

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta strojního inženýrství

Doc. Ing. Zdeněk Kolíbal, CSc.

**ADAPTIVITA KONCOVÝCH EFEKTORŮ
PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ**

TEZE PŘEDNÁŠKY K PROFESORSKÉMU JMENOVACÍMU ŘÍZENÍ

Obor: Konstrukční a procesní inženýrství



BRNO 2001

Text je upravenou přednáškou, kterou autor proslovil dne 23. 5. 2001 na zasedání Vědecké rady Fakulty strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně v rámci profesorského jmenovacího řízení.

© 2001 Z. Kolíbal
ISBN 80-214-1884-2
ISSN 1213-418X

OBSAH:

1. Představení autora.....	4
2. Vědecko-pedagogická činnost autora	4
2.1. Speciální a číslicově řízení obráběcí stroje.....	5
2.2. Průmyslové roboty a manipulátory (PRaM).....	5
2.3. Pedagogika, PGS (CŽV).....	6
2.4. Soudní inženýrství.....	6
3. Adaptivita koncových efektorů průmyslových robotů.....	7
3.1. Adaptivita průmyslových robotů	7
3.2. Interakce robotu s technologickým prostředím	7
3.3. Poddajné členy a sensorická zápěstí.....	7
3.4. Klasifikace adaptivních koncových efektorů.....	8
3.5. Pasivně mechanicky adaptivní koncové efekторы (NSM).....	9
3.6. Koncové efekторы s mechanickou adaptivitou.....	9
3.7. Pasivně adaptivní sensorické koncové členy-sensorická zápěstí	10
3.8. Aktivně adaptivní sensorické poddajné členy s vestavěnou samočinnou korekcí polohy.....	11
3.9. Algoritmizace úloh praktické diskretní robotické montáže	12
3.10. Biomechanické (protetické) aplikace	15
4. Návrh a realizace modelového inteligentního modulárního bezobslužného výrobního systému pro výrobu a diskretní montáž.....	15
4.1. Náplň a cíle projektu.....	15
4.2. Postup řešení a realizace.....	16
5. Shrnutí autorovy koncepce vědecké práce a výuky v daném oboru	16
6. Seznam v textu citovaných autorových publikací a zahraničních přednášek.....	17
7. Abstract	20

1. Představení autora

Doc. Ing. Zdeněk KOLÍBAL, CSc. se narodil 12.dubna 1942 v Brně. Před maturitou na Jedenáctileté střední škole v Brně byl jeho otec z politických důvodů zatčen a za své protikomunistické postoje odsouzen. Na základě toho bylo Zd. Kolíbalovi znemožněno přijetí na jakoukoliv vysokou školu a byla mu určena „převýchova“ v ZKL-ZETOR Brno, kde od r.1959 pracoval jako dělník v třisměnném provozu s příslibem, že tímto způsobem by snad mohl být jednou na vysokou školu doporučen. Jeho přihláška na FS VUT v Brně, nižšími složkami po dvou letech práce v ZKL doporučená, byla však stažena na přímý zásah tehdejšího CZV a MěV KSČ, což pro jmenovaného znamenalo nutnost nástupu na dvouletou základní vojenskou službu. Tam měl možnost se shodou příznivých okolností seznámit s obsluhou ve své době moderního elektronického analogového počítače, což ve spojení s jeho poznatky a obdivem k automatickým obráběcím linkám, jejichž zavádění měl možnost během své praxe v ZKL sledovat, výrazně ovlivnilo celou jeho další odbornou dráhu. Ze strany armády získal nakonec i doporučení ke studiu na strojní fakultě VUT v Brně od r.1963, kterou absolvoval v roce 1968 v oboru "Výrobní stroje a zařízení" s následujícími čtyřsemestrovými postgraduálními studii „Automatické řízení obráběcích strojů" (1970-72) a „Technické znalectví dopravních nehod“ (1972-74). Následovala patnáctiletá konstruktérská praxe ve skupině automatizace a konstrukce číslicově řízených (NC) a speciálních obráběcích strojů na vědecko-pedagogickém pracovišti katedry obráběcích a tvářecích strojů FS VUT v Brně. Kandidátská disertační práce na téma "Rozbor koncepce a návrh řešení průmyslového robotu s krokovými motory čs. výroby", obhájená v r. 1983, souvisela s intenzivní činností a rozhodujícím podílem jmenovaného na rozvoji technické robotiky na Fakultě strojní VUT v Brně, působícího zde od té doby jako odborný asistent, nyní jako docent, od r. 1990 vedoucí katedry výrobních strojů a průmyslových robotů a od října 1993 jako **ředitel Ústavu výrobních strojů, systémů a robotiky (ÚVSSaR) FSI VUT v Brně**. Jeho vědecko-výzkumná činnost je zaměřena na stavbu nestandardních průmyslových robotů a jejich speciálních a adaptivních koncových efektorů se zaměřením na manipulaci a montážní operace.

Je spoluřešitelem Výzkumného centra pro strojírenskou výrobní techniku a technologii ČVUT Praha, v rámci kterého na ÚVSSaR FSI VUT v Brně vede projekt č.6: Automatická manipulace v technologických pracovištích a ve výrobních systémech (robotizace a výrobní logistika).

Přednáší předměty: Průmyslové roboty I a II, Mechatronika v měřicích soustavách a v robotice, Technologičnost konstrukce a oprav (retrofitting) výrobních strojů. Zahraniční přednášky jsou uvedeny samostatně.

Je soudním znalcem, jmenovaným ministrem spravedlnosti v oboru doprava, odvětví doprava silniční a městská a v oborech strojírenství a ekonomika pro posuzování výrobních strojů, zařízení a systémů.

2. Vědecko-pedagogická činnost autora

Vědecko-výzkumná a následně i pedagogická činnost autora započala od jeho nástupu na Vědecko-pedagogické pracoviště Katedry obráběcích a tvářecích strojů Strojní fakulty VUT v Brně v r.1968, při čemž, vycházejíc z podstaty autorovy konstrukční praxe, směřuje cíleně do následujících oblastí:

1. Speciální a číslicově řízené (NC) obráběcí stroje
2. Průmyslové roboty a manipulátory (PRaM)
3. Pedagogika, PGS (CŽV)
4. Soudní inženýrství

Přes zdánlivou různorodost těchto oblastí lze prokázat, že jejich náplně a výsledky spolu v podstatě úzce souvisí a bezprostředně na sebe navazují. Spojovacím prvkem je především vazba na přednášenou látku posluchačům oboru 23-03-8: „Stavba výrobních strojů a zařízení“ a to ve specializacích 01: „Obráběcí a tvářecí stroje“ a 02: „Průmyslové roboty a manipulátory“, na řešení jejich diplomových prací a v neposlední řadě na výchovu doktorandů v oboru „Konstrukční a procesní inženýrství“ a „Soudní inženýrství“ a to vše v návaznosti na nejmodernější poznatky výzkumu a vývoje v uvedených oblastech.

2.1. Speciální a číslicově řízen obráběcí stroje

Touto oblastí se autor zabýval převážně v letech 1968-76. Z obsáhlého souboru převážně oponovaných výzkumných zpráv lze jako nejvýznamnější inženýrské dílo uvést projekt jednoúčelového vertikálního jednovřetenového stroje JVJS-200, jehož prototyp a následně opakovaná výroba byla podkladem pro tehdejší domácí kvalitní náhradu za zahraniční (anglické) stroje pro výrobu kluzných ložisek v ZVL Dolný Kubín. Na další velmi významný projekt „Opravy kavitovaných ploch oběžných kol vodních turbín na elektrárnách Orlik a Slapy“ bylo uděleno autorské osvědčení. Autorova oponovaná závěrečná práce PGS „Automatické řízení obráběcích strojů“ obsahuje původní, dodnes platné třídění natáčivých ústrojí a moderní poznatky o jejich konstrukci, které autor získal při řešení speciálních automatických frézovacích vřeteníků pro číslicově řízené karusely ČKD Blansko. Návazné projekty tohoto druhu jsou na autorově pracovišti dodnes aktuální, neboť i nyní pod jeho vedením pracuje tým, řešící automatickou výměnu palet u nejmodernější řady karuselů SKL TOSHULIN. Na vědecko-pedagogickou bázi převedl autor dlouholetou činnost pracoviště v oblasti retrofitingu obráběcích strojů jednak zvyšující se náročností na sortiment retrofitingovaných strojů, kterými jsou v poslední době velmi komplikovaná CNC obráběcí centra a jednak úspěšným řešením projektu FRVŠ – tj. zavedením nového předmětu „Technologičnost konstrukce a oprav (retrofitingu) výrobních strojů“ [22], navazujícího na zkušenosti vlastní, ale i na výsledky projektu „Facharbeitergerechte Modernisierung von Werkzeugmaschinen“, německého Spolkového ministerstva pro výzkum a technologie, řešeného na TU Aachen.

