkce přídruženého systému	10.1_5	
	Neočekávané spuštění poruchou řídicího panelu operátora	10.1_3	
	Nebezpečí otrávení výfukovými plyny neočekávanou poruchou elektrických součástí systému robotu a ochranných systémů	7.1_1	
	Nerespektování návodu k použití a bezpečnostních předpisů obsluhou	10.3_1	Nebezpečí vzniklá nerespektováním bezpečnostních předpisů, případně návodu k

				obsluze.
5	Převoz	Nebezpečí stlačením strojním zařízením při převozu	1.1_7	Možnost změny polohy součástí při nevhodném upevnění pro provoz
6	Ustavování	Nebezpečí stlačením strojním zařízením při ustavování	1.1_8	Při nevhodném ustavování stroje může dojít k pádu zařízení. Může dojít ke zranění osob případně poškození majetku.
7	Likvidace	Nebezpečí elektrického šoku při kontaktu s živými částmi nebo spoji	2.1_1	Při likvidaci pracoviště musí být odpojen elektrický proud od všech zařízení. V opačném případě může dojít u úrazu elektrickým proudem. Nebezpečí zranění osob.



7 NÁVRH ŘÍZENÍ PRACOVIŠTĚ

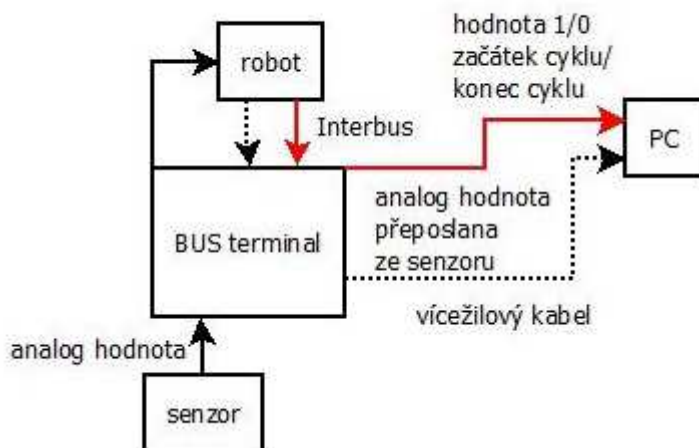
Aby bylo možné realizovat komunikaci mezi robotem, senzory, spínači a řídicím počítačem, je nutné zvolit vhodnou variantu komunikace mezi jednotlivými prvky pracoviště. Stejně tak je nutné vybrat, jakým způsobem budou prvky mezi sebou propojeny. V poslední řadě je potřeba zhodnotit, jestli pro následný řídicí program bude stačit řídicí počítač robotu, nebo je nutné pro určité operace využít PLC či jiný systém.

7.1 ROBOT VE FUNKCI PLC, KOMUNIKACE PŘES BUS TERMINAL

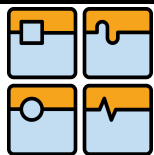
První variantou řešení je připojení BUS terminálu k řídicímu systému robotu pomocí Interbus sběrnice. Všechny senzory a ovládací prvky jsou napřímo připojeny do tohoto terminálu. Současně je sem připojen i počítač sloužící ke zpracování údajů získaných z testu. Připojení je provedeno vícežilovým kabelem, kdy jsou data přenášena po samostatných drátech. Jednotlivě je přenášen analogový signál z tenzometru, který je v robotu zduplikován a pomocí analogového výstupu terminálu je poslán do karty vstupů a výstupů vyhodnocujícího počítače. Začátek a konec měření je signalizován digitálním výstupem z robotu, který je na druhé straně připojen k počítači.

Duplikace analogového signálu a jeho následný přenos do počítače je prováděn v samostatném programu, který běží paralelně s hlavním programem robotu. K tomuto účelu se ve struktuře programu Kuka robotu nachází tzv. submit soubor **SPS.SUB**. Prakticky jde o softwarovou verzi PLC, sloužící k monitorování prvků propojených s robotem. Tento program běží v nekonečné smyčce. Stejně tak by sem byly přeměřovány některé hodnoty vstupů a výstupů použitých v hlavním programu. Tím by bylo možné jednoduše rozlišit začátek a konec měřicího cyklu počítačem sloužícím ke zpracování dat.

V tomto případě je funkce PLC vykonávána přímo systémem robotu. Nevýhodou je složitější program nacházející se v robotu a větší náchylnost k rušení přenosu analogového signálu. Zároveň jsou i větší nároky na množství volných vstupů a výstupů v terminálu včetně složitější kabeláže. Také není možné přenášet větší množství dat a hodnot z registrů.



Obr.22. Blokový diagram komunikace přes Bus terminál

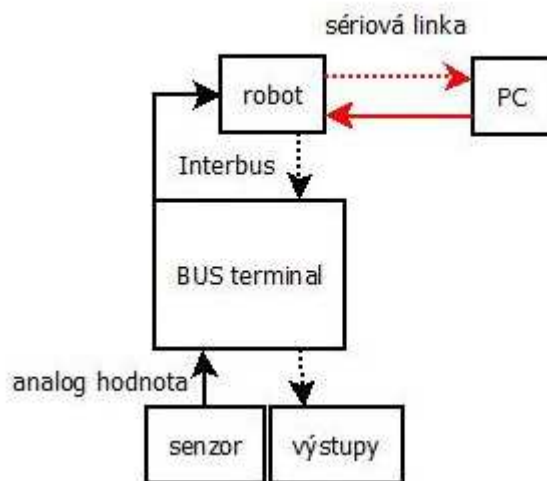


Výhodou je jednoduchá komunikace s počítačem, univerzálnost a možnost připojení libovolného zařízení, které má kartu vstupů a výstupů.

Hlavním důvodem pro použití tohoto řešení je malé množství použitých vstupů a výstupů a vybavenost robotu pouze Interbus kartou a přenosem po optických vláknech. Také zvolený tenzometr vysílá pouze analogový signál a neumožňuje komunikaci pomocí RS232 či jiné dostupné sběrnice. Zároveň stačí v počítači vyhodnotit pouze analogové hodnoty z tenzometru a začátek a konec měření. Čas měření jednoduše zjistíme přímo v počítači, kdy k naměřeným hodnotám přiřadíme sériové číslo vzorku.

7.2 ROBOT VE FUNKCI PLC, KOMUNIKACE PŘES SÉRIOVOU LINKU

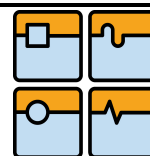
U této varianty komunikuje robot se senzorem a ostatními prvky pomocí BUS terminálu přes Interbus sběrnici. Pouze Počítač je připojený pomocí sériové linky. V tomto případě musí být analogová data ze senzoru zpracována řídicím počítačem robotu a po sériové lince jsou přenášeny již zpracovaná data v ASCII formátu. Vyhodnocení může probíhat pomocí LabVIEW.



Obr.23. Blokový diagram komunikace robotu a PC po sériové lince

Nevýhodou je malá rychlost linky. Rychlost linky je možné nastavit v rozsahu od 110 do 57 600 Bd (bitů za sekundu). Řídicí systém robotu dokáže na této lince jak naslouchat tak i psát. Toto rozhraní slouží pro připojení externích zařízení, jako jsou různé senzory nebo PLC. V neposlední řadě je nutná malá vzdálenost mezi řídicím počítačem robotu a vyhodnocujícím počítačem. Tuto linku je doporučeno používat na vzdálenost několika metrů, proto je nutné umístit počítače v rámci rozvaděče.

Výhodou je jednoduchost, nízká cena a rychlost programování. Software robotu s možností připojení zařízení přes sériovou linku počítá a není potřeba dokupovat rozšiřující balíčky do robotu ani do počítače. Alternativou k použití sériové linky je využití ethernetu. Toto řešení však klade větší požadavky na zprovoznění komunikace. Výhodou je větší spolehlivost, dosah a rychlost.



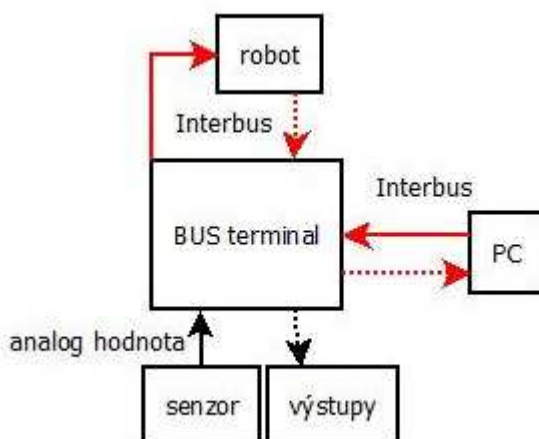
7.3 ROBOT VE FUNKCI PLC, KOMUNIKACE PŘEZ INTERBUS

Druhou variantou je přímé propojení vyhodnocujícího počítače s robotem pomocí průmyslové sběrnice. Při použití Interbus sběrnice jsou robot, počítač a BUS terminal propojeni do kruhu. Sensory a ostatní vstupy a výstupy se připojují přes terminál.

U této varianty je nutné použít vhodnou propojovací počítačovou kartu, umožňující navázání komunikace pomocí Interbusu. Jako software pro vyhodnocení měření může být opět použit např. LabVIEW.

Nevýhodou tohoto softwaru je nutnost dokoupení rozšiřujícího modulu do počítače, náročnost na propojovací kabeláž (optický kabel, případně převodník z optiky na metaliku) a limit robotu na připojení maximálně čtyř zařízení pomocí této sběrnice.

Výhodou je velký dosah řádově ve stovkách metrů v případě optického kabelu, nízká náchylnost na rušení a průmyslové provedení sběrnic. Vyhodnocující počítač tak nemusí být umístěn v rozvaděči jak v případě sériové linky, ale může být mimo místnost s robotem.



Obr.24. Blokový diagram komunikace robotu a PC pomocí průmyslové sběrnice

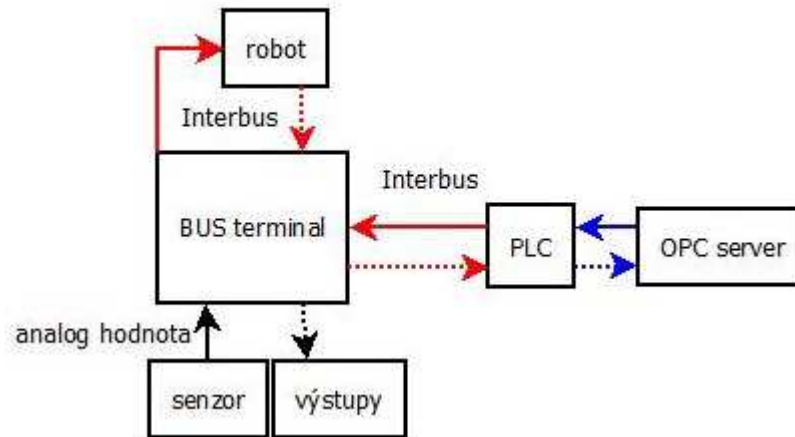
7.4 ROBOT A PLC PROPOJENÉ PŘES INTERBUS, VYHODNOCENÍ POMOCÍ OPC SERVERU

Poslední variantou je připojení PLC a vyhodnocení pomocí OPC serveru. PLC je propojeno s robotem pomocí průmyslové sběrnice. Sensory a ostatní vstupy mohou být připojeny buď do BUS terminálu, nebo v případě že tento terminál vynecháme, je možné využít přímo vstupů PLC. OPC server libovolného výrobce komunikuje s PLC pomocí ethernetu. Vyhodnocení může probíhat např. v grafické nastavbě PLC, nebo v Excelu. Pak není nutné ani použití grafických a ovládacích nastaveb když není potřeba názorná vizualizace. Vhodné softwarové řešení nabízí firmy Beckhoff nebo Fatek.

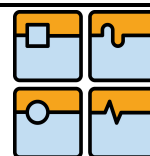
Tato varianta mimo jiné umožňuje ovládání pracoviště přímo z počítače bez snížení bezpečnosti a spolehlivosti. PLC může pracovat přímo v MASTER režimu a může kontrolovat např. uzamčení efektoru bez ohledu na řídicí systém robotu. Zároveň je možné značně zjednodušit program robotu. Ten se poté může starat pouze o pohybové funkce.



Nevýhodou je větší množství prvků v síti. Nutnost odladění komunikace mezi jednotlivými systémy a vyšší pořizovací cena hardwaru.



Obr.25. Blokový diagram komunikace s využitím PLC



8 VOLBA HARDWAROVÉHO VYBAVENÍ PRACOVNÍHO MÍSTĚ

Druhým krokem po zprovoznění robotu bylo nutné definovat požadavky na počet a typ připojovaných zařízení. Pro tyto potřeby tohoto pracoviště byly definovány tyto požadavky:

- 8 digitálních vstupů pro připojení periférií
- 8 digitálních výstupů pro připojení periférií
- 3 analogové vstupy pro připojení tenzometru s rozlišením 12-16 bit
- Vysokorychlostní vstup pro připojení snímače otáček motoru
- Možnost komunikace v SLAVE modu
- Podpora komunikačního protokolu Interbus
- Podpora XML description file
- Komunikace s robotem pomocí optických kabelů
- FMEA konektory
- Možnost propojení s LabVIEW

Pro řešení tohoto úkolu bylo zvoleno řízení pracoviště 7.1 Robot ve funkci PLC, komunikace přes bus terminal. Tato varianta byla zvolena především z důvodu rychlého vyvinutí měřicí aplikace. Přejít na komunikaci pomocí sériové linky, ethernetu nebo využitím průmyslové sběrnice je v budoucnu možný a nevyžaduje velký zásah do měřicího programu. Pouze by se v LabVIEW vytvořil podprogram převádějící přijímaná data na hodnoty čitelné pro měřicí program.

