

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

**AUTOMATIZACE**  
**( roboty a manipulátory )**

Zpracoval : Doc. Ing. Pavel Rumíšek, CSc.

V Brně srpen 2003

## Obsah:

Úvod	
1. Klasifikace průmyslových robotů a manipulátorů.....	4
1.1 Synchronní manipulátory.....	6
1.2 Průmyslové roboty .....	7
1.2.1 Generace PRaM .....	9
1.2.2 Adaptivní roboty .....	9
1.2.3 Kognitivní roboty .....	10
1.2.4 Konativní roboty .....	11
1.2.5 Mobilní roboty .....	11
2. Tuhost PRaM a jejich geometrie .....	11
2.1 Tuhost konstrukcí PRaM .....	12
2.2 Geometrie PRaM .....	13
3. Pohony průmyslových robotů a manipulátorů .....	13
3.1 Plynulý bezrázový rozběh a brzdění .....	14
3.2 Vysoká přesnost polohování .....	14
3.3 Dostatečná polohová tuhost .....	15
3.4 Minimální hmotnost .....	15
3.5 Minimální rozměry .....	15
3.6 Vhodné pracovní uspořádání .....	15
4. Struktura pohonů PRaM .....	15
5. Uspořádání pohonu pohybových jednotek .....	17
5.1 Elektrický pohon .....	18
5.2 Pneumatický a hydraulický pohon .....	20
5.3 Kombinovaný pohon .....	21
6. Pracovní hlavice .....	22
7. Úchopné hlavice .....	24
7.1 Pasivní úchopné mechanické hlavice .....	25
7.2 Aktivní úchopné mechanické hlavice .....	27
8. Pomocné prostředky robotizovaných pracovišť .....	28
Použitá literatura a zdroje .....	31

# Úvod

Neustále rostoucí tlak na zvyšování produktivity a kvality výroby je jedním z důvodů rostoucího zájmu o využívání automatických výrobních zařízení. Automatizace přetváří strukturu celé výrobní základny nejen ve strojírenství, mění též výrobní technologii a působí na vývoj vlastního výrobního procesu. V rámci automatizace celé řady úkonů i celých procesů se v různých odvětvích čím dál tím více prosazují samozřejmě i **manipulátory a roboty**.

Zvyšování produktivity práce nelze zajistit bez modernizace, rekonstrukce a automatizace výrobního zařízení. Je třeba nahradit pracovníka autem všude tam, kde se jedná o monotónní práci nebo práci ve škodlivém prostředí. Automatizace nahrazuje pracovníka i tam, kde zvýšená automatizace výroby přinese i zvýšenou kvalitu výroby. Při všech automatizačních, ale i mechanizačních projektech je však nezanedbatelná ekonomika, a to jak u výrobce automatizačních či mechanizačních prostředků, tak zvláště u jejich uživatelů.

**Automatizaci technologických procesů** je nutno chápat komplexně. Nelze ji zúžit pouze na vlastní stroj. Patří sem i automatizovaná doprava, manipulace s materiálem, kontrola a měření, výměna nástrojů a pod. Automatizaci technologického procesu lze řešit za pomoci univerzálních či jednoúčelových zařízení nebo jejich prvků, případně jejich vhodnou kombinací.

Při řešení každého konkrétního případu je třeba se zabývat optimalizací řešení, a to po stránce nejen technické, ale i ekonomické. Samozřejmě je třeba každé navržené řešení posoudit i z dalších hledisek, jako např. rychlost dodávky určitého systému, přesnost výroby, prostorové možnosti, energetická náročnost a pod.



**Robotizace** průmyslových procesů nachází uplatnění nejen v hromadných výrobních, jak se původně předpokládalo, ale i ve výrobních malosériových a kusových. Robotizace je významným činitelem kultivace lidské práce. Osvobozuje člověka od fyzicky namáhavé a monotónní práce, umožňuje mu vymanit se ze zdravotně škodlivých a rizikových pracovních prostředí.

Navíc umožnila růst produktivity práce a otvírá nové možnosti pro přerozdělování pracovního fondu společnosti ve prospěch intelektuálního uplatnění lidí v tvůrčí práci a vytváření podmínek pro kvalitativně vyšší způsob života. Ve všech průmyslových odvětvích se vyskytují monotónní práce, činnost spojená s vynakládáním značné fyzické námahy, práce v nezdavém prostředí i práce kladoucí značné nároky na svědomitost, pečlivost a bdělost pracovníka. Tam všude lze použít manipulační zařízení s různým stupněm automatizace.

Investice do těchto zařízení se pak vyplatí nejen snížením provozních nákladů, zvýšením bezpečnosti a produktivity práce, ale i tím, že se v nich získá univerzální prostředek, použitelný bez velkých vydání jinde a jinak.



## Charakteristické znaky jednotlivých typů PRaM:

Podavače - Jsou nejjednoduššími jednoúčelovými manipulátory. Tvoří většinou s ovládaným strojem jeden celek; jsou jím řízeny, mají od něj odvozen pohon. Tyto "podávací" mechanismy mají velký význam pro automatizaci technologických procesů. Uživatelé si tato zařízení často sami zhotovují nebo samostatně dokupují a doplňují jimi své stroje.

Synchronní (teleoperátory) - řízení provádí průběžně řídící pracovník. Tyto manipulační mechanismy představují vlastně zesilovací ústrojí pro zesílení silových a pohybových veličin na základě popudů vyvolaných řídícím pracovníkem. Na obsluhovaném stroji jsou nezávislé. Manipulátor a člověk (řídící pracovník) "tvoří" uzavřenou regulační smyčku. Tato zařízení přenáší na dálku příkazy člověka. Tato možnost ovládání pracovního mechanismu na dálku se využívala a využívá pro vědecké, lékařské i vojenské účely. Už dnes se provádí některé operace nepřímo pomocí miniaturních manipulátorů. Pomocí dálkově řízených manipulátorů se může manipulovat též s nebezpečnými látkami apod.

Programovatelné - jsou řízeny programovým ústrojím. Provedením, pohonem a funkcí jsou na obsluhovaném stroji nezávislé.

S pevným programem - program se nemění během činnosti manipulačního mechanismu, je stálý, programové ústrojí je jednoduchého provedení. Nazýváme je "jednoduché průmyslové roboty".

S proměnlivými programy - mají možnost přepínání nebo volby programu, většinou podle scény, ve které se manipulační mechanismy právě nacházejí. Bývají to zařízení s adaptivním řízením. Představují v současné době špičku konstrukčního provedení a nazýváme je "Průmyslovými roboty".

Kognitivní roboty - jsou to roboty vybavené možností vnímání a racionálního myšlení (kognitivní proces = proces vnímání a racionálního myšlení).

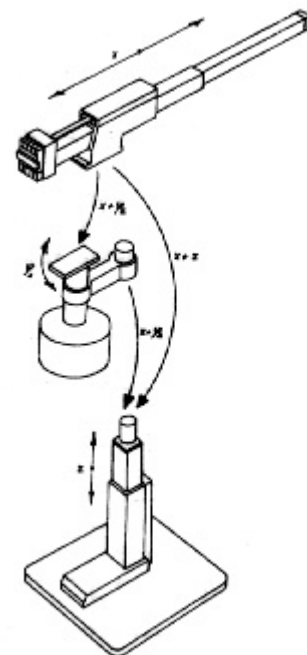
Průmyslové roboty se liší od informačních systémů, jakými jsou např. počítače, vykonáváním fyzikálního vlivu na okolí. Úkony (činnost vykonávaná manipulačními mechanismy) jsou buď

- převážně manipulační, tj. slouží k přemísťování objektů a jejich mechanickému ovládnutí (objekty mohou být i nástroje ad b);
- výrobně-technologické, tj. vykonávají některé technologické operace dosud realizované výrobními zařízeními (např. vrtání, soustružení apod.).

Činnost, převážně vykonávaná, pak klade požadavky na vlastní provedení manipulátorů, jejich počet stupňů volnosti, úroveň řízení atd.

Podle konstrukčního provedení lze dále provést rozdělení na

- stavebnicové - modulární
- nestavebnicové – nedomulární



Obr.1 Skladba robota

Modulární provedení se skládá ze samostatných funkčních celků-modulů. Modulově je uspořádána jak mechanická část, tak i řídicí ústrojí. Funkčně náročnější manipulační mechanismy vzniknou ze základních funkčních celků.

Na obrázku č.1 je znázorněna skladba průmyslového robotu - vidíme jeho stavebnicové části, skladebné možnosti a jim pak odpovídající manipulační dráhy, roviny a prostory.

Zvláštní skupinu manipulačních zařízení (jak bylo uvedeno v úvodní klasifikaci) tvoří roboty.

**Roboty** složitějšího provedení, a pak hlavně kognitivní, se od ostatních manipulačních mechanismů liší především úrovní řízení. Vyznačují se následujícími vlastnostmi:

1. Manipulační schopností, tj. uchopením a přemísťováním předmětů, různými montážními úkony, úpravou předmětů, zacházením s pomocnými předměty (např. s nástroji).
2. Autonomností chování, tj. složitou posloupností úkonů prováděnou automaticky podle určitého programu. Důležitý je zejména případ, kdy tento program není pevný (daný konstrukcí, jako např. u klasických řídicích automatů), ale volitelný buď člověkem nebo automaticky vlastním zařízením. Tím se liší např. od teleoperátorů, které zesilují a přenášejí na dálku pohybové příkazy přímo od člověka, jenž je nedílnou součástí ústrojí.
3. Univerzálností ve smyslu "víceúčelovosti", nikoli "všemohoucnosti". Zařízení neslouží pouze k jedinému účelu, ale k více, někdy dosti rozmanitým účelům. To souvisí s možností změny programu, jež má být jednoduše a rychle proveditelná.
4. Existence vazby s prostředím (vnímání). Kromě jednoduchých mechanických (dotekových) elektromagnetických čidel lze u složitějších systémů počítat i s vizuální (použitím televizní kamery) a akustickou vazbou.
5. Prostorovou soustředěností jednotlivých složek (integrovanost) pokud možno (ale nikoli nutně, je-li jednou ze složek počítač) do jednoho objektu. Důsledkem je kromě jiného též snadná transportovatelnost; v některých případech lze požadovat, aby systém byl mobilní.