2.2. Průmyslové roboty a manipulátory (PRaM)

Vědecko-výzkumné a pedagogické činnosti v oblasti PRaM se autor věnuje cca od r.1977 a rozvinul ji v následujících směrech:

- a. Teorie kombinatorických algoritmů základních kinematických řetězců PRaM a jejich praktické aplikace
- b. Vývoj, realizace a aplikace průmyslového robotu PRKM-20
- c. Koncové efekty PRaM a jejich adaptivita

Autorův zájem o první z uvedených směrů vznikl na základě neuspokojivě všeobecně publikované analýzy základních kinematických řetězců, jako polohovacích ústrojí PRaM. Nástin jejich **kombinatorických algoritmů** nebyl nikde kompletní a obecně uznávaný soubor základních typů PRaM neodpovídal jejich postupnému vývoji. Proto se autor pustil do systematické analýzy této problematiky, jejíž výsledky postupně publikoval na mezinárodních kongresech [3], [23] a zahraničních sympoziích [13] a přednáškách. Pozoruhodné na této práci je to, že ve své době tato autorova teorie předběhla praxi, která ji později potvrdila především výskytem nových průmyslových robotů, zejména typů SCARA (D), PANASONIC (USA), UM-160 (RUS), PROB-5 (CZ), RENAULT-Horisontal type (F) a pod. Komplexně o této problematice pojednává autorova monografie [14]. Souběžně s teoretickou analýzou byl

podle autorova návrhu **vyvinut a realizován průmyslový robot s krokovými motory PRKM-20**, který byl v r. 1986 vystavován v expozici VUT Brno na mezinárodní výstavě ROBOT-86. Další modifikace tohoto robotu PRM-200 byla vystavována na ROBOTu-92. Na základě těchto expozic byla objednána projekce několika robotizovaných technologických pracovišť (RTP) [11], [15]. V kontextu problematiky vývoje a realizace, ale zejména aplikace průmyslového robotu PRKM-20 a jeho modifikací, zaujímá podstatné místo autorova zcela původní teorie o možné aplikaci průmyslových robotů do hromadné výroby, spočívající v jejich technologickém spojení s tzv. „tvrdými“ automaty a „paletizací“ [5], [6], [17]. Při výzkumu a vývoji **koncových efektorů průmyslových robotů** se v některých případech ukázalo jako účelné řešení jejich adaptivnosti na mechanickém principu, které autor pracovně nazval „mechanickou adaptivitou“ a v publikacích na mezinárodních konferencích tuto problematiku, včetně definice mechanické adaptivity, adaptivity jako takové a celého principu řešení, dostatečně objasnil [8]. Speciální chapadlo s mechanickou adaptivitou bylo úspěšně vystavováno na mezinárodní výstavě ROBOT-90. Zákonitě se ukázalo, že mechanická adaptivita může být chápána pouze jako účelové a speciální řešení určitých konkrétních úloh a hlavní výzkum je autorem směřován do **řešení adaptivních senzorických koncových efektorů**.

2.3. Pedagogika, PGS (CŽV)

Pokud je zde hovořeno o **postgraduálním studiu (PGS)**, jde o jeho dřívější formu, kterou autor organizoval a vedl na svém pracovišti plných 20 let. Pod autorovým přímým metodickým a organizačním vedením absolvovalo PGS v oboru automatizace a robotizace celkem 230 inženýrů z celé tehdejší ČS republiky, čímž byly dlouhodobě rozšiřovány a upevňovány kontakty s průmyslem. Tyto nezůstávaly bez odezvy, ale měly kladný vliv na rozvoj zájmu podniků o vědecko-výzkumnou i pedagogickou práci. PGS tak mělo významný vliv na autorem průběžně iniciovanou inovaci denního studia a bylo tedy vždy „katalyzátorem jeho inovace“ [4], která se projevuje především ve vypracování koncepce a zavádění nového oboru studia či předmětů, podpořené i úspěšně oponovanými vědecko-výzkumnými projekty [1], [22]. Tuto svou dlouholetou a komplexní práci pokládá autor za významný vědecký přínos pedagogickému procesu.

2.4. Soudní inženýrství

Nezanedbatelným směrem autorových aktivit je velmi aktuální a celospolečensky významná oblast, týkající se technického znalectví. Jako soudní znalec, zejména v oboru dopravních nehod, vypracoval řadu posudků a to jak vlastních, tak i pro Ústav soudního inženýrství VUT v Brně, které byly v mnoha případech pokládány za vzorové ukázky znalecké práce a jako takové byly některé jejich zajímavé pasáže autorem publikovány [9], [10]. Od r.1991 začal autor se svými spolupracovníky hledat smyslupné naplnění nové formy CŽV (bývalého PGS). Tyto formy byly nalezeny, když v těsné spolupráci s Ústavem soudního inženýrství VUT v Brně, s Ústavem soudního inženýrství Žilinskej Univerzity v Žilině a s podporou Krajského soudu v Brně bylo na autorově pracovišti zřízeno několik běhů CŽV **„Technické znalectví v oboru strojírenství a v ekonomice výrobních strojů, systémů a zařízení“**. Díky tomuto studiu autor významně posílil celospolečenskou prestiž ÚVSSaR m.j. tím, že 5 pracovníků (absolventů tohoto CŽV) bylo ministrem spravedlnosti ČR jmenováno znalci v oboru strojírenství a ekonomiky výrobních strojů, systémů a zařízení, tj. v oboru, který je na ÚVSSaR vědecky i pedagogicky pěstován, čímž práce autorova ústavu nabývá na celospolečenském významu.

3. Adaptivita koncových efektorů průmyslových robotů

3.1. Adaptivita průmyslových robotů

Adaptivita je proces, při kterém se systém přizpůsobuje změnám, které probíhají uvnitř, eventuálně mimo něj. Adaptivnost (adaptivita) je schopnost přizpůsobit se stavu systému. Adaptivní průmyslový robot je definován jako průmyslový robot s vyšší úrovní řízení, který je schopen, v průběhu své činnosti, měnit své chování tak, aby byla splněna požadovaná kvalita činnosti soustavy. Toto své chování mění v závislosti na změně stavu parametrů okolí. Takto uzpůsobené průmyslové roboty jsou pro běžné využití prozatím ještě značnou výjimkou. Rozhodující je především cena takového zařízení v bezprostřední návaznosti na složitost a dostupnost zejména sensorové techniky, umožňující potřebné rozpoznávání a vyhodnocování pracovní scény robotu. Ve výrobních a montážních systémech s průmyslovými roboty se adaptivita v současné době zavádí především ve svařovacích technologiích a diskretní (součástkové) manipulaci. Realizace této činnosti si vyžaduje, mimo nezbytné postupné aplikace adaptivního řídicího systému „oko-ruka“, též i vyřešení adaptivity koncových členů (efektorů) těchto robotů a to zejména s využitím jejich poddajných částí, suplujících částečně činnost lidské ruky se zápěstím.