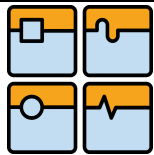
Hlavní důvody:

- zakoupený software LabVIEW
- vybavení řídicího počítače pouze Interbus kartou, základním COM portem a Ethernetem
- možná malá vzdálenost mezi řídicím a vyhodnocujícím počítačem
- rychlost vyvinutí měřicí aplikace
- starší řídicí systém KR C2
- není potřeba ovládat robotu pomocí počítače či PLC
- jednoduchý ovládací program (stačí programovací jazyk robotu)
- nižší nároky na spolehlivost a bezpečnost připojení

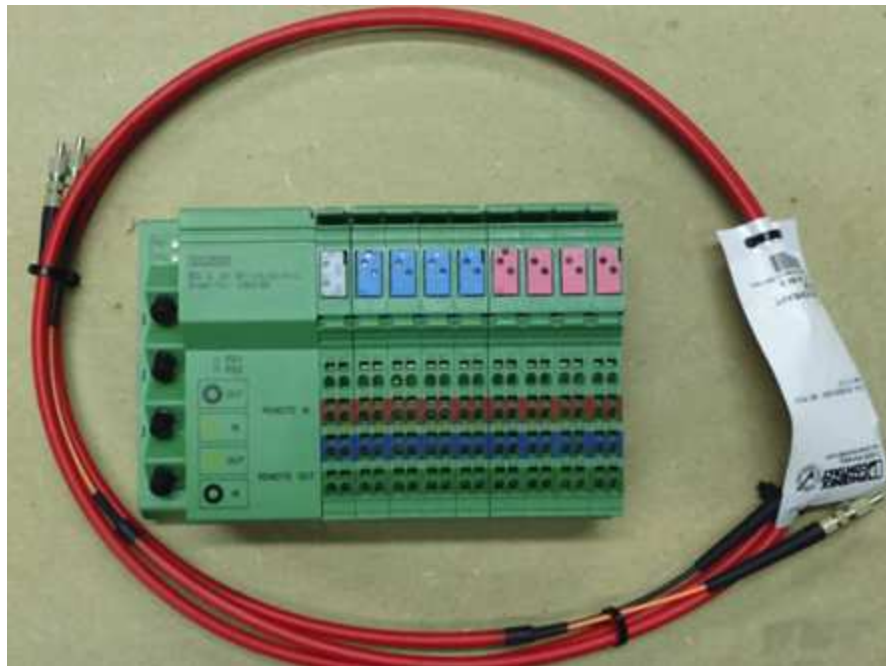
Z tohoto důvodu bylo nutné vybrat vhodný BUS terminál. Za tímto účelem byla domluvena konzultace ve firmě Phoenix Contact za účelem volby vhodného zařízení. Důležitá byla hlavně kompatibilita s řídicím systémem KR C2. Součástí byla i cenová nabídka.

Na základě doporučení pana ing. Václava Mimráčka byl vybrán Bus coupler sestávající se z následujících položek:

- Decentrální kompaktní komunikační modul
 - IBS IL 24 BK-LK/45-PAC
- Decentrální kompaktní modul osmi digitálních vstupů
 - IB IL 24 DI 8-PAC



- Decentrální kompaktní modul osmi digitálních výstupů
 - IB IL 24 DO 8-PAC
- Decentrální kompaktní modul dvou analogových výstupů
 - IB IL AO 2/UI-PAC
- Decentrální kompaktní modul dvou analogových vstupů
 - IB IL AI 2/SF-PAC
- Optický kabel s konektory FSMA délky 5m
 - FOC-KDHEAVY-1011/IP20/ FSMA/FSMA/5

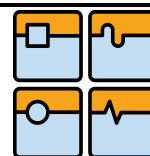


Obr.26. Bus coupler od firmy Phoenix Contant

Vybrané analogové moduly pracují s vstupním nebo výstupním napětím $\pm 10V$ případně $0V$ až $10V$. Proudové omezení je $0mA$ až $20mA$, $4mA$ až $20mA$ nebo $-20mA$ až $20mA$. Rozlišení A/D převodníku je 16 bitů.

U digitálních vstupních nebo výstupních modulů je vstupní napětí $24V$ a logická 1 nastává v rozmezí $15V$ až $30V$. Doba odezvy je méně než $1ms$.

Komunikační modul komunikuje pomocí sběrnice INTERBUS. Pro připojení k robotu se používají čtyři šikmé konektory FSMA optického kabelu. Rychlost přenosu je $500kBit/s$. Napájen je $24V$ napětím a k danému modulu je možné připojit až 63 rozšiřujících modulů. Maximální příkon modulu je $1,25A$.



Tab.6. Cenová kalkulace Bus coupleru

Název	Cena [CZK bez DPH]
IBS IL 24 BK-LK/45-PAC	6745,67
IB IL 24 DI 8-PAC	2053,03
IB IL 24 DO 8-PAC	2698,27
IB IL AO 2/UI-PAC	2786,26
IB IL AI 2/SF-PAC	2786,26
FOC-KDHEAVY-1011/IP20/ FSMA/FSMA/5	4788,55
Suma	21858,04



9 ZPŮSOB PROGRAMOVÁNÍ PRŮMYSLOVÉHO ROBOTU

Průmyslový robot sám o sobě nedokáže vykonat žádnou činnost, bez toho aby byl před tím naprogramován. V současnosti se používají dva způsoby programování průmyslových robotů.

- On-line programování
- Off-line programování

Při online programování jsou jednotlivé příkazy programu zadávány přímo pomocí panelu uživatelského rozhraní robotu. Při této činnosti musí být robot spuštěn a na jednotlivé pozice pohybových sekvencí je nutné najet ručně koncovým členem robotu. Logické příkazy jsou zadávány stejným způsobem. Tato varianta je dodávána s řídicím systémem robotu, čímž odpadají vícenáklady spojené se zakoupením vhodného softwaru. Při programování robotu pracujeme vždy s reálným systémem. Proto jsou případné kolize a chyby v programu ihned odhaleny. Pro testování programu je robot přepnut do testovacího provozu, kdy jsou maximální rychlosti omezeny na 250mm/min. Současně nemusí být aktivní některé periferie napojené na bezpečnostní okruh robotu, jako je např. elektrické vřeteno. Tento režim je jediný, který umožňuje roční manipulaci s robotem.

Výhody

- ✓ Nízká cena
- ✓ Práce s reálným systémem

Nevýhody

- Odstavení robotu z provozu
- Dlouhá doba programování
- Fyzická náročnost na obsluhu u dlouhých programů

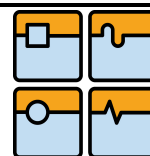
Při off-line programování je program tvořen v počítačovém modelu robotického pracoviště. Zde jsou zadávány všechny logické příkazy i pohyby. Modely pracoviště mohou být vytvořeny buď přímo v programu umožňující off-line programování robotu, nebo sem mohou být naimportovány z libovolného CAD programu. Součástí je i nástroj, sloužící k off-line simulaci programu včetně kontroly kolizí. Na závěr je vygenerován kód programu, který je nahrán do paměti robotu. Problém simulačních programů je, že neodpovídají exaktně realitě. Tyto programy je nutné následně otestovat přímo na zařízení v testovacím režimu. V případě kolizí musí být program přepracován.

Výhody

- ✓ Není potřeba odstavit robot z provozu
- ✓ Rychlejší programování složitých pohybů
- ✓ Možnost zpracovat složité trajektorie pohybu použitím G kódu
- ✓ Simulace programu
- ✓ Programování několika najednou spolupracujících robotů

Nevýhody

- Vysoká cena
- Nutnost otestování programu v reálném prostředí

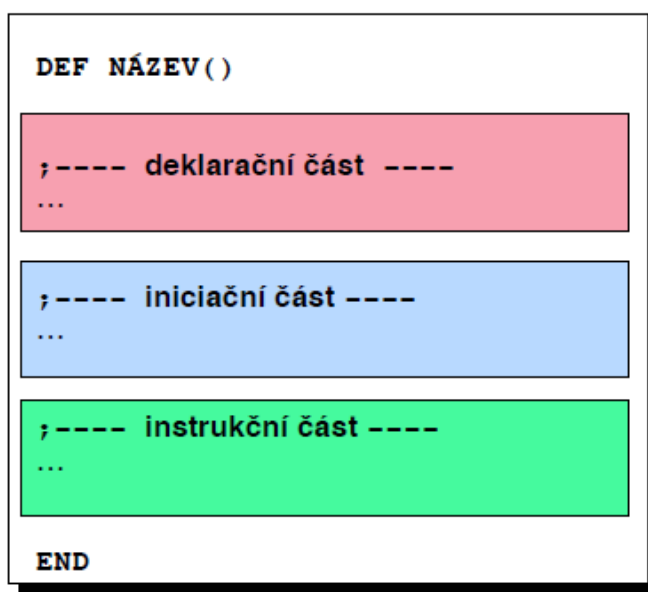


10 ŘÍDICÍ PROGRAM [12]

Program pro robot je psán v jazyku KRL. Jde o speciální vyšší programovací jazyk, vyvinutý firmou Kuka přímo pro své roboty. Programování je zaměřeno hlavně na pohybové instrukce, dále obsahuje základní logické funkce a některé funkce specifické pro aplikaci v průmyslové automatizaci. Každý výrobce průmyslových robotů používá vlastní programovací jazyk. Tyto jazyky se od sebe liší a nejsou zaměnitelné. Nicméně vycházejí ze stejné myšlenky.

Každý KRL program se skládá ze dvou souborů SRC-FILE a DAT-FILE. Do SRC programu se zapisuje vlastní programový kód. Struktura SRC programu se skládá z deklarační, iniciační a instrukční část. DAT program má pouze deklarační a iniciační část. Proto neobsahuje žádné pohybové ani logické funkce.

Mimo tyto dva základní soubory existují ještě další typy souborů, jako je například SUB-FILE. Tento soubor obsahuje instrukce a může být použit k cyklické kontrole například úchopového zařízení. Hlavním znakem tohoto programu je to, že pracuje paralelně k provozu robotu a odpracuje se řídicím systémem interpreteru.



Obr.27. Základní struktura programu robotu [12]

V deklarační části se deklarují proměnné, pozice jednotlivých bodů atd. Pokud je něco deklarováno v SRC souboru, mají tyto data lokální charakter. V praxi to znamená, že se vztahují pouze na program, ve kterém se nachází a jsou platné od řádku, kam jsou zapsané směrem dolů v programu. Deklarační část v DAT souboru se od té v SRC liší hlavně tím, že data, která jsou zde zapsaná, mají globální charakter. Tím pádem platí v celém programu bez ohledu na to, kde se zrovna nacházejí. Zároveň existují některé příkazy, které je možné zapisovat pouze do DAT souboru.

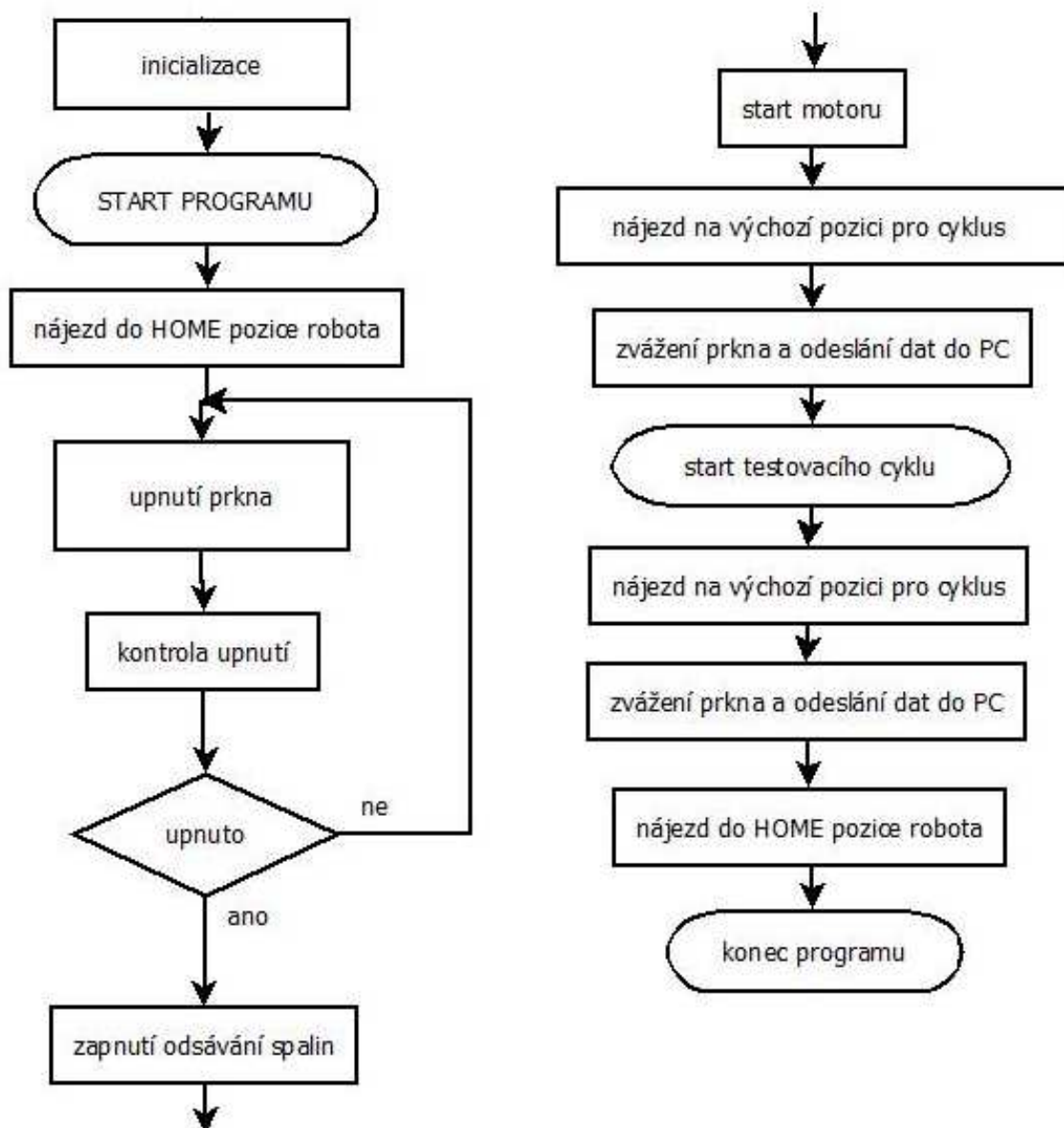
Do inicializační části je možné zapsat konkrétní hodnoty proměnných a výstupů platící pro začátek programu. Stejně tak je zde možné například nadefinovat rychlosti a zrychlení jednotlivých os robotu.