## 1.1. Synchronní manipulátory

Synchronní manipulátory (**teleoperátory**) jednoúčelové i víceúčelové, jsou manipulační zařízení, ovládané člověkem. Jejich úkolem je zesilovat síly, respektive moment a pohybové možnosti operátora. Rozdíl mezi jednoúčelovými a univerzálními je v konstrukčním provedení. Jednoúčelové synchronní manipulátory mají omezenou možnost použití pro jiné případy manipulace. Jako příklad lze uvést jednoúčelové teleoperátory (balancéry), pro zdvihání těžkých předmětů.

Univerzální synchronní manipulátory jsou konstrukčně složitější, kopírují pohyby člověka (řídicího pracovníka). Manipulátor a člověk tvoří vlastně uzavřenou regulační smyčku. Jsou nazývány zařízeními pracujícími na principu master-slave. Na obsluhovaném stroji jsou nezávislé. Manipulátor a člověk (řídicí pracovník) tvoří uzavřenou smyčku. Tato zařízení přenášejí na dálku příkazy člověka.

Současná představa automatizace manipulačních cyklů je spojována jen s uplatněním univerzálních manipulátorů a robotů, které jsou poměrně komplikované a tedy i drahé. Potom je jejich nasazení v jednodušších případech nevýhodné z ekonomického hlediska, ale i z hlediska malého využití jejich celkových možností. Při současné úrovni výroby je možné řadu problémů, spojených s její automatizací, řešit pomocí jednoúčelových manipulátorů.

## 1.2 Průmyslové roboty

Již pojem „zdůrazňuje, že jde o ústrojí složitější než manipulátor, ústrojí, které má většinu z výše uvedených vlastností; toto označení je zejména vhodné pro zařízení řízená počítačem. Jeho definice je pak:

- Robot je automaticky nebo počítačem řízený integrovaný systém, schopný autonomní cílově orientované interakce s přirozeným prostředím podle instrukcí od člověka. Tato interakce spočívá :

(a) ve vnímání a rozpoznávání tohoto prostředí

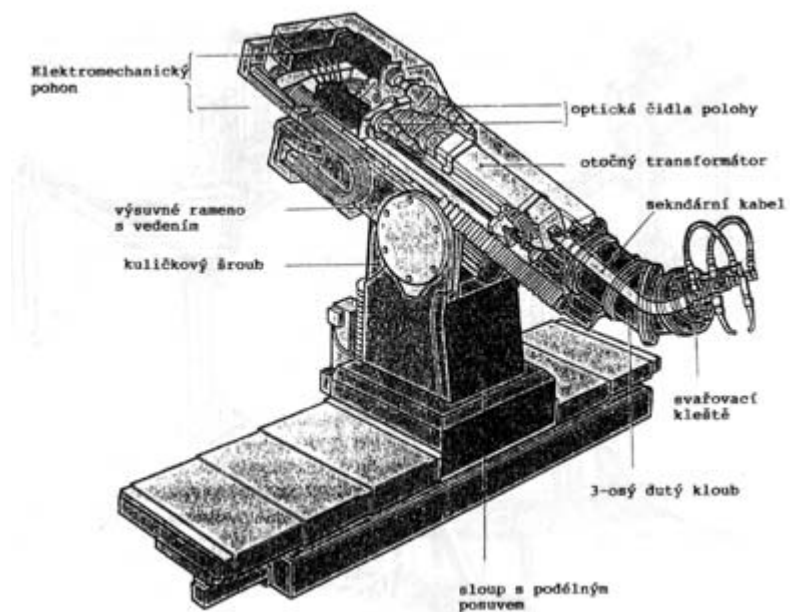
(b) v manipulování s předměty, popř. pohybování se v tomto prostředí.

Na vedlejším obrázku č.2 je zobrazen průmyslový robot, určený pro bodové svařování .

Základní konstrukce robotu je uložena na lineární jednotce. Robot disponuje šesti pohyby.

Výstupem základní kinematické struktury je speciální tříosé rotační zápěstí.

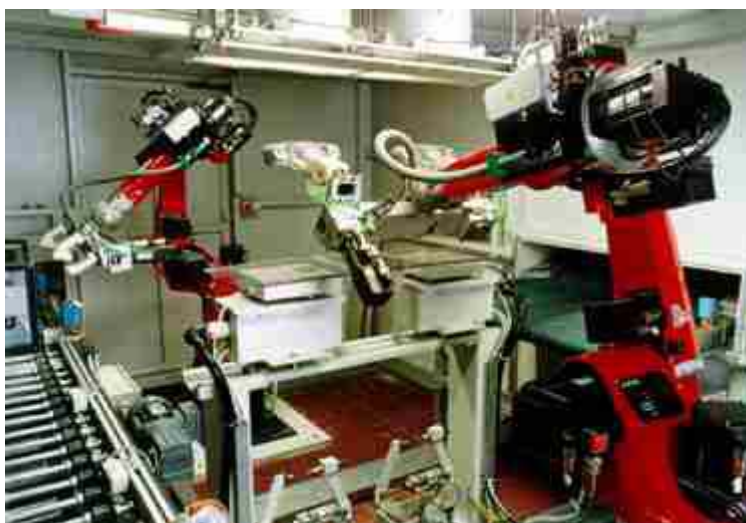
Dutá konstrukce zápěstí umožňuje příznivé vedení sekundárního kabelu k bodovacím kleštím od transformátoru, který je otočně uložen v translačním ramenu robotu.



Obr.2 Průmyslový svařovací robot

Na dalších obrázcích jsou uvedeny některé další příklady použití průmyslových robotů. Jedná se o průmyslové roboty firmy REIS ROBOTICS, zařazené ve výrobních linkách.

Na obr.3 jsou dva odlišné typy průmyslových robotů, určených pro bodové svařování a kompletaci plechových výrobků krabicového tvaru :



Obr. 3 Průmyslový robot pro bodové svařování

Na obr.4 jsou další dva typy robotů této firmy, zařazené ve výrobní lince na opracování a montáž hliníkových sestav:



Obr.4 Roboty na lince pro opracování a montáž



## 1.2.1 Generace robotů a manipulátorů :

Průmyslové roboty je možno rozdělit do pěti generací :

- v **nulté generaci** jsou zařazeny manipulátory a roboty zpravidla bez zpětné vazby, kdy veškeré poruchy či změny ve sledované oblasti (signalizované čidly) vedou k nedovolení dalšího kroku a centrálního odpojení systému od přívodu energie, tj. zastavení systému (tzv. "central stop") a přivolání údržbáře nebo seřizovače
- do **prvé generace** zařazujeme roboty s jednoduchou zpětnou vazbou, schopné přepínání několika podprogramů (předem vytvořených člověkem) a práce podle nich
- ve **druhé generaci** jsou roboty se schopností optimalizace, tj. schopností vybírat z předem zadaných programů ten optimální, podle zadaného kritéria optimalizace
- **třetí generace** je charakterizována roboty jež jsou schopné samostatné tvorby programu, neboť se dokáží učit z nabytých zkušeností. Zde se předem zadává pouze cíl činnosti (úkol), přičemž způsob jeho splnění je ponechán na inteligenci řídicího systému, který si sám vytvoří program
- **čtvrtá generace** je reprezentována autonomními roboty se sociálním chováním, které se chovají podobně jako člověk, tedy samostatně si volí i cíl práce.

V současné době jsou v našich závodech nasazeny roboty nulté a první generace; výjimečně i roboty druhé generace (někdy nazývané "systém oko - ruka"). Cena robotů druhé generace je totiž značně vysoká, neboť je bezprostředně závislá na složitosti a cenové dostupnosti sensorové techniky, umožňující potřebné rozpoznávání a vyhodnocování pracovní scény robotu.

## 1.2.2 Adaptivní roboty

Počínaje prvou generací se začínaly uplatňovat tzv. adaptivní (adaptabilní) roboty, které se (díky zabudované zpětné vazbě a vyšší inteligenci řídicího systému) dokáží přizpůsobovat změně okolí. To znamená, že reagují na změnu sledovaných parametrů a automatickou změnou svého chování sledované veličiny vracejí do původního stavu. Např. zjištěné stoupání teploty chladicí kapaliny eliminují otevřením cesty do chladiče, zjištěné stoupání tlaku mimo nastavené tolerance vyrovnávají otevřením obtokových či redukčních ventilů apod.

Typickými adaptivními roboty jsou např. roboty pro svařování elektrickým obloukem, které dovedou sledovat svařovanou spáru a v případě jejích nepřesností opravují naprogramovaný chod hořáku tak, aby ze spáry nevybočil.

Vzájemná interakce robotu a technologického prostředí velmi často vzniká **fyzickým kontaktem** koncového efektoru a předmětu technologické scény, kdy se uzavírá mechanická vazba kinematického řetězce robotu.

Pro adaptivitu robotu je totiž nezbytné rozpoznat, zda dotyk nastal, stanovit souřadnice bodů (lokalizaci) dotyku a charakter dotyku vyhodnocením např. velikosti reakčních sil a momentů. K tomu jsou efekторы vybaveny sensorickými zápěstími s poddajnými členy. Kromě toho jsou používány též vazby **bezdotykové** - zejména optické, ultrazvukové, indukční, laserové apod.

### 1.2.3 Kognitivní roboty

Přívlastek "kognitivní" (z latinského *kognitio*, tj. poznávání smyslem či rozumem) je používán rovněž v psychologii, a označuje souhrnně řadu typů poznávací činnosti: vnímání, představivost, paměť, chápavost, usuzování a uvažování, nikoliv však citové a volní jednání.

Protože tyto kognitivní procesy nejsou nezbytně vázány na vědomí subjektu, lze říci, že mají svou analogii i u robotů. Proto termín "kognitivní robot" je zde oprávněný nejen jako metafora, ale i jako odborný výraz.