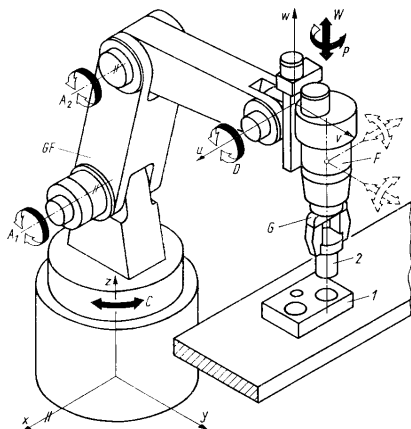
3.2. Interakce robotu s technologickým prostředím

Vzájemná interakce robotu a technologického prostředí vzniká při fyzickém kontaktu koncového efektoru a předmětu technologické scény, kdy se uzavírá mechanická vazba kinematického řetězce robotu. Pro další činnost robotu je významné rozpoznat, že dotyk skutečně nastal, stanovit souřadnice bodů dotyku (lokalizaci) a charakter dotyku vyhodnocením například velikosti vzniklých reakčních sil a momentů. Pro kompenzaci interakce jsou adaptivní roboty vybavovány zejména senzory sil a momentů, které uskutečňují snímání velikosti sil (momentů) v kloubech ramene a ruky manipulátoru (metoda přímá), případně se zjišťují změny v zátěži pohonů (metoda nepřímá). Další senzory, umístěvané co nejbližší vzniku interakčních sil, tedy nejčastěji v zápěstích a chapadlech, zprostředkovávají informace o sevření předmětu, popř. zatížení koncového členu, jeho interakci s překážkami v prostředí, o prokluzu předmětu v chapadle a pod. [16]. Senzory bývají součástí deformačních konstrukčních prvků umožňujících měření deformací ve třech ortogonálních osách. Vlastní senzory mohou být tenzometrické, piezoelektrické, magnetostrikční, magnetické, atd.

3.3. Poddajné členy a sensorická zápěstí

Z výše uvedené analýzy interakce průmyslových robotů s prostředím vyplývá, že průmyslový robot musí být pro tuto interakci vybaven podobně jako člověk určitými poddajnými členy (asi jako prsty u ruky), které při určité konfiguraci vytváří skupinu, kterou lze přirovnat k zápěstí ruky. Lidská ruka je ovšem nástroj až příliš dokonalý. Jak je všeobecně známo, má lidská ruka od ramenního kloubu po konce všech prstů celkem 27 stupňů volnosti. I když není technickým problémem postavit její kloubový model, je velmi obtížné zajistit všem těmto kloubům motorický pohon a na každém z nich instalovat odměřování polohy a příslušné sensorické vybavení. Proto i technická robotika musí postupovat od řešení jednoduššího problému ke složitějšímu. Představme si, že máme rukou zasunout menší kolík do připraveného otvoru. Kolík lze držet mezi prsty a pouze pohybem prstů jej ručně natáčet i posunovat, aniž by bylo nutné přitom pohybovat zápěstím ruky. Při praktickém pokusu je možno si povšimnout složitosti pohybu prstů a zároveň toho, že oblast působení je poměrně omezená. Je zřejmé, že technické napodobení takové činnosti prstů by bylo velmi náročné.

Totéž však lze provádět při zpevněných prstech pohybem celé paže a natáčením ruky v zápěstí. Prsty slouží pouze jako úchopné prvky, oblast působení se podstatně zvětší. Při kontaktu drženého předmětu s okolím vnímá člověk příslušné dotyky a koriguje svoji činnost. Tento proces již lze lépe technicky napodobit vybavením manipulačního ramene průmyslového robotu poddajným členem (zápěstím) a úchopným koncovým efektozem. Poddajné členy, které pouze informují o velikosti a směru působících sil, vznikajících při zasouvání montovaných součástí, se nazývají pasivními a vzniklá odchylka musí být následně korigována řízením samotného robotu. V této souvislosti je při této diskretní montáži kvalitativní rozdíl mezi svislou (vertikální) a vodorovnou (horizontální) montáží. Je tím míněna zejména orientace os otvorů a do nich montovaných součástí (čepů, šroubů, podložek, matic, ložisek, hřídelů a pod.). Pro technické řešení se jeví jako jednodušší svislá (vertikální) montáž a jako taková je dosud v literatuře především popisována. Pasivní členy se



Obr. č. 1: Princip vertikální montáže [25; s. 31, obr. 2.3]

m.j. vyznačují tím, že obsahují pružný element, případně elementy, jejichž deformace jsou snímány příslušnými senzory. Druh použitého pružného elementu determinuje poddajnost daného členu a to buď pro malý, nebo pro větší rozsah odchylek. Zásadně pak bude platit, že pružný element, jehož deformaci je vhodné snímat například tenzometry (tyče, upravené příruby a pod.), bude sloužit k monitorování malých odchylek (řádově do 0,1 mm), elementy typu pružin, planžet, vlnovců, silentbloků apod. budou sloužit k monitorování odchylek řádově větších (do 1,0 mm). V některých jednodušších případech se lze obejít bez sensorického vybavení a použít tzv. „neřízené spojovací mechanismy s pružnými elementy“ (dále NSM). U NSM jsou orientační pohyby vyvozovány pouze silovým působením při dotyku montované a základní části. Vyznačují se zejména tím, že na rozdíl

od řízených (senzoričkových) poddajných členů, vybavených kloubovými (například kardanovým kloubem) nebo jinými mechanismy (tedy v tomto případě tzv. „identickou vazbou“), je spojování součástí zprostředkováváno pouze přes pružné elementy bez této identické vazby mezi vstupem a výstupem poddajného členu. Adaptivita takovýchto členů (NSM) je ovšem velmi hrubá a omezeně použitelná. Je ji možno zařadit mezi zvláštní, speciálně účelové případy tzv. „mechanické adaptivity“. Za určitých podmínek (zejména při konkrétních příznivých poměrech mezi hmotností manipulované součástky, jejím uložením a tuhostí poddajných členů) je tyto možno použít i při horizontální montáži, což u senzoričkovy vybavených členů není možné, neboť u nich výchylka, způsobená tíhou součástky, vyvolává nežádoucí regulační odezvu pouze ve směru tíhové síly. V takovém případě je pak nutné použít pouze členy se samočinnou aktivní korekcí polohy.

3.4. Klasifikace adaptivních koncových efektorů

Na základě uvedeného lze adaptivní koncové efektozy, jako výstupní členy kinematického řetězce průmyslových robotů, včetně nezbytných zápěstí a případné i kompenzátorů polohy, rozdělit následujícím způsobem podle tabulky č.1:

Tabulka č. 1: Klasifikace adaptivních koncových efektorů

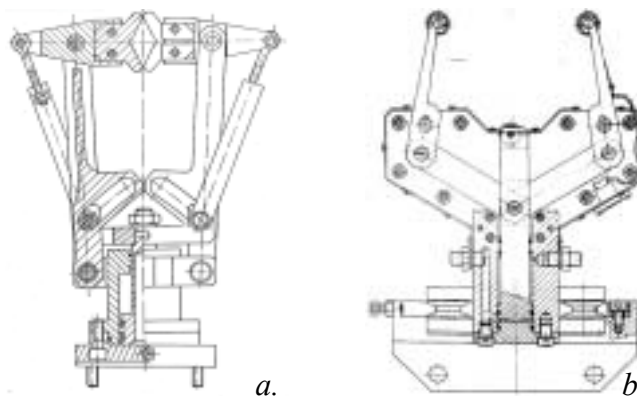
Adaptivní koncové efekторы průmyslových robotů		
Mechanické	Pasivní	např. poddajné členy typu NSM, samoupínací mechanismy apod.
	Aktivní	s mechanickým řízením a přizpůsobováním, tzv. „mechanická adaptivita“
Senzorické	Pasivní	poddajné členy bez vlastní korekce pro vertikální montáž
	Aktivní	Poddajné členy s vestavěnou samočinnou korekcí polohy - pro obecnou montáž
S řídicím systémem typu „master-slave“		Biomechanické a protetické aplikace

3.5. Pasivně mechanicky adaptivní koncové efekторы (NSM)

Jak již bylo výše uvedeno, orientační pohyby se u NSM vynucují silovým působením, vznikajícím při dotyku montovaných částí. Neřízený spojovací pohyb průběžně vyvolává orientační pohyb tím, že když se dotýká hrana čepu sražené hrany otvoru, působí proti spojovací síle normálová reakce a třecí síla. Tyto síly působí na elastické prvky členu. Podrobně je o NSM pojednáno na příklad ve [25;s.167-187].

