České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Katedra řídicí techniky

DIPLOMOVÁ PRÁCA

Trojosé manipulátory

Praha, 2005 Repák Tomáš

Prehlásenie

Prehlasujem, že som svoju diplomovú prácu vypracoval samostatne a použil som len podklady (literatúru, projekty, SW atď.) uvedené v priloženom zozname.

Nemám závažný dôvod proti použitiu tohoto školského diela v zmysle § 60 Zákona č.121/2000 Sb. , o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon).

V Prahe dňa _____ _____

podpis

Poďakovanie

Ďakujem vedúcemu diplomovej práce Doc. Ing. Janu Bílkovi, CSc. za poskytnutú podporu, cenné informácie a trpezlivosť pri mojich otázkach. Moje poďakovanie si ďalej zaslúži Ing. Ján Beľan, zamestnanec firmy Manex, spol. s r.o., ktorý bol mojím externým konzultantom. Vďaka patrí aj tým, ktorí ma podporovali pri tejto práci ale aj počas celého môjho vysokoškolského štúdia.

Abstrakt

Diplomová práca ponúka definíciu a stručný prehľad o typoch priemyselných robotov a manipulátorov. Zaoberá sa ich konštrukčným riešením (pohonné jednotky, úchopné hlavice, snímače), hardwarom a softwarom pre riadenie. Na základe tohoto prehľadu sme návrhli riadiaci systém pre konkrétny reálny priemyselný manipulátor SKATE M03.

Abstract

This diploma thesis describes definition and short review of industrial robots and manipulators. Thesis is about drive units, efectors and sensors used for their construction, also about hardware and software for control. Based on this review we design control system for one concrete real industrial manipulator SKATE M03.

Obsah

Zoznam použitých neštandardných skratiek **1**

1 Úvod **2**

2 Roboty, priemyselné roboty a manipulátory **3**

2.1 Definícia robotov, priemyselných robotov a manipulátorov 3

2.2 Rozdelenie robotov a manipulátorov 5

2.2.1 Všeobecné rozdelenie 5

2.2.2 Jednoúčelové manipulátory 6

2.2.3 Univerzálne manipulátory 8

2.2.4 Ďalšie delenie 10

3 Konštrukcia manipulátorov **14**

3.1 Mechatronický prístup ku konštrukcii manipulátorov 14

3.2 Tuhosť PRaM 15

3.3 Geometria PRaM 17

3.3.1 Geometria manipulátora SKATE M03 19

3.4 Pohonné jednotky 22

3.4.1 Druhy pohonov 22

3.4.2 Elektrický pohon 25

3.4.3 Pneumatický a hydraulický pohon 26

3.4.4 Kombinovaný pohon 28

3.4.5 Pohon manipulátora SKATE M03 29
3.4.6 Pohon točne 29
3.5 Pracovné hlavice 31
3.5.1 Pracovná hlavica manipulátora SKATE M03 32

4 Riadiace systémy manipulátorov 34
4.1 Hardware pre riadenie manipulátorov 34
4.1.1 Hardwarové požiadavky manipulátorov 34
4.1.2 Hardware manipulátora SKATE M03 36
4.2 Software pre riadenie manipulátorov 40
4.2.1 Software manipulátora SKATE M03 41
4.3 Vizualizácia technologického procesu 47

5 Záver 48

Literatúra 48

Zoznam príloh 49

Zoznam obrázkov

2.1 Základné súradnicové systémy robotov 6

2.2 Rozdelenie manipulačných zariadení 7

2.3 Teleoperátor, časť MASTER 8

2.4 Teleoperátor, časť SLAVE 8

2.5 Jeden z objaviteľov marsu - robot Opportunity 10

2.6 Manipulačný priemyselný robot firmy Manex 11

2.7 Technologický robot firmy Reis Robotics s plazmovou hlavicou 12

3.1 Mechatronický prístup ku konštrukcii priemyselného robota 16

3.2 Kinematický reťazec minimalizujúci deformáciu 18

3.3 Otvorený kinematický reťazec 18

3.4 Model manipulátora SKATE M03 19

3.5 Vozík manipulátora SKATE M03 20

3.6 Časť koľajnicovej dráhy manipulátora SKATE M03 21

3.7 Točňa 21

3.8 EC valcový motor firmy MAXON Motor AG 26

3.9 Elektromotory manipulátora SKATE M03 30

3.10 Bezpiestnicový pneumatický valec SKATE M03 30

3.11 Kombinovaná hlavica 31

3.12 Nožnicová úchopná hlavica 32

3.13 Hlava manipulátora SKATE M03 33

4.1 Riadiaci systém manipulátora SKATE M03 37
4.2 Rozloženie snímačov na manipulátore SKATE M03 38
4.3 Rotačný inkrementálny snímač IFM electronic - RB6014 39
4.4 Indukčný snímač IFM electronic - IGS204 39
4.5 Indukčný snímač IFM electronic - IFS204 39
4.6 Laserový zameriavač IFM electronic - OG5060 40
4.7 Koncový snímač Omron - D4D-1120 40
4.8 Optický snímač IFM electronic - OJ5034 40
4.9 Vývojový diagram manipulátora SKATE M03 41
4.10 Vývojový diagram inicializácie manipulátora SKATE M03 42
4.11 Vývojový diagram pre nakladanie manipulátora SKATE M03 43
4.12 Vývojový diagram pre vykladanie manipulátora SKATE M03 44
4.13 Vývojový diagram pre točňu 46
4.14 Operačný panel OP7 47

Zoznam tabuliek

2.1 Rozdelenie PRaM podľa nosnosti 12

2.2 Rozdelenie robotov podľa presnosti polohovania 12

Zoznam použitých neštandardných skratiek

PRaM - Priemyselný robot a manipulátor
CP - Continous path
PTP - Point-to-point
MP - Multi-point
ALU - Arithmetic logic unit
EC - Electronic commutation
DC - Direct current
IRC - Incremental rotating counter
OP - Operátorský panel
PLC - Programable logical controler

Kapitola 1

Úvod

Priemyselné roboty a manipulátory (PRaM) sa začali nasadzovať do technologického procesu v osemdesiatych rokoch dvadsiateho storočia. Odvtedy prešli dlhým vývojom po konštrukčnej stránke ako aj po stránke riadenia. Roboty dnes vykonávajú svoju činnosť rýchlo a spoľahlivo, aj preto je ich nasadzovanie dnes samozrejmosťou.

V prvej časti diplomovej práce uvedieme stručný prehľad PRaM a priblížime si mechatronický prístup ku konštrukcii manipulátorov s ohľadom na riadenie. Popíšeme rôzne druhy pohonných jednotiek a pracovných hlavíc používaných pri stavbe robotov a manipulátorov.

V druhej časti sa zameriame na konkrétne riešenie riadiaceho systému manipulátora SKATE M03 (vyrobeného firmou Manex , spol. s r.o.) v reálnych podmienkach.

Kapitola 2

Roboty, priemyselné roboty a manipulátory

2.1 Definícia robotov, priemyselných robotov a manipulátorov

Pojem „robot“ dobre vystihuje definícia podľa Ing. Ivana Havla, CSc. [1] v znení [4, str.20]:

> **„Robot je automatický alebo počítačom riadený integrovaný systém, schopný autonómnej, cieľovo orientovanej interakcie s prirodzeným prostredím, podľa inštrukcií od človeka. Táto interakcia spočíva vo vnímaní a rozpoznávaní tohto prostredia a v manipulovaní s predmetmi, popr. v pohybovaní sa v tomto prostredí.“**

Táto definícia však zahŕňa robotické systémy aj pre rôzne nielen priemyslové použitie. Ďalej môžeme tvrdiť, že robot predstavuje zariadenie, ktoré sa vyznačuje viacerými vlastnosťami [2] :

1.) **Manipulačná schopnosť**, t.j. schopnosť uchopovať objekty, prenášať ich a vykonávať na nich úpravy, prípadne vykonávať montážnu činnosť a manipulovať s nástrojmi. Chápe sa to v zmysle pracovať s nimi, teda pracovať ako výrobné zariadenie (tzv. technologický robot).

2.) **Univerzálnosť**, čo znamená, že zariadenie neslúži iba k jednému účelu, ale po zmene programu, uchopného zariadenia alebo nástroja, je ho možné použiť i pre iné účely pri iných podmienkach

3.) Väzba s prostredím, t.j. **možnosť vnímania** pomocou čidiel (senzorov) napodobujúcich zmysly človeka. Sú to rôzne väzby ako: akustická (sluch), vizuálna (zrak), dotyková (hmat) ale aj iné, ktoré človek vnímať nedokáže (ultrazvuk, infračervené a ultrafialové spektrum svetla,...).

4.) **Autonómnosť** chovania, t.j. schopnosť automatického vykonávania zložitých operácií podľa určitého programu. Dôležitá je hlavne flexibilita pri programovaní, či už človekom alebo robotom samotným.

5.) Priestorová sústredenosť jednotlivých zložiek (tzv. **integrovanosť)** v rámci možností do jediného celku. Netýka sa to však riadiaceho systému, ktorého dobrou vlastnosťou je práve modularita. Dôsledkom integrovanosti je okrem iného i ľahká manipulácia pri transporte. V niektorých prípadoch je mobilita robota jednou z konštrukčných požiadaviek.

Pojem „priemyselný robot“ lepšie vystihuje definícia podľa prof. P.N. Beljanina [3] :

> **„Priemyselný robot je autonómne fungujúci stroj-automat, ktorý je určený k reprodukcii niektorých pohybových a duševných funkcií človeka pri vykonávaní pomocných a základných výrobných operácií bez bezprostrednej účasti človeka a ktorý je k tomuto účelu vybavený niektorými jeho schopnosťami (sluchom, zrakom, hmatom, pamäťou a podobne), schopnosťou samovýuky, samoorganizácie a adaptácie, t.j. prispôsobeniu k danému prostrediu.“**

Ďalšia pre nás dôležitá definícia sa týka pojmu „priemyselný manipulátor“. Doc. Ing. Shulz,CSc. ho definuje takto [6] :

> **„Priemyselný manipulátor je manipulačné zariadenie vybavené chápadlami, alebo nástrojmi, pracujúce vo viacerých pohybových osiach, v pevne stanovenom programe.“**

Priemyselné roboty sú síce funkčne podobné robotom, ale hlavný rozdiel je v pružnej programovateľnosti robota. Manipulátor je preto periférne zariadenie výrobnej techniky, ktoré vykonáva technologický cyklus v pevne stanovenom programe.

2.2 Rozdelenie robotov a manipulátorov

2.2.1 Všeobecné rozdelenie

V rôznych publikáciách nájdeme rôznorodé delenie robotov a manipulátorov. Jedným z kritérií môžu byť aj ich schopnosti (t.j. napríklad kvalita riadiaceho systému, nosnosť, dosah, presnosť, kinematiky,...)

Ďalším zo základných a logických delení, ktoré sa týka mechanickej časti robota, je delenie podľa zvolenej kinematiky, t.j. súradnicového systému, v ktorom robot pracuje (obr. 2.1). Poznáme tieto súradnicové systémy:

a) **Kartézske** (pravouhlé) súradnice, pod ktorými rozumieme pohyb po troch lineárnych na seba kolmých osiach. Pracovný priestor takého robota má tvar hranola. Patria sem takmer všetky roboty portálového typu.

b) **Cylindrické** (valcové) súradnice,t.j. jedna os rotácie a dve lineárne posuvy v dvoch osiach. Pracovný priestor má tvar podkovy s obdĺžnikovým alebo štvorcovým prierezom.

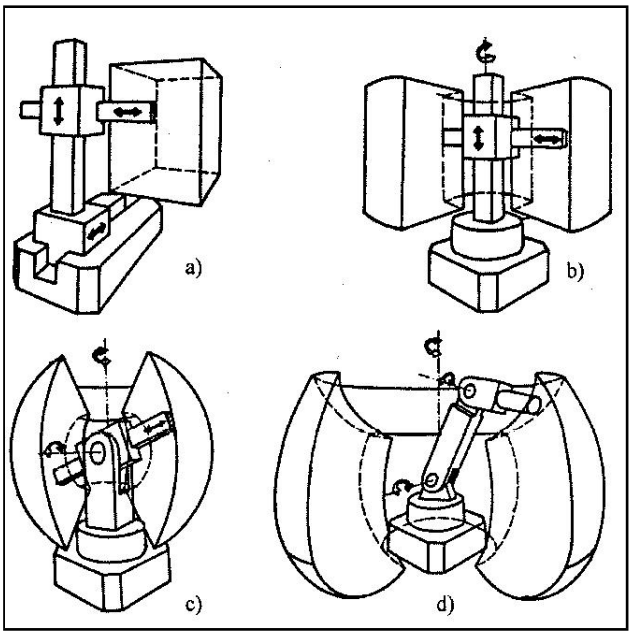
c) **Sférické** (polárne) súradnice, čo znamená dva stupne voľnosti realizované rotáciou a lineárny posuv v jednej osi.

d) **Uhlové** (angulárne) súradnice znamenajú rotačný pohyb vo všetkých troch osiach. Pracovný priestor má nepravidelný tvar daný kinematikou a vzdialenosťou jednotlivých osí od koncového člena.

Samozrejme existuje niekoľko netypických konštrukcií,kde konečná kinematika je kombináciou vyššie uvedených. Príkladom takýchto konštrukcií by mohli byť zváracie roboty, ktoré majú 5 až 6 stupňov voľnosti. Ich výsledný pracovný priestor bude zložený z 4 základných súradnicových systémov.

Podľa softwarových vlastností by sme roboty a manipulátory mohli zaradiť do týchto skupín:

- programovateľné roboty vybavené **CP**(continual path) **riadením**
- programovateľné roboty vybavené **PTP**(point-to-point) alebo **MP** (multi-point) **riadením**
- programovateľné roboty (manipulátory) bez servoriadenia



Obr. 2.1: Základné súradnicové systémy robotov

- ručné manipulátory

CP riadenie umožňuje kopírovať manipulátoru ľubovoľnú krivku. U vyspelejších robotov sa to deje automaticky tak, že robot volí dráhu pomocou aktuálnych dát zo svojich senzorov. Túto dráhu stanovia interpolátory, pomocou ktorých sú udávané funkčné závislosti medzi pohybmi v smere jednotlivých osí.

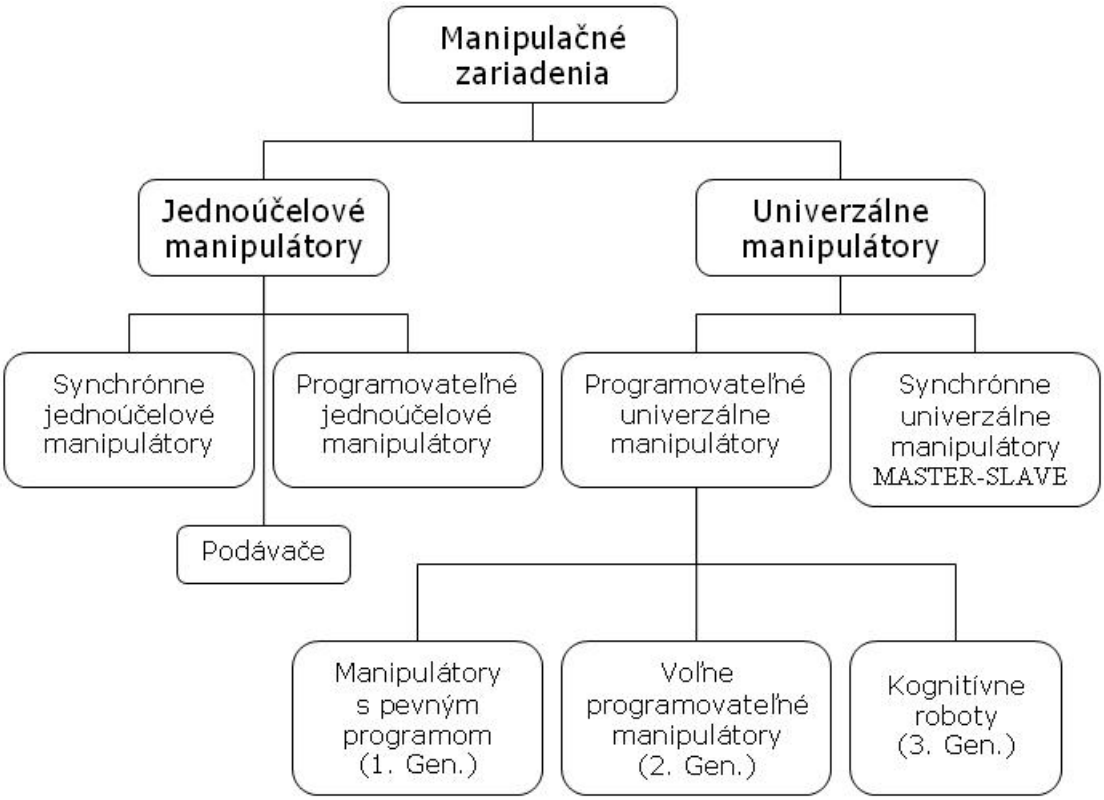
PTP riadenie zabezpečuje presun robota z počiatočného bodu do koncového. To znamená, že pri obecnej krivke prechádza cez veľký počet nie veľmi vzdialených bodov, medzi ktorými sa pohybuje po priamke.

Doplnením PTP riadenia o možnosť interpolácie (priamky, kružnice, ...) vzniká MP riadenie.

V ďalšom delení (obr. 2.2) sa budeme zaoberať manipulačnými zariadeniami.To znamená všetky manipulačné mechanizmy okrem dopravných zariadení, ako napr. žeriavy, dopravníky, vozíky, ...

