



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

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

**PROBLEMATIKA RYCHLÉ AUTOMATICKÉ
VÝMĚNY NÁSTROJŮ U OBRÁBĚCÍCH STROJŮ**
PROBLEMATIC OF FAST AUTOMATIC TOOL CHANGE BY WORKING MACHINERY

DISERTAČNÍ PRÁCE
DISSERTATION THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Ing. JAN PAVLÍK

ŠKOLITEL
SUPERVISOR

prof. Ing. ZDENĚK KOLÍBAL, CSc.

BRNO 2011

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem disertační práci vypracoval samostatně, na základě citovaných zdrojů pod vedením školitele a za podpory kolegů.

V dne

.....
Jan Pavlík

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Pavlík, Jan. *PROBLEMATIKA RYCHLÉ AUTOMATICKÉ VÝMĚNY NÁSTROJŮ U OBRÁBĚCÍCH STROJŮ: Disertační práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011.
Školitel: prof. Ing. Zdeněk Kolíbal CSc.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval svému školiteli, prof. Ing. Zdeňku Kolíbalovi, CSc., za vedení v průběhu celého doktorského studia, za cenné rady a čas, který mi věnoval. Dále bych rád poděkoval manželce, rodičům a všem blízkým, kteří mne po celou dobu doktorského studia podporovali.

ABSTRAKT

Disertační práce je věnována problematice automatické výměny nástrojů, u frézovacích center, kde se v poslední době ukazuje toto téma jako velice aktuální. Obsahem této práce je jak provedení komplexní rešerše jednotlivých typů AVN v závislosti na typu stroje, tak i rešerše současných nástrojových rozhraní, které s touto problematikou úzce souvisejí. Na základě množství získaných rešeršních dat byla dále provedena komplexní analýza, z níž vyplynuly jak hlavní faktory ovlivňující tuto problematiku, tak i oblast, kterou se práce dále zabývá a rozvíjí ji.

Jako nejproblematictější oblast dnes používaných zařízení pro automatickou výměnu nástrojů se ukázal manipulátor zajišťující výměnu nástroje mezi vřetenem a zásobníkem. Kinematické uspořádání a konstrukční řešení jednotlivých prvků velmi významně ovlivňuje dynamiku celého procesu výměny nástroje. Proto se práce dále věnuje řešení problematiky manipulátoru. Hlavními výsledky této práce jsou pak konstrukční návrhy několika typů manipulátorů, z nichž byly některé v rámci projektu 1.2.4 Brněnského pracoviště VCSVTT (Výzkumné Centrum pro Strojírenskou Výrobní Techniku a Technologii) realizovány v podobě zkušebních standů. Pro vybrané typy manipulátorů byly vytvořeny simulační modely, k jejichž verifikaci bylo užito měření na reálném standu.

Na základě řešení této problematiky byl identifikován další klíčový problém související nejen s procesem výměny, ale i komplexním problémem životnosti vřetene. Jedná se o problém sil vznikajících při procesu uchopení nástroje. Práce nastiňuje možnosti dalšího výzkumu, týkajícího se právě vlivu těchto sil na životnosti vřeteníku (především životnosti ložiskových skupiny uložení vřetene).

ABSTRACT

This dissertation thesis is focused on the problem of the Automatic Tool Change for milling centers, which is recently shown as a very current topic. The content of this work is to conduct a comprehensive research of various types of ATC depending on the type of machine, as well as research of the current tool interface relating closely with these problems. There was made a comprehensive analysis on the basis of data obtained by comprehensive research, from which both the main factors affecting this topic and the area dealt and developed by this work resulted.

The most problematic area of machinery used nowadays for the Automatic Tool Change was detected as manipulator provided the exchange between spindle and tool storage. Kinematic structure and design of individual elements affects very significantly the dynamics of the whole process of exchange of tools. Therefore, the work is focused on problematic of the manipulator. The main results of this thesis are constructional design of several types of manipulators, which were partly realized within the project 1.2.4 of Brno department of RCMT in the form of the testing stands. There was developed simulation models for selected types of manipulators which were verified by measuring on the real stand.

On the basis of abovementioned problem there was identified another key issue related not only to the exchange process but also with complex problem of service life of spindle. It is a grab force in the process of picking tools. The work outlines the possibilities for further research of these forces on the service life of spindle (especially on service life of bearing groups of spindle).

KLÍČOVÁ SLOVA

automatická výměna nástrojů, AVN, automatizace, nástroj, nástrojové rozhraní, ISO, HSK, simulační model, LabView, Beckhoff, Adams

KEYWORDS

automatic tool changer, ATC , automatization, tool, tool interface, ISO, HSK, simulation model, LabView, Beckhoff, Adams

Obsah

1	ÚVOD	8
2	AUTOMATIZACE OBRÁBĚČÍCH CENTER	9
2.1	ROZDĚLENÍ AUTOMATIZACE	9
2.2	AUTOMATICKÁ VÝMĚNA NÁSTROJE	11
2.2.1	<i>Systémy s nosným zásobníkem</i>	13
2.2.2	<i>Systémy se skladovacím zásobníkem</i>	15
2.2.2.1	Systémy PICK-UP	15
2.2.3	<i>Systémy s pohyblivým zásobníkem a manipulátorem</i>	16
2.2.3.1	Typy zásobníků.....	17
2.2.3.2	Typy manipulátorů.....	19
2.2.4	<i>Systém se stacionárním zásobníkem a manipulátorem</i>	20
2.2.5	<i>Systémy kombinované</i>	21
2.3	AUTOMATICKÁ VÝMĚNA OBROBKU - AVO	21
2.3.1	<i>Výměna paletizovaných obrobků – technologická paleta</i>	22
2.3.2	<i>Výměna nepaletizovaných obrobků</i>	24
2.3.3	<i>Vliv AVO na ekonomičnost provozu stroje</i>	26
2.4	HOSPODAŘENÍ S ODPADY	26
2.5	AUTOMATICKÁ VÝMĚNA VŘETENOVÝCH HLAV	28
3	CÍL A METODIKA DOKTORSKÉ DISERTAČNÍ PRÁCE	32
3.1	MOTIVACE PRÁCE	32
3.2	CÍL PRÁCE.....	32
3.3	METODY ZPRACOVÁNÍ	32
4	SOUČASNÁ ŘEŠENÍ AUTOMATICKÉ VÝMĚNY NÁSTROJŮ	34
4.1	PŘEHLED SOUČASNÉ PRODUKCE FRÉZOVACÍCH CENTER	34
4.1.1	<i>Současná produkce frézovacích center</i>	34
4.1.1.1	Malá frézovací centra.....	35
4.1.1.1.1	Horizontální	35
4.1.1.1.2	Vertikální	36
4.1.1.2	Středně velká frézovací centra	39
4.1.1.2.1	Horizontální	39
4.1.1.2.2	Vertikální	41
4.1.1.3	Velká frézovací centra	42
4.1.1.3.1	Horizontální	42
4.1.1.3.2	Vertikální	43
4.1.1.4	Velkokapacitní AVN.....	44

4.1.1.5	Multifunkční centra	48
4.1.1.6	Samostatně dodávaná řešení AVN	50
4.1.1.7	Nestandardní konstrukční řešení AVN.....	69
4.1.2	Typy nástrojových rozhraní	76
4.1.2.1	ISO/SK rozhraní.....	77
4.1.2.2	MAS BT rozhraní	78
4.1.2.3	CAT rozhraní	79
4.1.2.4	BIG-PLUS rozhraní	80
4.1.2.5	HSK rozhraní	81
4.1.2.6	Kennametal KM rozhraní.....	82
4.1.2.7	CAPTO.....	83
4.1.2.8	Vyvažování nástrojů	85
4.1.2.9	Shrnutí problematiky nástrojových rozhraní.....	88
5	ANALÝZA AVN.....	90
5.1	ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU	90
5.2	SYSTÉMOVÁ ANALÝZA PROBLEMATIKY AVN	92
5.2.1	<i>Obecné blokové schéma systému</i>	<i>95</i>
5.2.2	<i>Environmentální veličiny –S0</i>	<i>95</i>
5.2.3	<i>Objektové veličiny – S1.....</i>	<i>95</i>
5.2.4	<i>Vazbové veličiny – S2</i>	<i>96</i>
5.2.5	<i>Aktivační veličiny – S3</i>	<i>100</i>
5.2.6	<i>Ovlivňující veličiny – S4.....</i>	<i>100</i>
5.2.7	<i>Strukturně-vlastnostní veličiny – S5</i>	<i>102</i>
5.2.8	<i>Procesní a stavové veličiny – S6</i>	<i>102</i>
5.2.9	<i>Projevové veličiny – S7</i>	<i>102</i>
5.2.10	<i>Důsledkové veličiny – S8.....</i>	<i>102</i>
5.3	NÁSTROJOVÁ ROZHRANÍ	103
5.4	ROZBOR MOŽNÝCH TYPŮ A USPOŘÁDÁNÍ AVN	104
5.4.1	<i>Geometrické uspořádání nástrojů.....</i>	<i>104</i>
5.4.2	<i>Proces uchopení nástroje</i>	<i>106</i>
5.4.3	<i>Proces výměny – kinematika procesu</i>	<i>107</i>
5.5	TYPY POHONŮ AVN	109
5.6	NEJROZŠÍŘENĚJŠÍ KONCEPCE	110
5.7	FORMULACE ŘEŠENÉHO PROBLÉMU $P(\Omega)$	113
6	NÁVRH KONCEPČNÍHO USPOŘÁDÁNÍ	115
6.1	VYTIPOVÁNÍ VHODNÝCH ŘEŠENÍ.....	116

7	DETAILNÍ ŘEŠENÍ JEDNOTLIVÝCH VARIANT	119
7.1	STAND STD-25.....	119
7.1.1	<i>Konstrukce</i>	<i>120</i>
7.1.2	<i>Experimentální zkoušky STD-25.....</i>	<i>129</i>
7.1.3	<i>Vyhodnocení experimentálních dat</i>	<i>131</i>
7.1.4	<i>Simulační model a jeho verifikace</i>	<i>135</i>
7.1.5	<i>Problematika rázu do vřetene</i>	<i>142</i>
7.1.5.1	<i>Kalibrace snímačů</i>	<i>144</i>
7.1.5.2	<i>Simulace rázového děje</i>	<i>151</i>
7.1.5.3	<i>Experimentální měření rázového děje</i>	<i>153</i>
7.1.6	<i>Vyhodnocení výsledků a vyplývající doporučení</i>	<i>155</i>
7.1.7	<i>Návaznost na spolupráci s průmyslem</i>	<i>156</i>
7.1.8	<i>Závěry a doporučení k řešení STD-25.....</i>	<i>157</i>
7.2	VAČKOVÝ STAND.....	158
7.2.1	<i>Popis konstrukce</i>	<i>159</i>
7.2.2	<i>Popis funkce</i>	<i>164</i>
7.2.3	<i>Experimentální zkoušky</i>	<i>168</i>
7.2.4	<i>Ochrana duševního vlastnictví.....</i>	<i>171</i>
7.3	KOMPAKTNÍ MANIPULÁTOR AVN.....	172
7.3.1	<i>Konstrukce</i>	<i>173</i>
7.3.2	<i>Parametry kompaktního manipulátoru.....</i>	<i>176</i>
7.3.3	<i>Varianta řešení s prvkem THK.....</i>	<i>177</i>
8	ZÁVĚR	182
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	183
10	VLASTNÍ PUBLIKACE	187
11	PRODUKTY A PATENTY.....	188
12	OSTATNÍ ČINNOST.....	189
13	PŘÍLOHY.....	191

1 ÚVOD

Odedávnou snahou lidstva je odstranění namáhavé, monotónní a nebezpečné práce a její nahrazení prací strojů. Stroje jako neživé objekty nepotřebují odpočinek, dovolenou a neprotestují proti vícesměnnému provozu. Požadované činnosti provádí přesně, rychle a spolehlivě. Na první pohled by se dalo říci, že stroj je naprosto ideálním prostředkem pro nahrazení člověka ve výrobním procesu. Bohužel tak tomu není. Složitost lidské mysli je mimo možnosti současné techniky, z čehož plyne nutnost zachování lidského faktoru ve výrobním procesu. Člověk svojí inteligencí, schopností vyhodnocovat a reagovat na vnější podněty je důležitým elementem v celém výrobním procesu. Stroj je tedy nadále stavěn do pozice „bezduchého“ Golema, který vykonává příkazy člověka.

Nutno podotknout, že bez strojů, a to jak ve formě výrobních zařízení, tak i ve formě automatizační techniky, by lidstvo nebylo tam, kde v současnosti je. Ač jsme stroj bagatelizovali do role bezduchého pomocníka, musíme konstatovat, že si v této roli vede naprosto výtečně. Dokonce můžeme směle říci, že jsou stroje v mnoha směrech výjimečné a nenahraditelné. Například v oblasti automatizační techniky můžeme stroje považovat za nenahraditelné z hlediska rychlosti, přesnosti, nosnosti, tak i z hlediska spolehlivosti a bezpečnosti. V duchu předešlého tvrzení můžeme konstatovat, že automatizační technika je nezbytnou a často i nedílnou součástí všech moderních výrobních strojů. Jejich potřebnost je dobře patrná ze strategií Evropského výboru pro spolupráci v průmyslu obrábění a tváření – **CECIMO [9]** a shromáždění **CIRP - College International pour la Recherche en Productique [10]**. Tyto strategie mimo jiné obsahují i snahu o zvýšení produktivity obráběcích strojů a s tím je úzce spjata i problematika automatizace. Fakt, že této problematice věnují pozornost i tyto dvě významné organizace dává tušit zásadnost problému. V návaznosti na výše zmíněné potřeby a strategie byl iniciován projekt, **1.2.4 Rychlá automatická manipulace**, jehož řešitelem bylo Brněnské pracoviště VCSVTT (Výzkumné Centrum pro Strojírenskou Výrobní Techniku a Technologii), v jehož návaznosti bylo zvoleno i téma mé disertační práce "**PROBLEMATIKA RYCHLÉ AUTOMATICKÉ MANIPULACE U VÝROBNÍCH STROJŮ A ZAŘÍZENÍ**". Toto bylo z důvodu rozsáhlosti v průběhu řešení upřesněno na: „**PROBLEMATIKA RYCHLÉ AUTOMATICKÉ VÝMĚNY NÁSTROJŮ U OBRÁBĚCÍCH STROJŮ**“

2 AUTOMATIZACE OBRÁBĚCÍCH CENTER

Na výrobní stroje potažmo zařízení jsou v současnosti kladeny nemalé nároky jak z hlediska produktivity a všech dalších ekonomických parametrů, tak i z hlediska bezpečnosti a ekologičnosti provozu. Automatizace výroby je jedním z prostředků, jehož pomocí můžeme všechny tyto parametry zásadním způsobem ovlivnit. Můžeme tedy prohlásit, že automatizace výrobního procesu již není potřebou, ale v současnosti se stává nutností. Otázkou pak pouze zůstává, v jaké míře automatizaci u daného zařízení realizovat.

Podíváme-li se například na definici obráběcího centra [8], které v současnosti představuje největší podíl na trhu s OS (obráběcími stroji), zjistíme, že již v samotné definici jsou obsaženy požadavky automatizace. Aby bylo možné OS považovat za obráběcí centrum, musí splňovat následující podmínky:

- jedná se o CNC řízený stroj
- musí umožňovat opracování obrobku z více stran
- musí umožňovat provádění více technologických operací na jedno upnutí (frézování, soustružení, závitování atd.)
- musí být schopen pracovat v automatickém pracovním cyklu popřípadě v bezobslužném režimu
- musí mít automatickou výměnu nástrojů
- může mít automatickou výměnu obrobku
- je opatřen prvky diagnostiky a monitorování stavu
- musí být vybaven systémy hospodaření s odpady.

Z výše vyjmenovaných podmínek je patrné, že automatizace obráběcích center a tedy i většiny výrobních strojů je dnes naprostou nutností.

2.1 Rozdělení automatizace

Z globálního pohledu můžeme automatizaci u obráběcích strojů a zařízení rozdělit do čtyřech hlavních skupin:

- automatická výměna nástrojů
- automatická výměna obrobku
- hospodaření s odpady
- automatická výměna hlav

Z hlediska významu můžeme pod jednotlivými pojmy rozumět následující:

Automatická výměna nástroje představuje jeden z hlavních automatizačních prvků všech výrobních strojů a zařízení. Automatizací je docíleno výrazného zkrácení nevýrobních časů stroje, eliminace možné záměny nástroje lidskou obsluhou a v neposlední řadě i zvýšení bezpečnosti lidské obsluhy, která nemusí vstupovat do pracovního prostoru stroje. Stroji je tímto umožněno pracovat v bezobslužném pracovním cyklu.

Automatická výměna obrobku a to jak obrobku paletizovaného, tak i nepaletizovaného. Tato skupina zahrnuje vesměs velice komplexní zařízení určená k výměně obrobku, a to jak jednoúčelová, tak i univerzální (jako jsou např. roboti různých konstrukčních uspořádání). Účelem automatické výměny obrobku (dále AVO) je zajištění spolehlivého, rychlého, přesného upnutí obrobku ve stroji a možnost pracovat v bezobslužném provozu.

Hospodaření s odpady obsahuje systémy pro nakládání s odpady, a to všech skupenství – plynného (např. jedovaté plyny u svařování), kapalného (např. tekutinové hospodářství s chladicí kapalinou), tuhého (např. klasické třískové hospodářství u stroje) a v neposlední řadě i s odpady energetického charakteru (např. odpadní teplo z výrobního procesu).

Automatická výměna hlav představuje specifickou oblast týkající se především frézovacích obráběcích center. Implementací tohoto druhu automatizace do návrhu stroje je docíleno výrazného zvýšení univerzálnosti, zkrácení nevýrobních časů stroje, eliminace možné chyby lidské obsluhy a v neposlední řadě i zvýšení bezpečnosti obsluhy, která nemusí vstupovat do pracovního prostoru stroje. Stroji je tímto umožněno pracovat v bezobslužném pracovním cyklu.

2.2 Automatická výměna nástroje

Automatická výměna nástrojů (dále jen AVN) je nejtypičtějším představitelem automatické manipulace u výrobních strojů a zařízení. Je to především proto, že její aplikace na výrobní zařízení má nejvýraznější vliv na zkrácení vedlejších časů a zautomatizování výrobního procesu. U malých výrobků zkracuje zejména vedlejší časy a u velkých umožňuje stroji dále samostatnou práci bez nutnosti lidské obsluhy.

Oproti ostatním automatizačním prvkům, je vliv AVN na neproduktivní časy výraznější, a to především z důvodu toho, že je frekvence výměn nástroje podstatně větší než např. počet výměn obrobku. Je to dáno hlavně moderní koncepcí univerzálních obráběcích center, která jsou schopna provést velké množství technologických operací na jedno upnutí obrobku, což sebou přináší i zvýšené požadavky na počet typů nástrojů v zásobníku stroje.

V závislosti na potřebách jednotlivých výrobních strojů a zařízení se vyvinulo velké množství automatických výměn nástrojů, které se od sebe odlišují jak principiálně, tak i konstrukčním řešením jednotlivých výrobců. Jako základní a zcela univerzální lze využít následujícího dělení:

- systémy s nosným zásobníkem
- systémy se skladovacím zásobníkem
- systémy kombinované

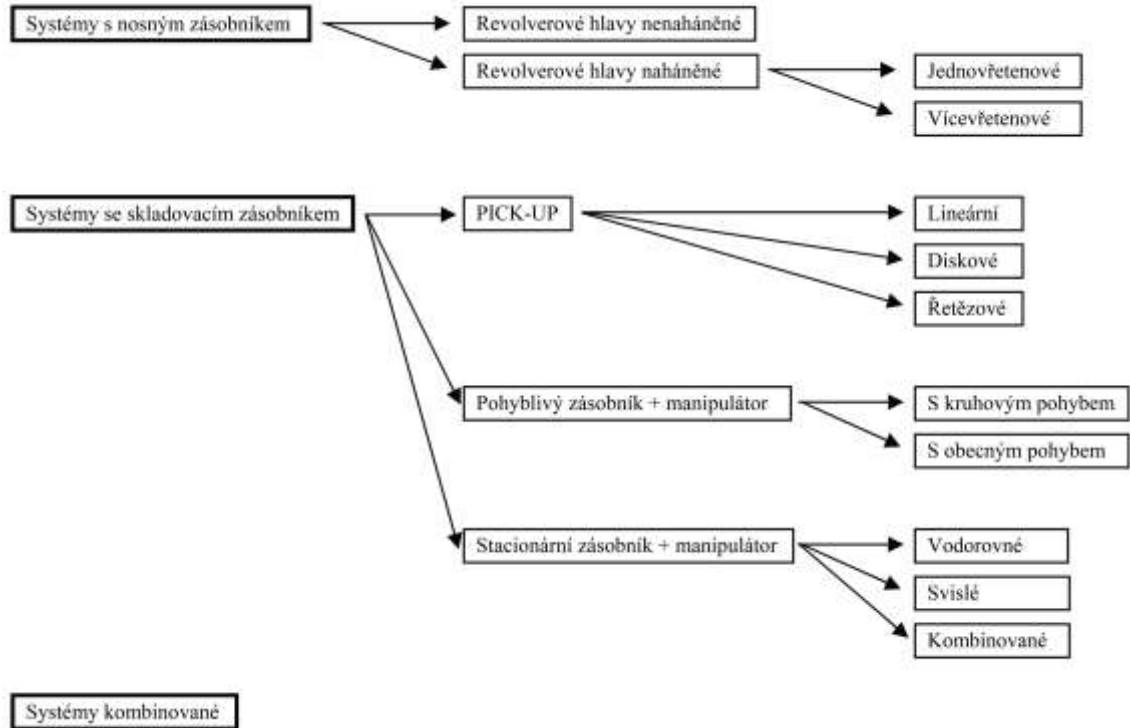
Ne všechny systémy AVN jsou použitelné pro všechny druhy výrobních strojů. Některé jsou svojí konstrukcí a principem předurčeny pro použití u určitých konkrétních typů. Například typickým představitelem nosného zásobníku je revolverová hlava, s jejímž nasazováním se setkáváme převážně u soustružnických center. Oproti tomu systémy se skladovacím zásobníkem, jako je manipulátor s řetězovým zásobníkem, je typickým zástupcem AVN u frézovacích center.

Sledováním vývoje jednotlivých typů AVN můžeme identifikovat, které se progresivně vyvíjejí a ty, jejichž progrese proběhla již dříve a nyní dochází jen k mírným zdokonalením. Například sledujeme-li vývoj AVN u soustružnických center (revolverové hlavy) pozorujeme, že jejich vývoj postupuje podstatně volnějším tempem než dříve. Je to zapříčiněno především tím, že tato zařízení dosáhla velmi vysoké technické a technologické úrovně a jejich další zdokonalení výrazně závisí na vývoji v ostatních technických oborech, a to především v oblasti nových materiálů a komponent, jež se využívají pro jejich výrobu.

Fakt, že se ustálilo používání určitých řešení pro některé typy výrobních strojů naznačuje, že tato řešení jsou jistým způsobem považována za optimální. Je to právě případ koncepce revolverové hlavy u soustružnických center. S jejich nasazením se setkáme takřka u každého soustružnického centra. Naproti tomu u frézovacích center můžeme pozorovat značnou pestrost v nasazovaných řešeních systémů AVN.

Jednotlivé typy se od sebe liší, někdy i zásadně a není výjimkou, že je pro jeden typ stroje nabízeno výrobcem několik typů AVN.

Systémy AVN můžeme dělit podle konstrukčního principu zásobníku:



Obr. 1: Rozdělení v současnosti užívaných AVN

2.2.1 Systémy s nosným zásobníkem

Jedná se o systém AVN, u něhož zásobník přenáší veškeré síly působící na nástroj během výrobního procesu i mimo něj. Tedy přenáší i všechny řezné síly působící na nástroj. Podle typu upnutého nástroje je možné rozlišovat dvě varianty, nástroje konající hlavní pohyb a nástroje konající vedlejší pohyb, tedy zda se jedná o nástroje čistě soustružnické – pevně upnuté nebo nástroje rotační (pro frézování, vrtání, atd.).



Obr. 2: Revolverová hlava firmy SAUTER

Jak již bylo uvedeno výše, systémy s nosným zásobníkem jsou v současnosti nejčastěji využívaným systémem pro skladování a výměny nástroje u soustružnických obráběcích center. Dále se pak s tímto typem můžeme setkat i u některých druhů obráběcích center profilovaných do linek a JÚS (jednouúčelových strojů).

Mezi výhody tohoto řešení patří kompaktnost a robustnost konstrukce, přesnost a velká spolehlivost. Nejvýznamnější výhodou je rychlost výměny nástrojů a následné ustavení. Jako nevýhody této koncepce je možné jmenovat: zásobník nese všechny nástroje, a tudíž musíme vynakládat více energie pro manipulaci s nimi, využití tohoto druhu AVN pro rotační nástroje je konstrukčně značně komplikované, počet nástrojů, které zásobník nese je omezený. Velký počet nástrojů pak také znamená omezení obrábění (sousední nástroje si brání ve výrobním procesu).



Obr. 3: Revolverová hlava s vícevřetenovými hlavami firmy PIBOMULTI [26]



Obr. 4: Revolverová hlava firmy OMG [27]

2.2.2 Systémy se skladovacím zásobníkem

Jak již název sám napovídá, jedná se o systémy AVN využívající zásobník pro skladování nástrojů a ve většině případů i manipulátoru pro výměnu nástroje mezi vřeteníkem a zásobníkem. Oproti výše popisovanému systému s nosným zásobníkem zde zásobník slouží pro skladování nástrojů a nepřenáší řezné síly, tedy jsou na jeho konstrukci kladeny nižší nároky.

Na základě poznatků z praxe můžeme konstatovat, že se jedná o nejčastěji využívaný systém automatické výměny nástrojů u frézovacích center. Využití tohoto systému však není omezeno pouze na frézovací centra. S tímto typem AVN se můžeme setkat i u karuselů, jednoúčelových strojů, tvářecích strojů a mnoha dalších zařízení.

Systém AVN se skladovacím zásobníkem můžeme dále dělit:

- systém PICK-UP
- systém s pohyblivým zásobníkem a manipulátorem
- systém se stacionárním zásobníkem a manipulátorem

Jedná se o tři velice odlišné druhy AVN, které jako celek pokrývají veškeré potřeby v daném segmentu, a to jak z hlediska ekonomického, tak i kapacity a rychlosti výměny.

2.2.2.1 Systémy PICK-UP

PICK-UP systém pracuje na principu, kdy zařízení nesoucí nástroje plní současně funkci zásobníku i manipulátoru. Výměna je většinou realizována kombinací pohybů PICK-UP zásobníku a vřeteníku. Při výměně dochází k odložení použitého nástroje vřeteníkem do zásobníku, následně k přestavení zásobníku a přípravě nového nástroje, které je následováno v poslední fázi vyjmutím nového nástroje vřeteníkem. Jedná se principiálně a konstrukčně o velice jednoduchý systém, který je i v současnosti hojně využíván, především u strojů, kde je důraz kladen především na minimalizaci pořizovacích nákladů.

Jako výhody bychom mohli jmenovat, že se jedná o konstrukčně a výrobně jednoduché zařízení, z čehož plyne i velice nízká cena. Bezsporu je nutno uvést i velkou spolehlivost a životnost, která vyplývá právě ze zmiňované koncepční a konstrukční jednoduchosti.

Mezi nevýhody pak patří malá kapacita PICK-UP zásobníků (existují výjimky v podobě řetězových PICK-UP zásobníků). Delší časy potřebné pro výměnu, které plynou ze samotné koncepce zařízení. Nedochozí totiž k paralelnímu procesu vyjmutí nového nástroje a vrácení starého, ale tyto operace probíhají sériově. Čas výměny není u tohoto typu AVN závislý pouze na hmotnosti nástroje, ale také na vzájemné poloze nového a starého nástroje v zásobníku. Toto s sebou přináší potřebu větší optimalizace řazení nástrojů v zásobníku tak, aby bylo dosaženo minimálních časových nároků na výměnu nástroje. Pohyb, který zásobník při výměně provádí, vykonávají současně i

všechny nástroje v zásobníku, z čehož je tedy zřejmá vyšší energetická náročnost a pro dosažení dobrých časů výměny i potřeba dostatečného dimenzování pohonů AVN.



Obr. 5: PICK-UP AVN firmy SIDEPALSA [28]

Stavba tohoto systému AVN je v převážné většině aplikací provedena tak, že je osa nástroje umístěného v zásobníku rovnoběžná s osou rotace vřetene. U takového řešení není třeba zavádět další manipulační pohyb a změnu natočení osy nástroje souhlasně s osou vřetene.

Obecně můžeme říci, že se AVN typu PICK-UP hodí na prvním místě pro stroje, které potřebují malý až střední (u řetězových PICK-UP) počet nástrojů a jejich výměnu provádějí zřídka, nebo čas výměny není zásadním parametrem. Z toho plyne, že hlavní oblastí využití tohoto typu AVN budou malá levná frézovací centra a velké frézovací stroje, u nichž se nepředpokládá častá výměna nástrojů.

2.2.3 Systémy s pohyblivým zásobníkem a manipulátorem

Tato podskupina představuje nejpestřejší a zároveň i nejrozšířenější skupinu AVN využívanou u frézovacích center, a to bez rozdílu zda se jedná o malá, střední či velká centra, nebo s horizontální či vertikální osou. Princip výměny je založen na myšlence propojení dvou zařízení, zásobníku a manipulátoru. Zásobník plní pouze funkci skladovací a při vyslání požadavku na výměnu přichystá požadovaný nástroj do předem definované polohy. Manipulátor pak zajistí samotnou výměnu mezi zásobníkem a vřetenem, které se v okamžiku výměny nachází v předem definovaném bodě výměny. Principiálně se jedná také o jednoduché řešení, které však vyžaduje poměrně sofistikované konstrukční provedení.

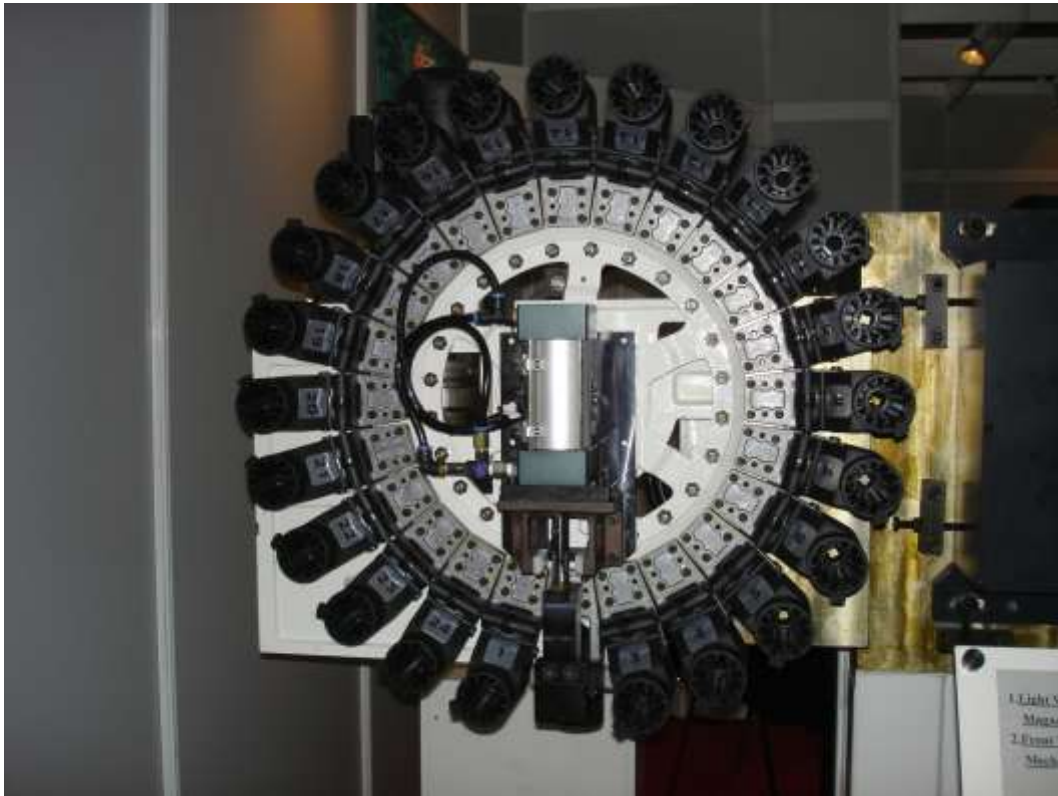
Z praktického hlediska, viz také obr. 1, můžeme systémy AVN s pohyblivým zásobníkem a manipulátorem dělit podle typu zásobníku či manipulátoru.

2.2.3.1 Typy zásobníků

Dělení dle typu zásobníku je následující:

- Zásobníky s kruhovým pohybem
- Zásobníky s obecným pohybem

Hlavními představiteli první uvedené skupiny jsou zásobníky bubnové, kotoučové, hvězdicové atd. Jejich hlavním charakteristickým prvkem jak název napovídá je fakt, že nástroje v zásobníku vykonávají pohyb po kružnici. Tento fakt, je do jisté míry limitující z hlediska možné kapacity zásobníku, a to v závislosti na rozměrech použitých nástrojů. Pro velký počet nástrojů tento typ AVN vychází nepřiměřeně velký a jeho výhody ve formě kompaktnosti se vytrácí. Optimální počet nástrojů pro tento typ AVN se v závislosti na typu a velikosti upínacího rozhraní pohybuje od 16 do 28 nástrojů.



Obr. 6: Zásobník s kruhovým pohybem firmy GIFU [13]

Typickými představiteli druhé skupiny zásobníků, kde nástroj vykonává obecný pohyb, jsou zásobníky řetězové. Jedná se o zásobníky koncepčně vycházející z první skupiny. Došlo však k transformaci pevného disku nesoucího nástroje (nástrojové buňky) do formy řetězu. Vývoj řetězových zásobníků byl iniciován především snahou docílit větší kapacity zásobníku při zachování přijatelných rozměrů.



Obr. 7: Řetězový zásobník firmy PRAGATI [29]

S řetězovými zásobníky se můžeme v současnosti setkat takřka u všech typů strojů, kde je vyžadována větší kapacita, než je možné dosáhnout u klasického zásobníku s kruhovým pohybem. Rozsah počtu nástrojů je natolik velký, že při využití meandrového vedení řetězu je možné dosáhnout i kapacity přesahující 100 nástrojů pro nástrojové rozhraní ISO 50.



Obr. 8: Řetězový zásobník s meandrem firmy AiTEK

2.2.3.2 Typy manipulátorů

Výše uvedené rozdělení bylo zaměřeno zejména na principy a parametry zásobníku nástrojů. Z koncepčního uspořádání je však patrné, že dalším členem řetězce je manipulátor. Tedy je možno provést další typ dělení, a to na základě typu užitého manipulátoru. Ten představuje nejdůležitější člen celé výměny, protože se jedná o prvek nejvíce zodpovědný za rychlost a spolehlivost celé výměny.

V principu se jedná o mechanismus v převážné míře opatřený symetrickým uchopovacím ramenem, který pomocí vhodně zvoleného sledu translačních a rotačních pohybů docílí výměny nástroje. V závislosti na typu manipulátoru je odlišný i řetězec prováděných pohybů.

Na základě typu manipulátoru můžeme provést následující rozdělení:

- Manipulátory zasekávacího typu
- Manipulátory napichovacího typu

Toto rozdělení zohledňuje, jakým pohybem manipulačního ramene dochází k uchopení nástroje. Tento pohyb je však pro celou konstrukci manipulátoru zásadní, protože ovlivňuje celé kinematické uspořádání manipulátoru.

V prvním případě se jedná o rotační pohyb ramene, při kterém dojde rotací ramene k nasunutí (zaseknutí) kleštiny ramene do drážky na nástroji viz obr.9.



Obr. 9: AVN firmy MIKSCH [11]

V druhém případě, translačním pohybem ramene nebo celého manipulátoru dojde k nasunutí (napíchnutí) nástroje do kleštin viz obr. 8.

Obě tyto varianty mají svá specifika, která ovlivňují koncepci použitého zásobníku. U manipulátoru zasekávacího typu jsou používány především zásobníky s vyklápěcím nebo vysouvacím lůžkem nesoucím nástroj. Oproti tomu napichovací způsob výměny využívá především řešení řetězcu bez vyklápění nástrojového lůžka. Tento fakt je dán hlavně skutečností, že manipulátory napichovacího typu mívají oproti manipulátorům zasekávacího typu jeden stupeň volnosti navíc. U zasekávacího typu manipulátoru tento jeden stupeň volnosti zajišťuje právě zmiňované vyklápění nebo vysouvání nástrojového lůžka.

Mezi výhody systému AVN s pohyblivým zásobníkem a manipulátorem patří v první řadě velká rychlost výměny nástroje (TOOL-TOOL) a dále též velká kapacita zásobníku, velká spolehlivost a životnost, snadná údržba, nízké provozní náklady a velká variabilita nasazení (typ stopky nástroje, poloha vřetene, atd.).

Nevýhody jsou pak konstrukční a výrobní složitost, velké rozměry (v závislosti na počtu, typu a velikosti skladovaných nástrojů), velká hmotnost (v závislosti na počtu, typu a velikosti skladovaných nástrojů). Tyto nevýhody pak ústí v nejvýznamnější nevýhodu, kterou je vysoká cena ve srovnání s AVN typu PICK-UP.

2.2.4 Systém se stacionárním zásobníkem a manipulátorem

V podstatě se jedná o vývojově nejmladší typ AVN, který vyplynul z potřeby velkokapacitních zásobníků nástrojů pro stroje v bezobslužných pracovních linkách. V principu se jedná o velký „regálový“ zásobník (s vertikálním, horizontálním, cylindrickým nebo kombinovaným uspořádáním nástrojů) a manipulátor (jeden, nebo kombinace více manipulátorů), který zajišťuje vyhledání, vyjmutí (založení) a výměnu nástroje.



Obr. 10: Robotický systém AVN firmy WALDRICH

Novým trendem, kterého si bylo možno v poslední době povšimnout, je snaha eliminovat konstrukčně složité manipulátory a nahradit je univerzálními antropomorfními roboty. Toto řešení poskytuje velkou univerzalitu, jak z hlediska možné variability zásobníku, tak i z hlediska optimalizace dráhy nástroje ve snaze zkrátit veškeré časy na minimum. Samozřejmou nevýhodou je pak pochopitelně vyšší pořizovací cena takového řešení.

Zásobník je u tohoto systému zcela pasivní a nevykonává žádné pohyby, z čehož plyne i jednoduchost jeho konstrukce. Předností tohoto systému je především velký počet nástrojů, který je možné skladovat v zásobníku. Omezení na velikosti a maximální hmotnosti jsou pouze ze strany schopností manipulátoru. Jelikož konstrukční řešení koncového stupně s ramenem bývají totožná jako u předchozího typu AVN, je další výhodou tohoto systému i rychlost výměny (TOOL – TOOL).



Obr. 11: Pohled na konkrétní řešení manipulátoru

Nevýhody tohoto systému: Složitost zařízení (především manipulátor), jak z hlediska konstrukce, výroby, tak i z hlediska samotného řízení. Velké rozměry a hmotnost. Je-li vyžadována výměna v rychlém sledu za sebou, může se doba výměny značně prodloužit, protože manipulátor musí nejprve vrátit použitý nástroj a teprve potom může vyhledat nový nástroj a přichystat ho do místa výměny. Jako další a poměrně zásadní nevýhodu můžeme uvést velké pořizovací náklady tohoto systému AVN.

2.2.5 Systémy kombinované

Jedná se o systémy kombinující mezi sebou stejné nebo rozdílné typy výměn nástrojů. Je tedy patrné, že se jedná o složitější zařízení převážně navrhované pro speciální účely. V současnosti se s nimi setkáváme jen zřídka, a to především ve formě kombinace nosného zásobníku (dvouvřetenové hlavy nebo revolverové hlavy) a skladovacího zásobníku (ve formě zásobníku s manipulátorem). Od tohoto řešení se však v dnešní době ustupuje především kvůli konstrukční složitosti a v návaznosti i kvůli vysoké ceně. Jedna z mála oblastí, kde se s tímto typem AVN můžeme setkat, jsou jednoúčelové stroje.

2.3 Automatická výměna obrobku - AVO

Tento druh automatizace reprezentuje snahu eliminovat lidský faktor z procesu výměny obrobku – polotovaru ve stroji. Hlavní cílem je zkrácení vedlejších časů potřebných pro výměnu obrobku, zvýšení nosnosti (limity člověka), spolehlivosti a bezpečnosti lidské obsluhy, která díky tomuto druhu automatizace nemusí vstupovat do pracovního prostoru stroje.

Tento druh automatizace můžeme dělit do dvou hlavních skupin:

- výměna paletizovaných obrobků
- výměna nepaletizovaných obrobků

Pod pojmem paletizovaný obrobek je zde nutno chápat obrobek upnutý na technologické paletě nikoliv však obrobek umístěný na systémové paletě. Charakter těchto dvou druhů paletizace je z pohledu procesu výměny obrobku naprosto odlišný.

Využití systémové palety je pak z hlediska samotné výměny a upnutí do stroje ekvivalentní výměně, kde nejsou obrobky paletizovány.

2.3.1 Výměna paletizovaných obrobků – technologická paleta

Jedná se o nejrozšířenější případ AVO, se kterou se můžeme v praxi setkat. Nejtypičtějšími zástupci strojů, u kterých je možno tento druh výměny spatřit, jsou frézovací centra a velké karusely. V podstatě se nejedná o přímou výměnu obrobku – polotovaru, ale jde o výměnu technologické palety, na které je daný obrobek přesně a pevně upnut. Využitím tohoto principu je dosaženo velké univerzálnosti, protože při změně výroby není zapotřebí provádět žádné úpravy na stroji (v podobě přestavování upínačů atd.), a to díky neměnnosti upínacího rozhraní palety na stroji.

Paleta je realizována většinou jako deska (plný nebo žebrovaný odlitek), která je v horní části opatřena upínacími prvky pro upnutí obrobku, nebo drážkami a otvory pro uchycení upínačů obrobku. Ve spodní části je pak opatřena upínacím rozhraním viz obr. 12 a 14. Toto rozhraní musí zajistit jak velice přesné opakovatelné upnutí, tak i dostatečnou upínací sílu a tuhost, protože paleta a upínací rozhraní přenáší veškeré síly působící na obrobek.



Obr. 12: Upínače firmy Berg Spanntechnik [21]

Konstrukčních řešení upínačů existuje velké množství. Jednotliví výrobci mají v sortimentu ucelené řady velikostí upínacích rozhraní. Vesměs se jedná o mechanické kuličkové upínače, u nichž je síla na uvolnění vazby vyvozována převážně hydraulicky nebo pneumaticky a síla upínací pružinami. Opakovatelná přesnost, kterou je možno běžně dosáhnout při upnutí, se pohybuje v řádu jednotek mikrometrů.

Velká dosahovaná opakovatelná přesnost pak napomáhá při navazování dalších technologických operací na jiných strojích. Je tedy patrné, že použitím technologické palety získáváme stroj vhodný pro zástavbu do automatických výrobních linek.



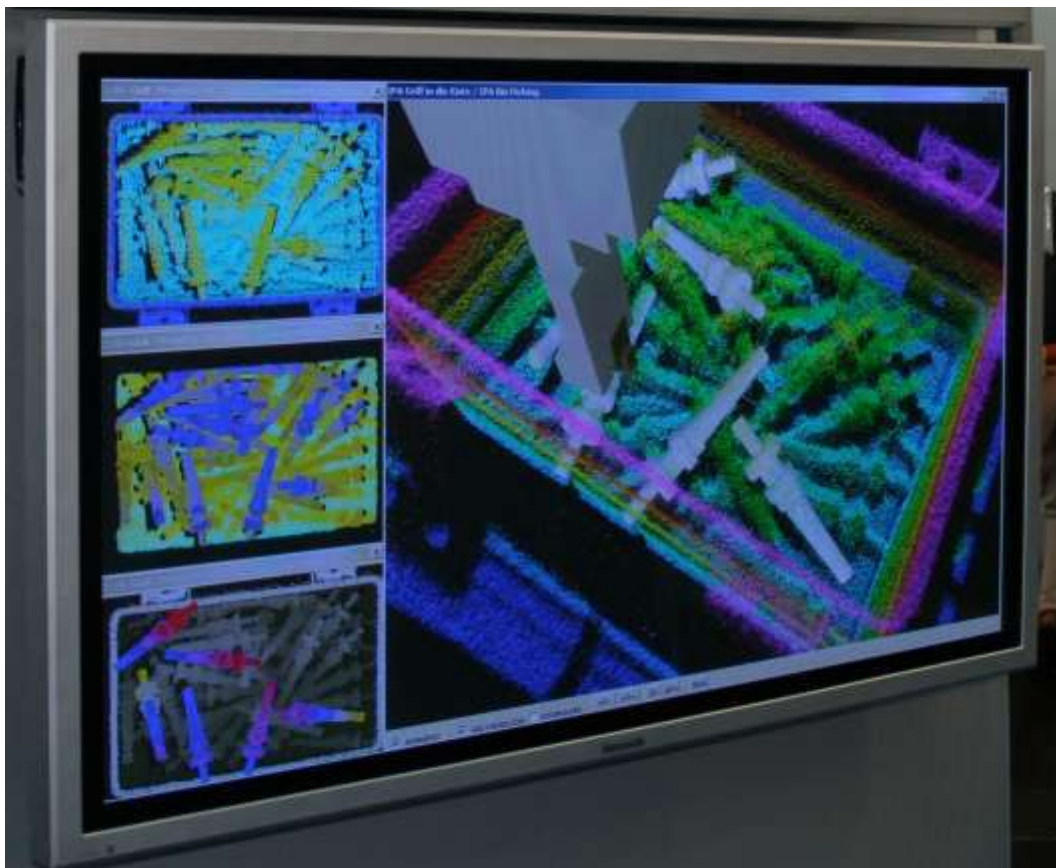
Obr. 13: Technologická paleta firmy DMG



Obr. 14: Rozhraní pro technologickou paletu

2.3.2 Výměna nepaletizovaných obrobků

Jak již název sám napovídá, jedná se o zakládání samostatných obrobků jak rotačních, tak i nerotačních. Dále můžeme tuto skupinu dělit podle toho, zda je použita systémová paleta či nikoliv, z čehož plyne orientovanost nebo neorientovanost vyměňovaného polotovaru. Tento fakt největší měrou ovlivňuje celkovou složitost manipulace s obrobkem. Paletizované obrobky mají přesně definovanou svoji polohu a orientaci v prostoru, čímž je výrazně usnadněna manipulace s těmito obrobky viz obr. 16. V návaznosti na tuto skutečnost můžeme konstatovat, že i manipulátor pro manipulaci s takto uskladněnými obrobky nemusí vykazovat tak vysoký stupeň univerzálnosti. Oproti tomu zařízení pro manipulaci s neorientovanými a většinou volně loženými obrobky jsou podstatně složitější, univerzálnější, a to z důvodu nutnosti flexibility vzhledem k poloze a orientaci obrobku. V neposlední řadě musí být též vybaveny softwarem a hardwarem pro detekci a vyhodnocení polohy neorientovaných volně ložených součástí viz obr. 15.



Obr. 15: Detekce neorientovaných součástí firmy ABB



Obr. 16: Manipulace a měření výrobků robotem KUKA



Obr. 17: Zakládání nerotačních obrobků do stroje firmy COMAU

2.3.3 Vliv AVO na ekonomičnost provozu stroje

Jak již bylo zmíněno výše, aplikací systémů AVO na výrobní stroj umožníme jeho zástavbu do výrobní linky, popřípadě buňky, a ve spojení s ostatními automatizačními prvky umožníme stroji pracovat v bezobslužném provozu. Tento fakt nemalou měrou pozitivně ovlivňuje celkovou ekonomičnost stroje.

Dalším krokem ve zvyšování efektivity provozu AVO je zvýšení celkové rychlosti samotné výměny. Oproti odpadovému hospodářství, probíhají některé fáze výměny obrobku během nevýrobních časů stroje, tedy je zde zkracování času opodstatněné. Efektivnost zvýšení rychlosti je pak přímo úměrná frekvenci výměny obrobku (čím častěji dochází k výměně, tím efektivněji se projeví zkrácení času výměny).

2.4 Hospodaření s odpady

Podíváme-li se na tuto problematiku podrobněji a uvědomíme si její komplexnost, pochopíme, že žádný moderní stroj se bez hospodaření s odpady nemůže obejít. Jak již bylo uvedeno výše, tato problematika zahrnuje veškeré nakládání s odpady všech skupenství, včetně odpadních energií. Hospodaření s odpady musí být tedy chápáno v širších souvislostech, a to nejen v souvislostech novodobých trendů zaměřených na ekologičnost provozu stroje, ale také se musí přizpůsobovat vývoji nových technologií, jako jsou například HSC obrábění, obrábění na sucho a moderní materiály polotovarů (obrábění kalených materiálů, slitin titanu atd.).

Asi nejtypičtějším zástupcem této oblasti je třískové a tekutinové hospodářství, přičemž opět v moderním pojetí musí postihovat nakládání s třískami komplexně. Tady se již nejedná o obyčejný dopravník, který odvádí mokré třísky přímo do kontejneru bez ohledu na ztrátu řezné kapaliny a znečištění odpadu. V současnosti jsou tyto systémy navrhovány jako ucelené systémy, které postihují veškeré potřeby a nároky kladené na tento druh hospodaření s odpady.



Obr. 18: Pásový dopravník pro odvod třísek firmy DMG



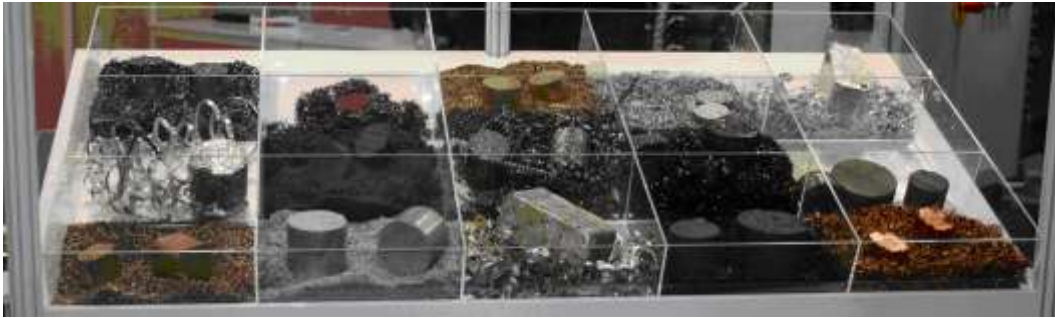
Obr. 19: Drtič třísek firmy Stansz [19]

Systém, aby splňoval kritéria komplexnosti, musí obsahovat nejen zmiňovaný dopravník viz obr. 18 Obr. 18 a možnost odvozu třísek, ale musí obsahovat i prvky pro odlučování řezné kapaliny od třísek a filtraci řezné kapaliny, která odstraní i ty nejjemnější částičky, které by mohly negativním způsobem ovlivnit její opětovné použití.

Dalšími prvky třískového hospodářství, které již nebývají určeny přímo pro jeden stroj, ale pro větší skupinu strojů, jsou drtiče třísek viz obr. 19. Slouží pro dělení delších třísek za účelem zmenšení součinitele plnění, tak aby bylo možné přepravovat větší objem třísek než v původním stavu.

Nejnovějšími prvky, které do této skupiny můžeme zařadit, jsou briketovací lisy. Stejně jako drtiče slouží ke snížení součinitele plnění. U briketovacích lisů je však snížení součinitele plnění výrazně větší než u drtičů třísek viz obr. 20. Další nezanedbatelnou výhodou briketovacích lisů je fakt, že odpad již není v sytké formě, ale v podobě kompaktních briket, které jsou pro přepravu, manipulaci a zpracování podstatně výhodnější.

Z pohledu automatizace výroby je však nutné zdůraznit, že celý systém hospodaření s odpady je v činnosti souběžně s výrobním procesem stroje, a tudíž pokud je stroj tímto systémem vybaven, není možné zrychlováním jednotlivých procesů tohoto systému změnit celkový výrobní čas. Výrazného zlepšení je možné dosáhnout tedy pouze u strojů, u nichž nebylo tohoto systému využito a jeho využití se plánuje.



Obr. 20: Brikety vzniklé lisováním různých druhů materiálů, velikosti a tvaru třísek firmy RUF [20]

Největším přínosem je pak eliminace nutnosti pravidelného čištění stroje obsluhou, čímž je dosaženo výrazně vyšší bezpečnosti a efektivity práce. Dále je pak docíleno větší životnosti chladicí kapaliny a hospodárnějšího nakládání s odpady, což je v dobré shodě s moderními trendy snažícími se o efektivnost a ekologičnost provozu výrobních strojů a zařízení.

2.5 Automatická výměna vřetenových hlav

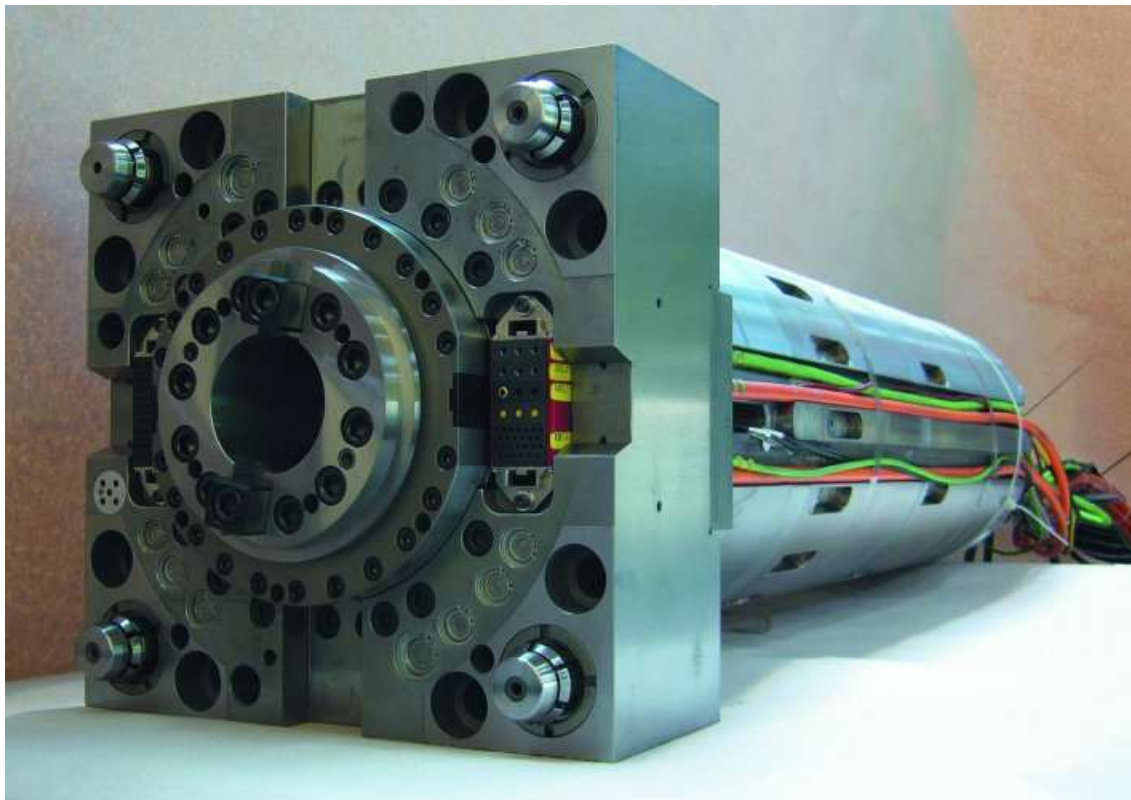
Automatizace výměny vřetenových hlav představuje v současnosti jednu z možných cest vedoucích ke zkrácení nevýrobních časů stroje. Tento typ automatizace představuje specifickou oblast týkající se především frézovacích obráběcích center. Pod pojmem automatická výměna vřetenových hlav je možno tedy rozumět takové konstrukční řešení hlavy umožňující realizovat její výměnu bez potřeby zásahu lidské obsluhy. Tato výměna může být realizována buď přímo strojem, speciálním jednoúčelovým manipulátorem nebo za pomoci univerzálního robotu.

Zařazením automatické výměny vřetenových hlav je docíleno nejen zvýšení univerzálnosti stroje, tedy multifunkčnosti, ale i výrazného zkrácení nevýrobních časů stroje, eliminace možné chyby lidské obsluhy a v neposlední řadě i zvýšení bezpečnosti obsluhy, která nemusí vstupovat do pracovního prostoru stroje. Stroji je ve spojení se zbývajícími automatizačními prvky umožněno pracovat v bezobslužném pracovním cyklu.

Hlavy a jejich užívání u frézovacích center umožňují provádět nové technologické operace, které dříve mohli vykonávat pouze specializované stroje, nebo pro jejich realizaci bylo třeba dalších přídavných zařízení. S rozvojem elektropohonů (elektrovřeten, momentových motorů, atd.) je strojům umožněno pomocí výměnných hlav dosáhnout i plynulého 5ti osého obrábění (někdy 6ti osého). Integraci elektrovřeten je možno docílit podstatně vyšších otáček a výkonů na vřetenu, která jsou v současnosti hojně užívána při výrobě forem nebo lopatek oběžných kol, turbín, kompresorů, atd.

Z hlediska praktické realizace automatické výměny hlav je nutno podotknout, že výměnné hlavy představují vysoce sofistikované technické zařízení, které musí splňovat mnoho požadavků a funkcí. Pro realizaci musí být vybaveny nejen polohovacím a

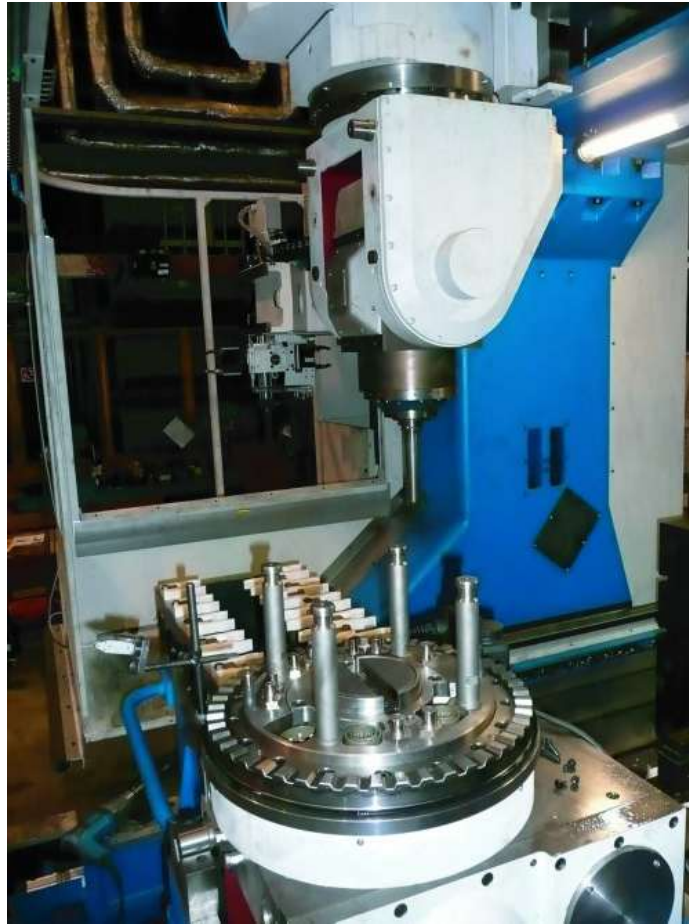
zpevňovacím mechanismem, ale i prvky pro připojení elektrických, pneumatických a hydraulických rozvodů, které jsou pro funkci moderních hlav nezbytné.