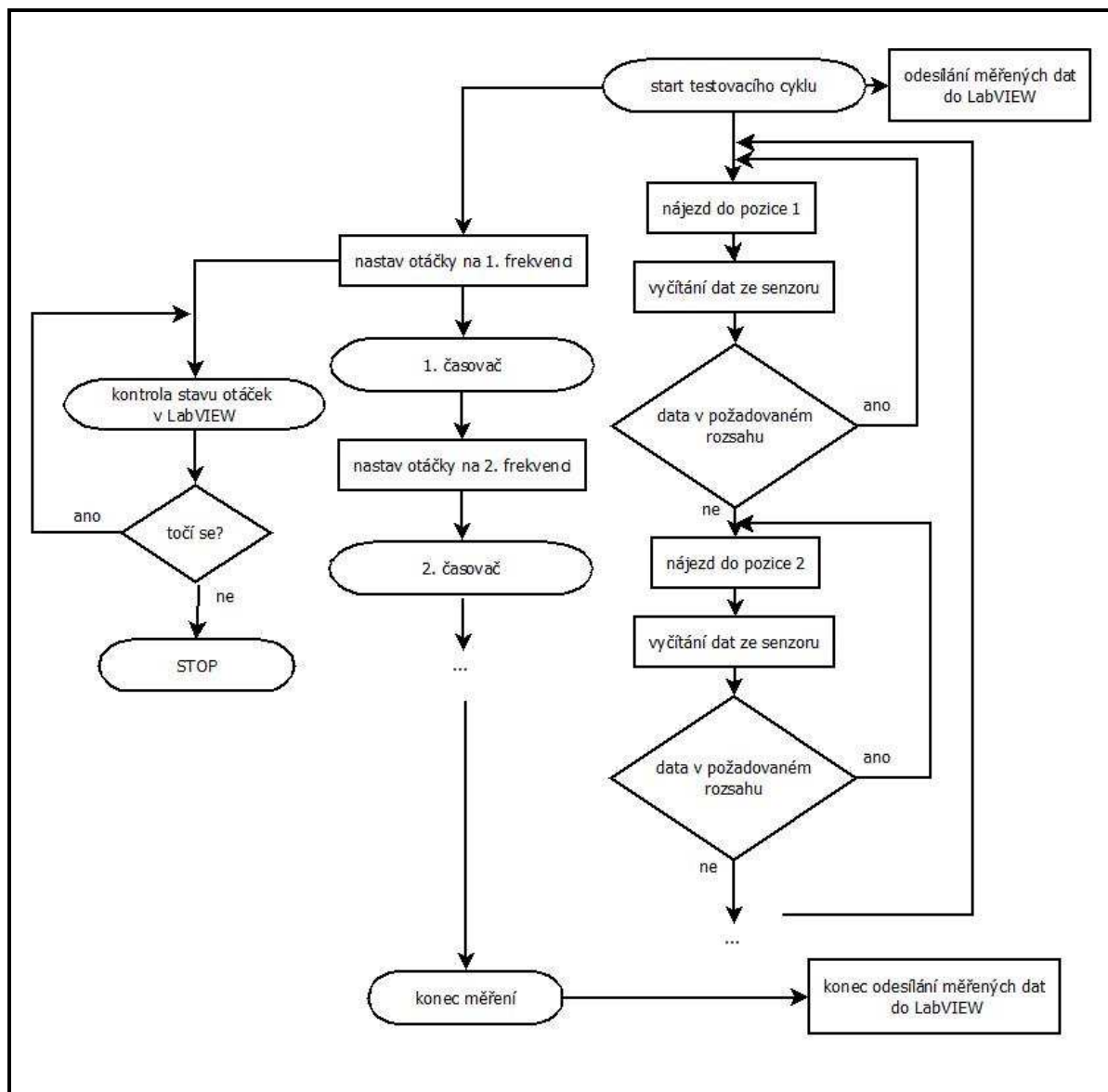
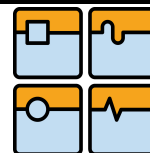
Každý program i podprogram musí začínat instrukcí DEF () a končit instrukcí END. Instrukční část souboru se skládá ze samotného hlavního programu a až z 255 podprogramů.

10.1 VÝVOJOVÝ DIAGRAM PROGRAMU

Řídicí program vychází z blokového diagramu na obr. 28. Diagram samotného testovacího cyklu je na diagramu vyobrazeném na obr. 29.



Obr.28. Vývojový diagram celého programu



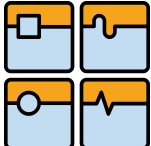
Obr.29. Vývojový diagram měřicího cyklu

Pro řešení kompenzace síly zanoření je možné využít buď rozšiřujících balíčků od firmy Kuka jako je FORCE TORQUE CONTROL nebo napsat samostatný program řešící tento problém.

FORCE TORQUE CONTROL je technologický balíček, pomocí kterého je možné ovlivňovat procesní síly a momenty. Slouží pro jakosti a procesní bezpečnosti robotických aplikací. Robot získá určitý druh hmatu, díky němu může reagovat na vnější síly a momenty. [13]

Z důvodu jednoduchosti dané úlohy, byla zvolena varianta vytvoření programu řešící tuto kompenzaci. Stejně tak odpadla potřeba dalších investic do nákupu a implementace tohoto technologického balíčku.

Výpis všech níže popisovaných programů se nachází v příloze této práce.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 55
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

10.2 KOMUNIKACE MEZI ROBOTEM A VYHODNOCUJÍCÍM POČÍTAČEM ZE STRANY ROBOTU

Jelikož budou tenzometrické snímače připojeny do bus coupleru robotu, je nutné zajistit přeoslání těchto hodnot do vyhodnocujícího počítače. Tyto snímače generují analogový signál odpovídající zatěžující síle. Proto se pracuje s analogovými vstupy a výstupy. Tuto činnost zajistí jednoduchý program napsaný v SUB souboru. Nejdříve jsou deklarovány proměnné TAH a TLAK typu REAL a analogové vstupy a výstupy (označeny SENSOR1 až SENSOR4). Poté jsou pomocí funkce cyklického čtení (instrukce ANIN) načteny hodnoty vstupu a tato hodnota je přiřazena proměnným TAH a TLAK. Ty jsou přiřazeny jednotlivým výstupům, které vedou do karty vstupů a výstupů měřicího počítače. Tato činnost se opakuje každých 12ms.

10.3 MĚŘÍCÍ CYKLUS

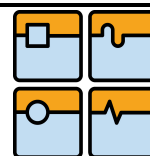
Nejdůležitější část programu tvoří hlavní program. Ten se skládá se z několika základních podprogramů a pohybových instrukcí:

- PTP HOME ; SAK pohyb
- potvrzeni_upnuti_plovaku()
- PTP pozice_vazeni
- vazeni_prazdneho_plovaku()
- zapnuti_odsavani()
- zapnuti_motoru()
- LIN zatez_pozice_1
- mereni()
- LIN pozice_vazeni
- vazeni_prazdneho_plovaku()
- vypnuti_motoru()
- PTP HOME ; SAK pohyb

Hlavní program začíná SAK pohybem do HOME pozice. Následuje podprogram, který pouze zkontroluje, jestli jsou sepnuté koncové spínače upínací části efektoru. V opačném případě program dál nepokračuje.

Další v pořadí je PTP pohyb do pozice vážení plováku. Zde proběhne program vážení prázdné hmotnosti plováku. Z pohledu robotu řídicí systém pouze sepne digitální výstup signalizující měřicímu počítači zahájení vážení, počká tři sekundy a vypne tento výstup. V případě, že dostane z měřicího počítače signál o dokončeném měření, pokračuje program dál.

V třetí části je zapnuto odsávání výfukových spalin a nastartován motor. To se provádí pomocí zapnutí signálu na příslušných digitálních výstupech. Dále je pomocí analogového výstupu nastavena výchozí hodnota otáček motoru. Součástí tohoto podprogramu je i zapnutí přerušovací funkce (INTERRUPT ON) která kontroluje výpadek otáček. Ten ve smyčce neustále kontroluje měřicí počítač a v případě nízkých hodnot robotu signalizuje tuto událost sepnutím příslušného digitálního signálu. Robot na tuto událost reaguje zastavením programu příkazem BRAKE. Pokud je vše v pořádku, proběhne zanoření plováku do výchozí pozice měření LIN pohybem.



Hlavní část programu, týkající se samostatného měřicího cyklu, se skládá ze zapnutí časovače, několika přerušovacích funkcí a samostatné smyčky, která udržuje konstantní sílu zanoření. Zatěžující síla je signalizována analogovým signálem z tenzometru. Pokud je tato síla menší, než stanovená, rameno robotu zvedne plovák lineárním pohybem o nastavenou hodnotu. V opačném případě proběhne zanoření. Pokud se aktuální síla rovná definované, pozice se nemění. O postup programu a změnu otáček motoru se starají přerušovací funkce (INTERRUPT 1 až 4). V případě, že proběhne první časový úsek měření, je zapnuta příslušná přerušovací funkce, na analogovém výstupu se nastaví nová hodnota odpovídající potřebným otáčkám motoru a cyklus může pokračovat dále. Jelikož funkce INTERRUPT dokáže reagovat pouze na nastalé události definované booleovou konstantou, proměnnou, názvem signálu nebo srovnáním, není možné se přímo odvolávat na hodnotu časovače. Tento problém řeší příkaz zapsaný v submit souboru. Při dosažení nastavené hodnoty časovače, dojde k sepnutí digitálního výstupu. Tuto hodnotu už funkce přerušování dokáže načíst a může nastat odpovídající reakce. Celý průběh měření je signalizován sepnutým digitálním výstupem, na který reaguje měřicí počítač ukládáním naměřených dat do souboru.

Po ukončení měření je proveden lineární pohyb do vážící pozice plováku. Nastane zvažení plováku po měření, vypnutí motoru, ukončení kontroly výpadku otáček a návrat do HOME pozice.

Jelikož nebyly fyzicky k dispozici konkrétní senzory, nebylo možné program otestovat v reálném prostředí. Je možné, že bude vznikat určitý šum. V případě jeho velkého vlivu na průběh testování by bylo vhodné ze získaných dat vyselektovat extrémní hodnoty. K tomu může sloužit program napsaný v LabVIEW, nebo můžeme použít PLC. Pokud by robot vykazoval trhany pohyb, je možné cyklovat přímo mezi několika pozicemi, mezi kterými by byly sníženy akcelerační rampy. Další možností je nastavit časovou prodlevu definující čas, který stráví plovák v konkrétní poloze. Konkrétní úpravy programu by byly provedeny při realizaci projektu.

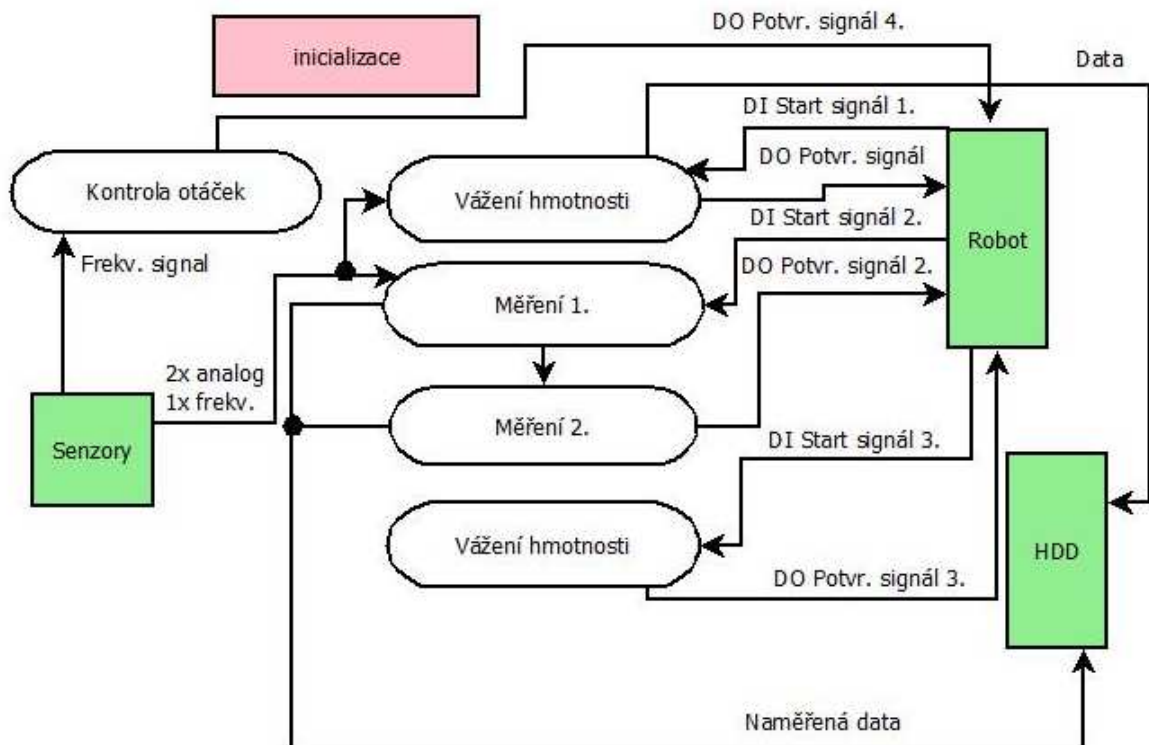


11 VYHODNOCUJÍCÍ SYSTÉM

Pro vyhodnocení měření bylo možné použít buď vhodný OPC server s možností ukládání naměřených dat jako je ASPIC či TwinCAT. V druhém případě bylo možné využít měřicí software LabVIEW. Ten je mimo jiné přímo určen k zaznamenávání a vyhodnocování naměřených dat z připojených vstupů a výstupů. Tvorba programu je poměrně jednoduchá a nevyžaduje znalost složitého programování. Zároveň tento software byl preferován firmou MSR Engines a tato firma v něm chtěla vyvíjet programy pro další měření. Z tohoto důvodu byl zvolen tento program jako nejvhodnější varianta řešení.

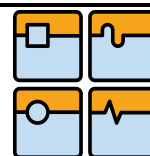
11.1 BLOKOVÝ DIAGRAM VYHODNOCUJÍCÍHO PROGRAMU

Samostatné schéma programu pro vyhodnocující systém se řídí následujícím blokovým diagramem.



Obr.30. Blokový diagram vyhodnocujícího programu

Program se skládá z několika podprogramů, zajišťující záznam naměřených dat a vizuální zobrazení obsluhy ve formě grafu. Komunikace s robotem probíhá pomocí digitálních signálů. Řídicí systém robotu jimi vždy signalizuje čas zahájení záznamu dat a čeká na odpověď měřicího systému. Ten poté, co proběhne měření, sepne na digitálním výstupu potvrzovací signál a robot může pokračovat ve svém cyklu. Vstupní signály sloužící pro vyhodnocení měření poskytují tenzometry generující analogový signál a senzor otáček produkující PWM signál. Naměřená data se ukládají na disk počítače. Po skončení prvního úseku měření je tento stav signalizován řídicímu systému robotu a automaticky začne záznam druhého měření.



Jelikož by byla kontrola nízkých otáček v řídicím systému robotu komplikovaná, probíhá v cyklické smyčce vyhodnocujícího počítače. V případě nedosažení potřebných otáček na motoru, tento stav signalizuje digitálním výstupem robotu.

Následují požadavky na program vyhodnocujícího systému.

- Nezávislá kontrola nízkých otáček motoru
- Zadávání názvu souboru odpovídajícímu sériovému číslu plováku
- Čtení a záznam analogového signálu
- Čtení a záznam frekvence
- Minimální nároky na obsluhu
- Záznam data a času měření
- Automatické přepínání mezi jednotlivými úseky měření
- Zobrazení naměřených hodnot obsluze formou grafu

11.2 LABVIEW

LabVIEW (z angl. Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench) je program sloužící k programování systémů pro měření a analýzu signálů, řízení a vizualizace technologických procesů od jednoduchých až po ty složité. Zároveň je možné programovat složité systémy, jako jsou různá robotická zařízení. Tento program je možné zařadit do nástrojů virtuální instrumentace.