2.2.2 Jednoúčelové manipulátory

Medzi jednoúčelové manipulátory zaraďujeme podávacie mechanizmy, manipulačné zariadenia, ovládané priamo človekom (*synchrónne manipulátory*), ale aj manipulátory riadené programom. Jednoúčelovosť sa chápe z niekoľkých hľadísk ako:



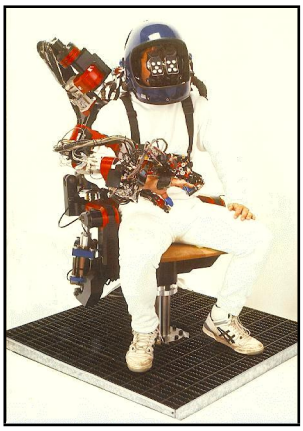
Obr. 2.2: Rozdelenie manipulačných zariadení

- obmedzený počet stupňov voľnosti, prispôsobený danej aplikácii nutných pohybov
- obmedzený rozsah pohybov, tiež väčšinou prispôsobený danej aplikácii
- obmedzené možnosti riadiaceho systému
- priestorové usporiadanie

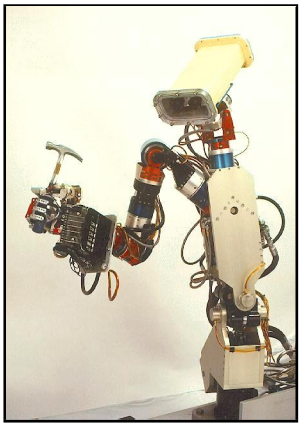
Jednoúčelové manipulátory sú zväčša prídavným zariadením obsluhovanej výrobnej linky (technológie), konštrukčne aj vyhotovením spolu súvisia.

Pohyby vykonávané jednoúčelovými manipulátormi sú jednoduché, ako napr. výmena nástrojov alebo polovýrobkov, premiestňovanie polovýrobkov (vyberanie, vkladanie). Dobrým príkladom takého manipulátora je podávač nástrojov v NC výrobných strojoch, umiestnený medzi zásobníkom nástrojov a vretenom (suportom).

Synchrónne manipulátory (teleoperátory) jedno-, ale aj viacúčelové, sú manipulačné zariadenia ovládané človekom (obr. 2.3 a 2.4). Zosilňujú sily, resp. moment a pohybové možnosti operátora. Rozdiely medzi jedno- a viacúčelovými manipulátormi je len v konštrukčnom vyhotovení. Nevýhodou jednoúčelových manipulátorov



Obr. 2.3: Teleoperátor, časť MASTER



Obr. 2.4: Teleoperátor, časť SLAVE

je nemožnosť použitia pre iný druh manipulácie, než pre aký boli zhotovené. Univerzálne synchrónne manipulátory kopírujú pohyby človeka a tvoria tak vlastne uzavretú regulačnú slučku. Hovorí sa im tiež *MASTER-SLAVE* zariadenia. Sú nezávislé na obsluhovanom výrobnom stroji. Tieto zariadenia sú však pomerne drahé a preto sa viac uplatňujú jednoúčelové manipulátory.

2.2.3 Univerzálne manipulátory

Majú oproti jednoúčelovým manipulátorom väčší rozsah manipulačných možností, ktoré je možné využiť podľa spôsobu nasadenia. Použiteľnosť univerzálnych manipulátorov nie je obmedzená typom výrobných strojov, ani súčiastok. Rozhodujúce v ich prípade sú predovšetkým kinematické parametre (počet stupňov voľnosti, rozsahy pohybov, presnosť polohovania v závislosti od maximálneho zaťaženia, rýchlosť polohovania,...). Ich univerzálnosť zaručujú vymeniteľné jednoúčelové chá-

padlá, ktorými manipulujú s predmetmi. Dajú sa použiť na viacerých pracoviskách alebo aj na súčasnú obsluhu viacerých strojov.

Univerzálne manipulátory majú teda vlastné programové riadenie, ktoré komunikuje s riadiacim programom výrobnej linky. Pohonom a konštrukčne sú nezávislé na obsluhovanom výrobnom stroji. Medzi univerzálne manipulátory patria :

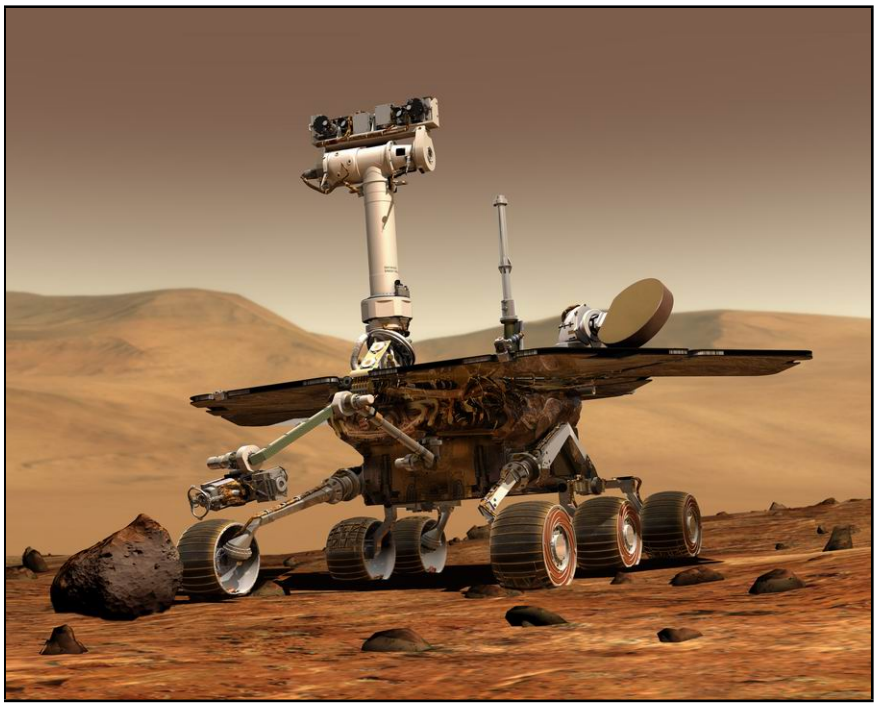
- univerzálne synchrónne manipulátory (teleoperátory) - už boli spomenuté (obr. 2.3 a 2.4)
- programovateľné manipulátory, riadené programom (analógovým alebo číslicovým)

Podľa miery inteligencie sa programovateľné manipulátory rozdeľujú do troch vývojových generácií:

a) **Manipulátory s pevným programom** (1. generácia).
Program sa nemení v priebehu činnosti (t.j. cyklus za cyklom sa opakujú tie isté úkony a pohyby). Systém programového riadenia je v jednoduchom prevedení. Sú to **programovateľné manipulátory**. Prvá generácia sa obmedzuje hlavne na tzv. *pohybové aplikácie*, dajú sa vyjadriť aj ako „zdvihnúť a umiestniť“ (pick and place). 1,5 generácia (niečo medzi 1. a 2. generáciou) využíva pre svoju činnosť už aj senzory a vykonáva funkciu „urob a over“ (make and test).

b) **Manipulátory voľne programovateľné** (2. generácia).
Majú možnosť zmeny programu počas svojej činnosti v ktoromkoľvek cykle (vetvenie programu). Sú to **priemyselné roboty**. Môžu disponovať aj *adaptívnym riadením*. K tomu potrebujú „vnímať“. Na rozdiel od manipulátorov 1,5 generácie sú vybavené oveľa väčším počtom senzorov ako vonkajších (optických, hmatových, ...), tak aj vo vnútri manipulátora (snímače tlaku, polohy, zrýchlenia, ...). Sú tiež vybavené omnoho zložitejším riadiacim programom. Zvládajú koordináciu označovanú „oko-ruka“ (eye-hand). 2,5 generácia (medzi 2. a 3. generáciou) predstavuje manipulátory zabezpečujúce komplexné „perceptuálne-motorické“, t.j. vnímateľno-pohybové funkcie.

c) **Inteligentné (kognitívne) roboty** (3. generácia).
Principiálne sa líšia od robotov 2. generácie zložitosťou a objemom riadiaceho systému, zahrňujúceho prvky umelej inteligencie. *Inteligentné roboty* nie sú určené len k imitácii fyzickej činnosti človeka ale aj pre automatizáciu intelektuálnej činnosti. Jednou z charakteristických vlastností inteligentných robotov



Obr. 2.5: Jeden z objaviteľov marsu - robot Opportunity

je schopnosť učiť sa a adaptácia (autonómnosť) v procese riešenia úloh. Toto autonómne chovanie je dôležité napr. v kozmickom výskume (obr. 2.5), kde riadiaci systém robota musí rozhodovať samostatne (spätná väzba má neprijateľne dlhé dopravné oneskorenie). Tretia generácia robotov má mať aj základnú inteligenciu pre diskrétnu manipuláciu so súčiastkami, hlavne pri montáži.

Toto delenie však neznamená, že jedna generácia automaticky vystrieda druhú. Ide o spojitý vývoj s prekrývaním. Ich nasadenie zaručuje ekonomická výhodnosť „nižších“ manipulátorov pri nasadení vo výrobe. Doc. Ing. Rumíšek, CSc. [7] uvádza aj **4. generáciu**, do ktorej patria manipulátory autonómne so sociálnym chovaním podobným ako má človek. Tieto manipulátory si vyberajú cieľ práce samy.

2.2.4 Ďalšie delenie

Priemyselné roboty a manipulátory (PRaM) rozdeľujeme podľa radu ďalších kritérií. Uvedieme si zopár najdôležitejších:

– podľa *typu úkonov*, ktoré robot vykonáva:

  a) priemyselný robot **manipulačný** - vykonávajúci manipulačné úkony (transportné operácie, podávanie a iné) obr. 2.6

Obr. 2.6: Manipulačný priemyselný robot firmy Manex

b) priemyselný robot **technologický** - prenášajúci technologické zariadenia alebo ich výkonné časti, napr. pre zváranie, montáž, nanášanie povlakov a pod. (obr. 2.7)

c) priemyselný robot **špeciálny** - na realizáciu stanovenej operácie na určenej výrobnej alebo inej jednotke

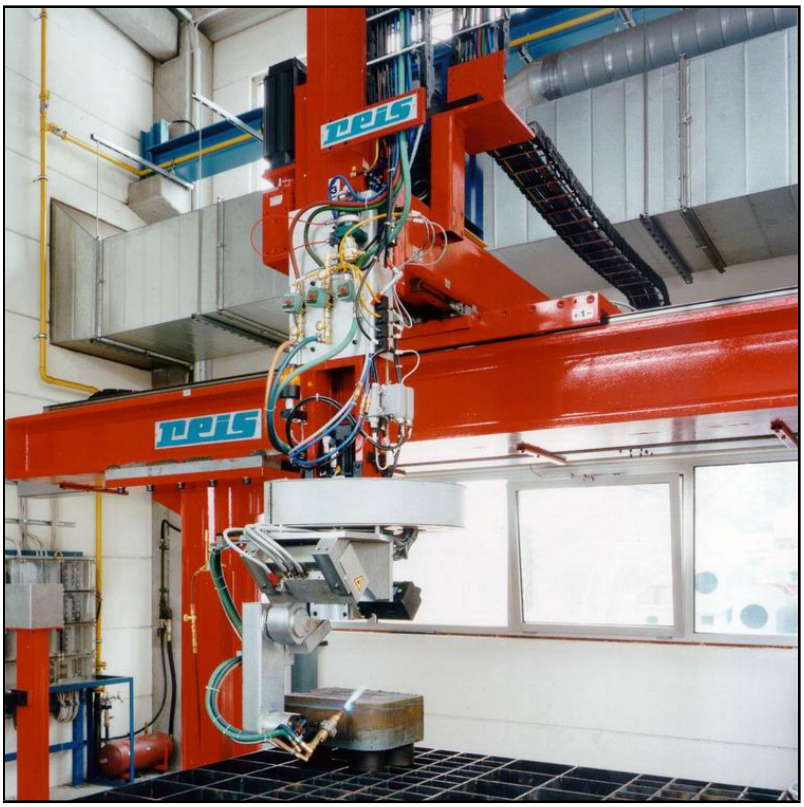
– podľa *kinematickej štruktúry* rozdeľujeme priemyselné roboty a manipulátory takto:

a) **stacionárne**, s dvomi a viac stupňami voľnosti

b) **mobilné**, vybavené pojazdom

c) s jedným a viac ramenami

– podľa možnosti zaraďujeme priemyselné roboty a manipulátory do radu, z ktorých vyplýva aj ich názov. Tabuľka 2.1



Obr. 2.7: Technologický robot firmy Reis Robotics s plazmovou hlavicou

Názov PRaM	Označenie	Nosnosť (kg)		
		min	stred	max
Veľmi ťažké	G	300	1000	3000
Ťažké	T	30	100	300
Stredné	S	3	10	30
Ľahké	L	0,3	1	3
Veľmi ľahké	M	0,03	0	0,3

Tabuľka 2.1: Rozdelenie PRaM podľa nosnosti

– podľa polohovania rozdeľujeme PRaM do 4 tried presnosti. Tabuľka 2.2

Trieda PRaM	Názov PRaM	Rozsah (mm)
I.	veľmi presné	± 0,01
II.	so zvýšenou presnosťou	± 0,1
III.	s normálnou presnosťou	± 1
IV.	s nízkou presnosťou	viac než ± 1

Tabuľka 2.2: Rozdelenie robotov podľa presnosti polohovania

– podľa *pohybu v manipulačnom priestore*:

  - pohybujúci sa **po priamke (kružnici)**
  - pohybujúci sa **na ploche**
  - pohybujúci sa **v priestore**

– podľa *druhu použitého pohonu*:

  - **elektrický**
  - **hydraulický**
  - **pneumatický**
  - **kombinovaný**

– podľa *typu systému:*

  a) princíp riadenia
     * pevný program
     * pružne programovateľný, vybavený senzormi s neadaptívnym alebo adaptívnym riadením s umelou inteligenciou (kognitívne roboty)

  b) typ výstupného člena
     * spojité súradnice (CP)
     * diskrétne riadenie (PTP,MP)

– podľa *technologického určenia a konštrukčného vyhotovenia* PRaM:

  a) univerzálne (kompaktné)

  b) stavebnicové (modulárne)

  c) špeciálne vyhotovenia (prachovzdorné, teplovzdorné, odolné voči výbuchu, agresívnemu prostrediu, ...)

Kapitola 3

Konštrukcia manipulátorov

3.1 Mechatronický prístup ku konštrukcii manipulátorov

Mechatronika spája znalosti z oblasti strojárskeho inžinierstva, metód riadenia, umelej inteligencie, elektroniky a moderných pohonov. Mechatronický prístup ku konštrukcii znižuje náklady pri návrhu a výrobe tým, že sa súčasne vytvára viacero častí manipulátora.Manipulátor sa skladá zo subsystémov:

- **mechanický**
- **riadiaci**
- **pohonný**

Pri návrhu sa tieto systémy navzájom ovplyvňujú, preto je nutné uvažovať všetky tieto subsystémy súčasne. Základné kroky pri návrhu takého systému by sme mohli zhrnúť následovne:

- *analýza technologických požiadaviek* - funkcia, rozsah pohybu, dynamický rozsah pohybu, manipulované hmotnosti, momenty, ...
- *funkčná analýza* - principiálne riešenie jednotlivých subsystémov, návrh kinematickej štruktúry
- *kinematická analýza a syntéza mechanizmu* - riešenie priamej a inverznej kinematickej úlohy pre polohu, rýchlosť a zrýchlenie jednotlivých pohybujúcich sa častí

- *dynamická analýza mechanizmu* - analýza silového pôsobenia uzlov vzájomne a na základ manipulátora
- *dimenzovanie mechanického subsystému* - ramená, prevody, pohybové jednotky
- *dimenzovanie pohonného subsystému* - motory, meniče, napájanie
- *riešenie riadiaceho subsystému* - regulátory pohonov, vyššia úroveň riadenia
- *optimalizácia stroja*

Cieľom takého návrhu je konštrukcia maximálne efektívneho stroja pri minimálnych nákladoch. Na obr. 3.1 je zobrazený graf znázorňujúci postup pri konštrukcii priemyselného robota. Plné čiary v grafe znamenajú postupné analýzy a syntézy jednotlivých subsystémov, čiarkované čiary znázorňujú spätné väzby a vplyvy na parametre jednotlivých blokov.