Obr. 21: Příruba vřetene umožňující automatické upínání nástrojů i hlav firmy ČKD Blansko Holding [31]

Mezi standardně nabízené vřetenové hlavy je možno v současnosti zařadit:

- přímé hlavy
- úhlové hlavy
- univerzální hlavy
- dvouosé vidlicové hlavy
- dvouosé vidlicové hlavy s elektrovřetenem



Obr. 22: Výměna vřetenových hlav a nástrojů na obráběcích centrech firmy TOS Kuřim [30]

Nedílnou součástí automatické výměny hlav jsou i buňky / lůžka pro skladování hlav, které nejsou strojem právě využívány. Výměnu hlav můžeme přirovnat k tzv. PICK-UP výměně nástrojů, kde hlavní pohyby výměny provádí vřeteník. Není tedy užíváno speciálních jednoúčelových manipulátorů, které by značným způsobem prodražovaly stroj a jejich nasazení by z hlediska přínosů nebylo rentabilní. Toto je zapříčiněno především požadavky na přesnost provedení této operace, která ve spojení s poměrně vysokou hmotností a nízkou četností výměny hlav nepřipouští realizaci výměny jinak než za pomoci vřeteníku.



Obr. 23: Buňky pro uložení vřetenových hlav firmy TOS Kuřim [17]

3 CÍL A METODIKA DOKTORSKÉ DISERTAČNÍ PRÁCE

3.1 Motivace práce

Z výše uvedené stručné rešerše problematiky automatizace obráběcích center je patné, že klíčovou roli v minimalizaci vedlejších časů a tím i nevýrobních nákladů hraje především automatická výměna nástrojů. Tento automatizační prvek představuje rovněž nemalou položku v celkových pořizovacích nákladech na stroj. Je tedy žádoucí této problematice věnovat dostatečnou pozornost a řešit jak zvyšující se nároky na rychlost výměny, tak i nároky na snižování pořizovacích nákladů AVN. Klíčovým prvkem, který nejzásadnějším způsobem ovlivňuje jak parametry AVN, tak i cenu, je manipulátor, a právě proto je cílem této práce řešení problematiky tohoto klíčového uzlu AVN.

3.2 Cíl práce

Stěžejním cílem disertační práce je vytvoření nové modulární koncepce manipulátoru automatické výměny nástrojů za pomoci moderních vědeckých metod. Tento manipulátor by měl svými parametry dosahovat minimálně srovnatelných parametrů současných řešení (založených převážně na mechanismu užívajících kombinaci globoidní a radiální vačky). Tyto parametry budou ověřeny pomocí simulačních modelů a předpokládá se i experimentální ověření některých dílčích výsledků.

Snahou této práce je však vytvořit takovou koncepci zařízení, která by zajišťovala její technologickou dostupnost pro běžné firmy, tedy není nutno speciálních výrobních technologií pro výrobu komponent, jako je např. globoidní vačka. Snahou řešení je navrhnout konstrukčně jednoduchý a funkčně spolehlivý mechanismus, který bude z ekonomického hlediska dostupný, a tím docílit eliminace závislosti na tradičních výrobcích AVN (např. Miksch, GIFU, atd.)

3.3 Metody zpracování

Řešení spočívá v aplikaci následujících metod:

- systemová analýza spočívající v důkladné rešerši a vyhotovení základní báze současných typů a systémů AVN s navazující systemovou analýzou AVN zohledňující:
 - typ stroje
 - typ nástrojového rozhraní
 - koncepci AVN
 - kinematické uspořádání manipulátoru

- syntéza analyzovaných poznatků vedoucí k vytvoření koncepce manipulátoru automatické výměny nástrojů, sestavení 3D modelu a k vytvoření simulačních modelů vybraných typů manipulátorů. Vybrané simulační modely budou dále experimentálně verifikovány s využitím moderních měřících metod.

4 SOUČASNÁ ŘEŠENÍ AUTOMATICKÉ VÝMĚNY NÁSTROJŮ

4.1 Přehled současné produkce frézovacích center

Jak již bylo zmíněno výše, cílovou oblastí pro AVN, kterými se tato práce zabývá, jsou obecně stroje z kategorie frézovacích center. Pro snazší identifikaci skupin strojů stejných nebo podobných vlastností je třeba si zavést třídění, které je možné provést a to podle několika základních kritérií:

Podle velikosti (zahrnuje komplexní charakteristiky stroje jako je výkon vřetene, velikost pracovního prostoru, velikost nástrojového rozhraní atd.):

- malá
- střední
- velká

Podle polohy vřetene:

- horizontální
- vertikální

Dále je možné provést rozdělení frézovacích center na základě konstrukčního uspořádání, typu nástrojového systému, počtu os, typu řízení, typu odměřování, typu pohonů os a vřetene atd. Z hlediska identifikace markantů (z pohledu AVN) jednotlivých skupin strojů je však postačující třídění podle velikosti (malé, střední a velké) a orientace vřeteníku. Charakteristiky strojů zapadající do těchto jednotlivých skupin totiž předurčují nejen oblast využití daného typu stroje, ale rovněž i požadavky na AVN.

4.1.1 Současná produkce frézovacích center

Již z letmého pohledu do katalogu několika největších výrobců této skupiny CNC strojů jako je například DMG, Mazak, Mori Seiki, Okuma, atd. je patrné, že se tito stejně jako ostatní výrobci snaží, nabídnou co možná nejúplnější sortiment strojů pokrývající celé spektrum požadavků zákazníků. V nabídce můžeme najít jak stroje „levné“, využívající ve své konstrukci standardních technologií, tak i stroje s nejprogresivnějšími technologiemi, jako jsou například kompozitní materiály vřeten nebo loží, lineární pohony os, pokročilé technologie diagnostiky (teplotní deformace, deformace od vlastní tíhy nebo zatížení řeznou silou) atd. V závislosti na segmentu trhu, pro který je daný stroj určen, jsou tyto stroje vybavovány ekvivalentním typem AVN. Pro „levné“ stroje nebo pro stroje s menšími požadavky na četnost nebo rychlost výměny jsou vybavovány PICK-UP zásobníky. Naproti tomu pro vysoce výkonná centra s požadavkem na velkou produktivitu a minimalizaci vedlejších časů jsou užívány velmi rychlé manipulátory zajišťující výměnu nástroje v řádu sekund a zásobníky s počtem většími než 16 nástrojů (pro regálové i několik set kusů nástrojů). Je tedy zřejmé, že

v tomto směru existuje velké spektrum strojů různých výrobců poskytující dostatečný podklad pro analýzu.

V rámci této práce byla provedena poměrně rozsáhlá rešerše, a to jak výrobců strojů, tak i výrobců AVN. Vzhledem k tomu, že existuje velké množství výrobců a v této souvislosti bylo shromážděno poměrně značné množství dat, byl proveden výběr reprezentující dané skupiny.

Z hlediska rozdělení strojů do jednotlivých skupin je nutno zdůraznit, že zařazení konkrétních stroje do příslušných kategorií je provedeno na základě komplexního zhodnocení parametrů stroje. Definovat přesné hranice, kdy má být stroj zařazen do příslušné kategorie, je však velice obtížné.

4.1.1.1 Malá frézovací centra

Jedná se o skupinu strojů, určenou k obrábění obrobků menších rozměrů a hmotností. Tomu odpovídá i velikost pracovního prostoru, instalovaný výkon včetně a celkové proporce stroje. V převážné většině případů se jedná o zástavbově menší stroje kompaktní konstrukce umožňující díky menší hmotnosti pohybujících se komponentů dosáhnout vyšších pracovních rychlostí a zrychlení v jednotlivých osách.


4.1.1.1.1 Horizontální

	<p>Výrobce/označ.: DMG / DMC 55H duoBlock Výkon včetně/prac. prostor: 20kW/0,2m³ Počet os: 3 Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: SK40 (HSK-A63*) Počet / max. hmot. nástroje: 40-120 / 12 kg Čas výměny nástroje: 0,9s Max. průměr nástroje (plné osaz.): Ø 80 mm Max. délka nástroje: 450 mm</p>
	<p>Výrobce/označ.: Mazak / Triple FF-510 Výkon včetně /prac. prostor: 15kW/0,13m³ Počet os: 3 Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: SK40 Počet / max. hmot. nástroje: 16-24 / 6 kg Čas výměny nástroje: 2,8s (z řezu do řezu) Max. průměr nástroje (plné osaz.): Ø 115 mm Max. délka nástroje: 300 mm</p>

	<p>Výrobce/označ.: Mazak / Nexus 4000 II Výkon vřetene/prac. prostor: 26kW/0,22m³ Počet os: 3 Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: CAT 40 Počet / max. hmot. nástroje: 40-330 / 12 kg Čas výměny nástroje: 3s Max. průměr nástroje (plné osaz.): Ø 95 mm Max. délka nástroje: 425 mm</p>
	<p>Výrobce/označ.: Mori Seiki / NHX 4000 Výkon vřetene/prac. prostor: 26kW/0,2m³ Počet os: 3 Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: BT 40 Počet / max. hmot. nástroje: 40-60 / ? kg</p>

Tabulka 1: Malá horizont. frézovací centra [12], [14], [32]

4.1.1.1.2 Vertikální

	<p>Výrobce/označ. stroje: DMG / DMU 50 eco Výkon vřetene/prac. prostor: 13kW/0,09m³ Počet os: 5 Typ AVN: PICK-UP Rozhraní: SK40 Počet / max. hmot. nástroje: 16 / 6 kg Čas výměny nástroje: ? Max. průměr nástroje (plné osaz.): Ø 80 mm Max. délka nástroje: 300 mm</p>
---	---

	<p>Výrobce/označ. stroje: DMG / DMC 635V eco Výkon vřetene/prac. prostor: 13kW/0,15m³ Počet os: 3 Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: SK 40 / CAT 40 / BT 40 Počet / max. hmot. nástroje: 20 / ? kg Čas výměny nástroje: 1,6s Max. průměr nástroje (plné osaz.): Ø 80 mm Max. délka nástroje: 300 mm</p>
	<p>Výrobce/označ.: DMG / DMU 60 eVo linear Výkon vřetene/prac. prostor: 19kW/0,15m³ Počet os: 5 Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: SK 40 / BT 40 / HSK 63 Počet / max. hmot. nástroje: 30-120 / ? kg</p>
	<p>Výrobce/označ.: Mazak / FJV 200 II Výkon vřetene/prac. prostor: 15kW/0,1m³ Počet os: 3 Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: CAT40 (ISO40) Počet / max. hmot. nástroje: 30-60 / 8 kg Čas výměny nástroje: 3,4s Max. průměr nástroje (plné osaz.): Ø 80 mm Max. délka nástroje: 300 mm</p>

	<p>Výrobce/označ.: Mazak / Hyper VARIAXIS 630 Výkon vřetene/prac. prostor: 36kW/0,42m³ Počet os: 3 Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: CAT40 (ISO40) Počet / max. hmot. nástroje: 30-120 / 8 kg Čas výměny nástroje: 3,6s Max. průměr nástroje (plné osaz.): Ø 80 mm Max. délka nástroje: 360 mm</p>
	<p>Výrobce/označ.: Mori Seiki / DuraVertical 5060 Výkon vřetene/prac. prostor: 15kW/0,16m³ Počet os: 3 Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: BT40 (CAT40) Počet / max. hmot. nástroje: 30 / ? kg+ Max. průměr nástroje (plné osaz.): Ø 125 mm Max. délka nástroje: 300 mm</p>
	<p>Výrobce/označ.: Mori Seiki / DuraVertical 635 eco Výkon vřetene/prac. prostor: 15kW/0,15m³ Počet os: 3 Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: BT40 (CAT40) Počet / max. hmot. nástroje: 20 / ? kg+ Čas výměny nástroje: 5s (z řezu do řezu)</p>

	Výrobce/označ.: Okuma / GENOS M460-VE Výkon vřetene/prac. prostor: 18,5kW/0,16m ³ Počet os: 3 Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: CAT40 Big Plus Počet / max. hmot. nástroje: 32 / 8 kg Čas výměny nástroje: 1,2s Max. průměr nástroje (plné osaz.): Ø 90 mm Max. délka nástroje: 300 mm
---	---

Tabulka 2: Malá vertikální frézovací centra [12], [14], [15], [32]

Stroje této kategorie se standardně dodávají převážně s menším nástrojovým rozhraním (ISO40, BT 40, CAT 40, HSK 63 atd.). Z hlediska potřeb jsou v této kategorii užívány i méně hmotné nástroje většinou do 8kg (rozměry Ø 80 mm, délka 300mm). Počet nástrojů ve standardně dodávaném zásobníku se převážně pohybuje mezi 16 a 32 nástroj. Hlavními představiteli AVN této kategorie jsou PICK-UP, nebo bubnový zásobník s vačkovým manipulátorem. Časy výměny se pohybují v závislosti na řešení a to cca okolo 1s pro zásobník s manipulátorem a okolo 3s pro PICK-UP.

4.1.1.2 Středně velká frézovací centra

Tato skupina strojů, je převážně určena k obrábění obrobků větších rozměrů a hmotností než u předchozí kategorie. Tomu odpovídá i velikost pracovního prostoru, instalovaný výkon vřetene a celkové proporce stroje. Typickým obrobkem pro stroje této velikostní kategorie je blok motor. Jedná se o poměrně složitou součást větších rozměrů, na níž je třeba provést velké množství technologických operací. Tomu odpovídá i vybavenost stroje

4.1.1.2.1 Horizontální

	Výrobce/označ.: DMG / DMC 100H duoBlock Výkon vřetene/prac. prostor: 52kW/1m ³ Počet os: 3 Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: SK50 (HSK-A100) Počet / max. hmot. nástroje: 60-120 / 30 kg Čas výměny nástroje: 3,9s (z řezu do řezu) Max. průměr nástroje (plné osaz.): Ø 110 mm Max. délka nástroje: 650 mm
---	--

	<p>Výrobce/označ.: Mazak / ANGULAX 900 Výkon vřetene /prac. prostor: 30kW/0,33m³ Počet os: 5 Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: MAS BT40, CAT 40 (DIN 40) Počet / max. hmot.nástroje: 30 / ? kg</p>
	<p>Výrobce/označ.: Mazak / Nexus 6800 II Výkon vřetene/prac. prostor: 30kW/0,92m³ Počet os: 3 Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: CAT 50 Počet / max. hmot. nástroje: 43-330 / 30 kg Čas výměny nástroje: 4,4s Max. průměr nástroje (plné osaz.): Ø 125 mm Max. délka nástroje: 630 mm</p>
	<p>Výrobce/označ.: Mori Seiki / NMH6300 DCG Výkon vřetene/prac. prostor: 30kW/2m³ Počet os: 5 Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: BT50(DIN50 / CAT50 / HSK-A100) Počet / max. hmot. nástroje: 60-330 / ? kg</p>
	<p>Výrobce/označ.: Okuma / MA-800H Výkon vřetene/prac. prostor: 22kW/2,1m³ Počet os: 3 Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: BT50 (HSK-A100) Počet / max. hmot. nástroje: 40-400 / 25 kg Čas výměny nástroje: 2,5s Max. průměr nástroje (plné osaz.): Ø 140 mm Max. délka nástroje: 600 mm</p>

Tabulka 3: Střední horizont. frézovací centra [12], [14], [15], [32]

4.1.1.2.2 Vertikální

	<p>Výrobce/označ. stroje: DMG / DMF 180 linear Výkon vřetene/prac. prostor: 24kW/0,9m³ Počet os: 5 Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: SK 50 (HSK 100) Počet / max. hmot. nástroje: 30-120 / 6 kg Čas výměny nástroje: 8s (z řezu do řezu) Max. průměr nástroje (plné osaz.): Ø 80 mm Max. délka nástroje: 300 mm</p>
	<p>Výrobce/označ.: DMG /DMU 80 monoBlosk Výkon vřetene/prac. prostor: 15-35kW/0,4m³ Počet os: 5 Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: SK 40 (BT, CAT, HSK) Počet / max. hmot. nástroje: 60 / ? kg Čas výměny nástroje: 10s (z řezu do řezu) Max. průměr nástroje (plné osaz.): Ø 80 mm Max. délka nástroje: 300 mm</p>
	<p>Výrobce/označ.: Mazak / VTC800-20SR Výkon vřetene/prac. prostor: 15kW/1,15m³ Počet os: 5 Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní:ISO 40 Počet / max. hmot. nástroje: 30-48 / 8 kg Čas výměny nástroje: 4,7s Max. průměr nástroje (plné osaz.): Ø 80 mm Max. délka nástroje: 350 mm</p>
	<p>Výrobce/označ.: Okuma / MA 650V Výkon vřetene/prac. prostor: 18,5kW/0,62m³ Počet os: 3 Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: HSK63 Počet / max. hmot. nástroje: 32-48/ 10 kg Čas výměny nástroje: 2,4s Max. průměr nástroje (plné osaz.): Ø 100 mm Max. délka nástroje: 300 mm</p>

Tabulka 4: Střední vertikál. frézovací centra [12], [14], [15]

Stroje této kategorie se standardně dodávají s nástrojovým rozhraním jak menších rozměrů (ISO40, BT 40, HSK 63 atd.), tak i větších rozměrů (ISO 50, BT 50, HSK 100), a to v závislosti na velikosti stroje a typu jeho určení. Z hlediska potřeb jsou v této kategorii užívány i těžší nástroje většinou do 15kg, ale můžeme se setkat i s nástroji o hmotnostech 25 nebo 30kg. Počet nástrojů ve standardně dodávaném zásobníku se převážně pohybuje mezi 30 a 60 nástroji. Hlavními představiteli AVN této kategorie jsou bubnové zásobníky s vačkovým manipulátorem pro menší počty nástrojů a řetězové zásobník s vačkovým manipulátorem pro větší počty nástrojů. Dále je většinou možné stroj dovybavit o AVN s regálovým zásobníkem s možností skladování i několika set kusů nástrojů. Čas výměny se pohybuje v závislosti na řešení v rozmezí 2,5 – 8s.

4.1.1.3 Velká frézovací centra

Tato kategorie zahrnuje stroje největších rozměrů a výkonu. Pracovní prostor těchto strojů se pohybuje od jednotek až po stovky metrů krychlových. Stroje této kategorie jsou určeny pro obrábění největších součástí a v souvislosti s tím i na obrábění s velkým úběrem materiálu. Opracování těchto velkých komponent je časově náročné, a proto není kladen zas tak velký důraz na rychlost výměny nástrojů a další vedlejší časy. Také není neobvyklé, že tyto stroje bývají často osazovány pouze zásobníky typu PICK-UP. Dalším typickým znakem této skupiny je možnost užití výměnných hlav, které mohou nezanedbatelnou měrou zvýšit užitnou hodnotu stroje.



4.1.1.3.1 Horizontální


	<p>Výrobce/označ.: Mazak / Nexus 10800 II Výkon vřetene/prac. prostor: 37kW/3,6m³ Počet os: 3 Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: CAT 50 Počet / max. hmot. nástroje: 80-330 / 30 kg Čas výměny nástroje: 6s Max. průměr nástroje (plné osaz.): Ø 250 mm Max. délka nástroje: 630 mm</p>
	<p>Výrobce/označ.: TOS Kuřim / FUE (Q) 125 Výkon vřetene/prac. prostor: 28kW/5-63m³ Počet os: 5 Typ AVN: zásobník s manipulátorem, PICK-UP Rozhraní: ISO 50 Počet / max. hmot. nástroje: 40-120 / 25 kg Čas výměny nástroje: cca 8s Max. průměr nástroje (plné osaz.): Ø 130 mm Max. délka nástroje: 400 mm</p>

	<p>Výrobce/označ.: TOS Varnsdorf / WHN 130 Výkon vřetene/prac. prostor: 37kW/2,8-20m³ Počet os: 3 (s hlavou 5) Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: ISO 50, BT, CAT Počet / max. hmot. nástroje: 40-120 / 25 kg Čas výměny nástroje: cca 20s (celý cyklus) Max. průměr nástroje (plné osaz.): Ø 125 mm Max. délka nástroje: 500 mm</p>
	<p>Výrobce/označ.: TOS Varnsdorf / WRD 150 Výkon vřetene/prac. prostor: 51kW/10-125m³ Počet os: 3 (s hlavou 5) Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: ISO 50, BT, CAT Počet / max. hmot. nástroje: 40-120 / 25 kg Čas výměny nástroje: cca 20s (celý cyklus) Max. průměr nástroje (plné osaz.): Ø 125 mm Max. délka nástroje: 500 mm</p>

Tabulka 5: Velká horizont. frézovací centra [14], [17], [58]

4.1.1.3.2 Vertikální

	<p>Výrobce/označ. stroje: DMG / DMU 600P Výkon vřetene/prac. prostor: 13kW/31,5m³ Počet os: 5 Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: SK 50 Počet / max. hmo.t nástroje: 20 / ? kg Čas výměny nástroje: 1,6s Max. průměr nástroje (plné osaz.): Ø 80 mm Max. délka nástroje: 300 mm</p>
	<p>Výrobce/označ.: DMG / DMU 340P Výkon vřetene/prac. prostor: 44kW/15,2m³ Počet os: 5 Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: SK 50 Počet / max. hmot. nástroje: 60-240 / ? kg Čas výměny nástroje: 1,6s Max. průměr nástroje (plné osaz.): Ø 80 mm Max. délka nástroje: 300 mm</p>

	<p>Výrobce/označ.: Mazak / FJV 35/60 II Výkon vřetene/prac. prostor: 22kW/3,6m³ Počet os: 3 Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: CAT 50 Počet / max. hmot. nástroje: 30-60 / 20 kg Čas výměny nástroje: 5s Max. průměr nástroje (plné osaz.): Ø 125 mm Max. délka nástroje: 380 mm</p>
	<p>Výrobce/označ.: TOS Kuřim / WRD 150 Výkon vřetene/prac. prostor: 45kW/19-148m³ Počet os: 3 (s hlavou 5) Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: ISO 50, BT, CAT Počet / max. hmot. nástroje: 40-120 / 25 kg Čas výměny nástroje: cca 20s (celý cyklus) Max. průměr nástroje (plné osaz.): Ø 125 mm Max. délka nástroje: 500 mm</p>

Tabulka 6: Velká vertikální frézovací centra [12], [14], [17]

Stroje této kategorie se standardně dodávají s nástrojovým rozhraním jak velkých rozměrů (ISO 50, BT 50, HSK 100 a větší), a to v závislosti na velikosti stroje a typu jeho určení. Hmotnost nástrojů se pohybuje okolo 25-30kg, ale neřídka se setkáváme i s nástroji těžšími. Počet nástrojů ve standardně dodávaném zásobníku se převážně pohybuje mezi 30 a 60 nástroji. Hlavními představiteli AVN této kategorie jsou PICK-UP zásobníky, nebo řetězové zásobníky s manipulátorem. Převážně u horizontálních strojů se můžeme setkat s koncepcí tzv. „zároháku“. Jedná se o koncepci, kde se manipulátor pohybuje po zalomené dráze, čímž je docíleno efektivnějšího využití prostor umístěním zásobníku nástrojů v zadní části stroje. Tyto manipulátory bývají většinou elektro-hydraulické, tomu odpovídá i čas výměny, který se pohybuje okolo 10s, celý cyklus pak okolo 20s.

4.1.1.4 Velkokapacitní AVN

Výše popsané příklady nasazení AVN u frézovacích center z hlediska typu popisovala standardně dodávaná řešení. Maximální počet nástrojů pak většinou již odpovídá jinému typu AVN než je uveden. V převážné většině případů se jedná o velkokapacitní AVN se řetězovým zásobníkem nebo u většiny popisovaných strojů pak regálový zásobník s manipulátorem. Velkokapacitní zásobníky především regálového

typu představují složitá zařízení a ve spojení velkým počtem nástrojů pro jejich osazení, je nutno počítat s vysokými pořizovacími náklady, jež nejsou ve srovnání s cenou stroje již zanedbatelná. To je rovněž důvod, proč jejich rozšíření v běžné průmyslové praxi není nikterak velké.

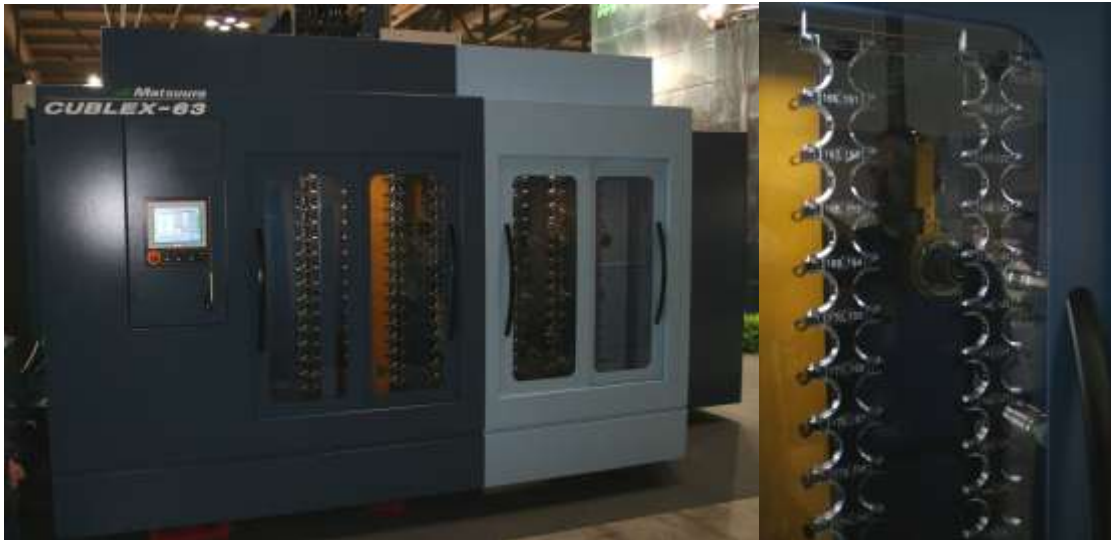


Obr. 24: Regálová AVN s plošně horizontálním rozmístěním nástrojů a vertikální orientací osy firmy Hüller

Na obr. 24 je rovněž patrná dvojice manipulátorů, z nichž jeden vychystává nástroje ze zásobníku a druhý provádí výměnu mezi tímto manipulátorem a vřetenem. Zajímavostí této koncepce je ukládání nástrojů ve vertikální poloze, zatímco orientace vřetene je horizontální.



Obr. 25: Regálová AVN s plošně vertikálním rozmístěním nástrojů a horizontální orientací osy firmy Guhring



Obr. 26: Kompaktní regálová AVN s plošně vertikálním rozmístěním nástrojů a horizontální orientací osy firmy Matsura



Obr. 27: Regálová AVN s plošně vertikálním rozmístěním nástrojů firmy TOSHULIN sloužící jak pro výměnu nástrojů, tak i hlav



Obr. 28: Regálová AVN s plošně vertikálním rozmístěním nástrojů ve dvou rovinách firmy Mandellui



Obr. 29: Regálová AVN s plošně vertikálním rozmístěním nástrojů ve dvou rovinách firmy Mori Seiki s netradiční orientací stopkou dolů



Obr. 30: Modulární regálová AVN s plošně horizontálním rozmístěním nástrojů s vertikální osou firmy MAG



Obr. 31: Modulární regálová AVN s prostorovým rozmístěním nástrojů s vertikální osou firmy Burkhardt & Weber

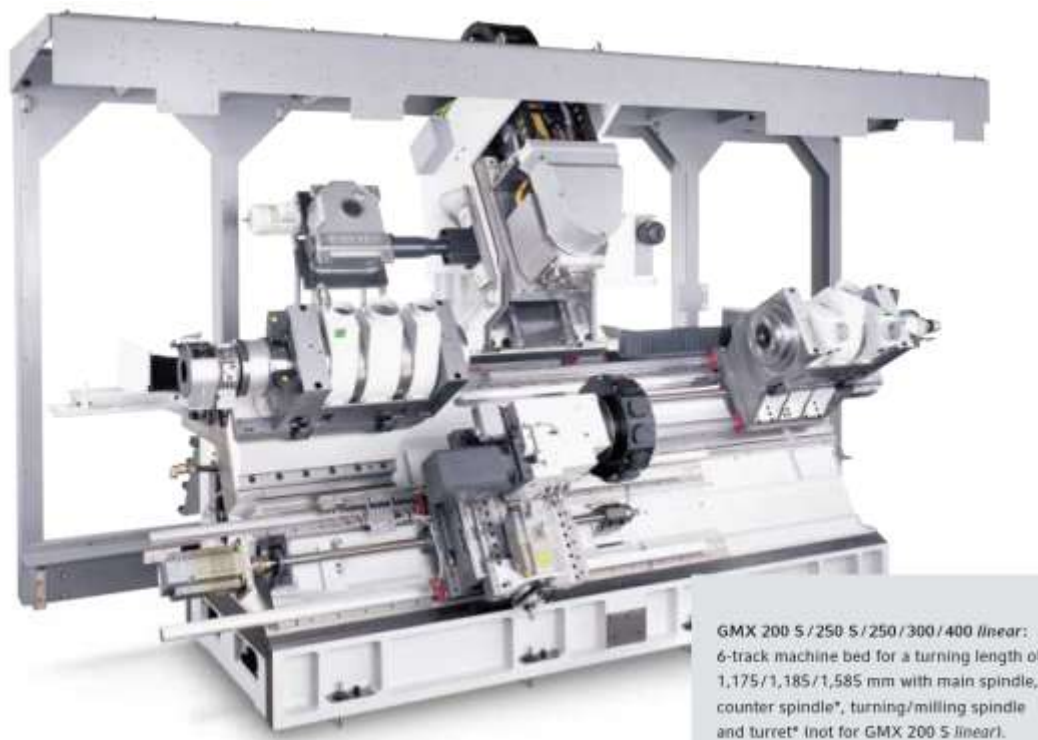
Řešení firmy Burkhardt & Weber představuje jedno z nejkomplexnějších, ale zároveň technicky nejsložitějších řešení. Nástroje jsou rozmístěny v několika sloupcích a zároveň paralelních rovinách, čímž je dosaženo velké kapacity zásobníku při zachování celkově malých rozměrů. Nevýhodou je pak potřeba více osého manipulátoru.

Z výše uvedených příkladů je rovněž patrné, že největšími producenty velkokapacitních typů AVN (zejména regálového) jsou především sami výrobci obráběcích strojů. Jak již bylo uvedeno, jedná se o velmi málo rozšířený typ, který se zatím neprosadil do masové produkce. Vyšší pořizovací náklady spojené především s velkým počtem nástrojů jsou patrné zejména u novějších typů upínacích rozhraní jako je např. CAPTO, kde jejich vyšší pořizovací cenou přímo nutí užívat tento typ velkokapacitních AVN jen v opodstatněných případech. Lze však předpokládat, že zvyšující se poptávka po moderních stojích s velkou univerzalitou a flexibilitou, kde je předpokladem i velký sortiment osazených nástrojů, zajistí i pro tuto skupinu strojů větší rozšíření.

4.1.1.5 Multifunkční centra

Tento typ strojů představuje v současnosti již nezanedbatelnou skupinu na trhu. Jedná se o vysoce univerzální stroje kombinující vlastnosti soustružnických a frézovacích center. V převážné většině případů se jedná o soustružnické centrum vybavené frézovacím vřeteníkem. Tento vřeteník má většinou až 4 stupně volnosti a ve spojení s osou rotace vřetene soustruhu (v režimu řízené osy) nám umožňuje plnohodnotné 5ti osé obrábění. Tato skupina strojů se díky své univerzálnosti poslední dobou rozmáhá a jejich oblíbenost mezi zákazníky nadále roste.

Z hlediska realizace automatické výměny nástrojů je zde většinou kombinace revolverové hlavy pro soustružnické operace a u frézovacího vřetene zásobník s manipulátorem pro výměnu nástrojů.



Obr. 32: Multifunkční centrum GMX linear firmy DMG s manipulátorem pro výměnu frézovacích nástrojů Colombo Filippetti [12]



Obr. 33: Multifunkční centrum řady Integrex firmy Mazak s AVN pro 20 nástrojů [14]



Obr. 34: Multifunkční centrum INTEGREX e-500H II firmy Mazak s manipulátorem a řetězovým zásobníkem pro 40 nástrojů [14]



Obr. 35: Multifunkční centrum NTX 1000 firmy Mori Seiki s manipulátorem a řetězovým zásobníkem pro 38 nástrojů [14]

Z hlediska realizace je tedy řešení AVN totožné jako u standardních frézovacích center. Podle nabídky výrobce bývá většinou možné stroj dovybavit AVN s větší kapacitou, a to buď za pomoci užití řetězového zásobníku, nebo pro největší množství nástrojů užití regálového zásobníku s manipulátorem. U tohoto typu strojů je důraz kladen především na jejich univerzálnost, proto nejsou například tak přísná kritéria pro hodnocení některých parametrů, jako je například čas výměny frézovacích nástrojů.





4.1.1.6 Samostatně dodávaná řešení AVN

V této kapitole je uvedeno několik málo nejvýznamnějších výrobců AVN. Tito se specializují pouze na vývoj zařízení pro automatickou výměnu nástrojů a v této souvislosti je nutno zdůraznit, že jejich produkty představují v tomto směru špičku na trhu. Dlouholeté zkušenosti a počty nasazených zařízení umožňují odladit nejmenší nedostatky, a tím zajistit danému produktu nejen špičkové parametry z hlediska času výměny, ale rovněž z hlediska spolehlivosti a dlouhé životnosti.

GIFU ENTERPRISE CO., LTD.

Jedná se o významného Tchajwanského výrobce zařízení pro automatickou výměnu nástrojů. Nabízený sortiment pokrývá takřka kompletně celé spektrum nástrojových rozhraní, a to jak z hlediska typu tak i velikosti.

 <p>BT40-12,16,20,24LV Linear Type</p>	<p>Typ AVN: PICK-UP Rozhraní: BT40 Počet nástrojů: 12 , 16 , 20 , 24 LV Linear Typ pohonu: elektrický Čas výměny nástroje: 2.25 / 3 / 4.6 / 5.5 s* Max. hmotnost nástroje: 6,5 kg a více Max. délka nástroje: 350 mm Max. průměr nástroje (plné osazení): Ø 100 mm * závislé na vzájemné poloze vyměňovaných nástrojů</p>
 <p>BT40-20,30DV</p>	<p>Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: BT40, ISO40 Počet nástrojů: 16 , 20 , 30 Typ pohonu: elektrický Čas výměny nástroje: 1,41 s / 1,8 s Max. hmotnost nástroje: 6,5 kg a více Max. délka nástroje: 300 mm a více Max. průměr nástroje (plné osazení): Ø 100 mm</p>

 <p>Tapei50-40CV</p>	<p>Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: BT50, ISO50 Počet nástrojů: 40 Typ pohonu: hydraulický Čas výměny nástroje: :5,5 s Max. hmotnost nástroje: 25kg Max. délka nástroje: 350 mm Max. průměr nástroje (plné osazení): Ø 125 mm</p>
 <p>HK63E-Z0LC</p>	<p>Typ AVN: řetězový PICK-UP s integrovanými dvířky Rozhraní: HSK63 Počet nástrojů: 20 Typ pohonu: elektrický Čas výměny nástroje: 0,73 s * Max. hmotnost nástroje: 6 kg Max. délka nástroje: 280 mm Max. průměr nástroje (plné osazení): Ø 75 mm * závislé na vzájemné poloze vyměňovaných nástrojů</p>
 <p>HSK100-6DH</p>	<p>Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: HSK100 Počet nástrojů: 6 Typ pohonu: elektrický Čas výměny nástroje: : 11 s Max. hmotnost nástroje: 20kg Max. délka nástroje: 400 mm Max. průměr nástroje (plné osazení): Ø 250 mm</p>
 <p>BT50-16,20,24DH</p>	<p>Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: BT50 Počet nástrojů: 16, 20, 24 Typ pohonu: elektrický Čas výměny nástroje: : 2,75 s Max. hmotnost nástroje: 15kg a více Max. délka nástroje: 400 mm Max. průměr nástroje (plné osazení): Ø 110 mm</p>

 <p>CAT50-40CH Sliding Type</p>	<p>Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: CAT50 Počet nástrojů: 40 Typ pohonu: hydraulický Čas výměny nástroje: : 13 s Max. hmotnost nástroje: 15kg a více Max. délka nástroje: 350 mm a více Max. průměr nástroje (plné osazení): Ø 130</p>
 <p>ISO50-40CH</p>	<p>Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: ISO50 Počet nástrojů: 40 Typ pohonu: zásobník elektr. / manip. hydraulický Čas výměny nástroje: : 5,5 s Max. hmotnost nástroje: 35kg Max. délka nástroje: 400 mm a více Max. průměr nástroje (plné osazení): Ø 130</p>
<p>;</p>  <p>HSK40E-24LH</p>	<p>Typ AVN: PICK-UP Rozhraní: HSK40 Počet nástrojů: 24 Typ pohonu: elektrický Čas výměny nástroje: 2,9 s * Max. hmotnost nástroje: 5 kg Max. délka nástroje: 200 mm Max. průměr nástroje (plné osazení): Ø 65 mm * závislé na vzájemné poloze vyměňovaných nástrojů</p>
 <p>HSK63A-16LH</p>	<p>Typ AVN: PICK-UP Rozhraní: HSK63 Počet nástrojů: 16 Typ pohonu: elektrický Čas výměny nástroje: 0,75 s * Max. hmotnost nástroje: 12 kg Max. délka nástroje: 400 mm Max. průměr nástroje (plné osazení): Ø 100 mm * závislé na vzájemné poloze vyměňovaných nástrojů</p>

 <p>ISO50-32,40CH</p>	Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: ISO50 Počet nástrojů: 32, 40 Typ pohonu: elektrický Čas výměny nástroje: 2,75 s Max. hmotnost nástroje: 15 kg a více Max. délka nástroje: 350 mm a více Max. průměr nástroje (plné osazení): Ø 127 mm
 <p>BT50-31CH (MATRIX)</p>	Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: BT50 Počet nástrojů: 31 Typ pohonu: elektrický Čas výměny nástroje: 2,1 s Max. hmotnost nástroje: 20 kg Max. délka nástroje: 400 mm a více Max. průměr nástroje (plné osazení): Ø 125 mm

Tabulka 7: Přehledová tabulka sortimentu firmy Gifu [13]

Snahou tohoto výrobce je dodávat kvalitní zařízení standardních parametru za velice atraktivní ceny, kterých je dosaženo velkosériovou výrobou. V nabízené produkci se můžeme setkat s různými typy pohonů, a to jak zásobníků, tak i manipulátorů. Z hlediska kinematického a konstrukčního řešení manipulátorů si můžeme povšimnout, že převážná většina jich je řešena pomocí vačkového mechanismu.

MIKSCH

Dalším velice významným a dalo by se říci, že ve svém oboru považovaným za špičku, je německá firma Miksch. Jedná se o firmu s širším záběrem než je pouze AVN. Tato firma se specializuje na výrobu vačkových mechanismů všech druhů. AVN a především pak manipulátory založené na vačkovém mechanismu vhodným způsobem využívají KNOW-HOW této firmy a doplňují nabízený sortiment.



Series	Linear stroke (mm)	Max change arm centres (mm)	Max. tool weight (kg)	Max. stat. torque Ms (N.m)	Max. axial force Fa (N)	Time of cycle (s)	Installed Power (kW)	Lubr. (dm ³)	Mass (kg)
CUT 31	85 60	600	5	105	600	See selection diagrams	0.18	4.5	38
CUT 41	110 60	700	10	215	1400		0.37	7.2	65
CUT 51	165 85	800	20	415	2100		0.75	13	130

Obr. 36: Přehled manipulátorů typu CUT firmy Miksch [11]

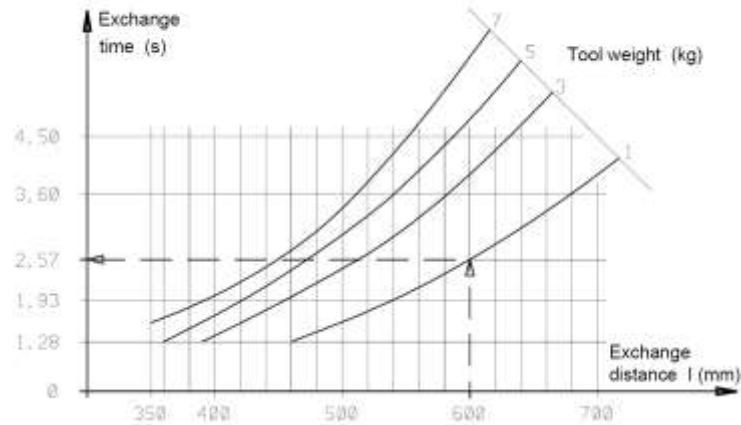


CTM		30	40	50	CTM		30	40	50
Max tool weight	[kg]	5	10	20	Max tool exchange centres distance	[mm]	550	650	800
Max total tool weight					Min exchange time	[s]	1.3	1.5	1.5
12 tools	[kg]	60	160	200	Time to rotate magazine between adjacent tool positions	[s]	0.6	0.6	0.85
20 tools	[kg]	60	160	200	from tool to tool	[s]	0.85	0.85	1
30 tools	[kg]	80	160	300	Max tool search time:				
Max tool diameter					12 tools	[s]	4	4	8.5
12 tools	[mm]	90	100	150	20 tools	[s]	6	6	8.5
20 tools	[mm]	60	90	120	30 tools	[s]	10.5	10.5	15
30 tools	[mm]	60	80	120	Tool changer motor rating	[kW]	0.18	0.37	0.75
Max tool diameter with adjacent slots empty					Magazine motor rating	[kW]	0.13	0.18	0.75
12 tools	[mm]	170	190	290	Tilting pneumatic cylinder				
20 tools	[mm]	120	180	240	Diameter	[mm]	32	40	63
30 tools	[mm]	160	165	240	Stroke	[mm]	40	50	75
Min tool exchange centres distance	[mm]	350	400	500	Minimum feed pressure	[bar]	5	5	5

Obr. 37: Přehled kompaktní AVN typové řady CTM firmy Miksch [11]

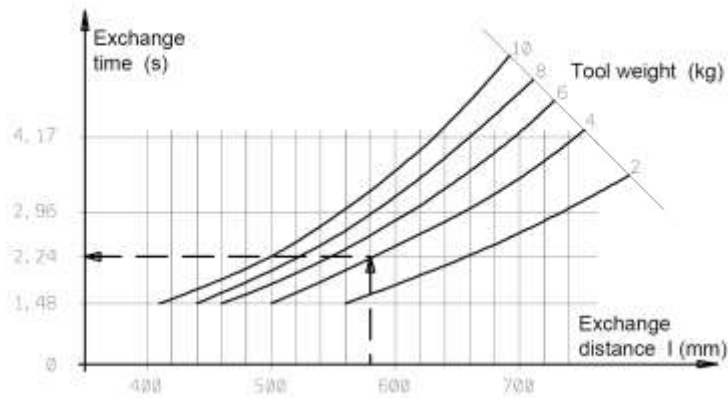
Exchange time diagram CTM 30

N.B. : " In the case of positioning the CUT with horizontal axis and in the presence of loads highly unbalance do not consider the data applied on the chart, but contact our technical office."



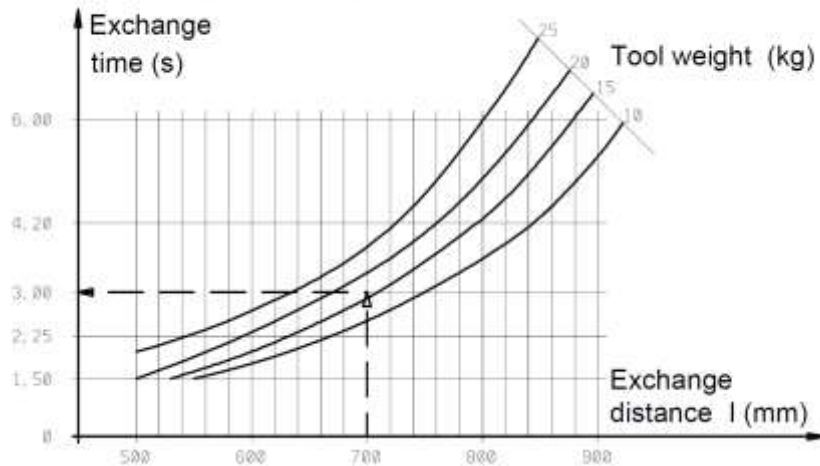
Exchange Time diagram CTM 40

N.B. : " In the case of positioning the CUT with horizontal axis and in the presence of loads highly unbalanced do not consider the data applied on the chart, but contact our technical office."

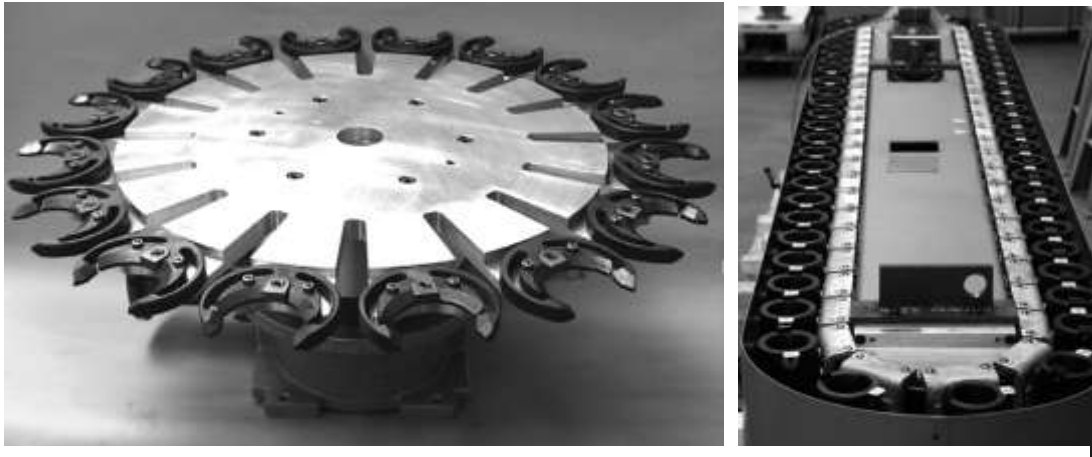


Exchange Time diagram CTM 50

N.B. : " In the case of positioning the CUT with horizontal axis and in the presence of loads highly unbalanced; do not consider the data applied on the chart, but contact our technical office."



Obr. 38: Grafy závislosti doby výměny na délce ramen a hmotnosti nástroje [11]



Obr. 39: Další sortiment nabízený firmou Miksch [11]

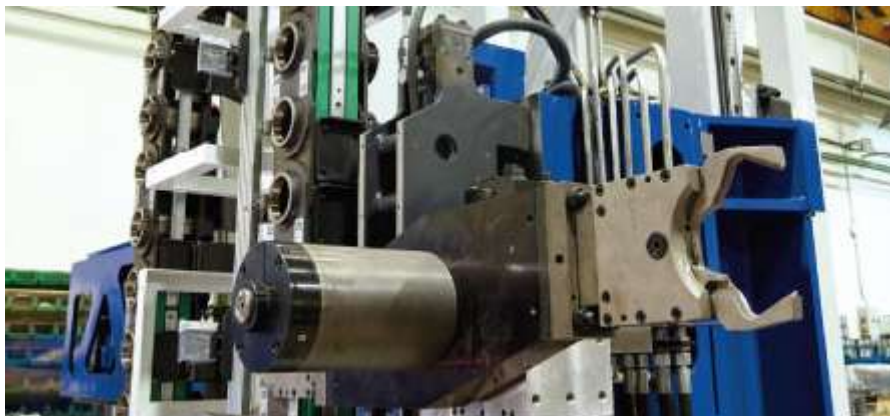
Z hlediska cílového segmentu je možno podle nabízeného sortimentu a jeho parametrů konstatovat, že se tato firma specializuje především na stroje s menším nástrojovým rozhraním, patřící především do skupiny High end zařízení. Parametry AVN nabízené firmou Miksch jsou do značné míry působivé. Nejrychlejší manipulátor dodávaný touto firmou je schopen realizovat výměnu nástroj-nástroj za 0,5s.

Sidepalsa

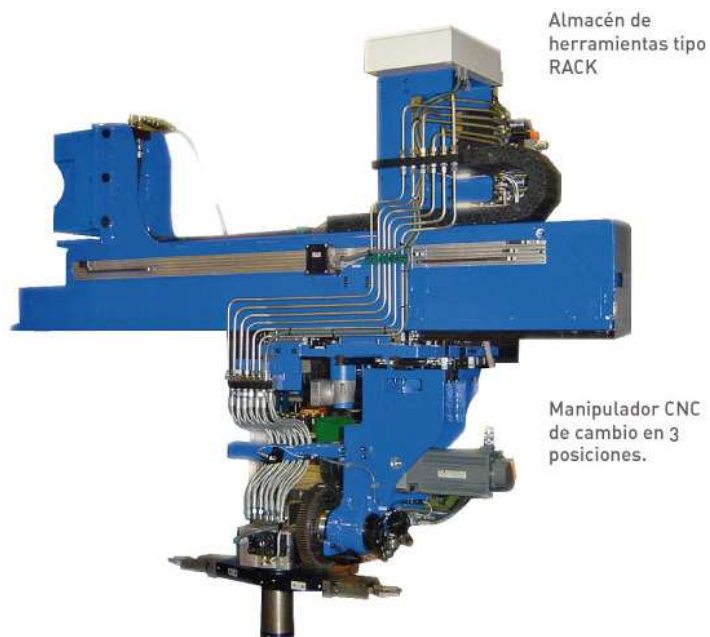
Španělská společnost specializující se na vývoj a výrobu AVN.



Obr. 40: Regálové zásobníky se zakladačem firmy Sidepalsa [28]



Obr. 41: Detail plně hydraulického manipulátoru [28]



Obr. 42: Celkový pohled na manipulátor s pojezdem [28]



Obr. 43: Řetězové zásobníky s manipulátory pro výměnu velmi velkých nástrojů [28]

Z výše uvedeného je patrné, že se tato firma specializuje hlavně na vývoj a výrobu automatické výměny nástrojů především pro velká nástrojová rozhraní, tedy nástroje velkých hmotnosti i rozměru (viz obr. 43 – max. průměr nástroje 420mm a

hmotnost 50kg). Z hlediska konstrukce a kinematického upořádání je možné si povšimnout, že tato firma užívá pro manipulátory takřka výhradně napichovacího typu ramene především s hydraulickým, popřípadě elektrickým pohonem.

Demmeler

Jedná se o německou firmu zabývající se především prvky automatizace výrobního procesu. Do sortimentu patří systémy pro upínání, manipulaci, NC otočné stoly pro velké obrobky (do 12000mm a 500t) a AVN. Tato firma se vydala z hlediska řešení AVN zcela odlišnou cestou. Její ucelené systémy automatické výměny nástrojů jsou postaveny na platformě průmyslového robotu, který zajišťuje výměnu nástroje mezi vřetenem a velkokapacitním zásobníkem nástrojů.



Obr. 44: Výměna nástroje pro libovolnou orientaci vřetene [51]

65



Obr. 45: Robotická AVN - s pevnou základnou [51]



Obr. 46: Robotická AVN - s posuvnou základnou [51]







Obr. 47: Zařízení pro čištění nástrojového rozhraní [51]

Snahou výrobce je za pomoci průmyslového robota získat přidanou hodnotu AVN především v podobě univerzality nasazení a dodatečných funkcí, které může univerzální robot dále vykonávat, jako je například čištění nástrojů nebo měření zda nejsou nástroje zlomené.

Aeny

Významný Tchajwanský výrobce komponentů výrobních strojů. Do jeho portfolia patří vřetena, frézovací hlavy, kuličkové šrouby, lineární vedení, servomotor, AVN a mnoho dalších komponentů. Z hlediska AVN poskytuje základní sortiment, s možností realizovat zařízení podle požadavků zákazníka (např. realizace regálového typu AVN).

	<p>Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: BT4,50(CAT/DIN/ISO/HSK63,100) Počet nástrojů: 16,20,24,30 Typ pohonu: elektrický Čas výměny nástroje: 1,2-1,8/2,5-3,2s Max. hmotnost nástroje: 7/15 kg Max. délka nástroj: 350mm</p>
	<p>Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: BT30(CAT/DIN/HSK100) Počet nástrojů: 20 Typ pohonu: elektrický Čas výměny nástroje: 0,8 s Max. hmotnost nástroje: 5 kg Max. délka nástroj: 300mm</p>
	<p>Typ AVN: PICK-UP Rozhraní: BT25,30,40/HSK32,50,63 Počet nástrojů: 8/10/12 Typ pohonu: elektrický Čas výměny nástroje: 2-4s * Max. hmotnost nástroje: 5 kg Max. průměr nástroje (plné osazení): Ø 85 mm * závislé na vzájemné poloze vyměňovaných nástrojů</p>
	<p>Typ AVN: PICK-UP Rozhraní: BT30,40,50(CAT/DIN/ISO/HSK40,63,100) Počet nástrojů: 10/12/16/20 Typ pohonu: elektrický Čas výměny nástroje: 1,8s * Max. délka nástroj: 200,250,300mm Max. hmotnost nástroje: 5,7,15 kg Max. průměr nástroje (plné osaz.): Ø 125-200 mm * závislé na vzájemné poloze vyměňovaných nástrojů</p>

	<p>Typ AVN: PICK-UP Rozhraní: BT30,40(CAT/DIN/ISO) Počet nástrojů: 10/12/16/20 Typ pohonu: elektrický Čas výměny nástroje: 8s * Max. délka nástroj: 200,300mm Max. hmotnost nástroje: 5,8kg Max. průměr nástroje (plné osaz.): Ø 85 mm * závislé na vzájemné poloze vyměňovaných nástrojů</p>
	<p>Typ AVN: Tapping Center type Rozhraní: BT30,40(CAT/DIN/HSK) Počet nástrojů: 10,12,14 Typ pohonu: elektrický Čas výměny nástroje: 1,6s * Max. délka nástroj: 200mm Max. hmotnost nástroje: 3 kg Max. průměr nástroje (plné osazení): Ø 80 mm * závislé na vzájemné poloze vyměňovaných nástrojů</p>
	<p>Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: BT/CAT/ISO 40,50, HSK 63A/ HSK 100A Počet nástrojů: 40,60,80,120,160 Typ pohonu: elektrický Čas výměny nástroje: 1,9/3,4 s Max. hmotnost nástroje: 6,5/15 kg Max. průměr nástroje (plné osaz.): Ø 120-140 mm</p>
	<p>Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: BT50 Počet nástrojů: 32,40,60 Typ pohonu: hydraulický Čas výměny nástroje: 10,5-13s Max. hmotnost nástroje: 15 kg Max. průměr nástroje (plné osaz.): Ø 130-150 mm</p>

Tabulka 8: Přehledová tabulka sortimentu firmy Aeny [50]

Deta

Významný Tchajwanský výrobce specializující se pouze na vývoj a výrobu zařízení pro automatickou výměnu nástrojů. Podle zdrojů tohoto výrobce je každý rok přidáno do nabídky okolo 10 nových typů AVN, přičemž je ročně prodáno několik tisíc kusů zařízení pro automatickou výměnu zařízení.



Obr. 48: Výrobní linka AVN ve firmě Deta [49]

	<p>Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: BT30(CAT/DIN/HSK32/40) Počet nástrojů: 30 Typ pohonu: elektrický Čas výměny nástroje: 1s Max. hmotnost nástroje: 1 kg Max. průměr nástroje (plné osazení): \varnothing 50 mm</p>
--	--

	<p>Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: BT50(CAT/DIN/HSK100) Počet nástrojů: 24 Typ pohonu: elektrický Čas výměny nástroje: 2,5 s Max. hmotnost nástroje: 15 kg Max. průměr nástroje (plné osazení): Ø 110 mm</p>
	<p>Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: BT40(CAT/DIN/HSK40/50/63) Počet nástrojů: 30 Typ pohonu: elektrický Čas výměny nástroje: 1,3 s Max. hmotnost nástroje: 8 kg Max. průměr nástroje (plné osazení): Ø 76 mm</p>
	<p>Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: BT40(CAT/DIN/HSK40/50/63) Počet nástrojů: 12 Typ pohonu: elektrický Čas výměny nástroje: 1,3 s Max. hmotnost nástroje: 8 kg Max. průměr nástroje (plné osazení): Ø 180 mm</p>

	<p>Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: BT40(CAT/DIN/HSK) Počet nástrojů: 32 Typ pohonu: elektrický Čas výměny nástroje: 1,5 s Max. hmotnost nástroje: 8 kg Max. průměr nástroje (plné osazení): \varnothing 76 mm</p>
	<p>Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: BT50(CAT/DIN/HSK) Počet nástrojů: 40 Typ pohonu: elektrický Čas výměny nástroje: 2,5 s Max. hmotnost nástroje: 15 kg Max. průměr nástroje (plné osazení): \varnothing 127 mm</p>
	<p>Typ AVN: PICK-UP Rozhraní: BT40(CAT/DIN/HSK) Počet nástrojů: 20 Typ pohonu: elektrický Čas výměny nástroje: 1,7 s * Max. hmotnost nástroje: 8 kg Max. průměr nástroje (plné osazení): \varnothing 100 mm * závislé na vzájemné poloze vyměňovaných nástrojů</p>
	<p>Typ AVN: Tapping Center type Rozhraní: BT30(CAT/DIN/HSK) Počet nástrojů: 14 Typ pohonu: elektrický Čas výměny nástroje: 0,3 s * Max. hmotnost nástroje: 3 kg Max. průměr nástroje (plné osazení): \varnothing 90 mm * závislé na vzájemné poloze vyměňovaných nástrojů</p>

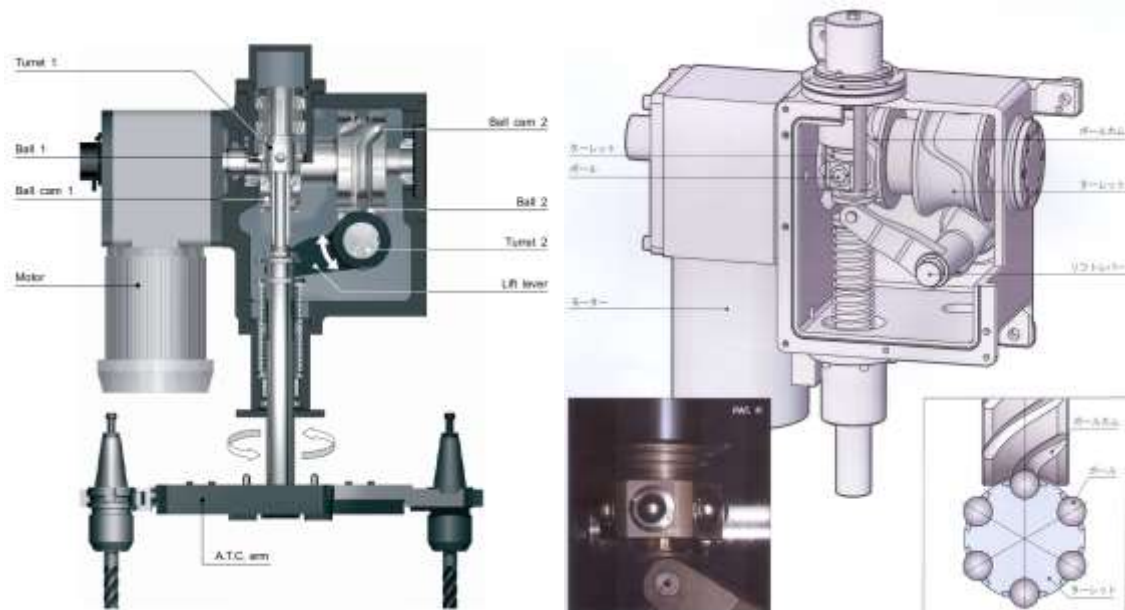
	<p>Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: BT40(CAT/DIN/HSK) Počet nástrojů: 40 Typ pohonu: elektrický Čas výměny nástroje: 1,8 s Max. hmotnost nástroje: 8 kg Max. průměr nástroje (plné osazení): Ø 100 mm</p>
	<p>Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: BT50(CAT/DIN/HSK) Počet nástrojů: 40 / 60 / 80 / 120 Typ pohonu: elektrický Čas výměny nástroje: 2,5 s Max. hmotnost nástroje: 15 kg Max. průměr nástroje (plné osazení): Ø 125 mm</p>
	<p>Typ AVN: zásobník s manipulátorem Rozhraní: BT40(CAT/DIN/HSK) Počet nástrojů: 60 Typ pohonu: elektrický Čas výměny nástroje: 1,8 s Max. hmotnost nástroje: 8 kg Max. průměr nástroje (plné osazení): Ø 76 mm</p>

Tabulka 9: Přehledová tabulka sortimentu firmy Deta [49]

Firma Deta nabízí ve své produkci jak manipulátory řešené pomocí vačkového mechanismu poháněného elektromotorem, tak i manipulátory poháněné hydraulicky.