Cílem je nahrazení hardwarových prostředků jako je PLC těmi virtuálními. Jde o softwarový program, běžící na běžném počítači. Důležitou roli hraje možnost využití grafických a vizualizačních prostředků sloužících k maximální názornosti. Toto řešení umožňuje rychlé modifikace a tvorbu nových aplikací za minimální náklady ve srovnání s realizací pomocí reálných součástek. Prostředí LabVIEW je možné nazvat grafickým jazykem (tzv. G-jazyk). Pro tvorbu programu se používají blokové diagramy. Pomocí nich je možné do programu vkládat jak signály vstupů a výstupů tak různé grafické objekty jako je např. virtuální osciloskop. [14]

11.3 KOMPATIBILNÍ HARDWARE

LabVIEW umožňuje komunikaci s velkým množstvím zařízení, počínaje nejjednoduššími I/O moduly přes různé měřicí karty až po připojení měřících ústředí (tzv. VirtualBench). Tyto zařízení mohou pocházet buď přímo od National Instruments nebo i od jiných firem.

Pro otestování komunikace jsem měl k dispozici zařízení NI myDAQ. Jedná se o přenosné zařízení umožňující připojení osmi digitálních vstupů nebo výstupů, jednoho Audio vstupu a audio výstupu 3,5mm. 2xAI, 2xAO, $\pm 10V$, 16bitů, 200kS/s, 1 čítač. Zároveň je ho možné použít jako multimetr na měření napětí do 60V, proudu do 1A a el. odporu. Napájení je realizováno přes vestavěný USB port.



Obr.31. NI MyDAQ [15]

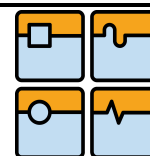
Druhou možností jak připojit rozhraní robotu, bylo použití standartního COM portu. Systém robotu měl volné rovnou dva porty sériové linky. Měřicí počítač byl vybaven pouze USB vstupy a tak pro rozšíření o port sériové linky bylo zapotřebí použít převodník z USB na RS-232 jako je např. zařízení od firmy ASIX model UCAB232.

11.4 KONFIGURACE ZAŘÍZENÍ

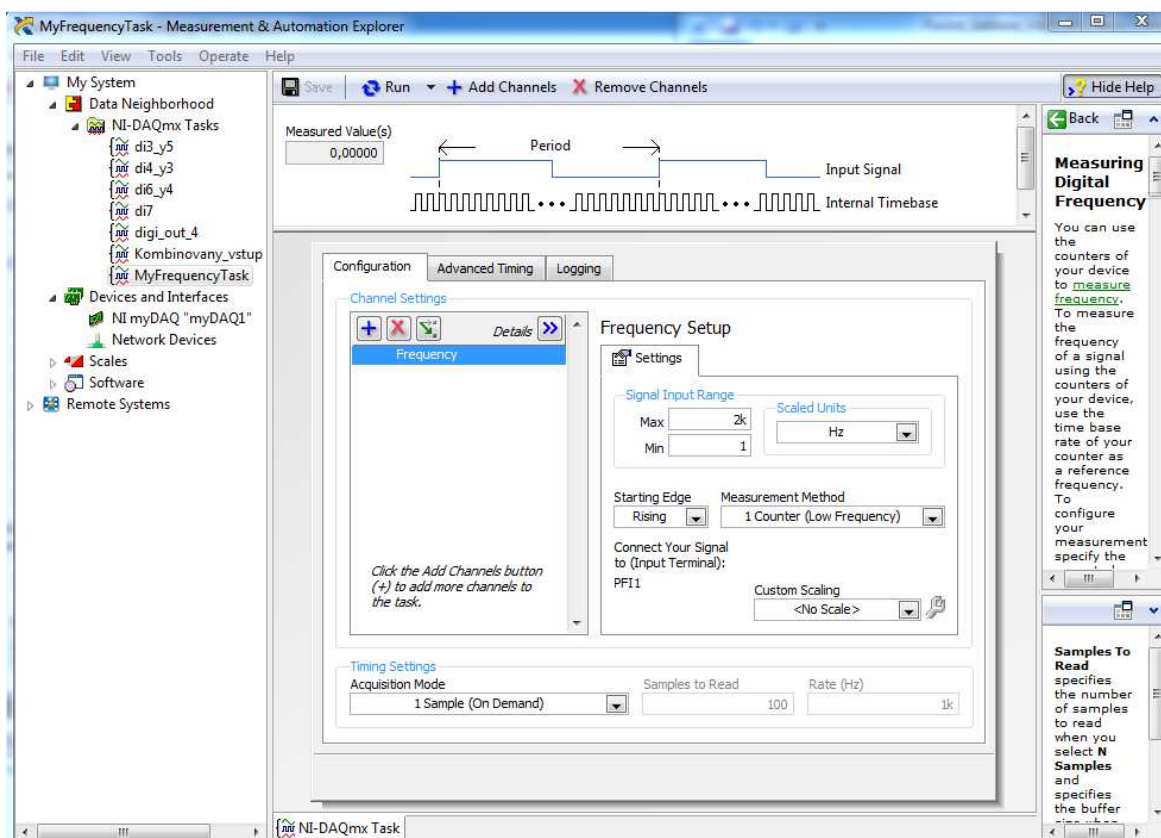
Konfigurace nových zařízení probíhá samostatně v programu NI Max. Zde je možné přidávat a konfigurovat nová zařízení, nebo upravovat způsob jejich komunikace s programem.

Nejdříve je nutné nakonfigurovat vstupní hardware. MyDAQ se do počítače připojí pomocí USB vstupu. Po té je nutné nainstalovat vhodný USB driver, který je dostupný na webových stránkách výrobce. Pokud je zařízení správně nainstalováno, je možné spustit program NI MAX. Zde je možné zpravovat všechna připojená zařízení. Použité zařízení je k nalezení po otevření položky „Device and Interfaces“ ve stromové struktuře. Zde je možné zařízení přejmenovat, ručně nastavit hodnotu na výstupech či zkontrolovat hodnoty na digitálních a analogových vstupech. Zároveň je zde možné nalézt dokumentaci k připojenému zařízení s nákresem a popisem připojovacího rozhraní vstupů a výstupů. Pomocí tohoto programu se zpravují i jiná zařízení připojená do sítě.

Důležitou funkcí tohoto programu je vytváření tzv. NI-DAQmx Tasks. Jedná o program k tvorbě jednoduchých virtuálních nástrojů tzv. VI, pomocí kterých je možné vyčítat data z analogových nebo digitálních vstupů. Je možné nastavit více kanálů, měření frekvence nebo pulzní šířky bez nutnosti vytvářet složité struktury. Stejně tak je možné jednoduše nakonfigurovat analogové i digitální výstupní signály. Všechny tyto VI mají globální charakter a je možné použít v jakémkoliv nově vytvořeném projektu.



Prvky použité v této práci jsou zobrazeny na následujícím obrázku. VI pojmenované di3 až di7 slouží k prostému vyčítání hodnot digitálních vstupů nebo nastavení hodnoty digitálního výstupu. Kombinovany_vstup přijímá data ze dvou analogových vstupů. Ty je možné dále zobrazit například v rámci jednoho grafu. MyFrequencyTask měří časový úsek mezi jednotlivými impulzy na definovaném digitálním vstupu. U všech těchto VI je možné nastavit rozsah měření, frekvenci, počet kanálů nebo měřítko.

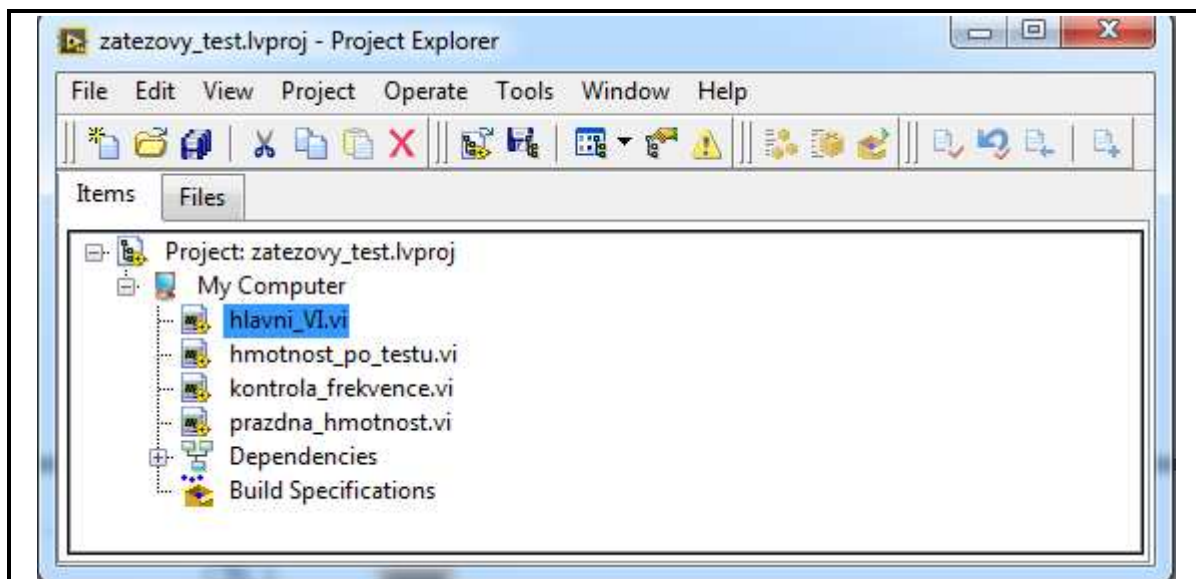


Obr.32. NI MAX, konfigurace vstupu měřícího frekvenci

11.5 ZALOŽENÍ PROJEKTU

Nový program se zakládá vytvořením nového projektu, ve kterém se tvoří tzv. Virtual Instrument (VI). Jedná se o podprogramy, které se mohou dále slučovat a propojovat. Každý VI má svoji specifickou ikonu. Pokud je potřeba VI slučovat, je nutné ke každému nakonfigurovat vstupní a výstupní prvky. Tyto prvky se nazývají terminály. K těmto je možné se připojit, měnit hodnoty proměnných, vyčítat naměřené hodnoty apod. Všechny programy mohou být uloženy a spuštěny v rámci jednoho počítače, nebo mohou být síťově sdíleny. V tomto případě se všechny soubory nacházejí v jednom adresáři na disku stolního počítače.

Struktura programu je rozdělena na čtyři VI. Tato struktura slouží k zvýšení přehlednosti v kódu programu a k jednodušším úpravám jednotlivých celků. VI s názvem hmotnost_po_testu.vi, kontrola_frekvence.vi, prazdna_hmotnost.vi jsou jednotlivé podprogramy. Všechny jsou obsaženy v hlavním VI.



Obr.33. Stromová struktura programu

Pro tvorbu běžného programu LabVIEW je možné uživatelské rozhraní rozdělit na dvě základní části.

11.6 ČELNÍ PANEL

První část tvoří tzv. čelní panel (Front Panel). Zde probíhá tvorba vizuální stránky programu. Na plochu obrazovky je možné přidávat textové pole, číselné ovladače, číselné zobrazovače, indikátory LED diod, až po analogové zobrazovače a různé složité grafy. Tyto prvky je možné nastavit jako vstupní nebo výstupní terminály v rámci VI. K tomuto účelu není možné použít prvky z blokového diagramu, nebo konstanty.

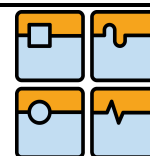
Pomocí této obrazovky bude budoucí obsluha informována o průběhu a výsledcích měření. Proto by měla obsahovat pouze nejnútnejší ovladače a indikátory.

Jelikož v době tvorby tohoto programu ještě nebyly známy doby jednotlivých měřících úseků, jsou na obrazovce umístěny navíc vstupy pro zadání délky měření těchto úseků. Navíc je přítomen ještě vstup pro zadání minimálních otáček, od kterých je signalizován signál robotu k bezpečnostnímu přerušení cyklu.

Dále jsou na obrazovce přítomny čtyři grafy. Dva zobrazují vždy frekvenci otáček motoru a zatížení tenzometrů měřících tah motoru a vztlak plováku. Druhý pár grafů zobrazuje stejné hodnoty, ale pro druhý časový úsek měření, kdy jsou nastaveny odlišné otáčky motoru. Teoreticky se v dalším úseku mohou měnit vnější podmínky, jako je natočení plováku kolem os simulující zatáčení plováku na hladině. Tyto faktory nemají vliv na způsob zaznamenání dat. Grafy v současnosti zobrazují hodnotu napětí na tenzometrech v závislosti na čase. Při realizaci pracoviště budou tyto hodnoty převedeny na konkrétní silové údaje. Zbylé dva grafy zobrazují průběh frekvence otáček v závislosti na čase.

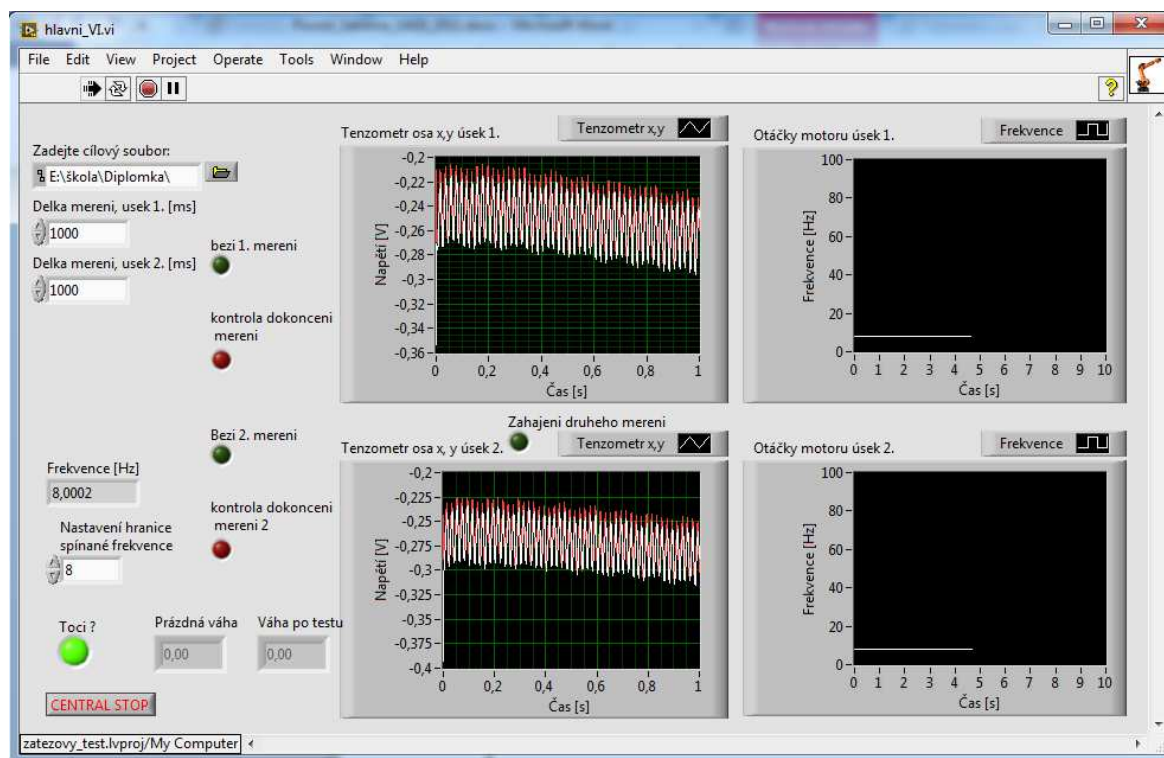
Název souboru zapisuje obsluha pomocí příslušného vstupu na obrazovce. Tento název by měl odpovídat sériovému číslu plováku.