3.6. Koncové efekторы s mechanickou adaptivitou

V některých speciálně účelových případech konkrétního řešení robotizovaného pracoviště lze výhodně, namísto poměrně drahého elektronického a senzorického systému adaptivity, využít systém tzv. mechanické adaptivity, který představuje vhodně zvolený způsob pohybů úchopných a periferních prvků robotického systému, který obsáhne požadovaný soubor manipulovaných součástí a dokáže s ním žádaným způsobem manipulovat. Jednou z cest je pochopení konstrukce výrobního stroje, průmyslového robotu a příslušných periférií jako systém, jehož prvky na sebe vzájemně působí a z toho plynoucí snaha o vytvoření vnitřního vztahu mezi těmito prvky tak, aby jejich působení vedlo k vzájemné podpoře za účelem splnění požadovaného výrobního úkonu. Tak například, je-li nutné řešit robotickou manipulaci v malosériové výrobě, musí se počítat s častou výměnou jednotlivých elementů v systému. Tato výměna je v robotizovaném pracovišti vícekrát než jednou za směnu neekonomická. V tomto smyslu byl řešen úchopný systém v komplexu robot - výrobní stroj podle obr.č.2a jako úchopná manipulační hlavice průmyslového robotu s mechanicky řízeným konstatním uchycováním rotačních polotovarů o různém průměru.



Obr. č. 2: Manipulační koncové efekторы s mechanickou adaptivitou [8]

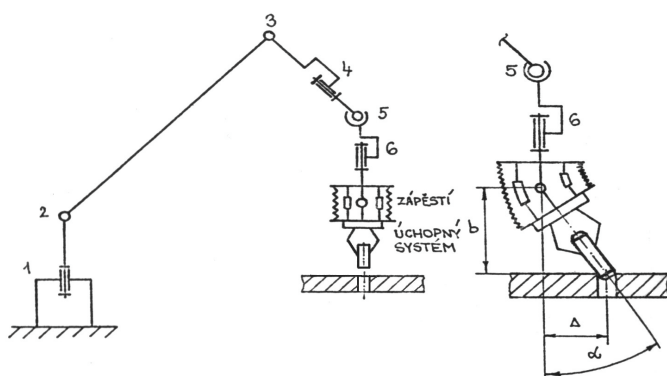
a. pro koncentrické uchopování rotačních součástí

b. pro manipulaci se šestihrany

Podobně robotické uchopování a zakládání šestihřanných polotovaru vyžaduje jejich orientované uložení v zásobnících, jinak je tento úkol značně problematický. Navržený úchopný systém podle obr. č. 2b umožňuje odebírat šestihřanné polotovary, umístěné otočně ve vhodném zásobníku, aniž by je bylo nutno orientovat. Protože jde o mechanický systém, přizpůsobující se vnějším změnám, jedná se rovněž o mechanickou adaptivitu. Uvedené příklady řešení úchopných systémů ukazují, že je možné dosáhnout poměrně jednoduchých a při tom účelných řešení daných problémů i mechanickou cestou. Při tom účelem mechanické adaptivity není nahradit složité a rozvíjející se adaptivní systémy, ale doplnit je tam, kde by bylo jejich nasazení neekonomické a mnohdy jen velmi složitě realizovatelné. Proto se lze domnívat, že i v budoucnosti bude v některých konkrétních případech účelné mechanickou adaptivitu uplatňovat.

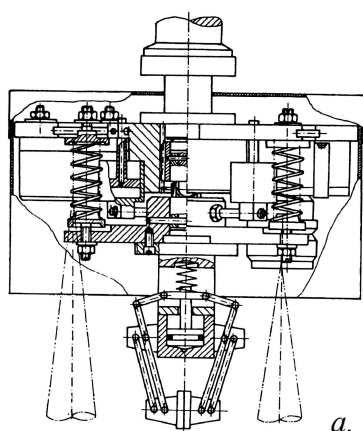
3.7. Pasivně adaptivní sensorické koncové členy-senzorická zápěstí

Dokonalejší systém, než popsané NSM, využívá senzorů (pneumatických, taktilních, tenzometrů a pod.). Princip zjišťování nepřesnosti při montáži čepu do otvoru byl autorem podrobněji popsán v [7]. Při svislé montáži čepů do otvoru vznikají úhlové odchylky od svislé, osy odpovídající posunutí středu příslušného konce montovaného čepu od osy otvoru o délku Δ v rovině $x-y$, která je následně v příslušných krocích kompenzována řídicím systémem robotu.



Obr. č. 3: Kinematické schéma vertikální robotické

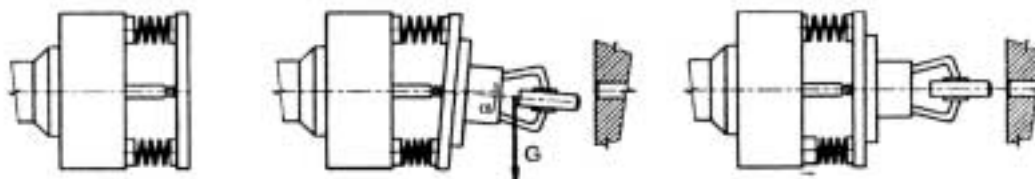
Inovovaná verze tohoto zápěstí byla opatřena navíc ultrazvukovým dálkoměrem a televizní CCD kamerou PTK 0256 a vystavována na mezinárodní výstavě ROBOT-90 v Brně (viz obr.č.4):



Obr. č. 4: Pasivně adaptivní zápěstí
a. Konstrukční návrh
b. Celkový pohled

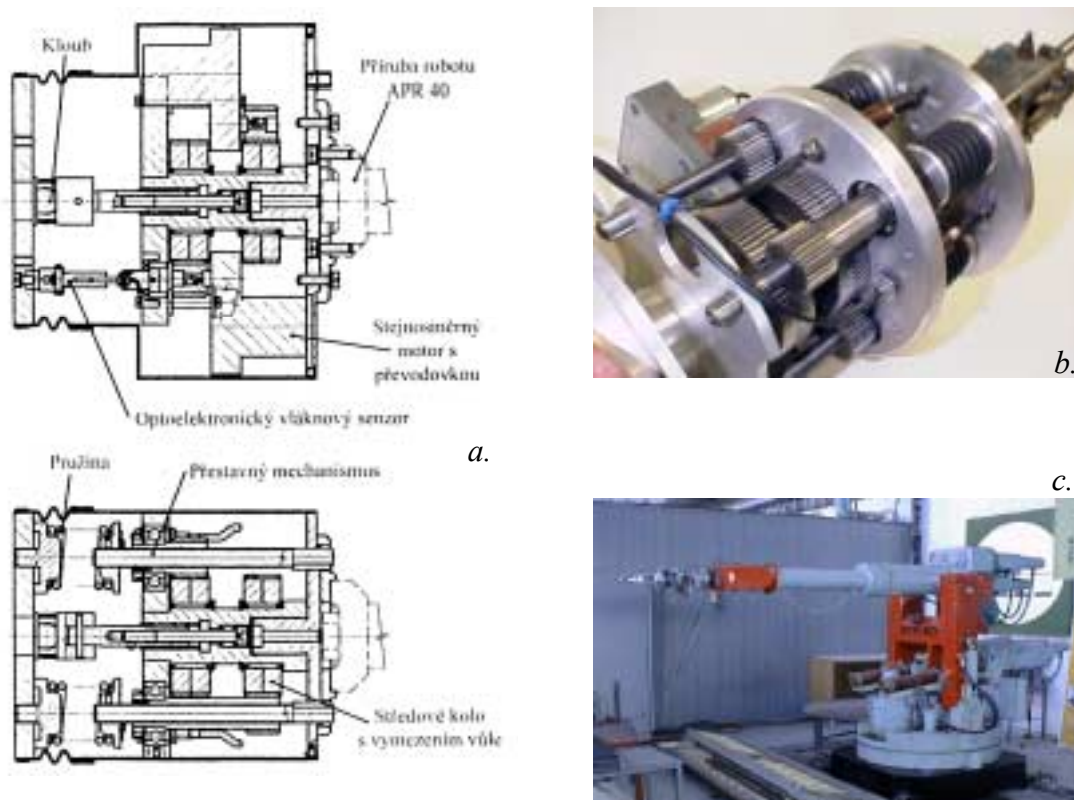
3.8. Aktivně adaptivní sensorické poddajné členy s vestavěnou samočinnou korekcí polohy