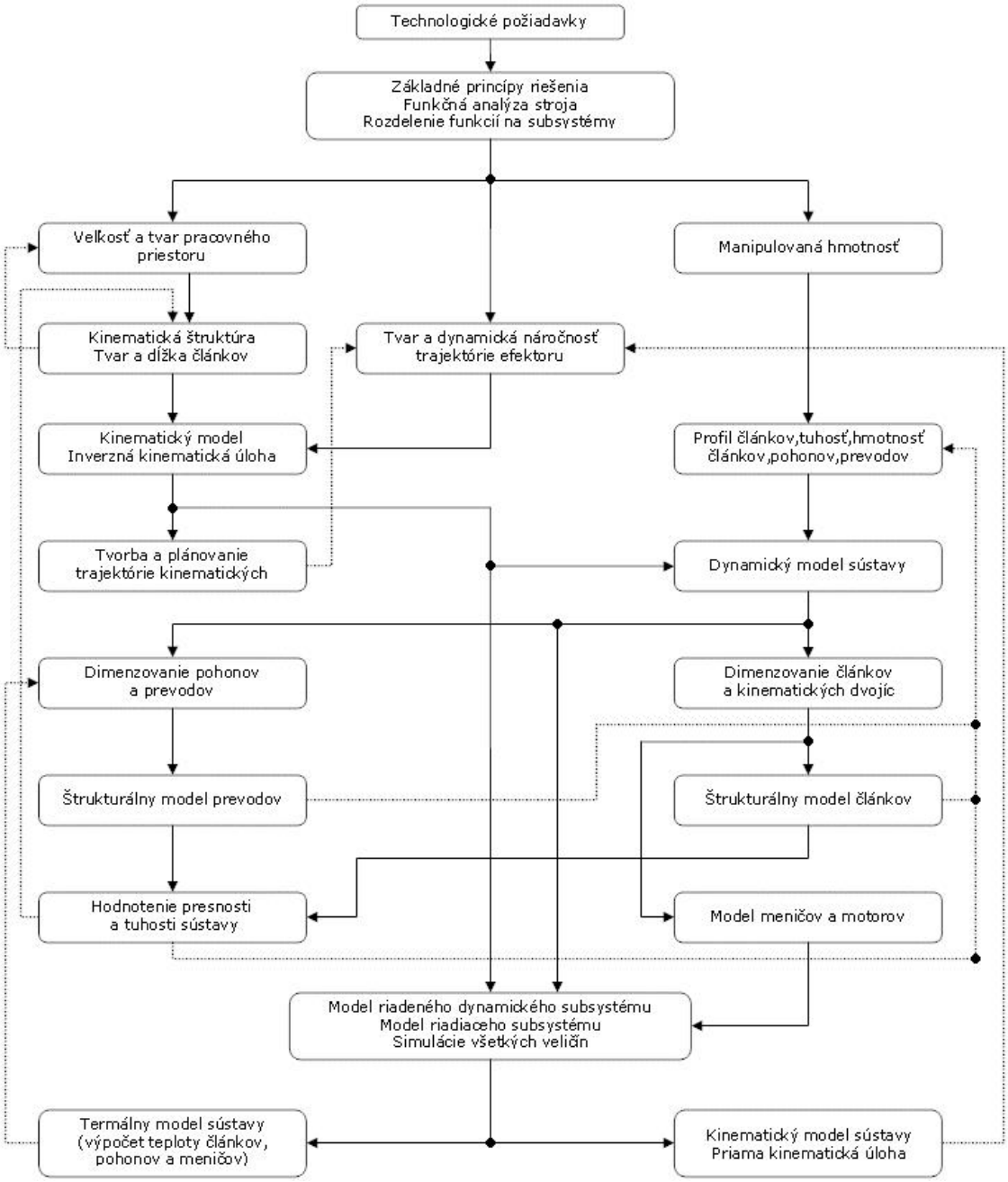
Konkrétne vlastnosti robota sú dané jeho konštrukčným riešením. Pre návrh konštrukčného riešenia sú dôležité najmä parametre manipulátora ako *tuhosť, geometria a pohonná jednotka.*

3.2 Tuhosť PRaM

Každá konštrukcia manipulátora je vystavená pôsobeniu týchto síl:

- **tiažové sily** - vyvolané vlastným manipulátorom a jeho záťažou
- **dynamické sily** - pôsobia pri akcelerácii a spomaľovaní pohybových jednotiek
- **vnútorne sily** - vznikajúce pri operovaní manipulátora a pri spolupráci s iným zariadením

Monitorovanie veľkostí týchto síl nám pomôže vhodne dimenzovať pohony a má význam aj pri konštruovaní vlastných kinematických štruktúr. Vzťahom pôsobiacich síl vzhľadom na konštrukciu kinematickej štruktúry posudzujeme odolnosť konštrukcie proti deformácii, tzv. **tuhosť**. Pri konštruovaní sa berie ohľad popri pevnosti aj na tuhosť, kvôli požiadavkám na presnosť polohovania, ktorú výrazne ovplyvňuje. Existujú dva druhy deformácií – posunutie a natočenie. Deformáciu je potrebné uvažovať hlavne u manipulátorov s veľkou nosnosťou ako i pri manipulátoroch s veľkým dosahom ramien.



Obr. 3.1: Mechatronický prístup ku konštrukcii priemyselného robota

Následujúce vzťahy definujú parametre tuhosti:

$$\begin{aligned} \text{tuhosť v posunutí - } c_\gamma &= \frac{F}{y} \quad \left[\frac{N}{m}\right] \\ \text{tuhosť v natočení - } c_n &= \frac{M}{\varphi} \quad [N.m] \end{aligned}$$

Kde: F – sila $[N]$

y – posunutie dané deformáciou, spôsobenou silou F $[m]$

M – moment $[N.m]$

φ – uhol natočenia daný deformáciou $[rad]$

Je všeobecne známe, že nedostatočná tuhosť konštrukcie zhoršuje činnosť jednotlivých konštrukčných súčastí mechanizmov, zvyšuje trenie a opotrebenie v pohyblivých častiach. Ďalším dôsledkom nedostatočnej tuhosti je aj zvyšovanie potrebného výkonu a teda aj príkonu pre realizáciu pohybových funkcií.

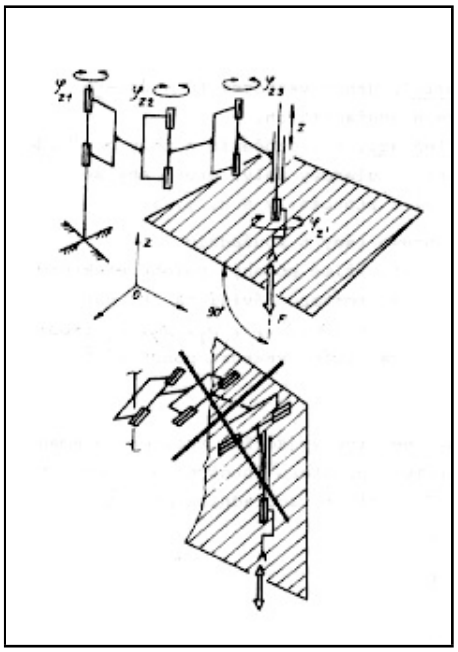
Tuhosť mechanizmu (v podobe prútovej sústavy) je závislá hlavne na :

- druhu použitého materiálu
- geometrických charakteristikách deformovaného telesa
- druhu zariadenia, typu podpier, atď.

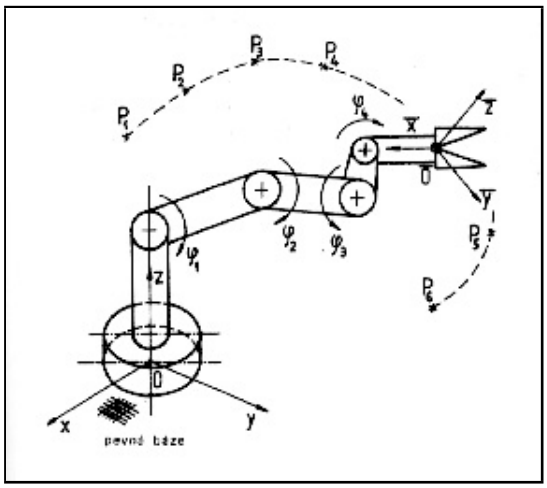
Statické deformácie spôsobené zaťažujúcimi silami ležia prevažne vo vertikálnej rovine, ich geometrický súčet určuje **absolútnu odchýlku** mechanizmu. Aby sa absolútna poloha menila minimálne, používa sa pri PRaM určených na montáž usporiadanie kinematického reťazca znázorneného na Obr. 3.2. Vylúči sa tak poddajnosť pohonného mechanizmu a vplyv natočenia ramien.

3.3 Geometria PRaM

Popis geometrie má za cieľ popis pohybu **efektoru** (výstupnej časti, hlavice) v závislosti na čase a s vylúčením silových účinkov, stanovenie jeho dráhy, rýchlosti a zrýchlenia. Niekedy sa používa namiesto názvu *efektor* pojem *reper*, ktorý ale tiež môže znamenať pomenovanie súradnicového systému Obr. 3.3



Obr. 3.2: Kinematický reťazec minimalizujúci deformáciu



Obr. 3.3: Otvorený kinematický reťazec

V robotike sa používajú dva druhy súradnicových systémov:

– *kĺbové* - otočenie : $\varphi_1, \varphi_2, \ldots$, posunutie : $p_1, p_2, \ldots$

– *kartézske* - súradnice pravouhlého priestoru

Pri riešení základných úloh trajektóriu vyjadrujeme vo vyššie popísaných súradnicových systémoch. Rozlišujeme potom tieto úlohy:

- **priamu** úlohu (*forward kinematics*) - popisuje pohyb efektoru vzhľadom k pevnému bodu (t.j. poznáme $\varphi_1, \varphi_2, \ldots$ a $p_1, p_2, \ldots$ a chceme popísať pohyb efektoru na základe pohybu jednotlivých členov)
- **inverznú** úlohu (*inverse kinematics*) - spočíva v určení pohybu v jednotlivých členoch $\varphi_1, \varphi_2, \ldots$,$p_1, p_2, \ldots$ pri známom pohybe efektoru.

3.3.1 Geometria manipulátora SKATE M03

3.3.1.1 Manipulátor

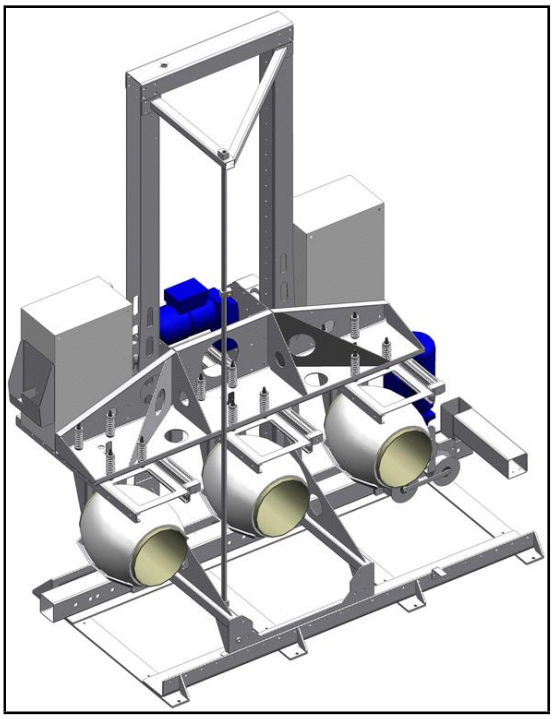
Manipulátor SKATE M03 slúži na manipuláciu a distribúciu kokónov z paliet do cievočníc. Manipulátor vykonáva pohyb v troch osiach *x, y, z*. Je zložený z 3 základných častí:

a) Rám manipulátora

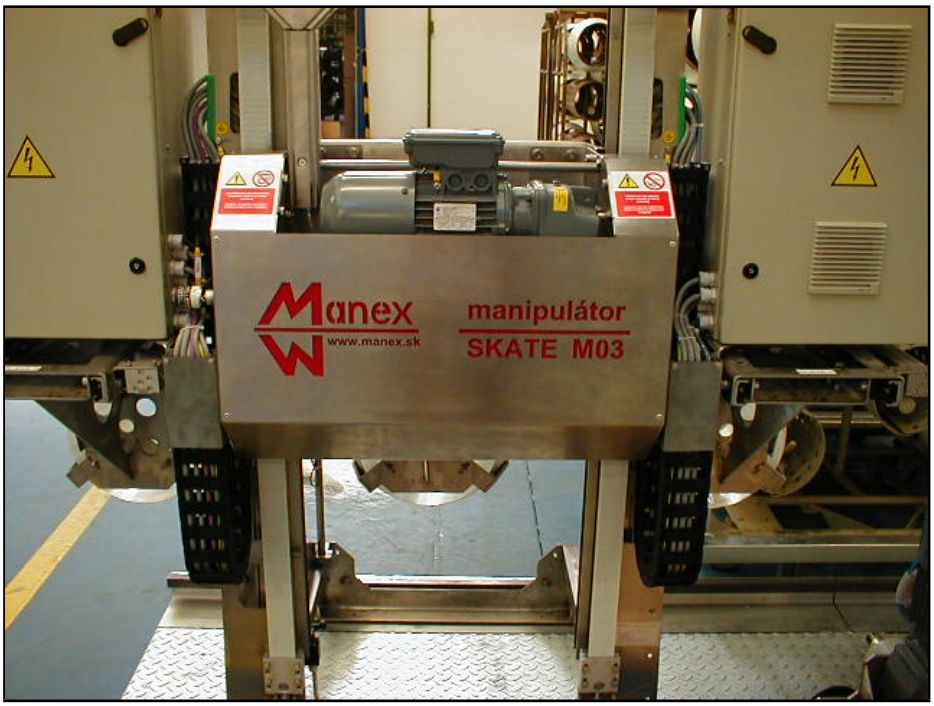
b) Vozík

c) 3 hlavy s podávačom

Tuhosť manipulátora SKATE M03 je zabezpečená použitím pevnej nerezovej ocele a spôsobom konštrukcie rámu, vozíka a hlavíc. Obr. 3.4.



Obr. 3.4: Model manipulátora SKATE M03



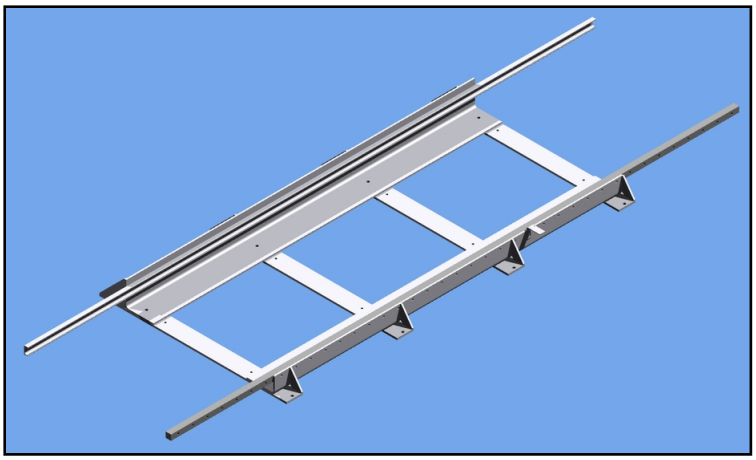
Obr. 3.5: Vozík manipulátora SKATE M03

Hlavný rám je tvorený základňou s dvojicou stĺpov zvarených z nerezových profilov. Medzi stĺpmi je umiestnené lineárne vedenie. Na základni je umiestnený servomotor pre pohon v osi x (o ňom viac v kapitole 3.4.5).

Súčasťou rámu je aj vlečné rameno pre upevnenie energetického prívodu. Vozík (obr. 3.5) je upevnený na lineárnom vedení medzi stĺpmi rámu. Je vyrobený z ohýbaného plechu. Vo vozíku je uložená prevodovka s hriadeľom a hnacími kolesami, ktorá zaisťuje pohyb vozíka v osi y. Pre prenos sily medzi prevodovkou a rámom je využitý ozubený remeň.

Nosník je upevnený na prednej strane vozíka, sú na ňom umiestnené jednotlivé hlavy a elektrický rozvádzač. Hlava (obr. 3.13) je upevnená pod nosníkom prostredníctvom podávača, ktorý zaisťuje posun hlavy v osi z a to pomocou bezpiestnicového pneuvalca. Hlavica je osadená dvojicou uhlovo nastaviteľných vidlíc z nerezových profilov.

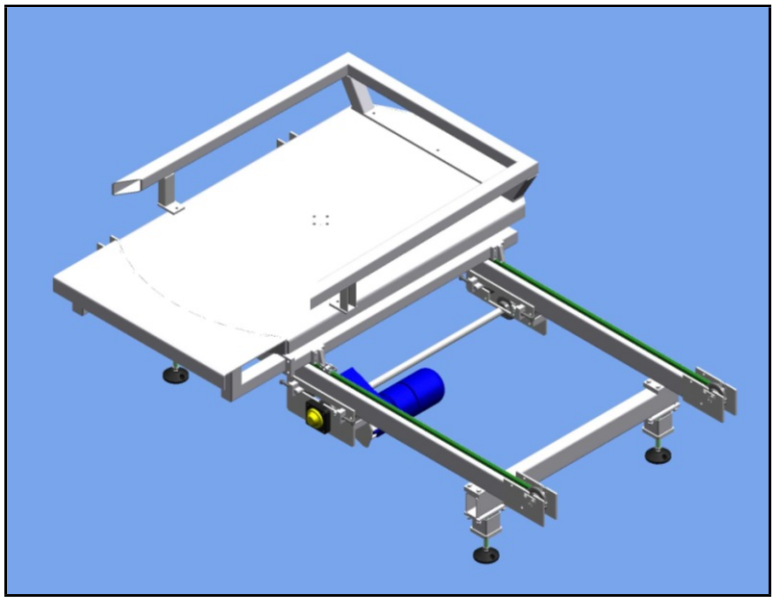
Celý manipulátor sa pozdĺž stojana cievočníc pohybuje v lineárnom vedení (koľajnicové vedenie, obr 3.6), ktoré je upevnené k podlahe. Energetický prívod do manipulátora je zaistený pomocou energonosiča umiestneného v žľabe pozdĺž lineárneho vedenia na podlahe. Prenos sily z motora osi x je prevedená pomocou ozubeného remeňa, ktorý je napnutý pozdĺž vedenia na podlahe.



Obr. 3.6: Časť koľajnicovej dráhy manipulátora SKATE M03

3.3.1.2 Točňa

Točňa slúži na prísun palety pre dvojicu manipulátorov. Točňa (obr. 3.7) pozostáva z dvoch základných častí:



Obr. 3.7: Točňa

1. **otočný tanier** (plocha) s nájazdovým rámom pre paletu. Táto časť je uložená vrátane svojho pohonu v supporte
2. **support** je tvorený dvoma pozdĺžnymi nosníkmi, na ktorých hornej hrane je v posuvnom uložení usadený otočný tanier, pričom pomocou motorov a dvojice vlečných reťazí je možné tento tanier posúvať o 600mm vpravo a 600mm vľavo

Celé toto zariadenie je zapustené do podlahy tak, aby horná plocha otočného taniera bola v jednej rovine s podlahou haly (terénom).