Kognitivní robot je schopen vykonávat následující činnosti:

- vnímat a rozpoznávat prostředí
- vytvářet a průběžně rozpoznávat vnitřní model prostředí
- na základě tohoto modelu a v souladu se zadanými cíli rozhodovat o vlastní činnosti
- ovlivňovat prostředí – pohybovat se v něm a manipulovat s předměty
- komunikovat s člověkem

Značný kvalitativní skok od běžných robotů ke kognitivním by mohl být charakterizován takto: kognitivnímu robotu je zadán pouze cíl činnosti, plán k jeho dosažení si jeho řídicí systém musí vytvořit sám. Úkolem je tedy vytvoření plánu k dosažení cíle a jeho následná realizace. Tyto dvě fáze mohou probíhat odděleně, ale mohou se též prolínat, kdy plánování je ovlivňováno zkušenostmi, získanými při realizaci.

**Autonomnost činnosti** robotu je dána jeho samostatnou prací nezávisle na člověku – přinejmenším v tom smyslu, že člověk s ním není v uzavřené smyčce, jako je tomu např. u teleoperátorů (master – slave systém).

**Požadavek cílově orientované činnosti** vylučuje zařízení, které by se chovalo zcela náhodně a nesmyslně. Cíl je obvykle předem zadán a veškerá aktivita robotu je zaměřena na jeho dosažení; nejde tedy o stálé opakování cyklu úkonů, jako je tomu u běžných průmyslových robotů.

**Instrukce udílené člověkem** mají obvykle symbolický tvar – mohou to být věty umělého nebo přirozeného jazyka, u dokonalejších systémů může být použito i mluvené řeči.

Požadavek co největší autonomnosti robotu ale neznamená, že interakce s člověkem ztrácí na důležitosti. Naopak: člověk musí robotu vhodným způsobem sdělovat zadání cílů, popis situací a obecných zákonitostí prostředí, může se robotu tázat na vlastnosti prostředí (jsou situace, kdy robot má více znalostí než člověk).

Robotu by zase mělo být umožněno, aby člověku kladl otázky k doplnění toho, co mu chybí k řešení dané úlohy a aby ho informoval o nečekaných okolnostech, se kterými si sám nedokáže poradit.

V současné době jsou v našich závodech nasazeny roboty nulté a první generace; výjimečně i roboty druhé generace (někdy nazývané "systém oko - ruka"). Cena robotů druhé generace je totiž značně vysoká, neboť je bezprostředně závislá na složitosti a cenové dostupnosti senzorové techniky, umožňující potřebné rozpoznávání a vyhodnocování pracovní scény robotu.

## 1.2.4 Konativní roboty

Zatím nejvyšší předpokládanou generací jsou roboty konativní (z latinského konatus, tj. snaha, úsilí), charakterizované **samostatnou volbou cíle**.

V současné době konativní roboty nejsou realizovány, je to pouze předpoklad - prognóza dalšího vývoje, který pravděpodobně spěje k vývoji robotů se **sociálním chováním**, tj. robotů, jejichž chování bude velmi podobné (až identické) s chováním člověka. To znamená, že řídicímu systému nebude nutné zadávat ani cíl jeho práce, neboť konativní robot, zařazený do určitého pracovního procesu si bude sám uvědomovat a plánovat, co je v daném okamžiku potřeba udělat.

Potom zřejmě splyne řízení vlastní činnosti robotu s řízením a plánováním celého pracovního procesu, kdy dílčí práce na výrobě jednotlivé součásti vyplynou z časového harmonogramu výroby nutného počtu kusů pro montáž daného počtu finálních výrobků.

To samozřejmě předpokládá integraci technologických a netechnologických (zejména manipulačních) procesů.

## 1.2.5 Mobilní roboty

Mobilita je specifickou vlastností, která se může vyskytovat u všech druhů robotů a je realizována podvozkem nebo jiným systémem, který umožňuje pohyb robotu (např. kráčející roboty apod.).

Roboty nulté a první generace se jako mobilní nekonstruují; pouze tam, kde je potřeba krátkého pohybu, se přidává jeden stupeň volnosti v podobě pojezdění po pevně stanovené dráze (např. kolejnice) kolem obsluhovaných strojů nebo nad nimi. Naproti tomu u kognitivních robotů mobilita bývá velmi častá, neboť pohyb robotu po určité ploše je většinou nezbytný.

V tomto případě je robot vybaven tzv. lokomočním ústrojím, které slouží k přemísťování na větší vzdálenosti (řádově v desítkách metrů) a které je realizováno pomocí kolového, pásového nebo kráčejícího podvozku. Podvozky kolové jsou energeticky výhodnější a jejich ovládání je jednodušší (např. každé hnací kolo může mít samostatný pohon, což zjednodušuje změnu směru pohybu), u pásových a kráčejících je nutné počítat s většími ztrátami třením. Ve prospěch kráčejícího ústrojí lze naopak uvést možnosti použití ve značně nerovném terénu s mnoha překážkami, kde nestačí už ani pásový podvozek. To ale vyžaduje mnohem složitější řízení a řešení celé řady problémů, spojených zejména s rovnováhou a stabilitou. Speciální problematikou jsou lokomoční systémy pro pohyb po svislých stěnách, kde se využívá především přísavných systémů.

# 2. Tuhost PRaM a jejich geometrie

Stanovení vlastností robotů a manipulátorů, důležitých pro jejich činnost a uplatnění ve výrobním procesu je zajištěno projektantem již v době zpracování tzv. ZTES (základní technicko-ekonomická studie). Uvedená studie hodnotí projekt uplatnění PRaM na konkrétním pracovišti především z pohledu ekonomického, ale je též důležitým vstupním dokumentem pro zpracování konstrukčního návrhu a návrhu pohonu.

Pro specifikaci konkrétních schopností robota a pro jeho konstrukční řešení jsou pak důležité zvláště parametry jeho tuhosti a geometrie.

## 2.1. Tuhost konstrukcí PRaM

Konstrukce průmyslových robotů a manipulátorů jsou vystaveny působení těchto sil:

- tíhové síly dané hmotností vlastní konstrukce a hmotností zátěže,
- dynamické síly vznikající při rozběhu a brzdění pohybových jednotek,
- vnější síly vznikající při realizaci technologických operací a při spolupráci s jiným zařízením.

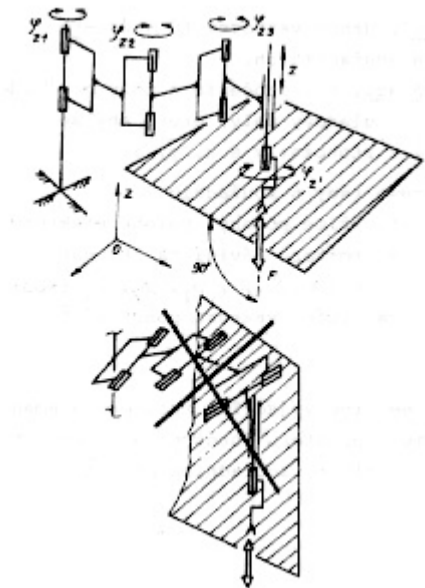
Sledování jejich velikostí souvisí jednak s problematikou dimenzování pohonů a jednak má význam pro konstrukci vlastních kinematických struktur. Vztah působících sil vzhledem ke konstrukci kinematické struktury se posuzuje odolností konstrukce proti deformaci, tzv. **tuhostí**. Rozlišují se dva druhy deformací - posunutí a natočení, a odpovídající parametry tuhosti jsou určeny těmito vztahy:

$$c_y = \frac{F}{y} \quad -\text{tuhost v posunutí } Nm^{-1} \quad c_\alpha = \frac{M}{\varphi} \quad -\text{tuhost v natočení } Nm \cdot rad^{-1}$$

F- síla [N]; y- posunutí dané deformací vyvolané silou F; M- moment [Nm];  $\varphi$ - úhel natočení daný příslušnými deformacemi [rad].

V případě konstrukcí se tuhost vedle pevnostních požadavků sleduje zejména s ohledem na přesnost polohování, kterou výrazně ovlivňuje. Je dále všeobecně známé, že nedostatečná tuhost zhoršuje i součinnost jednotlivých mechanismů, zvyšuje tření a opotřebení v pohyblivých částech. Tím dochází k zvyšování potřebného příkonu pro realizaci pohybových funkcí. Tuhost mechanické stavby (v podobě prutové soustavy) je závislá na:

- druhu použitého materiálu
- geometrických charakteristikách deformovaného tělesa
- druhu zatížení a typu podpěr, atd.



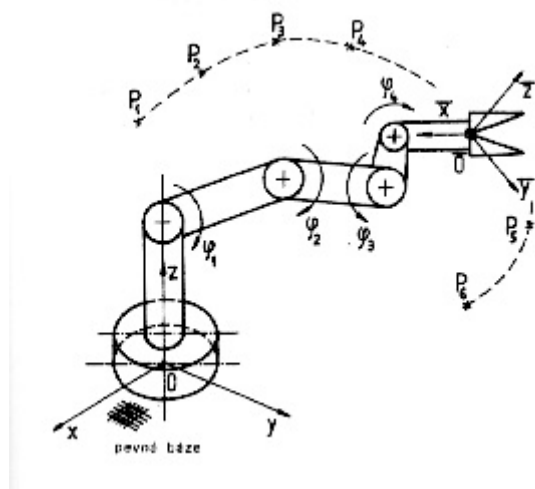
Obr.5 Kinematický řetězec

Poddajnost mechanické stavby má určující vliv na přesnost polohování. Statické deformace způsobené zatěžujícími silami leží převážně na vertikální rovině, jejich geometrický součet určuje pak **absolutní odchylku** mechanismu.

Aby se snížily absolutní změny polohy na minimum, používá se u PRaM určených pro montáž uspořádání kinematického řetězce znázorněného na obr.5. Vyloučí se tak poddajnost pohonného mechanismu a vliv natočení ramen.

## 2.2 Geometrie PRaM

Popis geometrie má za cíl popis pohybu **efektoru** (výstupní části, výstupní hlavičky) v závislosti na čase a s vyloučením silových účinků, stanovení jeho trajektorie, rychlosti a zrychlení. Někdy se setkáváme místo s názvem efektor s názvem reper, který však také může znamenat pojmenování souřadného systému.



Z hlediska robotiky používáme dva druhy souřadnic:

1. kloubové ( $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3 \dots$  otočení, a  $p_1, p_2 \dots$  posunutí, tj. souřadnice prostoru.
2. kartézské, tj. souřadnice prostoru.