Jak bylo výše uvedeno, nelze pomocí pasivně adaptivního sensorického zápěstí realizovat horizontálně montáž, neboť uchopený předmět způsobí naklonění přírub směrem dolů, což po sensorickém vyhodnocení vede na nepříznivou reakci řídicího systému, který by sledoval tuto odchylku stále dolů mimo žádaný prostor. Pasivně adaptivní sensorické zápěstí je tedy nutno při vodorovné montáži vybavit ústrojím, které bude samočinně vyrovnávat odchylku, způsobenou vnějšími, případně i setrvačnými silami, neprocházejícími jeho středovým kloubem. Jednou z možností je sestavení mechanismu, který působí na pružinový systém zápěstí a automaticky jej předepíná tak, aby příruby zachovávaly vzájemnou rovnoběžnost až do okamžiku dotyku montovaných částí podle obr.č.5:



Obr. č. 5: Korekce deformace poddajného členu vlivem tíhového klopného

Dotyk (kontakt) je indikován spínači, reagujícími na přiblížení přírub, které je umožněno jejich axiálním posuvem o maximální délku **a**. Pak se automatické vyrovnání přeruší a systém má možnost chovat se stejně, jako při svislé montáži [20]. S tímto záměrem bylo na pracovišti navrženo a vyrobeno aktivně adaptivní sensorické zápěstí průmyslového robotu APR 40 pro manipulaci se součástkami do hmotnosti 1 až 2 kg (viz obr. č. 6):



Obr. č. 6: Aktivně-adaptivní sensorické zápěstí

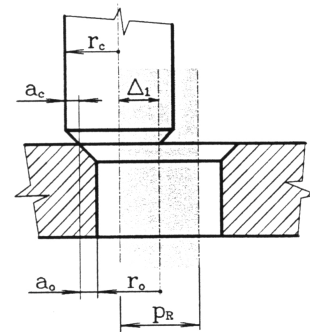
a. konstrukční řešení

b. pohled na realizované zařízení

c. aplikace na průmyslový robot APR-40

3.9. Algoritmizace úloh praktické diskrétní robotické montáže

Po zjištění odchylky, podle kinematického principu vertikální montáže na obr. č. 3, se buď nadzvednutím koncového efektoru průmyslového robotu zruší kontakt mezi součástkou a základnou s otvorem a pružiny vrátí příruby zápěstí do rovnoběžné polohy a po příslušném výpočtu dle následujícího algoritmu se vyrovná zjištěná odchylka Δ a koncový efektor najede znovu se součástkou do otvoru, nebo je lépe, když tento cyklus proběhne bez nadzvedávání v bezprostřední návaznosti vyrovnávání odchylky a zasunutí součástky. Zde záleží na možnostech řídicího systému zpracovávat a vyhodnocovat informace.



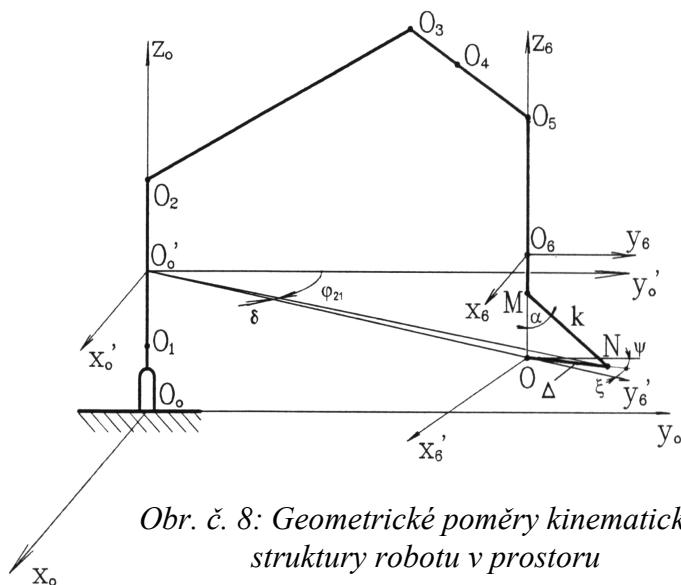
Obr. č. 7: První kontakt čepu

Horizontální montáž, popř. montáž v obecné poloze vychází ze základních předpokladů vertikální montáže, je komplikovanější a její úspěšnost je značně závislá na způsobu řešení kompenzace výchylky způsobené vlastní tíhou uchopované součástky. Ta způsobuje stálou a nežádoucí regulační výchylku a následný pohyb výstupní hlavice (chapadla) robotu směrem dolů. Po kontaktu montované součástky (čepu) s okrajem otvoru (s příslušným sražením hran) je však algoritmus pro oba druhy montáže prakticky společný.

Aby bylo možno matematicky popsat algoritmus této montáže [12], [20], je nutno nejprve zavést předpoklad, za jakých podmínek dojde k částečnému zasunutí čepu do otvoru protikusu. Tato situace je zobrazena na obr. č. 7. Aby mohl být čep částečně zasunut do otvoru s využitím zkosení hran obou participujících dílů, musí platit následující nerovnost:

$$\Delta_l < r_o + a_o - (r_{\check{c}} - a_{\check{c}}) \Rightarrow \Delta_l < r_o + a_o - r_{\check{c}} + a_{\check{c}} \dots\dots\dots(1)$$

kde r_o je poloměr otvoru, $r_{\check{c}}$ je poloměr čepu, a_o je zkosení otvoru, $a_{\check{c}}$ je zkosení čepu, a Δ_l je odchylka osy otvoru od osy čepu. Přesnost polohování robotu musí pak tedy být

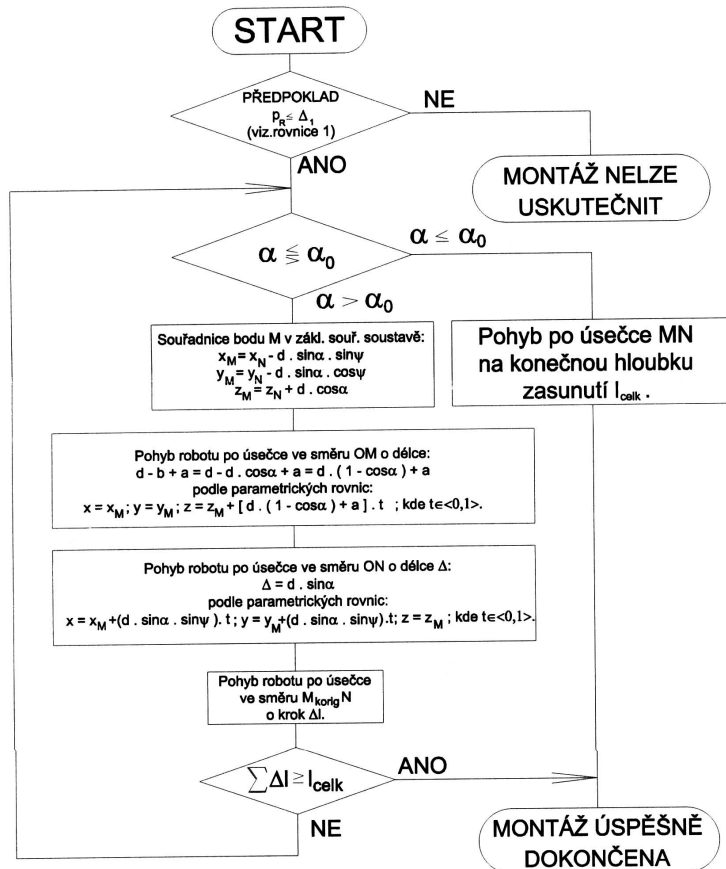


Obr. č. 8: Geometrické poměry kinematické struktury robotu v prostoru

$pr \leq \pm \Delta_l$. Celkové geometrické poměry kinematické struktury montážního robotu při vertikální montáži podle principu na obr. č. 1 a 3 jsou znázorněny na obr. č. 8. Zde je ϕ_{10} vypočítaný úhel otočení robotu k dosažení bodu N, α je odchylka úsečky MN od svislé osy (viz obr. č. 3), δ je odchylka natočení robotu do roviny $O_0O_0'M$ od požadované roviny $O_0O_0'N$, ξ je odchylka úsečky ON od osy y_6' a ψ je odchylka úsečky ON od osy y_o .