3.4 Pohonné jednotky

3.4.1 Druhy pohonov

Pohonné jednotky slúžia na premenu vstupnej (primárnej) energie na mechanický pohyb. Pohonná jednotka je tvorená z *motora*, *bloka pre ovládanie vstupnej energie do motora* a *spojovacím blokom*, ktorý sprostredkuje väzbu medzi výstupom motora a pohyblivou časťou pohybovej jednotky. Pohyb sa môže prenášať z výstupu motora na vstup pohybovej jednotky priamo, alebo cez transformačný blok.

Podľa druhu energie privádzané na vstup motora rozlišujeme pohonné jednotky:

- **elektrické** (3.4.2)
- **tekutinové** - hydraulické a pneumatické (3.4.3)
- **kombinované** (3.4.4)

Pri konštrukcii PRaM sa používajú tri druhy transformačných blokov: *mechanické, magnetické alebo elektrické prevody.*

- **Mechanické** prevody sú najrozšírenejšie a sú realizované hlavne pomocou ozubených kolies, hrebeňov, vačiek, šablón, pák, reťazí, atď. (V poslednej dobe sa rozširuje využívanie nových CYCLO harmonických prevodoviek, ktoré prispievajú k využívaniu elektrických motorov u PRaM)
- **Magnetické** prevody sú konštruované pomocou diskových a valcových spojok s permanentnými magnetmi
- **Elektrické** prevody sú tvorené spojením dvoch selsynov (vysielača a prijímača), ktorých vinutia rotorov a statorov sú vzájomné spojené.

Elektrické a magnetické prevody sa používajú hlavne v špeciálnych aplikáciách robotov. Ide o konštrukcie určené pre prácu pod vysokými tlakmi (podmorské roboty), vo vákuu a podobne. Tu je nutné hermeticky oddeliť motor od pracovného priestoru.

Vo výrobnom procese sú na pohonné jednotky kladené predovšetkým tieto požiadavky:

- Plynulý rozbeh a brzdenie (3.4.1.1)
- Vysoká presnosť polohovania (3.4.1.2)
- Dostatočná polohová tuhosť (3.4.1.3)
- Minimálna hmotnosť (3.4.1.4)
- Minimálne rozmery (3.4.1.5)
- Vhodné priestorové usporiadanie (3.4.1.6)

Cieľom týchto požiadaviek je zabezpečiť u PRaM kľudný, plynulý a bezrázový priebeh manipulačnej a pracovne - technologickej činnosti. Ďalším cieľom je vysoká presnosť polohovania. K tomu, vzhľadom na veľké zotrvačné sily a rýchlosti, je potrebná nízka hmotnosť a malé rozmery.

3.4.1.1 Plynulý rozbeh a brzdenie

Bezrázový chod je potrebný z niekoľkých dôvodov. Prvým je bezpečnosť držania prenášaného objektu. Pri bezrázovom chode je potrebná menšia úchopná sila ako pri pohybe s rázmi. Druhým je vylúčenie kmitania pracovných hlavíc okolo konečnej polohy, ku ktorému by mohlo dochádzať, vzhľadom k malej tuhosti. Je zrejmé väčšie opotrebenie PRaM kvôli nepriaznivému namáhaniu konštrukcie pri rázoch. Tým sa skracuje životnosť a znižuje spoľahlivosť zariadenia.

3.4.1.2 Vysoká presnosť polohovania

Presnosť polohovania pracovnej hlavice je závislá od kinematickej štruktúry, tuhosti jej realizácie, na presnosti ovládania pohonu a na spôsobe registrácie polohy. Rozlišujú sa dva základné princípy ovládania pohonu v súvislosti s riadením pohybu:

1. riadenie pohybu v smere jednotlivých osí - *otvorený systém*
2. riadenie pohybu so spätnou väzbou - *uzavrený systém* (poloha koncového členu je riadená spätnou väzbou)

3.4.1.3 Dostatočná polohová tuhosť

Charakteristickou vlastnosťou činnosti pohybových jednotiek manipulátorov a robotov sú pretržité vratné pohyby. Od pohonu pohybovej jednotky, ktorá je v kľude, sa požaduje udržanie dosiahnutej polohy i napriek pôsobeniu vonkajších síl (do určitej úrovne).

Polohovou tuhosťou sa potom rozumie schopnosť pohonu udržať dosiahnutú polohu. Tá sa zaručuje v rámci konštrukcie väzby medzi výstupom motora a výstupom pohybovej jednotky. Vysokou polohovou tuhosťou disponujú napr. hydraulické motory pri zablokovaní kvapaliny v pracovnom priestore motora pomocou rozvádzača. Minimálnu polohovú tuhosť majú elektromotory a pneumatické motory. Tento problém sa rieši napr. umiestnením brzdy medzi výstup motora a výstup pohybovej jednotky. Toto usporiadanie je však problematické vzhľadom na ďalšie požiadavky na pohon.

3.4.1.4 Minimálna hmotnosť

Hmotnosť pohonu ovplyvňuje celkovú hmotnosť pohybovej jednotky. U sériových koncepcií kinematických štruktúr, kedy pohony môžu byť umiestnené priamo v priestore jednotlivých pohybových jednotiek a tak ovplyvňovať dynamické chovanie celej konštrukcie PRaM. Požiadavka minimálnej hmotnosti pohonu pomáha dosiahnuť minimálne hmotnosti pohybujúcich sa častí konštrukcie s ohľadom na dynamiku a energetickú náročnosť.

3.4.1.5 Minimálne rozmery

Minimálne rozmery súvisia jednak s predchádzajúcim bodom a jednak s vytvorením predpokladov pre dosiahnutie čo najlepších manipulačných vlastností. V druhom prípade ide o problém prekrývania sa pracovných priestorov manipulátorov alebo robotov časťami ich konštrukcií.

3.4.1.6 Vhodné priestorové usporiadanie

Vhodné priestorové usporiadanie pohonu ovplyvňuje celkové usporiadanie konštrukcie PRaM a tým sa podieľa na pracovných možnostiach celej konštrukcie vo vzťahu k úrovni schopností pre činnosť v priestore s prekážkami a podobne.

3.4.2 Elektrický pohon

Postupným rozšírením jednosmerných a v poslednej dobe aj striedavých motorov v kombinácii s harmonickými a cykloidnými prevodovkami sa dostal elektrický pohon na predné miesto v konštrukciách PRaM. Zatiaľ prevažujú pohony do maximálneho výkonu $6\,kW$. Používajú sa servopohony určené pre NC obrábacie stroje, ktoré sa vyznačujú veľkým regulačným rozsahom rýchlosti (pri rotačnom pohybe až $1:20000$) a v spojení s číslicovo riadenými systémami aj veľkú presnosť nastavenia polohy v uzatvorenej slučke.

Za výhody elektrického pohonu sa považuje činnosť z ľahko dostupným zdrojom energie, jednoduchosť vedenia energie k motoru, jednoduchosť spojenia s riadiacimi prvkami, jednoduchá údržba a čistota prevádzky.

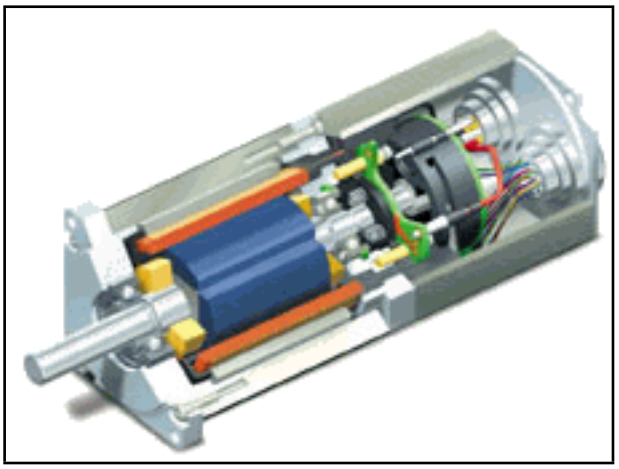
V porovnaní s hydraulickým pohonom vystupuje do popredia predovšetkým nižšia hlučnosť, menšie nároky na chladenie, na celkový inštalovaný priestor a nižšie počiatočné, prevádzkové aj udržiavacie náklady.

Za nevýhody sa považuje závislosť na dodávke elektrickej energie, ktorá ale nie je u priemyselných zariadení významná, značné požiadavky na kvalitu prevedenia všetkých častí dosť zložitých zariadení. Ďalšou nevýhodou je horší pomer $\frac{\text{hmotnosť}}{kW}$ v porovnaní s hydraulickým pohonom a nebezpečenstvo úrazu elektrickým prúdom.

V pohonoch PRaM sa uplatňujú prakticky všetky základné druhy elektrických motorov:

1) s rotačným výstupom
   - rotačné motory so spojitým pohybom
   - rotačné krokové motory
   - otočné elektromagnety
2) s priamočiarym výstupom
   - lineárne motory so spojitým pohybom
   - lineárne krokové motory
   - hybridné motory
   - priamočiare elektromotory

Elektrické motory sa uplatňujú v dvoch verziách:



Obr. 3.8: EC valcový motor firmy MAXON Motor AG

- jednosmerné motory
- striedavé motory

Súčasťou elektrického pohonu sú aj ovládacie a istiace prvky, riadené zdroje elektrickej energie pre napájanie hlavných a budiacich vinutí a prvky pre automatické riadenie výstupných parametrov pohybových jednotiek. Najjednoduchším typom elektrického pohonu s rotačným pohybom je pohon s asynchrónnym elektromotorom a kotvou nakrátko. Pre menšie výkony sa používajú jednofázové motory s pomocnou fázou a kondenzátorom. Pre väčšie výkony sa používajú asynchrónne trojfázové motory s kotvou nakrátko.

Novinkou môžme nazvať striedavý synchrónny motor s elektronickou komutáciou (EC motor, obr. 3.8), ktorý sa vďaka nízkej hmotnosti a veľkým výkonom používa aj v kozmickom priemysle. EC motor na niekoľkonásobne vyššiu životnosť ako motory na jednosmerný prúd (DC motory). EC motory zvládajú aj vysoké otáčky ($50000 - 100000\ ot/min.$).

3.4.3 Pneumatický a hydraulický pohon

Pneumatický a hydraulický (tekutinový) pohon sa používa v konštrukciách PRaM v dvoch hlavných oblastiach. Hydraulický pohon v zariadeniach predovšetkým väčších výkonov a to v spojitom riadení pohonu, tak i pri jednoduchých pohybových funkcií. Pneumatický pohon je zaujímavý pre konštrukcie jednoduchších manipulátorov s menšou nosnosťou, periférnych prvkov a zariadení automatizovaných pracovísk. V súvislosti s konštrukciami PRaM sú tieto dôležité prednosti

tekutinového pohonu:

- možnosť realizácie priamočiarych pohybov konštrukčne jednoduchými, rozmerovo malými a spoľahlivými motormi bez nutnosti zaradenia transformačného bloku
- jednoduché spojité riadenie základných parametrov pohonu (sila, krútiaci moment, rýchlosť v celom rozsahu prostredníctvom riadenia tlaku a prúdu tekutiny)
- dobrý pomer hmotnosť/výkon hlavne u hydraulických motorov
- preťaženie motora neznamená nebezpečenstvo zničenia

Pneumatické a hydraulické pohony pracujú s rovnakým druhom média – tekutinou. Z rozdielnych vlastností kvapalín a plynov sa na rozdielnych vlastnostiach mechanizmov podieľa rôzna poddajnosť a viskozita. Ako pracovné médium sa pri hydraulických pohonoch používajú minerálne oleje a v pneumatických pohonoch stlačený vzduch.

U **hydraulických pohonov** sa prejavujú v porovnaní s pneumatickými tieto **prednosti**:

- veľká tuhosť
- plynulý chod, možnosť dosiahnutia i malých pohybov bez prevodov a s veľmi dobrou rovnomernosťou
- veľká účinnosť

Nedostatky hydraulických pohonov:

- potreba samostatného, oddeleného energetického bloku
- pomerne zložité je dosiahnuť vyšších pohybových rýchlostí
- závislosť viskozity kvapaliny na teplote, čo sa prejavuje v zmene tlakových pomerov a prípadne aj rýchlosti pohybu motoru
- horľavosť niektorých druhov pracovných kvapalín

Prednosti pneumatických pohonov:

- možnosť pripojenia na centrálny rozvod stlačeného vzduchu, v rámci pohonu jednoduchý rozvod bez spätného odvádzania vzduchu z motoru
- možnosť dosiahnutia rýchlych priamočiarych pohybov
- možnosť činnosti za veľkých teplotných výkyvov, vo výbušnom prostredí a v prevádzkach s nebezpečím vznietenia od otvoreného ohňa

Nedostatky pneumatických pohonov:

- problematické udržovanie rovnomerného pohybu, hlavne pri malých rýchlostiach
- pomerne komplikované mazanie pohyblivých častí mechanizmov
- pomerne drahá prevádzka, výroba stlačeného vzduchu je 6 - 8 krát drahšia než výroba elektrického prúdu a asi 4 krát drahšia ako výroba tlakovej kvapaliny

Z vyššie uvedeného vyplýva, že použitie pneumatických pohonov je výhodné u manipulátorov s menším výkonom (do $1\,kW$).

3.4.4 Kombinovaný pohon

Zmyslom kombinovaných pohonov je skĺbenie výhodných vlastností rôznych druhov pohonov. Kombinované pohony pracujú s rôznymi druhmi nositeľov energie a väčšinou sa pod týmto označením rozumie kombinácia v bezprostrednej blízkosti motora. I keď kombináciou pohonov môžeme vytvoriť šesť rôznych kombinácií, má zmysel uvažovať len o *elektrohydraulickom* a *pneumohydraulickom* pohonu.

U tohto pohonu sa využíva možnosť riadenia elektromotorov, ich jednoduchého spojenia s elektrickými riadiacimi systémami a výhodných vlastností hydromotorov. Na vstupe je elektromotor (krokový alebo jednosmerný) a na výstupe hydromotor. Spojenie je realizované tak, že dochádza k prenosu pohybu od elektromotoru na hydromotor, v presne definovanom pomere natočenia, poprípade natočenie - posunutie a s výkonovým zosilnením. Podstatnou vlastnosťou spojenia je teda polohová spätná väzba. Elektromotor plní riadiacu funkciu a jeho pohyb je sledovaný hydromotorom so zosilnením výkonom.

Rozlišujú sa elektrohydraulické pohony priamočiare a rotačné. U oboch je na vstupe elektromotor s rotačným pohybom, ktorý predstavuje prvok pre ovládanie

rozvodu tlakovej kvapaliny do hydromotora. V rámci tohoto prvku je zároveň realizovaná mechanická polohová spätná väzba od výstupu pohonu na vstup

Z čisto prevádzkového hľadiska je samozrejme výhodnejšie uplatnenie pohonov s rovnakým druhom pracovného média a z tohoto dôvodu nie sú kombinované pohony príliš rozšírené. Dá sa povedať, že kombinácia rôznych druhov pohonov v jednej konštrukcii je častejšia u jednoúčelových manipulátoroch.

3.4.5 Pohon manipulátora SKATE M03

Manipulátor skate má päť pohonných jednotiek. Elektromotory (jednofázové) s prevodovkami slúžia pre pohyb v smere osí x a y. Pohyb v smere osi z (vysunutie hláv manipulátora) zabezpečujú tri bezpiestnicové pneumatické valce. Motory sú napojené na frekvenčné meniče, ovládané riadiacim systémom.

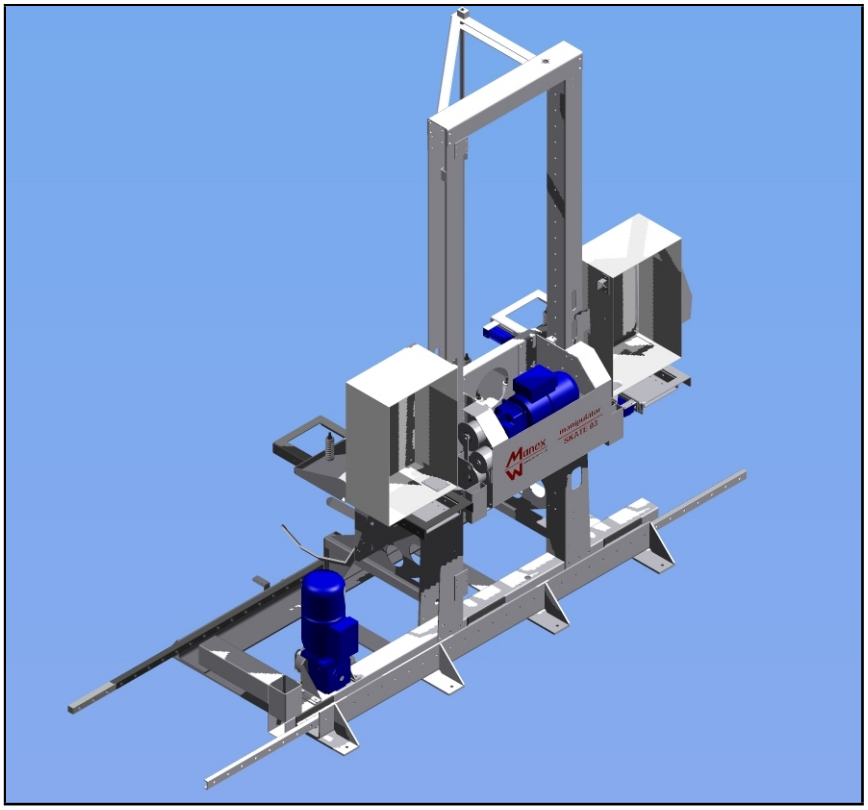
1. Kužeľová elektroprevodovka s brzdou a IRC snímačom (obr. 3.9, výkon: $1,1\ kW$, výst. ot.: 158 ot/min) zaisťuje pohyb v osi x po koľajovej dráhe.
2. Pohyb vozíka v osi y zabezpečuje plochá elektroprevodovka NORD s brzdou (obr. 3.9, výkon: $0,75\ kW$, výst.ot.: 43 ot/min) cez ozubený remeň, ktorého napnutie a presné vedenie určujú silonové kladky. Na hriadeli je pripevnený IRC snímač na presné polohovanie vozíka v osi y.
3. Bezpiestnicový pneumatický valec vysúva hlavice v smere osi z (obr. 3.10).