Dále se zde nacházejí ještě diody signalizující stav otáček, průběh a ukončení měření.



Mezi poslední zobrazované prvky patří zobrazení aktuální frekvence otáček a hodnot hmotnosti prázdného plováku a jeho hmotnosti po testu.

Přední panely jednotlivých podprogramů zde nejsou uvedeny, protože všechny důležité prvky z nich jsou zobrazeny i na hlavní obrazovce programu.



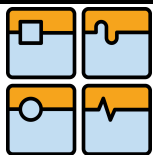
Obr.34. Rozhraní programu NI MAX

11.7 BLOKOVÝ DIAGRAM LABVIEW

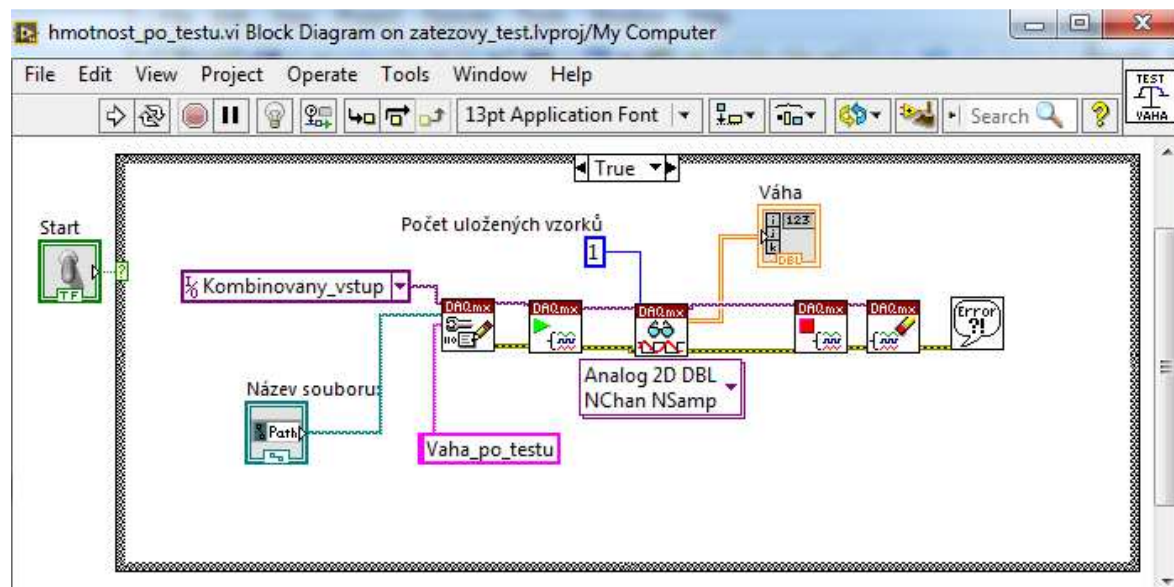
Druhou část tvoří tzv. blokový diagram (Block Diagram). Zde probíhá definování vlastního algoritmu programu. Tato část sdružuje všechny okna každé aplikace a definují se zde prvky pro vstupy, výstupy, logické funkce případně jejich další zpracování a vyhodnocení. Samotný diagram tvoří jednotlivé prvky z palet knihoven. Ty jsou přímo svázány s prvky čelního panelu. [14] Program je po spuštění načítán vždy zleva doprava.

11.8 PODPROGRAMY PRO MĚŘENÍ HMOTNOSTI

Podprogramy s názvy prazdna_hmotnost.vi a hmotnost_po_testu.vi jsou prakticky stejné. Slouží k zobrazení a zaznamenání jednoho vzorku hodnot z analogového vstupu. V případě, že by bylo třeba zaznamenat více vzorků, stačí změnit konstantu definující tento počet. To může sloužit pro statistické vyhodnocení nebo pro odhalení případné chyby měření. Tento program tvoří stavová smyčka napojená na virtuální spínač. V případě, že spínač generuje hodnotu 1, proběhne záznam dat. Nejdříve se načte globální VI kombinovaný_vstup, název souboru a název listu tabulky (Váha_po_testu). Dále proběhne spuštění kanálu, jeho čtení, záznam do souboru a zobrazení hodnoty na obrazovce. Nakonec je kanál ukončen a vymazán. V případě vzniku chyby, je obsluha informována chybovou hláškou. Poté je stavová smyčka ukončena. V případě nulové hodnoty na spínači je smyčka prázdná a žádný děj neproběhne.



Jako vstupní terminály jsou nakonfigurovány proměnné *Název souboru* a *Start*. Jediný výstupní terminál je hodnota naměřené hmotnosti. Součástí bylo i vytvoření odpovídající ikony. Ta je zobrazena vždy v pravém horním rohu obrazovky.



Obr.35. Blokový diagram podprogramu pro měření hmotnosti

11.9 PODPROGRAM PRO KONTROLU FREKVENCE

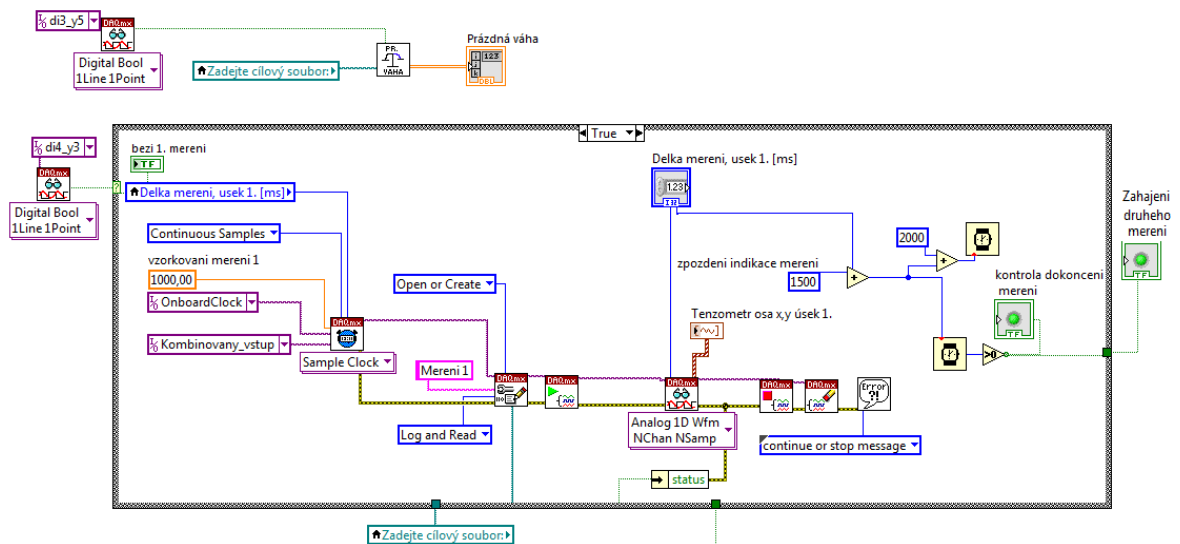
Následuje podprogram pro kontrolu frekvence otáček motoru (název: *kontrola_frekvence.vi*). Základ tvoří opět stavová smyčka, která proběhne po přivedení signálu na digitální vstup s číslem 7. V případě přivedení logické jedničky na vstup smyčky proběhne kontrolní cyklus frekvence. Ta je načtena pomocí VI vytvořeného v DAQ Assistantu od firmy NI. Využití principu čtení použitého v předchozích podprogramech nebylo možné z důvodu nekompatibility těchto prvků s hardwarovým modulem, který byl k dispozici. Při správné konfiguraci vychází z tohoto VI data typu Dynamic. Tyto data je již možné přímo zobrazit na obrazovce pomocí vhodného indikátoru (Frekvence [Hz]). Pro další matematické zpracování je však nutné tyto data převést na formát DBL. Tato hodnota je následně porovnána s číslem zadaným vstupem na obrazovce (Nastavení hranice spínané frekvence). Pokud je naměřená hodnota větší nebo rovna zadané hodnotě, na výstupu funkce se objeví logická jednička. Ta spustí digitální výstup, čím signalizuje počítači robotu stav nízkých otáček. Tato událost je zároveň indikována zhasnutím diody na obrazovce.

Čísla vstupu a výstupu jsou nastavené jako konstanty. Z tohoto důvodu je v případě požadavku čtení z jiného vstupu nebo výstupu nutné změnit tyto hodnoty v blokovém diagramu programu.



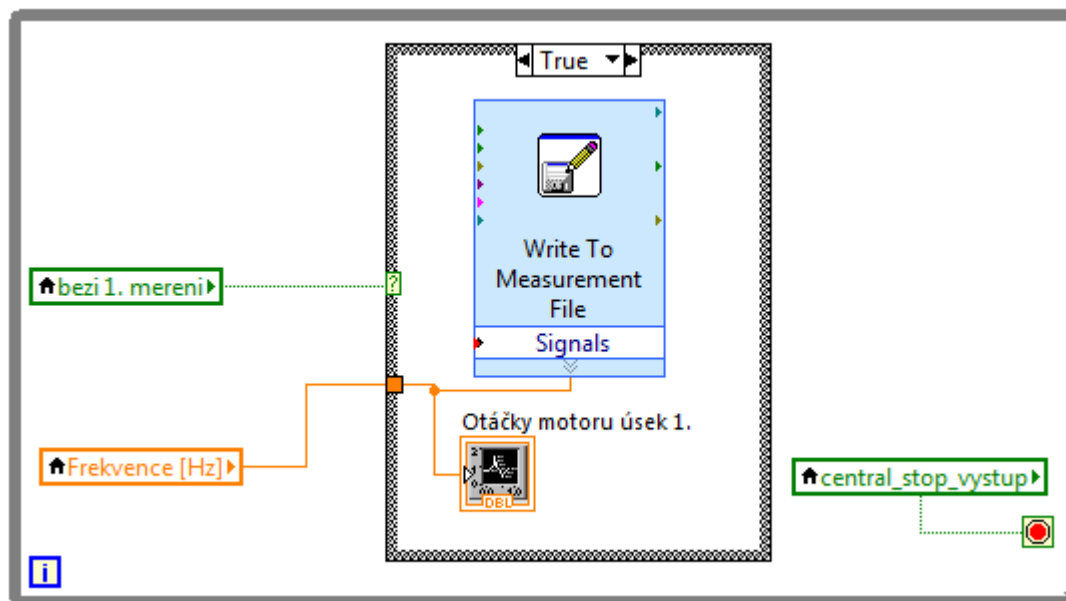
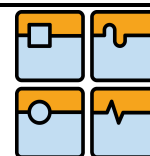
Každé měření se ukládá na samostatný list souboru. Ten je možné otevřít v programu Microsoft Excel.

Následuje stavová smyčka, která proběhne při přivedení signálu na čtvrtý vstup zařízení. V tu chvíli je sepnut indikátor signalizující začátek měření. Tento indikátor slouží zároveň jako proměnná aktivující záznam měření frekvence v závislosti na čase. To probíhá v samostatné smyčce. Následuje nastavení časovače. Zde se inicializuje vzorkovací frekvence měření a analogové vstupy. Program pokračuje inicializací záznamového kanálu a vyčítáním vzorků z analogových vstupů. Doba měřicího úseku je načtena z příslušného vstupu na obrazovce. Zároveň je spuštěn časovač, který s dvouteřinovou prodlevou po ukončení měření spustí druhou stavovou smyčku měření. Zde jsou ukládány data z druhého úseku. Tato smyčka je prakticky totožná s tou předešlou. V přivedení nulového signálu na spouštěcí vstup stavová smyčka obsahuje pouze nulování výstupních proměnných.



Obr.38. Smyčka měření analogového signálu

Poslední cyklickou smyčku tvoří záznam frekvence otáček v závislosti na čase. Uvnitř se nachází stavová smyčka. Ta běží, když je v proměnné signalizující běh měření logická jednička. Tato proměnná je po ukončení měření vynulována, čímž dojde i k ukončení záznamu měření frekvence. Pro záznam frekvence byl použit VI vybraný z knihovny LabVIEW. Toto rozhodnutí bylo nutné z důvodu kompatibility s VI použitým k vyčítání frekvence. Klasická struktura programu použitá při měření analogového signálu končila opět chybou. Na výstupu této funkce je tabulka s časovým údajem zaznamenání jednotlivých vzorků. Proto není problém tyto údaje synchronizovat s údaji naměřenými na analogových vstupech. Měření frekvence v druhém úseku měření má stejnou strukturu, pouze je inicializováno jinou proměnnou.



Obr.39. Smyčka měření frekvence otáček

11.11 TEST FUNKČNOSTI PROGRAMU

Po vytvoření měřicího programu bylo nutné tento program otestovat z důvodu jeho funkčnosti s reálnými komponentami. Jelikož v době psaní programu nebyl fyzicky k dispozici konkrétní snímač otáček ani tenzometrické senzory, bylo pro simulaci PWM signálu použito PLC od firmy Fatek. Toto PLC bylo použito i pro vytváření signálů aktivujících jednotlivá měření jako náhrada za řídicí počítač robotu v době tvorby tohoto programu.

Konkrétně byl použit model B1z-14MJ2-D24. Tento model disponuje osmi digitálními vstupy a šesti digitálními výstupy. Výstupy jsou tranzistorové a umožňují spínat frekvencí 10kHz. Cena tohoto modelu je 2616 Kč bez DPH. Zařízení je napájeno 24V. Výstupní signál je možný v rozsahu 5V - 30V stejnosměrného napětí.