Na následujícím obr. č. 9 je znázorněna celá tato situace v rovině $x_o - y_o$.

Pomocí výše odvozených vztahů lze sestavit matematický algoritmus pro horizontální montáž, jehož blokové schéma je uvedeno na obr. č. 12, kde α_0 je povolená odchylka, při které lze součást ještě smontovat bez korekce polohy robotu; a je maximální vzájemný axiální posuv přírub zápěstí, umožňující indikaci kontaktu montovaných částí, nemá-li zápěstí možnost axiálního přibližování přírub (viz princip na obr. č. 3), je $a = 0$; l_{celk} je celková hloubka zasunutí montovaného dílu. Algoritmus montáže pro horizontální montáž se od uvedeného liší pouze tvarem použitých matematických rovnic a navíc je doplněn korekcí deformační výchylky způsobené tíhovým klopným momentem. Tato korekce, znázorněná



Obr. č. 12: Algoritmus vertikální montáže



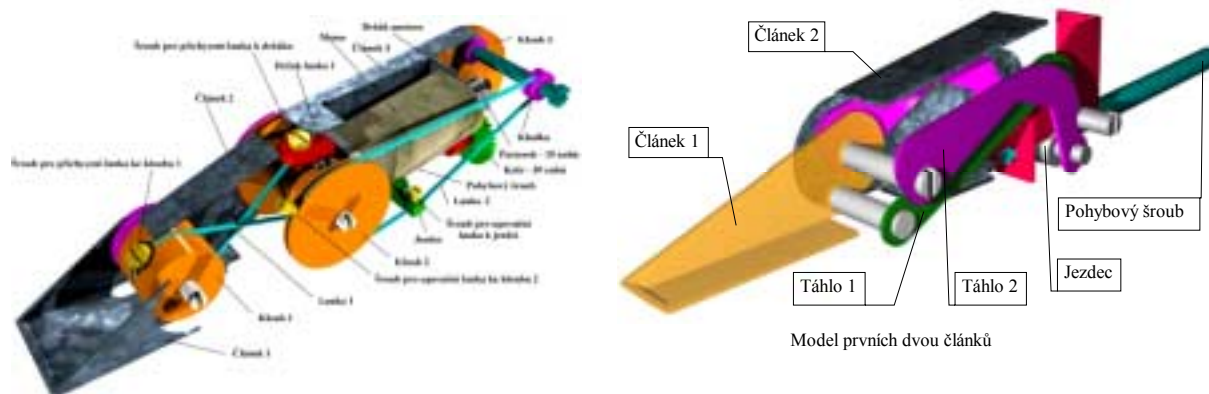
Obr. č. 13: Nástin algoritmu korekce výchylky od tíhového klopného momentu při vertikální montáži

schématicky na obr. č. 5, je prováděna do okamžiku, kdy dojde k fyzickému kontaktu obou montovaných dílů podle nastíněného algoritmu na obr. č. 13.

Představené řešení aktivně-adaptivního sensorického zápěstí bylo prakticky aplikováno na průmyslovém robotu APR 40 (viz obr.č.4). Analyzovanou montážní operací byla operace typu „peg-in-hole“ („čep-otvor“) [12], [19]. Při samotném experimentu byl montován čep o průměru 10 mm do otvoru o stejném jmenovitém průměru a délce 50 mm s tolerancí uložení H7/f7, eventuelně F8/h9. S touto tolerancí jsou ve strojírenské technologii běžně uloženy např. hřídele v ložiskových pouzdrech, hřídele v převodových skříních nebo vřetena obráběcích strojů, atd. Experiment úspěšnost nasazení aktivně-adaptivního sensorického zápěstí prokázal.

3.10. Biomechanické (protetické) aplikace

Mimo uvedené aktivity v oblasti adaptivních koncových efektorů průmyslových robotů sleduje autor se svými studenty (diplomanty) a doktorandy též oblast biomechaniky a mechatroniky se záměrem její využití v protetice [24]. Jednou z velmi úspěšně se vyvíjejících doktorandských prací je návrh prstu protetické paže, který vychází z analýzy pohybu skutečného lidského prstu, u něhož se první a druhý článek ohýbají v postatě společně. V rámci této práce byly dosud vyvinuty a realizovány dva modely prstů, u nichž byla ověřena vhodnost použitého kinematického řetězce k dosažení funkce a pohyblivosti prstu. Jednalo se především o známý princip přenosu pohybu pomocí lanek a kladek podle obr. č. 14a.



Obr. č. 14: Modely článkových prstů

a. s lanovými převody

b. s pákovým mechanismem

U navrženého modelu podle obr.č.14b byl sledován požadavek samosvornosti, aby se prst po zastavení motoru sám nerozevřel. Tento požadavek velmi dobře splňuje použitý pákový mechanismus pohybovým šroubem a maticí s jemným stoupáním.

Komplikovanost těchto řešení potvrzuje původně v kapitole 3.3 nastíněnou složitou problematiku technické náhrady lidské ruky pro robotizovanou manipulaci a montáž a ukazuje na vhodnost souběžného výzkumu a vývoje adaptivních koncových efektorů a biomechanických protetických aplikací. Filozofie řízení však je u těchto směrů odlišná. Zatímco u robotických aplikací jde o co největší autonomnost řízení, u protetických aplikací je sledován způsob „master-slave“, tedy synchronní řízení uživatelem. V tomto směru byly navázány první kontakty ke spolupráci v oblasti využití elektromyogrammetrických (EMG) signálů s neurochirurgickou klinikou FN v Brně.

4. Návrh a realizace modelového inteligentního modulárního bezobslužného výrobního systému pro výrobu a diskrétní montáž

Prakticky všechny uvedené vědecko-pedagogické autorovy aktivity budou využity při řešení projektu č. 6: „Automatická manipulace v technologických pracovištích a ve výrobních systémech (robotizace a výrobní logistika)“ v rámci Výzkumného centra pro strojírenskou výrobní techniku a technologie, jehož je autor od r. 2000 spoluřešitelem.

4.1. Náplň a cíle projektu

Projekt představuje návrh a realizaci modelového inteligentního modulárního bezobslužného výrobního systému pro výrobu a diskrétní montáž ve strojírenské laboratoři

ÚVSSaR FSI VUT v Brně, zahrnující zejména: Vývoj algoritmů pro řízení činnosti v modulárním bezobslužném výrobním systému, pokračování na rozpracovaném autonomním lokomočním robotu VUTBOT-1 [2], vývoj prostředků pro realizaci vybraných metod měření a kontroly do automatického řízení výrobní buňky a výrobního systému a vývoj manipulačních systémů (koncových efektorů) průmyslových robotů pro vzorovou diskretní montáž (čepy, šrouby, ložiska). Projekt je plánován na roky 2000 až 2004.