Pascal Corporation

Japonská firma zabývající se převážně vývojem a výrobou upínacích jednotek pro aretaci a centrování palet atd. Jednou z okrajových oblastí, kterými se tato firma zabývá, je i AVN.



Obr. 49: Manipulátor firmy Pascal Corporation [52]



Obr. 50: Pohled na dvojici globoidních vaček [52]

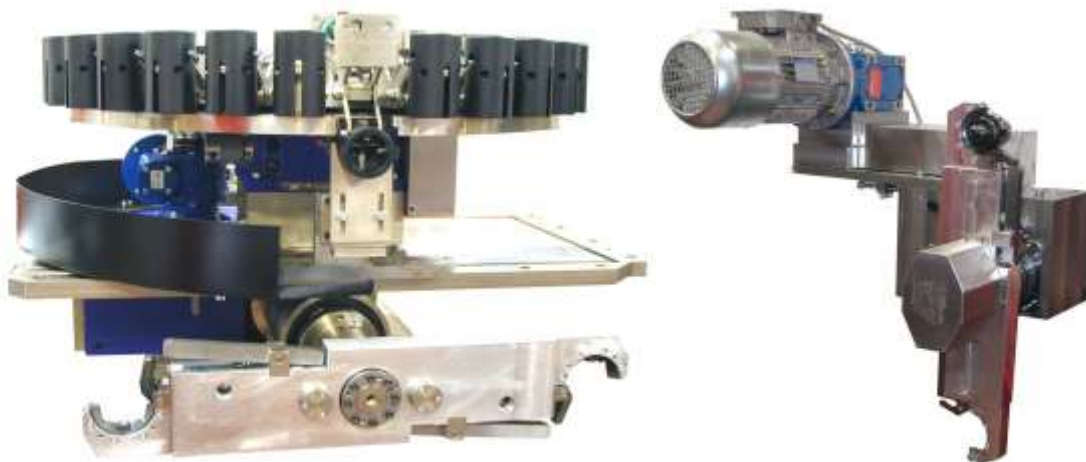
Model	MTC40V
Type of tool shank	BT40
A.T.C. arm radius	230 mm
A.T.C. arm weight	7 kg
Max. tool weight	10 kg x 2 sets
Tool pull-out force	700 N (Total of two tools)
Tool change time	1.0 sec. (Tool weight 4 kg x 2 sets, Total 8 kg and under)
	1.2 sec. (Tool weight 10 kg x 2 sets, Total 20 kg and under)
Geared motor	0.75 kW AC200V 4P (Reduction ratio 1/30)

Tabulka 10: Tabulka parametrů manipulátoru firmy Pascal Corporation [52]

Ostatní firmy

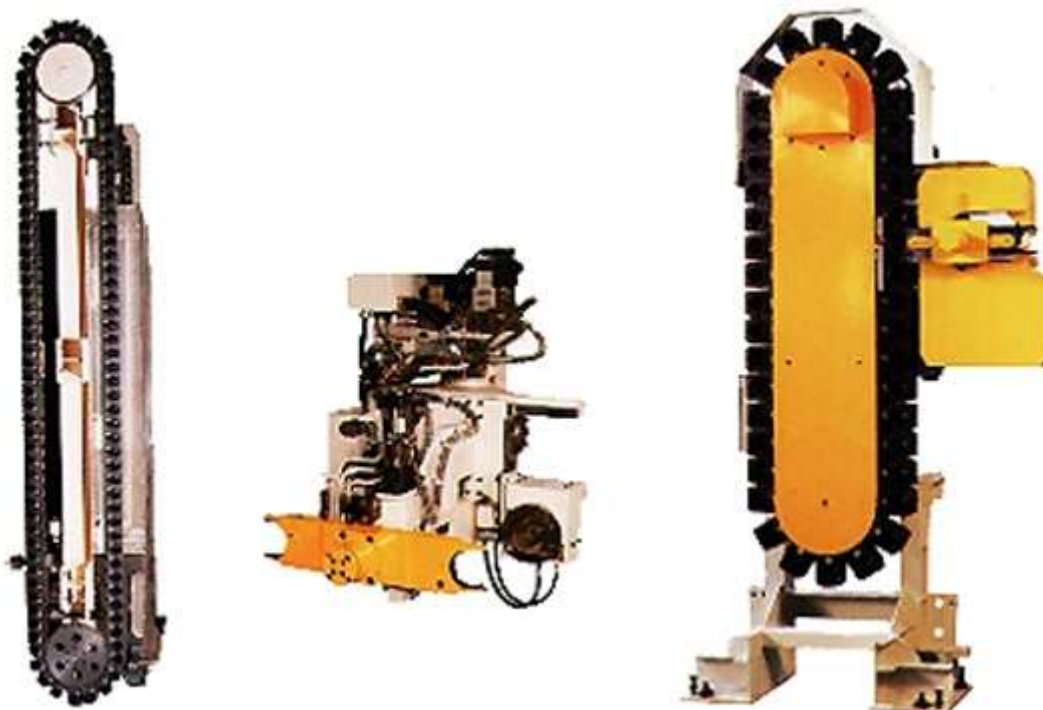
Z velkého počtu firem zabývajících se výrobou AVN byly výše uvedeny pouze firmy představující v tomto oboru špičku nebo se jedná o firmy zabývající se sériovou výrobou těchto zařízení. Níže budou uvedeny jen v krátkosti příklady dalších zařízení pro AVN nabízených na trhu.

CAM DRIVE SYSTEMS



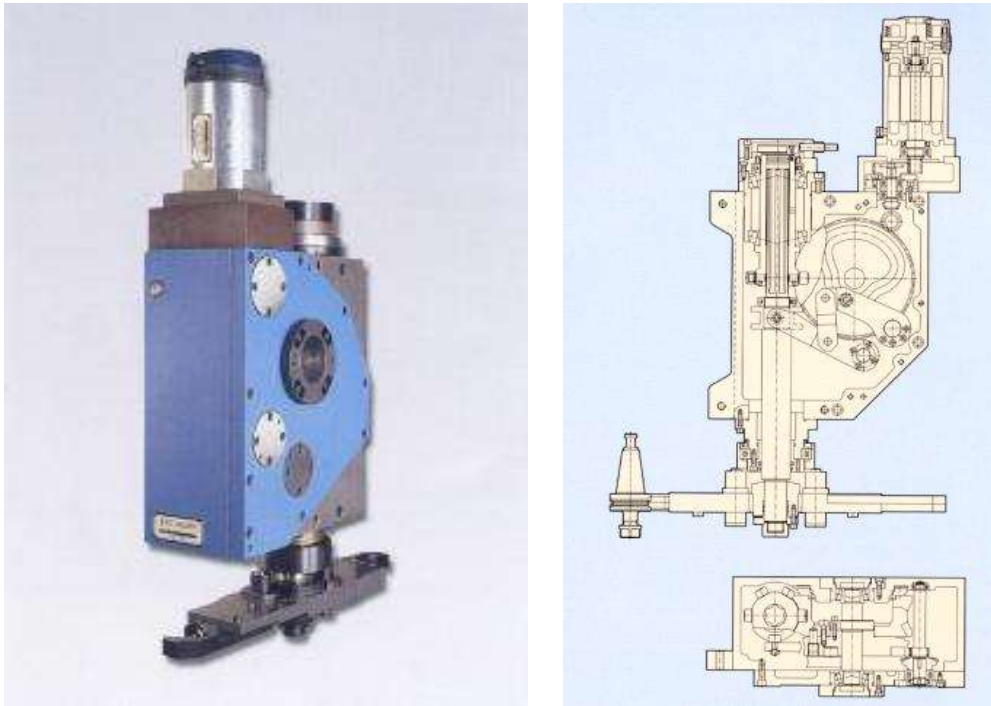
Obr. 51: AVN pro nástroje 15kg a čas výměny 1,5s [53]

SAMICK TECH CO., LTD.



Obr. 52: AVN s řetězovým zásobníkem [54]

Pragati



Obr. 53: Vačkový manipulátor pro AVN [55]

Existuje ještě velké množství firem, které se věnují problematice AVN, a svá řešení nabízí na trhu jak ve formě ucelených řešení, tak i v podobě částečných dodávek (zásobník, manipulátor, atd.). Z hlediska rozsahu práce a především pak této kapitoly nebudou dále rozebírány, protože získaná data jsou dostačující pro vyvození závěru a provedení kompletní analýzy.

4.1.1.7 Nestandardní konstrukční řešení AVN

Tato krátká podkapitola je věnována speciálním nebo netypickým konstrukčním řešením, s nimiž je možné se na trhu s AVN nebo obecněji na trhu s obráběcími stroji setkat. Níže uvedené příklady dokazují pestrost a kreativnost řešení jednotlivých výrobců ve vývoji těchto zařízení a zároveň nám ukazují možnosti dalšího vývoje.



Obr. 54: Zásobníky pro stroje TOS Kuřim [17]

Ač to nebývá pravidlem, jsou zásobníky typu PICK-UP určeny především pro menší počty nástrojů. Platnost tohoto vžitého pravidla je však u velkých obráběcích center poněkud omezena. Velké stroje jsou z hlediska strategie výměny a statistického hodnocení vedlejších nevýrobních časů souvisejících s výměnou nástrojů diametrálně odlišné od strojů malých popřípadě střední velikosti. Není u nich vyžadována tak častá výměna nástrojů a zároveň operace prováděné strojem jsou výrazně delší. Součásti obráběné na těchto strojích jsou relativně velké a vyžadují velké úběry materiálu (větší přídavky např. u odlitků). Toto s sebou přináší nižší požadavky na rychlost výměny, ale zároveň větší požadavky na kapacitu, nosnost zásobníku a v neposlední řadě i nosnost samotného manipulátoru. Snahou výrobců OS je tedy zákazníkovi nabídnout produkt, který bude v dostatečné míře splňovat jeho nároky jak z hlediska funkčních požadavků, tak i z hlediska ekonomických kritérií. Příklad velice jednoduchého a v celé řadě případů i zcela dostačujícího řešení můžeme nalézt na obr. 54.

V levé části je možné spatřit velkokapacitní stupňovitý PICK-UP, který je upraven jak pro nástroje menších, tak i pro nástroje větších průměrů. Konstrukce je provedena velice masivně a umožňuje skladování velkého počtu hmotných nástrojů.

V pravé části obrázku je zobrazeno řešení kombinovaného PICK-UP zásobníku sloužícího pro skladování a automatickou výměnu jak nástrojů, tak i celých vřetenových hlav. Tím je tedy dosaženo podstatně větší univerzality a z hlediska zákazníka i vyšší užité hodnoty daného řešení.

Jako další netradiční řešení PICK-UP zásobníků je možné uvést řešení firmy Union machines, která vytvořila pro zvýšení kapacity kombinovaný lineárně rotační zásobník. Tento se vyznačuje relativně velkou kapacitou při zachování kompaktnosti celého řešení. Další nezanedbatelnou výhodou je rovněž menší náročnost na tvorbu pomocných funkcí pro vyvolávání jednotlivých nástrojů. V tomto případě postačí definovat 6 poloh pro výměnu, které nám zajistí dostupnost všech 24 nástrojů. Oproti klasickému stacionárnímu řešení vyžadují přesné definování poloh všech nástrojů.



Obr. 55: Rotační PICK-UP zásobník firmy Union machines [56]



Obr. 56: Rotační PICK-UP s výměnou hlav i samostatných nástrojů

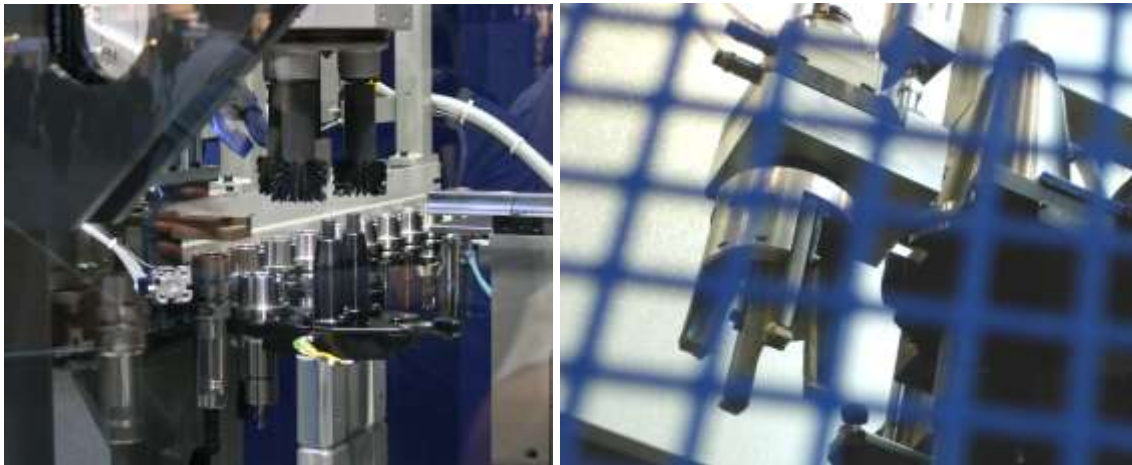
Další zajímavá aplikace využívající zásobníku typu PICK-UP je uvedena na obr. 56. Jedná se o kombinovaný zásobník sloužící pro výměnu jak samostatných nástrojů, tak i celých vřetenových hlav. Nástroje v tomto zásobníku mohou být navíc umístěny jak vertikálně, tak i horizontálně. Toto kompaktní řešení zajišťuje výraznou úsporu z hlediska zástavbových rozměrů, zjednodušení skladování hlav i nástrojů. Zásadní nevýhodou je pak relativně malá kapacita zásobníku a značné limity z hlediska velikosti a hmotnosti vřetenových hlav.



Obr. 57: Typy upínacích kleštín

Neméně zajímavou oblastí, kde je možné si povšimnout vývoje je oblast kleštín PICK-UP zásobníků, které nesou nástroje. V této oblasti je patrný progresivní vývoj, a to především z hlediska využívání moderních technických plastů. Tyto přinášejí, ve

srovnání s nákladným obráběním jakostních kovových materiálů, výrazné snížení výrobních nákladů. Snahy jsou směřovány na vývoj monolitické kleštiny, která svojí pružností zajistí funkci upínání. Toto řešení eliminuje potřebu pružin popřípadě jiných komponent zajišťující sevření kleštiny a tím i upnutí nástroje. Je možné však konstatovat, že technické plasty i přes své nesporné výhody nevytlačily ocel. Je to především otázka únosnosti, kde pomocí plastových klestvin není možné upínat největší a nejtěžší nástroje. Jak již bylo zmíněno výše, nespornou výhodou plastů je cena, která při realizaci dostatečného počtu kusů dramatickým způsobem klesá. Rovněž je nutné zmínit i hledisko opotřebení. Technické plasty jsou již na takové úrovni, že z hlediska abrazivního opotřebení mohou směle konkurovat jakostním kovovým materiálům. Ve spojení s velkou pružností plastů a ve srovnání s ocelí i menší tvrdostí je i při opakovaném upínání dosaženo výrazně menšího opotřebení nástroje. Tyto výše vyjmenované výhody dávají tušit další směry a možnosti vývoje v této oblasti.



Obr. 58: Mechanická čistící zařízení pro čištění dosedacích ploch

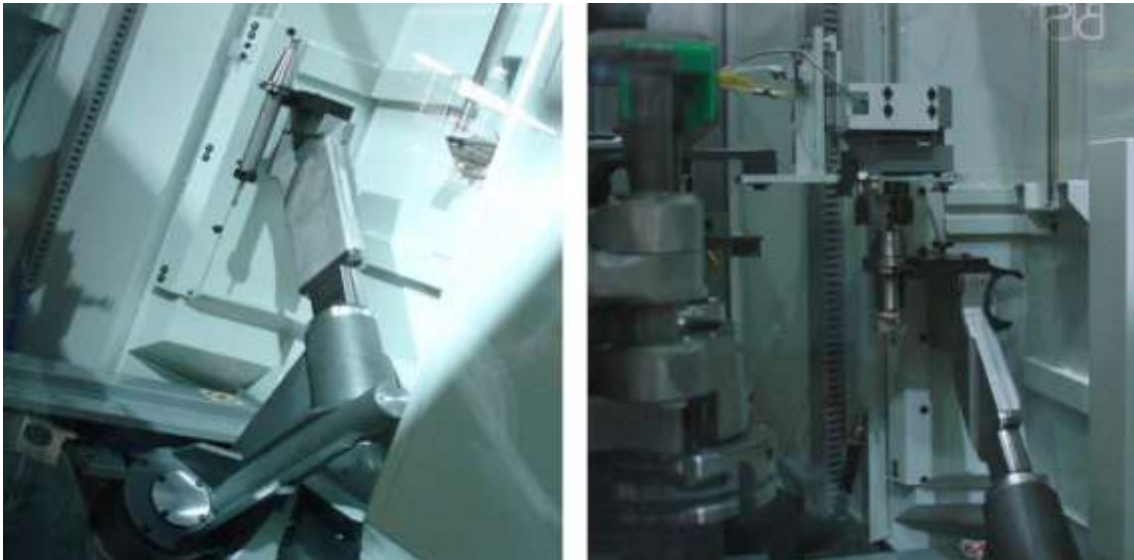
Dalším a do jisté míry i aktuálním problémem je řešení čistoty nástrojového rozhraní. S vývojem nových typů rozhraní a se stále se zvyšující upínací silou, rostou rovněž i požadavky na čistotu rozhraní, viz níže podkapitola 4.1.2. Snahou je udržovat rozhraní nástroje v naprosté čistotě a tím zajistit bezchybnou funkci, velkou životnost nástroje a především pak dutiny ve vřetenu. Toho je v současnosti docíleno jednak pomocí ostříku chladicí kapaliny (je-li přiváděna středem vřetene a lze-li ji pro účely výplachu dutiny užít) nebo ofukem stlačeného vzduch v kombinaci se speciálními mechanickými čistícími zařízeními. Tyto jsou převážně realizovány jako rotující kartáče nebo speciální rotující stěrky. Čistota stykových ploch, jak již bylo řečeno výše, má zásadní vliv jak na celkovou životnost všech zainteresovaných komponentů, ale i na opakovanou přesnost upnutí nástroje. Toto ve spojení s HSC obráběním, kde je užíváno velkých provozních otáček, může způsobit velké problémy s rozvážením vřetene.

Z hlediska konstrukčního uspořádání je rovněž možné uvést jako netradiční řešení firmy Makino. Částečný pohled na tento zásobník je na obr. 59. Tento zásobník je koncipován jako prstencový. Ve střední části prstence je pak umístěn mechanismus

pro vyklápění jednotlivých lůžek nosoucích nástroj a manipulátor zajišťující výměnu mezi zásobníkem a vřetenem. Toto řešení v sobě spojuje snahy na konstrukci zařízení s minimálními zástavbovými rozměry a současně s velkým počtem skladovaných nástrojů. Nevýhodou je pak relativně velká složitost mechanismu vyklápění a způsob uložení řetězu zásobníku.



Obr. 59: Prstencový zásobník firmy Makino



Obr. 60: Netradiční konstrukce manipulátoru firmy DMG

Netradiční konstrukce uzlů zařízení pro automatickou výměnu nástrojů bývá především doménou velkých výrobců obráběcích strojů, jako jsou například DMG, MAZAK, OKUMA, MORI SEIKI, CHIRON, výše zmíněné MAKINO a mnoho dalších. Tyto

firmy jsou k takovému vývoji většinou přinucené různými potřebami vycházejícími ze samotné koncepce stroje. Výrobci strojů využívající subdodávek ve formě nakupovaných zařízení AVN se musejí přizpůsobit jejich technickým požadavkům jak z hlediska zástavby, tak i dalších konstrukčních parametrů. Firmy, které si vyvíjejí vlastní zařízení nebo je podle jejich požadavků na zakázku vyvíjeno, nepotřebují uzpůsobovat koncepci stroje. Toto dává šanci vzniknout mnoha netradičním druhům zařízení pro automatickou výměnu nástrojů.

Jedním z nich je například řešení manipulátoru vertikálního frézovacího centra firmy DMG. Tento manipulátor neuvádá klasického řešení jako většina zařízení v této kategorii strojů, tedy zasekávací koncepce, ale napichovací. Navíc ve spojení s mimoběžným uložením os nástrojů v manipulátoru umožňuje odebrání nástrojů z horizontálně orientovaného vřetene a jejich zakládání do vertikálních lůžek v zásobníku. Toto řešení je zobrazeno na obr. 60, vlevo řešení pro rozhraní ISO a vpravo pro HSK. Na pravém snímku je možné si povšimnout rovněž aktivního zařízení pro čištění dosedacích ploch nástroje.

Podobné řešení jako má firma DMG je vyobrazeno na obr. 61. Tento manipulátor má však ramena s navzájem přestavitelnou geometrií. Toto umožňuje manipulátoru během rotace provést vyjmutí za zasunutí nástroje do dutiny vřetene bez nutnosti dodatečných translačních pohybů jako u DMG. Nevýhodou tohoto řešení je však jeho poměrně značná komplikovanost a limitace z hlediska rychlosti a maximálního zatížení.



Obr. 61: Netradiční konstrukce manipulátoru firmy DMG

Konstrukci manipulátoru zajišťující výměnu nástrojů s různoběžnými osami je možno spatřit na obr. 62. Jedná se o kompaktní řešení konstruované pro realizaci rychlé výměny nástrojů menších hmotností.



Obr. 62: Netradiční konstrukce manipulátoru firmy Starragheckert

Na závěr je zde uveden příklad velmi rychlé automatické výměny nástrojů firmy Chiron. Tato AVN je integrována přímo na konec vřetene a každý nástroj je opatřen vlastním mechanismem pro realizaci výměny. Toto řešení bylo vyvinuto za účelem minimalizace vedlejších neproduktivních časů u strojů pro sériovou a hromadnou výrobu, kde není požadavek na velký počet nástrojů.

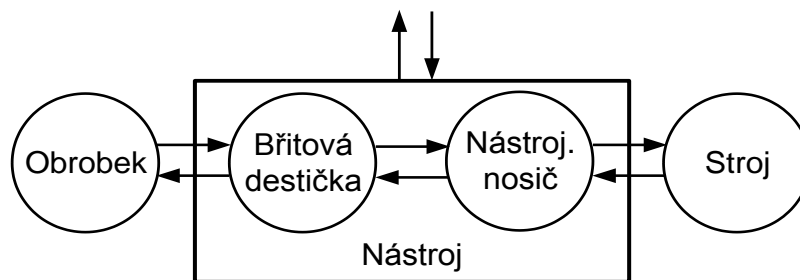


Obr. 63: Integrovaní manipulátor se zásobníkem firmy Chiron

4.1.2 Typy nástrojových rozhraní

Účelem této krátké kapitoly je nejen seznámit s různorodostí nástrojových rozhraní, která jsou v současnosti na trhu, ale zároveň poukázat na hlubší provázanost této problematiky s tématem této disertační práce.

Typ nástrojového rozhraní, tedy přesněji tvar tělesa nástrojového nosiče umožňujícího přenos síly z řezného nástroje (břitové destičky, válcové frézy, atd.) do dutiny vřetene, představuje jeden z hlavních prvků konkrétního stroje. Geometrické parametry jak funkční části přenášející sílu, tak i části pro realizaci uchopení nástroje automatickým manipulátorem jsou pro dané skupiny nástrojových rozhraní normalizované a významnou měrou ovlivňují konstrukci jak manipulátoru, tak i zásobníku nástrojů.



Obr. 64: Blokové schéma systému stroj-nástroj-obrobek z pohledu vazeb nástroje

Ze schématu je patrné, že nástrojový nosič zprostředkovává veškeré vazby (silové, energetické, atd.) mezi řezným nástrojem (většinou břitovou destičkou) a strojem, tedy vřetenem stroje. Z toho plyne, že nástrojový nosič značnou měrou ovlivňuje celkové chování řezného procesu při obrábění a tím i celkovou kvalitu obrobenej plochy. Geometrické nepřesnosti nosiče, nečistoty ve stykových plochách s destičkou nebo vřetenem, nevyváženost, tepelné dilatace, tuhost nosiče a mnoho dalších parametrů mají negativní vliv na kvalitu vyrobené plochy.

S vývojem materiálů a povlaků moderních řezných nástrojů jde ruku v ruce i požadavek na zvýšení ekonomické efektivity procesu obrábění. Vyrůstají nároky jak na množství odebíraného materiálu, tak i nároky na vyšší stabilitu řezu. Toto s sebou přináší mnoho požadavků, a to jak ze strany kvalitnějšího vyvážení nástroje, materiálů a konstrukce nástrojového nosiče, tak i ze strany vylepšování nástrojových rozhraní (např. BIG-PLUS nebo novější CAPTO).

Rozdělení nástrojových rozhraní je možné provést z hlediska několika kritérií, v závislosti na parametrech, podle kterých chceme daný systém hodnotit. Z hlediska praktického využití je však postačující dělení podle následujících kritérií:

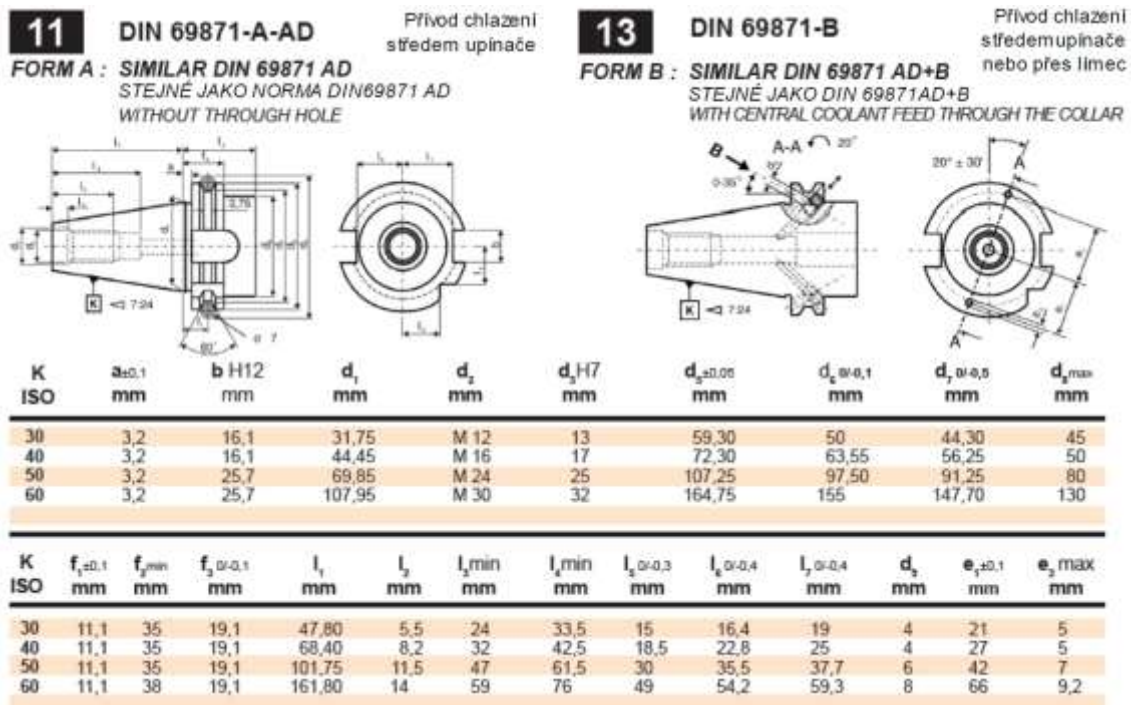
- dlouhý / krátký kužel
- samosvorný / nesamosvorný kužel
- kuželový / polygonální tvar stykové plochy nástrojového rozhraní a dutiny

Z hlediska praktického nasazení je však možné konstatovat, že počet typů nástrojových rozhraní je relativně malý a značně se ještě odlišují dvě oblasti trhu (americký a evropský). Pro evropský trh jsou typickými představiteli nástrojová rozhraní ISO, HSK a v poslední době i CAPTO. Oproti tomu pro americký trh, který zahrnuje i Asii jsou typická rozhraní BT, CAT BIG-PLUS. Je samozřejmostí, že velcí výrobci pro své stroje nabízejí různé kombinace pokrývající poptávky z obou těchto trhů. Do jisté míry je možné konstatovat, že nástrojová rozhraní jak pro evropský, tak i pro americký trh jsou si parametrově velice blízká. Rozdíly vznikly v dřívějších dobách snahou o vytvoření odlišnosti a vzájemné nástrojové nekompatibility.

Z praktického hlediska je nutno podotknout, že typů nástrojových rozhraní není takové množství, aby bylo třeba provádět důkladné členění. Pro názornost zde budou uvedeny nejpoužívanější typy.

4.1.2.1 ISO/SK rozhraní

Jedná se o standardní rozhraní normalizované mnoha normami. V současnosti se nejvíce užívá DIN 69 871. Toto rozhraní je velice oblíbené na evropských trzích, kde je užíváno již několik desetiletí. Rozhraní bývá nasazováno na stroje pro konvenční obrábění, kde se neuvažuje s otáčkami převyšujícími $12\,000\ 1.\text{min}^{-1}$. Právě proto se s tímto rozhraním setkáváme typicky u velkých strojů, jako jsou portálová frézovací centra nebo horizontky atd. Dalo by se říci, že se jedná již o morálně zastaralé řešení, ale pro velké spektrum činností v současnosti stále dostatečně vyhovující.



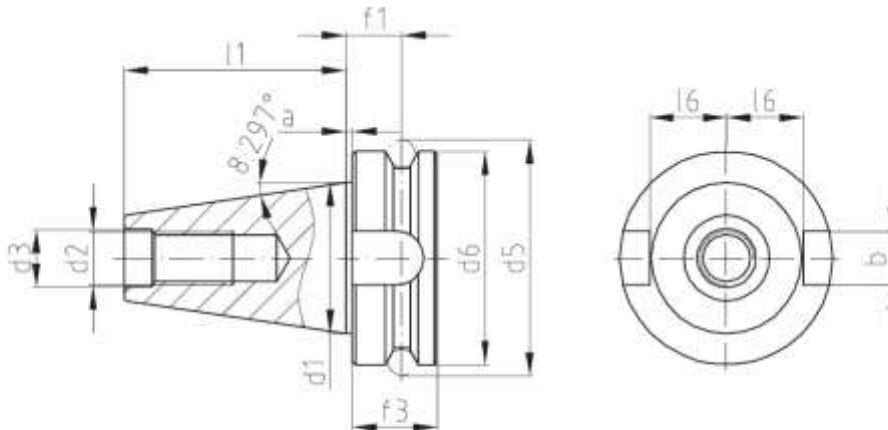
Obr. 65: Rozměrové parametry rozhraní ISO/SK [39]



Obr. 66: Reálná fotografie nosiče nástrojů ISO40 [40]

4.1.2.2 MAS BT rozhraní

Jedná se o podobný nástrojový upínač, jako je ISO, jehož původ je v Japonsku, kde je normalizován dle normy JIS B 6339. Místo vzniku je rovněž i důvodem jeho velké rozšíření po Asijském kontinentu. Díky velkému objemu exportu obráběcích strojů z Japonska je možné pozorovat i značné rozšíření tohoto rozhraní v Evropě. Mezi výrobce hojně užívající toto rozhraní můžeme zařadit MAZAK, MORI SEIKI, atd. Rovněž i tato rozhraní nejsou primárně určena pro HSC obrábění. Jejich praktické využití je možné maximálně do $12\,000\text{ 1.min}^{-1}$.



Steilkegel Taper	a +/- 0,2	b H12	d1	d2	d3 H8	d5 +/- 0,1	d6 0/- 0,1	f1 +/- 0,1	f3	f1 +/- 0,2	l6 +/- 0,25
BT30	2	16,1	31,75	M12	12,5	56,14	46	13,6	20	48,4	16,3
BT40	2	16,1	44,45	M16	17	69,68	63	16,6	25	65,4	22,5
BT50	3	25,7	69,85	M24	25	110	100	23,2	35	101,8	35,3

Obr. 67: Rozměrové parametry rozhraní MAS BT [41]

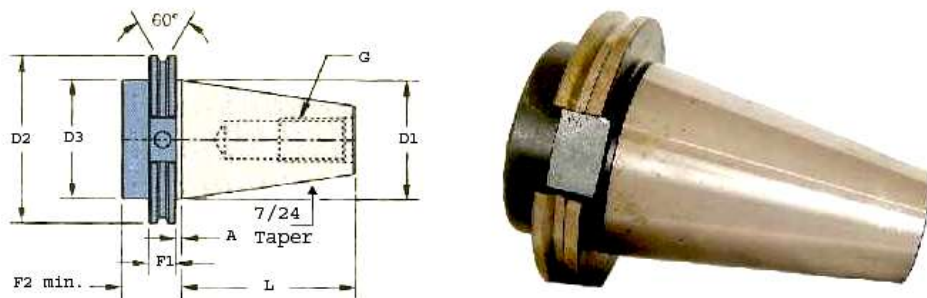


Obr. 68: Pohled na sklíčidlo s rozhraním MAS BT [44]

4.1.2.3 CAT rozhraní

Jedná se o rozhraní vyvinuté a normalizované v USA. Podle názvu je patrné, že bylo vyvinuto firmou Caterpillar. Konstrukčně i rozměrově je velice podobné rozhraní ISO, nebo BT. Díky místu vniku a palcovým míram je rozšířeno především na severoamerickém kontinentu a v menší míře i ve východní Asii.

Nástrojové rozhraní je určeno rovněž pro maximální otáčky do $12\,000\text{ min}^{-1}$, a to v závislosti na stupni jakosti vyvážení.



ANSI B5.50 (from Kennametal catalog 7060)

Size	D1	D2	D3	L	F1	F2 min	A	G
30	1.250 (31.75)	1.812 (46.02)	1.250 (31.75)	1.875 (47.63)	0.750 (19.05)	1.375 (35.00)	0.125 (3.18)	1/2-13 thread
40	1.750 (44.45)	2.500 (63.05)	1.750 (44.45)	2.687 (68.25)	0.750 (19.05)	1.375 (35.00)	0.125 (3.18)	5/8-11 thread
45	2.250 (57.15)	3.250 (82.50)	2.250 (57.15)	3.250 (82.55)	0.750 (19.05)	1.375 (35.00)	0.125 (3.18)	3/4-10 thread
50	2.750 (69.85)	3.875 (98.41)	2.750 (69.85)	4.000 (101.60)	0.750 (19.05)	1.375 (35.00)	0.125 (3.18)	1-8 thread
60	4.250 (107.95)	5.500 (139.70)	4.250 (107.95)	6.375 (161.93)	0.750 (19.05)	1.500 (38.10)	0.125 (3.18)	1 1/4-7 thread

ISO 7388-1, DIN 69871, NFE 62540

Size	D1	D2	D3 max	L	F1	F2 min	A	G
30	31.75	50	45	47.8	15.9	35	3.2	M12
40	44.45	63.55	50	68.4	15.9	35	3.2	M16
45	57.15	82.55	63	82.7	15.9	35	3.2	M20
50	69.85	97.5	80	101.75	15.9	35	3.2	M24

Obr. 69: Rozměrové parametry rozhraní CAT [43]

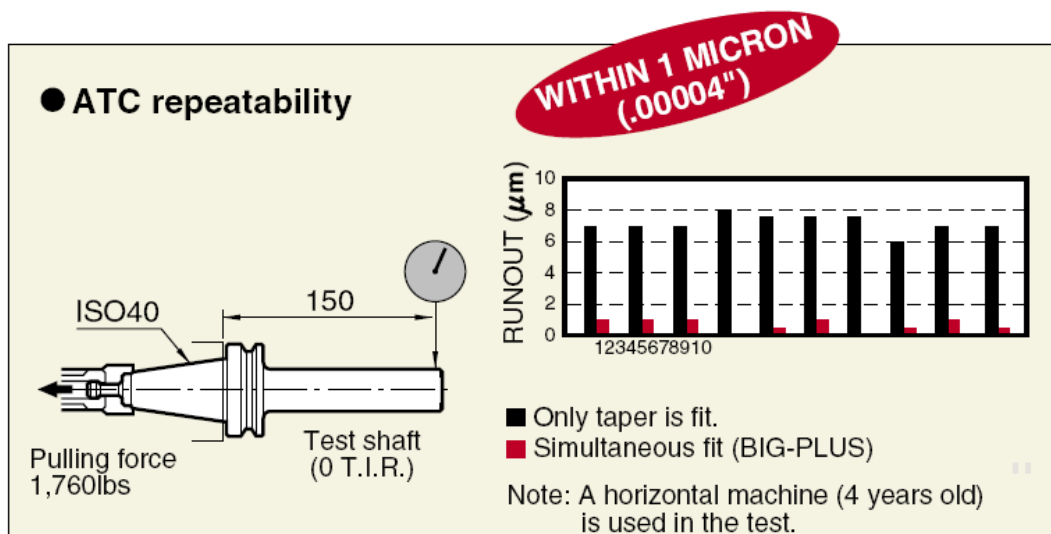
4.1.2.4 BIG-PLUS rozhraní

Než o novém typu rozhraní, dalo by se v případě BIG-PLUS spíše hovořit o modifikaci stávajících rozhraní ISO, BT a CAT. Vývoj nových přesnějších metod obrábění a rovněž i metod pro měření rozměrové i geometrické přesnosti umožnil modifikace stávajících rozhraní vedoucí k zvýšení jak jejich přesnosti, tak i celkové tuhosti. Tato modifikace spočívá v úpravě geometrie nástrojového nosiče, která při upnutí do stroje zajistí kontakt jak kuželové plochy s dutinou vřetene (jako u klasického ISO, BT, CAT), tak i čelní plochy příruby s čelem vřetene viz obr. 70.



Obr. 70: Dvojitý kontakt systému BIG-PLUS [46]

Tímto dvojitým kontaktem je docíleno výrazného nárůstu tuhosti upnutého nástroje cca o 40 až 60%. Rovněž i opakovatelná přesnost upnutí nástroje je díky dvojitě dosedací ploše výrazně lepší než u klasických rozhraní viz obr. 71. Nástrojová rozhraní v provedení BIG-PLUS jsou na rozdíl od klasických rozhraní určena i pro vysokorychlostní obrábění do cca 40000 1.min⁻¹. Je to dáno především vysokou přesností výroby tohoto rozhraní a rovněž velmi jakostním vyvážením nástroje.

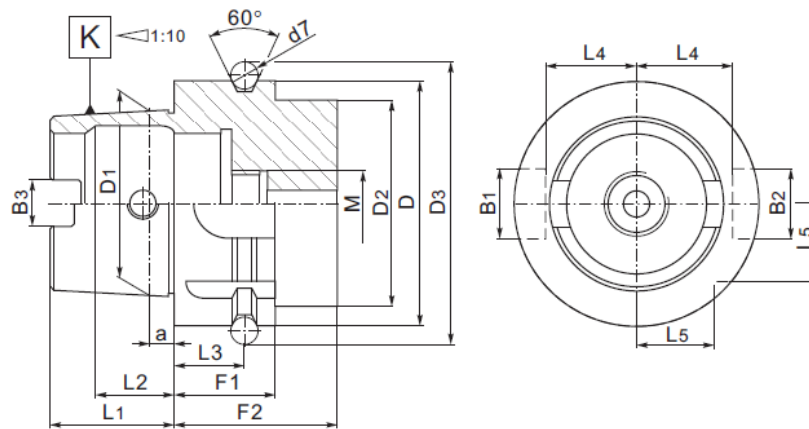


Obr. 71: Srovnání opakované přesnosti klasického ISO a BIG-PLUS nástrojového nosiče [46]

Jako velkou nevýhodou je však nutno uvést malou univerzálnost rozhraní. Nástroje nejsou univerzální, přenositelné na jiné stroje. Jejich přesné lícování je přiřazeno právě vřetenu jednoho stroje. Přesnost lícování negativně ovlivňuje cenu tohoto rozhraní a v kombinaci s nepřenositelností nástroje snižuje jeho atraktivnost a ochotu toto rozhraní na stroj aplikovat.

4.1.2.5 HSK rozhraní

Jedná se o relativně nové rozhraní vyvinuté v Německu. Zkratka HSK „Hohl Schaft Kegel“ nebo anglicky „Hollow Taper Shank“ znamená „dutý kuželový upínač“. Tento překlad naprosto vystihuje realitu. Na rozdíl od výše popsaných rozhraní bylo snahou při vývoji tohoto typu rozhraní dosáhnout co možná nejlepších parametrů jako je tuhost, přenášený kroutící moment, opakovatelná přesnost, a to s menšími rozměry a hmotností nástrojového nosiče než mají ISO, BT nebo CAT. Výsledkem vývoje odborníků zabývajících se komplexně problematikou nástrojových rozhraní a obrábění je právě koncepce HSK, která využívá krátkého dutého kužele. Dutina v nástroji je užitá pro upínací kleštiny, které svým rozepnutím a axiálním posuvem vtáhnou nástroj do vřetene a tím vyvodí dostatečnou upínací sílu. Již na první pohled je zřejmé, že samotná kuželová plocha pro přenos řezných sil v tomto případě nepostačí. Podobně jako BIG-PLUS je u tohoto systému užitou kontaktní plochy příruby nástrojového nosiče a čela vřetene. Dutá kuželová část s relativně velkou poddajností je pak určena pro centrování nástroje a vyvození dostatečné upínací síly.



K _{HSK-A}	D	D1	D2 _{max}	D3	B1	B2	B3	a	d7
63	63	48	53	72,3	18	16	12,54	6,3	7

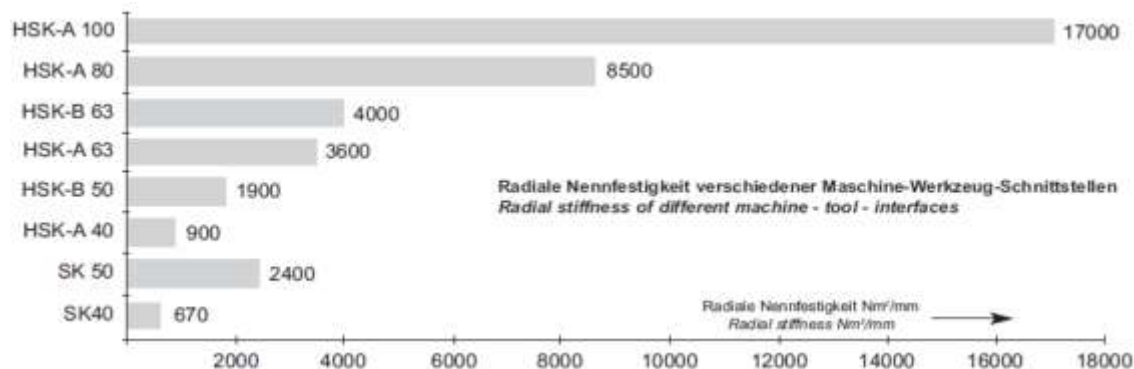
K _{HSK-A}	L1	L2	L3	L4	L5	F1	F2	M
63	32	18,13	18	26,5	20	26	42	M18x1

Obr. 72: Rozměrové parametry HSK 63 [42]

Výhodou tohoto konstrukčního řešení jsou menší nároky na lícování než u BIG-PLUS a tím i HSK rozhraní vykazuje velkou pevnost kontaktu, která zajišťuje velkou

tuhost. Díky kontaktu čelních ploch a větší upínací síle je u tohoto rozhraní dosahováno výrazně vyšší opakovatelné přesnosti upnutí v ose nástroje.

Jelikož se jedná o moderní systém, je počítáno s jeho aplikací na všechny typy obrábění, především pak HSC obrábění. Tomu odpovídá i členění do podskupin, které v normě odlišuje jednotlivé varianty. Tyto se odlišují především maximálními otáčkami a momentem, který mohou přenášet. HSK rozhraní v tomto směru díky vysokému stupni jakosti vyvažování umožňuje HSC obrábění až do 40000 1.min^{-1} .

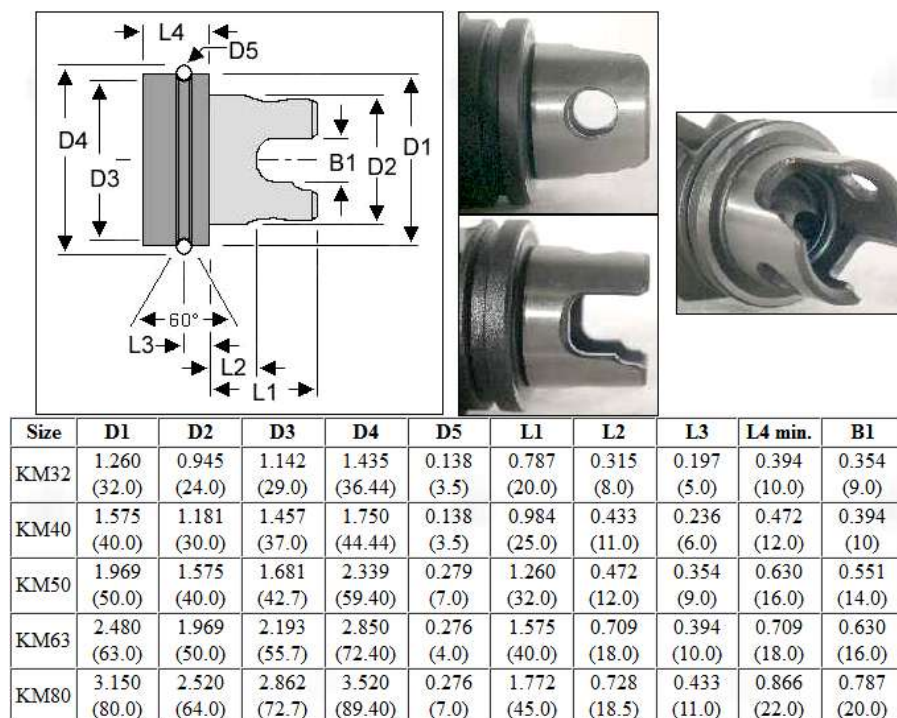


Obr. 73: Porovnání tuhosti nástrojových nosičů HSK a SK [37]

Obr. 73 znázorňuje graf porovnávající radiální tuhost jednotlivých variant HSK a srovnává je s rozhraním SK. Pro upřesnění je nutno dodat, že rozměrově si odpovídají ISO 40 a HSK 63, z toho je tedy patrný významný nárůst tuhosti tohoto rozhraní.

Jako nevýhody je u tohoto rozhraní je možné uvést velkou citlivost na nečistoty, opotřebení a především pak vyšší cenu ve srovnání s ISO, BT nebo CAT rozhraními.

4.1.2.6 Kennametal KM rozhraní



Obr. 74: Rozměrové parametry rozhraní KM [43]

Jedná se o rozhraní velmi podobné HSK jak z hlediska rozměrů, tak i z pohledu principu upínání. Snahou firmy Kennametal bylo vytvořit konkurenční rozhraní, které by poskytovalo ještě lepší parametry než HSK.

Jak již bylo uvedeno výše, rozhraní KM je rozměrově takřka shodné s HSK, hlavní rozdíly těchto rozhraní spočívají především v délce kuželové části, kde je u KM o 20% delší a pak v principu vyvození upínací síly. Systém KM nevyužívá kleštin, ale podobného mechanismu s kuličkami. Dvojice kuliček je mechanismem částečně vytlačena do otvorů v kuželové části nástroje a jejich axiálním posunem je docíleno vyvození upínací síly. Pro KM je užíváno větších upínacích sil než u HSK, a proto vykazují i vyšší ohybovou tuhost, ale to s sebou rovněž přináší i zvýšené nároky na jakost materiálu nástrojového nosiče a rovněž i negativní vlastnosti jako je velká citlivost na nečistoty a opotřebení. Nástrojové rozhraní je rovněž využitelné pro velké spektrum nasazení včetně HSC obrábění.

4.1.2.7 CAPTO

Dalo by se říci, že se jedná o nejmodernější a do značné míry i nejprogressivněji se rozšiřující nástrojové rozhraní. Finální verze tohoto rozhraní byla představena firmou Sandvik Coromant již v roce 1990 na IMTS v Chicagu, ale teprve v nedávné době (2008) bylo rozhraní CAPTO zařazeno do jednotných norem ISO [47].

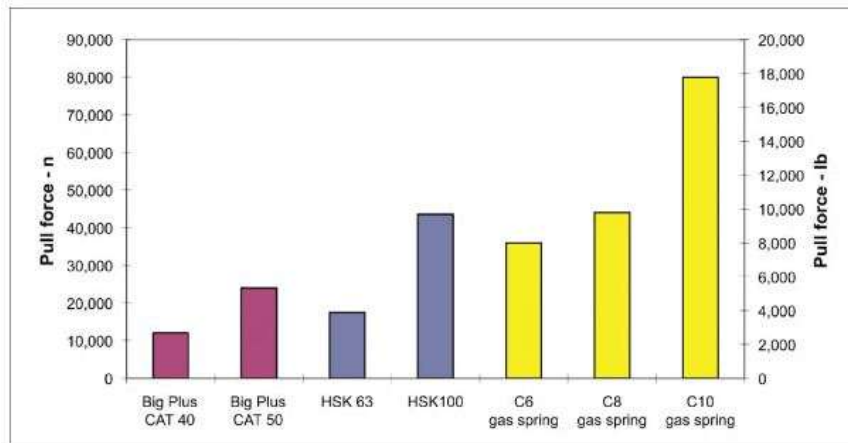
Z hlediska konstrukčního řešení je nutno zmínit, že se jedná o řešení využívající pro přenos kroutícího momentu nejen silové vazby, ale rovněž i tvarového styku nástroje s vřetenem. Stykové plochy s vřetenem jsou podobně jako HSK nebo KM dvě. První je na čele příruby, tedy stejně jako u jiných řešení, ale druhá kontaktní plocha není tvořena klasicky rotační kuželovou plochou, ale trojstěnným polygonem kónického tvaru se strmostí 1/20.

Pro vyvození upínací síly je užíváno podobného kleštinového mechanismu jako u HSK, ale s tím rozdílem, že CAPTO užívá pro upínání pneumatických pružin s větší silou. Viz obr. 75 na němž je znázorněno porovnání velikosti upínací síly pro některá rozhraní. Je tedy zřejmé, že tyto vyšší síly nám zajistí velkou tuhost, opakovatelnou přesnost axiální polohy nástroje a především pak velkou ohybovou tuhost nástrojového nosiče. Toto s sebou přináší i zvýšené požadavky na geometrickou přesnost výroby nástroje, jakost materiálu a v neposlední řadě i požadavky na čistotu rozhraní při upínání.

CAPTO je nabízeno ve velké škále velikostí od C3 až po C10, kde se průměr příruby pohybuje v rozsahu 32 až 100mm. Rovněž je snahou výrobců poskytnout co možná nejucelenější modulární systém, který zajišťuje jeho aplikovatelnost jak na soustružnických, tak i frézovacích centrech. Díky velké tuhosti tohoto rozhraní je možno s využitím redukcí na jiná rozhraní využívat i stávající nástrojové vybavení.

Potenciál tohoto modulárního systému se však projeví v plné míře, až když máme několik strojů s tímto rozhraním. Univerzálnost tohoto rozhraní nám umožní zmenšit počet potřebných nástrojů v inventáři, a to díky tomu, že tyto nástroje mohou pracovat jak na soustružnických, tak i na frézovacích centrech. Navíc nejsou slícovány s vřetenem konkrétního stroje jako je tomu u BIG-PLUS.

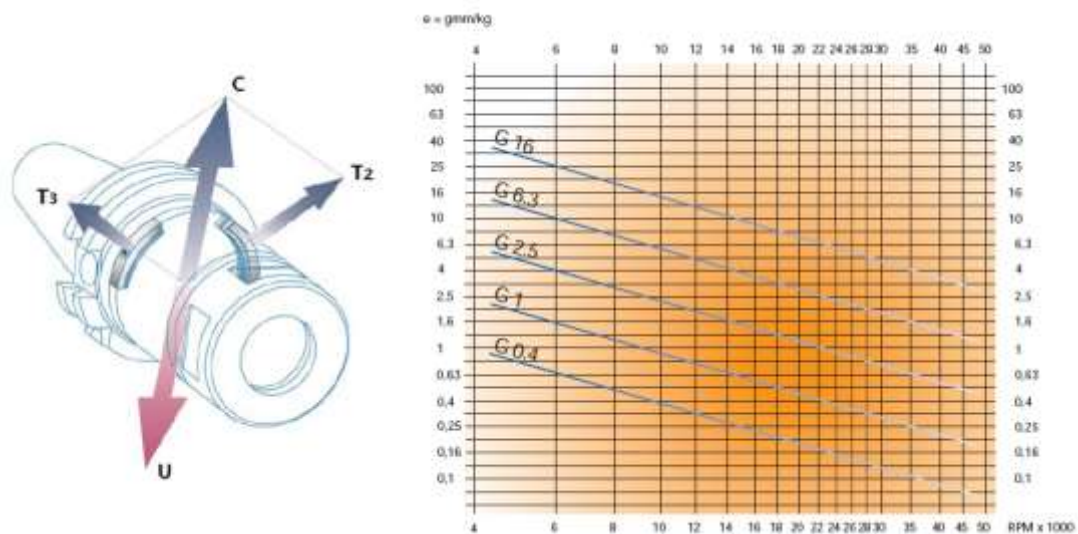
Mezi zásadní nevýhody tohoto rozhraní je třeba uvést velkou náročnost na výrobu jak nástroje, tak i dutiny ve vřetenu, která vyžaduje precizní opracování nerotačních ploch. Na rozdíl od klasických rozhraní s kuželovou upínací plochou, nejsou výrobci obráběcích strojů většinou vybaveni pro výrobu takto složitých a přesných ploch, toto je nutí k externím dodávkám a tedy i závislosti na subdodavatelích.



Obr. 77: Porovnání upínacích sil rozhraní CAPTO s pneumatickým upínáním [38]

4.1.2.8 Vyvažování nástrojů

Dynamické vyvažování můžeme považovat za jednu z velice důležitých operací celého cyklu výroby nástrojových nosičů, protože stupeň jakosti provedení této operace předurčuje oblast využití nástroje.



Obr. 78: Diagram závislosti nevývahy, otáček a jakosti vyvážení viz [35]

Se vzrůstajícími požadavky na rychlost, efektivitu, jakost výrobního procesu jsou kladeny jak na nástroj, tak i na výslednou obrobenou plochu čím dál tím větší požadavky. Mnoho z těchto požadavků lze splnit již samotnou volbou nástroje, rozhraní, nebo konkrétní technologie a to především z hlediska dimenzování. Existují však vlastnosti/parametry, které vyplývají ze samotné podstaty výroby, tedy nepřesnosti výroby, mající za následek vznik negativní působení ovlivňující chování celého procesu obrábění. Ze samotné podstaty všech výrobních technologií vyplývá, že není možné vyrobit geometricky ideální výrobek. Vždy se tu vyskytují házení, nesouososti, zvlnění válcových ploch atd., které způsobují změnu polohy těžiště nástroje. Je rovněž důležité upozornit, že posun těžiště může být způsoben nehomogenitou materiálu, ale ta v těchto případech nemívá tak zásadní vliv.

Posun těžiště oproti ideální ose rotace má za následek vznik dostředivé síly a tím i momentu působícího na rotující nástroj. Ze vztahu (1) pro výpočet dostředivé síly je patrné, že síla roste se čtvercem úhlové rychlosti. Z toho je tedy i patrný význam dynamického vyvažování nástrojů pro HSC obrábění.

$$F_d = m \cdot r \cdot \omega^2 \quad (1)$$

Pro ozřejmení významu zde bude uveden příklad. Nástroj o hmotnosti 5kg, posun těžiště 10 μ m a otáčky A) 40000 1.min⁻¹ pro HSC obrábění B) 4000 1.min⁻¹ pro konvenční obrábění. Po dosazení získáme tyto výsledky budících sil:

$$A) \quad F_d = 877 \text{ [N]}$$

$$B) \quad F_d = 8,7 \text{ [N]}$$

Bezvýznamnost buzení v případě nižších otáček je zřejmá, ale v případě vyšších otáček by tato síla jistě negativně působila na proces obrábění. Tento typ buzení může mít několik zásadních vlivů, a to:

- Odstředivé síly vlivem nevyváženosti zatěžují ložiska vřeteníku (zvýšení opotřebení, větší ztráty, snižování životnosti uložení)
- Jelikož se jedná o harmonické buzení, může dojít k:
 - horší jakost obrobeného povrchu vlivem vibrací od budící síly
 - horší jakost obrobeného povrchu vlivem buzeného kmitání v procesu obrábění
 - nižší životnost nástrojů
 - možnost destrukce nástroje (nebo uštípnutí břitu) vlivem vibrací
 - nižší přesnost výroby
 - vyšší hlučnost výroby

Snahou dynamického vyvažování je provést takový úběr nebo přidání materiálu, který by těžiště opět posunul co nejbližší k ose a tím zamezit nebo výrazně omezit vznik výše popsaných nežádoucích efektů.