Pohonné jednotky sú osadené snímačmi pre riadiaci systém.O riadení manipulátora SKATE M03 viac v kapitole 4.1.2.1.

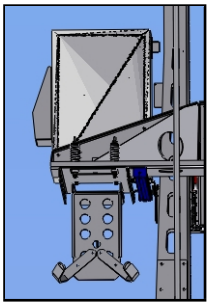
3.4.6 Pohon točne

Pohon točne predstavujú dva elektromotory, jeden pre pohon dopravníka a jeden pre otáčanie točne:

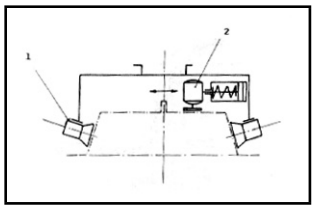
- Plochá elektroprevodovka s brzdou (výkon: $0,37\ kW$, výst.ot.: 33 ot/min) - pohon reťazového dopravníka
- Šneková elektroprevodovka (výkon: $0,75\ kW$, výst.ot.: $6,2\ ot/min$) - otáčanie točne



Obr. 3.9: Elektromotory manipulátora SKATE M03



Obr. 3.10: Bezpiestnicový pneumatický valec SKATE M03



Obr. 3.11: Kombinovaná hlavica

3.5 Pracovné hlavice

Činnosť PRaM spočíva v nastavovaní diskrétnych polôh pracovnej hlavice alebo v spojitom pohybe pracovnej hlavice po všeobecne definovanej priestorovej trajektórii, pričom sa spravidla riadi aj orientácia pracovnej hlavice. Pracovná hlavica je teda funkčná časť, ktorá podľa charakteru požadovanej činnosti určuje využitie pohybového systému manipulačného robota.

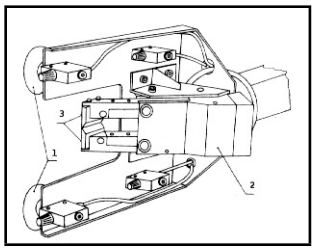
Pracovná hlavica je umiestnená na výstupu pohybového aparátu manipulátora alebo robota a preto sa stretávame s označením *výstupná hlavica*.

Konštrukcia pracovnej hlavice odpovedá charakteru aplikácie PRaM a vo výrobe môžeme uvažovať tieto typy aplikácií:

1. vkladanie objektov do pracovného priestoru výrobných zariadení a ich vyberanie
2. medzioperačné manipulácie
3. technologické operácie
4. kontrolné operácie

Podľa charakteristických typov operácií vykonávaných pomocou PRaM rozdeľujeme typy pracovných hlavíc na:

- **úchopné** hlavice
- **technologické, kontrolné a meracie** hlavice (obr. 3.12)
- **kombinované** hlavice (obr. 3.11)
- **špeciálne** hlavice



Obr. 3.12: Nožnicová úchopná hlavica

Úchopné hlavice umožňujú zachytenie objektov pri manipulácii. Hlavnou časťou technologickej hlavice je príslušný nástroj alebo systém nástrojov. U kontrolných alebo meracích hlavíc ide o čidlá pre sledovanie istých veličín. Kombinované hlavice môžu zaisťovať v rámci jednej konštrukcie dve i viac funkcií.

Koncepcia pracovnej hlavice umožňuje realizáciu buď jednej, alebo niekoľkých operácií. Príslušná operácia však môže byť viazaná na určitý typ objektov, ako je to napr. v prípade úchopných hlavíc. Z hľadiska rozsahu realizovaných operácií môžeme rozlíšiť dve kategórie pracovných hlavíc:

- monofunkčné
- multifunkčné

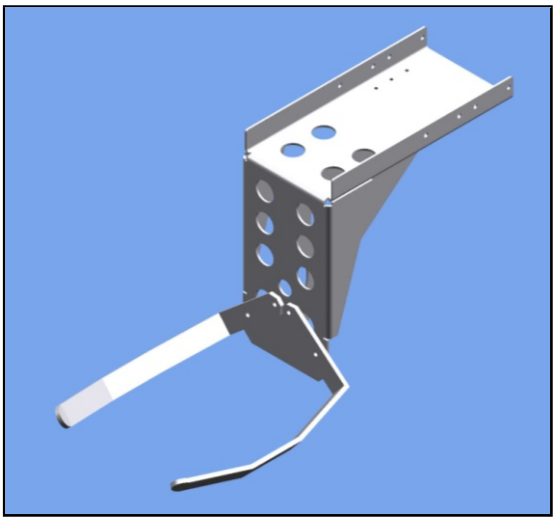
Pre multifunkčné pracovné hlavice poznáme dva koncepčné prístupy:

- zmena funkcie automatickou výmenou pracovnej hlavice
- zmena funkcie aktiváciou pracovnej pozície revolverovej hlavy

3.5.1 Pracovná hlavica manipulátora SKATE M03

Hlavy (obr. 3.13) sú umiestnené pod nosníkom. Každá hlava je osadená dvojicou uhlovo nastaviteľných vidlíc z nerezových profilov vytvarovaných podľa povrchu kokónu. Presný pohyb hlavy je tvorený pomocou bežcov lineárneho vedenia, ktoré je pripevnené o podávač. Smer pohybu v smere osi z zabezpečuje bezpiestnicový pneumatický valec, ktorý je pripevnený o podávač, pričom jeho bežec je prepojený s hlavou. Každý podávač je chránený pružinami a spínačmi proti preťaženiu (snímače pre riadiaci systém). Jednotlivé podávače sú osadené laserovými ukazovadlami, ktoré uľahčujú obsluhe nakládku kokónov z palety pri poloautoamtickom režime. Na

jednom podávači sú pripevnené pneumatické ventily na ovládanie všetkých 3 podávačov.



Obr. 3.13: Hlava manipulátora SKATE M03

Kapitola 4

Riadiace systémy manipulátorov

Neoddeliteľnou súčasťou manipulátora je jeho riadiaci systém. V automatizácii poznáme dve veľké skupiny riadiacich systémov:

- **konvenčné**
  - tranzistorové
  - vstupno/výstupné (štandardné, zákaznické)
- **s výpočtovou technikou**
  - centralizované
  - decentralizované

V minulosti sa do značnej miery používali konvenčné riadiace systémy. Systémy s výpočtovou technikou sa nepoužívali kvôli vysokej cene. S klesajúcou cenou sa nasadzovanie týchto systémov stalo štandardným. Takýto systém je zapojený v spätnoväzobnej slučke, kde riadiaci systém dostáva informácie o stave objektu, porovnáva požadovaný stav so skutočným a podľa zistenej odchýlky upravuje akčné zásahy. V následujúcich kapitolách sa budeme venovať týmto systémom z hľadiska hardwaru aj softwaru.

4.1 Hardware pre riadenie manipulátorov

4.1.1 Hardwarové požiadavky manipulátorov

Priemyselné roboty a manipulátory potrebujú k svojej činnosti riadiace systémy. Hardwarové požiadavky manipulátorov sú v podstate totožné so zvyčajnými

počítačmi. Funkcie riadiaceho systému vykonávajú mikroprocesory a minipočítače, ktoré sa používajú aj v iných komerčných a priemyselných aplikáciách. Rýchlosť riadiaceho systému závisí podľa požadovaných aplikácií. Pri zložitejších vysokorýchlostných výpočtoch sa využívajú systémy založené na paralelných procesoroch. Riadiaci systém sa pri návrhu zvyčajne predimenzuje kvôli možným vylepšeniam riadených PRaM. Riadiace systémy sa skladajú z týchto častí:

- procesor (Control unit + ALU)
- vstupno / výstupná jednotka
- pamäť

Jednotlivé časti komunikujú na zbernici. Nasledujúce kapitoly popisujú činnosti riadiacich systémov.

4.1.1.1 Projektovanie dráhy a riadenie

Pohyb ramena manipulátora po výslednej trajektórii môže byť pomerne jednoduchou záležitosťou ale vo väčšine prípadov využíva veľkú časť výpočtového výkonu riadiaceho systému. Pri veľmi zložitých systémoch sa pre každý stupeň voľnosti používa jeden alebo viacero počítačov. Pokročilé systémy majú začlenené rôzne nezávislé algoritmy na obchádzanie prekážok pri výpočte trajektórie.

4.1.1.2 Počítačové videnie

Počítačové videnie využíva vstupy z kamier pre analýcu predmetov a ich rozpoznávanie. Riadiaci systém následne upraví činnosť manipulátora.

4.1.1.3 Monitorovanie senzorov

S rastúcim počtom použitých senzorov sa manipulátory stávajú adaptívnejšími a inteligentnejšími. Riadiaci systém data zo senzorov vyhodnocuje a tak získava informácie o stave manipulátora. Niektoré senzory majú zabudované mikropočítače alebo logické funkcie. Iné druhy senzorov vyžadujú periodické snímanie hodnôt riadiacim systémom. Signály zo senzorov môžu vyvolávať rôzne druhy prerušení riadiaceho procesu. Spracovanie týchto prerušení musí byť ošetrené rýchlo, aby nedošlo k poškodeniu manipulátora alebo prostredia. Senzory monitorujú silu, zrýchlenie, pozíciu a iné.

4.1.1.4 Dohľad nad bezpečnosťou

Špeciálnou aplikáciou pre riadiace systémy je bezpečnosť. Tú zabezpečujú špeciálne senzory popri iných senzoroch merajúcich silu, pozíciu, atď. Majú schopnosť obísť riadiaci systém a zastaviť alebo vykonať iné potrebné funkcie aby nedošlo k nežiadúcim stavom. Používajú sa zvyčajne optické a ultrazvukové senzory pre pohyb. Teplotné, tlakové a iné senzory varujú pri iných nebezpečenstvách. Bezpečnostný systém je naprogramovaný ako časť riadiaceho systému.

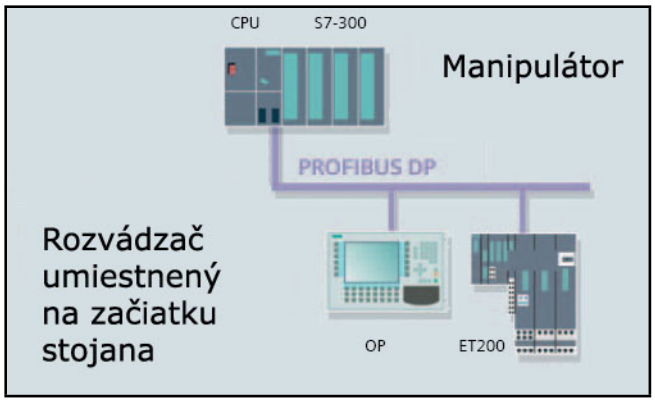
4.1.1.5 Vstupno / výstupné operácie

Dátová komunikácia medzi jednotlivými komponentami vyžaduje rôzne rozhrania pre vstupy a aj výstupy. Za vstupy sa považujú dáta zo senzorov a vstupných zariadení ako napr. ovládací panel. Výstupmi rozumieme dáta poslané na zobrazovacie jednotky, ovládanie frekvenčných meničov, atď. Moderné priemyselné zbernice (Profibus, CAN, Interbus) zabezpečujú dostatočnú rýchlosť a kapacitu pre prenos dát aj pre najnáročnejšie riadiace systémy.

4.1.2 Hardware manipulátora SKATE M03

Hlavným problémom pri návrhu hardwaru pre riadenie manipulátora boli požiadavky klienta. Podľa nich mal byť riadiaci systém začlenený do existujúceho monitorovacieho systému. Manipulátor bol navrhnutý a postavený za účelom vylepšenia a zrýchlenia už existujúceho technologického procesu. Preto sa pri návrhu bral ohľad na stávajúci stav technológie. Manipulátor je postavený na riadiacom systéme Siemens Simatic S7-300, ktorý vyhovoval našim požiadavkám na jednoduché programovanie a klientovým požiadavkám na kompatibilitu. Jeho centrálna časť pozostáva z procesora CPU 314C umiestneného v rozvádzači na manipulátore (obr. 4.1) a modulu digitálnych vstupov. Operačný panel OP7 a vzdialená I/O jednotka ET 200L sú inštalované do ovládacej skrine na ráme cievočnice, pričom obidve časti sú prepojené zbernicou Profibus DP. Skúsenosti s inštalovaním a programovaním riadiaceho systému Siemens Simatic S7-300 som nadobudol už počas štúdia na vysokej škole, takže som mohol zúročiť nadobudnuté vedomosti. Polohy horizontálneho a vertikálneho pohybu manipulátora sú snímané inkrementálnymi rotačnými snímačmi.

Riadiaci systém posuvnej točňe je časťou riadiaceho systému príslušného manipulátora.



Obr. 4.1: Riadiaci systém manipulátora SKATE M03

Na riadenie sme po zhodnotení možností použili riadiaci systém S7-300 s nasledujúcou konfiguráciou:

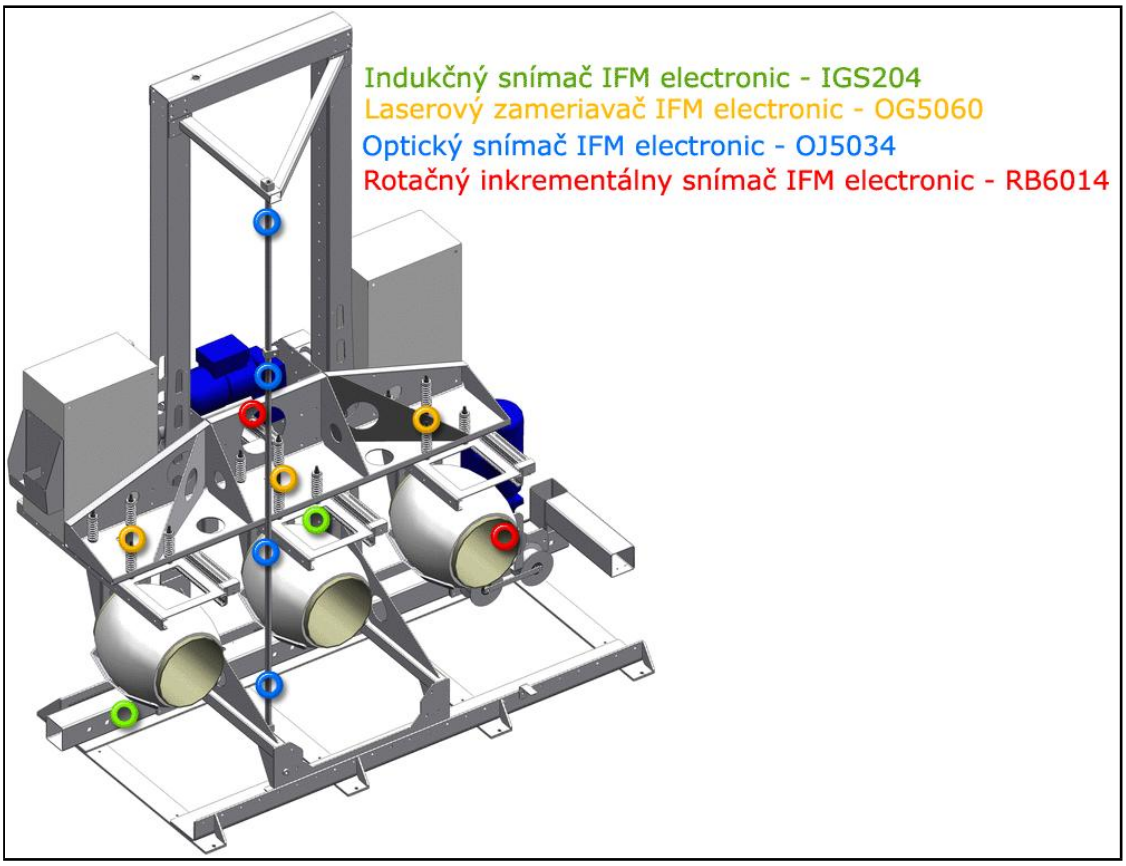
- Procesná jednotka Siemens CPU314C-2DP (24DI/16DO, 4AI/2AO)
- Modul digitálnych vstupov Siemens SM 321 (16DI)
- Operátorský panel Siemens OP7
- Modul vzdialených vstupov-výstupov Siemens ET200L (16DI/16DO)

4.1.2.1 Snímače

Meranie polohy - indukčné a rotačné inkrementálne snímače

Meranie polohy **pojazdu** a **zdvihu** manipulátora je realizované rotačnými inkrementálnymi snímačmi (obr. 4.3, IFM electronic - RB6014). Na základe počtu impulzov snímačov riadiaci systém ovláda meniče pohonov pre pohyb v smere osy x a y. Rozlišovacia schopnosť snímačov IFM (400 impulzov za otáčku) postačuje a nehrozí chybné vyhodnotenie riadiacim systémom. Jedným z problémov, ktorý sa objavil pri práci, bolo prešmykovanie spojky medzi snímačom a hriadeľom. Tým sa zmenila poloha manipulátora v riadiacom systéme voči skutočnej polohe. Referenčný indukčný snímač (obr. 4.5, IFM electronic - IFS204) horizontálneho pohybu je umiestnený na začiatku cievočnice a referenčný snímač vertikálneho pohybu (obr. 4.5, IFM electronic - IFS204) je umiestnený v dolnej časti stojana.