4.2. Postup řešení a realizace

Principiálně se jedná o aplikaci výzkumu, vývoje, ověření a doplnění dlouholetých zkušeností se školním robotizovaným systémem CIM, instalovaným a provozovaným na autorově pracovišti, do realizace nového experimentálního praktického řešení ve strojní laboratoři ústavu, které bude adekvátním přínosem pro širší průmyslové uplatnění. Základem pro tyto záměry jsou autorovy informace o takových již realizovaných a provozovaných zahraničních výrobních systémech s tím, že v navrhovaném systému nebude za účelem mezioperační dopravy součástek, nástrojů, výrobních pomůcek a měřidel nasazen jinde všeobecně užívaný, avšak generačně překonaný indukčně řízený automatický dopravní vozík, ale bude to plně autonomní lokomoční robot VUTBOT-2 s aplikovanými technologickými nástavbami. Při robotické obsluze frézovacího pracoviště jde o výzkum možnosti realizace bezpaletové manipulace s vybraným tvarovým souborem součástek, při obsluze soustružnického pracoviště půjde o aplikaci automatické výměny koncových efektorů (chapadel) pro koncentrické uchopování součástek různých průměrů včetně šestihranů. Automatizovaná montáž a kontrola obrobků si vyžádá m.j. využití systémů technického vidění.

5. Shrnutí autorovy koncepce vědecké práce a výuky v daném oboru

I když předložené teze akcentují především důležitou autorovu vědeckou pasáž, týkající se „Adaptivity koncových efektorů průmyslových robotů“, dovolil si autor představit alespoň zkráceně svou 31-tiletou vědecko-výzkumnou a pedagogickou činnost na Fakultě strojního inženýrství VUT v Brně, při níž během posledních 11-ti let vybudoval jako ředitel Ústavu výrobních strojů, systémů a robotiky tento ústav jako úspěšné a prosperující pracoviště FSI VUT v Brně s domácí i zahraniční celospolečenskou vážností a předložit tím současně ve smyslu díky § 75 odst.5 zákona č.111/1998 Sb i svou koncepci vědecké práce a výuky v daném oboru, při čemž **za svůj bezprostřední přínos pokládá autor zejména to, že i podle zahraničních referencí, je tvůrcem vědecké školy v oblasti konstruování a výzkumu průmyslových robotů na VUT v Brně**, zahrnující m.j. komplexní analýzu kombinatorických algoritmů základních kinematických řetězců průmyslových robotů a manipulátorů (PRaM), analýzu základních a odvozených typů PRaM, možnost nasazení PRaM do hromadné výroby za předpokladu důsledné paletizace, teorii „mechanické adaptivity“, studii diskretních vertikálních a horizontálních robotizovaných montážních procesů a tato jeho škola je i základem pro jeho práci s mladými vědci, v poslední době též rozvinuté do spolupráce celého, autorem řízeného, Ústavu výrobních strojů, systémů a robotiky FSI VUT v Brně na projektu č.6 Výzkumného centra pro strojírenskou výrobní techniku a technologii: „Automatická manipulace v technologických pracovištích a ve výrobních systémech (robotizace a výrobní logistika)“. Získání tohoto projektu skýtá všem pracovníkům ústavu, jeho posluchačům i doktorandům, tedy celému autorově pracovišti, široké pole možností pro uplatnění jejich invencí při vědecko-pedagogické práci v zajišťovaném oboru „Stavba výrobních strojů a zařízení“.

6. Seznam v textu citovaných autorových publikací a zahraničních přednášek

- [1] HAMMER, M.- KOLÍBAL, Z.- CIBULKA, J.: Aplikace nových vědeckých poznatků do výuky elektrotechniky na FS. Závěrečná zpráva fakultního grantového projektu FP 379749 k oponentuře dne 13.1.1998, ÚVSSaR FS VUT v Brně, CZ 1997
- [2] KNOFLÍČEK, R.- KOLÍBAL, Z.: A mobile robot control system with neural driving control of a locomotion device and this practical application. In: ACTA MECHANICA SLOVACA, ročník 4, Košice, 1/2000, s.47-60, ISSN 1335-2393
- [3] KOLÍBAL, Z. a j.: Kombinatorické algoritmy základních kinematických řetězců průmyslových robotů se dvěma a více rotačními kinematickými dvojicemi. In: Nové směry technického rozvoje průmyslových manipulátorů a robotů (Mezinárodní kongres) ROBOT-86, DT ČSVTS Pardubice, 1986, s.23-31 (Totéž pak ještě opakovaně vydáno 1987. In: Vybrané referáty z kongresu ROBOT, 1.díl, Komise ČR pro automatizaci a robotizaci, DT ČSVTS Pardubice, CZ, leden 1987, s. 59-67)
- [4] KOLÍBAL, Z.: Postgraduate study – a catalyzer of innovation of the special educational process of engineering studies. In: Progressive methods, forms and technical means in engineering studies, DT ČSVTS Bratislava, Slovakia, 1987, s.137-141
- [5] KOLÍBAL, Z.: Palettisierung–unerlässlicher Bestandteil bei der Robotisierung der Massenproduktion. In: PALETTEN-INFO, č.3-4/93, česko-německý mezinárodní čtvrtletník, ARDENT Brno, CZ, 1993, s.11-13
- [6] KOLÍBAL, Z.: Das robotisierte Umladesystem des Montageautomaten in Massenproduktion. In: Collection of Summaries of 4th International DAAM Symposium, FME TU Brno, CZ, 1993, pp.159-160
- [7] KOLÍBAL, Z. : The Adaptivity of the End Effectors of Industrial Robots. Machine Tools, Automation and Robotics in Mechanical Engineering, sekce 3, MATAR 96, Praha, CZ, červen 1996, pp. 135-14
- [8] KOLÍBAL, Z.: Die mechanische Adaptivität der Robotergreifsysteme und deren Sinn und Zweck. In: 7-th International DAAAM Symposium, TU Vienna, Austria, 1996, pp.225-226
- [9] KOLÍBAL, Z. a kol.: Znalecké standardy pro zjišťování technického a ekonomického stavu výrobních strojů. Závěrečná zpráva o řešení projektu FRVŠ MŠMT ČR č.FR 360801, úspěšně oponovaná dne 11.12.1996, ÚVSSaR FSI VUT v Brně, CZ, 1996
- [10] KOLÍBAL, Z.: Analyse der Konflikte zwischen Radfahren und anderen Verkehrsteilnehmern vom Standpunkt eines Gerichtssachverständigen. In: Internationale Konferenz: „MOBILITÄT & SICHERHEIT“, Schlussbericht, Kuratorium für Verkehrssicherheit Wien, 13.-14.October 1997, Vienna, Austria, 1998, ISBN 3-7070-0013-3-KfV
- [11] KOLÍBAL, Z.: Solution of the Robotics System in the Mass Production of a Small Components. In: 7th International Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region RAAD 1998, Edited by Karol Dobrovodský, Smolenice, June 26-28, 1998, Institute of Control Theory and Robotics, Slovak Academy of Sciences, Bratislava, Slovakia, pp.399-404, ISBN 80-967962-7-5