Obr.6 Otevřený kinematický řetězec robota

Při odvíjení základních úloh pak trajektorie vyjadřujeme těmito druhy souřadnic (1 a 2). Rozlišujeme dvě základní úlohy:

- a. **přímou** úlohu - popisující pohyb efektoru vzhledem k pevné bázi (tento typ úloh vyjadřujeme názvem forwards kinematics) tj. známe  $\varphi_1, \varphi_2 \dots p_1, p_2$  a chceme popsat pohyb efektoru na základě pohybu jednotlivých členů
- b. **nepřímou** úlohu, která je úlohou inverzní a spočívá v určení pohybů v jednotlivých členech  $\varphi_1, \varphi_2 \dots p_1, p_2 \dots$  při známém pohybu efektoru.

## 3. Pohony průmyslových robotů a manipulátorů

Funkcí pohonu manipulátoru i průmyslového robota je přeměna vstupní - primární energie na mechanický pohyb.

Pohon je tvořen motorem, který zprostředkovává tuto přeměnu, blokem pro ovládání energie do motoru a spojovacím blokem, který zprostředkovává vazbu mezi výstupem motoru a pohyblivou částí pohybové jednotky. Pohyb z výstupu motoru se na výstup pohybové jednotky přenáší buď přímo nebo přes transformační blok.

Pro spojení motoru s pohybovou jednotkou se u konstrukčních řešení PRaM používají buď mechanické, magnetické nebo elektrické převody. Mechanický typ převodu je nejrozšířenější a konstrukčně je realizován především pomocí ozubených kol, hřebenu, vaček, šablon, pák, řetězů apod. Z ozubených převodů se v poslední době rozšiřuje zvláště využívání nových typů převodovek pro transformace parametrů rotačních motorů. Jde o harmonické převodovky a převodovky typu CYCLO, které též výrazně přispívají ke zvětšování podílu elektrických motorů v pohonech robotů.

Magnetický a elektrický typ převodu je nutno chápat především v souvislosti s konstrukcí robotů pro speciální aplikace – jde o konstrukce, určené pro činnost v prostředí s vysokými tlaky, ve vakuu apod., kde je nutné, aby byl motor hermeticky oddělen od vlastního pracovního prostoru.

V případě magnetického převodu se používají diskové a válcové spojky s permanentními magnety. Elektrický převod je tvořen spojením dvou selsynů (vysílače a přijímače), jejichž vinutí rotorů a statorů je vzájemně propojeno

V souvislosti s využíváním průmyslových manipulátorů a robotů ve výrobním procesu jsou na jejich pohony kladeny především tyto požadavky:

- a) Plynulý rozběh a brzdění
- b) Vysoká přesnost polohování
- c) Dostatečná polohová tuhost
- d) Minimální hmotnost
- e) Minimální rozměry
- f) Vhodné prostorové uspořádání

Všechny uvedené požadavky mají za cíl dosáhnout u PRaM klidný, plynulý a bezrázový průběh výkonu manipulační a pracovní-technologické činnosti a též zajištění vysoké přesnosti polohování.

K tomu je vzhledem k relativně velkým setrvačným hmotám a rychlosti pohybu mít samozřejmě na zřeteli i minimální hmotnost a rozměry.



Obr.7 Svařovací robot

### 3.1 Plynulý rozběh a brzdění

Plynulý bezrázový chod je požadován z několika důvodů. Prvním je bezpečnost držení přenášeného objektu, pro jejíž zaručení je při plynulém pohybu třeba menší úchopná síla než při pohybu s rázy. Dalším důvodem je vyloučení kmitání pracovních hlavic kolem konečné polohy, ke kterému by vzhledem k malé tuhosti konstrukcí mohlo docházet. Je zřejmé, že při pohybu s rázy je nepříznivější namáhání konstrukce a dochází k jejímu rychlejšímu opotřebení. To se projevuje ve snížení spolehlivosti a životnosti zařízení.

### 3.2 Vysoká přesnost polohování

Přesnost polohování pracovní hlavičky je závislá vedle kinematické struktury a tuhosti její realizace na přesnosti ovládní pohonu a na způsobu registrace polohy. Při ovládní pohonu v souvislosti s řízením pohybu se rozlišují dva základní principy:

1. řízení pohybu bez zpětné vazby - otevřený systém
2. řízení pohybu se zpětnou vazbou - uzavřený systém

### 3.3 Dostatečná polohová tuhost

Charakteristickou vlastností činnosti pohybových jednotek manipulátorů a robotů jsou přetržité vratné pohyby. Od pohonu pohybové jednotky, která je v klidu, se požaduje udržení dosažené polohy i při působení vnějších sil do určité úrovně.

Polohovou tuhostí se potom rozumí schopnost pohonu udržet dosaženou polohu. Tato se zajišťuje v rámci konstrukce vazby mezi výstupem motoru a výstupem pohybové jednotky. Vysokou polohovou tuhostí disponují např. hydraulické motory při zablokování kapaliny v pracovním prostoru motoru prostřednictvím rozváděče. Minimální polohovou tuhost mají elektromotory a pneumatické motory. V tomto případě je řešením např. umístění brzdy mezi výstup motoru a výstup pohybové jednotky. Toto uspořádání je ovšem problematické s ohledem na dále uvedené požadavky na pohon.

### 3.4 Minimální hmotnost

Hmotnost pohonu ovlivňuje celkovou hmotnost pohybové jednotky. U sériových koncepcí kinematických struktur, kdy pohony mohou být umístěny přímo v prostoru jednotlivých pohybových jednotek ovlivňuje hmotnost pohonů dynamické chování celé konstrukce manipulátoru nebo robotu. Požadavkem na minimální hmotnost pohonu se sleduje dosažení situace s minimálními hmotnostmi pohybujících se částí konstrukce s ohledem na dynamiku a energetickou náročnost.

### 3.5 Minimální rozměry

Minimální rozměry pohonu souvisí jednak s předcházejícím požadavkem na minimální hmotnost a jednak s vytvořením předpokladů pro dosažení co nejlepších manipulačních vlastností. V druhém případě jde o problém překrývání pracovního prostoru manipulátoru nebo robotu částmi jeho konstrukce.

### 3.6 Vhodné prostorové uspořádání

Vhodné prostorové uspořádání pohonu ovlivňuje celkové uspořádání konstrukce manipulátoru nebo robotu a tím se podílí na pracovních možnostech celé konstrukce ve vztahu k úrovni schopností pro činnost v prostoru s překážkami apod.

## 4. Struktura pohonů PRaM

Hlavním prvkem pohonu je motor. Podle druhu energie přiváděné na vstup motoru se rozlišují pohony:

- elektrické
- tekutinové
- kombinované

K uvedeným druhům pohonu PRaM je ještě přiřazován pohon mechanický, který však je využíván pouze u manipulátorů nebo ojediněle též i u velmi jednoduchých typů robotů.

Každý z uváděných typů pohonných systémů má však své přednosti i nedostatky, s nimiž je nutno již při vlastním návrhu a konstrukčním řešení robota počítat.

Elektrické pohony pracují s elektromotory, tekutinovým pohonem se rozumí pohon buď hydraulický, popřípadě pneumatický. Kombinované pohony lze chápat buď v rámci pohonu jedné pohybové jednotky nebo v rámci celého manipulátoru.

V prvním případě jde např. o spojení elektromotoru přes kopírovací systém s hydromotorem a v druhém případě je např. některá pohybová jednotka manipulátoru vybavena elektromotorem a jiná může být vybavena motorem tekutinovým, tedy buď hydromotorem nebo pneumatikou.



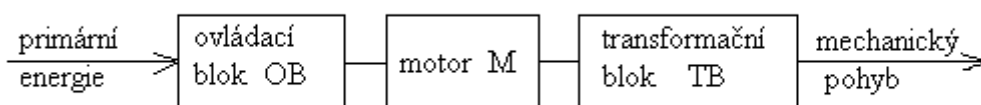
Obr. 8 Robot s kombinovaným pohonem

V poslední době je nejrozšířenější v oblasti konstrukce robotů elektrický pohon. Hydraulický pohon byl do značné míry postupně vytlačen do prostoru zařízení vyšších nosností. Pneumatický pohon zaujímá významné postavení v konstrukcích jednoduchých manipulátorů s nižší nosností (asi do 10kg). Je třeba připomenout, že na počátku novodobého vývoje manipulačních prostředků, tj. asi před třiceti lety byly s výraznou převahou používány tekutinové pohony. Podstatným důvodem byla jednoduchá konstrukce motoru s významnou předností rozměrových a provozních parametrů přímočarých tekutinových motorů, které mohou pracovat s přímou vazbou na výstup pohybové jednotky a tedy bez transformačního bloku.

Elektrický pohon se dostal do popředí zásluhou moderních typů mechanických převodů, které s moderními typy elektromotorů umožnily nástup výhodných kloubových kinematických struktur.

Strukturu pohonu manipulátoru i robota tvoří podle blokového znázornění tyto hlavní funkční části:

1. Motor (elektrický, hydraulický, pneumatický).
2. Ovládací blok (elektrický, hydraulický, pneumatický, kombinovaný).
3. Transformační blok (zařízení pro přizpůsobení charakteru pohybu a parametrů pohybu mezi výstupem motoru a výstupem pohybové jednotky).





Z hlediska vnitřní struktury se rozlišují tyto základní koncepce pohonů:

- *Koncepce A*
  - pohon s transformačním blokem: funkcí transformačního bloku v tomto případě je minimálně změna charakteru pohybu ve vztahu k výstupnímu pohybu pohybové jednotky. Jde o tato uspořádání pohybových jednotek:
    - translační jednotka s rotačním motorem
    - rotační jednotka s přímočarým motorem
- *Koncepce B*
  - pohon bez transformačního bloku: v tomto případě odpovídají charakter pohybu motoru i jeho parametry požadavkům na charakter pohybu a parametry výstupu pohybové jednotky. Vedle splnění základních kinematických parametrů a požadovaného výkonu je nezbytná platnost jedné z těchto kombinací:
    - translační jednotka s přímočarým motorem
    - rotační jednotka s rotačním motorem

Tato koncepce se zatím týká především aplikací hydraulických, popřípadě pneumatických přímočarých motorů.