Polohy **hláv** (pohyb v smere osi z) indikuje dvojica magnetických snímačov (SMC) pre každý hydraulický valec. Tieto snímače pracujú po nainštalovaní na valce spoľahlivo.



Obr. 4.2: Rozloženie snímačov na manipulátore SKATE M03

Poloha **točne** je snímaná troma indukčnými snímačmi (obr. 4.4, IFM electronic - IGS204). Dva snímače slúžia na určenie krajných polôh točne (pri ľavom a pravom manipulátore). Tretí snímač slúži na indikáciu otáčania točne.

Optické snímače

Na indikáciu prítomnosti kokonu v stojane cievočníc sú použité štyri optické snímače (IFM electronic - OJ5048) pre každý rad v stojane jeden. Tým sa skenovanie voľných pozícii značne urýchli.

Laserový zameriavač (obr. 4.6, IFM electronic - OG5060) v každej hlave uľahčuje nakladanie kokonov v manuálnom režime.

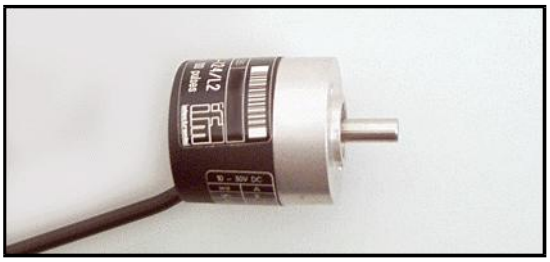
Bezpečnostné snímače

Bezpečnostné koncové snímače (obr. 4.7, Omron - D4D-1120) sú umiestnené na základni a na vozíku manipulátora. Tie vypnú hlavný stykač a odpoja silové obvody manipulátora od napätia. Pre pojazd je to dvojica snímačov (pohyb vpred a vzad),

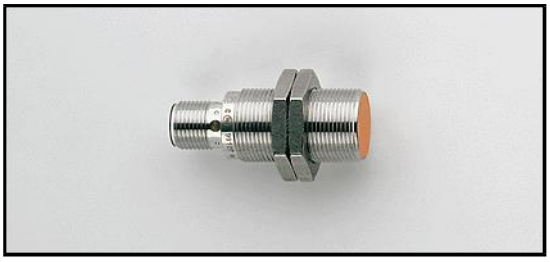
pre zdvih takisto dvojica snímačov (pohyb nahor a nadol) a pre každú hlavu je jeden snímač, ktorý sníma vychýlenie hlavy.

Ďalším druhom snímačov, zabezpečujúcich bezpečnosť prevádzky, ktoré používame sú optické závory (obr. 4.8, IFM electronic - OJ5034). Skladajú sa z vysielača a prijímača. Pri prerušení svetelného lúča sa automaticky odpojí napájanie manipulátora.

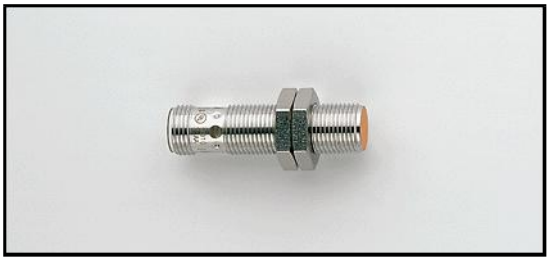
Snímač tlaku vzduchu signalizuje riadiacemu systému pokles tlaku vzduchu v rozvodoch.



Obr. 4.3: Rotačný inkrementálny snímač IFM electronic - RB6014



Obr. 4.4: Indukčný snímač IFM electronic - IGS204



Obr. 4.5: Indukčný snímač IFM electronic - IFS204

Obr. 4.6: Laserový zameriavač IFM electronic - OG5060

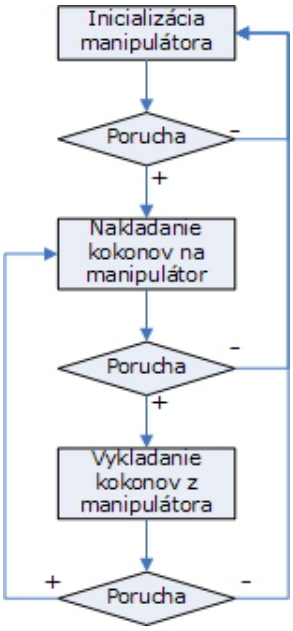
Obr. 4.7: Koncový snímač Omron - D4D-1120

Obr. 4.8: Optický snímač IFM electronic - OJ5034

4.2 Software pre riadenie manipulátorov

Software pre priemyselné automaty je písaný v špeciálnych programovacích jazykoch špecifických pre každého výrobcu riadiacich systémov. Ako príklad môžeme uviesť českú firmu Teco a jej prostredie pre programovanie PLC v prostredí Windows Mosaic. Programovateľné automaty sa programujú v podstate následujúcimi spôsobmi:

- jazykmi vychádzajúcimi z logických inštrukcií
- jazykmi vychádzajúcimi zo symbolov rebríčkovej schémy (Ladder diagram)



Obr. 4.9: Vývojový diagram manipulátora SKATE M03

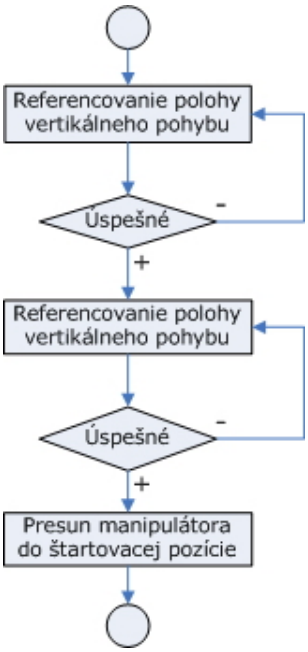
- jazykmi vychádzajúcimi zo symbolov blokovej schémy
- jazykmi sekvenčných blokových schém (Graphcet, SFC)
- jazykmi založené na štruktúrovanom texte

Jazyky sú viacmenej rovnocenné a prechod medzi nimi nie je zložitý, preto prostredia pre programovanie PLC podporujú viaceré formy zápisu programu. Programátor si môže zvoliť spôsob akým bude programovať.

4.2.1 Software manipulátora SKATE M03

Projekt rieši riadenie trojosého manipulátora, ktorý vkladá kokony do cievočnice z paliet na strane vstupu a ovládanie točne pri nakládke manipulátora. Riadiaci systém manipulátora SKATE M03 je postavený na výrobkoch firmy Siemens, preto jeho softwarová časť je programovaná v prostredí Step. Program spĺňa nároky vyžadované klientom a všetky bezpečnostné technické normy. Na programe som spolupracoval so zamestnancami firmy Manex, spol. s r.o.

Základná štruktúra programu manipulátora je na obr. 4.9.



Obr. 4.10: Vývojový diagram inicializácie manipulátora SKATE M03

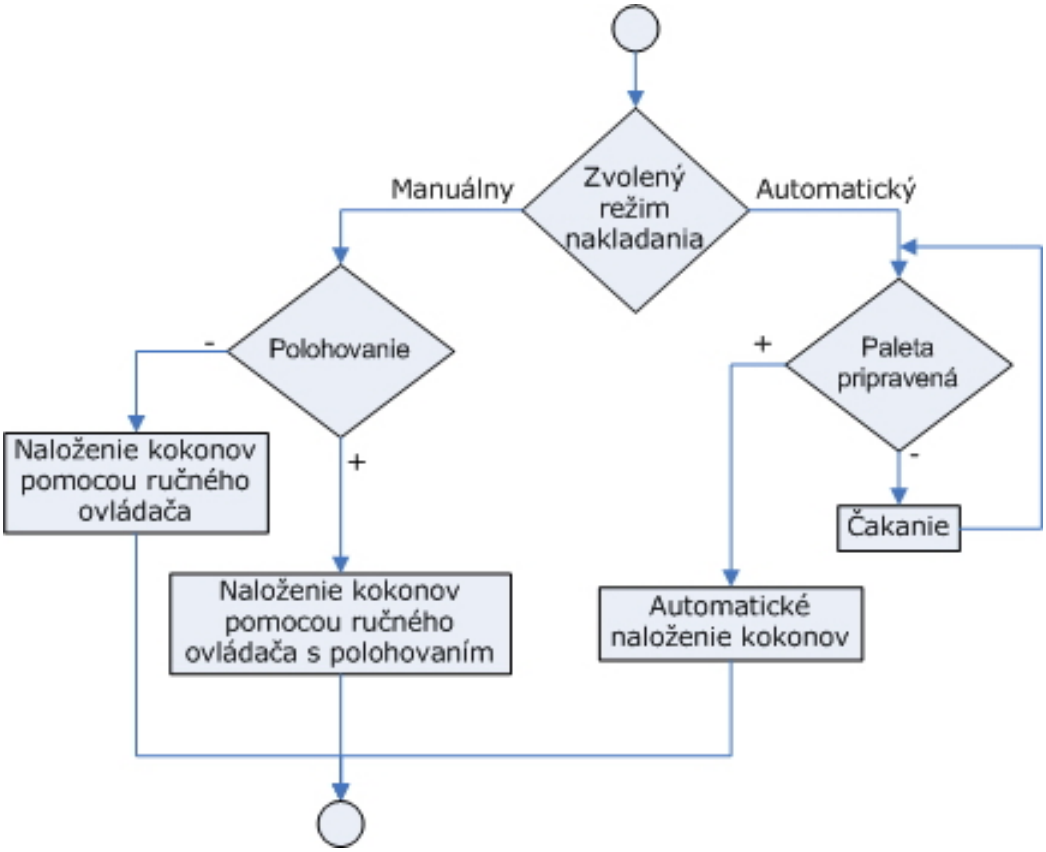
4.2.1.1 Inicializácia

Inicializácia (obr. 4.10) pozostáva z referencovania polohy manipulátora a presunu na štartovaciu pozíciu. Pre potreby riadiaceho systému musí manipulátor zistiť polohu v priestore a to tak, že prejde v smere osi x a y cez referenčný indukčný snímač. Pokiaľ nie je meranie polohy referencované, je na OP7 zobrazovaná poloha 0 mm a manipulátor sa pohybuje pomaly tzv. referenčnou rýchlosťou. Ak meranie nie je referencované, riadiaci systém nepozná polohu, môže manipulátor pri neopatrnom ovládaní nabehnúť na bezpečnostné koncové vypínače. Referenčný snímač v smere osi x je potrebné ho prejsť v smere k cievočnici, v smere osi y je potrebné ho prejsť smerom nadol. Po úspešnom referencovaní polohy sa manipulátor presunie na štartovaciu pozíciu, ktorá je tesne za svetelnou zábranou pri stojane cievočníc. Následne zoskenuje stojan a uloží aktuálny stav pozícií stojana cievočníc (prázdne / plné).

4.2.1.2 Nakladanie manipulátora

Program pre nakladanie manipulátora je znázornený na obr. 4.11. Pri nakaladní môže manipulátor pracovať v dvoch režimoch: MANUÁLNY a AUTOMATICKÝ. Volí sa podľa polohy prepínača voľby režimu na ovládači.

Pri **automatickom** režime sa pri naložení novej palety na točňu a aktivovaní manipulátora na OP presunie paleta k manipulátoru a manipulátor postupne vykladá kokony do stojana cievočníc. Pritom má uložené v pamäti pozície v palete, ktoré už vyložil.



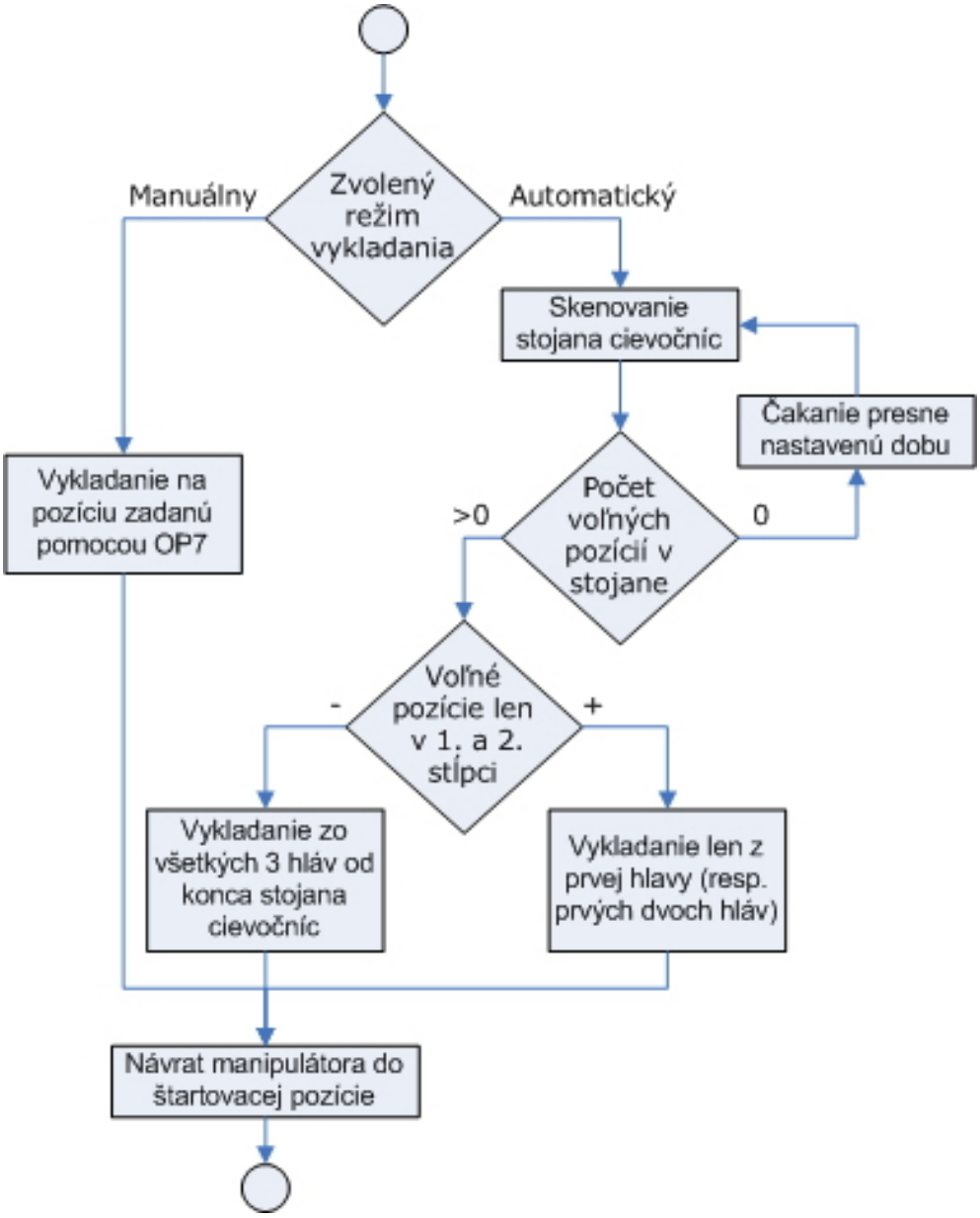
Obr. 4.11: Vývojový diagram pre nakladanie manipulátora SKATE M03

Druhým režimom, je **manuálny** režim. Pri tomto režime sa manipulátor ovláda pomocou ovládača. Ručný režim je určený na servisné činnosti a na ručné nakladanie kokónov na hlavy manipulátora. Je signalizovaný blikajúcou signálkou AUTOMATIKA a nápisom RUČNE na základnom obrázku OP7. Špeciálnou funkciou je polohovanie, ktoré sa používa, ak obsluha pri pojazde manipulátora drží stlačené tlačidlo polohovania na ovládači. Vtedy manipulátor zastaví najprv pohyb v ose x na pozícii podľa vybranej vysúvanej hlavy (napr. ak je vybraná 1. hlava, tak laserové ukazovátko svieti na prvej hlave a manipulátor zastaví v najbližšom stĺpci) v smere aktuálneho pohybu. Po nastavení vertikálnej polohy sa nastavuje horizontálna poloha podobným princípom. V programe, pri pohybe manipulátora v manuálnom režime, sú ošetrené také situácie, kedy hrozí presun mimo operačný priestor.

4.2.1.3 Vykladanie manipulátora

Aj pri vykladaní sa volí medzi automatickým a manuálnym režimom. Narozdiel od nakladania sa však nejedná o ovládanie manipulátora, ale o voľbu pozície v stojane, na ktoré má manipulátor uložiť kokony.

Pri automatickom režime manipulátor oskenuje voľné pozície v stojane a uloží si ich do pamäte. Vkladá kokony od konca stojana aby sa minimalizoval čas vykladania manipulátora. Museli sme ošetriť ešte situáciu, kedy manipulátor zakladá do prvých 2 stĺpcov. Manipulátor by prerušil svetelnú zábranu, ak by vykladal z tretej hlavy. Preto do prvého stĺpca sa vykladá len z prvej hlavy a do druhého z 1. a 2. hlavy.



Obr. 4.12: Vývojový diagram pre vykladanie manipulátora SKATE M03

Pozície, na ktoré ma manipulátor vyložiť kokony pri manuálnom režime, volíme na operačnom panely.