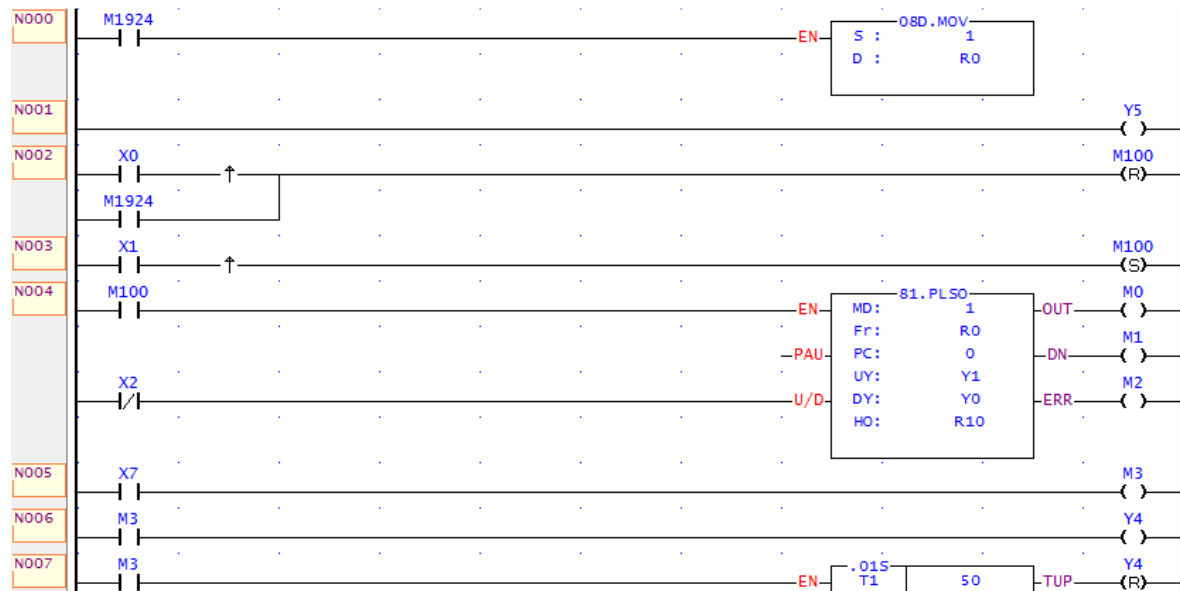


Obr.40. Fatek B1z-14MJ2-D24 [16]

Program generující PWM signál byl napsán v žebříkovém diagramu a je zobrazen na následujícím schématu. Ke generování signálu byla použita funkce PLSO. Tato funkce generuje pulzní signál na výstupu Y1. Frekvence se nastavuje zapsáním hodnoty



do registru R0. Dále program umožňuje po stisknutí tlačítka připojeného na vstup zapnout výstupní signál a tím aktivovat měřící smyčku v LabVIEW.



Obr.41. Žebříkový diagram pulzního signálu

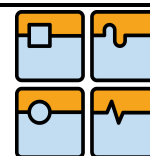
11.12 VOLBA HARDWAROVÉHO VYBAVENÍ A CENOVÁ KALKULACE

Pro odladění a otestování měřícího programu bylo použito zařízení NI myDAQ. Toto zařízení sice disponuje potřebným počtem vstupů a výstupů, ale je určeno výhradně pro školy. Tomu odpovídá i design, montážní prvky a připojovací rozhraní. Zařízení není možné upevnit na DIN lištu do rozvaděče nebo vestavět do počítačové skříně. Stejně tak se nepředpokládá vystavení rušení, které může nastat v průmyslové aplikaci. Komunikace s počítačem je možná pouze pomocí USB vstupu. Výhodou zařízení je malá velikost a nízká cena. Ta je stanovena na 7 430Kč.

Existuje mnoho alternativ pro volbu použitelného zařízení. Jako zařízení zvolené s ohledem na přijatelnou cenu by bylo možné vybrat měřící kartu. Ta se připojuje do počítače pomocí PCI express slotu. Konkrétní modelové označení je PCI-6143. Tato karta je vybavena osmi analogovými vstupy s 16 bitovým rozlišením. Počet digitálních vstupů nebo výstupů je osm. Dále jsou na kartě dva 24bitové timery/countery. Cena karty je 37 400Kč. Teoreticky by bylo možné program upravit, a komunikovat s robotem pomocí sériové linky nebo ethernetu. Tím by se cena snížila o tuto investici. Pokud by byla použita tato karta, bylo by možné ji využít i pro jiné aplikace, jelikož disponuje dostatečným počtem volných vstupů.

Jako minimální softwarové vybavení je třeba použít LabVIEW Base Package. Jedná se o základní vývojové prostředí sloužící k měření a zobrazení. Cena tohoto softwaru je 31 900Kč.

Poslední nutný prvek je stolní počítač. Jelikož se počítač bude nacházet v oddělené místnosti, stačí pro tuto aplikaci běžné provedení. Vybrána byla tato sestava stolního počítače včetně monitoru: Dell Inspiron 3847 + monitor Acer S242HLCbid. Sestava se



skládá z 24 palcového monitoru, klávesnice, myši a počítače osazeného procesorem Intel Core i5. Cena počítače je 16 990Kč plus cena monitoru je 3 690Kč.

Tab 7. Cenová kalkulace měřicího zařízení

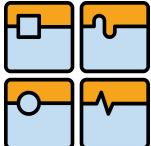
Název	Cena [CZK bez DPH]
PCI-6143	37 400
LabVIEW Base Package	31 900
Dell Inspiron 3847	16 990
Acer S242HLCbid	3 690
Suma	89 980

12 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Po návržení pracoviště bylo vypracováno jednoduché ekonomické zhodnocení. Do něj byly započítány pouze části pracoviště, které se musely nově nakoupit, nebo zbudovat. Cena je uvedena v českých korunách bez DPH. Hodnota stavebních prací je orientační a bude závislá na množství provedených prací.

Tab 8. Cenová kalkulace pracoviště

Název	Cena [CZK bez DPH]
Použitý robot Kuka KR150	224 000
Odhad stavebních prací včetně okna a dveří	200 000
Bus coupler + optický kabel	11 512
Osvětlení, kabeláž a elektroinstalace	20 000
Zámek AZM200	11 512
2 x tlačítko nouzového zastavení	1 250
Měřicí zařízení	89 980
2x tenzometr	41 700
Koncový efektor	50 000
Podstavec robotu	7 000
Suma	681 354

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 69
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

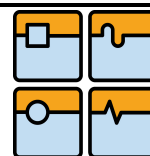
ZÁVĚR

Úkolem práce bylo navrhnout a vyřešit robotické pracoviště pro testování motorových plováků. Současný stav je provizorní. Pracovník testuje motorové plováky ručně, hodnocení je čistě subjektivní a navíc je pracovník vystaven nepříznivým okolním vlivům, tj. vlhku, hluku a zplodinám ze spalovacího motoru. Všechny tyto negativní aspekty jsou eliminovány použitím automatizace - robotu.

Přes to, že cílem práce nebyla potřeba nahrazení pracovní síly strojem, došlo ke značnému zvýšení efektivity práce testující obsluhy. Z původních 30 minut práce věnované testování zbyde odhadem 5 minut na upnutí plováku, spuštění programu a kontroly výsledků. To bude probíhat porovnáním naměřených grafů se vzory. Ušetřený čas může pracovník věnovat například balení produktů a expedici, čímž se sníží jednotvárnost práce pracovníka.

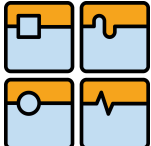
První část práce se zabývá vytvořením layoutu pracoviště včetně jeho 3D modelu. Dále je zpracována zjednodušená analýza rizik, podle které jsou vybrány konkrétní bezpečnostní prvky. Další část práce řeší zařízení pro záznam naměřených dat a navržení systému měření. Součástí je vytvoření testovacího a vyhodnocujícího programu. Také je zvolena konfigurace měřicího zařízení, odpovídajícího zvolenému způsobu komunikace mezi robotem a počítačem. Program byl reálně otestován při připojení na PLC simulující signály senzorů a robotu. Také byl vytvořen řídicí program robotu.

V přílohách práce se nachází jednotlivé programy robotu i měřicího zařízení. Také je zde umístěn formulář pro odhad největšího zjištěného rizika.

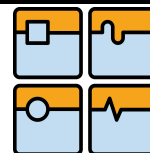


POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] Stránky produktu Jetsurf [online]. © MSR Engines, 2015 [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.jet-surf.com/en/>
- [2] Bosch Rexroth AG, systém EasyHandling [online]. © 2015 [cit. 2015-03-12]. Dostupné z: <http://www.boschrexroth.com/en/xc/products/product-groups/linear-motion-technology/multi-axis-systems-handling-systems/easyhandling/easyhandling-start>
- [3] Výrobce měřících zařízení Omega [online] © 2011 [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: http://www.omegaeng.cz/ppt/pptsc_lg.asp?ref=LCHD&Nav=pref19
- [4] KUKA, KR C2, Provozní návod. KUKA Roboter CEE GmbH. © 2010.
- [5] KUKA, Interbus PCI For KR C2, Provozní návod. KUKA Roboter CEE GmbH. © 2008.
- [6] KUKA, (V)KR 150, 180, 210, 240, 270-2, Technická data. KUKA Roboter CEE GmbH. © 2004.
- [7] Satech, Modulární ochranné systémy. Katalog, 2015.
- [8] Schmersal, AZM 200. Produktová dokumentace [online] © Schmersal GmbH & Co., 2007-2015. Dostupné z: <http://www.schmersal.net/cat?lang=en&produkt=8dp7336471p76qli1n438616dlh9f5>
- [9] Schneider Electric [online]. © 2015 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.schneider-electric.com/>
- [10] Stránky Evropské komise [online]. © European Union, 1995-2015 [cit. 2015-03-19]. Dostupné z: <http://ec.europa.eu/CEmarking>
- [11] MAREK, J. a kol.; Management rizik v konstrukci výrobních strojů. MM Průmyslové spektrum, speciální vydání., 2009; ISSN 1212-2572
- [12] KUKA, Software KR C2, Expertní programování. KUKA Roboter CEE GmbH. © 2003.
- [13] KUKA, softwarové produkty [online]. © 2015 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: http://www.kuka-robotics.com/czech_republic/cs/products/software/hub_technologies/
- [14] HAVLÍČEK J. a kol.: Začínáme s LabVIEW, BEN - technická literatura, 1. Vydání, Praha 2008, ISBN 978-80-7300-245-9
- [15] National Instruments Corporation [online]. © 2015 [cit. 2015-03-13]. Dostupné z: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/cs/nid/210929>
- [16] Distributor zařízení Fatek SEA spol. s r. o. [online]. © 2015 [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: http://www.seapraha.cz/ekonomicka-verze-b1z__c_114_137_517

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 71
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

- [17] KOLÍBAL, Zdeněk. *Průmyslové roboty I. Konstrukce průmyslových robotů a manipulátorů*. PRaM. 1. vyd. Brno: VUT Brno, 1993. 189 s. ISBN 80-214-0526-0.
- [18] KOLÍBAL, Zdeněk a Radek KNOFLÍČEK. *Robotické systémy vyšších generací, studijní opora*, 2005.
- [19] Ripka, P. - Ďaďo, S. - Kreidl, M. - Novák, J.: *Senzory a převodníky* 1. vyd. Praha: ČVUT, Fakulta elektrotechnická, 2005. 135 s. ISBN 80-01-03123-3.
- [20] PÁSEK, J. *Programovatelné automaty v řízení technologických procesů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2007. 128 s.
- [21] DRÁBEK, J. *Sběrnice používané v oblasti programovatelných automatů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 70 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Tomáš Marada, Ph.D.
- [22] PHOENIX CONTACT [online]. © 2015 [cit. 2015-03-12]. Dostupné z: https://www.phoenixcontact.com/online/portal/cz?1dmy&urile=wcm%3apath%3a/czcs/web/main/products/subcategory_pages/INTERBUS_P-04-11/7d12845e-b015-4540-a4d0-df94f0a644e0/7d12845e-b015-4540-a4d0-df94f0a644e0
- [23] HW server s.r.o. [online]. © 1997 - 2014 [cit. 2015-03-12]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/clanek/2005030301>

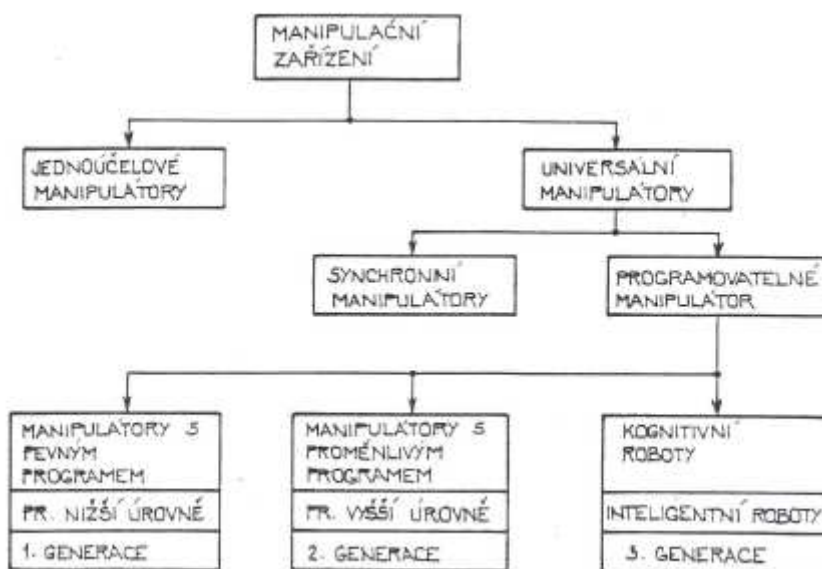


VÝKLADOVÝ SLOVNÍK

Zde se nacházejí definice základních pojmů souvisejících s touto prací.

PRŮMYSLOVÉ MANIPULÁTORY [17]

Průmyslové manipulátory lze rozdělit podle funkčního určení, stupně řízení a složitosti provedení. Toto dělení je zobrazeno na následujícím diagramu.



Obr.42. Rozdělení manipulačních zařízení [17]

JEDNOÚČELOVÉ MANIPULÁTORY

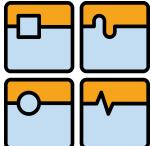
Nejjednodušší jsou jednoúčelové manipulátory. Ty se používají zejména pro automatizaci manipulačních prací u linek i jednoúčelových strojů. Často tvoří neoddělitelnou část výrobního stroje. Jejich funkce je značně omezená. Jsou přizpůsobeny pro konkrétní aplikaci ve výrobním procesu a slouží k manipulaci s přesně definovaným geometrickým tvarem přepravovaného předmětu.

UNIVERSÁLNÍ MANIPULÁTORY

Jde o protiklad k jednoúčelovým manipulátorům. Tyto manipulátory mají vlastní řízení a nejsou závislé na obsluhovaném stroji. Často dokáží manipulovat s množstvím rozličných tvarů a materiálů.

Nejjednodušším druhem jsou synchronní manipulátory. Ty provádějí bezprostřední reakce na pohyby operátora. Tyto manipulátory se proto používají jako zesilující zařízení silových a pohybových veličin. Nejsou řízeny vlastním programem a pracují pouze v online režimu.

Druhý vývojový stupeň tvoří manipulátory s pevným programem. U těchto zařízení se program během činnosti nemění, všechny pohyby i operace jsou vždy stejné. K řízení se

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 73
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

využívají především programovatelné automaty tzv. PLC. Pro tyto manipulátory se už nazývají průmyslovými roboty nižší úrovně.