- [12] KOLÍBAL, Z. a kol.: Teorie a experimentální aplikace aktivně adaptivního senzorického zápěstí koncového efektoru průmyslového robotu pro diskretní robotickou montáž. In: INŽENÝRSKÁ MECHANIKA, r.č.5, 1998, č.4, s.237-248, CZ, ISSN 1210-2717
- [13] KOLÍBAL, Z.: The Theory of the Structures of Basic Kinematic Chains in Industrial Robots and this Effect on their Practical Application. In: 8th International Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region RAAD 1999, Edited by Franz Freyberger and Günter Schmidt, München, June 17-19, 1999, Technische Universität München, Germany, 1999, pp.127-132, ISBN 3-00-004482-5
- [14] KOLÍBAL, Z.: The theory of basic kinematic chain structures and its effect on their application in the design of industrial robot positioning mechanisms. CERM Akademické vydavatelství, Brno, 2001, ISBN 80-7204-196-7
- [15] KOLÍBAL, Z.- BĚLOHOUBEK, P.- HOLEC, P.- VYSTRČIL, O.: Modularity of PRM type cartesian robots and their application in the production of construction materials. In: Automation and Robotics in Construction XI. Proceedings of the 11th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC), Editor D.A. Chamberlain, Elsevier Science B.V., Brighton, U.K., 24-26 May, 1994, pp.587-591, ISBN: 0-444- 82044-2
- [16] KOLÍBAL Z.- BĚLOHOUBEK P.: The Development of the Special Industrial Robots, End-Effectors, their Control and Application. Proceedings of the IASTED Int. Conference on Applied Modelling, Simulation and Optimalization, str. 283—286, Cancún, Mexico, 1995
- [17] KOLÍBAL, Z.- BĚLOHOUBEK, P.: A Sensoric End-Effector for Robotic Manipulation with Bearing Rings. In: Proceedings of the 32th International MATADOR Conference, Edited by A.K.Kochar, Lucas Professor of Manufacturing Systems Engineering, UMIST Manchester, 10-11 July 1997, Manchester, UK, pp.565-570, ISBN 0-333-71655-8
- [18] KOLÍBAL, Z.- GONZÁLEZ, J.R.M.: Nuevas formas de dispositivos de agarre en robots industriales. In: REVISTA DE INGENIERIA ELEKTRICA, Habana, R.de Cuba, 1990
- [19] KOLÍBAL, Z.- HOLEC, P.: Grippers for Adaptive Robotic Assembly. In: The 9-th ISARC, Tokyo, Japan, 1992, pp.305-311
- [20] KOLÍBAL Z., KARPÍŠEK Z.: Pasivně adaptivní zápěstí výstupní hlavice průmyslového robotu a možnosti jeho využití při montáži. ROBOT-90, DT ČSVTS, Pardubice, 1990, str. 95-101
- [21] KOLÍBAL, Z.- KNOFLÍČEK, R.: Morfologická analýza stavby průmyslových robotů. VIENALA Košice, Slovakia, 2000, 185 s., ISBN 80-88922-27-5
- [22] KOLÍBAL, Z.- KNOFLÍČEK, R.- VAVŘÍK, I.: Zavedení nového předmětu: „Technologičnost konstrukce a oprav (retrofitingu) výrobních strojů“. Závěrečná zpráva o řešení projektu FRVŠ 2000 č.1580 T.O.F1 úspěšně oponovaná dne 15.2.2001, ÚVSSaR FSI VUT v Brně, CZ, 2001
- [23] KOLÍBAL, Z.- PROKOP.M.: Rozbor kinematických struktur průmyslových robotů a manipulátorů a jeho praktická aplikace. In: Tendence ve výzkumu a vývoji robotů a manipulátorů, ROBOT-84 (Mezinárodní kongres) DT ČSVTS Pardubice, CZ, 1984, s.173-182

- [24] KOLÍBAL, Z.- STROUHAL, M.- VONDRUŠKA, J.- TRENZ, M.- JANČA, M.: The Development of adaptable End/Effectors on the Brno University of Technology. In: 9-th International Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region RAAD-2000, June 1-3, 2000, University of Maribor, Slovenia, pp. 221-226, ISBN 86-435-0324-X
- [25] VOLMER, J. a j.: Industrieroboter. Entwicklung. VEB Verlag Technik, Berlin, Germany, 1983

Autorovy zahraniční přednášky na vysokých školách:

1. **Perspektivy primeněnija promyšlennych robotov dlja obsluživanja metallořežuščich stankov.** In: Kijevskij politěchničeskij institut, Mašinostrojitel'nyj fakultět, Kafedra metallořežuščich stankov i instrumentov, Kijev, 24.11.1981
2. **Die mechanische Adaptivität der Industrieroboter.** In: Technische Hochschule Wismar, Germany, 3.6.1988
3. **Teoría y construcción de los robots industriales y manipuladores (RIyM).** In: Estudio postgradual internacional "Técnica robótica", Instituto superior politécnico (ISPJAE), Habana, R.de Cuba, duben 1989
4. **Konstruktion von Greifern.** In: Technische Hochschule Wismar, Germany, 9.6.1989
5. **Roboterkonstruktion.** In: Technische Hochschule Wismar, Germany, 14.5.1992
6. **Die Struktur der grundkinematischen Kette und ihrer Einfluß an der Konstruktion und Anwendungsmöglichkeiten der Industrieroboter.** In: Rechnerstützte Produktion und Robotertechnik. International Sommerkurs 1993 a 1994, TU Wien, IHRT, Landesakademie des Niederösterreich, Krems, Austria 7.9.1993 a 26.7.1994
7. **Die Greifersysteme für effektive Roboteranipulation.** In: Rechnerstützte Produktion und Robotertechnik. International Sommerkurs 1995, TU Wien, IHRT, Landesakademie des Niederösterreich, Krems, Austria, 13.7.1995
8. **Roboterkonstruktion.** In: Fakultät für Maschinenbau und Verfahrenstechnik, Professur für Werkzeugmaschinen, TU Chemnitz, Germany, 12.11.1996 a 4.11.1999
9. **Roboter in flexiblen Fertigungssystemen und Massenproduktion.** Fakultät für Maschinenbau und Verfahrenstechnik, Institut für Werkzeugmaschinen und Produktionsprozesse, TU Chemnitz, Germany, písemné pozvání ze dne 30.3.2001 k přednášce na listopad 2001

7. Abstract

Zdeněk KOLÍBAL (born 1942 in Brno, Czech Republic), graduated in 1968 from the Faculty of Mechanical Engineering at the Brno University of Technology, specialisation "Production Machines and Equipment". Postgraduate studies: "Automatic Control of Machining Tools (1970-72)" and „Technical knowledge in the field of road accidents“ (1972-74). 15 years of practice as a designer in the group for automation and design of digitally controlled and special machining tools - at the scientific-pedagogical office which was a part of the Department of Machining and Forming Tools at the Brno University Technology, Faculty of Mechanical Engineering (FMI). His dissertation entitled "Conceptual Analysis and the design of an industrial robot with Czechoslovak made stepping motors" was passed in 1983. This was a result of the applicant's intensive activities and his decisive role in Technical Robotics development at the Brno University of Technology, FMI. At that time, he worked there as an assistant, later as a senior assistant, and since 1990 as the head of the Department of Production Machines and Industrial Robots and since 1993 also as the **director of the Institute of Production Machines, Systems and Robotics (IPMSR) FMI**. In recent years, his scientific and Research work has been focused on the Construction of non-standard industrial robots and on special and adaptive robots' end effectors performing manipulation and assembly operations.

Kolíbal is a team member of the Research Centre for the Mechanical Production Technology and Techniques at ČVUT (the Czech Technical University) in Prague. In the framework of this he runs project No. 6 Automatic Handling in Technologic Units and in Production Systems (robotisation and production logistics) at the IPMSR department under FMI in Brno. He lectures the following subjects: Industrial Robots I and II, Mechatronics in Measuring Systems and in Robotics, Technology of Design and Repairs (retrofitting) of Production Machines. Foreign lectures are listed separately. He is a court-registered expert appointed by the Minister of Justice for the fields of road and municipal traffic, mechanical engineering and economics of production machinery, equipment and systems.

These theses present author's work in the area of adaptivity of industrial robots' end effectors:

Adaptivity is a process in which the system adjusts itself to changes occurring inside, or possibly outside, the system. Adaptability is the ability to readjust itself according to the state of the system. The adaptive industrial robots is defined as a robot with higher-level control, able to modify its behaviour while working, so that the required quality of system performance is achieved. This behaviour change reflects changes in the parameters of the environment. In production and assembly systems using industrial robots, adaptability is presently being introduced mainly for welding technologies and discrete manipulation (i.e. with parts). Besides the necessary gradual application of an adaptive "eye-hand" control system, performing such activities requires the solving of the problem of the adaptability of the robot end elements (effectors) using mainly their flexible parts which provide a sort of substitute for the movements of a human hand, including its wrist.

A fundamental classification of adaptive robot end effectors, experimental results and experience with designing of active - adaptive sensor gripper for discrete robot assembly are presented.