Z praktického hlediska je však rovněž nutné zvolit vhodný kompromis mezi zvolenou zbytkovou nevyváhou a praktickými možnostmi rozhraní. Pro názornost poslouží následující příklad.

„Držák pro tepelné upínání HSK 40 s hmotností $m = 300 \text{ g}$ má při otáčkách $n = 60\,000 \text{ min}^{-1}$ stupeň kvality vyvážení $G = 2,5$. Podle vzorce nesmí přípustný zbytkový nevyvážek U činit více než $0,12 \text{ gmm}$. Co tato hodnota znamená, bude zřejmé, když se vypočítá velikost excentricity: excentricita $e = U/m$ je poměr stupně kvality vyvážení k hmotnosti, v tomto příkladu $e = 0,12 \text{ gmm}/300 \text{ g} = 0,0004 \text{ mm}$. Těžiště nástrojového držáku může být v tomto případě posunuto maximálně o $0,4 \text{ }\mu\text{m}$ ze středu.

Každý, kdo se zabývá obráběním kovů, ví, jak obtížně se podobná hodnota dodržuje. Taková přesnost vyvažování je vlastně nesmyslem, protože samotné upnutí ve vřetenu na obráběcím stroji má přesnost sotva vyšší než $1 - 2 \text{ }\mu\text{m}$. Pro přesnost komplexního systému nemá přesnost vyvážení na $0,4 \text{ }\mu\text{m}$ vůbec žádný význam. V reálném pásmu zůstaneme, pokud vycházíme z výstřednosti o hodnotě $2 \text{ }\mu\text{m}$. Přípustná nevyváženost by potom byla $U = 300 \text{ g} \times 0,002 \text{ mm} = 0,6 \text{ gmm}$. To odpovídá stupni kvality vyvážení $G = 12,5$.“ [48]

Z výše uvedeného příkladu je zřejmá problematika týkající se volby stupně jakosti vyvážení G pro nástrojové nosiče. Smysluplnost velmi přesného vyvažování je pouze u rozhraní s velkou opakovatelnou přesností upnutí, což bývá většinou velký problém. Další otázkou je pak vyvažování samotných nosičů bez nástroje. Snahou by však mělo být dosáhnout

- Minimalizaci vibrací a hlučnosti
- Zvýšení jakosti obrábění
- Zvýšení přesnosti obrábění
- Snížení namáhání vřetene
- Zvýšení životnosti ložisek vřetene
- Zvýšení produktivity



Obr. 79: Různé typy vyvažování nástrojů pomocí prstenců a pomocí segmentů

Vyvažování samotných nosičů spočívá v odebírání materiálu na dně drážky pro ATC. Pro vyvažování sestav nástroj – nosič existují speciální úpravy nástrojových nosičů umožňující dovažování buď pomocí dvojice prstenců, nebo pomocí dvojice posuvných segmentů. Tím je umožněno docílit vyvážení sestavy nástroj – nosič bez nutnosti odebírání materiálu. Další problematikou, jejíž řešení je obtížnější, je problém dynamického rozvažování od nárůstku na břitech nebo bublinami v chladicí kapalině proudící kanály v nástroji.

4.1.2.9 Shrnutí problematiky nástrojových rozhraní

Z výše uvedeného je patrné, že velká řada nástrojových rozhraní vznikla již v relativně vzdálené době. Toto s sebou přináší i mnoho negativních vlastností, která vyplývají z diametrálně odlišných současných a dřívějších požadavků. V současnosti hojně pozorovaný trend maximalizace efektivity a minimalizace nákladů vede k zvyšování nároků na stroj, nástroj i další přídatná zařízení. Je požadována co možná největší výkonnost stroje a to někdy i za cenu toho, že se pohybujeme na hranici jeho možností. Právě moderní metody jako je například HSC obrábění zásadním způsobem mění podmínky, pro které byla nástrojová rozhraní konstruována.

V současnosti je požadováno po nástrojovém nosiči mnohem více než dříve. Týká se to především tuhosti, tlumících schopností, geometrické přesnosti, životnosti atd. Tyto požadavky jsou leckdy v rozporu se současnou konstrukcí příslušného rozhraní. Jako příklad je zde možné uvést drážky pro unášecí kameny. Například rozhraní ISO má tyto drážky realizovány nesymetricky (rozdílná hloubka), a to z důvodu jednoznačné orientace nástroje. Tato nesymetrie je však zdrojem prvotní nevyváhy, kterou je nutno eliminovat vyvážením s dostatečným stupněm jakosti. Podobně je tomu i s HSK kuzelem, který má na válcové ploše pro AVN zářez jednoznačně definující jeho orientaci.

Všechny výše popsané požadavky však mají za cíl především minimalizovat možnost vzniku (samo)buzeného kmitání soustavy stroj-nástroj-obrobek. Tento problém je možné v současnosti považovat za velice aktuální a jeho řešením se zabývá mnoho významných institucí.

Z pohledu automatické výměny nástrojů jsou významné především geometrické parametry, hmotnost a poloha těžiště. Z hlediska konstrukce AVN jsou významné geometrické parametry charakterizující stykovou plochu nástroje a manipulátoru, nebo zásobníku. Pro dimenzování jsou pak důležité parametry týkající se především hmotnosti, polohy těžiště a momentů setrvačnosti nástroje.

Z pohledu vývoje nástrojových rozhraní je možné pozorovat jistý posun vpřed. Oproti tomu rozhraní pro AVN je u všech výše popisovaných rozhraní principiálně totožné. Jedinou výjimkou je CAPTO, které má po obvodě příruby nosiče čtveřici drážek.

Z hlediska realizace automatické výměny se ustálilo několik málo řešení. Napichovací způsob (k nástroji převážně šetrnější), bývá realizován dvojicí tvarovaných kleštin/čelistí mezi něž je nástroj přímočarým pohybem zasunut. Při rotaci jsou tyto kleštiny blokovány proti rozevření. Pro zasekávací způsob uchopení nástroje je to především řešení využívající půlkruhového segmentu kopírujícího tvar drážky v přírubě nástrojového nosiče. Nástroj je proti uvolnění zajištěn palcem, který při zasekávání

způsobuje nemalé silové působení na vřeteno. Tato problematika bude popsána v jedné z níže uvedených kapitol. Z měření, která byla provedena je však patrné, že by bylo vhodné vytvořit nová řešení zajišťování nástroje proti uvolnění, které by negativně nepůsobilo na vřeteno. Otázkou je, zda je koncepce stávajícího rozhraní použitelná či nikoliv.



Obr. 80: Zajištění nástroje palcem

Z hlediska vývoje nových typů rozhraní pro AVN je však v tomto směru značný problém. Vývoj nového rozhraní by s sebou přinesl nutnost nového nástrojového vybavení, které by kvůli AVN nebylo kompatibilní se stávajícím vybavením, potažmo stroji. Takovéto řešení by s sebou muselo přinášet výrazné výhody, které by opodstatňovaly takovéto nové řešení, a zajistilo by jeho životaschopnost na trhu s nástrojovými rozhraními.

Jelikož se jedná o poměrně komplexní problematiku, nebude se tato práce dále zabývat řešením nových rozhraní mezi nástrojovým nosičem a manipulátorem AVN, přestože je tento problém velice zajímavý a jeho řešení by mohlo přinést velice zajímavé výsledky.

5 ANALÝZA AVN

5.1 Analýza současného stavu

Na základě shromážděných rešeršních dat, z nichž jsou výše uvedeny pouze některé vybrané informace, je možné provést komplexní analýzu této problematiky. Snahou této analýzy je identifikovat nejrozšířenější skupinu strojů stejného nebo podobného typu, u nichž je AVN aplikována. Snahou je tedy nalézt nejperspektivnější skupiny strojů jak z hlediska možností vývoje, tak i z pohledu uplatnění výsledků této práce. Pro vytipovanou skupinu strojů budou dále identifikovány klíčové parametry a související problémy týkající se automatické výměny nástrojů.

Na základě informací o trhu s frézovacími centry je možné identifikovat nejčtenější skupinu strojů a jejich parametrů:

- stroje především pro kusovou, málo a středně sériovou výrobu
- nejrozšířenější skupinou jsou stroje střední a malé velikosti s vertikální osou vřeteníku a třemi řízenými osami
- typické užití AVN s manipulátorem a zásobníkem, popřípadě u levnějších strojů PICK-UP zásobník
- standardní upínací rozhraní na našem trhu HSK, ISO, CAPTO celosvětově pak i BT, CAT, BIG-Plus,
- počet nástrojů u standardně dodávané AVN mezi 16 a 64 nástroji
- čas výměny nástroje u běžných strojů 2,5 až 6s podle velikosti a hmotnosti nástroje (u nejrychlejších výměn čas okolo 1s)

Z hlediska poznatků získaných z rešerše je možné konstatovat, že skupina frézovacích center díky své poměrně značné univerzálnosti nasazení je především určena pro oblast kusové, málo a středně sériové výroby. Pro oblast velkosériové a hromadné výroby jsou v drtivé většině užívány speciální jednoúčelové stroje (JÚS), převážně založené na modulární koncepci umožňující sestavení JÚS dle konkrétních požadavků zákazníka. Z toho tedy rovněž i plynou zvýšené požadavky na flexibilitu celé skupiny (frézovacích center) jako takové. Tato musí umožnit, rychlou a snadnou změnu výrobního programu s minimálními nároky jak na čas potřebný pro změnu výrobního programu, tak i na potřebné vybavení (přípravky, palety, nástroje, atd.) a tím související dodatečné náklady.

Zaměříme-li se na informace o četnosti jednotlivých typů a velikostí strojů, zjistíme, že nejrozšířenější skupinou jsou stroje střední a malé s vertikálním vřetenem a třemi řízenými osami. I přes to, že většina těchto strojů umožňuje díky doplňkovému příslušenství stroj dovybavit souvisle řízenou vřetenovou hlavou, nebo naklápěcím stolem (kolébkou), pomocí nichž je možno dosáhnout obrábění v 5-ti osách, zůstává skupina strojů s třemi řízenými osami stále nejpočetnější. Tento fakt je dán především jak jistými konvencemi a stereotypy při návrhu geometrie jednotlivých součástí, větší náročností na zručnost a především představitost konstruktéra, který vytváří

geometricky složité prostorové plochy, tak i finanční náročnost z hlediska potřeby 5-ti osého stroje, speciálních nástrojů a času k obrábění. V poslední době je však možné si povšimnout jisté progrese v tomto směru. Do mnoha běžných zařízení jsou implementovány geometricky složité součásti (např. oběžná kola turbodmychadel) a ve spojení s nárůstem nároků kladených na design s sebou přináší zvýšené potřeby na geometrickou složitost součásti nebo formy, a tím jsou výrobci nepřímo nuceni k pořizování strojů s více řízenými osami. Je však nutné podotknout, že pro největší část současné produkce součástí vyráběných na frézovacích centrech jsou nadále tři osy zcela dostačující.

Větší zastoupení strojů s vertikální osou je pak dáno především dvěma hlavními vlastnostmi. U strojů s vertikální osou je axiální síla zachycována přímo stolem a dále je snadné nástrojem dosáhnout polohy roviny stolu. Oproti tomu, stroje s horizontální osou působí axiální silou rovnoběžně se stolem, proto jsou velice často užívány otočné stoly s paletizačním systémem, na který axiální síla již nepůsobí tečně. Rovněž dostupnost pracovního prostoru především v těsné blízkosti pracovního stolu je kvůli rozměrům vřetene rovněž omezená.

Velká frézovací centra, a to jak z hlediska velikosti pracovního prostoru, tak i výkonu vřetene, jsou primárně určena pro obrábění velkých součástí nebo celků, u nichž se předpokládá:

- dlouhý čas pro ustavení obrobku
- velký počet operací na jedno upnutí součásti
- velký počet výměn nástroje
- relativně velký úběr materiálu

Typickými představiteli v této kategorii je výroba velkých součástí skříňového charakteru (skříňe převodovek, bloky motorů, atd.) nebo výroba rozměrných forem pro plastikářský průmysl. Jedná se o obrábění velkých součástí, u níž dochází k velkému úběru materiálu. Během výroby je vystřídáno několik nástrojů jak z důvodu opotřebení, tak i z důvodu realizace jiných technologických operací. Z hlediska požadavků na AVN je však tato skupina strojů relativně málo náročná. Přestože je proveden relativně velký počet výměn nástrojů, celkový čas výroby výrazně převyšuje nad časem nevýrobním spojeným s potřebou výměny nástroje. Z tohoto pohledu je tedy nutno konstatovat, že v této kategorii se vyskytují především AVN s průměrnými až podprůměrnými parametry co se týče rychlosti výměny nástroje. Typickým představitelem této kategorie je AVN s řetězovým popřípadě regálovým zásobníkem s velkým počtem nástrojů, kde hmotnost jednoho nástroje se pohybuje od několika kilogramů až po desítky kilogramů (pro velké frézovací hlavy nebo vyvrtávací tyče). Čas výměny takto hmotných nástrojů se pak pohybuje v rozmezí 5-15s (nástroj-nástroj) podle typu manipulátoru a nástroje. Z výše uvedeného je tedy dostatečně zřejmé, že velká frézovací centra ani jejich zařízení pro automatickou výměnu nástrojů nepatří do oblasti perspektivních progresivně se rozvíjejících oblastí

Je možné si rovněž povšimnout, že pro určité typově shodné skupiny strojů jsou užívána stejná, nebo velice podobná řešení AVN, a to napříč celým spektrem výrobců. Příkladem dokládajícím toto tvrzení jsou velké horizontky, u nichž se takřka

bezvýhradně užívá tzv. "zároháku", tedy kombinace manipulátoru napichovacího typu a zásobníku s osou nástrojů kolmou na osu vřetene. Změnu polohy osy zajišťuje pojezdová dráha manipulátoru, která svým tvarem připomíná tvar písmene „L“.

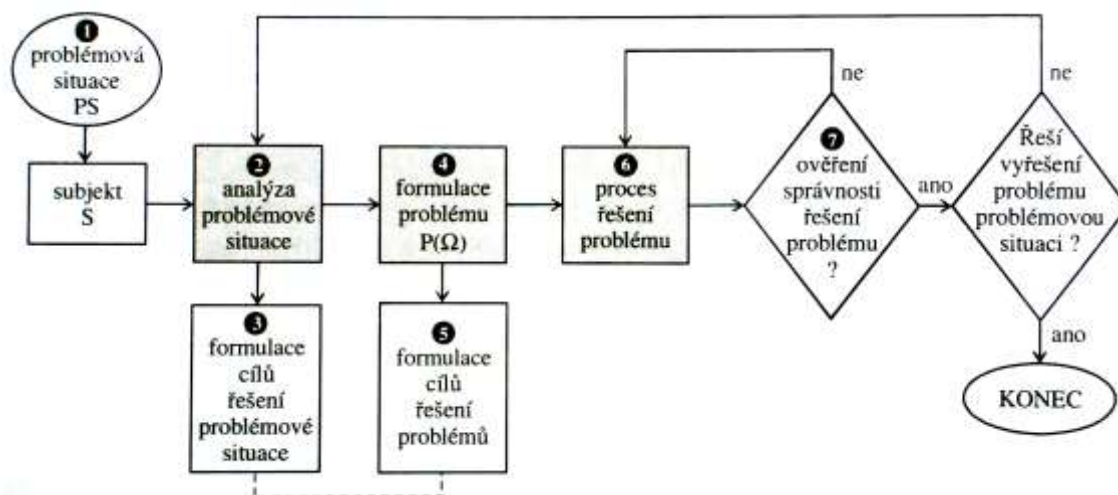
Z rešerše rovněž vyplývá, že volba nástrojové soustavy / systému (HSK, ISO, BT, CAT, BIG-Plus, CAPTO, atd.) pro konkrétní typ stroje představuje důležitý parametr nejen z hlediska automatické výměny nástrojů, ale i z pohledu zaměření stroje. V neposlední řadě je nutno přihlídnout i k pořizovací ceně. Kompletní osazení frézovacího centra nástroji představuje nemalou finanční sumu, která v ceně stroje představuje nezanedbatelnou část.

Z výše uvedeného do značné míry vyplývá, že velmi důležitou a aktuální oblastí pro řešení je komplexní problematika zabývající se oblastí návrhu a řešení manipulátorů realizujících výměnu nástrojů. Snahou by mělo být navrhnout koncepčně nové řešení zajišťující potenciál i do budoucna a zároveň zpřístupnit tuto oblast i pro firmy, které nedisponují technologií pro výrobu jak radiálních, tak i globoidních vaček. Tato práce se tedy bude dále zabývat především řešením jednoúčelových manipulátorů realizujících automatickou výměnu nástrojů.

5.2 Systémová analýza problematiky AVN

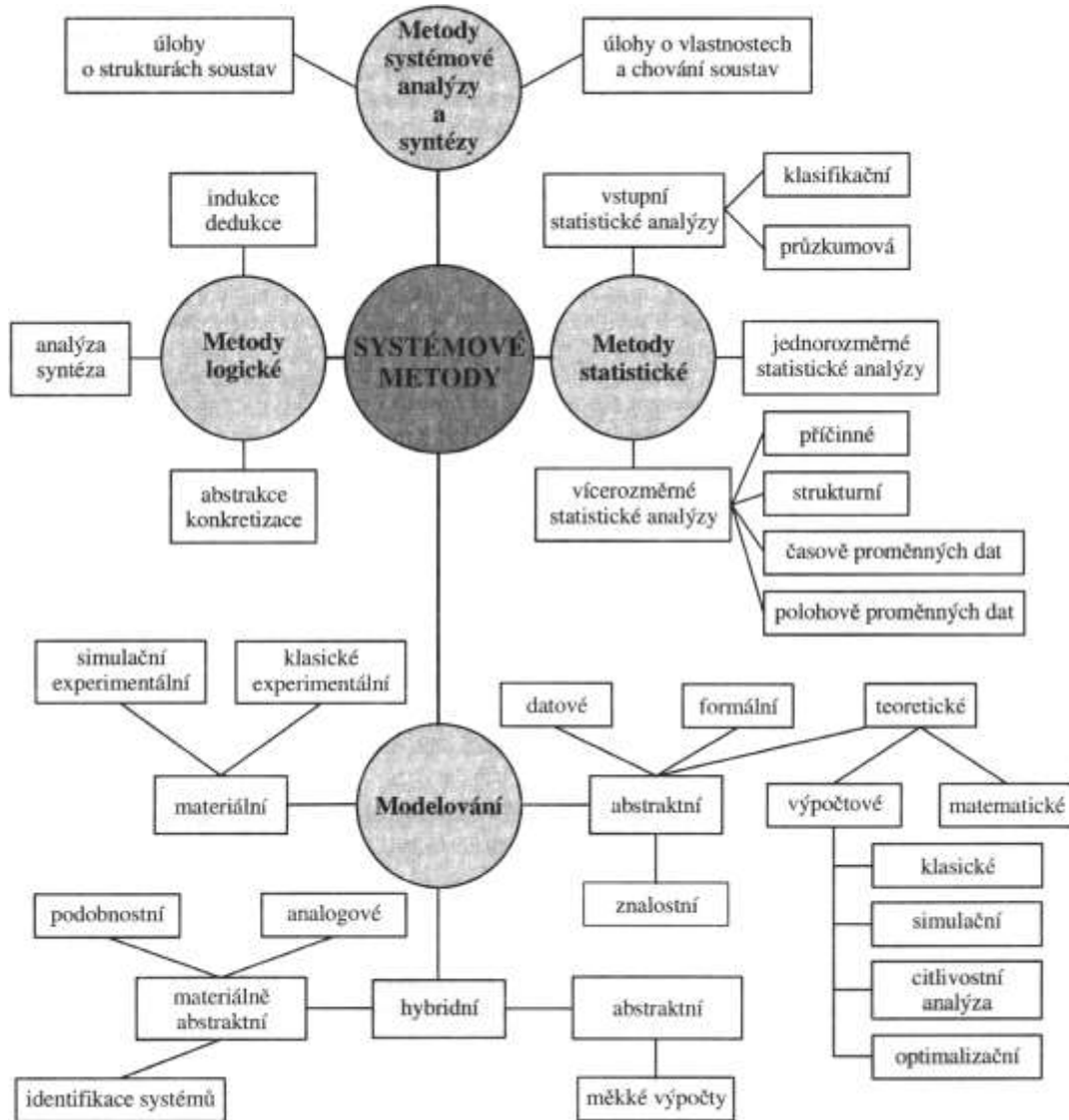
Důkladný rozbor a pečlivě provedená systémová analýza je jedním ze základních kamenů, jež nám umožní správně problém definovat a tím ho úspěšně řešit. Umožňuje nám komplexně postihnout danou problematiku při zachování srozumitelnosti a struktury celého systému na dané rozlišovací úrovni.

Obr. 81 popisující proces řešení problémové situace názorně dokládá důležitost procesu analýzy problémové situace. Správnost provedení této analýzy ovlivňuje jak formulaci samotného systému $\Sigma(\Omega)$, tak i problému $P(\Omega)$. Správnost těchto počátečních etap řešení problémové situace však zásadním způsobem ovlivňují proces řešení a tím i relevantnost získaných výsledků. Nesprávná počáteční formulace problému nás tedy může zavést k řešení, které neřeší problémovou situaci. Je tedy žádoucí se soustředit na tyto počáteční etapy ve snaze docílit takového formulování problému $P(\Omega)$, který povede k vyřešení problémové situace. Je tím většinou docíleno jak časových, tak i především finančních úspor.



Obr. 81: Struktura procesu řešení problémové situace [3]

Systémová analýza a syntéza představují komplexní nástroj sloužící k důkladnému rozboru problémové situace reálného nebo abstraktního objektu, a to za pomoci algoritmizovaných a formalizovaných metod.



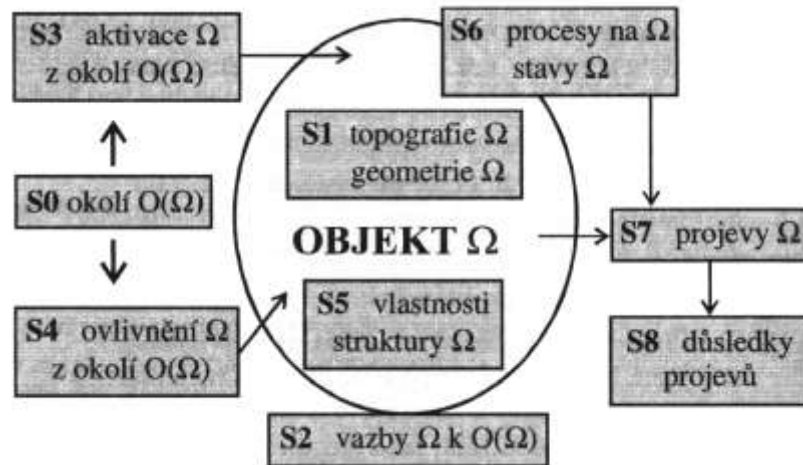
Obr. 82: Struktura systémových metod [3]

Na základě výše uvedeného je zřejmé, že prvním krokem řešení je formální vytvoření systému $\Sigma(\Omega)$, který bude v našem případě představovat abstraktní objekt tvořený jednotlivými prvky a systémem podstatných veličin. Je nutné si nejdříve ujasnit, které objekty budou v systému $\Sigma(\Omega)$ obsaženy a v návaznosti na to definovat systémem podstatných veličin.

Pro analýzu si je tedy možné vybrat skupinu zařízení, která představují typická řešení. Na základě nich budou vytipovány hlavní prvky systému $\Sigma(\Omega)$, pro něž bude sestaveno blokové schéma a dále pak bude provedena systémová analýza. Jako typické představitele AVN u frézovacích center, jak již bylo zmíněno výše, je zařízeními pro automatickou výměnu nástrojů skládající se ze zásobníku (s kruhovým nebo obecným pohybem) a manipulátoru (nejčastěji zasekávacího typu). Pro tuto koncepci bude

sestaveno zmiňované jednoduché blokové schéma popisující základní vzájemné vazby mezi prvky tohoto systému.

Systém je rovněž nutné vytvořit jako obecný a otevřený, sloužící jak pro predikci a identifikaci jednotlivých veličin, tak i sloužící pro samotný proces jeho vývoje a konstrukce. Hlubší pochopení jednotlivých vazeb, veličin a především celkové struktury nám umožňuje realizovat úspěšně vývojový proces při současném zachování všech požadavků na řešení daného problému.



Obr. 83: Podmnnožiny veličin Systému veličin $\Sigma(\Omega)$ [3]

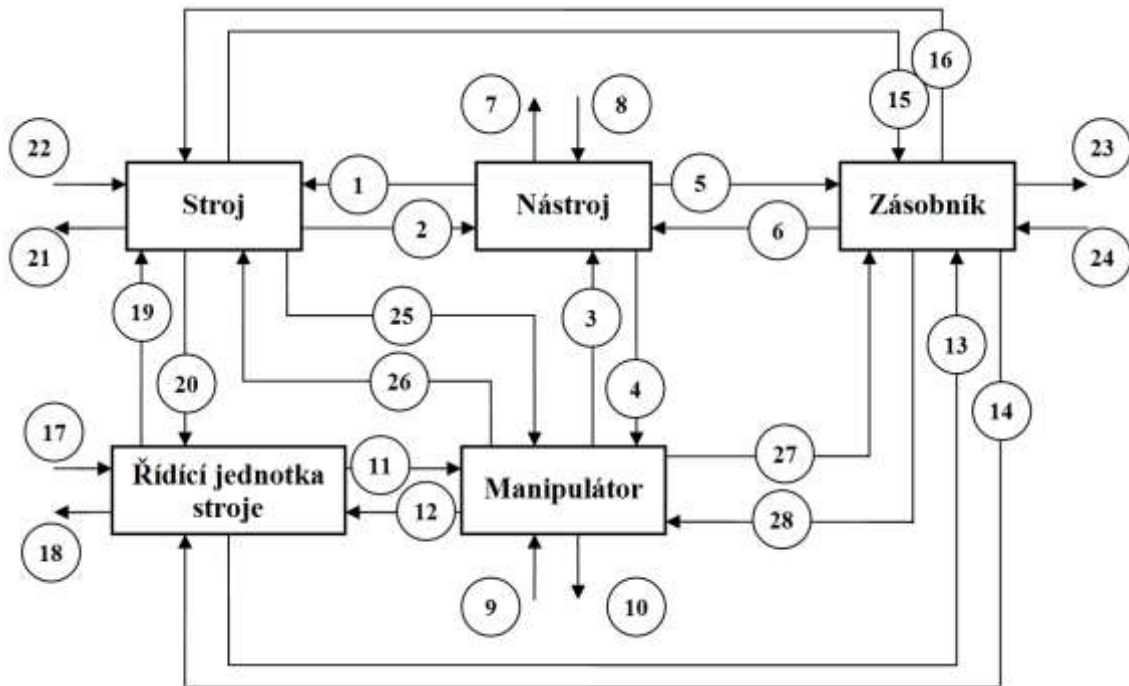
Definice podmnnožin systému podstatných veličin [3]

Podmnnožiny $\{S_j\}$ vytváří tuto soustavu:

- *Podmnnožina S0* – obsahuje veličiny v_0 , popisující prvky okolí objektu; jsou to tzv. *environmentální veličiny*.
- *Podmnnožina S1* – veličiny v_1 komplexně popisují *objekt*, tj. *strukturu objektu, rozmístění (topologii; topografii) prvků* objektu v prostoru a *geometrii* těchto prvků – lze je proto označit jako *objektové veličiny*.
- *Podmnnožina S2* – její veličiny v_2 popisují *podstatné vazby* objektu s jeho okolím $O(\Omega)$ a na nich probíhající *interakce*, resp. vazby mezi jednotlivými podobjekty, na něž je objekt dekomponován. Popsat podstatné vazby vyžaduje vymezit i *podstatné prvky okolí objektu*. Tyto veličiny lze označit jako *vazbové veličiny*.
- *Podmnnožina S3* – patří do ní ty veličiny v_3 , které vyjadřují takovou *aktivaci* objektu Ω z jeho okolí, která na objektu vyvolává procesy. Veličiny v_3 lze označit jako *aktivační veličiny* nebo taky podněty či přičiny.
- *Podmnnožina S4* – tato podmnnožina obsahuje veličiny v_4 , které působí z okolí na objekt a ovlivňují na něm probíhající procesy – lze je označit jako *ovlivňující veličiny*.
- *Podmnnožina S5* – patří sem veličiny v_5 vyjadřující *vlastnosti prvků struktury* objektu, na němž se řeší problém. Mohou to být vlastnosti geometrické, strukturní, fyzikální, fyzikální, mechanické, technologické, přičemž jednotlivá vlastnost může být vyjádřena i několika charakteristikami. Lze je nazvat jako *strukturně-vlastnostní veličiny*. *Poznámka:* geometrické veličiny mohou být popsány i v podmnnožině S1.
- *Podmnnožina S6* – obsahuje veličiny v_6 popisující *procesy* probíhající na struktuře objektu, uvádějící objekt do různých *stavů*, odlišných od stavů počátečních. Jsou to *procesní veličiny* a *stavové veličiny*. Oboje se obvykle dávají do jedné podmnnožiny, protože je mezi nimi úzká souvislost – stavy jsou důsledky procesů.
- *Podmnnožina S7* – patří sem veličiny v_7 vyjadřující *projevy (chování) objektu*, které odpovídají stavům, do nichž se objekt dostal tím, že na objektu proběhly určité procesy. Lze je označit jako *projevové veličiny*.
- *Podmnnožina S8* – zahrnuje veličiny v_8 popisující *důsledky projevů* objektu na jeho okolí nebo na něho samého. Pro tyto veličiny lze použít název *důsledkové veličiny*.

5.2.1 Obecné blokové schéma systému

Blokové schéma znázorňuje systém $\Sigma(\Omega)$ s jednotlivými objekty a vazbami, které se vyskytují v reálné soustavě. Tento systém bude níže popsán z hlediska systému vazbových veličin, kde bude rovněž řešeno, které vazby jsou pro řešení problému $P(\Omega)$ podstatné a které nikoliv.



Obr. 84: Zjednodušené schéma systému AVN

5.2.2 Environmentální veličiny –S0

Pro řešený systém není třeba definovat složitou strukturu objektu okolí $O(\Omega)$. V našem případě bude zcela postačující představa jednoho abstraktního objektu mající vlastnosti všech okolních objektů (vzduch, slunce, hala, kde zařízení stojí, atd.) a projevujícího se veličinami $S3$ a $S4$.

5.2.3 Objektové veličiny – S1

Objektové veličiny představují abstraktní reprezentaci fyzických částí soustavy Ω , které již záměrně dále nedělíme, a to z důvodu zachování jednoduchosti a srozumitelnosti celé soustavy. Pro danou konkrétní aplikaci je třeba zvolit vhodnou rozlišovací úroveň s níž budeme daný systém zkoumat a na jejímž základě budou identifikovány jednotlivé objekty systému.

Typický systém s AVN se skládá z následujících objektových veličin:

- stroje (mechanická část stroje)
- nástroj
- manipulátor

- zásobník
- řídicí systém stroje (řídicí část stroje)

Tento systém byl však oproti reálné soustavě redukován o prvky z hlediska řešení daného problému nepodstatné. Do systému nejsou tedy zahrnuty objekty, které nemají přímou vazbu s některou z částí AVN jako např. obrobek, technologická paleta, atd., nebo neovlivňují funkce a procesy s automatickou výměnou přímo související.

Z hlediska dalšího obsahu této kategorie jako je struktura, topologie atd. není možné toto definovat, jelikož se jedná o dílčí části řešeného problému $P(\Omega)$. Pro prvky, které nejsou předmětem řešení však lze definovat významné parametry (topologie stroje – spíše koncepčně, typ řídicího systému, typ nástroje a rozhraní, počáteční teplota nástroje, atd.)

5.2.4 Vazbové veličiny – S2

Tato skupina zahrnuje jak vazby mezi objektem Ω a okolím $O(\Omega)$, ale i vazby mezi jednotlivými podobjekty, na které je možno objekt dekomponovat. Vazbové veličiny jsou následující 1 až 6, 11 až 16, 19, 20, 25 až 28 (významnost / podstatnost jednotlivých vazeb pro další řešení bude označena symbolem ▲ - pro podstatnou vazbu a symbolem ▼ - pro nepodstatnou vazbu):

1. Působení nástroje na stroj (vřeteník)
 - tvarová vazba: tvar upínací části nástroje definuje tvar dutiny ve vřetenu ▼
 - silová vazba: upnutý nástroj je stále vtahován do kužele a tím vyvolává silové působení nástroje na vřeteno ▼, tíhová síla nástroje působící na vřeteno (vyosením těžiště vzniká i moment) ▼, setrvačné síly nástroje působí na vřeteník ▼
 - energetická vazba: nástroj je ohřátý od obrábění a předává tepelnou energii vřetenu ▼
 - polohová vazba: poloha nástroje v manipulátoru definuje polohu stroje (vřetene) pro výměnu nástroje ▲, nepřesnost při polohování manipulátoru, který nese / uchopuje nástroj, může vést k potížím při výměně ▲
2. Působení stroje (vřeteníku) na nástroj
 - tvarová vazba: geometrie stroje a dutiny ve vřetenu ovlivňuje polohu nástroje ▲, zajištění polohy pomocí dosedacích kamenů ▲
 - silová vazba: nástroj je silou vtahován do vřetene ▲, vřeteno působí reakcí na tíhovou sílu nástroje a na moment způsobený vyosením těžiště ▼, stroj působí hnací silou na nástroj (při najíždění do polohy pro výměnu) ▼
 - energetická vazba: vřeteno předává tepelnou energii nástroji ▼
 - polohová vazba: vřeteno plní funkci C osy, a jelikož je poloha nástroje přesně definovaná pomocí unášecích kamenů, je poloha nástroje definovaná natočením vřetene ▲, poloha samotného vřetene pak definuje polohu nástroje v prostoru (v osách x, y a z) ▲, nepřesnost polohování vřetene může způsobit potíže při výměně nástroje ▼

3. Působení manipulátoru na nástroj

- tvarová vazba: nástroj je uchycen v manipulátoru pomocí tvarového lůžka ▲, nástroj je v manipulátoru zajištěn proti uvolnění palcem, který se při pohybu aretuje (zabraňuje vypadnutí nástroje při výměně) ▲, určité konstrukční parametry manipulátoru ovlivňují tvar nástroje ▲
- silová vazba: manipulátor působí reakcí proti tíhové síle nástroje ▲, manipulátor působí na nástroj hnací silou ▲, palec tlačí na nástroj a tím ho drží ve správné poloze ▲
- energetická vazba: manipulátor předává svoji tepelnou energii nástroji ▼
- polohová vazba: konstrukce manipulátoru ovlivňuje dráhu (změnu polohy v čase) nástroje při výměně ▲ nepřesnost polohování manipulátoru (polohy pro výměnu nástroje) negativně ovlivňuje polohu nástroje a může způsobit potíže ▲

4. Působení nástroje na manipulátor

- tvarová vazba: tvar části nástroj sloužící pro manipulace definuje tvar upínací části ramene manipulátoru ▲ rozměry nástroje (především upínací části) určují některé geometrické vlastnosti manipulátoru ▲
- silová vazba: upnutý nástroj působí tíhovou silou na manipulátor (vznik momentu vyosením těžiště) ▲, setrvačné síly nástroje působí na manipulátor ▲
- energetická vazba: nástroj předává svoji tepelnou energii manipulátoru ▼
- polohová vazba: poloha nástroje pro výměnu je dána polohou vřetene ▲, poloha nástroje pro výměnu je dána polohou zásobníku ▲, poloha nástroje v zásobníku určuje některé geometrické vlastnosti manipulátoru ▲, poloha nástroje ve vřetenu určuje některé geometrické vlastnosti manipulátoru ▲, nepřesnost polohy nástroje v zásobníku nebo vřetenu může vést k potížím při výměně ▲

5. Působení nástroje na zásobník

- tvarová vazba: tvar lůžka zásobníku je definován tvarem upínací části nástroje ▲
- silová vazba: tíhová síla nástroje působí na zásobník (vyosení těžiště způsobuje i moment) ▲, nástroj je vtahován do lůžka nástrojového držáku a působí tudíž na něj silou (tato síla se mění při výměně) ▲, při pohybu zásobníku působí na lůžko setrvačné síly od nástroje ▲
- energetická vazba: nástroj předává zásobníku tepelnou energii ▼
- polohová vazba: nástroj má při zasouvání do zásobníku přesně definovanou polohu manipulátorem ▲, nepřesnost polohování manipulátoru, který drží / uchopuje nástroj, může způsobit potíže při zasouvání nástroje do zásobníku ▲

6. Působení zásobníku na nástroj

- tvarová vazba: tvar a geometrie zásobníku určuje polohu nástroje ▲

- silová vazba: zásobník působí reakční silou proti tíhové síle nástroje (reakce vyrovnává moment, který je vyvolán vyosení těžiště nástroje) ▲ , nástroj je vtahován do lůžka silou ▲ , zásobník působí na nástroj reakční silou vyvolanou dosednutím dosedacích ploch do lůžka ▲ , zásobník působí na nástroj hnací silou ▲
 - energetická vazba: zásobník předává nástroji tepelnou energii ▼
 - polohová vazba: zásobník má při výměně nástroje přesně definovanou polohu vůči nástroji v manipulátoru ▲ , nepřesnost polohování zásobníku, který drží / uchopuje nástroj, může vést k potížím při výměně ▲
11. Působení řídicího systému na manipulátor
- informační vazba: řídicí systém posílá příkazy manipulátoru, aby provedl výměnu ▲
12. Působení manipulátoru na řídicí systém
- informační vazba: manipulátor předává informace řídicímu systému o průběhu a ukončení výměny nástroje ▲
13. Působení řídicího systému na zásobník
- informační vazba: řídicí systém dává povel zásobníku, aby se natočil / posunul do správné polohy ▲
14. Působení zásobníku na řídicí systém
- informační vazba: zásobník pomocí signálů ze snímačů informuje řídicí systém o aktuálním stavu a vykonání požadované operace ▲
15. Působení stroje na zásobník (v některých případech)
- tvarová vazba: stroje je pevně spojen se zásobníkem ▲
 - silová vazba: přenášení vibrací ze stroje na zásobník ▲ , nepřesnost upnutí zásobníku ke stroji způsobuje deformaci a napětí v některých částech zásobníku ▲ , stroj působí silou proti tíže zásobníku ▼
 - energetická vazba: zásobník je ohříván přestupem tepelné energie ze stroje ▲
 - polohová vazba: poloha zásobníku je definována vůči stroji ▲
16. Působení zásobníku na stroj (v některých případech)
- tvarová vazba: zásobník je pevně spojen se strojem ▲
 - silová vazba: přenášení vibrací ze zásobníku na stroj ▲ , nepřesnost upnutí zásobníku ke stroji způsobuje deformaci a napětí v některých částech stroje ▼ setrvačné síly zásobníku působí na stroj ▲ , tíhová síla zásobníku působí na stroj ▲
 - energetická vazba: stroj je ohříván přestupem tepelné energie ze zásobníku ▼
 - polohová vazba: uspořádání a koncepce stroje ovlivňuje polohu a typ zásobníku ▲
19. Působení řídicího systému na stroj

- informační vazba: řídicí systém dává povely o poloze stroji ▲
20. Působení stroje na řídicí systém
- informační vazba: stroj informuje řídicí systém o současné poloze a stavu stroje ▲
25. Působení stroje na manipulátor (u některých variant)
- tvarová vazba: stroj je pevně spojen s manipulátorem ▲
 - silová vazba: přenášení vibrací ze stroje na manipulátor ▲, nepřesnost upnutí manipulátoru ke stroji způsobuje deformaci a napětí v některých částech manipulátoru ▲, stroj působí silou proti tíze manipulátoru ▼
 - energetická vazba: manipulátor je ohříván přestupem tepelné energie ze stroje ▲
 - polohová vazba: poloha manipulátoru je definována vůči stroji ▲
26. Působení manipulátoru na stroj (u některých variant)
- tvarová vazba: manipulátor je pevně spojen se strojem ▲
 - silová vazba: přenášení vibrací z manipulátoru na stroj ▲, nepřesnost upnutí manipulátoru ke stroji způsobuje deformaci a napětí v některých částech stroje ▼, setrvačné síly manipulátoru působí na stroj ▲, tíhová síla manipulátoru působí na stroj ▲
 - energetická vazba: stroj je ohříván přestupem tepelné energie z manipulátoru ▲
 - polohová vazba: uspořádání a koncepce stroje ovlivňuje polohu a typ manipulátoru ▲
27. Působení manipulátoru na zásobník (u některých variant)
- tvarová vazba: manipulátor může tvořit se zásobníkem jeden funkční celek, z čehož vyplývá i nutnost upevnění funkčního uzlu manipulátoru k zásobníku. Toto vyžaduje vzájemnou tvarovou kompatibilitu ▲. Nekvalitní provedení stykové plochy může způsobit nežádoucí deformace komponent zásobníku ▲.
 - silová vazba: tíhová síla manipulátoru a ostatní síly vzniklé při dějích automatické výměny nástrojů (týkající se manipulátoru) mohou v případě vzájemného styku manipulátoru a zásobníku negativně ovlivňovat funkci zásobníku ▲.
 - energetická vazba: tepelná energie manipulátoru může být předávána zásobníku (v případě jejich přímé vazby) ▼
 - polohová vazba: geometrické rozměry a uspořádání manipulátoru ovlivňuje výslednou polohu jeho umístění ve vztahu k zásobníku ▲
28. Působení zásobníku na manipulátor
- tvarová vazba: manipulátor může tvořit se zásobníkem jeden funkční celek, z čehož vyplývá i nutnost upevnění funkčního uzlu manipulátoru k zásobníku. Toto vyžaduje vzájemnou tvarovou kompatibilitu ▲. Nekvalitní provedení stykové plochy může způsobit nežádoucí deformace komponent zásobníku ▲.

- silová vazba: v převážné většině případů zásobník působí na manipulátor pouze reakčními silami vyvolanými jak tíhovou silou manipulátoru, tak i ostatními silami vzniklými při dějích automatické výměny nástrojů (týkající se manipulátoru), mohou v případě vzájemného styku manipulátoru a zásobníku negativně ovlivňovat funkci manipulátoru ▲ . Funkce manipulátoru může být rovněž ovlivňována vibracemi a rázy vzniklými při procesu zakládání nástroje do zásobníku, nebo procesem přípravy nástroje v zásobníku (rotace nástrojů) ▲ .
- energetická vazba: tepelná energie zásobníku může být předávána manipulátoru (v případě jejich přímé vazby) ▼
- polohová vazba: geometrické rozměry a uspořádání manipulátoru ovlivňuje výslednou polohu jeho umístění ve vztahu k zásobníku ▲

5.2.5 Aktivační veličiny – S3

Tyto veličiny působí z okolí $O(\Omega)$ na objekt Ω , kde vyvolávají procesy. Jedná se tedy o podněty či příčiny těchto vyvolaných procesů. Akční veličiny představují vazby nebo funkce, na základě jejichž vyvolání nebo aktivování je docíleno spuštění celého procesu, tedy v našem případě procesu výměny nástroje. Z hlediska standardních možností systémů užívaných strojů jsou akční veličiny následující:

- informační vazba: ruční zadání povelu (operátora pomocí klávesnice) pro výměnu nástroje ▲
- informační vazba: automaticky generovaný povel (řídícím systémem) pro výměnu nástroje ▲
- informační vazba: stroj připojen na síť, ovládání pomocí vzdálené správy ▲
- energetická vazba: dodávání el. energie do systému ▲

Dalším komplexním prvkem okolí $O(\Omega)$ vyvolávajícím aktivační veličiny je člověk a jeho působení. Jeho konáním může dojít k aktivaci např. bezpečnostních kontaktů, zmáčknutí centrálního STOP tlačítka, atd. Z hlediska dostupnosti bývá v tomto směru nejchoulostivější stroj a následně pak zásobník AVN. V tomto směru se však jedná spíše o nežádoucí aktivační veličiny, které je nutno pokud možno eliminovat ▼.

5.2.6 Ovlivňující veličiny – S4

Jedná se o veličiny, které působí z okolí $O(\Omega)$ na objekt Ω , a tímto působením ovlivňují procesy probíhající na tomto objektu. Je možné sem zahrnout veličiny vyznačené na obr. 84 čísly 8, 9, 22, 24 :

Působení okolí na řídicí systém

- energetická vazba: dodávání el. energie do systému ▲

Působení okolí na nástroj

- energetická vazba: zahřívání nástroje přestupem a zářením tepelné energie ▼

- silová vazba: okolí působí na nástroj tíhovým zrychlením ▲

Působení okolí na manipulátor

- tvarová vazba: u některých variant – základ pevně spojen s manipulátorem ▲
- silová vazba: přenášení vibrací z okolí na manipulátor ▲, u některých variant - nepřesnost upnutí manipulátoru k základu způsobuje deformaci a napětí v některých částech zásobníku ▲, u některých variant – silová vazba mezi základem a manipulátorem ▼
- energetická vazba: manipulátor je ohříván (přestupem a zářením tepelné energie) ▼
- polohová vazba: u některých variant - poloha manipulátoru je definována vůči základu ▲

Působení okolí na stroj

- tvarová vazba: základ je pevně spojen se strojem ▼
- silová vazba: přenášení vibrací z okolí na stroj ▲, nepřesnost upnutí stroje k základu způsobuje nepřesnosti a napětí v některých částech stroje ▼, silová vazba mezi základem a strojem ▼
- energetická vazba: stroj je ohříván (přestupem a zářením tepelné energie) ▼
- polohová vazba: poloha stroje je definována vůči základu ▲

Působení okolí na zásobník

- tvarová vazba: u některých variant – základ je pevně spojen se zásobníkem ▲
- silová vazba: přenášení vibrací z okolí na zásobník ▲, u některých variant - nepřesnost upnutí zásobníku k základu způsobuje deformaci a napětí v některých částech zásobníku ▲, u některých variant – silová vazba mezi základem a zásobníkem ▼
- energetická vazba: zásobník je ohříván (přestupem a zářením tepelné energie) ▲
- polohová vazba: u některých variant - poloha zásobníku je definována vůči základu ▲

Ostatní ovlivňující veličiny

- okolní teplota ▲
- frekvence výměny nástrojů ▲
- typ stroje (vertikální, horizontální) ▲
- požadavky zákazníka na počet nástrojů ▲
- výrobní možnosti pro realizaci projektu ▲
- finanční možnosti ▲

Na závěr popisu ovlivňujících vazbových vztahů objektů systému je rovněž nutno zdůraznit, že veškeré vazby, vyjma výstupních vazeb řídicí jednotky stroje, mohou působit ve formě nečistot, a to jak pevných částic, tak i kapalin. Jedná se o nečistoty jak

z okolí stroje, tak především o nečistoty vzniklé při samotném výrobním procesu (třísky, zbytky řezné kapaliny, atd.). Zohlednění jejich přítomnosti při návrhu a realizaci spolehlivé funkce AVN se jeví jako velice důležité a je ho pro další práci nutné brát v potaz ▲.

5.2.7 Strukturně-vlastnostní veličiny – S5

Strukturně – vlastnostní veličiny popisují geometrické, strukturní, fyzikální, mechanické, technologické atd. vlastnosti Ω . V našem případě, kdy se jedná zatím pouze o abstraktní systém, není možné tyto veličiny blíže specifikovat.

5.2.8 Procesní a stavové veličiny – S6

Jedná se o procesy probíhající na struktuře objektu, uvádějící objekt do různých stavů, rozdílných od stavu výchozího. Z hlediska řešení problému automatické výměny nástrojů je možné identifikovat dva nejdůležitější komplexní procesy. Jedná se o proces výměny nástroje realizovaného manipulátorem a proces vychystání nástroje zásobníkem. Tyto procesy v sobě zahrnují komplex dílčích podprocesů počínaje aktivací pohonů a realizací jednotlivých dílčích pohybů, realizaci uchopení nástroje, atd. až po zaparkování do výchozí polohy. Právě tyto podprocesy a způsob jejich realizace jsou do jisté míry velkou částí řešení hledaného problému $P(\Omega)$.

5.2.9 Projevové veličiny – S7

Tyto veličiny popisují projevy Ω , tedy charakterizují parametry objektu Ω při změně stavu, který byl vyvolán procesy S6. Pro náš případ se jedná především o celkovou rychlost výměny nástroje, rychlosti a zrychlení jednotlivých pohybů/uzlu, energetickou náročnost procesu výměny, velikost opotřebení komponent, spolehlivost výměny atd.

5.2.10 Důsledkové veličiny – S8

Jedná se o veličiny popisující důsledky, probíhající procesů na objektu Ω , na okolí $O(\Omega)$. Je možné sem zahrnout veličiny vyznačené na obr. 84 čísly 7, 10, 18, 21, 23:

Působení nástroje na okolí

- energetická vazba: nástroj vyzářuje tepelnou energii do okolí ▼

Působení manipulátoru na okolí

- tvarová vazba: u některých variant – základ pevně spojen s manipulátorem ▲
- silová vazba: přenášení vibrací z okolí na zásobník ▲, u některých variant - nepřesnost upnutí zásobníku k základu způsobuje deformaci a napětí v některých částech zásobníku ▲, u některých variant – silová vazba mezi manipulátorem a základem ▼
- energetická vazba: náhony manipulátoru vyzářují tepelnou energii do okolí ▼, odvod tepelné energie přestupem do okolí ▼

- polohová vazba: u některých variant - poloha zásobníku ovlivňuje okolí (prostorové uspořádání stroje a periferii) ▲

Působení řídicího systému na okolí

- informační vazba: systém může informovat okolí o provedení výměny nástroje ▲, systém může informovat o počtu a typu osazených nástrojů ▲

Působení stroje na okolí

- tvarová vazba: stroj je pevně ukotven k základu ▼
- silová vazba: stroj působí hmotností na základ ▼, vibrace přenášené ze stroje na základ a jiné komponenty ▲
- energetická vazba: ze stroje se uvolňuje tepelná energie zářením a přestupem ▼
- polohová vazba: poloha stroje ovlivňuje okolí (prostorové uspořádání kvůli zastavěnému místu) ▼

Působení zásobníku na okolí

- tvarová vazba: u některých variant – základ je pevně spojen se zásobníkem ▲
- silová vazba: přenášení vibrací z okolí na zásobník ▲, u některých variant - nepřesnost upnutí zásobníku k základu způsobuje deformaci a napětí v některých částech zásobníku ▲, u některých variant - základ působí silou proti tíze zásobníku ▼
- energetická vazba: náhony zásobníku vyzařují tepelnou energii do okolí ▼, odvod tepelné energie přestupem do okolí ▼
- polohová vazba: u některých variant - poloha zásobníku ovlivňuje okolí (prostorové uspořádání stroje a periferii) ▲

5.3 Nástrojová rozhraní

Nástrojová rozhraní představují velice důležitý element svojí geometrií ovlivňující jak geometrii, tak leckdy i kinematiku zařízení pro automatickou výměnu nástrojů. Standardně užívaná rozhraní byla v dostatečné míře popsána v kapitole 4.1.2, kde je rovněž uvedeno, že jakékoliv případné změny by vedly ke zpětné nekompatibilitě a tedy i k velké nechuti nový typ rozhraní používat. Snahou tedy musí být navrhnout řešení pro stávající rozhraní.

5.4 Rozbor možných typů a uspořádání AVN

Obsahem této části práce je analýza prostorového uspořádání klíčových prvků, kterými jsou v tomto případě nástrojové držáky s nástroji a zároveň analýza kinematiky jednotlivých procesů vedoucích k realizaci AVN.

V první řadě je tedy nutné analyzovat možná prostorová geometrická uspořádání nástrojů, tedy jejich polohu v prostoru a orientaci os. Tato geometrie zásadním způsobem ovlivňuje jak samotný proces uchopení nástroje, tak i posloupnost pohybů realizujících výměnu nástrojů. Analýza se bude zabývat nejen v současnosti užívanými konfiguracemi, ale její snahou bude určité zobecnění a kategorizace jednotlivých typů, na základě nichž budou tato geometrická uspořádání analyzována a na základě současných řešení možných navrhovaných variant vytipovat vhodná řešení.

5.4.1 Geometrické uspořádání nástrojů

V první řadě je nutné si uvědomit, že samotná kinematika procesu výměny je předurčena nejen typem nástrojového rozhraní, ale především pak geometrickým uspořádáním a orientací os jednotlivých nástrojů.

Je tedy možné na základě rozboru abstrahovat tento problém na problém prostorového geometrického uspořádání přímek/úseček, a to buď v rovině, nebo v prostoru. Na základě této zjednodušující úvahy můžeme celý problém rozdělit do třech základních uspořádání.

Osy nástrojů jsou:

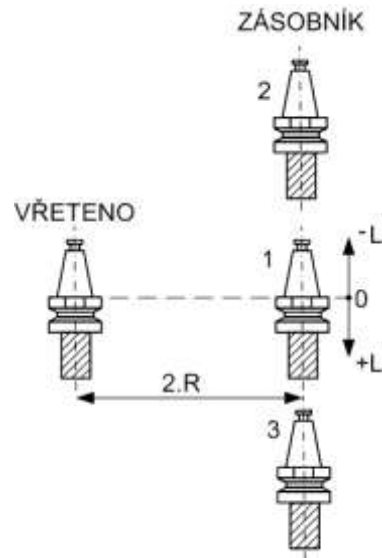
- rovnoběžné
- různoběžné
- mimoběžné

Rovněž je nutno podotknout, že geometrie popisuje polohu nástroje ve vřeteníku a nástroje přichystaného zásobníkem, popřípadě speciálním manipulátorem (převážně u regálových AVN) k výměně, tedy se již nejedná o polohu nástroje v zásobníku.

Rovnoběžné osy nástrojů

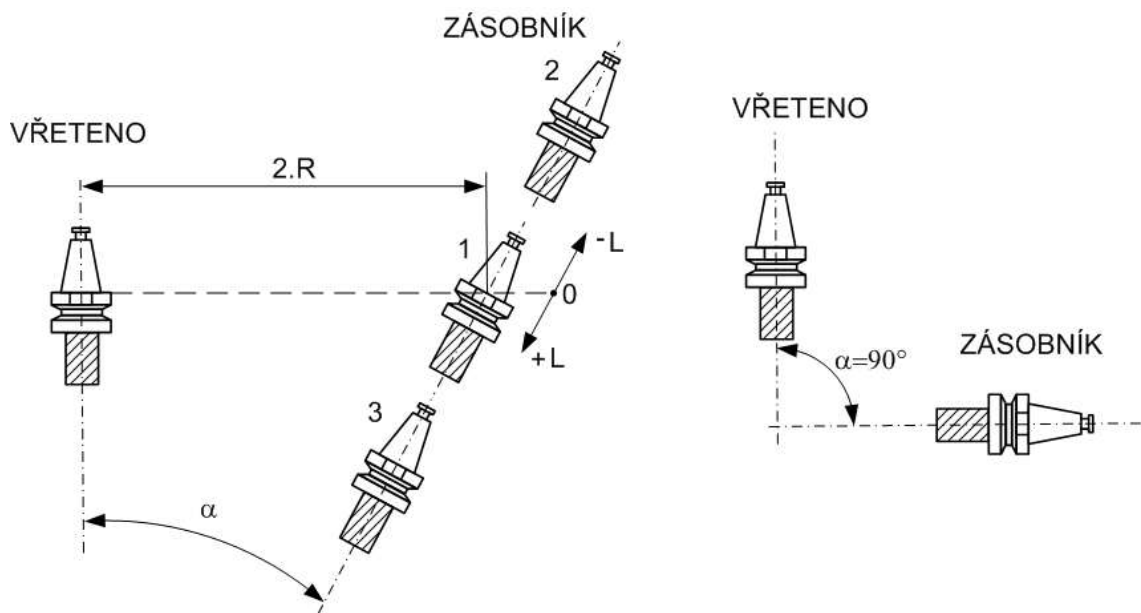
Toto uspořádání je možno považovat za nejjednodušší (rovinné) uspořádání představující nejtypičtějšího zástupce, s nímž je možné se v běžné praxi setkat, a to především ve variantě, kdy je výměna prováděna pohybem pouze v jedné rovině ($L=0$). Jedná se o variantu s nejjednodušším řešením uspořádání ramene manipulátoru.

Hlavní (nezávislé) parametry tohoto uspořádání: $2.R$ (vzájemná vzdálenost obou os) a L (posunutí od nulové polohy, ve které mají oba nástroje tentýž bod v jedné rovině kolmé na osy nástrojů).



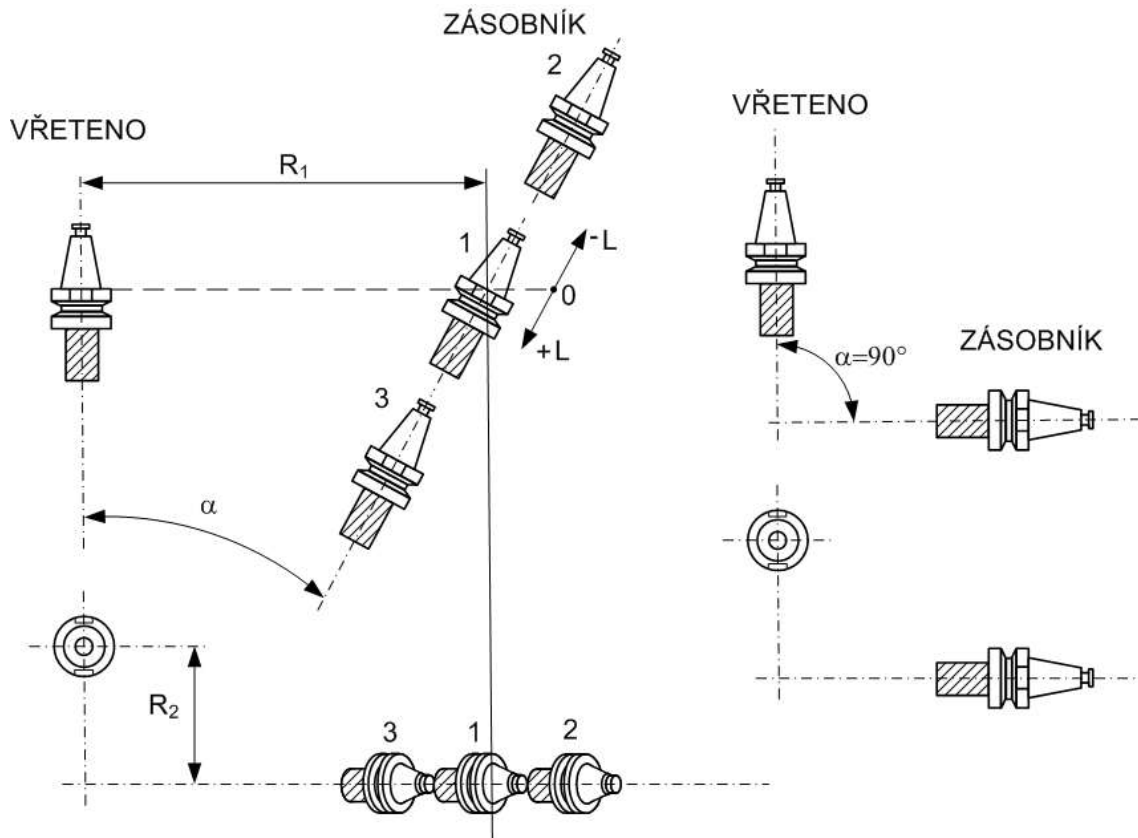
Obr. 85: Schéma znázorňující vzájemnou polohu nástrojů s rovnoběžnými osami

Různoběžné osy nástrojů



Obr. 86: Vlevo schéma znázorňující vzájemnou polohu nástrojů s různoběžnými osami, vpravo pak typický případ tohoto typu uspořádání

Toto uspořádání představuje soustavu se třemi parametry, přičemž jednotlivé parametry mají následující význam: $2.R$ (vzdálenost nulových bodů nástrojů měřená v rovině kolmé na nástroj vřeteníku) a L (posunutí od nulové polohy, ve které mají oba nástroje tentýž bod v jedné rovině kolmé na osu nástroje vřeteníku). Příklad řešení je možno vidět na obr. 62.