## 5. Uspořádání pohonu pohybových jednotek

V rámci konstrukce manipulátoru nebo robotu může být pohon jednotlivých pohybových jednotek uspořádán:

- odděleně, každá pohybová jednotka je opatřena pohonem se samostatným motorem
- společně, jednotlivé pohybové jednotky mají pohon odvozen od společného motoru

Oddělené uspořádání pohonu je typické pro konstrukce robotů a často i manipulátorů. Společné řešení pohonu se zatím vyskytuje především u manipulátorů, přičemž se rozlišují tyto modifikace společného pohonu:

- **paralelní uspořádání**, u kterého je od výstupu společného motoru odvozen pohon dvou, popřípadě i několika pohybových jednotek v paralelních větvích. Rozvětvení za motorem může být řešeno např. prostřednictvím společného transformačního bloku, třeba v podobě vačkového hřídele. Druhým příkladem řešení je umístění dílčích ovládacích bloků na vstupech paralelních větví. Konkrétním provedením v tomto případě je spínání rotačních pohybů na vstupu paralelních větví prostřednictvím spojek v kombinaci s brzdami
- **sériové uspořádání**, u kterého je pohyb každé následující pohybové jednotky odvozen od pohybu předcházející jednotky.
- **semiparalelní uspořádání** vychází z kombinace společného sériového a paralelního pohonu v jedné konstrukci manipulátoru.

Možnost oddělení motoru od pohonu vede k uvažování uspořádání pohonu v rámci konstrukce manipulátoru na dvě koncepce:

- vnitřní pohon
- vnější pohon



V případě vnitřního pohonu je vlastní motor součástí konstrukce manipulátoru, u vnějšího pohonu se využívá odvození pohybu od pohonu spolupracujícího zařízení.

Takováto verze pohonu má smysl jen v souvislosti s koncepcí, označené jako společný pohon.

Tento typ pohonu se vyskytuje zejména u účelových manipulátorů, např. u manipulátorů pro automatickou výměnu nástrojů.

Obr.9 Robot pro výměnu nástrojů

## 5.1 Elektrický pohon

Postupným rozšířením moderních stejnosměrných a v poslední době i střídavých motorů v kombinaci s harmonickými a cykloidními převodovkami se dostal elektrický pohon na přední místo v konstrukcích, zejména u robotů střední nosnosti. Zatím převažují pohony do maximálního výkonu asi 6 kW.

Tím je dána možnost využívat servopohony určené pro NC obráběcí stroje, které se vyznačují velkým regulačním rozsahem rychlosti (při rotačním pohybu až 1:20000) a ve spojení s číslicově řízenými systémy velkou přesností nastavení polohy v uzavřené smyčce.

Za výhody elektrického pohonu se považuje činnost se snadno dostupným zdrojem energie, jednoduchost vedení zdroje k motoru, jednoduchost spojení s řídicími prvky, poměrně jednoduchá údržba, čistota provozu.

V porovnání s hydraulickým pohonem vystupuje do popředí především nižší hluchnost, menší nároky na chlazení na celkový instalovaný prostor a nižší pořizovací, provozní i udržovací náklady. Za nevýhody se považuje závislost na dodávce elektrické energie, která není u průmyslových zařízení významná, značné požadavky na kvalitu provedení všech částí mnohdy složitých systémů a nebezpečí úrazu elektrickým proudem, které je většinou zaviněno nedodržením bezpečnostních předpisů. V pohonech manipulátorů a robotů se uplatňují prakticky všechny základní typy elektrických motorů. Jde o motory:

1. s rotačním výstupem
  - rotační motory se spojitým pohybem
  - rotační krokové motory
  - otočné elektromagnety

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

Elektrické motory se uplatňují ve dvou verzích:

- střídavé motory
- stejnosměrné motory

Součástí elektrického pohonu jsou vedle elektromotorů ovládací a jisticí prvky, říditelné zdroje elektrické energie pro napájení hlavních a budících vinutí a prvky pro automatické řízení výstupních parametrů pohybových jednotek.

Nejjednodušším typem elektrického pohonu s rotačním pohybem je pohon s asynchronním elektromotorem s kotvou nakrátko. Pro menší výkony se používají jednofázové motory s pomocnou fází a kondenzátorem. Pro větší výkony se používají asynchronní motory třífázové s kotvou nakrátko.

### • **Krokové motory**

Pracují s využitím nespojitě změny složek elektromagnetického pole. Této diskrétní změny se dosahuje impulsním buzením vinutí motoru. Proudovými impulsy do prostorově rozložených cívek se vytváří nespojitě se otáčející pole, které unáší působením synchronizačního momentu rotor. Poloha hřídele motoru je úměrná počtu přivedených impulsů, rychlost otáčení je závislá na frekvenci impulsu.

Předností krokových motorů je jednoduché řízení rychlosti pohybu prostřednictvím jejich počtu. Podstatnou nevýhodou je poměrně malý kroutící moment, který klesá s rostoucí frekvencí řídicích impulsů. Z těchto důvodů lze elektrické krokové motory použít k přímému pohonu pohybových jednotek menších výkonů. V případě konstrukcí manipulátorů a robotů jde o výkony odpovídající nosnosti do 1 kg. Pro větší výkon se elektrický krokový motor používá v kombinaci s hydraulickým zesilovačem.

### • **Otočné elektromagnety**

Používají se pro natáčení o určitý úhel, k realizaci přímočarých vratných pohybů, popřípadě ve spojení s rohatkovým mechanismem i kratších přímočarých pohybů. Výhodná je možnost řízení kroutícího momentu změnou proudu. Otočné elektromagnety přicházejí v úvahu pro pohon ústrojí přídavných pohybů pracovních hlavic a k ovládní úchopných čelistí. Výkon většiny vyráběných typů leží v rozmezí 3-300 W, úhel natáčení 25°- 95° a kroutící moment až do 5 Nm.

### • **Lineární motory**

Patří mezi nejmodernější typy převodníků energie. Umožňují přímou transformaci elektrické energie na mechanickou energii translačních pohybů postupných nebo kmitavých. Pro číslicové řízení jsou vhodné zejména krokové a hybridní motory. U lineárních krokových motorů se v podstatě uplatňuje princip činnosti rotačních krokových motorů. Lineární

krokový motor charakterem funkce nahrazuje rotační krokový motor s převodem rotačního pohybu na translační. Při stejných požadavcích na parametry výstupu bude u lineární verze jemnější krokování a nižší pracovní frekvence.

Mechanický přenosový systém je při použití lineárního motoru jednodušší, neboť odpadají převody, což se příznivě projevuje na dynamických vlastnostech. Určitým nedostatkem je menší konečná polohová tuhost, kterou u rotačních krokových pohonů zajišťuje samosvornost převodu. Lineární hybridní motor odpovídá z hlediska činnosti spojení lineárního indukčního motoru se spojitým přímočarým pohybem na výstupu a lineárního krokového motoru. Nejde ovšem o konstrukční spojení dvou lineárních motorů, ale o jedinou jednotku, schopnou pracovat ve dvou režimech.

Lineární elektromotory jsou vzhledem k parametrům a k možnosti řízení předurčeny především pro pohon hlavních pohybových jednotek manipulátorů a robotů. Jistou překážkou jejich uplatnění u stávajících konstrukcí je zatím poměrně značná jejich robustnost a problém s chlazením.

- **Přímočaré elektromagnety**

Používají se v konstrukcích ovládacích mechanismů úchopných hlavic, popřípadě v pohonech pohybových jednotek s menšími rozsahy pohybu - jde tedy především o realizaci přidavných pohybů pracovních hlavic, ovládání přestavitelných dorazů apod. Rozsáhlé využití nacházejí jako ovládací prvky rozváděčů, ventilů, spojek a brzd. Stejnoseměrné magnety jsou vhodné pro větší stálé síly a menší zdvihy, zatímco střídavé elektromagnety se používají pro větší zdvihy. U běžných provedení elektromagnetů lze uvažovat rozsah zdvihů 10 až 50 mm a rozsah silových účinků 10 - 250 N.

## 5.2 Pneumatický a hydraulický pohon

Pneumatický a hydraulický (tekutinový) pohon se v konstrukcích manipulátorů a robotů uplatňuje ve dvou hlavních oblastech. Hydraulický pohon v zařízeních především větších výkonů a to jak se spojitým řízením pohonu, tak i při realizaci jednoduchých pohybových funkcí. Pneumatický pohon je zajímavý pro konstrukce jednodušších manipulátorů s menší nosností a periferních prvků a zařízení automatizovaných pracovišť. V souvislosti s konstrukcemi manipulátorů a robotů lze uvést tyto přednosti tekutinového pohonu:

- možnost realizace přímočarých pohybů konstrukčně jednoduchými, rozměrově malými a spolehlivými motory bez nutnosti zařazení transformačního bloku,
- jednoduché spojitě řízení základních parametrů pohonu, tzn. síly, krotícího momentu, rychlosti v celém rozsahu prostřednictvím řízení tlaku a proudu tekutiny,
- nízká hodnota poměru hmotnosti a výkonu zejména u hydraulických motorů,
- možnost přetížení motoru bez nebezpečí poškození.

Hydraulické i pneumatické pohony pracují se stejným druhem média s tekutinou. Z rozdílných vlastností kapalin a plynů se na rozdílných vlastnostech mechanismů podílí především různá poddajnost a viskozita. Jako pracovní kapaliny se v hydraulických mechanismech používají minerální oleje, pracovním médiem pneumatického pohonu je stlačený vzduch.

**U hydraulických pohonů se projevují v porovnání s pneumatickými pohony tyto přednosti:**

- velká tuhost
- plynulý chod, možnost dosažení i malých rychlostí pohybů bez převodů a s velmi dobrou rovnoměrností,
- velká účinnost.

**Nedostatkem hydraulického pohonu je:**

- potřeba samostatného, odděleného energetického bloku,
- poměrně obtížné dosažení vyšších pohybových rychlostí,
- závislost viskozity kapaliny na teplotě, což se projevuje ve změně tlakových poměrů a případně i rychlosti pohybu motoru,
- hořlavost některých druhů pracovních kapalin.

**Přednosti pneumatického pohonu jsou:**

- možnost připojení na centrální rozvod stlačeného vzduchu v rámci pohonu jednoduchý rozvod bez zpětného odvádění vzduchu z motoru,
- možnost dosažení rychlých přímočarých pohybů,
- možnost činnosti ve velkém tepelném rozsahu, ve výbušném prostředí a v provozech s nebezpečím vznícení od otevřeného ohně.