4.2.1.4 Bezpečnostný okruh

Program manipulátora obsahuje bezpečnostný okruh, ktorý odpája napájanie manipulátora, aby zamedzil nebezpečenstvu úrazu alebo zničeniu manipulátora pri porušení bezpečnostných svetelných zábran alebo nabehnutiu manipulátora na koncové snímače.

V programe sú ošetrené aj ďalšie neštandardné situácie, ktoré by mohli byť nebezpečné.

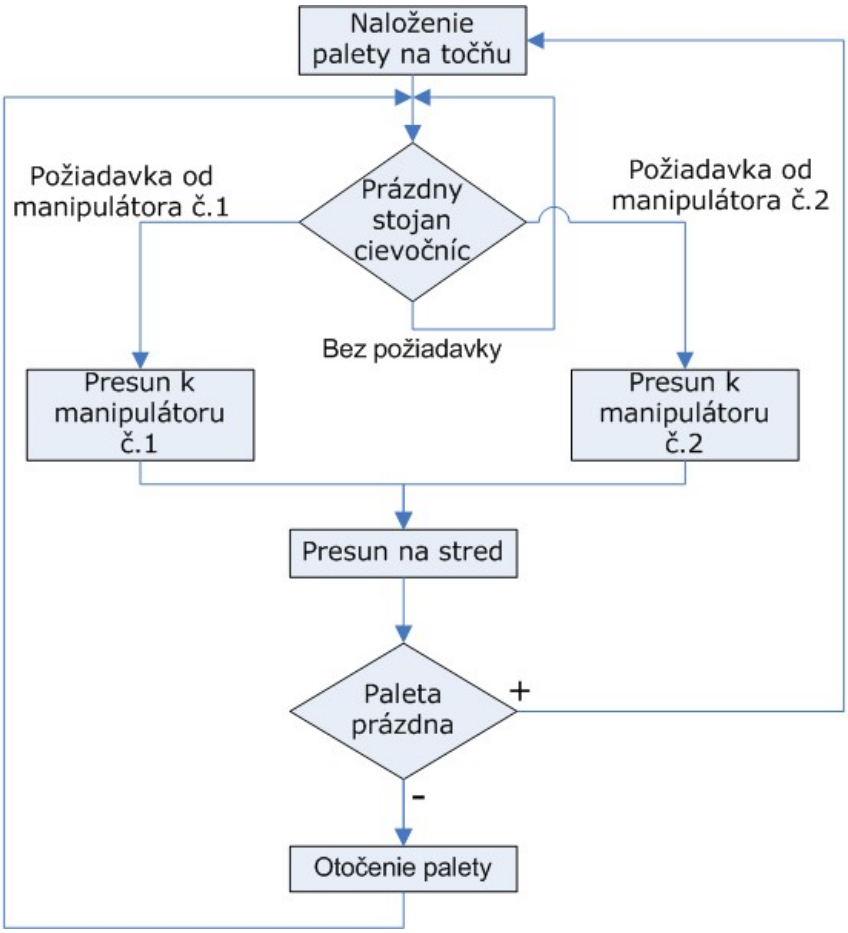
- Pri manuálnom režime nakladania manipulátora riadiaci systém nedovolí pohyb manipulátora, ktorý by nabehol na koncový snímač.
- Pri ukladaní kokonu na vopred zadanú pozíciu sa pozícia oskenuje, či nie je obsadená.
- Pri porušení svetelnej závory druhého (susedného) manipulátora sa odpoja oba manipulátory od napätia.

4.2.1.5 Servisný režim

Slúži na údržbu zariadenia. Prostredníctvom tlačidiel panela OP7 je možné v menu SERVIS ovládať všetky výstupy riadiaceho systému. Menu je prístupné iba po zadaní hesla.

4.2.1.6 Točňa

Na obrázku 4.13 je popísaný program ovládajúci točňu. Točňa spolupracuje s dvoma manipulátormi, preto jej riadenie je zahrnuté v riadiacom systéme jedného z manipulátorov. Od riadiaceho systému manipulátora dostáva požiadavku na presun palety a otočenie. V prípade bez požiadavky, točňa čaká na poslednej pozícii.



Obr. 4.13: Vývojový diagram pre točňu

Podmienkou pre presun palety k manipulátorom je, aby snímač otáčania bol zaclonený, t.j. aby bola jednotka otočenia palety zapolohovaná. Podobne pri otáčaní palety musí byť zaclonený snímač strednej polohy posuvu palety.

4.2.1.7 Poruchové hlásenia

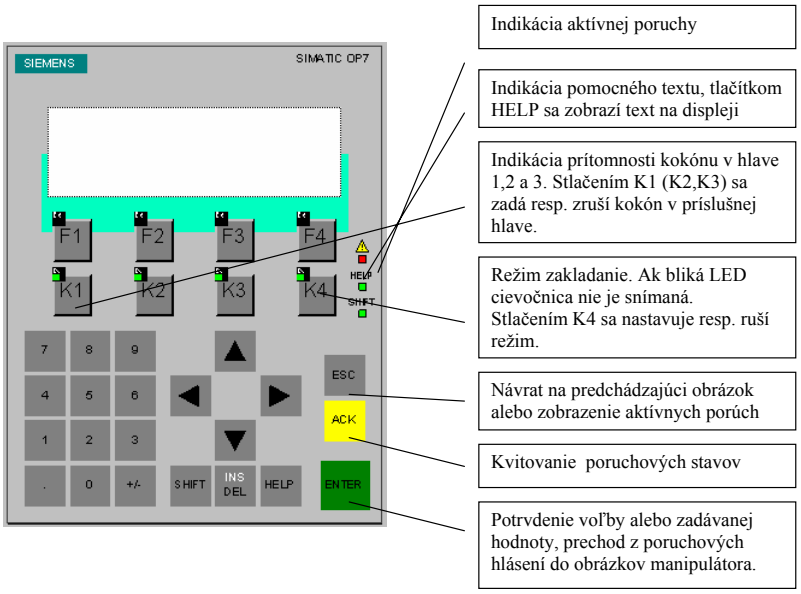
Pri výskyte poruchy sa poruchový text zobrazí na obrazovke OP7 a zároveň bliká červená LED. Každé poruchové hlásenie sa potvrdzuje stlačením tlačítka ACK. Vtedy poruchový text zmizne z obrazovky a s panelom sa môže normálne pracovať. Ak poruchový stav trvá, je indikovaný trvalým svietením LED na panely a signálkou PORUCHA. Po odstránení príčiny poruchy je treba vždy ešte raz stlačiť ACK, aby sa porucha zrušila v riadiacom systéme.

Aktívne poruchové hlásenia sa zobrazia po stlačení ESC v štartovacom obrázku. Naspäť do štartovacieho obrázku sa panel prepne po stlačení tlačítka ENTER.

Všetky poruchové hlásenia sú uvedené v prílohe č.2 Poruchové hlásenia riadiaceho systému manipulátora SKATE M03.

4.2.1.8 Operačný panel

Operačný panel (obr. 4.14) OP7 slúži na komunikáciu riadiaceho systému s obsluhou. Všetky jeho menu sú popísané v prílohe č.1 Operačný panel OP7.



Obr. 4.14: Operačný panel OP7

4.3 Vizualizácia technologického procesu

Pre potreby obsluhy a kontroly technologického procesu sa predpokladá využitie zobrazovania stavu systému na obrazovkách v riadiacich strediskách. Obsluha získa prehľad o technologickom procese a môže ovplyvňovať nastavenia, alebo priamo kontrolovať zariadenie. Takéto grafické rozhranie technologického procesu môže byť prístupné aj z internetu pomocou webového serveru.

Kapitola 5

Záver

Potreba riešenia konkrétneho problému z oblasti automatizácie a riadenia v reálnych podmienkach viedla k získaniu prehľadu dostupných riešení v oblasti priemyselných robotov a manipulátorov, od konštrukcie po riadenie. Konštrukcia s ohľadom na budúce riadenie vychádzala z minulých skúseností firmy a bola upravená podľa špecifických podmienok daných klientom. Výber riadiaceho systému SIEMENS ako aj možnosť použitia priemyselnej zbernice PROFIBUS DP v spojení s modulom vzdialených vstupov a výstupov umožňuje efektívne riadenie manipulátora SKATE M03. Efektívne riadenie z časového hľadiska, nákladov na prevádzku a spoľahlivosti.

Z hľadiska bezpečnosti boli vyriešené problémy so vstupom obsluhy do pracovného priestoru manipulátora a zabránenie zničeniu alebo poškodeniu samotného manipulátora. Program riadiaceho systému obsahuje samostatný bezpečnostný okruh, ktorý je nadriadený ostatným „bežným“ funkciám manipulátora. Vyradením obsluhy z procesu nakladania by sa dosiahla vyššia bezpečnosť, ale podľa požiadaviek museli byť implementované aj manuálne režimy. Preto môže prísť obsluha do kontaktu s manipulátorom. Čiastočným riešením je spomalenie pohonov manipulátora v manuálnom režime nakladania.

Budúce plne automatizované pracoviská vyžadujú aj centrálne riadenie. To zatiaľ implementované v riadiacom systéme nie je, ale počíta sa s možnosťou rozšírenia o vizualizáciu technologického procesu, prípadne riadenia na diaľku.

Literatúra

[1] Havel, I.M. (1980). *Robotika. Úvod do teorie kognitivních robotů*. SNTL, Praha.

[2] Kolíbal, Z. a Knoflíček, R. (2000). *Morfologická analýza stavby průmyslových robotů*. Vienala, Košice.

[3] Beljanin, P.N. (1975). *Promyšlennyje roboty*. Mašinostrojenie, Moskva.

[4] Matička, R. a Talácko, J. (1991). *Mechanismy manipulátorů a průmyslových robotů*. SNTL, Praha.

[5] Kožíšek, J. (1986). *Robotizace v hutnictví a strojírenství*. Inpro, Praha.

[6] Schulz, Š. (1991). *Manipulátory a roboty*. Edičné stredisko TU, Košice.

[7] Rumíšek, P. (2003). *Automatizace (roboty a manipulátory) [online]*. Posledná revízia august 2003, http://www.fme.vutbr.cz/opory .

[8] Rumíšek, P. (1988). *Automatizace výrobních procesů - vybrané statě*. VUT, Brno.

[9] Rumíšek, P. (1990). *Automatizace výrobních procesů II*. VUT, Brno.

[10] Talácko, J. a Matička, R. (1995). *Konstrukce průmyslových robotů a manipulátorů*. ČVUT, Praha.

[11] Wagner, F. (1994). *Technika a programování robotů*. Wahlberg, Praha.

[12] Mostýn, V. a Skařupa, J. (2000). *Teorie průmyslových robotů*. Vienala, Košice.

[13] Stupák, J. (2003). *Trojosí manipulátor Skate M03 - Príručka na obsluhu a údržbu*. Manex, spol. s r.o., Košice.

[14] Critchlow, A. J. (1985). *Introduction to robotics*. Macmillan, New York.

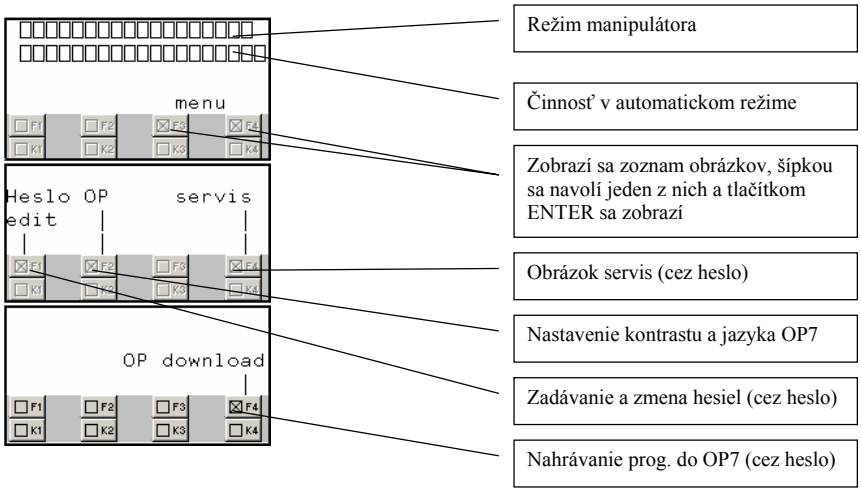
[15] Snyder, W. E. (1985). *Industrial robots: computer interfacing and control*. Prentice-Hall, Inc., New Jersey.

Zoznam príloh

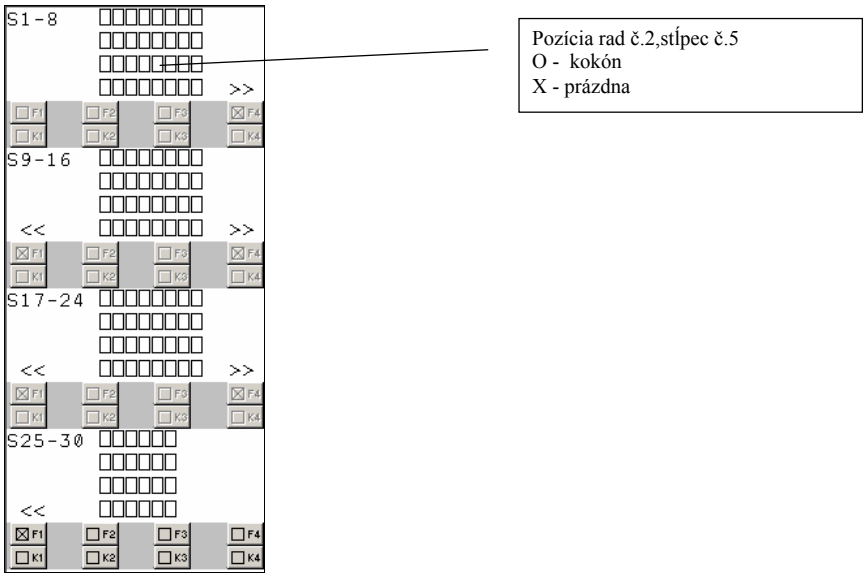
1. Operačný panel OP7
2. Poruchové hlásenia riadiaceho systému manipulátora SKATE M03
3. Zoznam vstupov a výstupov pre riadiaci systém manipulátora SKATE M03
4. Fotografie manipulátora SKATE M03

Príloha č.1 - Operačný panel OP7

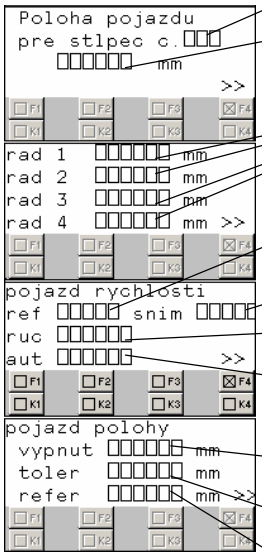
Štartovacie obrazovky OP7



Obrazovky cievočnica - zobrazuje obsadenie cievočnice tak, ako je zapamätané v riadiacom systéme



Obrazovky parametrov 1.



Zadanie stĺpec (1-30) , stlačiť ENTER

Poloha hlavy č.1 manipulátora v mm pre zakladanie do zadaného stĺpca (cez heslo)

Poloha zdvihu manip. pre zakladanie do radu 1,2,3 a 4 (cez heslo)

Rýchlosť pojazdu manipulátora pri neplatnom meraní v % (cez heslo)

Rýchlosť pojazdu manipulátora pri snímaní cievočnice v % (cez heslo)

Rýchlosť pojazdu manipulátora v ručnom režime v % (cez heslo)

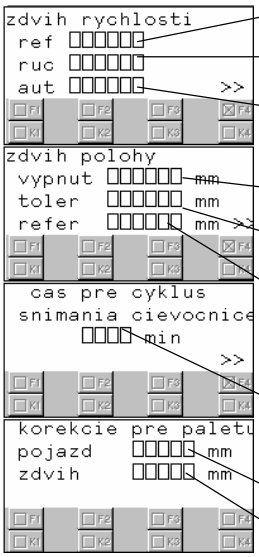
Rýchlosť pojazdu manipulátora. v autom. režime v % (cez heslo)

Vypnutie pojazdu pred žiadanou polohou v mm (cez heslo)

Tolerancia v mm od žiadanej polohy, v ktorej sa považuje poloha pojazdu za dosiahnutá (cez heslo)

Vzdialenost refer. snímača pojazdu od začiatku dráhy (cez heslo)

Obrazovky parametrov 2.