Obr. 87: Vlevo schéma znázorňující vzájemnou polohu nástrojů s mimoběžnými osami, vpravo pak typický případ tohoto typu uspořádání

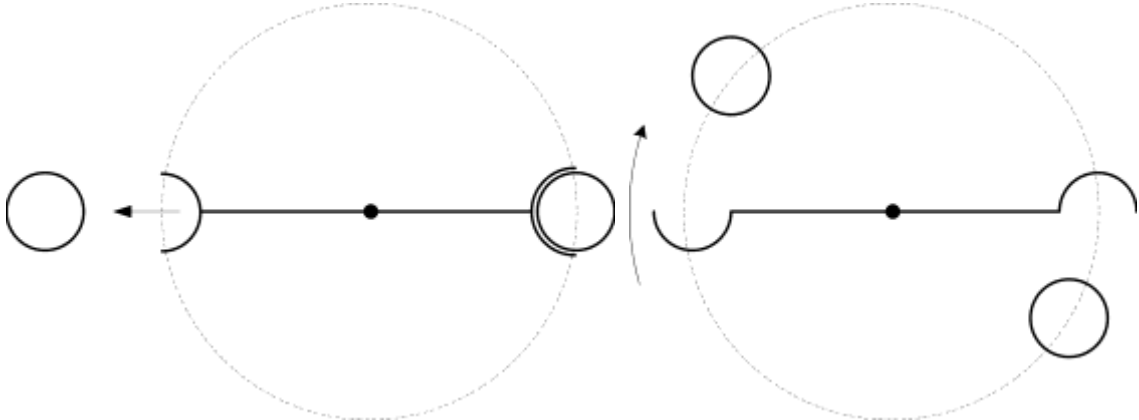
Toto uspořádání představuje nejsložitější soustavu s čtveřicí parametrů, přičemž jednotlivé parametry mají následující význam: R_1 (vzdálenost průmětů nulových bodů nástrojů do roviny rovnoběžné s osou nástroje zásobníku a současně obsahující osu nástroje vřeteníku, měřená v rovině kolmé na nástroj vřeteníku) R_2 (nejmenší vzájemná vzdálenost os nástrojů) a L (posunutí od nulové polohy, ve které mají oba nástroje tentýž bod v jedné rovině kolmé na osu nástroje vřeteníku). Příklad řešení je možno vidět na obr. 60.

5.4.2 Proces uchopení nástroje

Jak již bylo zmíněno výše, obsahem této práce nebude řešení možných úprav nástrojových rozhraní, ale částí pro realizaci automatické výměny nástroje. Bude uvažováno standardní rozhraní, pro něž je geometrie blíže specifikována v kapitole 4.1.2. Při podrobnějším pohledu je nutno konstatovat, že geometrie částí sloužících pro realizaci AVN jsou si velice podobné, z čehož plynou i předpoklady na realizaci podobných nebo stejných řešení.

Z hlediska geometrie samotné drážky pro AVN je nutno konstatovat, že z praktického hlediska je možno uchopení nástroje realizovat pouze pomocí dvou základních principů. Tedy pomocí rotačního pohybu ramene pro „zasekávací“ typ, nebo translací ramene pro „napichovací“ typ (jednostranně, nebo oboustranně pro současné uchopení nástrojů) viz obrázky níže. Pro napichovací způsob jsou pak možné varianty

v podobě translace celého ramene (napíchnutí jednoho nástroje), nebo translací obou polovin ramene kde dojde k současnému „napíchnutí“ obou nástrojů.



Obr. 88: Základní typy uchopení nástroje, vlevo napíchnovací, vpravo zasekávací způsob

Pro úplnost je možno doplnit variantu uchopení nástroje, kdy rameno vykonává obecný pohyb, ale takovéto řešení je velice komplikované a prakticky obtížně realizovatelné.

Inverzním k procesu uchopení je proces uvolnění nástroje, jedná se o proces při němž dojde ke ztrátě kontaktu mezi ramenem manipulátoru a nástrojem. V převážné většině případů je realizován pomocí reverzního směru pohybu vedoucího k uchopení nástroje (v převážné většině zařízení se tak neděje reverzací pohonu).

Proces uchopení nástroje v sobě dále zahrnuje potřebu realizace mechanismu umožňujícího uzamčení nástroje, který zaručuje bezpečnost při realizaci dalších pohybů, tedy především rotačních. Tento mechanismus musí být realizován tak, aby v době, kdy není uzamčen, vyvozoval na nástroj dostatečnou sílu k jeho udržení a zároveň ne příliš velkou, aby znesnadňoval jeho uchopení nebo vyjmutí. Dále musí tento mechanismus umožňovat spolehlivé uzamčení a tím zajištění nástroje v kleštině i ve ztížených podmínkách, které představují především nečistoty z výrobního procesu, které sebou přináší nástroj.

5.4.3 Proces výměny – kinematika procesu

Tato etapa, při níž dochází k realizaci samotné výměny nástrojů, je stěžejní částí celého procesu. Posloupnost jednotlivých pohybů, z nichž je tento proces sestaven, má vliv nejen na rychlost celého procesu, ale především na samotnou mechaniku manipulátoru, která tyto pohyby realizuje. Je tedy třeba s dostatečnou bedlivostí řešit nejen návrh celého sledu těchto pohybů, ale v návaznosti na to i způsob jakým budou tyto pohyby realizovány.

Pro uskutečnění procesu automatické výměny nástrojů (přímé výměny, kdy manipulátor realizuje výměnu mezi vřetenem a zásobníkem nebo pomocným manipulátorem) musí být realizováno několik dílčích pohybů, které pouze jako celek umožňují úspěšné provedení celého procesu. Jednotlivé etapy tohoto procesu je možno rozdělit následovně:

[1] uchopení nástroje/nástrojů

[2] přemístění nástroje/nástrojů

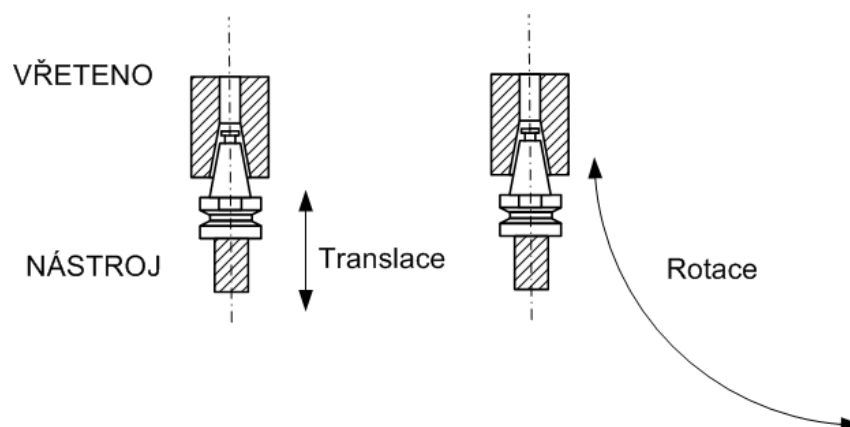
- vyjmutí nástroje z vřeteníku a zásobníku / pomocného manipulátoru
- realizace pohybu vedoucí k výměně obou nástrojů
- zasunutí nástroje do vřeteníku a zásobníku / pomocného manipulátoru

[3] uvolnění nástroje/nástrojů

Výše již byly popsány základní varianty procesu uchopení a uvolnění nástroje, tato část se tedy bude zabývat již samotnou realizací výměny nástrojů. Tedy dějem, při němž dochází ke změně polohy obou nástrojů takovým způsobem, kterým je docíleno jejich přemístění v prostoru tak, aby zaujaly vzájemně své pozice (jako poloha tak i orientace). Toto přemístění v prostoru je možno podle výše uvedeného rozdělení dále rozčlenit na trojici jednotlivých operací – pohybu realizujících tuto prostorovou transformaci.

Z hlediska realizace je možné konstatovat, že jednotlivé pohyby vedoucí k realizaci výměny budou tvořeny elementárními rovinnými pohyby, tedy translačním a rotačním pohybem. I když není pro realizaci těchto operací vyloučeno užití pohybu s obecnou trajektorií, je užití základních pohybů jak z hlediska konstrukčního řešení, tak i programování a řízení podstatně jednodušší. Tedy je vhodné preferovat jednodušší typy polohových transformací pro zachování jednoduchosti celého řešení.

První pohyb provádí vyjmutí nástroje z vřeteníku a zásobníku nebo pomocného manipulátoru. Tento pohyb by měl být realizován tak, aby nedocházelo k dlouhodobým kontaktům kuželové části nástroje a dutiny vřeteníku, které by způsobovalo jejich opotřebení. Tato „kolize“ by dále negativním způsobem ovlivňovala mechanismus tento pohyb generující. Pohyb by měl být při vyjímání realizován tak, aby ke ztrátě kontaktu došlo na co možná nejkratší dráze a tím byla zajištěna spolehlivá funkce a dlouhá životnost důležitých komponent.



Obr. 89: Základní typy pohybů při procesu vyjmutí a zasunutí nástroje do vřetene

Z výše uvedeného obrázku je patrné, že varianta užívající k vyjmutí a zasunutí nástroje rotační pohyb může být realizována dvojí formou, a to tak, že při rotačním pohybu dochází ke změně polohy těžiště nástroje, ale orientace je zachovávána, nebo dochází jak ke změně polohy těžiště, tak i ke změně orientace nástroje.

Druhý z trojice pohybů realizuje přesun těžiště, popřípadě i změnu orientace nástrojů zajišťující jim takovou polohu, která umožní pomocí inverze prvního pohybu docílit jejich zasunutí.

Třetí, poslední z pohybů realizující zasunutí nástroje do vřeteníku a zásobníku nebo pomocného manipulátoru je v drtivé většině případů realizován pomocí již zmíněné inverze pohybu vyjímajícího nástroj z dutiny.

Jak již bylo uvedeno výše, je snahou realizovat všechny změny polohy pomocí základních rovinných pohybů jako je translace a rotace. Následující tabulka uvádí výpis všech možných uspořádání pohybů a zároveň udává vhodnost jednotlivých uspořádání pro další řešení.

Tabulka 11: Možné varianty pohybů a jejich vhodnost

Pořadí	Pohyb 1	Pohyb 2	Pohyb 3	Vhodnost
1	T	T	T	Ano
2	R	T	T	Ne
3	T	R	T	Ano
4	R	R	T	Ne
5	T	T	R	Ne
6	R	T	R	Ano
7	T	R	R	Ne
8	R	R	R	Ano

Jak již bylo uvedeno výše, vhodnou kombinací mohou být především taková uspořádání pohybů, která jsou symetrická. Tedy první a třetí pohyb realizující výměnu musí být stejného typu. Podmínka symetrie je dána především snahou o docílení jednoduchosti mechanismu, která je v takovýchto případech dána užitím stejných prvků/uzlů pro realizaci první a třetí etapy pohybu. Jak již bylo několikrát uvedeno, existují speciální aplikace (některá řešení strojů s mimoběžnými osami vřetene a zásobníku, atd.), kdy je striktně zapotřebí řešení nesymetrické, ale taková řešení nebývají příliš častá, protože výsledné řešení manipulátoru bývá příliš komplikované.

5.5 Typy pohonů AVN

Doposud bylo převážně hovořeno o realizaci mechanické části řešení AVN, tedy především manipulátoru. Nebyl tedy řešen zdroj energie, tedy hnací síly, kterou toto zařízení bude naháněno. Jako zdroj hnací síly může sloužit celá řada někdy i exotických zařízení. Z hlediska nasazení v praxi je však výhodnější jejich rozdělení podle typu primární energie, která je transformována na hnací sílu. Z hlediska praktického využití, jsou nasazovány zařízení s následujícími zdroji energie:

- elektrický
- hydraulický

- pneumatický
- kombinace předchozích

Jak již bylo řečeno výše, transformací této energie je docíleno vzniku hnací síly/momentu a je tedy možné na základě těchto silových působení vyvodit pohyb translační nebo rotační.

I přes to, že nám pohon poskytuje dostatečnou hnací sílu, nemusí být pro danou aplikaci vyhovující. Na tento pohon je kladeno mnoho nároků, které musí splňovat, aby bylo jeho využití nejen hospodárné, ale i efektivní. Jedná se především o podmínky jednoduchosti řízení, minimalizace počtu pohonů a unifikace z hlediska zdroje energie. Další neméně důležité parametry se týkají požadavku na jednoduchost mechaniky vynucené tímto typem pohonu, zástavbové rozměry, hmotnost atd. a v neposlední řadě i ekologičnost provozu, účinnost a s tím související nutnost chlazení.

Je tedy zřejmé, že nejvíce preferovanými by měly být elektropohony, jejichž celková účinnost přesahuje 90%. Ty disponují rovněž dostatečným silovým rozsahem pro realizaci velkého spektra aplikací. Z hlediska možného uplatnění jsou stále preferovány především rotační pohony, lineární elektropohony pouze v aplikacích, kde je jejich nasazení vzhledem k vyšší ceně opodstatněné. Elektropohony jsou rovněž dobře a snadno říditelné a ve spojení se stále se snižujícími cenami elektronických komponentů, jako např. frekvenčních měničů, ale i samotných pohonů (servomotory, momentové motory, atd.), jejich nasazování přináší nejlepší výsledky. Elektropohony rovněž zajišťují dostatečně ekologický provoz a ve spojení s užitím rekuperace umožňují zpětně získávat energii akumulovanou v kinetické energii mechanismu.

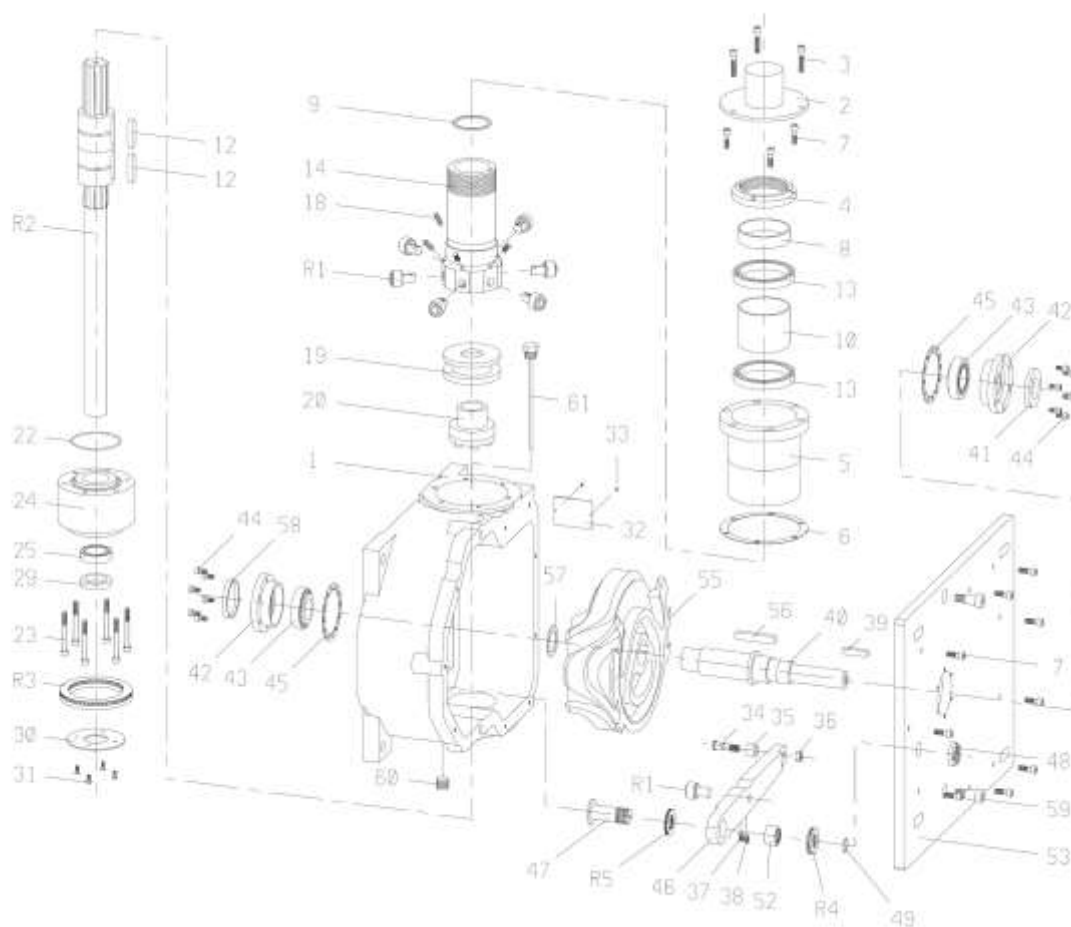
Z pohledu současných řešení můžeme konstatovat, že nejrozšířenějším typem pohonu je asynchronní motor, který ve spojení s vačkovým mechanismem dokáže realizovat kompletní výměnu nástrojů. Jako přesnější náhrada jsou hojně využívány servomotory a pro realizaci translační pohybu lineární pneumotory.

Je tedy zřejmé, že by mělo být snahou při návrhu nového typu manipulátoru AVN, reflektovat současné trendy a v této souvislosti využít některý z dostatečně rozšířených a cenově dostupných rotačních elektropohonů.

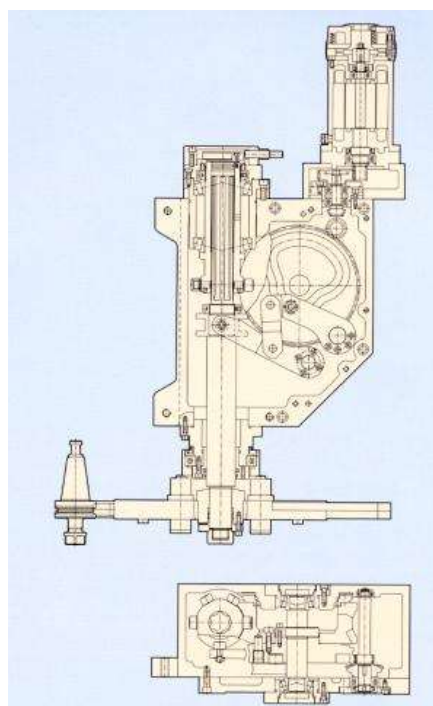
5.6 Nejrozšířenější koncepce

Obsahem této podkapitoly by mělo být představení nejtypičtějších uspořádání mechanismů v současnosti využívaných a z hlediska možného budoucího vývoje a potenciálu s tím spojeného i uvedení některých patentově chráněných řešení.

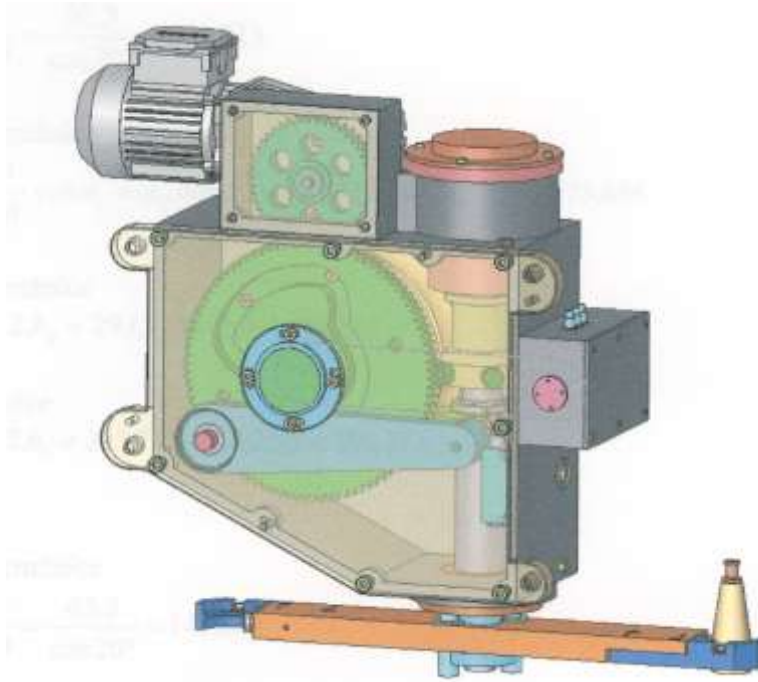
Jak již bylo několikrát uvedeno, hlavními představiteli mechanických koncepcí užívaných v současné produkci manipulátorů AVN jsou řešení založená na užití dvojice vaček. Klasičtější užívá jedné globoidní pro realizaci rotačního pohybu a radiální vačky, kde je přes pákový převod realizován translační pohyb. Příklady těchto řešení jsou uvedeny na následující trojici obrázků.



Obr. 90: Detail uspořádání vačkového manipulátoru firmy Miksch [11]

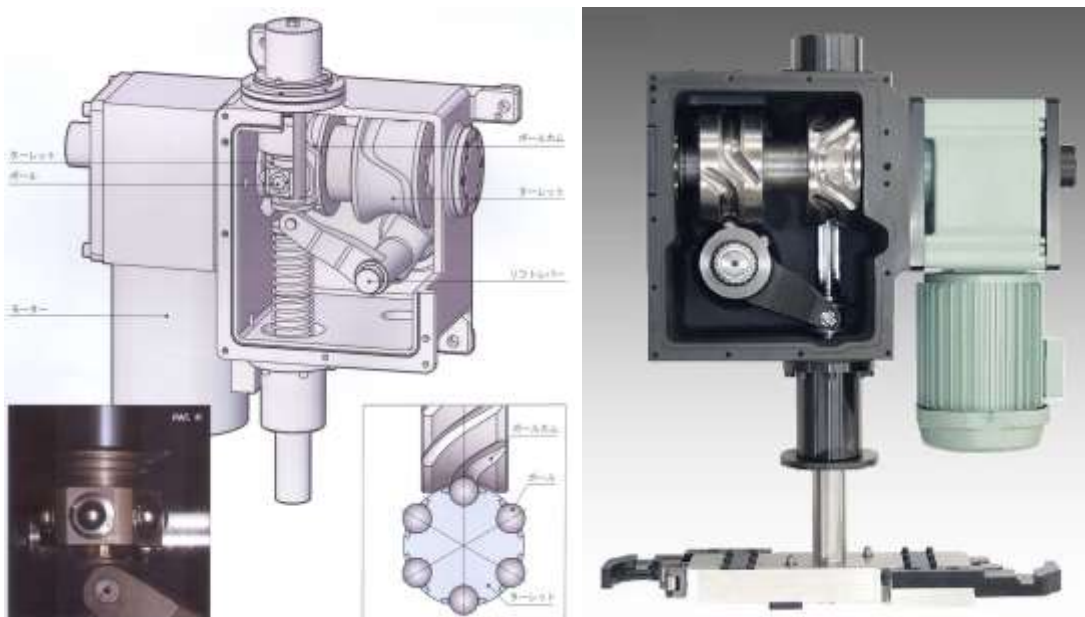


Obr. 91: Vačkový manipulátor pro AVN [55]



Obr. 92: Návrh konstrukce vačkového manipulátoru [66]

O něco novější vačková koncepce užívá dvojice globoidních vaček s kuličkovými unašeči pro realizaci jak translačního, tak i rotačního pohybu. Tato koncepce s sebou přináší i určitá zjednodušení převodů náhonu, které je dáno tím, že je možné hlavní hřídel přímo napojit na šnekovou převodovku realizující hlavní převod. Nevýhodou je pak o něco větší konstrukční šířka spojená právě s koncepcí užívající dvojice vaček.



Obr. 93: Manipulátor firmy Pascal [52]

Z pohledu dalšího vývoje je patrné, že dosažení limitů u vačkových mechanismů nadá na sebe dlouho čekat. Snahy, které vedou ke stále se zkracujícímu času výměny, s sebou přinášejí potřebu větších přenášených sil. Tyto jsou patrné především u kategorie středně velkých a velkých strojů, kde na rozdíl od malých a lehkých nástrojů dochází k manipulaci s výrazně většími hmotnostmi vyžadujícími pro provedení rychlé výměny výrazně větší hnací síly. U těchto kategorií obráběcích strojů se setkáváme stále s relativně dlouhými časy výměn (cca 4 – 8s), které mají za následek nárůst nevýrobních časů. Snahou by mělo tedy být dosažení podobných časů jako u kategorie malých frézovacích center, tedy do 2s. Při těchto časech nejsme totiž limitováni jen samotným mechanismem manipulátoru, ale i ostatními prvky stroje, jako je například mechanismu upínání nástroje, ovládací prvky, řízení atd.

Tyto zvýšené požadavky na přenášené síly významným způsobem ovlivňují styková napětí ve vačkovém mechanismu a do jisté míry jsou právě limitujícími faktory pro návrh celého mechanismu. Z hlediska ekonomičnosti je však nanejvýš pravděpodobné, že užití speciálních materiálů potřebných pro výrazné navýšení pevnosti a dalších mechanických vlastností by do značné míry prodražilo celé zařízení. Je tedy zapotřebí hledat taková alternativní řešení, která nebudou v tomto směru tak limitována a umožní další progresi v této oblasti automatizace.

Z hlediska úplnosti byla dále provedena patentová rešerše zařízení sloužících pro automatickou výměnu nástrojů. Nejzajímavější schémata jsou uvedena v příloze tištěné práce, kompletní znění jednotlivých patentů je pak na přiloženém DVD. Z této rešerše je však patrné, že problematika vačkových mechanismů manipulátorů AVN je dodnes hojně řešenou záležitostí. Snahou je docílit jak efektivnějších řešení koncepce/konstrukce, tak i vyvinout nové uspořádání obcházející patentově chráněná řešení konkurenčních firem.

5.7 Formulace řešeného problému $P(\Omega)$

Posledním krokem před samotným procesem řešení je etapa formulace problému, na jejímž základě je prováděno samotné řešení a zároveň slouží jako kritériální podmínka pro ověření správnosti/relevance dosaženého řešení. Snahou je tedy pomocí co možná nejjednodušších, jednoznačných a snadno srozumitelných podmínek definovat nebo kvantifikovat daný problém. Snahou by mělo být dosažení optimálního počtu kritérií, která zbytečně neokleští možnosti kreativního přístupu k danému problému, nebo v opačném případě nesmějí být vágní a nejednoznačná vedoucí k výslednému řešení, které sice splňuje tyto podmínky, ale nesplňuje reálné požadavky.

- spolehlivá funkce a velká životnost
- nízká výrobní / pořizovací cena
- rychlost výměny (podle velikosti nástroje)
- jednoduchá konstrukce (především kinematického uspořádání mechanismu) a snadná vyrobitelnost komponent
- modularita zařízení – pro různé velikosti a typy rozhraní

- zařízení musí být dále navrženo tak, aby v době své nečinnosti nezasahovalo do pracovního prostoru stroje, a tím ho omezovalo
- zařízení by dále mělo být chráněno před nečistotami z pracovního prostoru stroje
- zařízení musí být opatřeno dostatečným krytováním, nebo musí mít takové uspořádání, aby při plnění své funkce neohrožovalo obsluhu
- ekologický provoz a energetická nenáročnost
- jednoduchá montáž, servis a údržba
- bezproblémová likvidace a recyklace

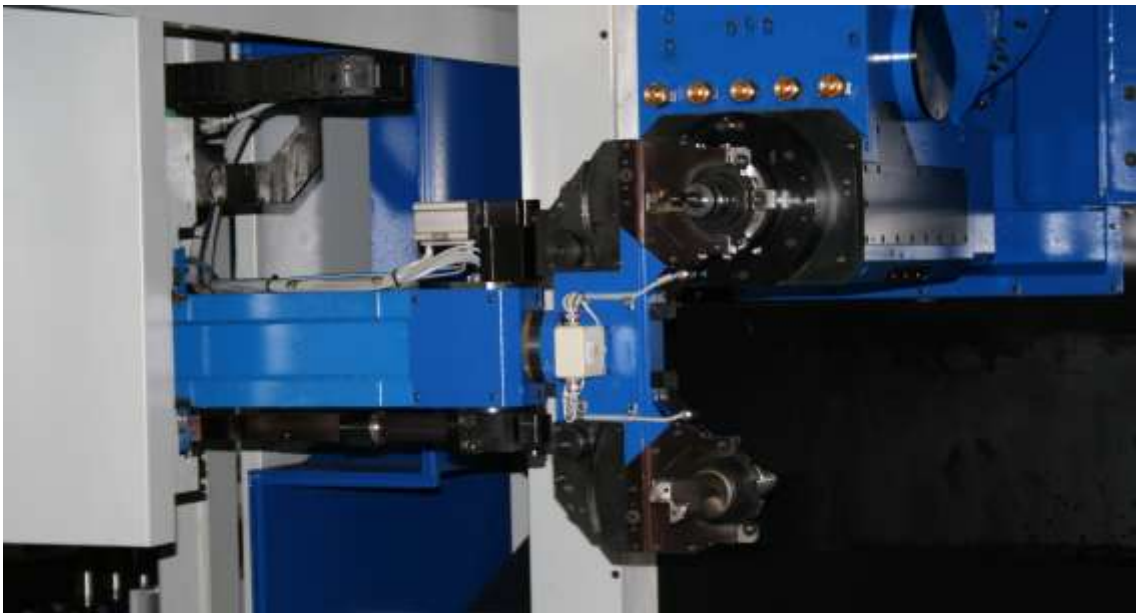
Tyto obecné požadavky na řešení jsou dále doplněny o již konkrétní parametry (okrajové podmínky), pro něž budou navržena jednotlivá řešení. Typ a velikost rozhraní ISO 50, max. hmotnost nástroje 18kg, užití dvouramenného chapadla (ramena svírají v rovině úhel 180°), osy vyměňovaných nástrojů jsou rovnoběžné, vzdálenost os nástrojů cca 600-900mm. Tato kritéria představují rovněž i obecné požadavky na AVN většiny výrobců OS dané kategorie. Ve spojení s možností zástavby AVN a její snadné zaměnitelnosti za konkurenční produkt je rovněž nutné dodržet i standardně používaný cyklus TRT v kombinace se zasekávacím způsobem uchopení nástroje.

V závislosti na průběhu řešení mohou vyplynout další podstatná kritéria blíže specifikující nebo detailněji vymezující oblast řešení.

6 NÁVRH KONCEPČNÍHO USPOŘÁDÁNÍ

Jak již sám název této kapitoly napovídá, obsahem této části práce bude hledání vhodných konstrukčních řešení splňujících výše uvedená kritéria. Pro některá řešení budou dále vytvořeny simulační modely, na jejichž základě bude provedena simulace procesu výměny nástroje a odhadnut celkový čas procesu výměny. Snahou pak bude provést verifikaci těchto simulačních modelů pomocí reálně naměřených dat.

Z hlediska dostupných variant kinematických uspořádání viz tabulka 11 jsme do jisté míry značně limitováni. Jak již bylo uvedeno, vhodná uspořádání jsou pouze čtyři (TTT, TRT, RTR, RRR). Z hlediska praktického nasazení u stojů je však možné pozorovat převážně první dvě varianty TTT a TRT. Přičemž varianta TTT ve své nejjednodušší variantě neumožňuje současné vyjímání a zakládání nástrojů do vřetene a zásobníku viz obr. 94. Oproti tomu varianta TRT představuje v současnosti nejrozšířenější koncepci využívanou u jednoúčelových manipulátorů pro automatickou výměnu nástrojů. Z tohoto důvodu bude snahou řešit manipulátor tak, aby užíval tento typ kinematického uspořádání. Zbývající dvojice uspořádání RTR a RRR jsou rovněž řešitelná, ale z principu realizace jednotlivých pohybů tato řešení přinášejí jistá úskalí a to především z hlediska geometrie (rozměrů ramen), možného omezení rozměrů vyměňovaných nástrojů atd. Jejich praktické nasazení u strojů je otázkou především speciálních aplikací.

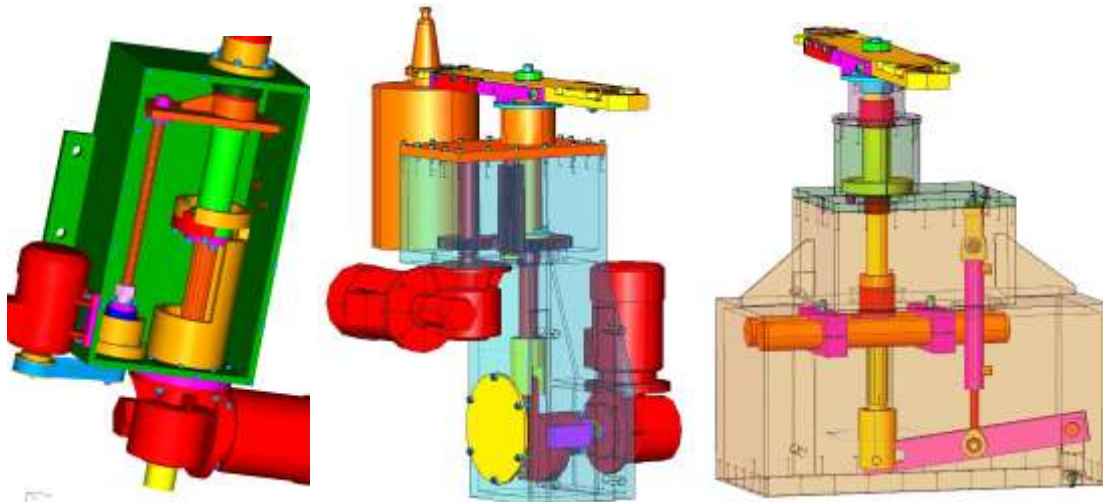


Obr. 94: Uspořádání pohybů TTT firma Mandelli, Spark 2100X

V podstatě můžeme konstatovat, že omezující kritéria a požadavek na kompatibilitu se stávajícími řešeními preferuje především variantu TRT, kdy k vyjímání a zakládání nástrojů dochází za pomoci translačního pohybu, vzájemná výměna nástrojů je pak realizována pohybem rotačním. Uchopení nástroje je možno realizovat jak pomocí zasekávacího typu, tak i napichovacího (vyžaduje implementaci dalšího pohybu do soustavy).

6.1 Vytipování vhodných řešení

Na základě systémového přístupu k řešení daného problému bylo přistoupeno k návrhu celé řady koncepčních uspořádání manipulátorů jak z hlediska typu pohonů (rotační, translační / elektrické, hydraulické, atd.), tak v návaznosti na typ náhonu i prvků transformujících hnací sílu na žádaný pohyb (několik málo příkladů viz obr. 95).



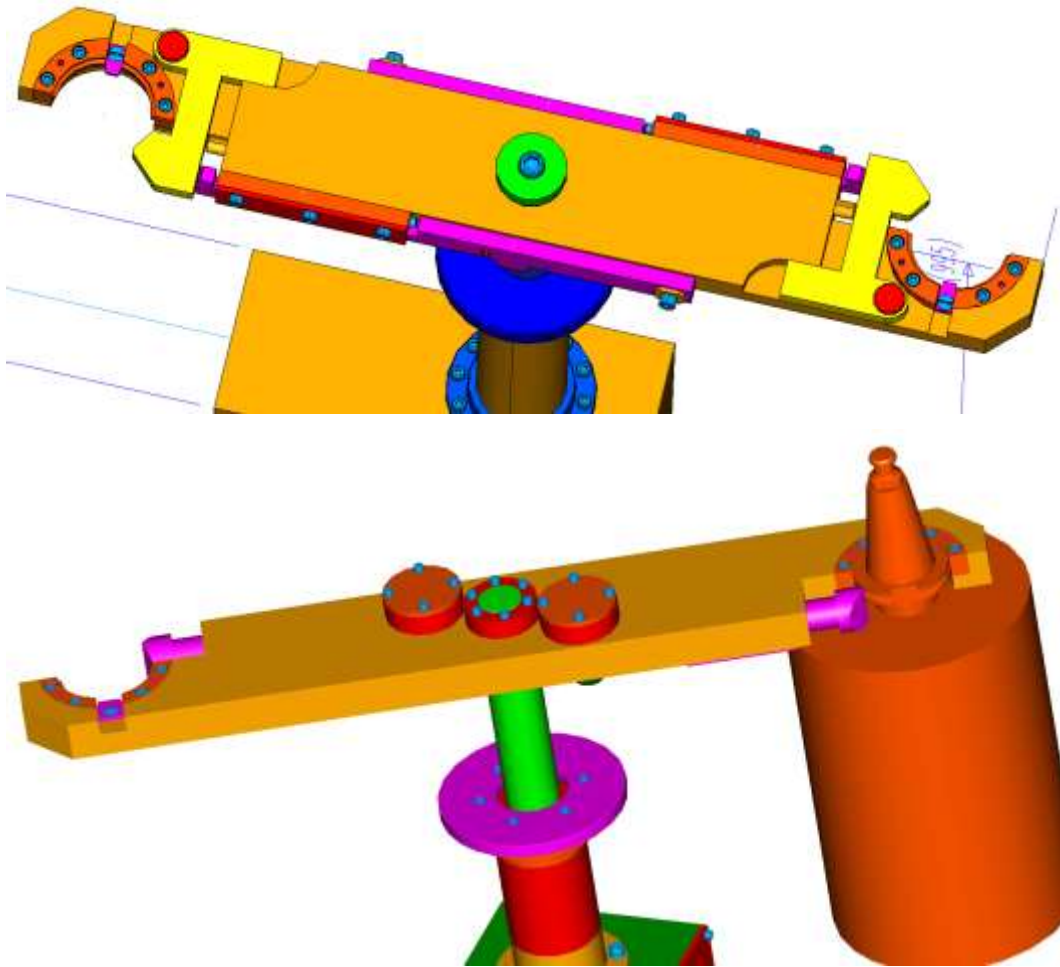
Obr. 95: Ukázky některých prvotních koncepčních návrhů manipulátorů

Snahou bylo prověřit možnosti různých vzájemných kombinací umožňující realizaci AVN. Z pohledu praktického nasazení se však ukázalo, že nejperspektivnější jsou varianty využívající elektropohonů, a to v podobě klasických asynchronních motorů, nebo moderních servopohonů. Tento fakt je dán především velkou účinností, spolehlivostí, malými zástavbovými rozměry, ekologičností provozu a především pak jednoduchostí řízení.

Na základě odlišností principu funkcí jednotlivých elektropohonů se objevily dva diametrálně odlišné směry, kde jeden využívá servomotorů s možností velice přesného polohování a v druhém případě asynchronní motor s omezenými možnostmi řízení polohy, ale nevyžadující složité řízení. Tento fakt rovněž vedl i k diametrálně odlišnému přístupu k řešení celého problému.

V případě řešení s asynchronními motory bylo snahou navrhovat takové koncepce, které by mechanicky zajišťovaly přesné polohy v koncových bodech, nebo úvratích z důvodu možného přejetí požadované polohy. Asynchronní motory díky svým relativně vysokým otáčkám nejsou příliš vhodné pro realizaci přímých náhonů, proto byly ve většině aplikací využity v kombinaci se šnekovou převodovkou. Tato řešení však sebou přinášejí mnoho problémů týkajících se přesnosti polohování a vůlí ve šnekové převodovce.

Oproti tomu u řešení užívajících servomotorů takovéto problémy nejsou. Za pomoci integrovaného IRC snímače a přímého náhonu, nebo bezvůlového převodu je možno dosáhnout velké přesnosti jak pro výsun ramene, tak i jeho rotaci. Ve spojení s velkými dosahovanými kroutícími momenty a dobrou možností krátkodobého přetížení je možné docílit podstatně rozměrově úspornějších řešení než u asynchronních motorů.



Obr. 96: Příklady řešení ramene a aretace nástroje

Z hlediska řešení bylo přistoupeno k detailnímu rozpracování principu s kinematickým uspořádáním TRT, uchopení nástroje zaseknutím, náhon servomotory přes synchronní servořemen, translace realizována pomocí šroubového převodu, dále řešeno pod názvem STD-25. Jedná se o řešení, jehož snahou bylo v co největší míře splnit definované požadavky. Kromě konkrétních specifikací uvedených výše (rozhraní, hmotnost nástroje, vzdálenost nástrojů, atd.) byl kladen důraz na splnění obecných požadavků, především pak:

- jednoduchá konstrukce (především kinematického uspořádání mechanismu) a snadná vyrobitelnost komponent
- nízká výrobní / pořizovací cena
- rychlost výměny (podle velikosti nástroje)
- spolehlivá funkce a velká životnost
- jednoduchá montáž, servis a údržba
- ekologický provoz a energetická nenáročnost

Požadavky jsou kladeny shora podle jejich důležitosti. Je tedy patrné, že bylo snahou navrhnout především konstrukčně jednoduché zařízení, s nízkými výrobními náklady, které by zároveň poskytovalo rychlou výměnu při zachování velké životnosti a bezpečnosti.

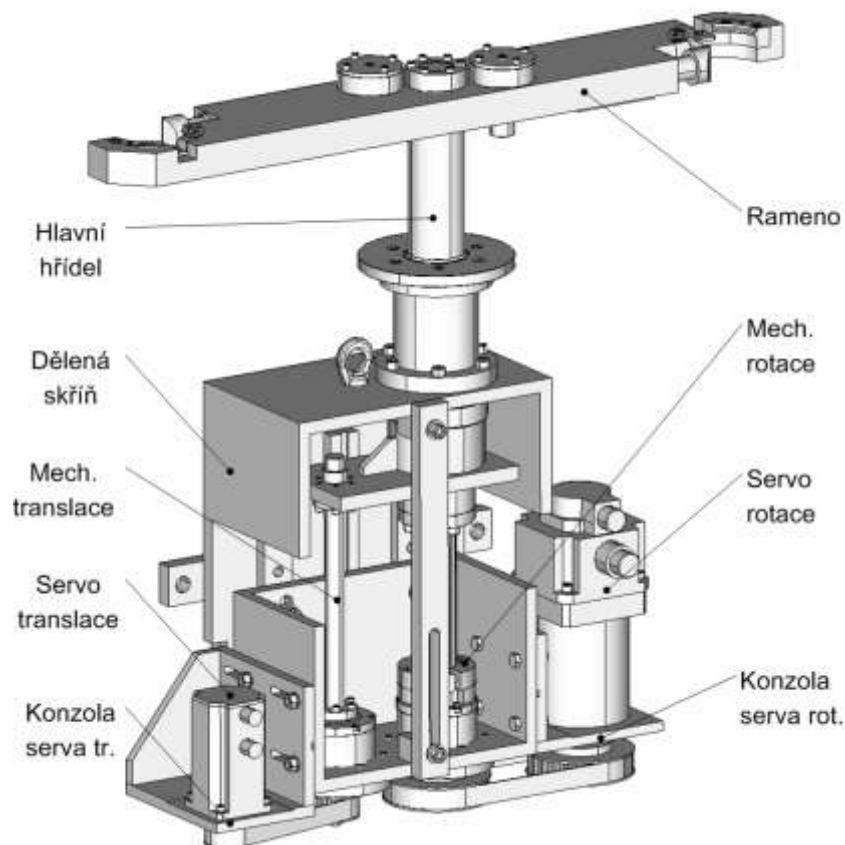
Jak již bylo několikrát výše zmíněno, tato práce je úzce navázána na projekt 1.2.4 Rychlá automatická manipulace, jehož řešitelem bylo Brněnské pracoviště VCSVTT. Tedy je nutné zdůraznit, že některá řešení nejsou zcela výsledkem systémové analýzy a metod multikriteriálního hodnocení, ale byla významně ovlivněna spoluprací a zkušenostmi partnerů z průmyslu.

7 DETAILNÍ ŘEŠENÍ JEDNOTLIVÝCH VARIANT

7.1 Stand STD-25

Jedná se o zařízení sloužící k realizaci experimentálních zkoušek v oblasti vývoje a výzkumu AVN systémů. Návrh konstrukčního řešení zkušebního standu vychází z inspirace spoluprací na vývoji reálného systému AVN realizované Brněnským pracovištěm VCSVTT a jedním z českých výrobců obráběcích strojů. V rámci zapojení ve VCSVTT a řešení tématu disertační práce jsem byl pověřen konstrukčním návrhem tohoto standu, a to včetně odměřovacího subsystému.

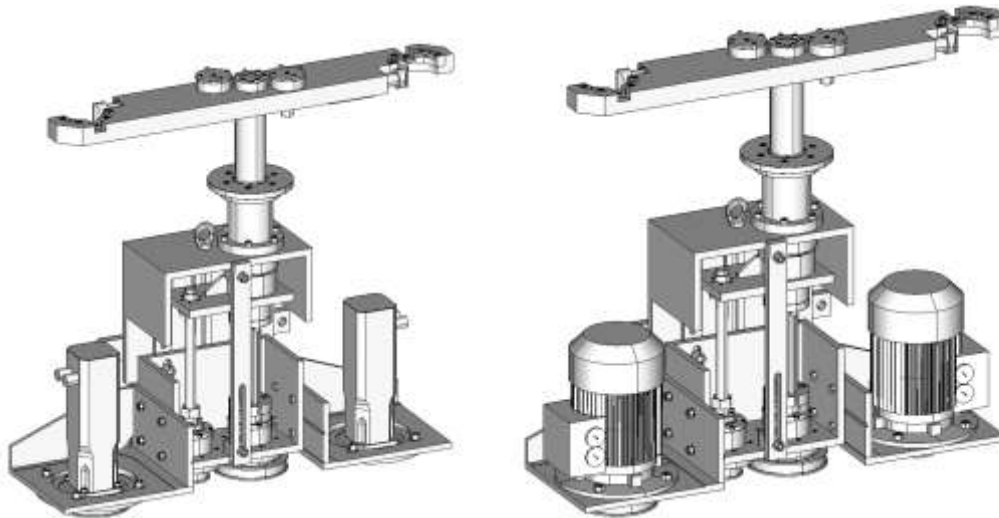
Stand je navržen jako snadno modifikovatelný, umožňující experimenty s uplatněním různých způsobů pohonu, převodů a řízení manipulačních pohybů. Nejsme omezeni pouze na jeden typ pohonu či kinematického uspořádání. Vhodnou volbou konstrukce je dosaženo velké univerzálnosti tohoto zařízení. Pro realizaci experimentů s jiným typem pohonů, nebo částečně i kinematického uspořádání je možno použít značnou část, především složitějších komponentů (dělená skříň, rameno, hlavní hřídel, atd.). Tím je docíleno velkého potenciálu zařízení pro realizaci experimentů i do budoucna.



Obr. 97: 3D návrh manipulátoru STD-25

7.1.1 Konstrukce

V základním uspořádání je možno pomocí standu verifikovat simulační modely pro jednotlivé pohyby manipulátoru. Pro translaci ramene, která bude vykonávána pomocí šroubového převodu poháněného servomotorem. Na rameno bude rotační pohyb přenášen pomocí drážkované hřídele naháněné přes řemenový převod servomotorem s planetovou bezvůlovou převodovkou.

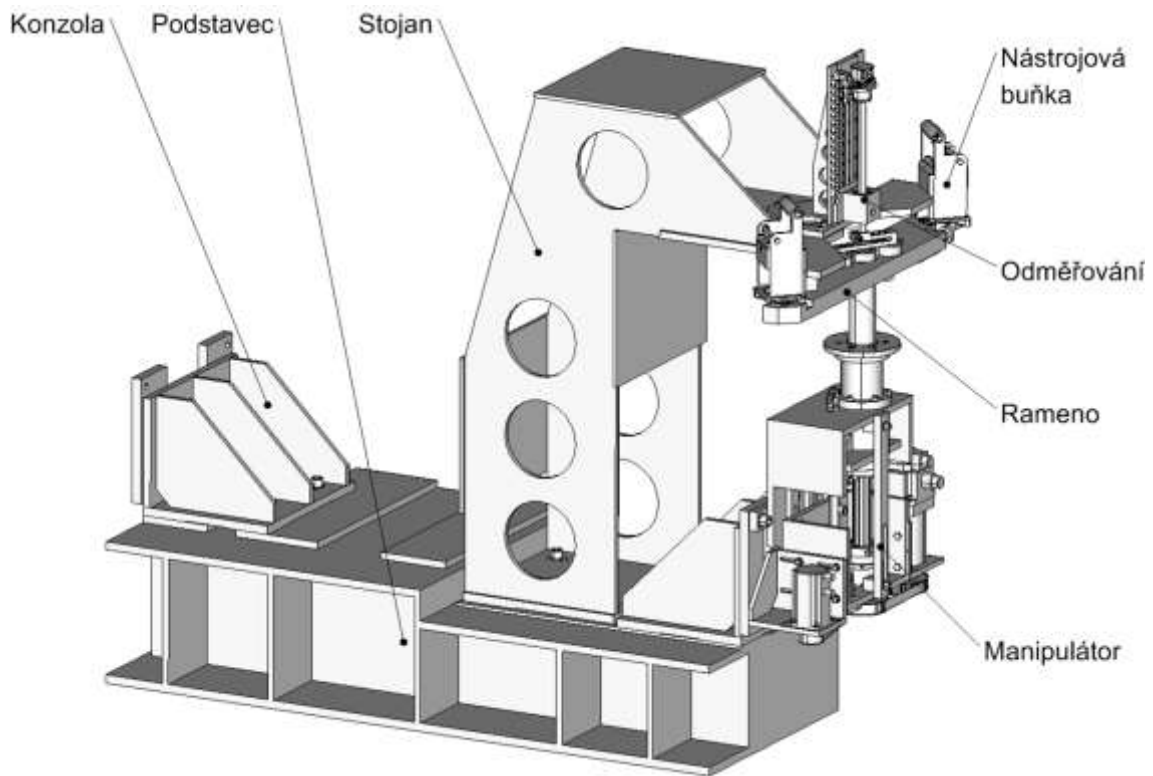


Obr. 98: Návrhy alternativních způsobů náhonu manipulátoru

Velkou výhodou navrhovaného standu je otevřená konstrukce s možností modifikace konfigurace skříně. Toto nám umožní provádět pokusy s různými pohonnými jednotkami nebo kinematickými uspořádáními manipulátoru. Jak již bylo uvedeno výše, snahou je otestovat různé typy pohonů, proto je plánována i varianta náhonu centrálního hřídele manipulátoru i šroubu za pomoci asynchronních motorů. Stand však byl navržen tak, abychom nebyli limitováni pouze těmito dvěma variantami, ale byl otevřený pro budoucí modifikace. Otevřená konstrukce nám umožňuje přístup k vnitřním mechanismům a především nám umožňuje bezproblémové připojení dodatečných měřících zařízení popřípadě snadné bezkontaktní snímání.

Indikace polohy pomocí integrovaných snímačů nám bohužel neposkytuje žádné informace o reálné poloze potřebné pro sestavení dostatečně přesného simulačního modelu translačního pohybu, proto pro měření těchto veličin bude stand oproti skutečnému manipulátoru vybaven odměřovacím subsystémem, který nám poskytne komplexní informace o přesné poloze, rychlosti a zrychlení ramene manipulátoru při translaci. Jak již bylo uvedeno výše, je pro náhon centrálního hřídele plánováno užití dvou typů elektropohonů. Oba budou pro své řízení využívat IRC snímače. Asynchronní motor bude pro zpětnou vazbu využívat IRC snímač umístěný na centrální hřídeli a servomotor bude pro řízení využívat informaci z integrovaného IRC snímače. Nepřesnost vnášená vůlí v drážkování hřídele, tuhostí řemenového převodu a celého mechanismu bude eliminována za pomoci zmiňovaného odměřovacího subsystému,

který bude tedy kromě translačního pohybu ramene měřit i jeho přesné natočení a s tím související úhlovou rychlost a zrychlení.



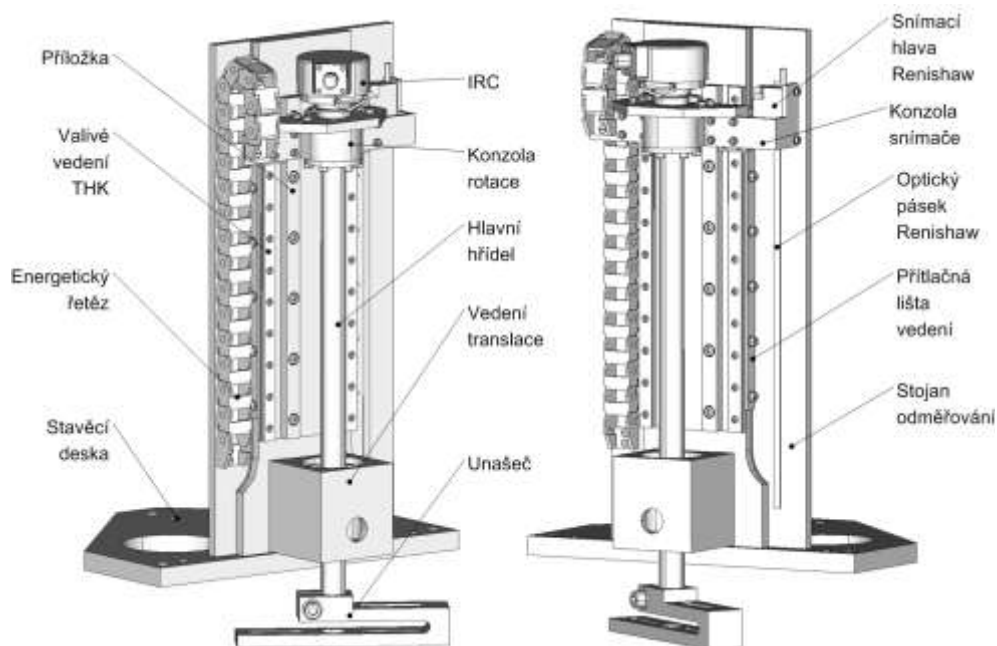
Obr. 99: 3D model zkušebního standu STD-25

Na obr. 99 je zobrazen návrh standu STD-25, na kterém je patrné uspořádání jeho hlavních uzlů (konzola, stojan, manipulátor, odměřovací subsystém atd.). Základ celého zařízení je tvořen masivním svařovaným podstavcem o hmotnosti přibližně 700kg, na jehož horní stěnu jsou upevněny dvě konzoly a stojan. Konzoly slouží k ustavení jednotlivých manipulátorů. Jedna konzole ustavuje současné řešení manipulátoru se servopohony, druhá konzola bude sloužit k ustavení vačkového manipulátoru (popřípadě manipulátoru s jinou konstrukcí). Stojan je nosnou částí pro odměřovací jednotku a nástrojové buňky. Manipulátor realizuje jednotlivé pohyby přenášené na rameno. Rameno je propojeno s odměřovacím subsystémem umístěným na stojanu, čímž může být provedeno přímé odměřování polohy tohoto ramene.

Konstrukce manipulátoru je tvořena rámem, který je tvořen universální dělenou svařovanou skříní. Toto řešení umožňuje do budoucna měnit konfiguraci skříně, která je potřebná při dodatečné modifikaci kinematického uspořádání, popřípadě jednotlivých prvků konstrukce. Na skříní jsou umístěny dvě konzoly, které slouží jako nosné prvky pro servopohy. Jeden servopohon slouží k náhonu translačního mechanismu zajišťujícího vysouvání a zasouvání ramene. Druhý servopohon slouží k realizaci rotačního pohybu ramene. Tyto dva pohyby jsou přenášeny na hlavní hřídel a jejím prostřednictvím dále na rameno, které vykonává vlastní výměnu nástrojů.