**Nedostatky pneumatického pohonu:**

- obtížné udržování rovnoměrného pohybu, zejména při malých rychlostech,
- poměrně komplikované mazání pohyblivých částí prvků mechanismu,
- poměrně drahý provoz, výroba stlačeného vzduchu je (6 - 8) \* dražší než výroba elektrického proudu a asi 4\* dražší než výroba tlakové kapaliny.

S ohledem na uvedené skutečnosti lze říci, že použití pneumatického pohonu je účelné u manipulátorů menších výkonů, tj. asi do 1 kW, jednodušších pracovních cyklů, kde se vystačí s nastavováním polohy na pevné dorazy a kde nevádí obtížné řízení rychlosti pohybu a jeho nerovnoměrnost.

## **5.3 Kombinovaný pohon**

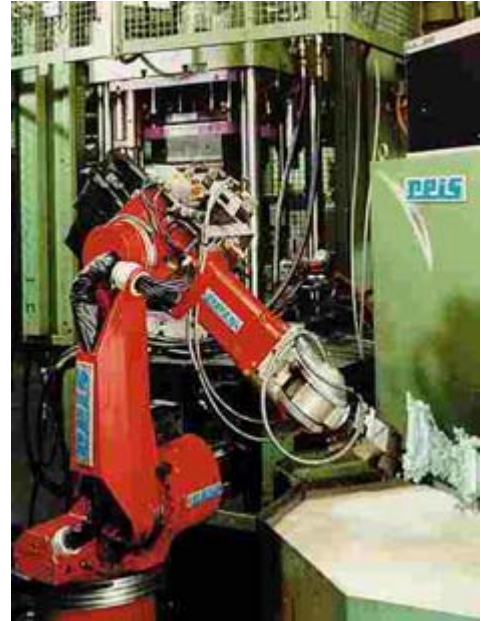
Smyslem této koncepce pohonu je soustředění výhodných vlastností různých druhů pohonů v jednom pohonu. Kombinované pohony pracují s různými druhy nositele energie a většinou se pod tímto označením rozumí kombinace v bezprostřední blízkosti motoru.

I když je teoreticky možné při uvažování elektrického, hydraulického a pneumatického pohonu vytvořit 6 různých typů kombinovaného pohonu, má zatím praktický význam jen elektrohydraulický a pneumohydraulický pohon. V případě elektrohydraulického pohonu se sleduje využití možností řízení elektromotorů, jejich jednoduchého spojení s elektrickými řídicími systémy a výhodných vlastností hydromotorů. U tohoto typu pohonu je na vstupu elektromotor, nejčastěji stejnosměrný nebo krokový, a na výstupu hydromotor. Způsob

spojení mezi oběma motory je proveden tak, že dochází k přenosu pohybu od elektromotoru na hydromotor v přesně definovaném poměru natočení, popřípadě natočení - posunutí a s výkonovým zesílením. Podstatnou vlastností spojení je tedy polohová zpětná vazba. Elektromotor plní řídicí funkci a jeho pohyb je sledován hydromotorem se zesíleným výkonem.

Obr. 10 Robot u ostříhovacího lisu

Rozlišují se elektrohydraulické pohony rotační a přímočaré. U obou je na vstupu elektromotor s rotačním pohybem, který představuje prvek pro ovládání rozvodu tlakové kapaliny do hydromotoru. V rámci tohoto prvku je zároveň realizována mechanická polohová zpětná vazba od výstupu pohonu na vstup.



Nevýhodou elektrických krokových motorů je poměrně malý krotící moment a jeho velká závislost na pracovní frekvenci, nebo naopak závislost kritické frekvence na zátěži, zejména na jejím momentu setrvačnosti. Tento nedostatek odstraňuje spojení s hydraulickými zesilovači, kde zatížení krokového motoru představují jen odpory šoupátka rozvodu.

Kombinovaný pohon uvažovaný v rámci celé konstrukce manipulátoru nebo robotu znamená uplatnění různých druhů primární energie na vstupu různých pohybových jednotek. V tomto případě jde např. o využití elektrického pohonu u transportního modulu s větším rozsahem pohybu a hydraulického pohonu na úrovni základního pohybového systému robotu nebo manipulátoru. Rozšířené jsou kombinace na úrovni pohybový systém - ovládací systém - pracovní hlavice.

Z čistě provozního hlediska je samozřejmě výhodnější uplatnění pohonů se stejným druhem pracovního média a z tohoto důvodu nejsou kombinované pohony uvedeného typu příliš rozšířené. Dá se říci, že kombinace různých typů pohonů u jedné konstrukce je častější u jednoúčelových provedení zejména manipulátorů.

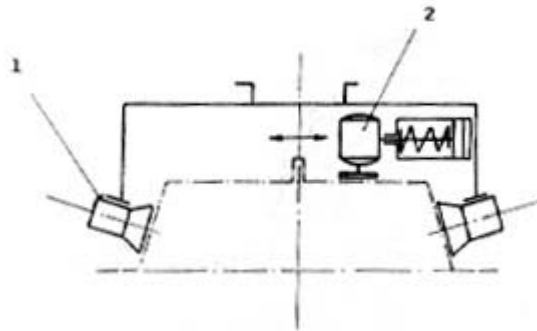
## 6. Pracovní hlavice

Činnost manipulátoru nebo robotu spočívá v nastavování diskretních poloh pracovní hlavice nebo ve spojitém pohybu pracovní hlavice po definované obecně prostorové dráze, přičemž se zpravidla řídí i orientace pracovní hlavice.

Pracovní hlavice je tedy funkční část, která podle charakteru požadované činnosti určuje využití pohybového systému manipulačního prostředku. Pracovní hlavice je umístěna na výstupu pohybového systému manipulátoru nebo robotu a proto se setkáváme v této souvislosti i s označením výstupní hlavice.

Provedení pracovní hlavice odpovídá charakteru aplikace manipulátoru nebo robotu a ve výrobě lze uvažovat tyto charakteristické typy aplikací:

1. Vkládání objektů do pracovního prostoru výrobních zařízení a jejich vyjímání.
2. Mezioperační manipulace.
3. Technologická operace.
4. Kontrolní operace.



Podle charakteristických typů operací prováděných manipulátory nebo roboty lze uvažovat tyto typy pracovních hlavic:

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

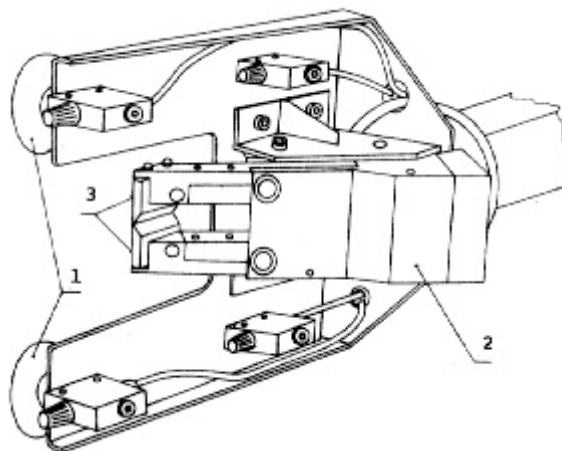
Obr.11 Pracovní hlavice s kombinací funkcí

Úchopné hlavice umožňují zachycení objektů při manipulaci. Hlavní částí technologické hlavice je příslušný nástroj, nebo systém nástrojů, u kontrolní nebo měřicí hlavice jde potom o čidla pro sledování jistých veličin. Kombinované hlavice mohou zajišťovat v rámci jedné konstrukce dvě i několik funkcí. Jde například o kombinaci úchopné a technologické funkce tak, jak je naznačeno na schematickém znázornění koncepce pracovní hlavice podle obr.11.

Hlavice je určena pro vyjímání plastového výlisku z pracovního prostoru vstřikovacího lisu. Úchopná část hlavice je tvořena podtlakovými elementy "1" a technologická část miniaturní frézovací jednotkou "2", která je vysouvána pneumatickým přímočarým motorem a odřezává vtok na výlisku. Provedení obdobné koncepce pracovní hlavice je vidět na dalším obrázku.

Obr.12 Nůžková pracovní hlavice

Hlavice umožňuje manipulaci s tlakovými výlisky s paralelní realizací technologické operace odstřížení vtoku. Úchopná část je opatřena čtyřmi podtlakovými ejektorovými komorami "1", technologickou část tvoří pneumaticky ovládané nůžky "2", zakončené břity "3" – viz obr.12



Popsaný typ kombinované pracovní hlavice se projeví v dané aplikaci na jedné straně ve zkrácení pracovního cyklu, neboť se překrývá čas pro manipulaci při vyjímání výlisku ze stroje s časem pro oddělení vtoku.

Druhým efektem je zjednodušení struktury pracoviště, u kterého je odstříhací stanice nahrazena integrací technologické části do pracovní hlavice. Významná je i skutečnost, že odpadá nutnost řešení zakládání výlisku do odstříhací stanice a jeho vyjímání.

## Rozsah funkce pracovní hlavice

Koncepce pracovní hlavice umožňuje buď realizaci jediné operace a nebo několika operací. Příslušná operace může být ovšem dále vázána například v případě úchopných hlavic na určitý typ objektu určitého tvaru a rozměrů. Z hlediska rozsahu realizovaných operací lze rozlišit dvě kategorie pracovních hlavic:

- monofunkční
- multifunkční

Pro konstrukci multifunkčních pracovních hlavic jsou v současné době k dispozici dva koncepční přístupy:

- změna funkce aktivací pracovní pozice revolverové pozice revolverové hlavy
- změna funkce automatickou výměnou pracovní hlavice

## 7. Úchopné hlavice

Při zachycení objektu v úchopné hlavici jsou v rovnováze vnější síly, působící na objekt. Síly, jejichž působením je držen objekt, označujeme jako úchopné síly.