Rýchlosť zdvihu manipulátora pri neplatnom meraní v % (cez heslo)

Rýchlosť zdvihu manipulátora v ručnom režime v % (cez heslo)

Rýchlosť zdvihu manipulátora v autom. režime v % (cez heslo)

Vypnutie pohonu zdvihu pred žiadanou polohou v mm (cez heslo)

Tolerancia v mm od žiadanej polohy, v ktorej sa považuje poloha zdvihu za dosiahnutá (cez heslo)

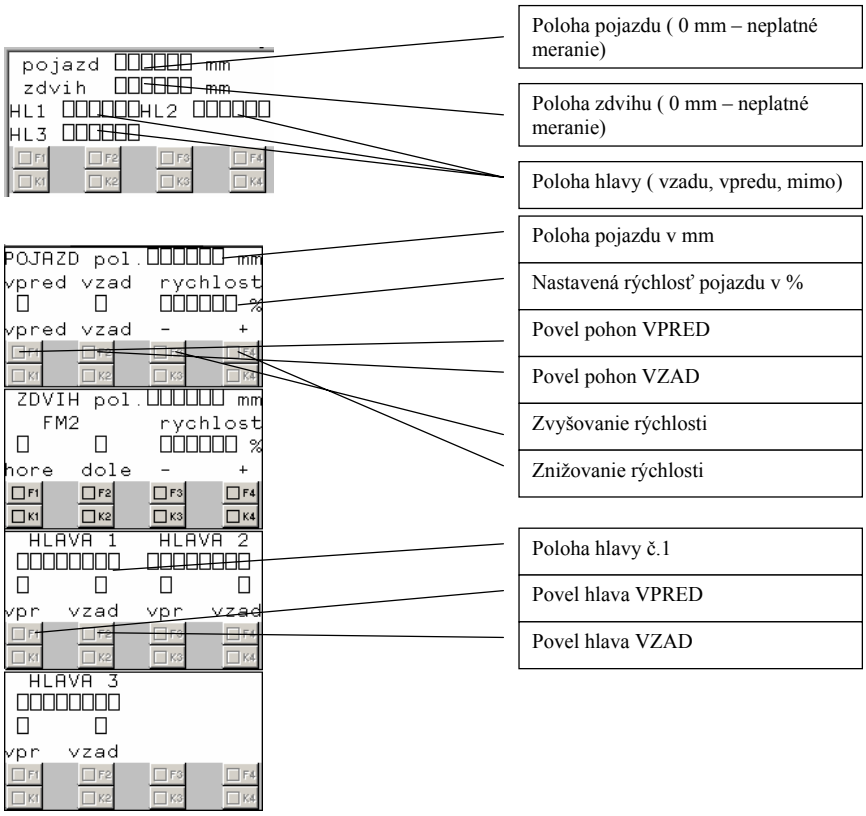
Vzdialenost refer. snímača zdvihu od začiatku dráhy (cez heslo)

Doba, po ktorej manipulátor v automatickom režime znova sníma cievočnicu (cez heslo)

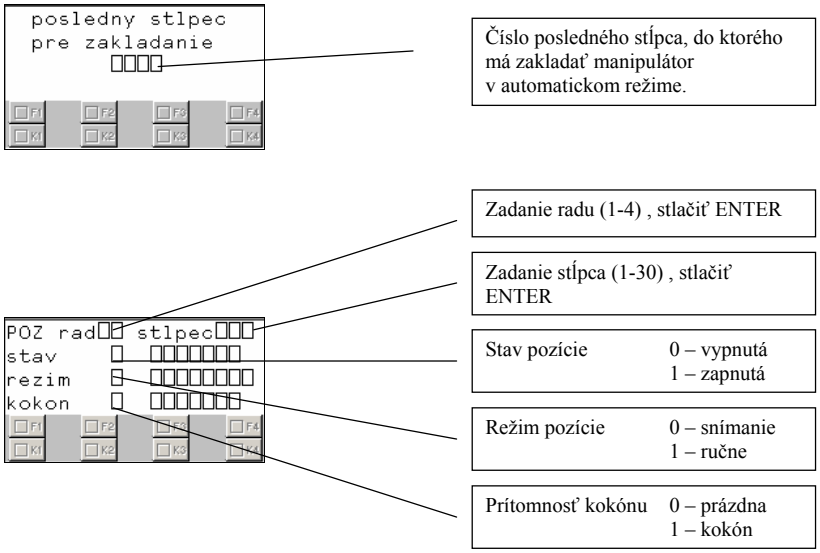
Korekcia polohy palety na pojazd pri ručnom polohovaní (cez heslo)

Korekcia polohy palety na zdvih pri ručnom polohovaní (cez heslo)

Obrazovka manipulátor a obrazovky servis



Obrazovka volieb zakladania a pozície cievočnice



Príloha č.2 - Poruchové hlásenia riadiaceho systému manipulátora SKATE M03

Poruchy pojazdu		
poruchový text	**info**	**možná príčina**
neplatné meranie polohy	Pojazd musí prejsť cez referenčný snímač smerom dopredu (k cievočnici)	- vždy pri zapnutí systému - koncáky na konci dráhy - porucha merania polohy
porucha referenčného snímača	Ref. snímač bol aktivovaný mimo polohy, kde ho riadiaci systém očakával.	- snímač bol aktivovaný cudzím predmetom - porucha spojky IRC 1 - porucha IRC 1
porucha polohovania	Pri automatickom polohovaní nedosiahol pojazd žiadanú polohu v rámci zadanej tolerancie.	- porucha brzdy pohonu - nesprávne nastavenie meniča - nesprávne nastavenie parametrov polohovania v OP7
porucha merania polohy	Impulzy IRC neboli v súlade so zapnutým smerom pohybu.	- porucha IRC 1 - poistka napájania IRC 1 FUMX10
porucha meniča	Menič nedáva signál o pripravenosti na prevádzku.	- porucha meniča - poistka FU1 - ističe FA1, FA1.1
bezpečnostný koncák vpredu	Bol aktivovaný bezpečnostný koncák SB3 pojazdu smer dopredu. Pre zapnutie ovládacieho napätia je treba vrátiť koncák do normálnej polohy alebo prepojiť svorky v rozvádzači.	- meranie nebolo referencované - spojka IRC 1
bezpečnostný koncák vzadu	SB4	
porucha snímačov	koncáky a bezpečnostný snímač ručnej zóny majú nelogický stav	

Poruchy hlavy		
poruchový text	**info**	**možná príčina**
porucha snímačov polohy	Obidva snímače polohy sú zapnuté.	
bezpečnostný spínač S13	Hlava je vychýlená z polohy. Ak zareagoval koncák pri pohybe zdvihu, je tento smer zdvihu blokovaný. Pojazd je blokovaný do oboch smerov. S pojazdom je možné pohybovať iba pri stlačenom tlačítku ACK na OP7	
prekročená maximálna doba chodu	Prekročená kontrólna doba chodu z jednej do druhej krajnej polohy.	- porucha snímača polohy - nesprávne nastavenie snímača polohy - nesprávne nastavenie škrtiacich ventilov - nízky tlak vzduchu

Poruchy točne		
poruchový text	**info**	**možná príčina**
porucha ističov FA3,FA4		- výpadok niektorého z ističov FA3, FA4 v rozvádzači ROP
porucha snímačov	Obidva snímače polohy S104 a S105 sú aktívne.	- porucha niektorého snímača
porucha polohy točne	Otáčanie nie je v polohe.	- nastavenie snímača otáčania S107

Poruchy zdvihu		
poruchový text	**info**	**možná príčina**
neplatné meranie polohy	Zdvih musí prejsť cez referenčný snímač smerom nadol.	- vždy pri zapnutí systému - koncáky na konci dráhy - porucha merania polohy
porucha referenčného snímača	Ref. snímač bol aktivovaný mimo polohy, kde ho riadiaci systém očakával.	- snímač bol aktivovaný cudzím predmetom - porucha spojky IRC 2 - porucha IRC 2
porucha polohovania	Pri automatickom polohovaní nedosiahol pojazd žiadanú polohu v rámci zadanej tolerancie.	- porucha brzdy pohonu - nesprávne nastavenie meniča - nesprávne nastavenie parametrov polohovania v OP7
porucha merania polohy	Impulzy IRC neboli v súlade so zapnutym smerom pohybu.	- porucha IRC 2 - poistka napájania IRC 2 FU3
porucha meniča	Menič nedáva signál o pripravenosti na prevádzku.	- porucha meniča - poistka FU2 - ističe FA2, FA2.1
bezpečnostný koncák hore SB1	Bol aktivovaný bezpečnostný koncák SB1 zdvihu smer nahor. Pre zapnutie ovládacieho napätia je treba vrátiť koncák do normálnej polohy alebo prepojiť svorky v rozvádzači.	- meranie nebolo referencované - spojka IRC 2
bezpečnostný koncák dole SB2	SB2	
porucha snímačov	Obidva koncové snímače hlásia aktívny stav.	

Iné poruchy		
poruchový text	**info**	**možná príčina**
porucha automatickej sekvencie krok ...	Hlásenie pre programátora. Okrem tohto hlásenia by malo prísť poruchové hlásenie, ktoré prerušenie spôsobilo.	
TOTAL STOP	Stlačenie tlačítka TOTAL STOP na rozvádzači ROP alebo na ovládači manipulátora.	
TLAK VZDUCHU	Nízky tlak vzduchu.	- nastavenie regulátora tlaku na manipulátore - nastavenie snímača tlaku ST na manipulátore
Optická závora ZB1	V automatickom režime bola narušená spodná optická závora ZB1.	
Optická závora ZB2	V automatickom režime bola narušená horná optická závora ZB2.	
BEZPEČNOSTNÝ SPÍNAČ - prechod do ručnej zóny	V automatickom režime bol aktivovaný spínač SB5 na dráhe manipulátora.	- porucha merania polohy

Príloha č.3 - Zoznam vstupov a výstupov pre riadiaci systém manipulátora SKATE M03

Digitálne vstupy riadiaceho systému		
Por. číslo	Názov	Poznámka
1.	-	nepoužité
2.	CS	centrál stop
3.	CHM1	porucha meniča 1
4.	CHM2	porucha meniča 2
5.	S1	počiatok osi X
6.	S2	počiatok osi Y
7.	S3	kľúčik
8.	IRC11	inkrem. snímač 1 signál A
9.	IRC12	inkrem. snímač 1 signál B
10.	IRC21	inkrem. snímač 2 signál A
11.	IRC22	inkrem. snímač 2 signál B
12.	BQ1	prítomnosť kokónu rad 1
13.	BQ2	prítomnosť kokónu rad 2
14.	BQ3	prítomnosť kokónu rad 3
15.	BQ4	prítomnosť kokónu rad 4
16.	SM1	hlava 1 vysunutá
17.	SM2	hlava 1 zasunutá
18.	SM3	hlava 2 vysunutá
19.	SM4	hlava 2 zasunutá
20.	SM5	hlava 3 vysunutá
21.	SM6	hlava 3 zasunutá
22.	SB1	bezpeč. spínač hore
23.	SB2	bezpeč. spínač dole
24.	SB3	bezpeč. spínač vpravo
25.	SB4	bezpeč. spínač vľavo
26.	S12	kontrolný spínač hlava 1
27.	S13	kontrolný spínač hlava 2
28.	S14	kontrolný spínač hlava 3
29.	S4	tlačidlo hlavu zasunúť
30.	S5	tlačidlo hlavu vysunúť
31.	S6	prepínač výber hlavy 123
32.	S7	prepínač výber hlavy 123
33.	S8	joystick manipulátor vpred
34.	S9	joystick manipulátor reverz
35.	S10	joystick manipulátor hore
36.	S11	joystick manipulátor dole
37.	ST	tlak vzduchu
38.	-	nepoužité
39.	-	nepoužité
40.	-	nepoužité

Analógové vstupy riadiaceho systému		
Por. číslo	Názov	Poznámka
1.	AI1	nepoužité
2.	AI2	nepoužité
3.	AI3	nepoužité
4.	AI4	nepoužité

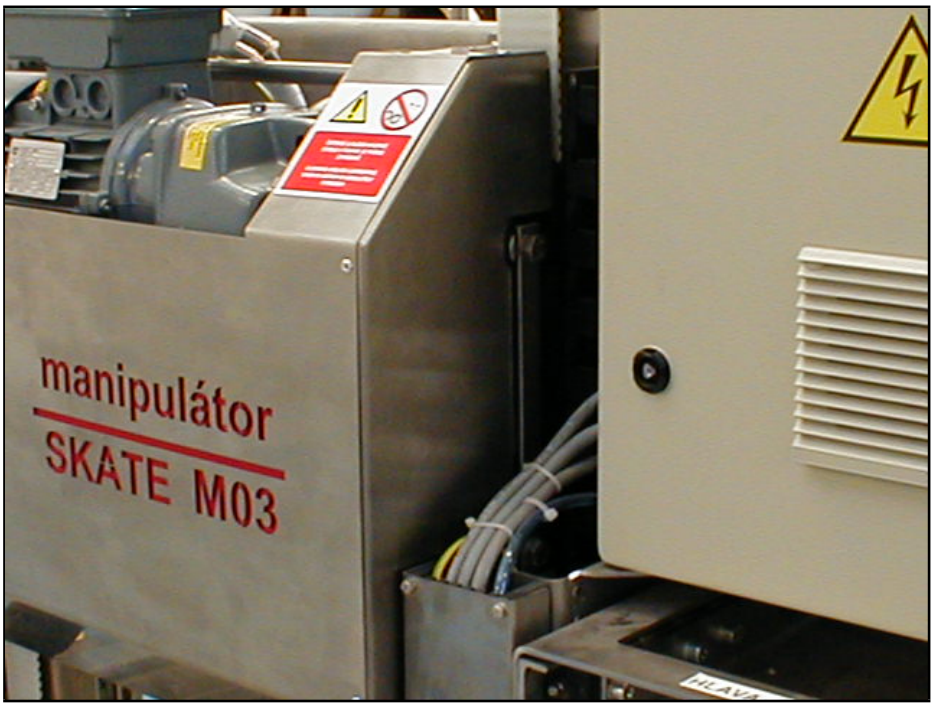
Digitálne výstupy riadiaceho systému		
Por. číslo	Názov	Poznámka
1.	HL1	červený signálny stĺpik
2.	HL2	oranžový signálny stĺpik
3.	HL3	zelený signálny stĺpik
4.	YV1	hlava 1 vysunúť
5.	YV2	hlava 1 zasunúť
6.	YV3	hlava 2 vysunúť
7.	YV4	hlava 2 zasunúť
8.	YV5	hlava 3 vysunúť
9.	YV6	hlava 3 zasunúť
10.	FM1P	motor M1 vpred
11.	FM1R	motor M1 reverz
12.	FM2P	motor M2 hore
13.	FM2R	motor M2 dole
14.	BR	bezpečnostné relé PLC
15.	-	nepoužité
16.	-	nepoužité

Analógové výstupy riadiaceho systému		
Por. číslo	Názov	Poznámka
1.	AO1	FMV1 Frekvenčný menič - rýchlosť motora M1
2.	AO2	FMV2 Frekvenčný menič - rýchlosť motora M2

Vzdialené digitálne vstupy riadiaceho systému		
Por. číslo	Názov	Poznámka
1.	S101	tlačidlo ŠTART
2.	S102	tlačidlo STOP
3.	S103	prepínač ručne/automatika
4.	S104	točňa manipulátor 1
5.	S105	točňa manipulátor 2
6.	S106	točňa stred
7.	S107	otáčanie točne
8.	ZB1	bezpeč. optická závora horná
9.	ZB2	bezpeč. optická závora dolná
10.	SB5	Vyjdenie zo zóny
11.	CHM34	porucha točne
12.	S110	tlačidlo presun točne manipul. 1
13.	S111	tlačidlo presun točne manipul. 2
14.	S112	tlačidlo otočenie točne
15.	S113	kľúčik deblokácia zábrany
16.	ON	ovládacie napätie

Vzdialené digitálne výstupy riadiaceho systému		
Por. číslo	Názov	Poznámka
1.	M3P	motor M3 vpred
2.	M3R	motor M3 reverz
3.	M4	motor M4
4.	HL100	porucha
5.	HL101	režim ruč/aut
6.	KAZB	bezpeč. relé
7.	-	nepoužité
8.	-	nepoužité
9.	-	nepoužité
10.	-	nepoužité
11.	-	nepoužité
12.	-	nepoužité
13.	-	nepoužité
14.	-	nepoužité
15.	-	nepoužité
16.	-	nepoužité

Príloha č.4 - Fotografie manipulátora SKATE M03



4
4
5
5

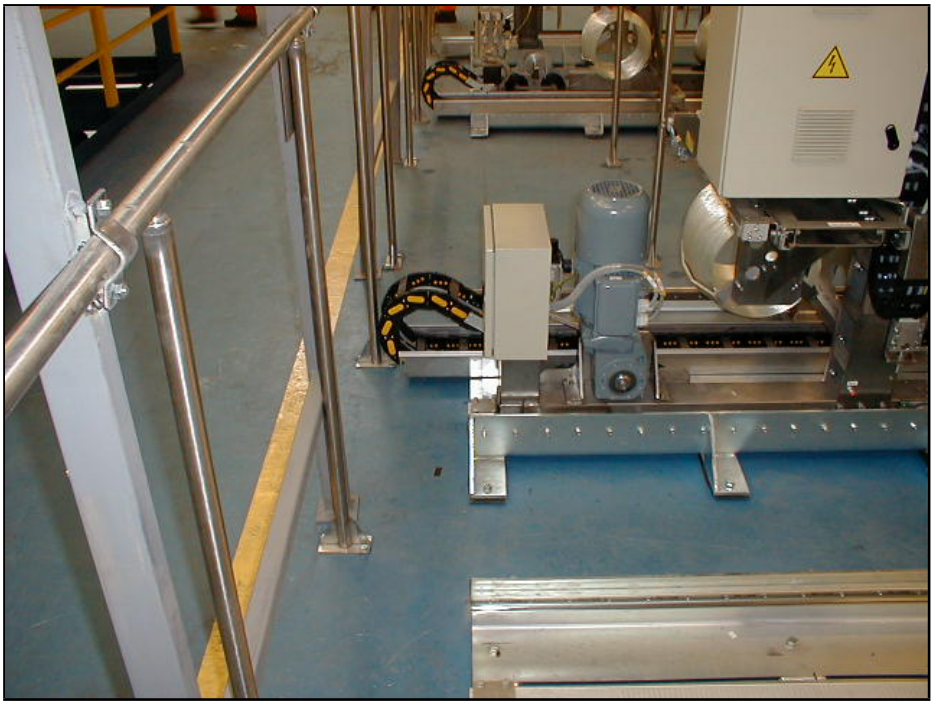
3
4

2
1

3
4
5

6
5

2



4
3