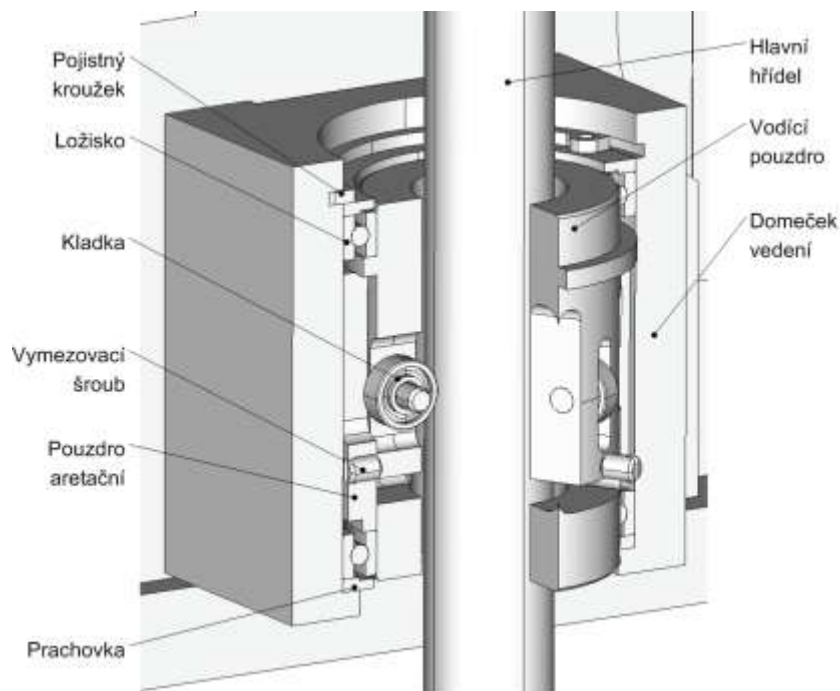
Manipulátor je koncipován jako zařízení se zpětnovazební smyčkou realizovanou pomocí nepřímého odměřování integrovaného přímo v dvojici servomotorů. Velkou nevýhodou tohoto systému je nepřesné zjištění polohy ramene, a to především z důvodu mnoha transformačních členů, které jsou umístěny mezi vstupem a výstupem tohoto zařízení. Každý z těchto členů zanášá do systému mnoho chyb (tuhost, vůle, atd.). Relevantní údaje o reálné poloze ramene manipulátoru je možno získat pouze užitím přímého odměřování polohy. Realizace takového způsobu odměřování by však byla velice obtížná, protože rameno nevykává pouze pohyb rotační, ale i pohyb translační. Proto bylo přistoupeno ke konstrukci odměřování, které bude svojí funkcí přímé odměřování v dostatečné míře nahrazovat. Dalším z požadavků na odměřování je minimalizace možného ovlivnění manipulačního mechanismu parazitními vlivy jako jsou např.: hmotnost pohyblivých komponentů odměřování, pasivní odpory v odměřování, momenty setrvačnosti atd., tyto mohou zanášet do systému manipulace nežádoucí působení a tím v důsledku ovlivnit celkové chování manipulátoru. Z tohoto důvodu byla konstrukce navržena jako subtilní, využívající slitin lehkých kovů a splňující požadavek na minimalizaci počtu pohybujících se prvků, při zachování požadovaných provozních charakteristik. Požadavky na odměřování STD-25:

- přesnost odměřování rotačního pohybu
- přesnost odměřování translačního pohybu
- minimální hmotnost pohybujících se částí
- minimální momenty setrvačnosti rotujících částí
- minimální pasivní odpory
- subtilnost
- realizovatelnost
- spolehlivost a bezpečnost



Obr. 100: Model odměřovacího subsystému

Z uvedeného obrázku obr. 99 je zřejmé uspořádání manipulátoru a odměřování na standu STD-25. Unašeč odměřování je přišroubován k rameni, čímž dojde k pevnému propojení ramene a hlavní hřídele odměřování. Rotační a translační pohyb je souběžně vykonáván tedy i hlavní hřídelí odměřování. Na obr. 100 je vyobrazeno detailní uspořádání jednotlivých prvků v odměřovacím subsystému. Základním požadavkem na odměřovací zařízení je umožnit hřídeli rotační a translační pohyb tak, aby bylo možné měřit odděleně natočení a posunutí ramene. K zajištění tohoto požadavku byla navržena konstrukce využívající dvou skupin, které umožní hřídeli právě tyto dva pohyby. První ze skupin je skupina s názvem "vedení translace". V podstatě se jedná o mechanismus umožňující hřídeli současně rotovat a posouvat, při využití valivého vedení. V současnosti existuje možnost zakoupit valivá vedení umožňující právě tyto pohyby, ale jejich vlastnosti nejsou pro tuto aplikaci vyhovující, proto bylo navrženo uložení vlastní konstrukce. Z obrázku je patrné, že je hlavní vodící pouzdro uloženo ve dvojici nízkoprofilových ložisek, která umožňují jeho rotaci kolem svislé osy. Vodící pouzdro je vhodným způsobem obrobena (viz obr. 101), tak aby do něj bylo možné zasadit tři malá ložiska plnicí funkci kladek. Vymezení vůlí u kladek je zajištěno pomocí stavěcích šroubů, kterými lze ložiska (kladky) dotlačit na hlavní hřídel, tím dojde k vymezení vůlí.



Obr. 101: Vedení tyče odměřování

Další podskupinou odměřovacího subsystému je konzola rotace. Účelem této konzoly je umožnit oddělené odměřování rotace a translace hlavní hřídele, který je v konzole rotačně uložen. Na konzole je umístěn inkrementální rotační snímač, který je spojen s hlavní hřídelí. Tím je zajištěno odměřování natočení ramene manipulátoru. Konzola je současně uložena na dvojici lineárních valivých vedeních, která zajistí přesné vedení pro translační pohyb konzoly rotace. Pro odměřování výsuvu translačního pohybu bylo plánováno užití snímací hlavy firmy Renishaw, která je uchycena na konzole rotace. Na stojanu odměřování je umístěn optický pásek, nad kterým se

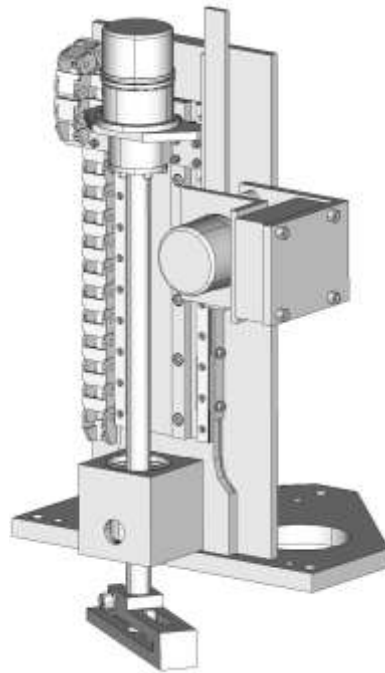
pohybuje snímací hlava. Tímto uspořádáním zajistíme dostatečně přesné odměřování výsuvu ramene. Pro eliminování výrobních a montážních nepřesností, které mají za následek nerovnoběžnost osy hlavní hřídele manipulátoru s osou hlavní hřídele odměřovacího subsystému, jsou použity tři páry stavěcích šroubů, které umožní vyrovnat případné nepřesnosti požadovaným naklopením odměřovacího subsystému tak, aby obě osy byly rovnoběžné. Stojan i manipulátor lze vůči sobě posunout, což umožní konečné ztotožnění os. Touto navrženou konstrukcí je dosaženo téměř přímého odměřování polohy ramene, čímž docílíme získání údajů pro porovnání naměřených a vypočítaných hodnot a tím docílíme verifikace simulačního modelu.

Stand byl podle vytvořené výrobní dokumentace vyroben a počátkem roku 2007 dodán. Po dodání standu začaly práce na jeho oživení. V průběhu prací na oživení mechanické části byly zjištěny drobné nedostatky jak konstrukčního, tak i výrobního charakteru. Jako konstrukční nedostatky byly zjištěny problémy s uložením, a to velká vzdálenost mezi osami šroubu translace a hlavní hřídele. Toto má za následek vznik větší třecí síly při vysouvání ramene. Dále bylo zjištěno, že navržené řešení letmého uložení šroubu translace není optimální, a proto byla provedena modifikace tohoto řešení na oboustranné uložení.

Jako výrobní nedostatek bylo zjištěno nedodržení výrobní dokumentace u uložení hlavní hřídele v konzole translace a záměna navrženého typu ložiska (místo dvou kluzných přírubových pouzder bylo použito pouze jedno válcové pouzdro). Toto mělo za následek další nárůst třecích sil. V důsledku záměny pouzdra dodavatel použil distanční kroužky. Tento fakt měl za následek nedodržení předepsané tolerance, čímž docházelo k samovolnému dotahování matice během rotace ramene. Ve výsledku mělo toto za následek extrémní nárůst zatížení motoru a vedlo k jeho přetížení a zastavení rotace. Jako další nedostatek se projeví dodané řemeny, které měly nedostatečnou tuhost a vykazovaly vůli na řemenici. Při zatížení docházelo k jejich délkové deformaci a znemožňovalo to celkové řízení pohonů. Tyto řemeny byly nahrazeny za řemeny PowerGrip GT3 (včetně řemenic) od firmy Uzimex.

U odměřovacího subsystému došlo ke konstrukčním úpravám celého subsystému z důvodu unifikace čidel. Namísto kombinace IRC od firmy Heidenhain a lineárního optického odměřování firmy Renishaw budou použity dvojice IRC od firmy IFM s rozlišením 10000 pulzů na otáčku. Odměřování translace bude realizováno nepřímo pomocí odvalující se kladky. Toto řešení se ukázalo jako ekonomičtější při zachování dostatečné přesnosti. Unifikace senzorů má za následek sjednocení vstupů v řídicím systému pro zpracování získaných informací.

Na Obr. 102 jsou vyobrazeny konstrukční úpravy odměřovacího subsystému pro odměřování zdvihu a rotace s použitím IRC od firmy IFM. Odměřování rotace je řešeno obdobným způsobem, jako v původním řešení. Změna odměřování translace vedla k novému konstrukčnímu uspořádání, jehož podstatou je pohyblivá lišta, po které se odvaluje kladka. Pro zajištění odvalu je využito kompenzačního členu, který zajišťuje stálý přítlak kladky na lištu.



Obr. 102: Modifikovaný odměřovací subsystém

První, a to z hlediska dynamiky velice zásadní modifikací, která byla provedena na zkušebním standu, bylo odlehčení ramene manipulátoru. Jelikož byl stand navrhován jako prototyp nebylo z důvodu finančních úspor počítáno se složitým a nákladným odlehčováním. Toto se ukázalo jako chybné. Celková hmotnost původního ramene byla cca 32 kg. Po modifikacích, kdy bylo pomocí vodního paprsku vyříznuto několik kapes a po odfrézování dalšího přebytečného materiálu bylo dosaženo hmotnosti cca 18 kg.

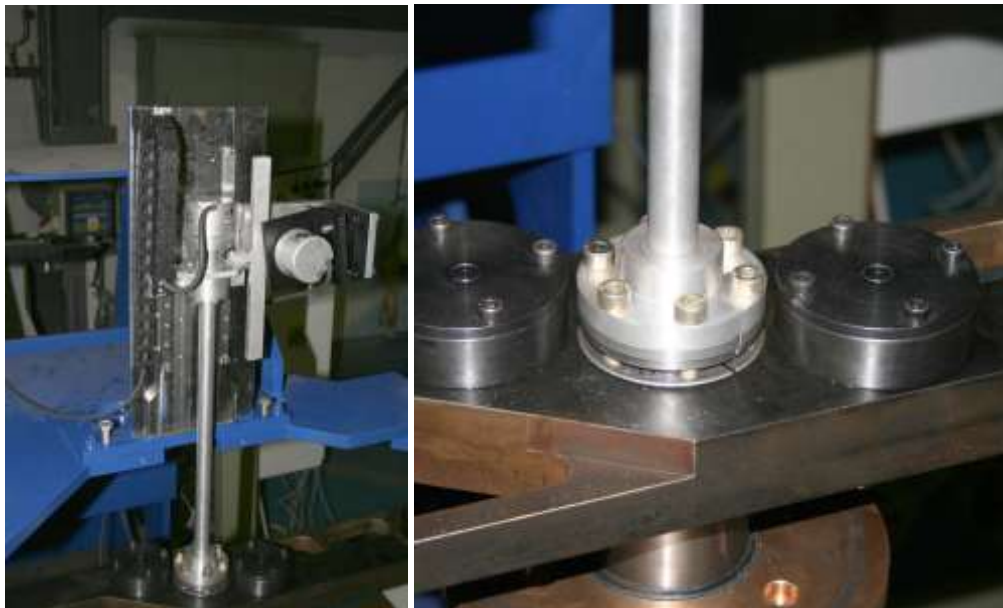


Obr. 103: Rameno po odlehčení

Na obr. 103 je pohled na odlehčené rameno. Je vidět, že materiál byl především odebrán dále od osy rotace, a tedy byl značně snížen i moment setrvačnosti ramene. Z výše uvedeného je tedy patrné, že tento krok vede nejen k výrazné úspoře energie, ale především ke snížení zátěže motoru setrvačnými silami a tím i k zvýšení rychlosti manipulace s nástroji.

Krokem, který byl dále plánován pro zvýšení dynamiky procesu výměny, bylo zabudování nové planetové převodovky Alpha firmy Wittenstein. Převodovka byla zabudována k servomotoru rotace, kde je požadován maximální kroutící moment. Pro max. kroutící moment servomotoru 9Nm a celkovým převodovým poměrem řemenového převodu a planetové převodovky $i=6$ obdržíme kroutící moment 54Nm. Servomotor, u něž není počítáno s trvalým provozem, je možno přetížit 2 až 3-krát, je tedy možné krátkodobě dosáhnout záběrového momentu 108 až 162 Nm.

V rámci oživení odměřovacího subsystému potřebného pro měření některých experimentálních dat (reálné polohy ramene v závislosti na čase a v závislosti na poloze servopohonu) byly získány zkušenosti s ustavováním a seřizováním subsystému, které vedly k modifikacím majícím za cíl usnadnit jeho opětovné seřízení. Jedná se především o odstranění vodícího domečku viz obr. 104, který komplikoval seřizování a zapříčiňoval nežádoucí průhyb hřídele měřícího subsystému.



Obr. 104: Současný stav odměřovacího subsystému

Dále byl modifikován element tvořící rozhraní mezi standem a odměřovacím subsystémem. Původní pružný element byl nahrazen přesnou přírubou viz obr. 104. Původně navržený pružný element měl zajišťovat eliminaci nepřesnosti ustavení vlastní deformací, toto se ukázalo jako zbytečné. Přesnost ustavení umožňuje užití pevného elementu pro rozhraní, který zajistí kvalitnější a přesnější opětovné upnutí odměřování k ramenu standu.

Bylo rovněž přistoupeno k řešení již zmiňovaného problému s přičlením hlavní hřídele a tím nárůstu potřebné hnací síly při translačním pohybu. Po zevrubné analýze dat získaných při experimentech a následnou demontáží a proměřením bylo zjištěno,

že hlavní příčina těchto problémů spočívá v přesnosti a materiálu původních plastových kluzných ložisek od firmy IGUS. Vůle mezi hřídelem a ložiskem se pohybovala okolo 0,1mm, což je pro dané požadavky zcela nedostačující. V návaznosti na tuto vůli docházelo k naklápění hřídele a vzniku příčení. V takto vzniklé lokální kontaktní vazbě však výrazně narůstá stykový tlak. Podle dostupných katalogových podkladů byl však tento nárůst kontaktního tlaku doprovázen radikálním vzestupem součinitele tření. Narozdíl od jiných materiálu jako např. bronz, byl součinitel tření výrazně závislý na stykovém tlaku. Úprava spočívala ve výrobě přesně lícovaných kluzných ložisek vyrobených z bronzu. Díky lepším kluzným vlastnostem a vyšší tuhosti zajišťují spolehlivé plnění požadované funkce s menšími silami ve směru osy translace než řešení původní.



Obr. 105: Vlevo původní plastová kluzná ložiska, vpravo nové bronzové

Rozhraní pro sběr dat

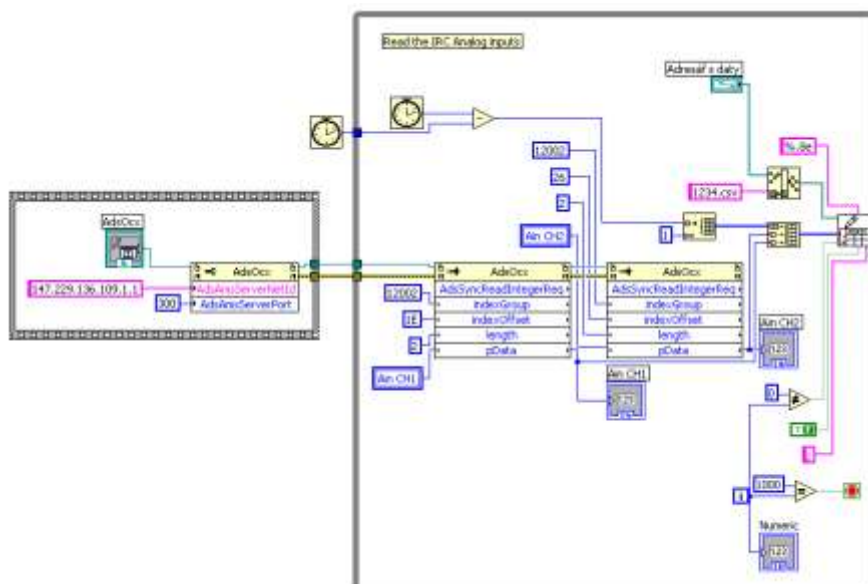
Stand STD-25 je vybaven odměřovacím subsystémem, který zajišťuje přímé odměřování polohy ramene. Tento odměřovací subsystém nám umožňuje co možná nejpřesnější zjištění polohy a v závislosti na čase i rychlosti a zrychlení. Tyto parametry jsou nezbytné pro vyhodnocení chování manipulátoru jako celku a dále pro nastavení parametrů měničů pohonu a ověření funkčnosti užití řízení pomocí nepřímého odměřování v servomotorech. Z důvodů požadavku na dostatečnou přesnost byl odměřovací subsystém vybaven dvojicí inkrementálních snímačů a systémem sběru dat založeném na programovatelném automatu firmy Beckhoff s moduly KL5101. Tyto moduly jsou určeny pro připojení inkrementálních rotačních snímačů a umožňují rychlost snímání 200ns. K modulům byl připojen notebook vybavený vhodným software umožňující záznam a export naměřených dat. Při prvních experimentech byl jako software použito LabView firmy National Instruments. Systém pro sběr dat byl navržen a realizován kolegou Ing. Františkem Bradáčem Ph.D. a Ing. Radimem Blechou Ph.D.

Ve spolupráci s kolegou Ing. Miroslavem Oplem bylo vytvořeno rozhraní mezi měřícími moduly firmy Beckhoff a programovým prostředím LabView, které umožňovalo prostřednictvím sběrnice EtherCAT přenos dat do programu viz obr. 107. Tento program pak zajišťoval ukládání dat do formátu CSV, který je kompatibilní s dalšími SW vhodnými pro zpracování naměřených údajů. Prvotním záměrem, proč bylo zvoleno prostředí LabView, byl fakt, že se jedná o velice komplexní nástroj umožňující i

složité zpracování signálu. V průběhu prvních experimentů se však ukázalo, že tato cesta není zcela vhodná, a to především z důvodu náročnosti na výpočetní výkon počítače. Při realizaci snímání dvou kanálů z PLC byla totiž dosažena poměrně malá rychlost měření cca 200Hz. Je tedy zřejmé, že tato rychlost vzorkování není zcela dostačující pro plnohodnotné zpracování signálu a následnou verifikaci simulačních modelů.



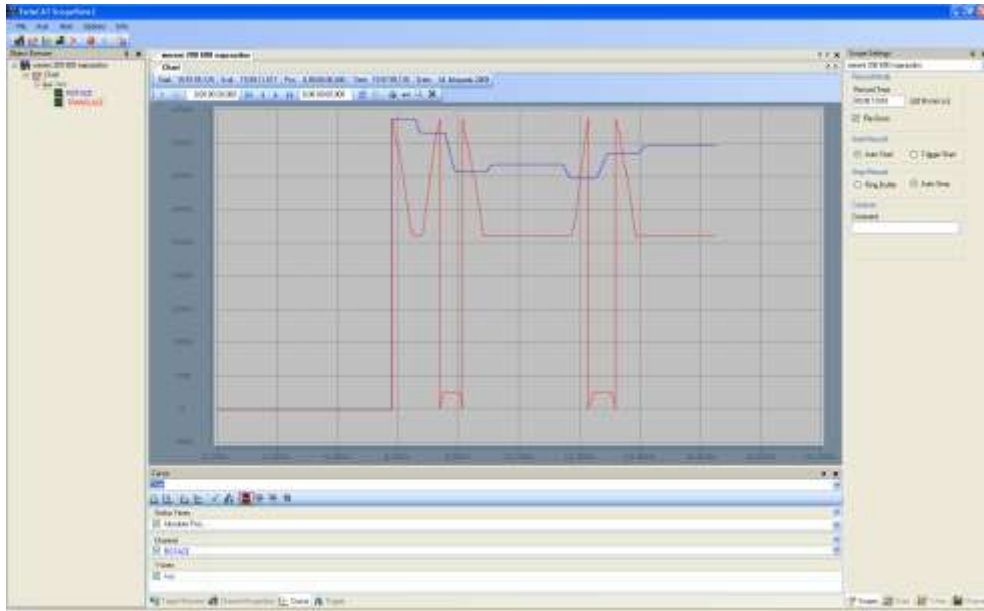
Obr. 106: PLC firmy Beckhoff pro sběr dat



Obr. 107: Program v prostředí LabView pro komunikaci s moduly Beckhoff

Z těchto důvodů bylo dále upuštěno od užití prostředí LabView a pro sběr dat byl použit program Scope 2 firmy Beckhoff viz obr. 108. Tento software umožňuje díky přímé komunikaci přes softwarové rozhraní TwinCAT dosáhnout mnohem vyšších rychlostí měření. Tato rychlost je díky velké propustnosti sběrnice EtherCAT v podstatě omezena už jen rychlostí smyčky v PLC. V závislosti na délce PLC programu je možné se

dostat i na rychlost $50\mu\text{s}$. Pro naše účely je však zcela postačující rychlost vzorkování 1kHz. Při této vzorkovací frekvenci je možné již identifikovat všechny zákmity a odchylky od ideálního tvaru průběhu. Nevýhodou tohoto řešení je pak nutnost využití dalších konvenčních SW nástrojů pro zpracování získaných dat.



Obr. 108: Záznamové a vizualizační prostředí Scope2 firmy Beckhoff

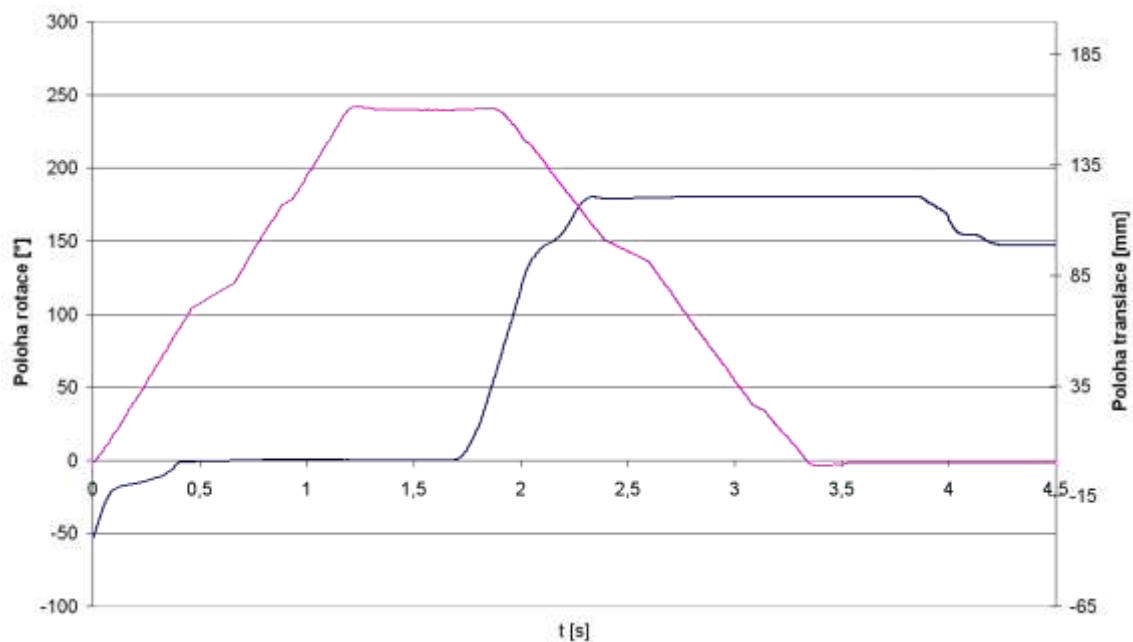
7.1.2 Experimentální zkoušky STD-25

Finální experimentální zkoušky prováděné na standu STD-25, které již přinesly relevantní data, tedy již nesloužila k prostému ověření funkce, byla realizována v několika fázích.

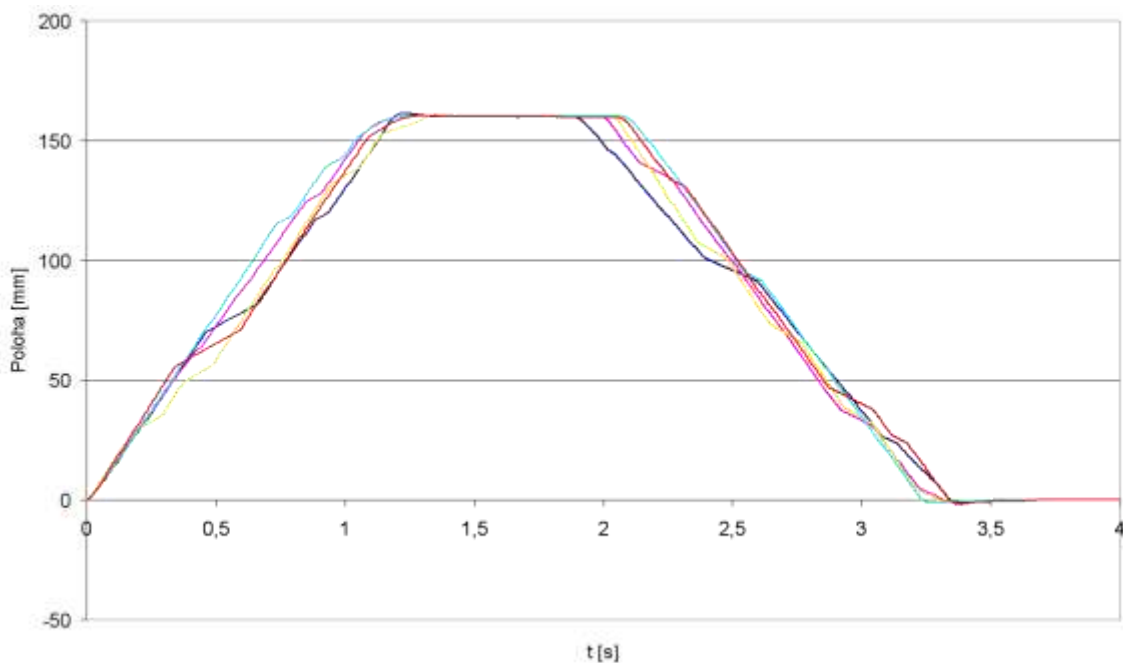
- První fáze byla zaměřena na softwarovou část. Byl vytvořen a odladěn program pro realizaci cyklu výměny. (Ing. Františkem Bradáčem Ph.D.)
- Druhá fáze spočívala v určení a ladění konkrétních hodnot parametrů řídicího systému. Nastavení konstant regulátorů pohonu tak, aby bylo dosaženo stabilního chodu bez překmitů a nestabilit. (Ing. Bradáčem Ph.D.)
- Třetí fáze byla zaměřena na zkoušky rychlosti manipulace s nástroji s různou hmotností. (řešeno kolektivně v rámci Brněnského pracoviště VCSVTT)

První dvě fáze popsané výše můžeme v současnosti považovat za zcela standardní operace prováděné na všech zařízeních využívajících servopohonů, proto se jejich popisu nebudu věnovat. Zajímavá a naprosto zásadní se však jeví fáze třetí, zaměřená na plánování a realizaci experimentálních zkoušek na standu STD-25. Experimenty byly zahájeny na základě stanoveného plánu měření, ale již v počátečních etapách se prokázalo, že manipulátor trpí několika neduhy, které se negativně projevují na jeho funkci. Z tohoto důvodu musel být tento plán vhodně modifikován a potvrdila se důležitost plánování testů jak z hlediska volby zatížení, tak i průběhů rychlostí atd. Testy byly rovněž realizovány pro různé stavy zatížení: nezatížený

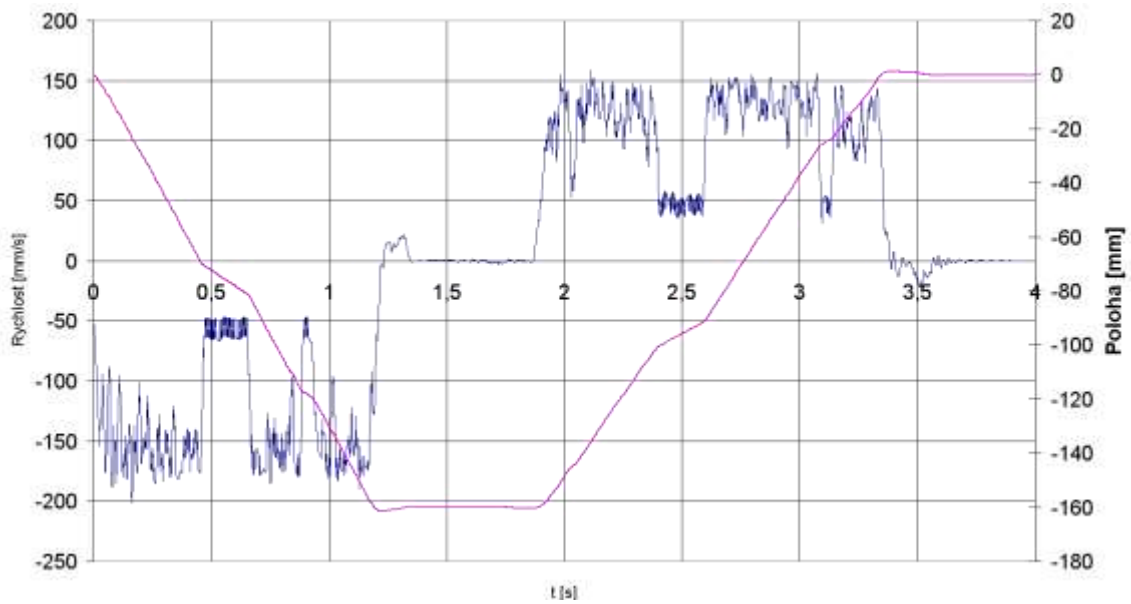
manipulátor, manipulátor výrazně nesymetricky zatíženým, což mělo vyvolat nestability chodu manipulátoru a nám tak umožnit komplexní proměření všech stavů manipulátoru. Výsledkem celého tohoto snažení bylo získání komplexních charakteristik a dat o chování manipulátoru, která by umožnila provedení verifikace simulačních modelů vytvářených v prostředí MSC.Adams. Několik následujících obrázků prezentuje příklady získaných experimentálních dat.



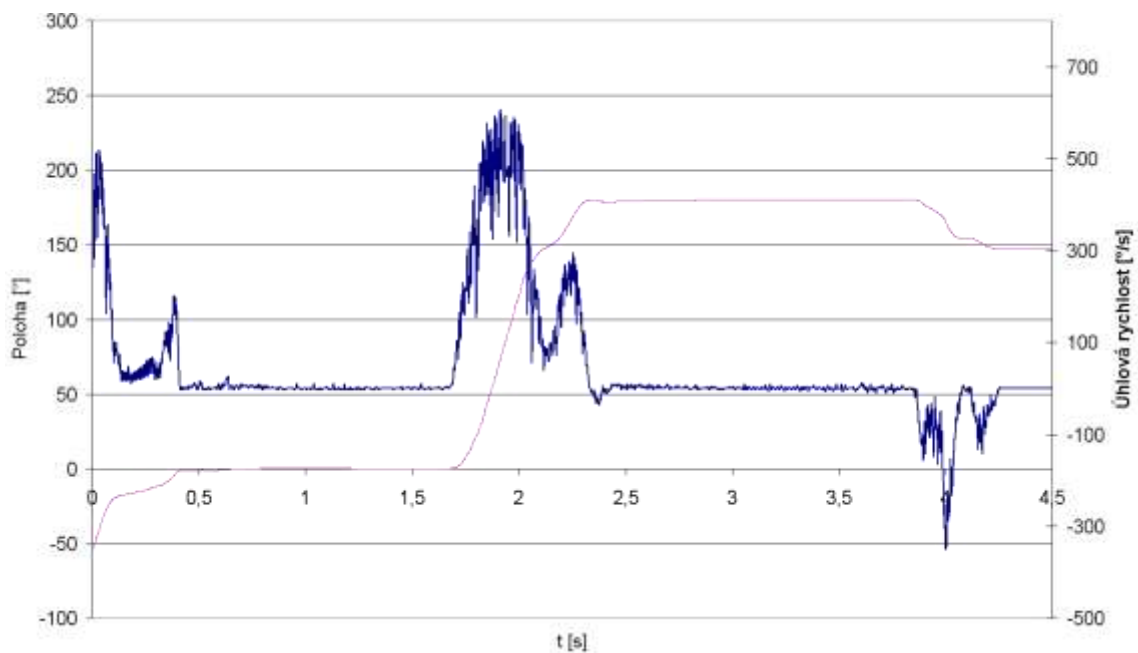
Obr. 109: Graf znázorňující jeden z naměřených průběhu translačního a rotačního pohybu (fialová barva-translace, modrá-rotace)



Obr. 110: Graf znázorňující 5 náhodně vybraných průběhu translace pro dva nástroje hmotnosti 7kg



Obr. 111: Časová závislost polohy translace (fialová) a rychlosti translace (modrá) na čase nástroje 7+7kg



Obr. 112: Časová závislost polohy rotace (fialová) a rychlosti rotace (modrá) na čase nástroje 7+7kg

7.1.3 Vyhodnocení experimentálních dat

V průběhu realizace experimentálních zkoušek na standu STD-25 bylo získáno velké množství experimentálních dat, která byla dále zpracovávána a analyzována. Jednalo se především o statistické zpracování dat z pohledu nalezení opakovatelné přesnosti najíždění manipulátoru na požadovanou polohu jak translačního, tak i rotačního pohybu. A také určení průměrné doby výměny nástroje pro jednotlivé

hmotnostní kategorie. Na základě zpracovaných dat byla vytvořena orientační tabulka dosahovaných časů výměn v závislosti na celkové hmotnosti nástrojů. Tato byla dále doplněna o tabulku udávající opakovatelnou přesnost polohování jak pro translaci, tak i rotaci.

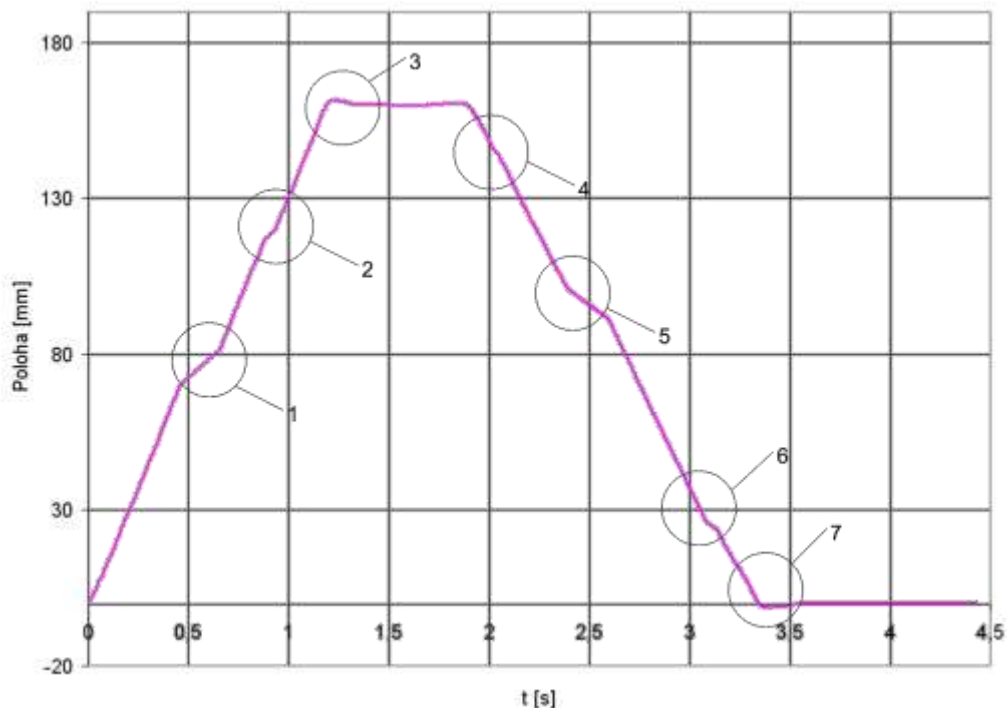
Tabulka 12: Orientační tabulka času výměny v závislosti na hmotnosti nástroje

Hmotnostní třída	Celková hmotnost nástrojů dané třídy [kg]	Průměrný čas výměny [s]
1	14	4,25
2	20	4,95
3	26	5,3

Tabulka 13: Orientační tabulka dosahovaných přesností polohování rotačního a translačního pohybu

Typ pohybu	Opakovatelná přesnost najetí do polohy [mm]
translace	0,37
rotace	2,5

Při analýze dat bylo dále detekováno několik neduhů týkajících se jak projevů samotného konstrukčního řešení, tak i nedokonalostí v řízení (nastavení PID regulátoru)

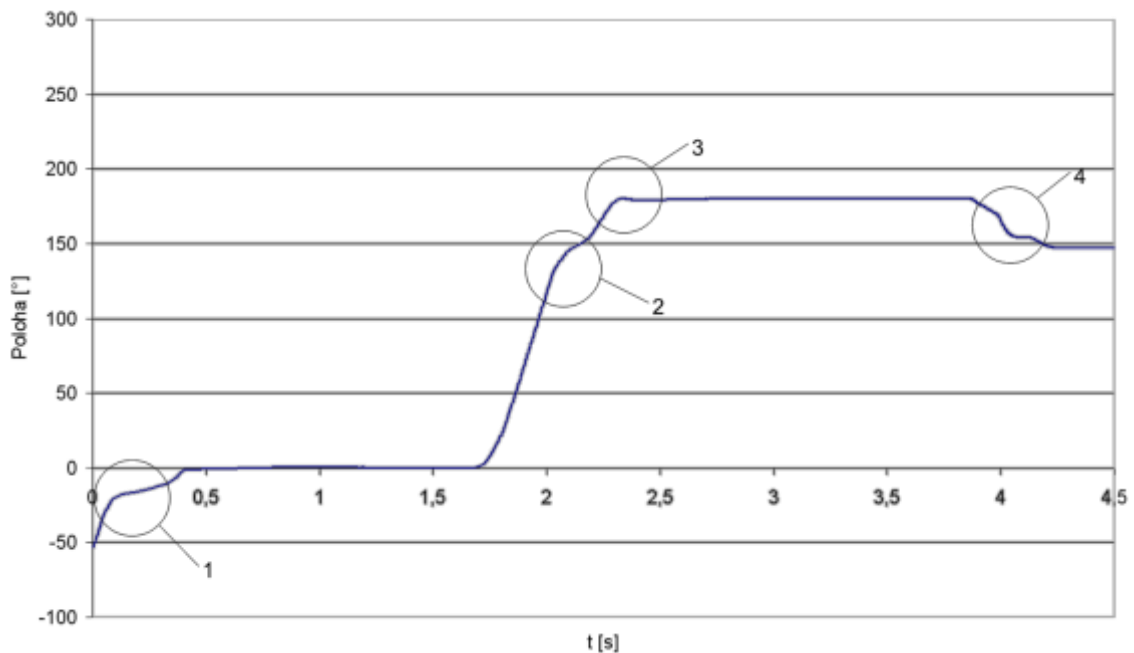


Obr. 113: Typický průběh translačního pohybu při výměně s vyznačením kritických oblastí

Na obr. 113 je znázorněn jeden z naměřených průběhů translačního pohybu. Tento průběh demonstruje všechny nežádoucí vlivy identifikované při realizaci translačního pohybu ramene manipulátoru. V naměřených datech translace byly identifikovány následující nedostatky – problémy:

Oblast 1, 2, 4, 5, 6 – jedná se o nestability v pohybu manipulátoru tzv. trhavý pohyb. Je zapříčiněn ne zcela optimálním konstrukčním řešením (malá vzdálenost kluzných pouzder vedoucích hřídel a velká vzdálenost působí síly od osy, vyvolující translaci). Můžeme konstatovat, že vznik trhavého pohybu je jednou z nechtaností kluzných vedení a není možné se ho zcela zbavit. Je možné ho za pomoci vhodných metod eliminovat, nikoli však zcela odstranit. Jako opatření vedoucí k eliminaci trhavého pohybu je možno provést konstrukční modifikaci vedoucí k zlepšení silových poměrů v mechanismu, popřípadě vhodnější volba kombinace kluzných materiálů, mazání a v neposlední řadě i zvýšení tuhosti mechanismů, a to především u uzlů majících největší vliv na vznik trhavého pohybu.

Oblast 3, 7 – v tomto případě se jedná o překmitnutí polohy při dojezdu na požadovanou polohu. Tento problém je způsoben především volbou konstant (zesílení složek PID regulátoru polohové a momentové smyčky) při nastavování měniče servopohonů. Je nutno podotknout, že tento problém byl velice dlouho řešen ve snaze ho zcela eliminovat pro všechna zatížení od rozdílně hmotných nástrojů. Úplná eliminace ve všech stavech se však nepodařila. Tento fakt je zapříčiněn velkým rozptylem hmotností nástrojů, se kterými může manipulátor manipulovat.



Obr. 114: Typický průběh rotačního pohybu při výměně s vyznačením kritických oblastí

Na obr. 114 je znázorněn jeden z naměřených průběhů rotačního pohybu. Tento typický průběh znázorňuje všechny nežádoucí vlivy identifikované při realizaci rotačního pohybu ramene manipulátoru. V naměřených datech rotačního pohybu byly identifikovány následující nedostatky – problémy:

Oblast 1,4 – jedná se o oblasti, v nichž dochází k „zaseknutí“ nástroje do ramene. Přesněji k překonání odporu pružiny zajišťovacího palce nástrojem a jeho následné přejetí a zaskočení. Z obrázku je rovněž patrné, že v oblasti č. 1 dochází k poměrně značné časové prodlevě oproti oblasti č. 4. Je to dáno především tím, že v oblasti č. 1 dochází k zaseknutí nástroje a v oblasti č. 4 k jeho uvolnění. Tento fakt je dán nesymetrickou konstrukcí zajišťovacího palce, který vyvolává rozdílné silové působení při uchycení a uvolnění nástroje. Závěr vyplývající z tohoto zjištění je ten, že by mělo dojít k optimalizaci konstrukce zajišťovacího palce manipulačního ramene. Další možností, která se však jeví jako výhodnější a perspektivnější je vývoj nového typu zajišťování nástroje v rameni. Toto by mělo splňovat především požadavky na minimalizaci síly pro vyvození upínací síly, minimální rázy do upínacích lůžek a též maximální spolehlivost upnutí nástroje.

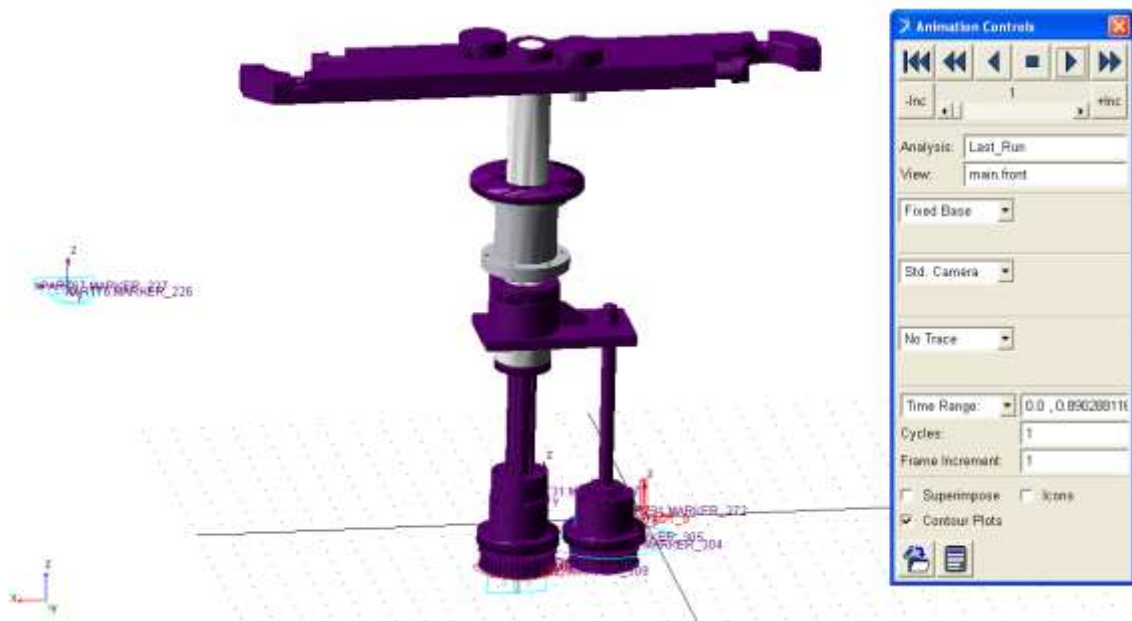
Oblast 2 - jedná se o nestabilitu v pohybu manipulátoru způsobenou kombinací nedokonalé nastaveného regulátoru měniče a velkých pasivních odporů mechanismu (možnosti vzniku trhavého pohybu). Můžeme konstatovat, že vznik této nestability má příčinu především v řízení servopohonu, proto by bylo třeba dále ladit potřebné konstanty PID regulátoru. Nalezení optima je však velice komplikované kvůli velkému rozptylu hmotností jednotlivých nástrojů, což má za následek i rozdílné požadavky na velikost odezvy měniče.

Oblast 3 - v tomto případě se jedná o překmitnutí polohy při brzdění a dojezdu na požadovanou polohu natočení. Tento problém je způsoben především volbou konstant (zesílení složek PID regulátoru polohové a momentové smyčky) při nastavování měniče servopohonů. Je nutno podotknout, že tento problém byl velice dlouho řešen ve snaze ho zcela eliminovat pro všechna zatížení od nástrojů. Úplná eliminace ve všech stavech se však nepodařila. Tento fakt je zapříčiněn velkým rozptylem hmotností nástrojů, se kterými může manipulátor manipulovat. Toto s sebou přináší i velký rozptyl momentů setrvačnosti celého manipulátoru, kdy se maximální a minimální moment setrvačnosti může lišit a to o více jak 300%. Z toho vyplývá i problematická optimalizace konstant. AVN však není proces vyžadující „absolutně“ přesné dráhové řízení, jde především o přesné opakovatelné dosažení žádané polohy, proto tyto překmity nejsou z hlediska funkčnosti významné. Při experimentech jsme se však snažili konstanty vyladit tak, aby pro celé spektrum hmotností užívaných nástrojů byla tato chyba co možná nejmenší.

Výše popsaná kritická místa jsou též dobře ilustrována obrázky znázorňujícími průběh rychlosti viz obr. 111 a 112, kde je patrná výrazná změna rychlosti v místech vzniku trhavého pohybu. Další nedostatky identifikované při experimentálních zkouškách nebyly zjištěny z naměřených dat, ale byly získány přímo při realizaci měření. Jednalo se především o drobnosti týkající se optimalizace konstrukce většinou v podobě vhodnější volby tolerančních pásem, které umožní spolehlivější provedení výměny nástroje. Týká se to především modifikací šířky unášecích kamenů, modifikace tvaru upínací kleštiny a v neposlední řadě palce pro zamykání nástroje.

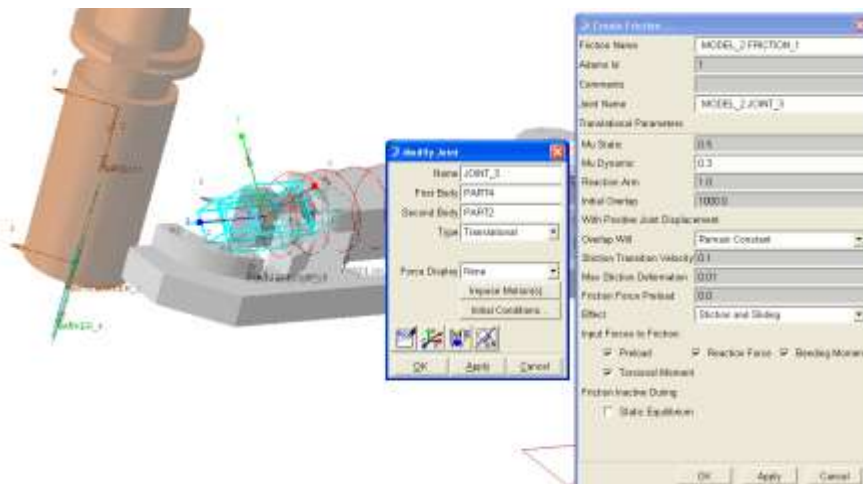
7.1.4 Simulační model a jeho verifikace

Vytvoření simulačního modelu a jeho verifikaci můžeme považovat za jednu ze stěžejních částí práce. Nejedná se pouze o ověření shodnosti výsledků reálných a teoretických, ale jedná se o celý komplex poznatků, zkušeností a dovedností, jež musely být při získávání praktických experimentálních, tak i teoretických dat vynaloženy a získány. Nedílnou součástí tohoto komplexu poznatků jsou i konstanty a parametry potřebné pro ladění simulačního modelu a jeho sesouhlasení s realitou. Tyto parametry představují velmi cenná data prakticky využitelná v další práci.



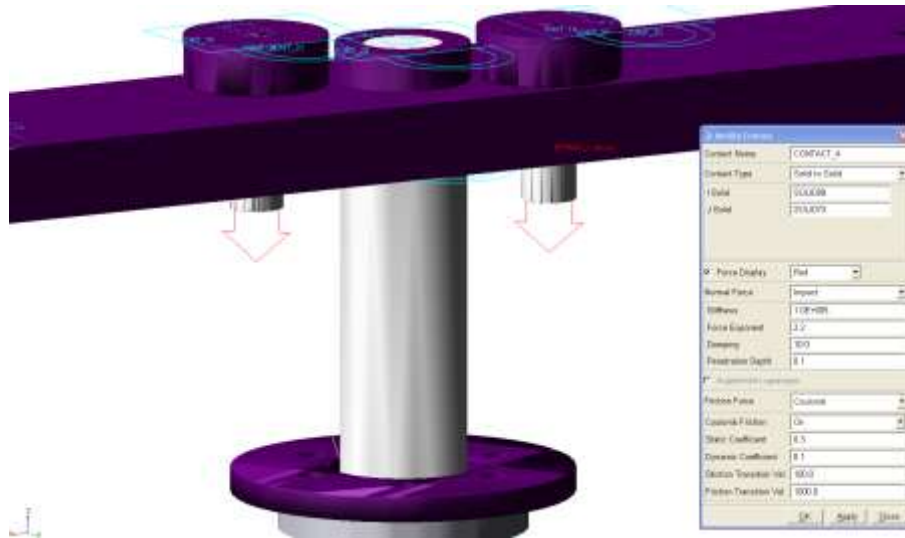
Obr. 115: Prostředí MSC.ADAMS s jedním z používaných modelů

Verifikaci simulačního modelu podle chování reálného zařízení můžeme považovat za velice komplikovanou a komplexní úlohu, jež se většinou skládá z mnoha dílčích verifikačních procesů. Mezi ně můžeme například zařadit porovnání maximálních rychlostí a doby trvání jednotlivých fází pohybů realizovaných při výměně. Dále je možné statisticky porovnat průběhy dráhy, rychlosti a zrychlení a za pomoci standardních statistických metod určit zda jsou na zvolené hladině spolehlivosti odpovídající, či nikoliv.



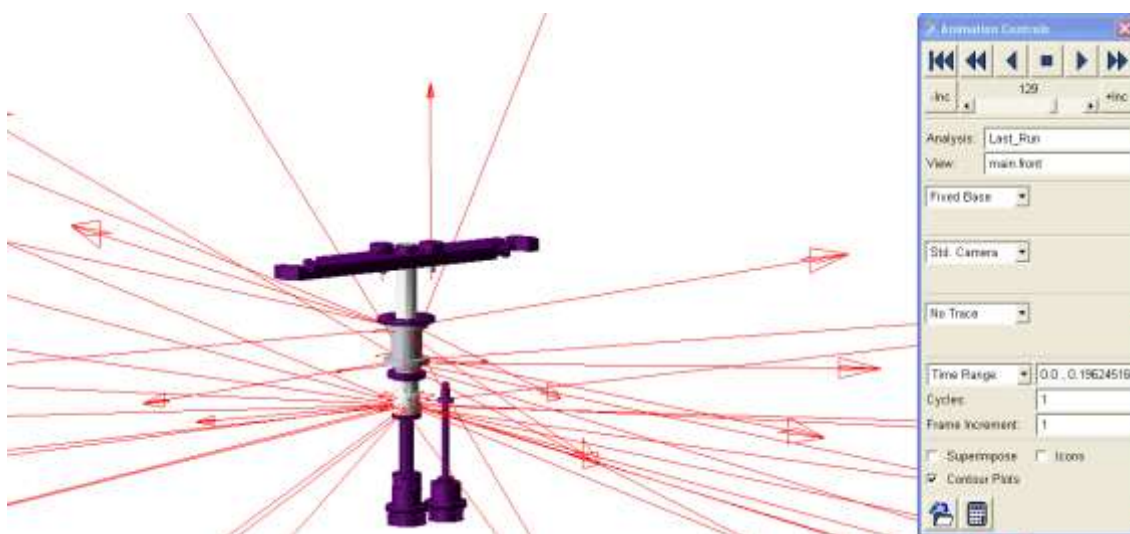
Obr. 116: Definice translační vazeb s definicí stat. i dynam. tření

Toto vše je však nutné realizovat komplexně pro celé spektrum nastavitelných parametrů a zatížení. Při tvorbě simulačního modelu bylo snahou dosažení co možná největší shody virtuálního řešení a řešení reálného. Jak již bylo uvedeno výše, STD-25 trpí několika neduhy, mezi něž patří nestabilita chodu atd. Snahou bylo tedy vytvořit komplexní model, který by částečně postihoval i zmiňované nestabilní chování. Toto bylo zajištěno především velkým počtem komplexních vazeb tvořících model, které zajišťují reálnost chování virtuálního modelu.



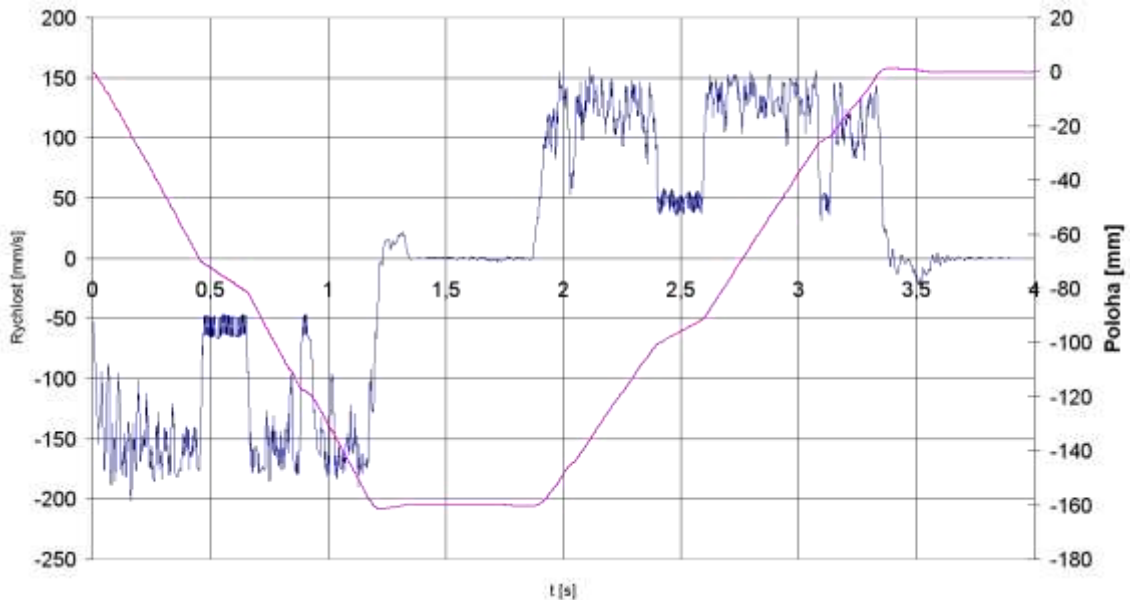
Obr. 117: Definice kontaktní vazby mezi zajišťovacím palcem a dorazem

Jako příklad komplexní vazby můžeme jmenovat vazbu užívanou v prostředí MSC.Adams pod názvem CONTACT. Tato vazba umožňuje jak realizaci kontaktních úloh z pohledu vzájemného silového působení, tak i silové odezvy vyvolané třecími silami. Takovéto komplexní vazby ve své podstatě mohou zajistit i výše zmiňovaný popis nestabilního chování matematickým modelem.

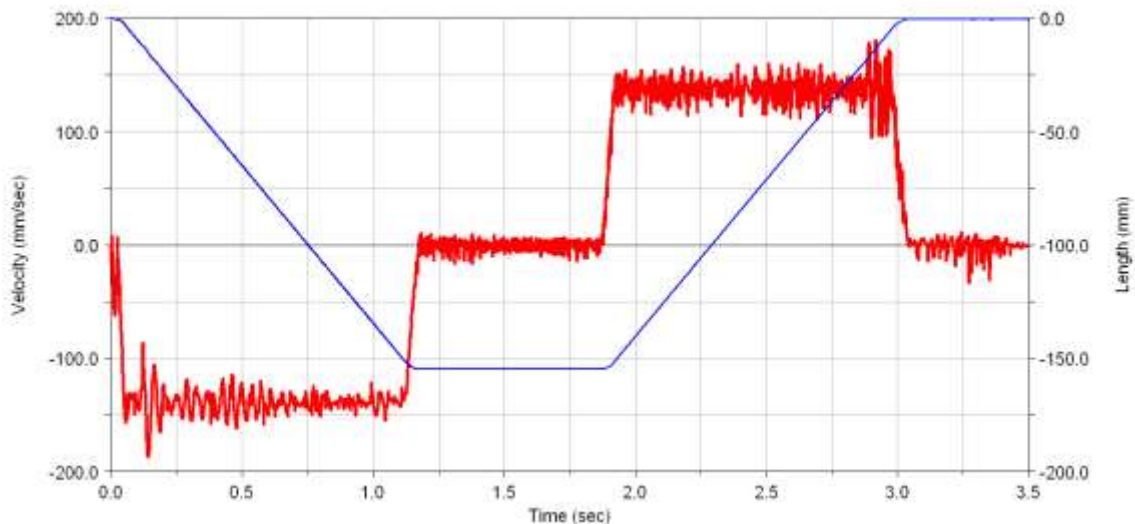


Obr. 118: Vizualizace sil v průběhu simulace rotace ramene

Následující dvojice obrázků prezentuje v prvním případě průběhy naměřených veličin translačního pohybu a v druhém pak veličiny spočítané za pomoci simulačního modelu. Již na první pohled je patrná dobrá shoda reality s modelem. Je to dáno především tím, že se jedná o jednodušší z realizovaných pohybů. Z obrázků je dále patrné, že reálné zařízení trpí výrazným trhavým pohybem, který se projevuje velkým poklesem rychlosti. Tento jev je však pomocí simulačního modelu obtížně postihnuteľný a z hlediska verifikace je obtížně uchopitelný.