Uchopení objektu je doprovázeno mechanickým stykem tzv. úchopných prvků hlavice s povrchem objektu a prakticky použitelné technické prostředky umožňují uchopení objektu dvěma způsoby:

- a. s oboustranným mechanickým stykem s hlavicí
- b. s jednostranným mechanickým stykem s hlavicí

V prvním případě jsou úchopné síly vyvozeny mechanickými prostředky a působí proti sobě v protilehlých částech povrchu tělesa. Jde o stejný princip mechanického uchopení, jaký je s velkou rozmanitostí využíván lidskou rukou. U technických realizací jde o konstrukce úchopných hlavic s mechanickými čelistmi. Při uchopení s jednostranným mechanickým stykem s hlavicí se využívá působení gravitačních, magnetických a podtlakových sil.

Úchopná hlavice realizuje v rámci manipulačního cyklu funkci, která se projevuje dvěma stavy: "uchopení - uvolnění"; přitom tyto dva stavy, vztažené k objektu mohou být zajištěny buď přímým řízením úchopné síly vyvozené vlastní hlavicí a nebo je uchopení popřípadě uvolnění objektu vázáno na vnější silové působení na objekt nebo hlavicí. V prvním případě je funkce úchopné hlavice řízena řídicím systémem manipulátoru, v druhém případě je bezprostředně mechanicky vázána na polohu hlavice vzhledem k spolupracujícímu zařízení. Jako příklad lze uvést kleštinu, která musí najet na povrch součásti, aby došlo k uchopení. Na druhé straně se uvolnění provede nuceným stažením součásti z kleštiny třeba působením jednosměrných západek na zásobníku. Podobným způsobem pracují hlavice s permanentními magnety, s deformačními přísavkami, volnými prizmatickými lůžky apod.



Hlavními částmi struktury úchopné hlavice jsou tzv. **úchopné prvky**, které jsou umístěny na nosné části hlavice. Úchopné prvky přicházejí do styku s povrchem objektu a realizují zachycení objektu v hlavici.

**Úchopné prvky**, jejichž funkce může být bezprostředně ovládána řídicím systémem se označují jako **aktivní úchopné prvky**. Obdobně pod označením **pasivní úchopné prvky** se rozumí prvky, které umožňují uchopení objektů při manipulaci, ale úchopnou sílu nelze přímo ovládat řídicím systémem - (úchopné prvky bez přímého ovládacího vstupu). V souvislosti s principy uchopení objektů a s uvažováním rozdělení podle možnosti ovládnutí úchopné síly budeme rozlišovat úchopné prvky:

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

Úchopné hlavice sestavené jen z mechanických prvků se označují jako **mechanické úchopné hlavice** a z prvků magnetických **magnetické úchopné hlavice**. Kombinací úchopných prvků různého druhu vznikají úchopné hlavice mechanicko-podtlakové, mechanicko-magnetické apod. V rámci naznačených typů hlavice mohou být použity v různé kombinaci aktivní i pasivní prvky.

Počet úchopných prvků v konstrukci úchopné hlavice závisí na prostorové členitosti, rozměrech, tuhosti a hmotnosti objektu, podíl počtu pasivních a aktivních prvků v celkovém počtu úchopných prvků je určován především požadavky na přesnost zachycení objektu v hlavici. Podle počtu úchopných prvků se rozlišují úchopné hlavice:

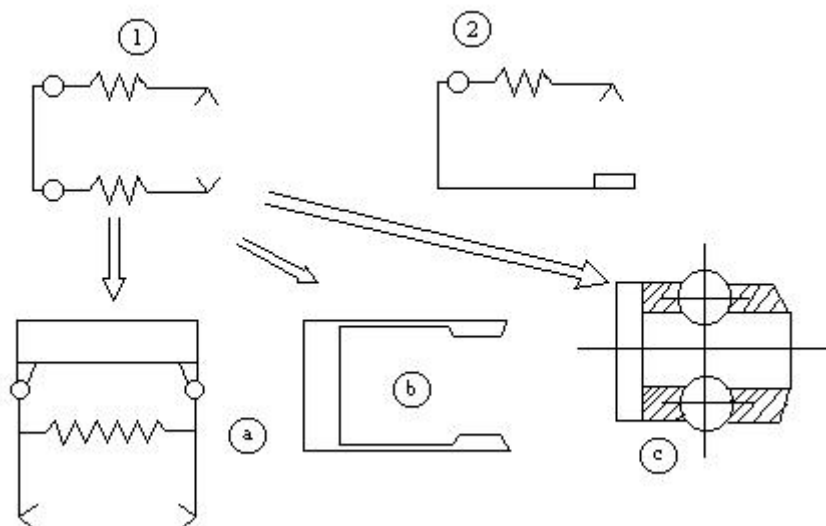
- jednovprvkové
- víceprvkové

## 7.1 Pasivní úchopné mechanické hlavice

Pasivní mechanické hlavice se vyznačují konstrukční jednoduchostí a používají se při manipulaci s lehčími objekty jednoduchého tvaru. Jde tedy zejména o malé příruby, kroužky, hřídele apod. Jsou sestaveny z pevných a odpružených prvků bez pohonu.

Pro minimální rozsah struktury pasivní úchopné hlavice - tj. tedy pro hlavici se dvěma úchopnými prvky - přicházejí v úvahu dvě koncepce (viz schematické uspořádání na obrázku):

- Koncepce "1" - dva odpružené úchopné prvky (čelisti)
- Koncepce "2" - jeden pevný, jeden odpružený prvek (čelist)



Obr.13 Odpružené čelisti hlavice

Odpružené čelisti pasivních mechanických úchopných hlavic (obr.13) jsou nejčastěji řešeny některým z těchto způsobů:

- vetknuté pružné čelisti (na obr "b"); pohyblivost čelisti je dána rozsahem pružné deformace lamely určitého průřezu, úchopná síla vychází z tuhosti lamely. Typickým příkladem aplikace tohoto principu jsou kleštiny pro zachycení objektů za vnější nebo vnitřní povrch. Konstrukčně jsou často řešeny jako rozříznutá pouzdra, kde-li o zachycování objektů rotačního tvaru a nebo s jednotlivě vsazenými lamelami do držáku, který je tvarově přizpůsoben tvaru objektu. U těžších objektů, pro které vychází větší úchopná síla, která se dále promítne do větší tuhosti upínacích lamel, vzniká nebezpečí poškození povrchu objektu při jeho zachycování nebo uvolňování hlavicí.

Pasivní mechanické hlavice se někdy doplňují pneumatickými nebo elektromechanickými vyhazovači. V takovém případě je činnost hlavice ve fázi uchopení pasivní - k uchopení objektu dochází najetím hlavice na jeho povrch při pohybu ramene manipulátoru a ve fázi uvolnění objektu jako aktivní.

- otočné čelisti svírané oddělenou pružinou (princip schematicky na obrázku "a"). Na konzole jsou s podélnou podle délky hřídele namontovány dva páry otočně uložených čelistí svírané spirálovými pružinami.
- posuvné čelisti svírané oddělenou pružinou. Jednoduchou konstrukční verzí této koncepce úchopné hlavice je pouzdro s kuličkami rozpínanými pružinou - schéma na obrázku "c".

Počet prvků těchto pasivních mechanických úchopných hlavic je obecně určen především tvarem a rozměry manipulovaného předmětu, popřípadě na základě požadavků na přesnost jeho polohy v hlavici.

Nejjednodušší hlavice s otevřenými lůžky se používají jen při manipulaci v horizontální rovině a pohyb musí být plynulý, aby nedošlo k vypadnutí manipulovaného předmětu z lůžka.

## 7.2 Aktivní úchopné mechanické hlavice

Aktivní mechanické hlavice obsahují alespoň jeden pohyblivý prvek s vlastním pohonem. Jsou tedy charakterizovány možností ovládní pohyblivých čelistí způsobem obdobným, jako je uchopení manipulovaného předmětu lidskou rukou. Podle toho jsou rovněž tyto hlavice nazývány jako mechanická chapadla a mimo nosnou část jsou složeny z tzv. aktivních úchopných prvků, tvořících ovládané pohyblivé čelisti a prvků pasivních (opěrných).

Vzhledem k velkému počtu a rozmanitosti typů a tvarů manipulovaných polotovarů je i velký počet použitelných úchopných hlavice. Pro každý typ a druh předmětu je možné zvolit většinou několik způsobů uchopení, kterým odpovídá rovněž různé konstrukční uspořádání a varianty řešení hlavice.

V obecném případě je vnitřní struktura částí hlavice s aktivním prvkem (aktivními prvky) tvořena třemi bloky:

### **M-motor**

**T-transformační blok**(mechanický převod)

**U-aktivní úchopný prvek** (čelist, prst)

Neúčastí transformačního bloku ve struktuře vztahu motor - úchopný prvek vzniknou dvě další koncepce:

- struktura s odděleným uspořádáním motoru a úchopného prvku,
- struktura s integrací motoru a úchopného prvku (funkce motoru a úchopného prvku je obsažena v jednom konstrukčním prvku).

Obě redukované struktury se projeví zmenšením rozměrů a hmotnosti konstrukce, což jsou u pracovních hlavice silně sledované parametry.

U hlavice bez transformačního bloku je výstup motoru přímo spojen s úchopným prvkem. Toto řešení má význam především u hlavice s jedním aktivním prvkem, neboť je zřejmé, že v případě několika aktivních prvků má každý prvek samostatný motor a protože je prakticky nemožné zajistit jejich synchronní činnost, je neurčitá i poloha uchopeného objektu v hlavici.

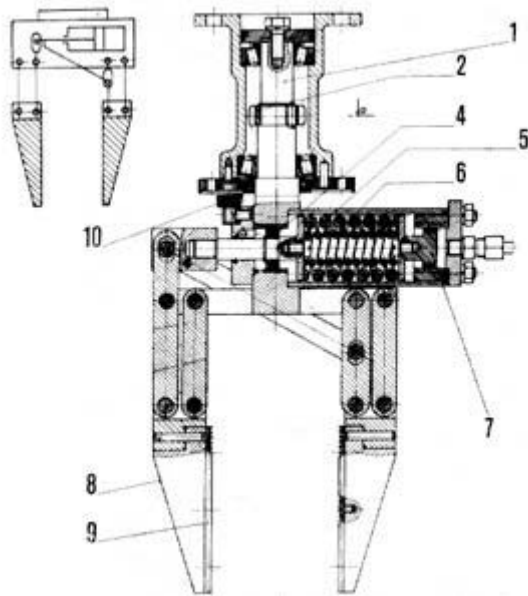
V případě integrované struktury bez transformačního bloku, nelze oddělit pohon od úchopného prvku, neboť spolu splývají. Jde o prvky většinou speciálně vyvinuté pro konstrukce úchopných hlavice a lze je tedy označit jako nekonvenční. Úchopné prvky tohoto typu konají často obecný pohyb a přitom se přizpůsobují tvaru objektu.