Vyšší stupeň je tvořen manipulátory s proměnným programem. Ty se od těch předchozích liší pouze tím, že mají možnost přepínání programů podle scény, kde se nacházejí. Řízení obstarávají adaptivně elektrické řídicí systémy. Jsou nazývány průmyslovými roboty druhé generace.

ADAPTIVNÍ PRŮMYSLOVÉ ROBOTY [18]

Adaptivní průmyslový robot je průmyslový robot s vyšší úrovní řízení. Jde o typ univerzálního, programovatelného manipulátoru. Řadí se k průmyslovým robotům třetí generace. Takový robot je schopen v průběhu své činnosti měnit své chování v závislosti na změně parametrů svého okolí. Adaptivitu je možné definovat jako proces, při kterém dochází k přizpůsobení změnám systému. Ty probíhají uvnitř nebo vně systému.

Adaptivita se ve výrobních a montážních systémech v současnosti zavádí především ve svařovacích technologiích, případně u diskrétní manipulace. Tato činnost vyžaduje využití adaptivního řídicího systému, ale též i vyřešení adaptivity koncových členů robotů. Základní činností adaptivního robotu je vzájemná interakce s předmětem technologického prostředí. Jejich vzájemným fyzickým kontaktem se uzavírá mechanická vazba kinematického řetězce robotu. Velice důležité je rozpoznat, jestli dotyk skutečně nastal a stanovit pozici tohoto dotyku. K tomu se využívají různé senzory sil a momentů. Ty jsou umístěna buď do jednotlivých os robotu, nebo do koncového členu co nejbližší vzniku těchto sil.

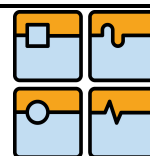
KONCOVÝ EFEKTOR

Tento termín je používán pro zařízení, které jsou zapojeny do interakce robotu s okolním prostředím. Často jde o chapadlo robotu, ale může jít i o jiné zařízení tvořící poslední člen ramene robotu nebo manipulátoru. Koncové efekторы mohou být navrženy buď jako univerzální nebo jako jednoúčelové zařízení. Ty mohou mít libovolný stupeň volnosti. Může jít například o svařovací kleště používané k svařování karoserie automobilu nebo elektrické vřeteno sloužící k dělení a frézování materiálu. Konstrukce efektoru musí být vždy přizpůsobena předpokládanému použití a zátěži. Do efektoru mohou být implementovány senzory, sloužící k rozpoznání pozice a natočení objektu. Takovéto zařízení se nazývá adaptivním koncovým efektořem.

TENZOMETRY [19]

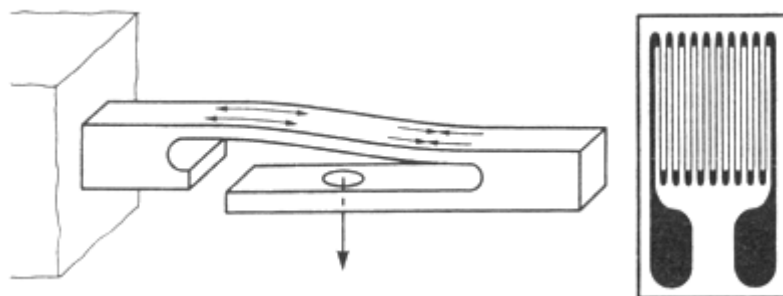
Jedná se o senzory mechanického napětí. Přímé měření mechanického napětí není možné jinak, než využitím jeho závislosti na deformaci. Tento poznatek byl zjištěn v r. 1678 anglickým vědcem Robertem Hookem. V současnosti je možné rozlišit dva druhy tenzometrů a to rezonanční a odporové. Nejpoužívanější jsou odporové tenzometry.

Základní vlastnost odporových tenzometrů se projeví na deformaci drátu vlivem síly. To způsobí změnu hodnoty odporu senzoru. Tyto tenzometry je možné použít až do teploty 800°C. Nejpoužívanější kovové tenzometry jsou v současnosti lepené fóliové. Jsou vyráběny z kovových fólií o minimální tloušce 5μm.



Využití nacházejí buď při analýze mechanického napětí strojů, nebo jako součást senzorů síly, krouticího momentu, tlaku, rychlosti průtoku a parametrů mechanického kmitavého pohybu.

Pro měření síly nebo hmotnosti je nutné použít deformační členy. Ty slouží k převodu deformace vyvolané silou na hodnoty snadno měřitelné senzory mechanického napětí. Chyby zde vzniklé lze jen velice obtížně korigovat.



Obr.43. Pružný člen - přeložený nosník [19] Obr.44. Tenzometrický senzor [19]

PLC [20]

PLC (Programmable Logic Controller) česky programovatelný logický automat je zařízení zpracovávající a vyhodnocující signály z technologického procesu. Tyto signály jsou přivedeny na jejich vstupy. Na základě sekvenčních logických a časových funkcí jsou na výstupy tohoto zařízení přiváděny signály ovládající připojené motory, ventily a jiná zařízení. Program řídicí tuto činnost je nahrán v paměti automatu. Předchůdce tohoto systému byl reléový systém.

V současnosti jsou PLC doplňovány o systém sloužící k vizualizaci a ovládání výrobního procesu. Tento systém se nazývá SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) nebo HMI (Human Machine Interface). Realizace probíhá pomocí PC a systémového softwaru. Existuje velké množství informací, které může tento systém poskytovat:

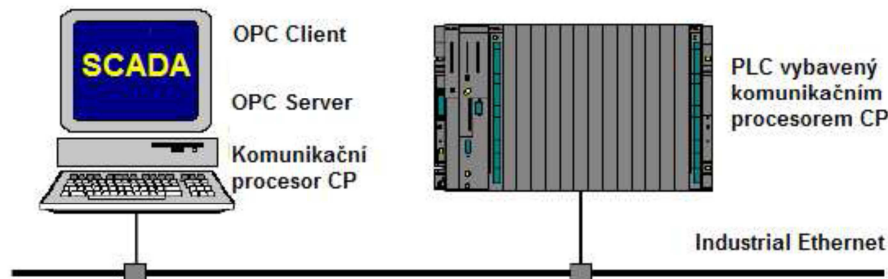
- Provozně – technické informace
- Poruchové informace
- Statistické informace
- Bilanční informace
- Logické informace

Fyzicky se PLC skládá ze zdroje, řídicí jednotky CPU a IO modulů sloužící k doplnění zařízení o vstupy a výstupy nebo komunikační moduly. Pro jednodušší aplikace je možné použít PLC, kde jsou všechny části integrovány do jednoho zařízení.

ROZHRANÍ OPC[20]

Jde o zkratku anglických slov Object Linking and Embedding for Process Control. Jde o specifikace definující standardní soubor objektů, rozhraní a metod pro řízení průmyslových procesů. Tato specifikace je přidána přímo do operačního systému Windows, díky které je

možné propojit zařízení od různých výrobců s libovolným SCADA aplikačním softwarem. Ty mají díky tomu stejný přístup k procesním datům bez ohledu na protokol a typ komunikační sítě.



Obr.45. OPC komunikace mezi PLC a SCADA [20]

PRŮMYSLOVÉ SBĚRNICE [21]

Průmyslové sběrnice slouží v současnosti jako velice důležitý nástroj pro sběr, distribuci a vyhodnocení dat. Tyto zařízení musí splňovat požadavky pro extrémní podmínky použití. Jedná se o sériové komunikační sběrnice používané v průmyslových provozech. Komunikace je realizována pomocí jednoho nebo dvou vodičů. Datová komunikace je přenášena formou změny napětí nebo proudu. Základ průmyslových komunikačních systémů je postaven na vrstevném referenčním modelu ISO/OSI. Ten je definován mezivrstvou komunikace. Existuje velké množství těchto komunikačních systémů, které se liší přenosovým protokolem, zabezpečením provozu, aplikační vrstvou atd. Podle typu řízení a systému je možné rozlišit:

- Vrstvu senzorů a akčních členů (Sensor/Aktor Bus)
- Vrstvu sběrnicových zařízení (Devicebus)
- Vrstvu průmyslových komunikačních systémů (Fieldbus)

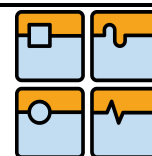
Mezi v současnosti nejpoužívanější průmyslové sběrnice patří CAN, ProfiBus, InterBus, průmyslový Ethernet, PROFINet, EtherCAT MODBUS aj.

PROFIBUS

Jedná se o jeden z nejrozšířenějších komunikačních standardů. Tato sběrnice poskytuje výrobní flexibilitu, nezávislost, otevřenost a zabezpečení komunikace napříč výrobky od různých firem. Základ sběrnice leží na komunikačním protokolu ISO/OSI. Počátek tohoto standardu se pojí k roku 1987. Zakládající firmy byly Bosh, Siemens a Klöckner & Miller. Specifikaci určuje norma EN 50170. Ta definuje tři komunikační standardy.

- Profibus-FMS – slouží pro datovou komunikaci mezi PLC a polními zařízeními.
- Profibus-DP – slouží pro rychlý a cyklický přenos dat s polními zařízeními
- Profibus-PA – slouží pro použití v náročných prostředích v procesní automatizaci

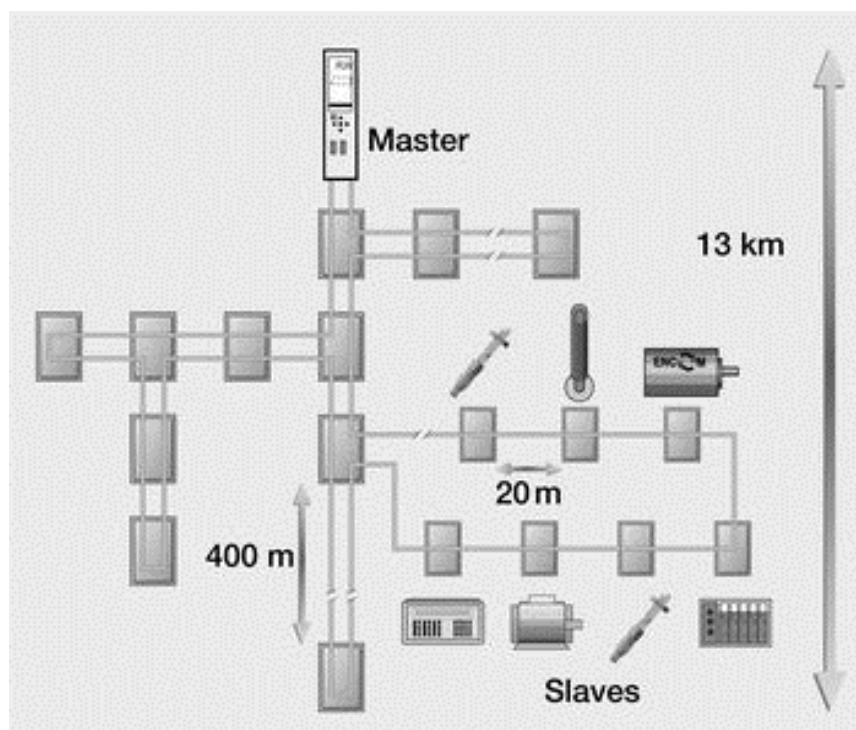
Přenosová rychlost na úrovni FMS se pohybuje do 500 kbit/s. Fyzický přenos zajišťuje sběrnice RS-485 nebo optické vlákno.

**INTERBUS[22]**

Jedná se o standardizovanou průmyslovou sběrnici. Slouží k přenosu mezi řídicím zařízením a senzorem, případně aktuátorem či rozhraním pro vstupy a výstupy. Řídicím zařízením mohou být různé PLC či průmyslové počítače. Využití nachází hlavně v automatizační technice a u robotických pracovišť.

Tento systém vyvinula firma Phoenix Contact u roce 1987. Interbus je standardizovaný dle evropské normy EN 50254, mezinárodní normy IEC 61158 a národní normy DIN 19258. Nejčastější využití nachází v oblasti sériového přenosu dat mezi senzorem a aktorem. Rychlost přenosu dat je menší než 5 ms. Vysoká je i bezpečnost přenosu. V současnosti nachází uplatnění ve více než 16 milionech aplikací.

Topologicky jde o síť s kruhovou topologií (tzv. ring systém). Všechny systémy jsou propojeny a uzavřeny do jedné přenosové smyčky. Každé zařízení přijme celý signál, zesílí ho a pošle ho dál na další prvek v síti. To umožňuje přenos na velké vzdálenosti. K přenosu se využívá dvou vodičový kabel. Ten může být buď optický, nebo metalický. měděného vodiče se využívá standardu dle specifikace RS-485 a rychlost dosahuje 500kb/s. Vzdálenost mezi sousedními zařízeními je omezena na 400m. Při použití optického kabelu je možné tuto vzdálenost prodloužit až na 3600m. Topologie sítě je znázorněna na obr. 46.