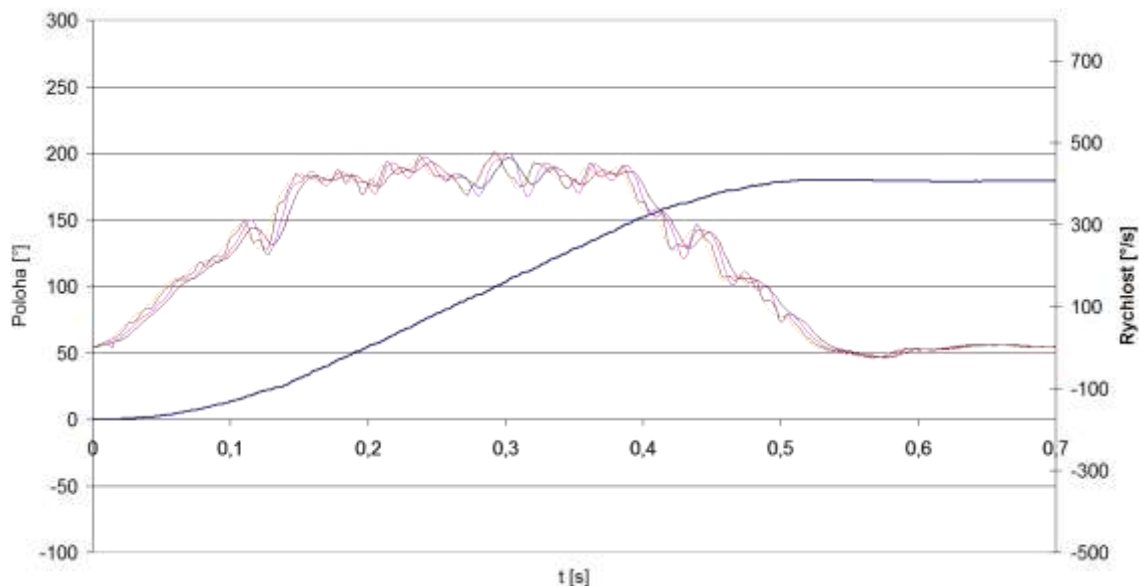


Obr. 119: Průběh polohy translace (fialová [mm]) a rychlosti translace (modrá [mm/s]) v závislosti na čase reálného zařízení

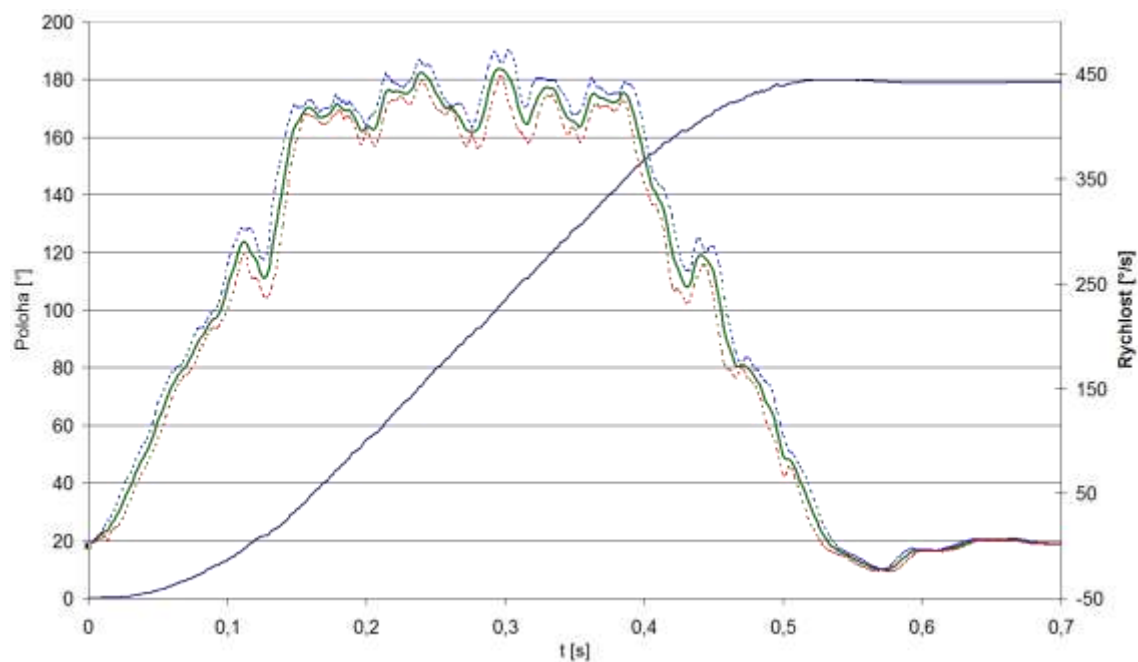


Obr. 120: Průběh polohy translace (modrá [mm]) a rychlosti translace (červená [mm/s]) v závislosti na čase simulačního model

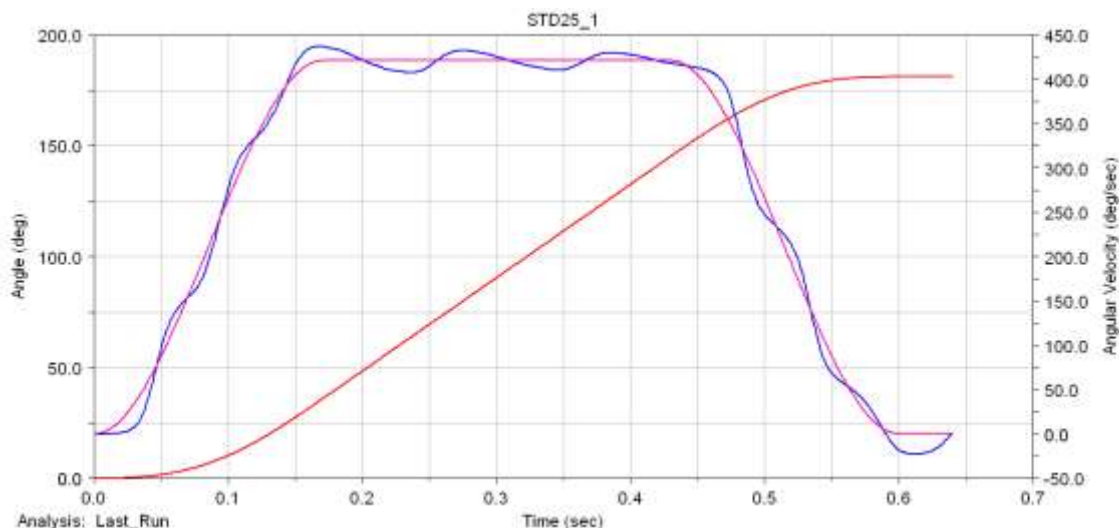
Následující trojice obrázků pak představuje průběhy naměřených veličin rotačního pohybu a veličin spočítaných za pomoci simulačního modelu. Již na první pohled jsou patrné jisté rozdíly v průbězích především rychlosti. Tento fakt je dán především menší stabilitou chodu rotačního pohybu. Snahou bylo v rámci řešení simulačního modelu tyto nestability napodobit. Tyto jsou způsobeny především velkým třením, poddajností řemenového převodu a tuhostí stykových ploch přenášejících moment. Snahou je tedy ověřit shodu modelu s výsledky reálných experimentů.



Obr. 121: Měřený průběh natočení ramene (modrá [°]) a opakované měření rychlosti rotace v závislosti na čase [°/s] reálného zařízení



Obr. 122: Graf znázorňující průběh natočení ramene (modrá [°]), střední hodnotu rychlosti rotace (zelená [°/s]) a tečkovaně je vyznačena oblast po přičtení a odečtení směrodatné odchylky v daném bodě



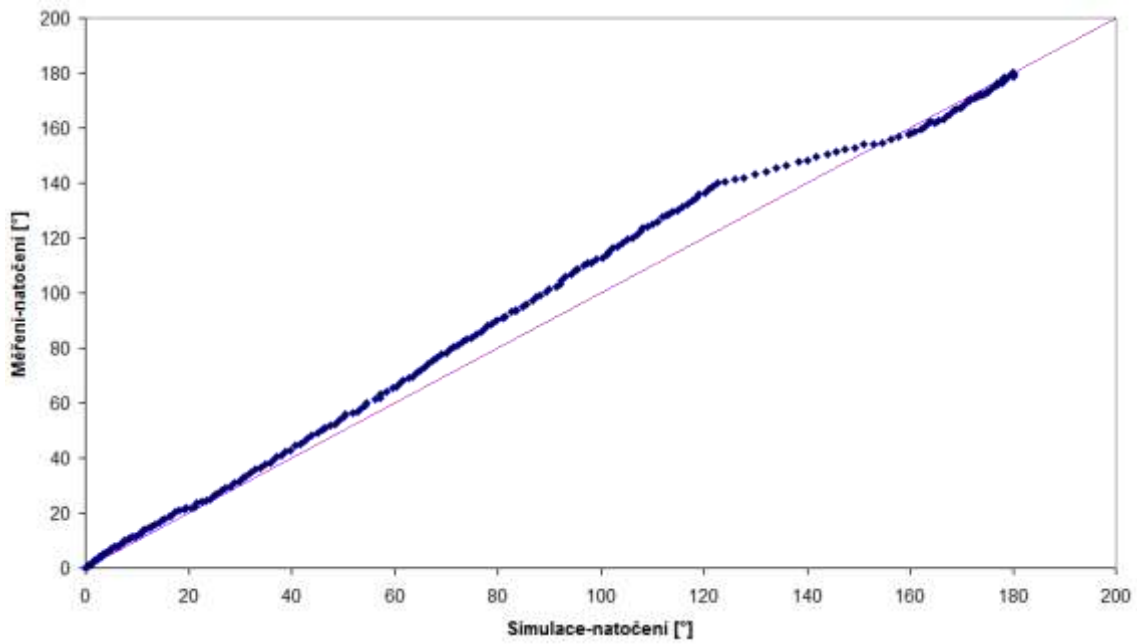
Obr. 123: Vypočtený průběh natočení ramene (červená [°]) a rychlosti rotace (modrá [°/s]) v závislosti na čase simulačního modelu

Verifikace, nebo také ověření simulačního modelu, je založeno na porovnávání hodnot skutečných - naměřených na reálném zařízení a hodnot vypočítaných modelem. Za tímto účelem lze použít celou řadu statistických metod. Mezi nejčastěji používané můžeme zařadit:

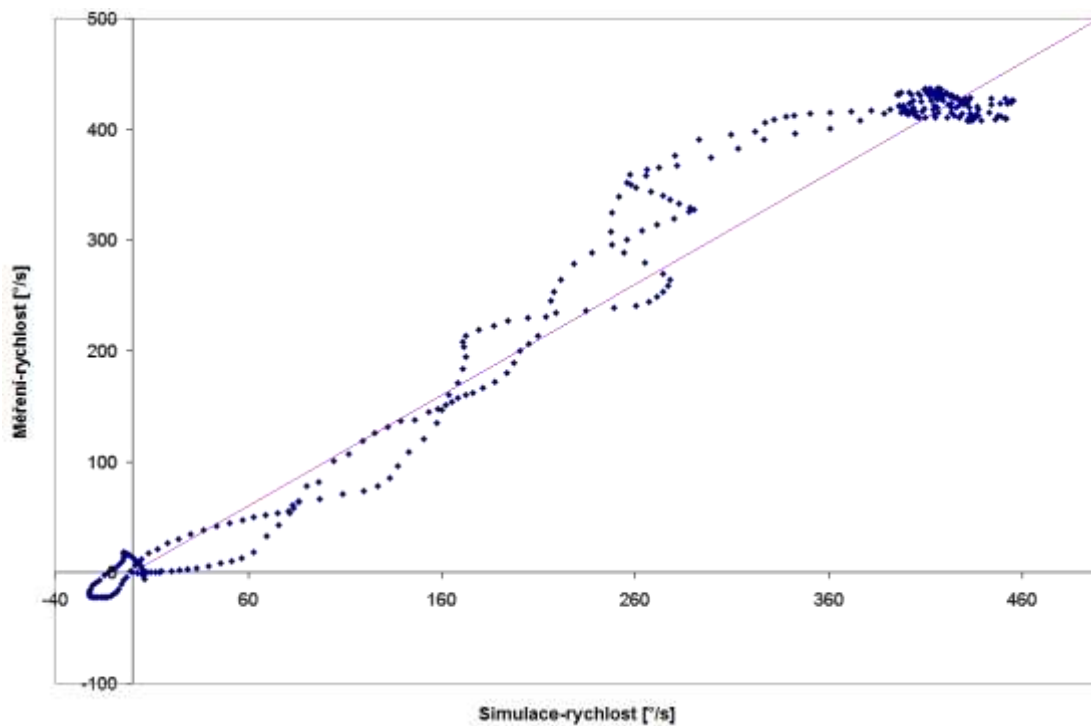
- Rozptylový diagram
- Korelační koeficient
- Vychýlení
- Normalizovaná střední kvadratická odchylka
- Procentuální shoda

Rozptylový diagram je graf, jehož jednu osu reprezentují vypočítané hodnoty určité veličiny a osu druhou hodnoty naměřené. Vizualně lze následně posoudit, zda jsou dané hodnoty rozptýlené, či tvoří pomyslnou přímku, tedy zda se vypočítané hodnoty odlišují, nebo se blíží hodnotám naměřeným.

Dále uvedená dvojice grafů znázorňuje rozptylové diagramy pro polohu a rychlost. Na základě vizuálního posouzení je možno usuzovat na dobrou shodu modelu s reálným zařízením především u polohy. Rychlost kopíruje pomyslnou přímku, ale její rozptyl je poměrně velký, proto přistoupíme k ověření dalšími metodami statistické analýzy.



Obr. 124: Rozptylový diagram úhlového natočení ramene manipulátoru
simulační model – reálné zařízení



Obr. 125: Rozptylový diagram rychlosti natočení ramene manipulátoru
simulační model – reálné zařízení

Korelační koeficient reprezentuje podobnost dvou datových souborů. Jestliže S reprezentuje soubor vypočtených dat a M data získaná z experimentálních zkoušek, bude korelační koeficient r roven:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M}) \cdot (S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}} \quad (2)$$

Na základě výpočtu byla obdržena hodnota korelačního koeficientu 0,9856. Na základě Studentova rozdělení byla stanovena kritická hodnota korelačního koeficientu 0,257 na hladině významnosti $\alpha=0,05$. Z porovnání hodnot vyplývá, že porovnávané veličiny jsou závislé.

Na základě **vychýlení** lze určit, zda model nadhodnocuje, nebo podhodnocuje. Je stanovena hodnota:

$$BIAS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (M_i - S_i) = \bar{M} - \bar{S} \quad (3)$$

Vypočtená hodnota -8,0138 nám naznačuje, že simulační model mírně nadhodnocuje.

Interval spolehlivosti lze stanovit jako:

$$B_{ci} = \pm t_a \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (M_i - S_i - BIAS)^2} \quad (4)$$

Koeficient spolehlivosti t_a vychází ze Studentova rozdělení $t_a = 1,96$ pro úroveň spolehlivosti 95%. Hladina spolehlivosti 95 % znamená, že s touto pravděpodobností bude hodnota vypočtená modelem ležet uvnitř intervalu spolehlivosti $-8,0138 \pm 3,31$.

Normalizovaná střední kvadratická chyba vyjadřuje celkovou odchylku modelu a měření. Lze ji vyjádřit:

$$NMSE = \frac{1}{nMO} \sum_{i=1}^n (M_i - S_i)^2 \quad (5)$$

Hodnota $NMSE=0,01662$. představuje dobrou shodu modelu s měřením.

Procentuální shoda vyjadřuje míru překrytí mezi naměřenými a vypočítanými hodnotami.

$$FM = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \min(M_i, S_i)}{\sum_{i=1}^n \max(M_i, S_i)} \quad (6)$$

Při $FM = 100\%$ je shoda absolutní. V našem případě hodnota 90,97% reprezentuje rovněž dobrou shodu simulačního modelu s experimentálně získanými daty. Analogicky bylo postupováno při ověřování dalších variant simulačních modelů.

Jak již bylo zmíněno, ladění a výsledná verifikace simulačních modelů byla otázkou dlouhodobých experimentálních zkoušek. Tyto ve výsledku vedly k dosažení vhodných parametrů modelů, které zajišťovaly dostatečnou shodu s reálným zařízením. Tento fakt byl potvrzen též za pomoci statistických metod, a to nejen pro výše uvedené konkrétní příklady, ale i pro celé spektrum dat, která byla při experimentech a tvorbě simulačního modelů shromážděna.

7.1.5 Problematika rázu do vřeteně

Při realizaci experimentálních zkoušek na standu STD-25 byl zjištěn zajímavý postřeh týkající se problematiky související se silovým působením ramene manipulátoru na nástroj, potažmo vřeteně. Přesněji řečeno, na základě pozorování bylo zjištěno, že rameno klasické konstrukce (zasekávacího typu s aretačním palcem) generuje při uchopování nástroje značné rázy, které mohou potenciálně poškozovat ložiskové skupiny vřeteníku.

K zaseknutí nástroje ramenem a překonání odporu palce je využíváno rovněž i kinetické energie pohybujících se částí manipulátoru. Z toho plyne i důležitý poznatek. Aby bylo možné tuto energii potřebnou pro překonání síly aretačního palce využít, je třeba, aby rameno v okamžiku kontaktu nástroje a palce mělo dostatečnou rychlost a tedy i energii.

$$E_k = \frac{1}{2} J_c \cdot \omega^2 \quad (7)$$

$$m \cdot v = F \cdot t \quad (8)$$

Výše uvedené notoricky známé rovnice popisují velikost kinetické energie v závislosti na úhlové rychlosti a druhá pak vztah mezi hybností a impulzem síly. Především druhá z rovnic nám poslouží pro snadnou identifikaci a zjištění velikosti působící kontaktní síly.

Pro tyto účely byly zahájeny pokusy využívající soupravy pro modální analýzu, tedy rázového kladívka, akcelerometru a speciální měřící karty zajišťující sběr dat.

- Měřicí karta od National Instruments USB 9234
 - Rozlišení 24bit
 - Počet kanálů 4
 - Přenosová rychlost 51,2kS/s
 - Vstup $\pm 5V$



Obr. 126: karta od National Instruments USB 9234 [68]

- Modální kladívko KISTLER 9724A5000
 - Rozsah síly 5000N
 - Frekvenční rozsah 0...6900Hz
 - Rozlišení 1mV/N
 - Vlastní frekvence 27kHz



Obr. 127: Modální kladívko KISTLER 9724A5000 [69]

- Akcelerometr KISTLER 8778A500
 - Rozsah měření $\pm 500g$
 - Rozlišení 10,65mV/g
 - Vlastní frekvence 70kHz



Obr. 128: Akcelerometr KISTLER 8778A500 [69]

Měření modálních vlastností a odezev systémů na impulsní buzení můžeme v současnosti považovat za standardní postupy získávání informací o objektech, které se snažíme poznat a pochopit jejich dynamické vlastnosti a chování.

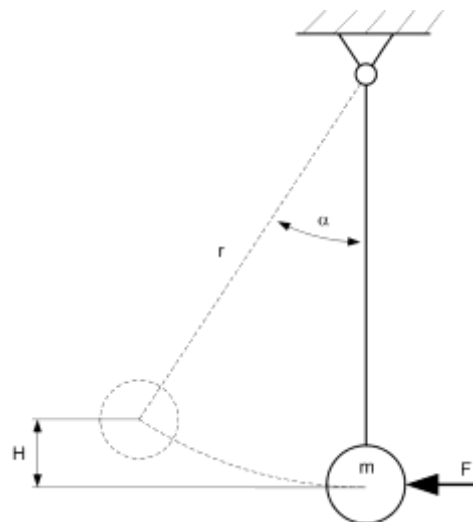
Nezbytností pro takovéto experimentální zkoušky je dostatečné kvalitní vybavení. Tedy rázové kladívko, potřebný počet akcelerometrů a spolehlivé a přesné záznamové zařízení.

Není nutno zdůrazňovat, že je zapotřebí provést kalibraci jednotlivých snímačů, tak aby bylo možné považovat naměřené hodnoty za relevantní a nedocházelo tak k vnášení dalších chyb do celého systému. Cena kalibrace čidel však není levnou záležitostí. Navíc je nutno podotknout, že by mělo docházet k pravidelné kontrole parametrů snímačů, aby byla zachována jejich přesnost měření. Tedy nemalé náklady vynaložené na pořízení kompletní aparatury jsou dále zvyšovány nutností kalibrace snímačů.

Je nutné zdůraznit, že kalibraci provádí převážně externí firma (většinou dodavatel aparatury) a tedy je nutné počítat s delšími časy potřebnými pro zajištění kalibrace. Toto je samozřejmě možné eliminovat nákupem speciálního vybavení umožňujícího provádět kalibraci na vlastním pracovišti, ale takováto alternativa je velice finančně náročná. Proto bylo z naší strany přistoupeno k vývoji vlastních kalibračních prostředků, jež zajistí v dostatečné přesnosti kalibraci námi používaných snímačů. Snahou bylo vytvořit jednoduchá zařízení umožňující kalibraci snímačů s minimálními náklady a s velkou přesností. Na realizaci zařízení pro kalibraci se dále podíleli kolegové Ing. Miroslav Opl a Ing. Michal Holub.

7.1.5.1 Kalibrace snímačů

Jak již bylo uvedeno výše, celá aparatura obsahuje několik akcelerometrů (piezoelektrických), a to s různými rozsahy měření. Je možné je rozdělit především do dvou hlavních skupin. Snímače s velkým a malým rozsahem. Pro tyto dva rozsahy byla navržena a sestrojena konstrukčně i principiálně jednoduchá zkušební zařízení umožňující s velkou přesností ověřit správnost kalibrace používaných snímačů. Prvním z dvojice kalibračních standů je „balistické kyvadlo“ jedná se o zařízení principiálně inspirované balistickým kyvadlem.



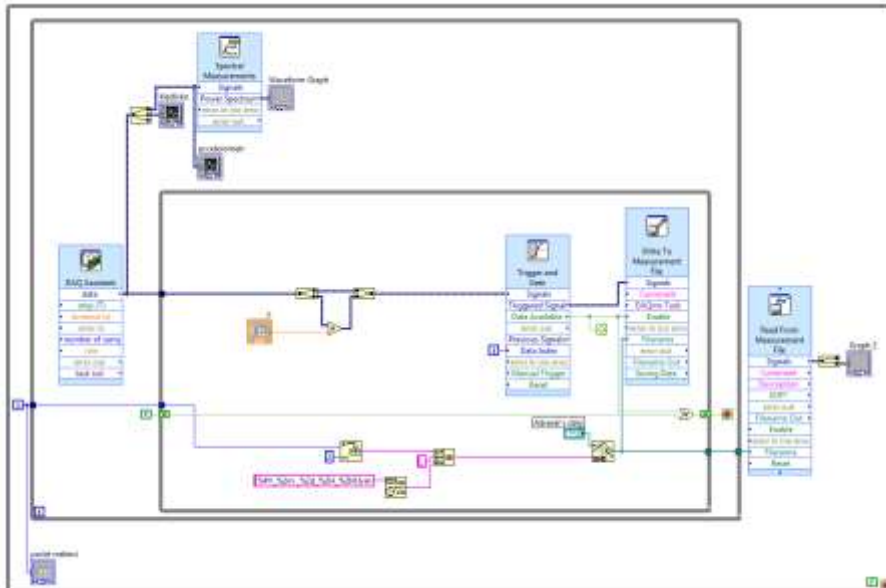
Obr. 129: Schéma kyvadla pro kalibraci snímačů s velkým rozsahem

Myšlenka užití kyvadla pro kalibraci akcelerometrů plyne ze základních vztahů kinematiky. Tedy o rovnosti kinetické a potenciální energie a zároveň o rovnosti impulsu síly a hybnosti tělesa.

$$\frac{1}{2}m \cdot v^2 = m \cdot g \cdot H \Rightarrow v = \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (9)$$

$$F \cdot t = m \cdot v \Rightarrow v = \frac{F \cdot t}{m} \quad (10)$$

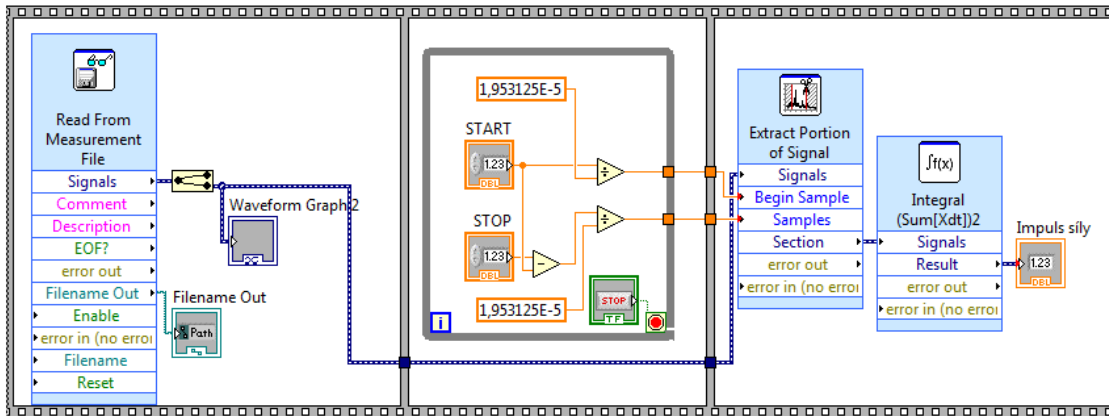
Uvažujeme-li délku impulsu v řádu několika milisekund, je možné tyto rychlosti považovat za totožné a na základě jejich porovnání je možno provést kalibrace, tedy stanovit potřebnou konstantu pro převod výstupního napětí akcelerometru na sílu. Výše uvedené rovnice obsahují pouze dvě neznámé, které je třeba měřit, a to je výška výkmitu kyvadla a impuls síly. Výška bude dopočtena na základě známých geometrických parametrů kalibračního standu a na základě naměřeného úhlu výkmitu kyvadla. Impuls síly bude vypočten na základě naměřeného průběhu síly v čase pomocí software vyvinutého přímo pro tuto aplikaci.



Obr. 130: Program v prostředí LabView pro sběr dat z kladívka



Obr. 131: Vizuální rozhraní programu pro integraci impulsu síly



Obr. 132: Struktura programu pro integraci impulsu síly

Měření založené na využití balistického kyvadla je zatíženo několika chybami, spočívajícími v nejistotě určení některých parametrů, jako je například délka kyvadla (není přesně známá poloha těžiště) a úhel výkmitu kyvadla. Ostatní parametry, tedy hmotnost kyvadla a tíhové zrychlení je možno zjistit nebo změřit velice přesně.

<p>Tíhový bod: Brno Okres: BRNO MĚSTO Zeměpisná šířka: 49° 12' 15" Zeměpisná délka: 16° 35' 09"</p> <p>Místopisný popis: Jiráskova čtvrť, hvězdárna a planetárium Mikuláše Koperníka, u objektu s kopulí</p> <p>Příjezd: Údolní ulicí s tramvajovou tratí, k vrcholu stoupání s konečnou smyčkou. Před smyčkou odbočuje severovýchodním směrem slepá silnice na Kraví horu. Po ní a potom severozápadním směrem až k bodu.</p> <p>Výškové připojení: Výškový pořad města Brna, H 430, jižní kulatý pilíř na hvězdárně</p>	<p>Číslo bodu: 3454,01 Řád: Bod 1. řádu List mapy: M - 33 - 106 - A H = 304,260 m g = 980940,003 mGal</p> 
<p>Stabilizace: typ I, betonová deska, ochranná tyč 1/3</p> <p>Místopisný náčrt:</p> 	<p>Zřízení značky: Bartoš, 1960</p> <p>Foto:</p> 
<p>Poznámky: Datum: 6.9.2010</p>	

Obr. 133: Místopis bodu 3454,01 tíhového pole [70]

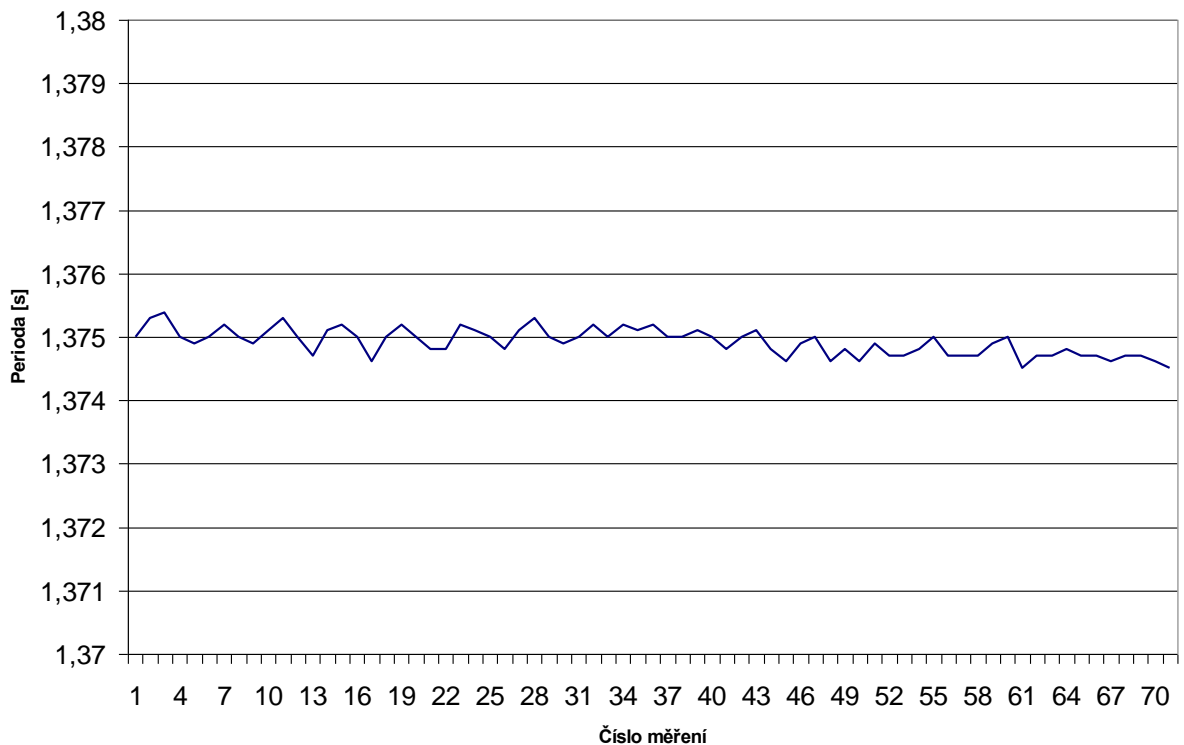
Například hodnotu tíhového zrychlení pro lokalitu měření je možno získat z místopisu tíhového bodu České gravimetrické sítě pro lokalitu Brno. Nejbližší bod je na Hvězdárně a planetáriu Mikuláše Koperníka, tedy cca 2,3km vzdáleného od našeho pracoviště. Hodnota tíhového zrychlení viz obr. výše $9,80940003 \text{ m.s}^{-2}$.

Nepřesnost měření hmotnosti kyvadla je dalším z faktorů ovlivňujícím celkovou chybu kalibrace. Při vhodné volbě hmotnosti kyvadla se však tento nedostatek potírá, protože určení hmotnosti kyvadla s dostatečnou přesností není problém. Pro hmotnost kyvadla cca 1kg je v našem případě dostatečná přesnost $\pm 1\text{g}$. Tato nepřesnost ovlivní výsledek pouze cca 0,2%.

Určení délky kyvadla je jedním z dalších problémů, které je nutno řešit. Jedná se o to, že těleso využitě jako závaží kyvadla nemusí být nutně symetrické, nebo nemusí být homogenní. Tedy informace o poloze těžiště, která je žádána, je zastřena velkou nejistotou. Jako východisko se zde naskýtá možnost nepřímého určení délky kyvadla na základě doby kyvu, kde je doba kyvu definována vztahem:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (11)$$

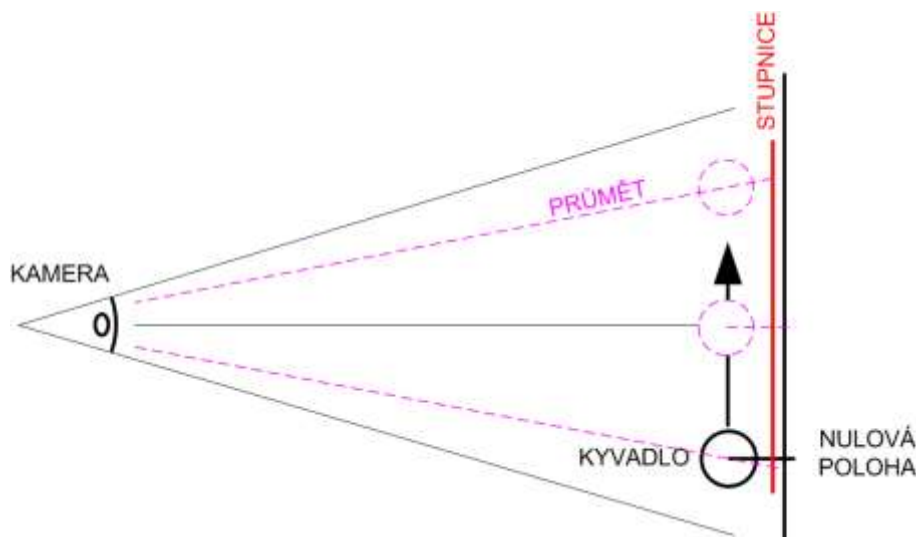
Ze vztahu je patrné, že doby kyvu závisí pouze na délce kyvadla a na hodnotě tíhového zrychlení. Je tedy zřejmé, že pokud určíme s dostatečnou přesností dobu kyvu, je možné poměrně přesně určit i polohu těžiště a tedy délku kyvadla. Pro délku kyvadla cca 0,47m je třeba dosáhnout přesnost měření doby kyvu v řádu 1ms. Pro tuto hodnotu dostaneme odchylku délky kyvadla cca $\pm 0,8\text{mm}$ což ovlivní výsledek cca 0,25%.



Obr. 134: Měření periody kyvu kyvadla

Ze záznamu měření doby periody kyvu je zřejmé, že dosahovaná přesnost byla větší než požadovaná. Výsledná přesnost určení délky kyvadla pak činí $469,8 \pm 0,3 \text{ mm}$.

Jak největším problémem celého měření pak je odečet hodnoty výkmitu kyvadla. Tento se provádí opticky za pomoci kamerového systému. Tato metoda je velice jednoduchá na realizaci ale přináší s sebou velké množství vnořených chyb, které je zapotřebí eliminovat. Jedná se především o chyby způsobené geometrickým uspořádáním, tedy projekcí. Poloha kamery a kyvadla se neustále mění a tedy i průmět kyvadla na stupnici. Je tedy nutné docílit vhodného kompromisu, který nejmenším způsobem ovlivní výsledek.



Obr. 135: Chyby optického odečtu výkmitu

K chybě způsobené projekcí se dále připojuje chyba vzniklá nedodržením roviny kyvu. Odchýlením od této roviny dochází ke zkreslení informace o reálné poloze kyvadla. Je tedy nutné kontrolovat i tento parametr a zajistit jeho udržení v přijatelných mezích.

Jako nejjednodušší řešení výše popsaných problémů se ukazuje filtrace nevhodných úderů. Tedy na základě předem specifikovaných parametrů (úhel výkmitu, odchylka od roviny kyvu) se snažíme udělit kyvadlu tolik energie a směr, aby dané polohy nebo polohy blízké definované poloze dosáhlo. Je-li totiž známa poloha horní úvratě, je možné polohu kamery upravit tak, aby její osa byla právě v místě námi definované polohy.

Dojde-li dále k vhodné volbě vzdálenosti od stupnice a použije-li se dostatečně dimenzovaný objektiv je možné výrazným způsobem eliminovat vliv projekce pouhým vyfiltrováním platných a neplatných pokusů (splňujících požadavky).

V našem případě bylo užito vzdálenosti 2m, modulu průmyslové kamery s VGA rozlišením a objektivu s ohniskem 100mm. Při maximální povolené nepřesnosti výkmitu $\pm 5^\circ$ se chyba způsobená projekcí projeví chybou $\pm 0,2^\circ$, která ovlivní výslednou hodnotu cca 1,2%. Tuto chybu však lze na základě známých parametrů eliminovat užitím kompenzace, která provede přepočítání naměřené hodnoty podle skutečné velikosti výkmitu.

Jak již bylo uvedeno výše, další složkou ovlivňující přesnost odečtu výkmitu kyvadla je dodržení roviny kyvu. Její dodržení bude kontrolováno orientačně kamerou a podmínkou pro uskutečnění platného pokusu je dosažení maximální odchylky mezi teoretickou rovinou kyvu a skutečnou rovinou kyvu v hodnotě $\pm 4^\circ$. Tato odchylka nám zaručí ovlivnění výsledku maximálně chybu cca 0,5%.

Všechny ostatní vlivy byly pro svoji nevýznamnost zanedbány a byly zohledněny celkovou chybou zahrnující jak tyto zanedbané vlivy tak i vlivy, nahodilého charakteru.

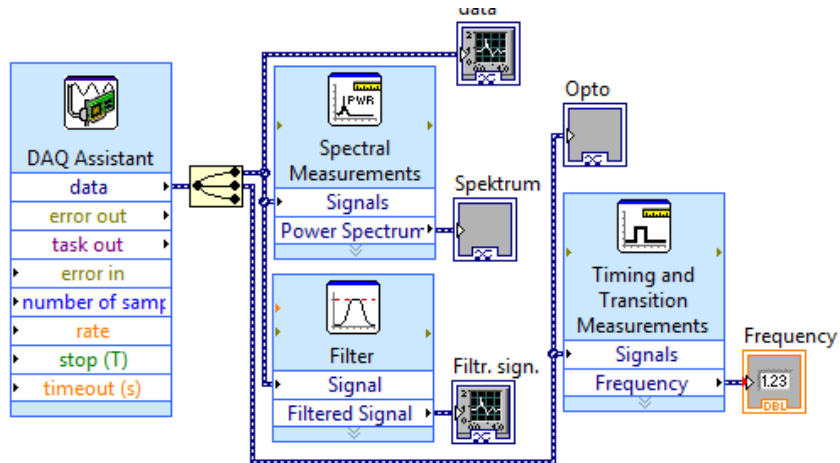
Předpoklad lineární charakteristiky piezoelektrického snímače je hlavní podmínkou celé práce. Při jakémkoliv nedodržení této podmínky je metoda nepoužitelná. Tento fakt je dán tím, že informace získaná ze snímače rázového kladívka je průběh síly v závislosti na čase. Tento průběh je integrován, čímž obdržíme hodnotu impulzu síly, které kladívko udělí kyvadlu. Nebude-li dodržen předpoklad lineariry snímače, nastává problém, protože kyvadlo poskytuje informaci pouze o celkovém impulzu nikoliv o jeho průběhu, proto je možno hodnotit impulz jako celek nikoliv po částech. Je tedy zřejmé, že by nebylo možné stanovit rovnici popisující závislost výstupního napětí na síle a tím by celé zařízení postrádalo smysl. V našem případě je podmínka lineariry splněna a tedy nic nebrání realizaci kalibrace výše popsaným způsobem.



Obr. 136: Pohled na realizaci kalibračního zařízení při měření doby kyvu

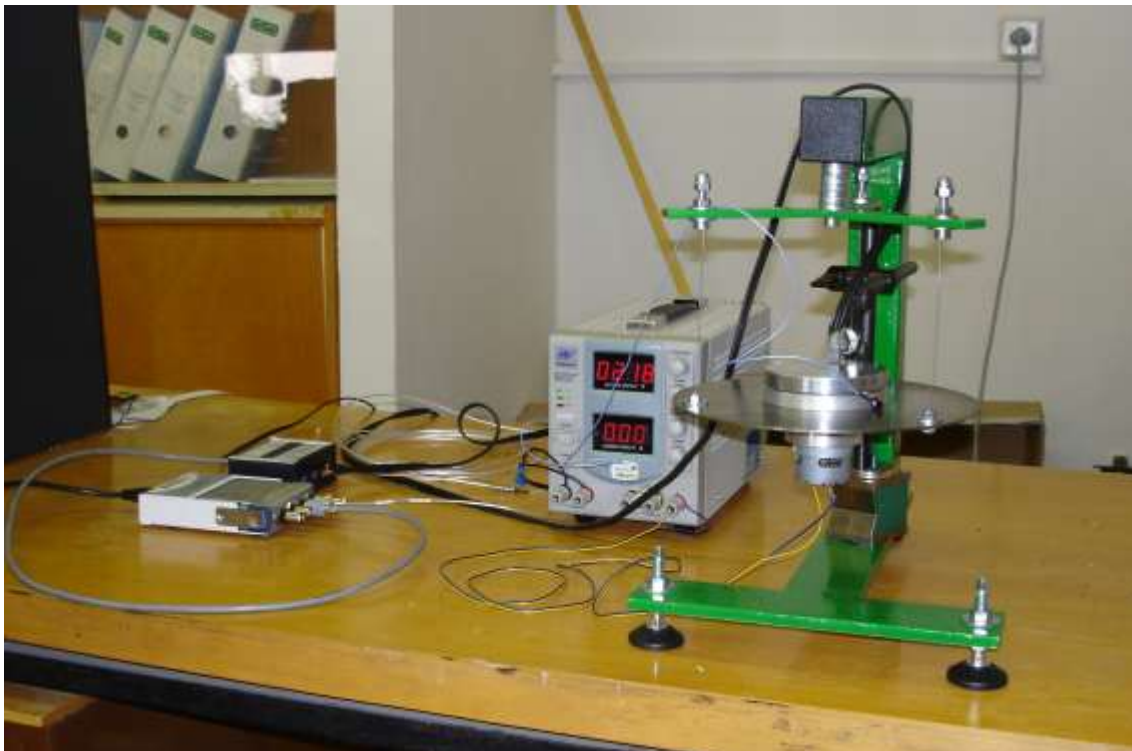
V rámci experimentů, jež na tomto kalibračním zařízení probíhaly, bylo dosaženo velice dobrých výsledků. Kalibrace snímače modálního kladívka proběhla s výslednou chybou cca do 3%. Ve srovnání s finančními náklady na realizaci, které se pohybovaly v řádu několika set korun, představuje dosažený výsledek velký úspěch.

Druhou metodou pro kalibraci snímačů s menším rozsahem je užití harmonického generátoru. Tedy rotujícího kotouče s přesně definovanou nevývahou. Zařízení se skládá z disku, v němž je uložen motor nahánějící rotující kotouč. Tento disk je zavěšen na trojici dostatečně dlouhých a poddajných táhel, které umožňují bezproblémový pohyb mechanismu v „rovině“.



Obr. 137: Program pro sběr dat u kalibračního zařízení s rotujícím kotoučem

Na základě známě hmotnosti celého mechanismu, úhlové rychlosti, která je měřena optickou sondou a již zmiňované přesné nevývaze je možné dopočítat zrychlení mechanismu, které je vyvoláno silovým působením vyvolaným rotující nevývahou. Zařízení bylo koncipováno pro kalibraci snímačů s maximálním buzením 10g.



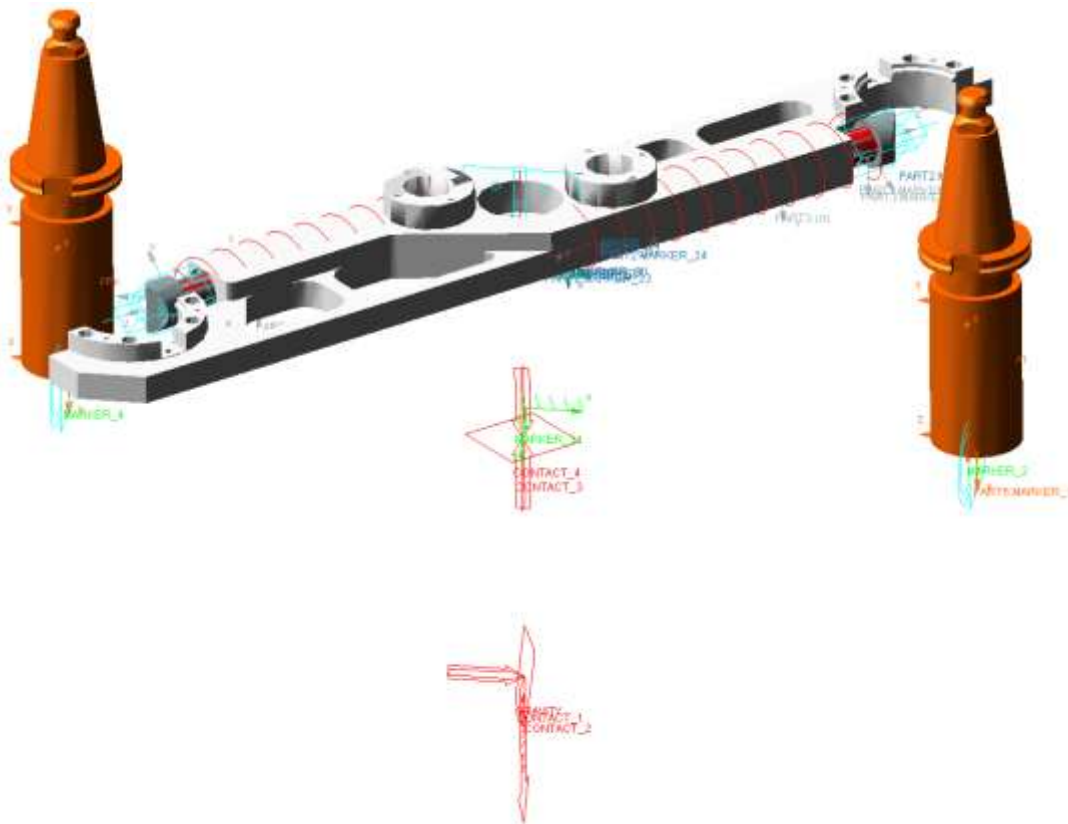
Obr. 138: Pohled na realizaci kalibračního zařízení s rotujícím kotoučem

Na základě nepřesnosti určení nevývahy, celkové hmotnosti mechanismu a úhlové rychlosti bylo dosaženo při opakovaných experimentech celkové chyby kalibrace snímače cca 2%. Opět i tento výsledek je upokojivý.

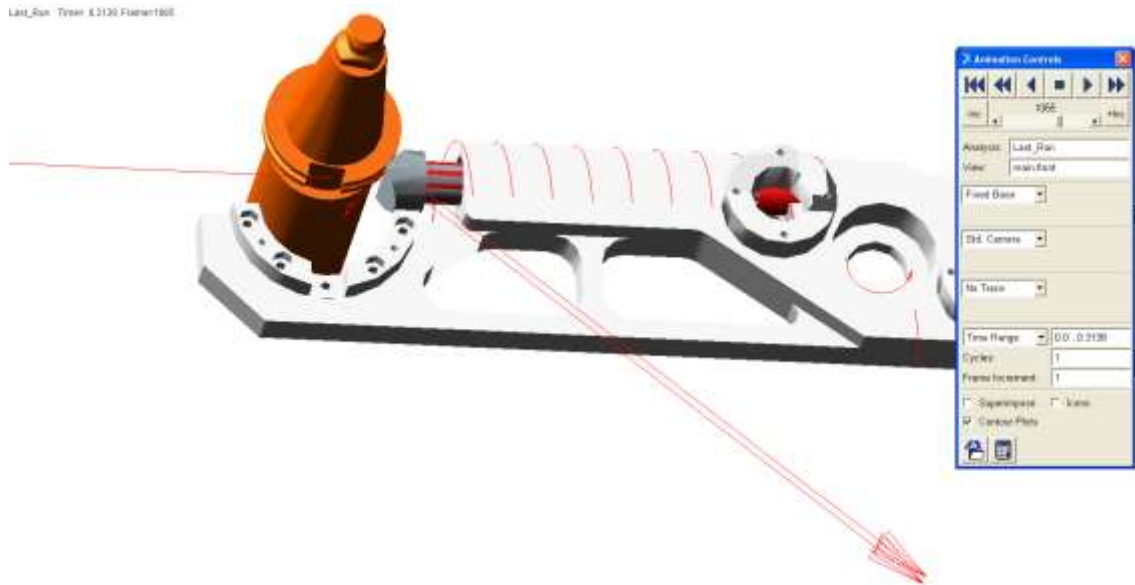
Verifikace výše popsaných postupů kalibrace je nezbytnou a velice důležitou činností, na jejímž základě je možné tyto postupy považovat za korektní a údaje získané ze snímačů za relevantní. Proces verifikace je možno provést několika způsoby, a to buď porovnáním námi kalibrovaných snímačů se snímači kalibrovanými externí certifikovanou firmou. Nebo porovnáním hodnot snímačů, jejichž kalibrace byla prováděna na jiných zařízeních a jinou metodou. V našem případě bylo užito porovnání akcelerometru na rázovém kladívku kalibrovaného pomocí kyvadla a akcelerometru kalibrovaného pomocí harmonického budiče. Dosažené výsledky potvrdily správnost a dostatečnou přesnost kalibrace snímačů.

7.1.5.2 Simulace rázového děje

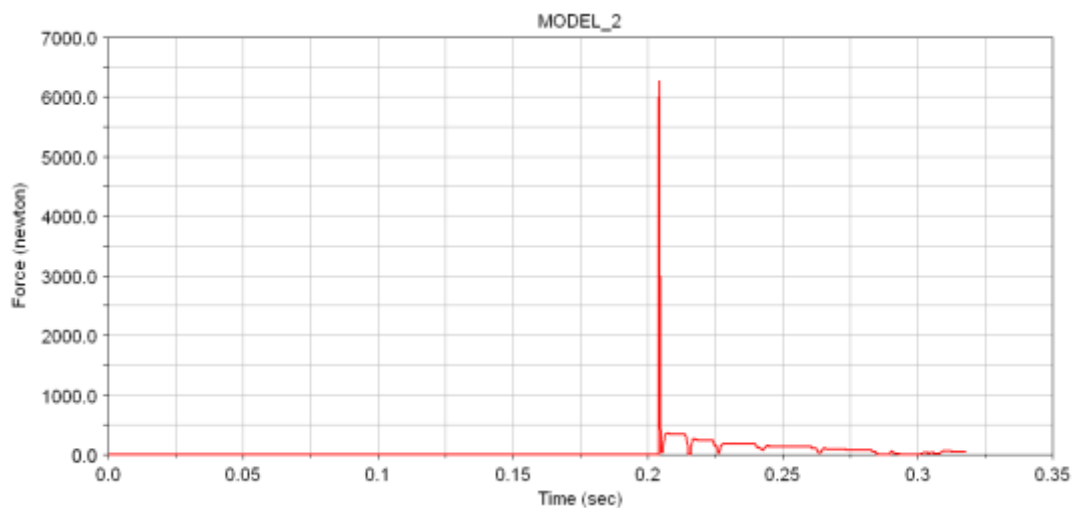
Na základě ověření funkčnosti modelů byla rovněž sestavena i pro řešení této problematiky simulace, jejíž snahou byla predikce velikosti silového působení při uchopení nástroje ramenem manipulátoru. Tento simulační model navázal na data získaná z předchozích experimentů a v dostatečné míře uplatnil hojně využívaných vazeb typu Contact.



Obr. 139: Zavazbený model pro simulaci rázů do vřeteně

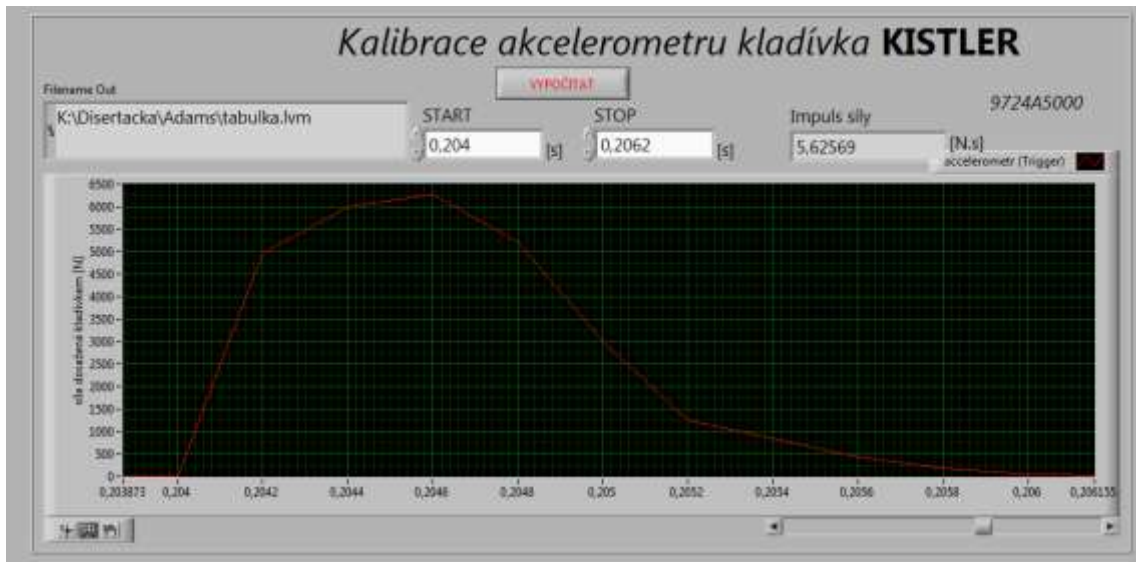


Obr. 140: Průběh simulace s vizualizací kontaktní síly (normální i třecí síly)



Obr. 141: Simulace průřezu rázu – síla v kontaktní vazbě

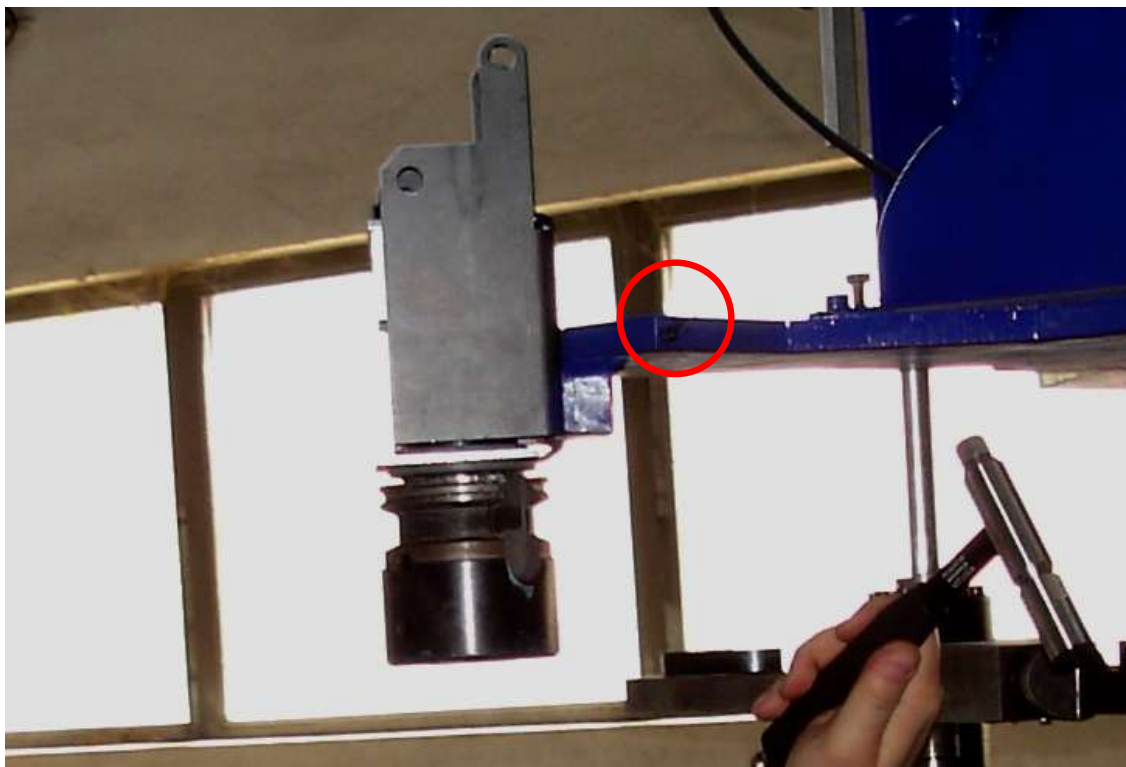
Na základě realizovaných simulací bylo dosaženo maximální kontaktní síly 6300N, která působí na nástroj a tím tedy ve výsledku i na vřeteník. Velikost této síly je však pomocí výše uvedeného vybavení velice obtížně zjistitelná, proto bylo přistoupeno k tomu, že bude realizováno měření porovnávající velikosti impulsu síly a velikosti odezvy. Na základě těchto poměrů bude následně usuzována velikost budící síly. Jedná se o poměrně zjednodušující model, ale pro požadovaný účely zcela vyhovující.



Obr. 142: Integrace průběhu silového působení - simulační model

7.1.5.3 Experimentální měření rázového děje

Experimenty probíhaly tak, aby co nejvěrněji simulovaly reálný stav u stroje. Byly prováděny postupně dvojice sad měření. První zaznamenávala za pomoci akcelerometru umístěného na stojanu rázy vyvolané manipulátorem-ramenem uchopujícím nástroj a druhá série vyvolávala buzení za pomoci rázového kladívka. Vše bylo pomocí měřicí aparatury zaznamenáno a uloženo pro další zpracování.

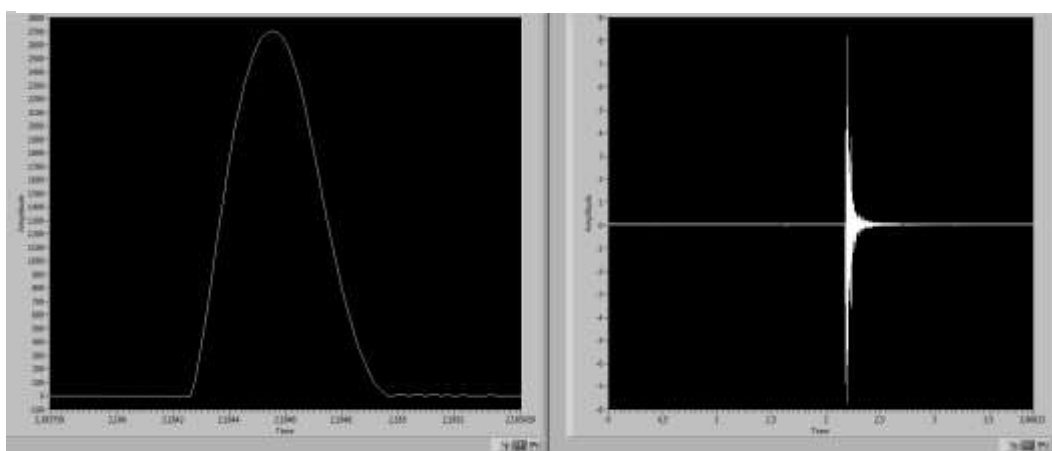


Obr. 143: Umístění akcelerometru na rámu standu STD-25

Při měření je vycházeno z předpokladu, že velikost odezvy systému je přímo úměrná velikosti budící síly, potažmo impulzu síly, který byl tomuto systému udělen. Tento velice zjednodušující předpoklad je možné učinit na základě toho, že k buzení bude užito kladívka s kovovým hrotem, tedy bude vyvolána kontaktem kov-kov, stejně jako tomu je u reálného zařízení. Je tedy možné předpokládat i velice podobné časy působení maximální síly. Ze simulace vychází čas 1,3ms, z měření buzení rázovým kladívkem pak 0,8ms v závislosti na velikosti budící síly.