### **Aktivní mechanické hlavice:**

- **Aktivní mechanické hlavice bez transformačního bloku**
- **Aktivní mechanické hlavice s transformačním blokem**
  - **Hlavice s pákovým transformačním blokem**
  - **Hlavice se zubovým transformačním blokem**
  - **Hlavice s vačkovým a šablonovým transformačním blokem**
  - **Hlavice se šroubovým transformačním blokem**
  - **Hlavice s vícestupňovými transformačními bloky**

Jako příklad možného řešení transformačního bloku, zajišťujícího většinou transformaci svislého pohybu na pohyb vertikálně svíravý je na obr. 14 uveden příklad aktivní mechanické úchopné hlavice s pákovým transformačním blokem

Předností pákových transformačních bloků je konstrukční jednoduchost. Spojení pák čepu zaručuje dostatečnou přesnost funkce s minimálními vůlemi. Charakteristickou vlastností je závislost převodové funkce na kinematickém uspořádání a na okamžité poloze.



Konstrukční řešení hydraulicky ovládané úchopné hlavice s jednoduchým pákovým převodem je na obrázku. Hlavice je opatřena přídatným natáčením kolem podélné osy. Úchopnou sílu na čelistech vyvozuje píst "7" přes pružné spojení pružinami "5", "6". Důvodem je zaručení bezpečného držení objektu i při poklesu tlaku od hydrogenerátoru. Na vstupu ovládacího motoru musí být umístěn hydraulický zámek. Rozvírání čelistí zajišťuje píst "4". Úchopná hlavice je spojena s čepem "1", uloženým na kuželíkových ložiskách. Natáčení hlavice je odvozeno od dvojčinného přímočarého hydromotoru s ozubenou pístnicí přes pastorek "2". Rozsah natáčení je seřiditelný nárazkami. Čelisti "8" i stykové plochy "9" jsou výměnné k přizpůsobení hlavice rozměrům a

Obr.14 Aktivní hlavice

tvaru daného objektu.

## 8. Pomocné prostředky robotizovaných pracovišť

Automatizace určitého pracoviště předpokládá vhodný stroj, manipulační zařízení (robot nebo manipulátor) a ve většině případů jsou nezbytné i další prostředky, zajišťující jednodušší funkce jako je polohování objektů, jejich orientaci a mezioperační manipulaci.

Pomocné manipulační prostředky a mechanismy (periferie) nejsou zpravidla zařazovány do kategorie PRaM, ale jsou pro plnou automatizaci a robotizaci pracovišť pokládány za nezbytné.

Pomocné prostředky robotizovaných pracovišť – tzv. periferní mechanismy, nebo periferie vykonávají, jak vyjadřuje i jejich název, na robotizovaném pracovišti "pomocné" funkce, zprostředkovávají kontakt PRaM s nejbližší, ale i vzdálenou scénou a často suplují funkce, které by při jejich absenci musely vykonávat PRaM. To vede nejen ke zjednodušení

konstrukce a řídicího programu PRaM, ale v mnoha případech to i celkově umožní vlastní realizaci robotizované technologie.

Jejich volba je především důsledkem předběžné analýzy robotizované technologie:

- a. zjištění manipulačních funkcí robota pro danou technologii,
- b. určení způsobu provázání robotizovaného pracoviště s ostatními pracovišti, se kterými kooperuje,
- c. zajištění souladu se záměrem snížení pracovního taktu a zjednodušení kinematické struktury PRaM ve vztahu k volbě pomocných mechanismů.

Výsledkem je pak nejjednodušší možná kinematická struktura PRaM a soubor pomocných mechanismů, se kterými PRaM, výrobní stroje pracoviště a ostatní stroje pracoviště kooperují.

Máme zde na mysli pomocné **mechanismy**, tedy zařízení vykonávající jednoduché pohybové funkce; nikoliv konstrukce nehybné, byť pro danou technologii nezbytné (stoly, stojany, kontejnery, nehybné zásobníky, přípravky umožňující pouze fixaci objektů apod.).

Pomocné prostředky PRaM nazýváme také **periferní mechanismy (PM)**, nebo zařízení pro mezioperační manipulaci (MOM), v některých případech i mechanizačně-automatizační zařízení (MAZ).

Podle funkce je klasifikujeme:

- **Lineární pohyb v 1 ose** -dopravníky, zásobníky, podavače, posuvné stoly (suporty)
- **Lineární pohyb ve 2 osách** -křížové stoly
- **Lineární pohyb ve 3 osách** -polohovací mechanismy se třemi translačními jednotkami.
- **Rotace kolem 1 osy** -(vertikální osa rotace: otočné stoly, horizontální osa rotace: otočné bubny, zásobníky, přípravky - polohovadla)
- **Rotace kolem 2 os** (speciální přípravky - polohovadla atd.)
- **Rotace kolem 3 os** (speciální přípravky - polohovadla atd.)
- **Pohyb po obecné křivce** (rovinné, prostorové, spec. kulisové nebo váčkové mechanismy, spec. polohovadla a plošiny)
- **Pohyb po šroubovici** (šroubový mechanismus - polohovadlo).

Pohyb PM může být- A) plynulý, B) přetržitý,  
X) vratný, Y) nevratný

Pohony PM mohou být obdobně jako u PRaM 1) mechanické, 2) elektrické, 3) tekutinové, a platí pro ně obdobné zásady a zákonitosti, jako bylo uvedeno v kapitole, týkající se pohonů u PRaM .

Dle konstrukčního uspořádání jsou PM:

- **-modulárního** provedení (lze je kompletovat z dílčích modulů, např. mechanické stavby, pohonu atd.),
- **-nemodulárního** provedení (jsou provedeny jednoúčelově, nebo v kompaktní stavbě).

PM jsou buď **součástí** strojů (pak pohony, konstrukční řešení i vzhled jsou analogické provedení strojů), nebo jsou **samostatně** provedeny (bývají vyráběny specializovanými výrobci PM).

Podle funkce, kterou tyto PM plní v polohování a přemísťování objektů se podobně jako v jiných případech dělí na:

- a) PM, které přemísťují objekty tak, že změní svoji polohu pouze těžiště objektu a orientace objektu zůstává nezměněna (nedochází k natočení objektu kolem os systému, jež je v těžišti objektu a jehož osy jsou rovnoběžné s osami souřadného systému prostředí)
- b) PM, u nichž dochází jen ke změně orientace objektu, objekt se však nepřemísťuje
- c) PM, u kterých dochází jak ke změně polohy těžiště objektu, tak i ke změně jeho orientace

Jako příklad funkce PM z pohledu zjednodušení činnosti a řídicího programu robota je možno uvést následující příklad:

Pokud by měl robot manipulovat s objekty, ležícími např. vedle sebe v přímce, pak by paměť a řídicí ústrojí robota muselo být schopno zapamatování všech poloh a sledu činností. Postupně by tak robot bral jeden objekt za druhým – po odebrání jednoho by následoval krok, zvětšený o rozteč uložení objektů atd. Zdvih by se tak postupně zvětšoval až k nejvyššímu zdvihu při odebrání posledního objektu z řady (u většiny PRaM je hranice počtu objektů 10).

V případě použití PM (např. mechanického krokového dopravníku nebo křížového stolu, bude robot programován na odebrání objektu pouze z jednoho místa, na které mu bude v synchronizovaném cyklu vždy manipulovaný objekt přisouván tímto pomocným prostředkem.

Tímto se zásadně zjednoduší původní činnost robota a zredukuje se počet jeho úkonů, který je tak rozdělen mezi robot a PM. Toto vše vede k jednoduššímu konstrukčnímu řešení robota a zjednodušení programování jeho řídicího systému.

Nejjednoduššími prostředky PM, zajišťujícími lineární pohyb v jedné ose jsou především různé typy poháněných dopravníků. (Dopravníky, u kterých dochází k pohybu předmětů působením gravitačních účinků, jako jsou dopravníky žlábkové, trubkové, válečkové žlábkové, válečkové nepoháněné tratě atd., patří mezi pasivní pomocné prostředky a přestože v některých případech mohou plnit i funkci PM, jsou častěji uváděny v mechanizačních prostředcích, umožňujících obecně vytváření automatizovaných výrobních linek).

Z poháněných dopravníků, jejichž využití jako PM u robotizovaných pracovišť přichází v úvahu je možno uvést alespoň dopravníky:

- -řetězové
- -třecí
- -pásové
- -článekové
- -okružní
- -kolébkové
- -válečkové tratě
- -slévárenské
- -montážní

Uvedené dopravníky mají především plynulý (nevratný) pohyb, jsou používány ve velkosériové a hromadné výrobě, provedením a parametry respektují tvar a hmotnost předmětu a takt technologického procesu.

Mimo dopravníků je možno do skupiny pomocných mechanismů, prostředků a periférií zařadit různé druhy přesuvných, otočných a křížových stolů, vybavených pohonem pomocí krokových motorů, otočné stoly, ovládané maltézským křížem, stoly s kulisovým mechanismem pro změnu polohy těžiště po křivce, různé druhy elektromagnetických separátorů, zvedáčů palet, přesuvné zařízení se savkami nebo elektromagnety apod.

## **Použitá literatura a zdroje:**

- [1] RUMÍŠEK,P.: Automatizace výrobních procesů II, VUT Brno, 1990
- [2] RUMÍŠEK,P.: Automatizace výrobních procesů – vybrané statě, VUT Brno, 1988
- [3] VAŠEK,J.: Dynamika průmyslových robotů, ČVUT Praha, 1979
- [4] CHVÁLA,B.-MATIČKA,R.-TALÁCKO,J.:Průmyslové roboty a manipulátory, SNTL  
Praha, 1990

a vybrané zdroje na internetových stránkách ([vencovo.misto.cz](http://vencovo.misto.cz)), [www.reisrobotics.de](http://www.reisrobotics.de)