Obr.46. PROFIBUS topologie sítě [23]

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ**

CAD	Computer aided design
DBL	Double precision float
G kód	ISO kód pro řízení obráběcích strojů
KRL	Kuka Robot Language
LIN	Lineární pohyb
NI	National Instruments
OPC	Object linking and embedding for Process Automation
PLC	Programmable Logic Controller
PTP	Point to point
PTP HOME	poloměr kliky
PWM	Pulse Width Modulation
SAK	Shoda mezi aktuální a programovou pozicí robotu
VI	Virtual instrument

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1. SPS.sub (KRL)	81
Příloha 2. TESTOVANI_PLOVAKU.DAT (KRL).....	82
Příloha 3. TESTOVANI_PLOVAKU.SRC (KRL)	83
Příloha 4. Formulář pro odhad rizika (analýza rizik).....	85
Příloha 5. Graf pro odhad velikosti rizika a matice rizik	86
Příloha 6. Řídící program robotu	CD
Příloha 7. Testovací program LabVIEW	CD
Příloha 8. Layout pracoviště	CD
Příloha 9. 3D model pracoviště.....	CD

SEZNAM TABULEK

Tab.1. Srovnání možných řešení.....	21
Tab.2. Technické parametry robotu	23
Tab.3. Dokumentace zdrojů relevantních nebezpečí u strojních zařízení	37
Tab.4. Tabulka seznamu možných rizik	38
Tab.5. Analýza významných nebezpečí	40
Tab.6. Cenová kalkulace Bus coupleru	50
Tab 7. Cenová kalkulace měřicího zařízení.....	68
Tab 8. Cenová kalkulace pracoviště	68

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr.1. Motorový plovák JetSurf GP	14
Obr.2. Ovladač řízení	15
Obr.3. Bazén pro testování plováku	16
Obr.4. Náhled na stávající pracoviště.....	16
Obr.5. Proudění vody v zadní části bazénu.....	17
Obr.6. Odsávací hadice spalin.....	17
Obr.7. Manipulační systém EasyHandling od Bosch Rexroth.....	21
Obr.8. Zakoupený robot Kuka KR150	22
Obr.9. Náčrt tenzometrické části koncového efektoru	23
Obr.10. LCDH-500.....	24
Obr.11. Schéma robotu a řízení od firmy KUKA	24
Obr.12. Přehled řídicího systému robotu	26
Obr.13. Rozšiřující karta IBS PCI SC/RI-LK.....	28
Obr.14. Návrh půdorysu robotického pracoviště	29
Obr.15. 3D vizualizace robotického pracoviště	30
Obr.16. Rozsah robotu KR150.....	30
Obr.17. Podstavec robotu	31
Obr.18. Zámek AZM200	33
Obr.19. Tlačítko nouzového zastavení XALK178E	34
Obr.20. Znak CE prohlášení o shodě.....	35
Obr.21. Blokový diagram interakcí jednotlivých prvků.....	36
Obr.22. Blokový diagram komunikace přes Bus terminál.....	44
Obr.23. Blokový diagram komunikace robotu a PC po sériové lince	45
Obr.24. Blokový diagram komunikace robotu a PC pomocí průmyslové sběrnice	46
Obr.25. Blokový diagram komunikace s využitím PLC.....	47
Obr.26. Bus coupler od firmy Phoenix Contant.....	49
Obr.27. Základní struktura programu robotu	52
Obr.28. Vývojový diagram celého programu.....	53
Obr.29. Vývojový diagram měřícího cyklu.....	54
Obr.30. Blokový diagram vyhodnocujícího programu	57
Obr.31. NI MyDAQ	59
Obr.32. NI MAX, konfigurace vstupu měřícího frekvenci	30
Obr.33. Stromová struktura programu	61
Obr.34. Rozhraní programu NI MAX.....	62
Obr.35. Blokový diagram podprogramu pro měření hmotnosti.....	63
Obr.36. Blokový diagram podprogramu pro kontrolu otáček	64
Obr.37. Inicializace hlavního programu.....	64
Obr.38. Smyčka měření analogového signálu.....	65
Obr.39. Smyčka měření frekvence otáček.....	66
Obr.40. Fatek B1z-14MJ2-D24.....	66
Obr.41. Žebříkový diagram pulzního signálu	68
Obr.42. Rozdělení manipulačních zařízení	72
Obr.43. Pružný člen - přeložený nosník	74
Obr.44. Tenzometrický senzor	74
Obr.45. OPC komunikace mezi PLC a SCADA	75
Obr.46. PROFIBUS topologie sítě.....	76



PŘÍLOHA 1.

SPS.SUB (KRL)

```
DEF Submit ( )
DECLARATIONS
USER DECL

;DEKLARACE PROMENNYCH A ANALOG. VSTUPU A VYSTUPU
REAL TAH
SIGNAL SENSOR1 $ANIN[1]
REAL TLAK
SIGNAL SENSOR2 $ANIN[2]
SIGNAL SENSOR3 $ANOUT[1]
SIGNAL SENSOR4 $ANOUT[2]

INI

LOOP
USER PLC
;CYKlickA KONTROLA TIMERU
IF $TIMER[1]==3000 DO $OUT[5]=TRUE
IF $TIMER[1]==6000 DO $OUT[6]=TRUE
IF $TIMER[1]==9000 DO $OUT[7]=TRUE

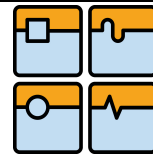
;CYKlickE CTENY VSTUPU A PREPIS DO VYSTUPU
ANIN ON TAH = 1 * SENSOR1
ANIN ON TLAK = 1 * SENSOR2

SENSOR3 = TAH
SENSOR4 = TLAK

ANIN OFF TAH
ANIN OFF TLAK

ENDLOOP

USER SUBROUTINE
```



PŘÍLOHA 2.

TESTOVANI_PLOVAKU.DAT (KRL)

```
DEFDAT testovani_plovaku_2 PUBLIC
;----- Deklaracní cast -----
DECL AXIS HOME

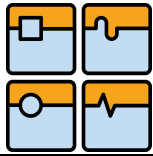
DECL POS pozice_vazeni={X 0.0, Y 0.0, Z 0.0, A 0, B 0, C 0}
DECL POS zatez_pozice_1={X 0.0, Y 0.0, Z 0.0, A 0, B 0, C 0}
DECL POS zatez_pozice_2={X 0.0, Y 0.0, Z 0.0, A 0, B 0, C 0}
DECL POS zatez_pozice_3={X 0.0, Y 0.0, Z 0.0, A 0, B 0, C 0}

SIGNAL upnuti_plovaku $IN[1]
SIGNAL potvrzeni_zmereni $IN[2]
SIGNAL vypadek_otacek $IN[3]
SIGNAL ulozeni_mereni $IN[4]

SIGNAL vazeni_plovaku $OUT[1]
SIGNAL odsavani $OUT[2]
SIGNAL start_motoru $OUT[3]

SIGNAL otacky_motoru $ANOUT[1]

SIGNAL sila_fz $ANIN[1]
;----- Inicialni cast -----
HOME={AXIS: A1 0.0, A2 0.0, A3 0.0, A4 0, A5 0, A6 90}
ENDDAT
```



PŘÍLOHA 3.

TESTOVANI_PLOVAKU.SRC (KRL)

```
DEF testovani_plovaku_2( )

;----- Deklaracní cast -----
$BASE=$WORLD ;nastaveni ss base do paty robotu
$TOOL=$NULLFRAME ;nastaveni ss nástroje do stredu priruby
INTERRUPT DECL 1 WHEN vypadek_otacek==FALSE DO stop_cyklu() ;inicializace
interruptu
INTERRUPT DECL 2 WHEN $OUT[5]=TRUE DO mereni_2() ;jednotka ms, interrupt
menici otacky faze 1
INTERRUPT DECL 3 WHEN $OUT[6]=TRUE DO mereni_3() ;jednotka ms, interrupt
menici otacky faze 2
INTERRUPT DECL 4 WHEN $OUT[7]=TRUE DO konec_mereni() ;jednotka ms,
interrupt ukoncujiaci mereni

;----- Inicialni cast -----
$OV_PRO=50

;nastaveni pocatecnich hodnot vystupu
upnuti_plovaku=FALSE
vazeni_plovaku=FALSE
start_motoru=FALSE
odsavani=FALSE
otacky_motoru=0

$OUT[5]=FALSE
$OUT[6]=FALSE
$OUT[7]=FALSE

$TIMER[1]=0

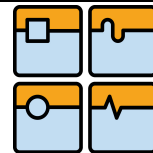
;----- Hlavní cast -----
;postupne vykonavane podprogramy
PTP HOME ; SAK pohyb
potvrzeni_upnuti_plovaku()
PTP pozice_vazeni
vazeni_prazdneho_plovaku()
zapnuti_odsavani()
zapnuti_motoru()
LIN zatez_pozice_1
mereni()
LIN pozice_vazeni
vazeni_prazdneho_plovaku()
vypnuti_motoru()
PTP HOME ; SAK pohyb

END

DEF potvrzeni_upnuti_plovaku()
  WAIT FOR upnuti_plovaku=TRUE

END

DEF vazeni_prazdneho_plovaku()
  vazeni_plovaku=TRUE
  WAIT SEC 3
  vazeni_plovaku=FALSE
  WAIT FOR potvrzeni_zmereni=TRUE
```



```
END
DEF zapnuti_odsavani()
odsavani=TRUE
END
DEF zapnuti_motoru()
otacky_motoru = 0.3
start_motoru=TRUE
WAIT SEC 3
INTERRUPT ON 1 ;zacatek kontroly vypadku otacek (vypnuti kontroly az na
konci mereni)
END
DEF mereni() ;definice mericiho cyklu
$TIMER_STOP[1]=FALSE ;start timeru

LOOP ;beh smycky, vyber bodu kam se ma ponorit plovak

INTERRUPT ON 2
INTERRUPT ON 3
INTERRUPT ON 4

    IF (sila_fz > 0.3) THEN
        LIN_REL {z 10} ;pokud je sila v ose y vetsi nez 0.3 tak se posun v
ose z o 10mm dolu
    ENDIF

    IF (sila_fz < 0.3) THEN
        LIN_REL {z -10}
    ENDIF

    IF (sila_fz = 0.3) THEN
        LIN_REL {z 0}
    ENDIF

ENDLOOP

END

DEF stop_cyklu();pri vypadku otacek zastaveni mereni (dojde k preruseni
programu)
BRAKE
END

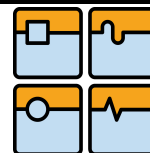
DEF mereni_2() ;zmena otacek motoru po prvni useku casovani
otacky_motoru = 0.5 ;odpovida 5V na vystupu
WAIT FOR ulozeni_mereni=TRUE ;cekej na potvrzeni ulozeni
END

DEF konec_mereni() ;zmena otacek motoru po prvni useku casovani
otacky_motoru = 0.8 ;odpovida 8V na vystupu
WAIT FOR ulozeni_mereni=TRUE ;cekej na potvrzeni ulozeni
$TIMER_STOP[1]=TRUE ;vypnuti timeru
END
DEF vypnuti_motoru()
INTERRUPT OFF 1 ;konec kontroly vypadku otacek (vypnuti kontroly na konci
mereni)
start_motoru=FALSE
odsavani=FALSE
END
```

PŘÍLOHA 4:

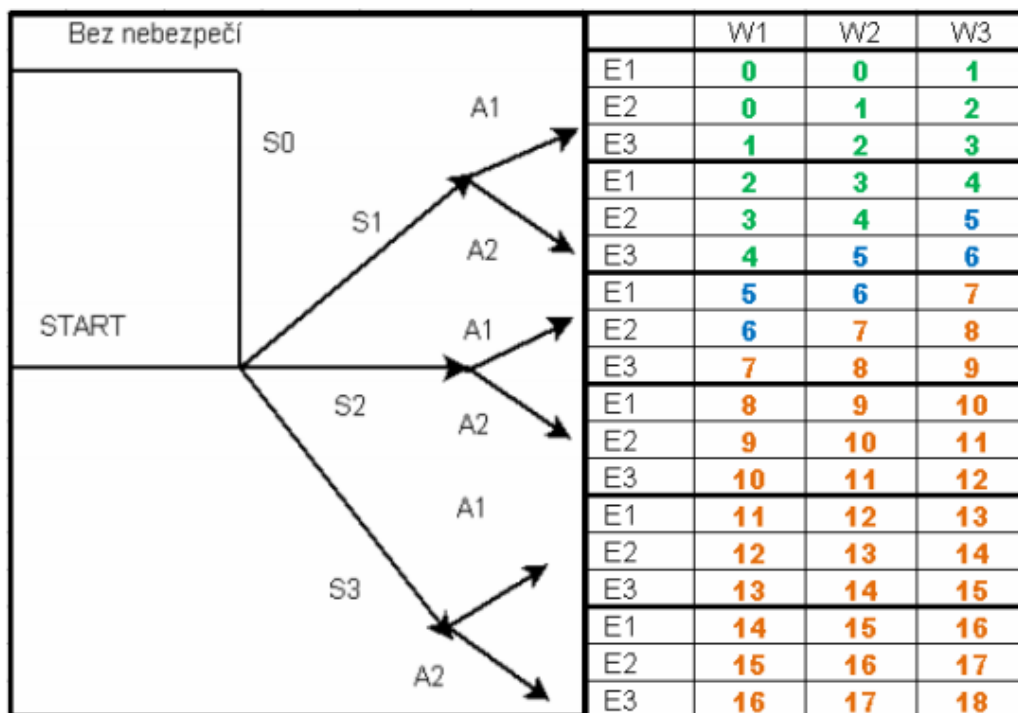
FORMULÁŘ PRO ODHAD RIZIKA (ANALÝZA RIZIK)

VUT v Brně, FSI ÚVSSR	FORMULÁŘ PRO ODHAD RIZIKA		stroj: Robotické pracoviště
	zpracoval: Tomáš Konečný		datum: 23.5.2015
Číslo nebezpečí (ČSN EN ISO 10218-1)	Identif. číslo	Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 10218-1:	
1.1	1	1. Mechanická nebezpečí	
		Vtažení nebo zachycení nemožnost opustit buňku robota (dveřmi buňky) pro zachyceného operátora v automatickém režimu	
Životní etapa stroje: provoz	Nebezpečný prostor: zabezpečený prostor stroje		
Ohrožené osoby: operátor	Provozní stav stroje: spuštěno		
Popis nebezpečné situace/události:	Nebezpečí spojená se špatně navrženy bezpečnostními prvky pracoviště, případně jejich poruchou a spuštěním robotu za přítomnosti lidské obsluhy. Hrozí nebezpečí zranění ramenem robota, nebo otrávením výfukovými plyny.		
Počáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví:	S3 - smrt	Velikost rizika 15
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 - často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E3 - sotva možné	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 - malá	
KROK 1: Opatření zabudovaná v konstrukci (dle ČSN EN ISO 10218-1)			
Popis opatření:	Vyhrazení prostoru v pracovišti mimo dosah robotu kam se může pracovník schovat.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví:	S3 - smrt	Velikost rizika 12
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 - zřídka a častěji	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 - možné za určitých okolností	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 - malá	
KROK 2: Bezpečnostní ochrana a doplňková ochrana (dle ČSN EN ISO 10218-1)			
Popis opatření:	Uvnitř buňky se musí nacházet tlačítka nouzového zastavení, zámek dveří musí být napojen na bezpečnostní okruh robotu a musí odpovídat příslušným normám. Nezávislý okruh cirkulace vzduchu.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví:	S2 - těžké zranění	Velikost rizika 7
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 - zřídka a častěji	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E3 - sotva možné	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 - malá	
KROK 3: Informace pro používání (dle ČSN EN ISO 10218-1)			
Popis opatření:	Bezpečnostní varování na dveřích: Nepovolaným vstup zakázán! Osoby mající přístup do pracoviště musí být řádně proškoleny ohledně bezpečnostních prvků.		
Zbytkové riziko	Závažnost možné škody na zdraví:	S2 - těžké zranění	Velikost rizika 5
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 - zřídka a častěji	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 - možné	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 - malá	
VALIDACE:	Opatření jsou dostatečná:	dne:	23.5.2015



PŘÍLOHA 5:

GRAF PRO ODHAD VELIKOSTI RIZIKA A MATICE RIZIK [11]



Popis značek v grafu:

Míra poškození

- S0 nehrozí škoda, nejedná se o nebezpečí
- S1 lehké zranění
- S2 těžké zranění
- S3 smrt

Doba pobytu v oblasti nebezpečí

- A1 zřídka až častěji
- A2 často až trvale

Možnost rozpoznání a vyvarování se nebezpečí

- E1 možné
- E2 zřídka možné
- E3 sotva možné

Pravděpodobnost vzniku nebezpečné události

- W1 pravděpodobnost vzniku je malá
- W2 pravděpodobnost vzniku je střední
- W3 pravděpodobnost vzniku je velká