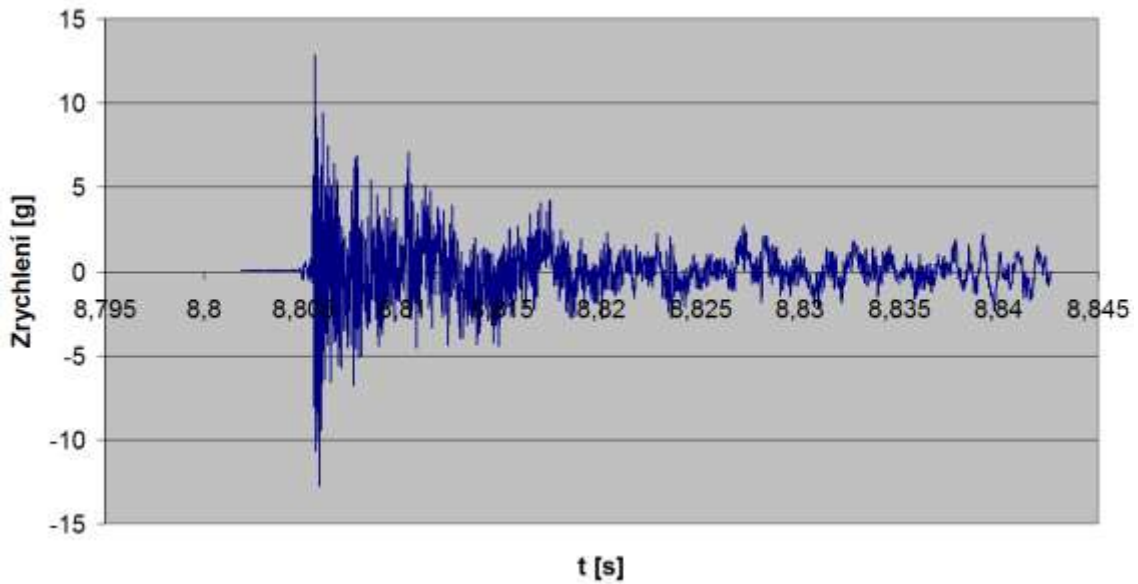
Obr. 144: Sestava měřící aparatury



Obr. 145: Průběhy znázorňující buzení (vlevo) a odezvu na buzení (vpravo)

Tabulka 14: Tabulka naměřených rázů od kladívka a dopočtené síly

Měření	Max síla [N]	Impuls [N.s]	Amplituda [g]	Poměr amplitud	Vypočtená síla
1	3935	0,476751	6,6	1,893939	7452,652
2	5040	0,603992	7,4	1,689189	8513,514
3	3320	0,410835	8,5	1,470588	4882,353
4	3572	0,454794	7,4	1,689189	6033,784
5	3260	0,427727	5	2,5	8150
					(Σ/n) 7006,46



Obr. 146: Příklad průběhu odezvy systému na ráz - naměřeného na STD-25

Velikost síly odvozená na základě měření odezvy systému na buzení rázovým kladivem a ramenem manipulátoru jsme obdrželi sílu 7006N (viz tabulka 14). Porovnáme-li tuto hodnotu s vypočtenou 6400N je možné konstatovat dobrou shodu. Pro ověření skutečné síly by bylo zapotřebí provést několik dalších úprav na STD-25 a za pomoci dalšího senzorkého vybavení ověřit velikost reálné síly. Jak již bylo zmíněno výše, pro účely orientačního určení velikosti síly tato metoda postačuje.

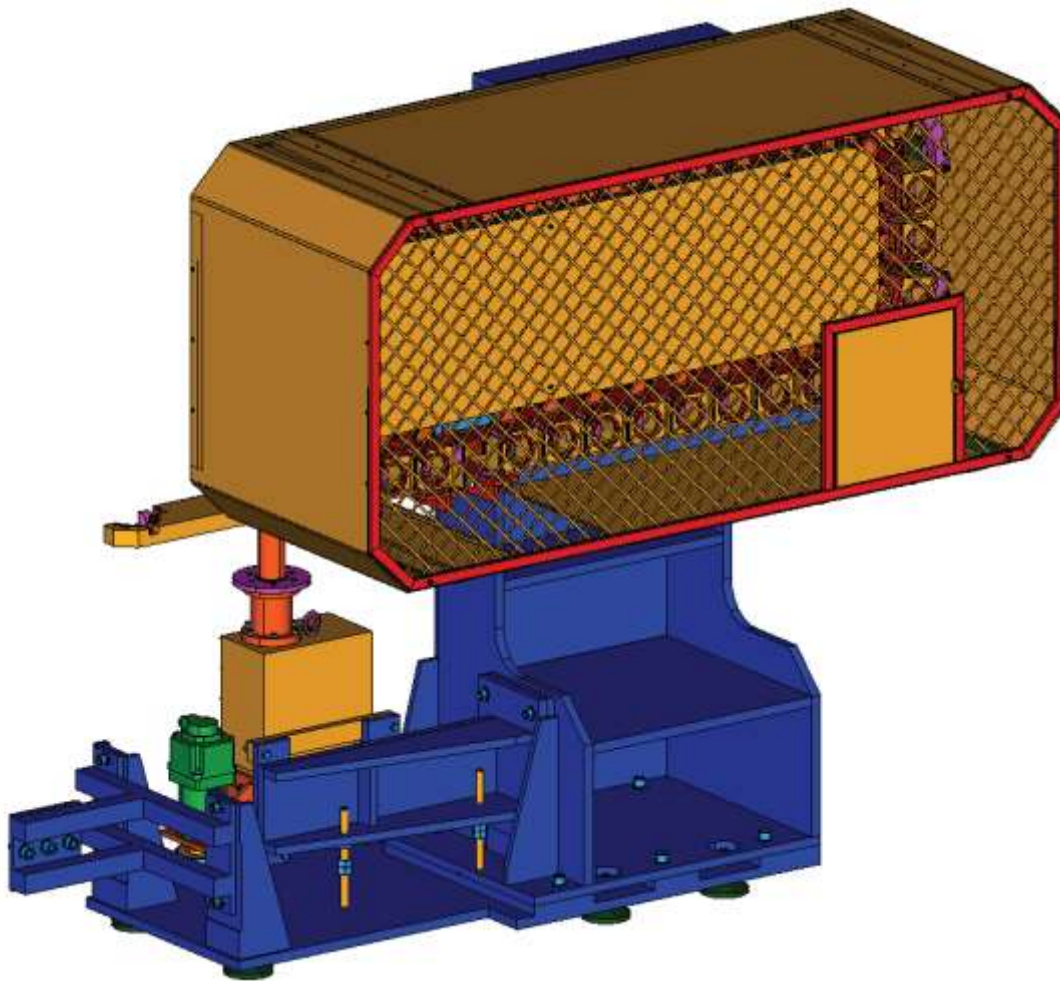
7.1.6 Vyhodnocení výsledků a vyplývající doporučení

Jak již bylo zmíněno, s dostupnými prostředky není jednoduše možné přesněji identifikovat sílu vznikající při uchopování nástroje ramenem manipulátoru, ale jako orientační parametr pro identifikaci možných příčin poškození ložiskových skupin je tato metoda dostačující. Ač se nejedná o síly, které by u většiny strojů překračovaly dovolené zatížení vřetene, je v tomto případě nutno dbát zvýšené pozornosti především na fakt, že vřeteno v okamžiku výměny nástroje stojí, jde tedy o statické zatěžování. Má vždy stejně orientované kroužky ložisek, což ve výsledku znamená cyklické namáhání jednoho místa na vnitřním i vnějším kroužku ložiska. Další nebezpečnost tkví rovněž v rychlosti náběhu působící síly, kdy je maxima dosaženo během 0,5ms. Je nutno podotknout, že tato problematika je otázkou především strojů opatřených velmi rychlou automatickou výměnou nástrojů.

Ukazuje se tedy, že zajímavou oblastí dalšího vývoje jsou nejen řešení založená na využití servopohonů, jež umožňují plynulé řízení dráhy, pomocí jejíž optimalizací je možné omezit silové působení na vřeteno. Dále se pak otvírá oblast vývoje nových systému uchopování a aretace nástrojů v rameni, které by svojí konstrukcí zamezovaly vzniku těchto sil. Nové směry ve vývoji v této oblasti je možno spatřit viz Příloha - Patentová řešerše.

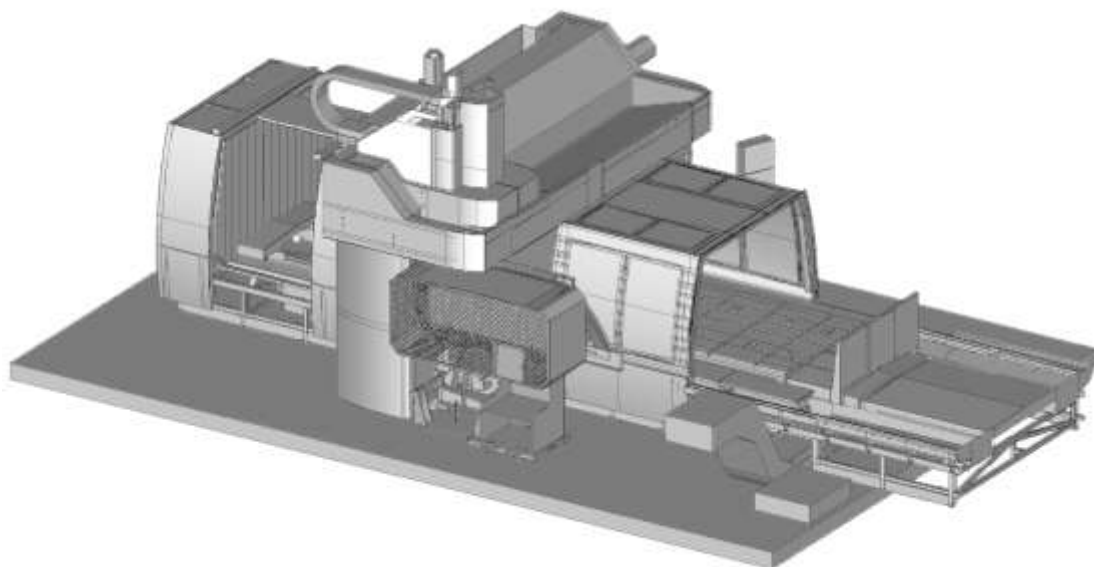
7.1.7 Návaznost na spolupráci s průmyslem

Jak již bylo uvedeno výše, od roku 2005 probíhá plodná spolupráce VCSVTT s jedním průmyslovým partnerem na vývoji automatické výměny nástrojů. Na základě této dlouhodobé spolupráce vznikl postupem času návrh automatické výměny nástrojů, a to včetně zásobníku. Na konstrukčním návrhu se kromě autora této disertační práce dále podíleli Doc. Ing. Petr Blecha Ph.D. a Ing. Radim Blecha Ph.D..



Obr. 147: 3D model kompletní automatické výměny nástrojů

Byla vytvořena kompletní výrobní dokumentace, na jejímž základě byl vyroben prototyp manipulátoru a řetězového zásobníku. Níže uvedené obr. 149 ilustrují průběh prací na výrobě prototypu AVN. Obr. 148 zobrazuje 3D pohled na integraci navržené AVN ke stroji FVC 160.



Obr. 148: 3D model stroje FVC 160 s implementovanou AVN



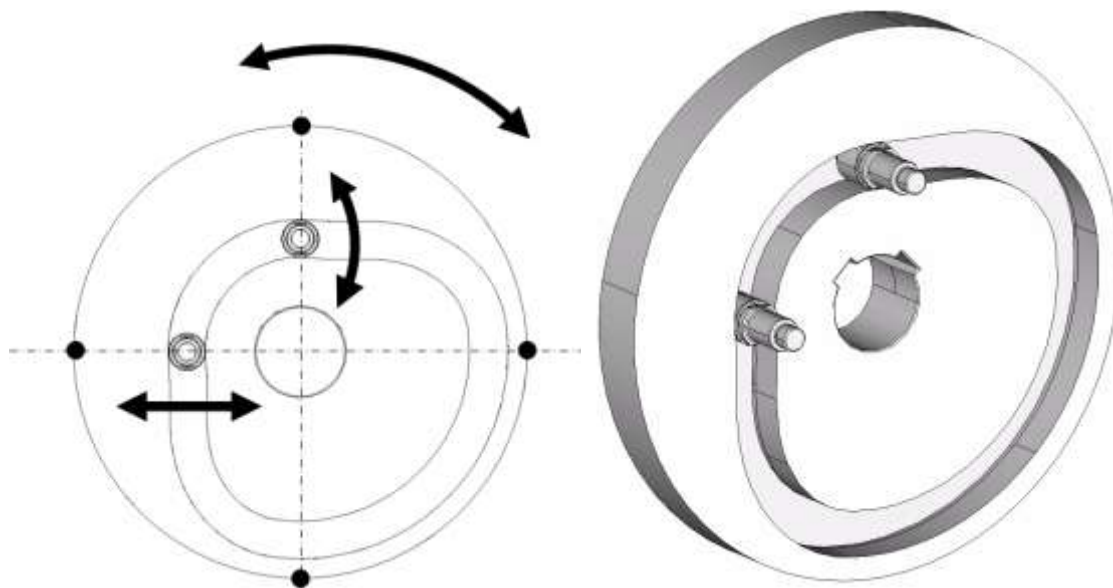
Obr. 149: Pohled na realizaci prototypu AVN

7.1.8 Závěry a doporučení k řešení STD-25

Jak již bylo v dostatečné míře popsáno výše, navržená konstrukce trpí mnoha nedostatky, které i přes všechny snahy nemohly být odstraněny. Výsledky však potvrdily velký potenciál užití koncepce. Proto bude dále v práci rozpracováno řešení kompaktního manipulátoru, vycházejícího z konstrukce STD-25, snažící se v co největší míře popisované nedostatky eliminovat, nebo minimalizovat.

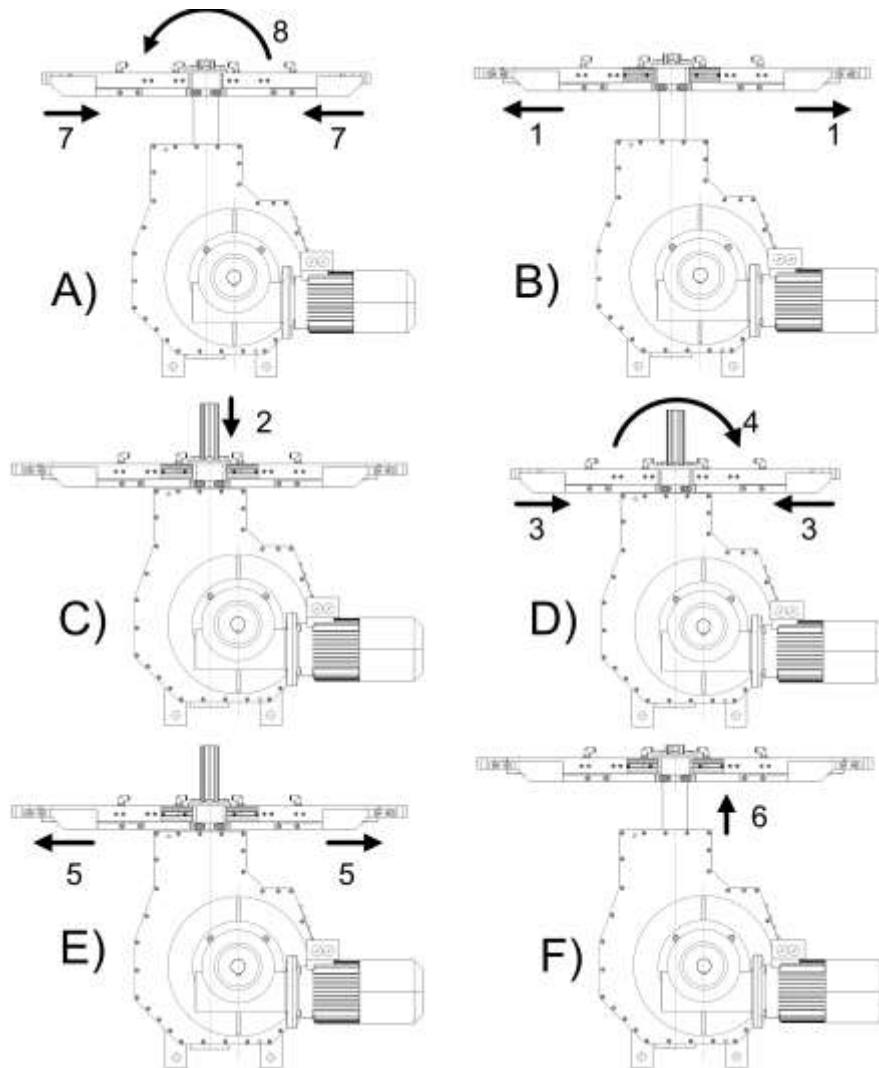
7.2 Vačkový stand

Na základě rozsáhlé rešerše a informací získaných při návštěvách tuzemských i zahraničních veletrhů je možné konstatovat, že v konstrukci AVN se ustálila určitá konstrukční řešení. Mezi nejrozšířenější můžeme zařadit konstrukci založenou na využití dvouvačkového mechanismu (radiální vačka pro realizaci translačního pohybu, globoidní vačka pro realizaci rotačního pohybu, popřípadě dvojice globoidních vaček). Je tedy zřejmé, že takovéto řešení užívající tvrdé automatizace má mnoho výhod a to například rychlost, přesnost, spolehlivost a velkou životnost. Oproti zmíněným výhodám má zároveň nevýhodu, která je dána velkou náročností na výrobu a ta se následně odráží ve vyšší ceně zařízení. Výroba globoidních vaček v dostatečné přesnosti je velice náročná a vyžaduje využití speciálních obráběcích strojů, popřípadě jednoúčelových zařízení. Myšlenka eliminace globoidní vačky z konstrukce AVN je tedy logickou cestou, jak zpřístupnit a zlevnit výrobu těchto zařízení. Před několika lety byla na toto téma řešena diplomová práce, v níž byl pohyb manipulátoru realizován za pomoci několika radiálních vaček. Řešení se tehdy dobře zhostil Ing. Stonavský, kterému dělal vedoucího práce prof. Ing. Zdeněk Kolíbal, CSc. Na jeho práci navázal v roce 2006 Ing. Pavel Badin, který tuto koncepci pod mým vedením dále rozpracoval a navrhl řešení využívající jednu vačku. Práce obou zmiňovaných kolegů posloužila jako odrazový můstek pro vývoj nového vačkového standu, na kterém se dále podílely kolegové prof. Ing. Zdeněk KOLÍBAL CSc, doc. Ing. Petr BLECHA Ph.D., Ing. Radim BLECHA Ph.D., Ing. František BRADÁČ Ph.D.. Hlavní myšlenkou celého problému je odstranění globoidní vačky a nahrazení její funkce vačkou radiální, která bude sloužit jak pro realizaci rotačního pohybu ramene, tak i pro realizaci translačního pohybu ramene. Řešení je realizováno pomocí radiální drážkové vačky a dvou palců, které jsou v drážce oproti sobě posunuty o 90° viz obr. 150. Tím je dosaženo možnosti rozfázování jednotlivých pohybů kladek, které dále zajišťují pohyb ramene.



Obr. 150: Vačka s dvojicí palců, vyznačen směr realizace pohybů palců

Z koncepce je dále patrné, že kvůli zachování jednoduchosti drážky vačky nemůže za pomoci tohoto řešení dojít k realizaci složitého pohybu výměny jako vačky globoidní (zastavování ve více mezipolohách). Navrhované řešení umožňuje realizaci pohybů ve čtyřech fázích, kdy každá dvojice vykonává vratný pohyb, a to buď rotační, nebo translační. Tento fakt nás tedy limituje v možnosti volby způsobu uchopení nástroje. Nemožnost realizovat uchopení nástroje za pomoci rotačního pohybu a snah zachovat manipulátoru možnost současného uchopení nástroje ve vřetenu a zásobníku byla důvodem, proč bylo přistoupeno k vývoji teleskopického ramen.

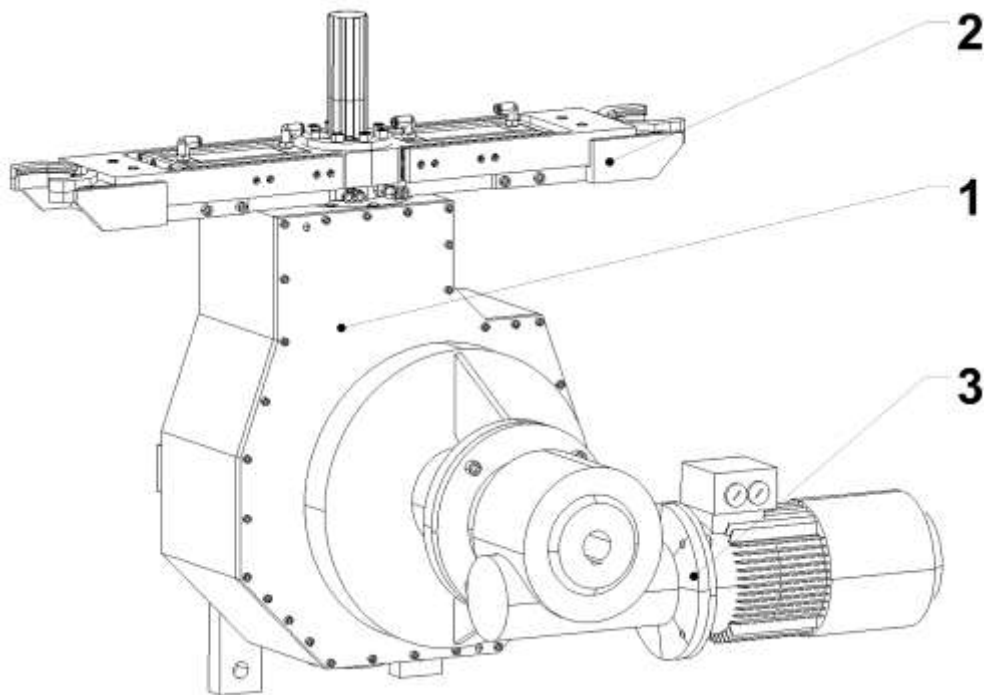


Obr. 151: Sled pohybů vykonávaný manipulátorem

7.2.1 Popis konstrukce

Jednovačkový manipulátor automatické výměny nástrojů se skládá ze tří hlavních skupin. První hlavní skupinou je skříň manipulátoru viz obr. 152 pozice č. 1. Tato skupina v sobě obsahuje jak vačku, tak veškerou kinematiku, pomocí níž jsou vykonávány veškeré pohyby. Tato skupina je opatřena vstupním a výstupním rozhraním. Vstupní rozhraní slouží pro připojení hnací jednotky pozice č. 3. Zde je

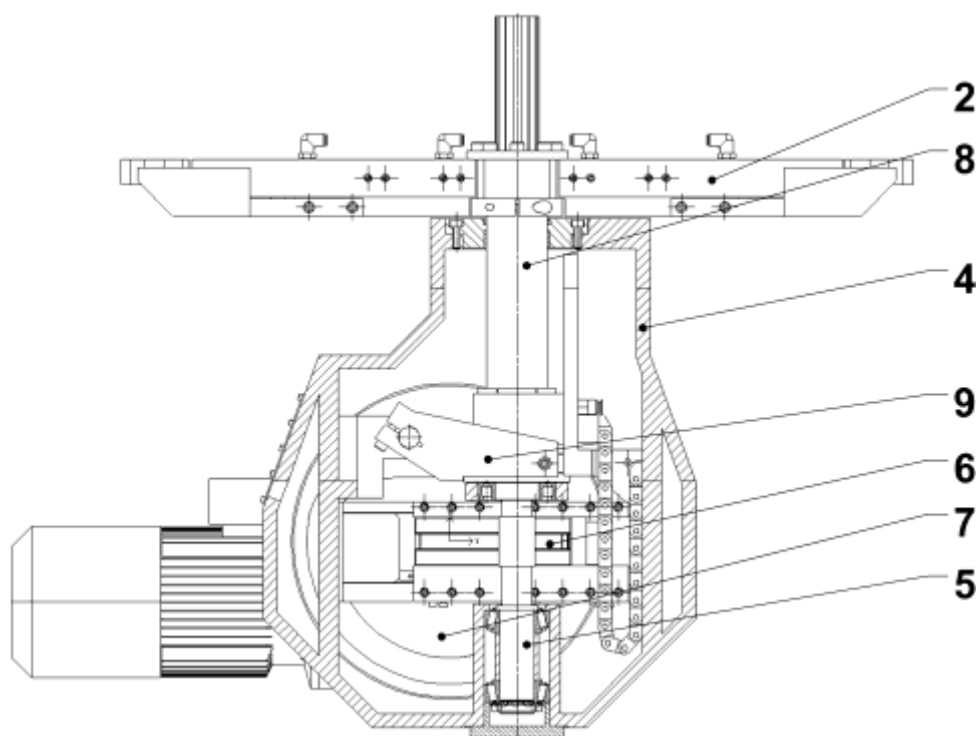
konkrétně použita šneková převodovka s elektromotorem. Jako alternativu lze využít přímého elektrického náhonu, hydraulického popřípadě i jiného vyhovujícího pohonu. Výstupním rozhraním je konec unášče, na kterém je uchyceno rameno manipulátoru poz. č. 2.



Obr. 152: Celkový pohled na jednováčekový manipulátor

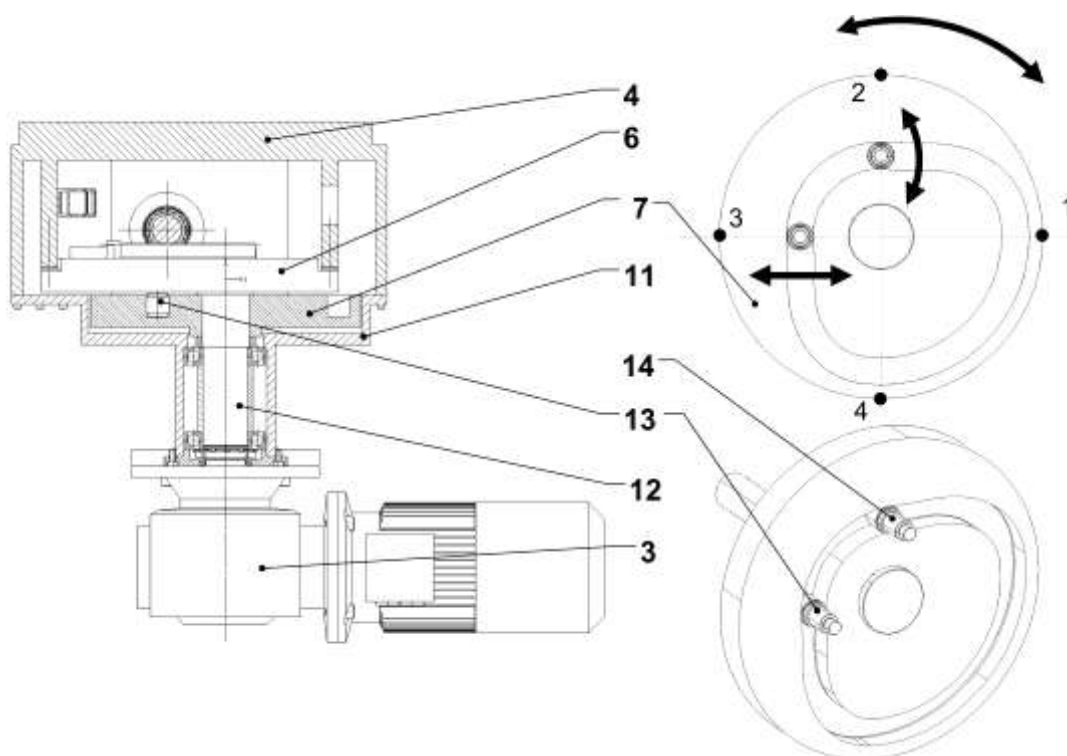
Jak bylo zmíněno výše, hlavní skupinou celého zařízení je skříň manipulátoru. Tato je složena z následujících komponent a uzlů viz obr. 153. Základ je tvořen hlavní skříň poz. č. 4 a víkem skříně poz. č. 11. viz obr. 154. Tyto dvě komponenty jsou navzájem skolíkovány a sešroubovány. K víku skříně je dále připevněna hnací jednotka poz. č. 3. Výstup hnací jednotky konající rotační pohyb je propojen s hřídelem vačky poz. č. 12 viz obr. 154. Tato hřídel je uložena s jedním stupněm volnosti ve víku skříně poz. č. 11. Tento stupeň volnosti je tvořen rotací okolo osy hřídele vačky. Hřídel je dále spojena s vačkou poz. č. 7. Ve vačce je vyrobena radiální drážka do níž zapadají dvě vodící kladky, vodící kladka rotace poz. č. 13 a vodící kladka translace poz. č. 14.

Vodící kladka rotace poz. č. 13 viz obr. 154. je spojena s hřebenem hlavním poz.č. 15 viz obr. 155. Tento hřeben je součástí skupiny hřeben rotace poz. č. 6. Tato skupina je složena z hřebene hlavního poz.č. 15 a hřebene vymezeního poz. č. 16, které spoluzabírají pomocí ozubeného převodu hřeben/kolo do hlavní hřídele poz. č. 5 viz obr. 153. Hřeben hlavní poz.č. 15 je pak suvně uložen v tělese vedení hřebene poz. č. 17. Toto suvné uložení je realizováno pomocí přesné drážky vyrobené ve vedení hřebene poz. č. 17, příložek poz. č. 20 a vymezeního lišty poz. č. 21. Do hřebene hlavního poz.č. 15 je suvně uložen hřeben vymezeního poz. č. 16, ten je pomocí sestavy talířových pružin poz. č. 18, které jsou vedené pomocí vodícího čepu pružin poz. č. 19 a opírají se o dorazovou kostku poz. č. 22, tlačení do záběru s ozubením na hlavním hřídeli poz. č. 5 a tím zajišťuje bezvůlový chod tohoto převodu.



Obr. 153: Celkový pohled na řez manipulátoru

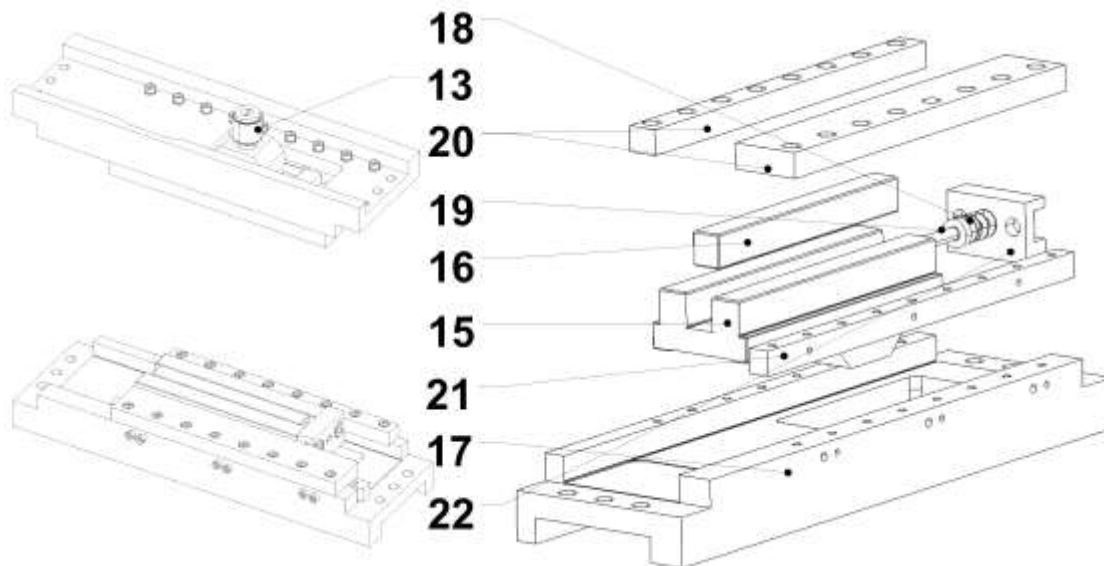
Hlavní hřídel poz. č. 5 viz obr. 153 je ve spodní části uložen rotačně v tělese hlavní skříně poz. č. 4. Tato vazba má pouze jeden stupeň volnosti, a to rotaci okolo osy hlavní hřídele. Hlavní hřídel je ve spodní části opatřena ozubením. Jak bylo popsáno výše, toto ozubení zabírá do hřebenové části uzlu hřeben rotace poz. č. 3.



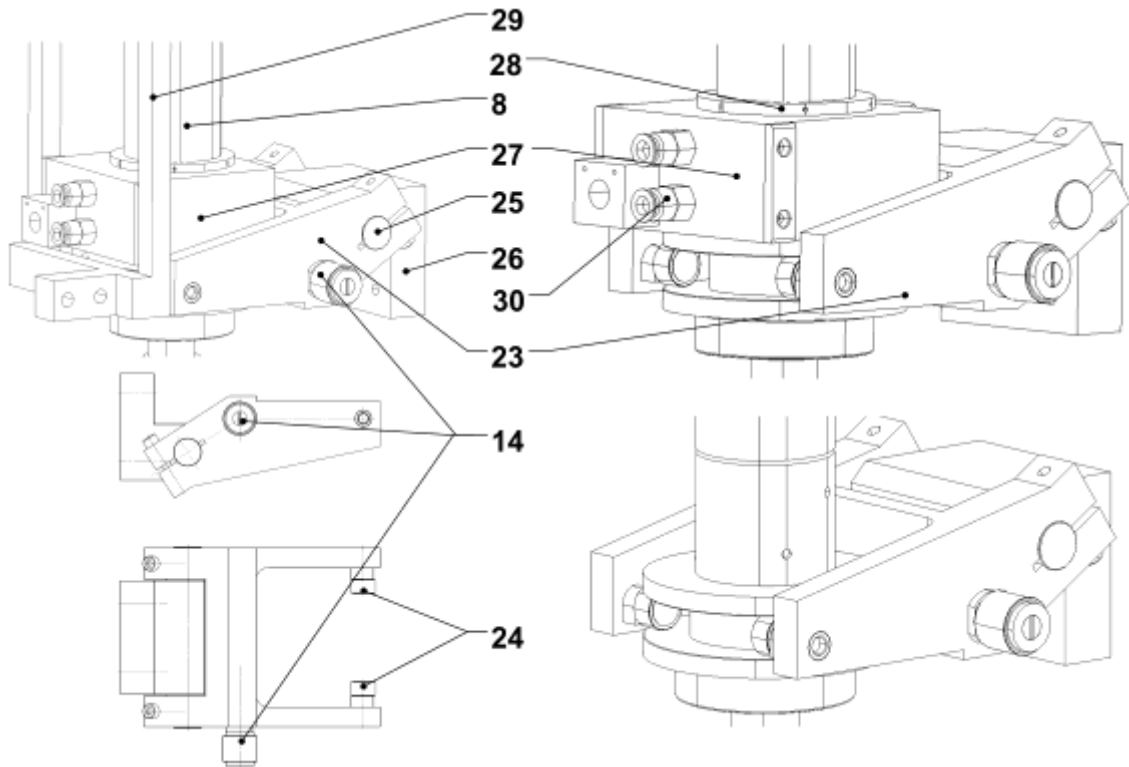
Obr. 154: Řez a pohledy na radiální vačku

Vodící kladka translace poz. č. 14 viz obr. 154 a 156 je spojena s pákou translace poz. č. 23 viz obr. 156. Tato páka je pomocí čepu páky translace poz. č. 25 a kostky páky translace poz. č. 26 viz obr. 156 vázána k hlavní skříni poz. č. 4 viz obr. 153 rotační vazbou. Dále je tato páka opatřena dvojicí unášecích kladek poz. č. 24 viz obr. 156. Tyto kladky zapadají do osazení vyrobeném na unášечи ramene poz. č. 8 viz obr. 156 a 153. Detail na tento komponent je zobrazen na obr. 157. Unášech ramene poz. č. 8 je dále opatřen dvojicí vývrtů, pro přívod a odvod tlakového média pro ovládání ramene manipulátoru poz. č. 2 viz obr. 153. Ve spodní části je unášech ramene poz. č. 8 opatřen plochou pro realizaci rotační vazby s kostkou rozváděcí poz. č. 27 viz obr. 156 a 158. Pomocí aretačního prstence poz. č. 28, který je upnut k unášечи ramene poz. č. 8, je realizována pouze rotační vazba kostky rozváděcí poz. č. 27. Další stupeň volnosti je kostce odebrán pomocí vedení vodící kostkou rozváděče poz. č. 29, toto vedení je pevně spojeno se skříni a zajišťuje stálou orientaci kostky rozváděcí poz. č. 27. Kostka rozváděcí poz. č. 27 viz obr. 156 a 158 je dále opatřena sadou těsnících manžet poz. č. 31 umožňujících rotaci této kostky a zároveň zajišťující těsnost proti úniku tlakového média. Ke kostce rozváděcí poz. č. 27 je též připojena dvojice konektorů přívodu tlakového média poz. č. 30 tyto slouží pro propojení zdroje tlakového média a kostky rozváděcí poz. č. 27 pomocí pružného rozvodu.

Unášech ramene poz. č. 8 obr. 154 a 156 je suvně uložen pomocí drážkování na hlavní hřídeli poz. č. 5 viz obr. 153, tato je v horní části opatřena drážkováním, které zajišťuje tento typ vazby. V horní části unášech je připevněno rameno manipulátoru poz. č. 2 viz obr. 152 (zde pomocí svěrného pouzdra poz. č. 33) a prstenec rozvodný poz. č. 34 viz obr. 159. Tento prstenec slouží jako rozhraní pro propojení a distribuci tlakového média do pohonných agregátů poz. č. 35.

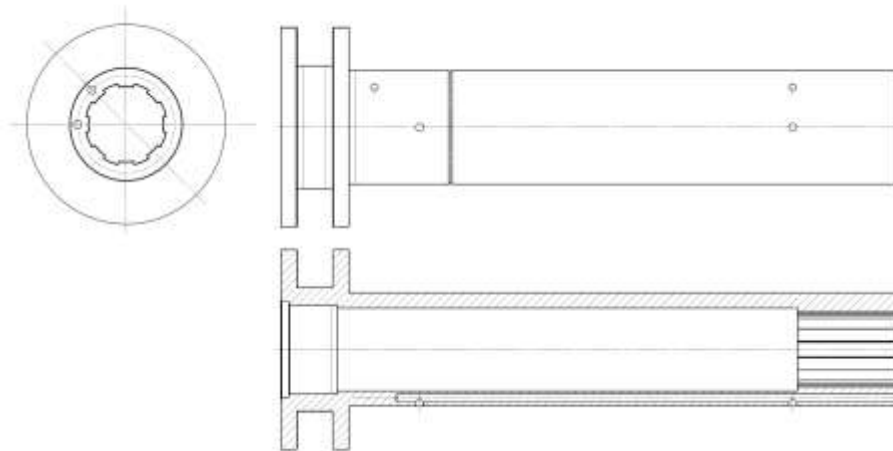


Obr. 155: Funkční skupina „hřeben rotace“

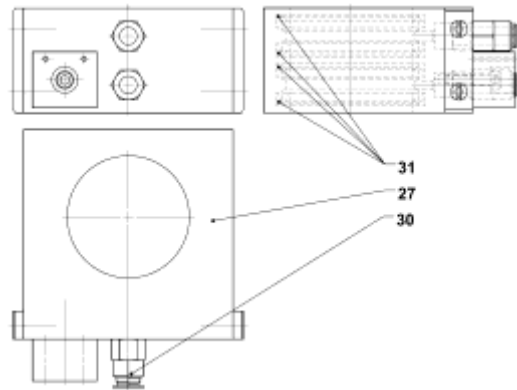


Obr. 156: Pohled na funkční uzel „uzel translace“

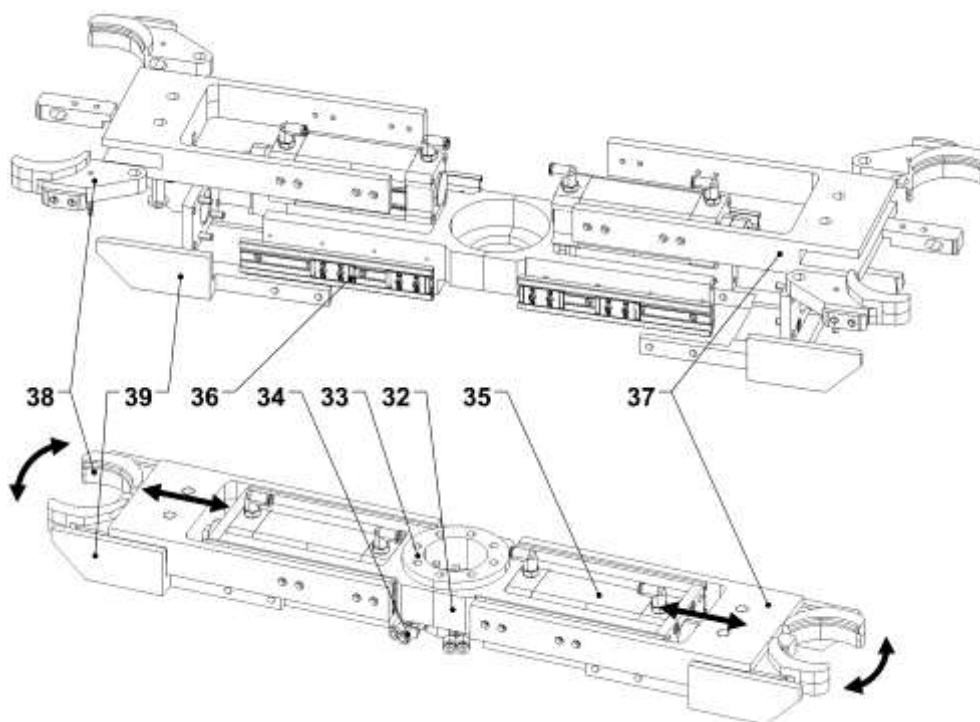
Skupina rameno manipulátoru poz. č. 2 viz obr. 152 je tvořena hlavním tělesem ramene poz. č. 32 viz obr. 159. K tomuto tělesu jsou připevněny dva pohonné agregáty poz. č. 35. Jejich výstupní část vykonávající translační pohyb je spojena s tělesem kleštin poz. č. 37. Toto těleso je spojeno prostřednictvím lineárních vedení poz. č. 36 s hlavním tělesem ramene poz. č. 32. Do tělesa kleštin poz. č. 37 jsou dále rotačně uloženy kleštiny poz. č. 38, každý z párů je stahován pružinou. K hlavnímu tělesu ramene poz. č. 32 jsou také připevněny omezovače kleštin poz. č. 39, tyto v pozici kdy jsou akční části pohonných agregátů poz. č. 35 zasunuty, zprostředkovávají mechanické omezení rozevření kleštiny poz. č. 38.



Obr. 157: Unašec ramen



Obr. 158: Kostka rozváděcí



Obr. 159: Rameno manipulátoru

7.2.2 Popis funkce

Popisované zařízení má plnit funkci výměny nástrojů mezi vřetenem stroje a zásobníkem nástrojů. Obr. 151 znázorňuje sled pohybů, který manipulátor vykonává, tak aby došlo k výměně nástrojů. Snímek A) zachycuje výchozí polohu manipulátoru – rameno manipulátoru poz. č. 2 vysunutá do horní úvratě a kleštiny poz. č. 38 zasunutá (minimální rozevření ramene manipulátoru). V okamžiku kdy vřeteník s nástrojem zaujme předem definovanou polohu pro výměnu a zásobník nástrojů vychystá požadovaný nástroj, dojde k přivedení tlakového média pomocí kostky rozváděcí poz. č. 27 do pohonných agregátů poz. č. 35, čímž dojde k vysunutí kleštin poz. č. 38 (maximální rozevření ramene manipulátoru) – dojde k translačnímu pohybu 1 snímek B). Tento pohyb zajistí odblokování aretace kleštin a nasunutí kleštin na nástroj. Dalším krokem je roztočení pohonné jednotky poz. č. 3 a tím i vačky poz. č. 7. Vačka provede

pootočení o 90°, během něhož dojde k translaci ramene manipulátoru poz. č. 2 do spodní úvratě - translačnímu pohybu 2 snímek C) viz obr. 151. Počáteční poloha vodící kladky translace poz. č. 14 je v bodě 1 viz obr. 154 a vodící kladka rotace poz. č. 13 v bodě 2. Při otočení vačky o 90° ve směru hodinových ručiček dojde k tomu, že se vodící kladka translace poz. č. 14 přesune z bodu 1 do bodu 2 a vodící kladka rotace poz. č. 13 z bodu 2 do bodu 3 viz obr. 154. Návrh tvaru drážky vačky a její pevnostní kontrola byla přenechána odborníkům s dlouholetými zkušenostmi, tyto práce provedli kolegové z Výzkumného ústavu textilních strojů v Liberci. Vačka byla pro náš prototyp a ověření funkcí vyrobena měkká, tedy tepelně nezpracovaná, důvodem byly značné finanční úspory.

Vodící kladka translace poz. č. 14 je nucena při této změně polohy vačky poz. č. 7 změnou poloměru radiální drážky, kterou je vedena, změnit svoji polohu. Tvar drážky v přechodech byl navržen dle standardně používaných metod. Jelikož je vodící kladka translace poz. č. 14 spojena s pákou translace poz. č. 23, která je uložena rotačně, vykonává vodící kladka translace poz. č. 14 pohyb po kružnici. Tento pohyb je přenášen na pákou translace poz. č. 23 a dále pomocí dvojice unášecích kladek poz. č. 24 na unášeč ramene poz. č. 8, který je suvně uložen na hlavní hřídel poz. č. 5. Díky pevnému spojení unášeče ramene poz. č. 8 s ramenem manipulátoru poz. č. 2 dochází k jeho translaci. Přesun ramenem manipulátoru poz. č. 2 do spodní úvratě.

Vodící kladka rotace poz. č. 13 při přesunu z bodu 2 do bodu 3 nemění svoji polohu, protože radiální drážka, v níž je tato kladka vedena má v této oblasti konstantní poloměr.

Po dosažení spodní úvratě se provede zasunutí kleštín poz. č. 38 (minimální rozevření ramene manipulátoru) - pohybu 3 snímek D) a to pomocí přesměrování tlakového média do opačné větve, čímž dojde k mechanickému zablokování rozevření kleštín poz. č. 38 pomocí omezovače kleštín poz. č. 39 a zabrání se tak potencionálnímu uvolnění nástroje během rotace ramene manipulátoru poz. č. 2.

Po dokončení zasunutí kleštín poz. č. 38 je provedeno další pootočení vačky poz. č. 7 o 90° ve směru hodinových ručiček.

Při tomto pootočení dojde k přesunu vodící kladky translace poz. č. 14 z bodu 2 do bodu 3 viz obr. 154 a vodící kladky rotace poz. č. 13 z bodu 3 do bodu 4.

Vodící kladka translace poz. č. 14 při přesunu z bodu 2 do bodu 3 viz obr. 154 nemění svoji polohu, protože radiální drážka, v níž je tato kladka vedena má v této oblasti konstantní poloměr.

Vodící kladka rotace poz. č. 13 je nucena při této změně polohy vačky poz. č. 7 změnou poloměru radiální drážky, kterou je vedena, změnit svoji polohu. Jelikož je vodící kladka rotace poz. č. 13 spojena s hřebenem hlavním poz.č. 15, který je suvně uložen ve skupině hřeben rotace poz. č. 6, může vačka vykonávat pouze translační pohyb. Tento se pak pomocí hřebene hlavního poz.č. 15 přenáší pomocí ozubeného převodu hřeben / kolo na hlavní hřídel poz. č. 5. Tím dojde k transformaci translačního pohybu na rotační. Rotační pohyb hlavní hřídele poz. č. 5 je pak pomocí drážkování přenášen na unášeč ramene poz. č. 8 a díky přímému spojení i na rameno manipulátoru poz. č. 2 - pohybu 3 snímek D) viz obr. 151.

Po dokončení rotačního pohybu se provede opětovné vysunutí kleštin poz. č. 38 (maximální rozevření ramene manipulátoru) - pohybu 5 snímek E), čímž dojde k mechanickému odblokování rozevření kleštin poz. č. 38 omezovači kleštin poz. č. 39.

Po dokončení vysunutí kleštin poz. č. 38 je provedeno další pootočení vačky poz. č. 7 o 90° ve směru hodinových ručiček.

Při tomto pootočení dojde k přesunu vodící kladky translace poz. č. 14 z bodu 3 do bodu 4 a vodící kladky rotace poz. č. 13 z bodu 4 do bodu 1.

Vodící kladka translace poz. č. 14 je nucena při této změně polohy vačky poz. č. 7 změnou poloměru radiální drážky, kterou je vedena, změnit svoji polohu. Tvar drážky v přechodech byl navržen dle standardně používaných metod. Jelikož je vodící kladka translace poz. č. 14 spojena s pákou translace poz. č. 23, která je uložena rotačně, vykonává vodící kladka translace poz. č. 14 pohyb po kružnici. Tento pohyb je přenášen na páku translace poz. č. 23 a dále pomocí dvojice unášecích kladek poz. č. 24 na unášec ramene poz. č. 8, který je suvně uložen na hlavní hřídel poz. č. 5. Díky pevnému spojení unášeče ramene poz. č. 8 s ramenem manipulátoru poz. č. 2 dochází k jeho translaci. Přesun ramenem manipulátoru poz. č. 2 do horní úvratě - pohybu 6 snímek F) viz obr. 151.

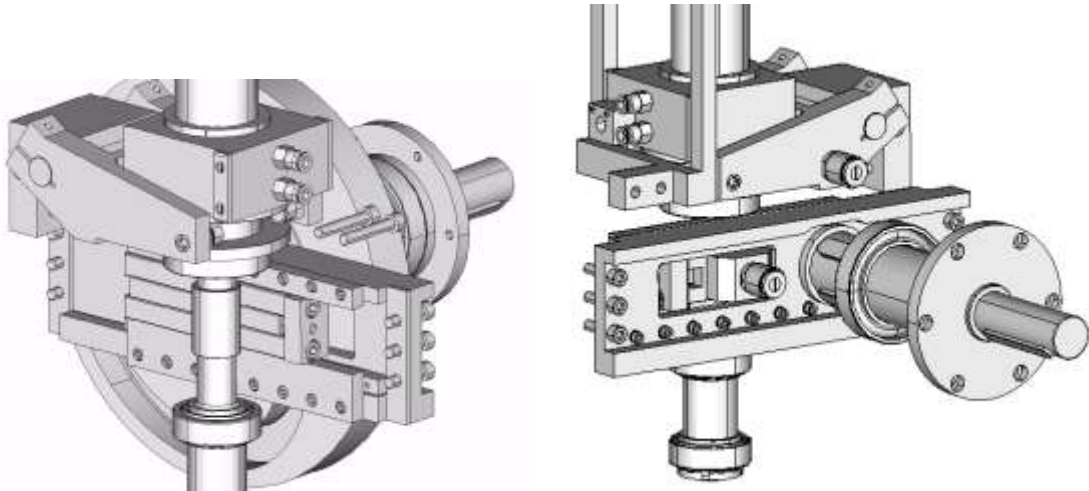
Vodící kladka rotace poz. č. 13 při přesunu z bodu 4 do bodu 1 viz obr. 154 nemění svoji polohu, protože radiální drážka, v níž je tato kladka vedena, má v této oblasti konstantní poloměr.

Po dosažení horní úvratě, kdy dojde k zasunutí nástrojů do vřeteníku a zásobníku, se provede zasunutí kleštin poz. č. 38 (minimální rozevření ramene manipulátoru) - pohybu 7 snímek A), čímž dojde k uvolnění nástrojů a ukončení výměny. Aby bylo možné provést další cyklus je potřeba dokončit rotaci vačky poz. č. 7. To je realizováno pootočení vačky poz. č. 7 o 90° ve směru hodinových ručiček.

Při tomto pootočení dojde k přesunu vodící kladky translace poz. č. 14 z bodu 4 do bodu 1 viz obr. 154 a vodící kladky rotace poz. č. 13 z bodu 1 do bodu 2.

Vodící kladka translace poz. č. 14 při přesunu z bodu 4 do bodu 1 viz obr. 154 nemění svoji polohu, protože radiální drážka, v níž je tato kladka vedena má v této oblasti konstantní poloměr.

Vodící kladka rotace poz. č. 13 je nucena při této změně polohy vačky poz. č. 7 změnou poloměru radiální drážky, kterou je vedena, změnit svoji polohu. Jelikož je vodící kladka rotace poz. č. 13 spojena s hřebenem hlavním poz.č. 15, který je suvně uložen ve skupině hřeben rotace poz. č. 6, může vačka vykonávat pouze translační pohyb. Tento se pak pomocí hřebene hlavního poz.č. 15 přenáší pomocí ozubeného převodu hřeben / kolo na hlavní hřídel poz. č. 5. Tím dojde k transformaci translačního pohybu na rotační. Rotační pohyb hlavní hřídele poz. č. 5 je pak pomocí drážkování přenášen na unášec ramene poz. č. 8 a díky přímému spojení i na rameno manipulátoru poz. č. 2 - pohybu 8 snímek A) viz obr. 151. Tím je celý cyklus výměny uzavřen a může totožným způsobem proběhnout znovu.



Obr. 160: Detail uzlu hřebene rotace

Na obr. 160 je detailní pohled na hřeben s pastorkem. Tento převod je realizován jako bezvúlový. Toho je zajištěno děleným hřebenem, jehož střední část je předepruta pomocí talířových pružin. Tato koncepce má omezení limitovaným zdvihem vačky. Proto bylo potřeba navrhnout optimální poměr, mezi průměrem pastorku a zdvihem vačky. Pro toto řešení bylo potřeba navrhnout pastorek s malým průměrem, protože čím by byl průměr větší, tím by bylo více problematické navrhnout vačku tak, aby splňovala kontrolní výpočty.

Pro koncepci vačkového manipulátoru byla provedena celková výkresová dokumentace, podle které došlo k vyrobení prototypu. Výroby se zhostil VUTS Liberec. Dále probíhá jednání o podání patentu / užitého vzoru konstrukčního řešení vačkového standu.



Obr. 161: Ožívování vačkového standu

7.2.3 Experimentální zkoušky

Po zkompletování mechanické části standu bylo přistoupeno k oživení elektrické a pneumatické části (Ing. František Bradáč Ph.D.), které jsou nezbytné pro vykonávání pohybu výměny zařízení. Po dokončení této fáze bylo přistoupeno k prvním testům zkušebního zařízení.



Obr. 162: Zadírání komponent hřebene rotace

Při testování rychlosti, kdy byla postupně zvyšována rychlost rotace vačky, však došlo k zaseknutí mechanismu. Tato závada byla později identifikována jako zadření vedení hřebene rotace ramene obr. 162. Jako příčinu vidíme špatně provedené tepelné zpracování vodících ploch, které bylo zjištěno zkouškou tvrdosti. Bylo provedeno přebroušení a důkladné promazání vodících ploch, které však skončilo stejným výsledkem. Problém byl řešen změnou materiálu vedení hřebene. Stávající vodící plochy byly odfrézovány a nahrazeny bronzovými vodícími lištami. Materiál těchto lišt zamezí možnosti zadírání a tím umožní realizaci dalších experimentů na zkušebním vačkovém standu.



Obr. 163: Modifikované vedení hřebenu rotace vačkového manipulátoru

Následující složený obrázek prezentuje reálnou strukturu a vnitřní uspořádání vačkového standu. Vlevo hlavní vačka, pomocí níž jsou vyvozovány pohyby manipulátoru



Obr. 164: Pohled na vnitřní uspořádání vačkového standu

Jelikož se však jedná o zcela nové zařízení, bylo zapotřebí odladit některé nedostatky, které se vyskytly již krátce po uvedení zařízení do provozu. Mezi tyto nedostatky patřila výměna plastových kluzných ložisek vedení hlavního hřídele za bronzová, tyto zapříčiňovaly náchylnost mechanismu k trhavému pohybu (tento poznatek byl zjištěn již na STD-25). Dále pak modifikace vedení hlavního hřebene rotace. Tato modifikace byla nutná z důvodu nevhodné volby kombinace stykových materiálů, u nichž docházelo k zadírání. Vedení bylo modifikováno a během dalšího provozu se již v tomto uzlu neprojevovaly žádné problémy. Jak již bylo zmíněno výše, konstrukce manipulátoru je řešena za pomoci prvků tvrdé automatizace. Tyto s sebou přinášejí i některé specifické vlastnosti. Jednou z těchto specifických vlastností je i to, že pokud nedojde k poškození nebo opotřebením komponent manipulátoru, dosahuje zařízení stále stejné přesnosti polohování. Tedy z hlediska experimentálních zkoušek se měření opakovaně přesnosti jeví jako nezajímavé.

Jako zajímavá se však ukázala oblast experimentů týkajících se zkoušek životnosti komponent manipulátoru a dále pak rychlostní zkoušky zaměřené na vytipování optimálních ramp náběhu, doběhu a maximální rychlosti pohonu ve vztahu k namáhání komponent manipulátoru. Zkoušky byly z časových důvodů realizovány souběžně.

Zařízení pracovalo v cyklu, kdy mezi výměnami byla prodleva cca 30s z důvodu omezení tepelného ovlivnění stykových ploch (reálné zařízení neprovádí tak velký počet výměn v tak krátkém čase za sebou a proto nedochází k ohřívání zařízení – kluzných ploch a pohonu, každá výměna probíhá tedy ve stavu, kdy je zařízení relativně chladné). V průběhu těchto testů byly též prováděny i experimenty týkající se nastavení měniče – rychlost pohonu, nastavení ramp atd. Při jejich realizaci se testovala únosnost komponent a též vliv zatížení na životnost a opotřebení jednotlivých součástí. Cílem bylo nalézt optimální nastavení pohonu v kombinaci s požadavkem na rychlost výměny a dlouhé životnosti zařízení. Při realizaci testů po cca 150-ti cyklech a užití maximálního momentu motoru pro rozběh došlo k destrukci jedné z vodících kladek viz obr. 165. K destrukci dle lomových ploch došlo křehkým lomem, který byl způsobem přetížením tohoto elementu. Z tohoto důvodu byla provedena nová modifikace konstrukce kladek. Jako vhodné se tedy jeví řešení užívající kalené vodící kladky s kluznou stélkou uvnitř. Dojde tím k zesílení stěny a tím i snížení napjatosti v kladce. Nevýhodou tohoto řešení je zvýšení součinitele tření, které však v tomto případě nehraje zásadní roli. Při hledání optimálních parametrů náhonu bylo dosaženo celkové rychlosti manipulace cca 4,5s, což zcela koresponduje s běžnými manipulátory (dané třídy) s kterými se v současnosti můžeme na trhu setkat. Tento čas je však dosažen na prototypu, který disponuje mnoha nedostatky a není zcela optimalizován. Výsledný čas, kterého by podle odhadů bylo možno za pomoci plné optimalizace dosáhnout, se blíží času cca 3s.



Obr. 165: Destruovaný vnější kroužek kladky a klec

Celkový počet cyklů, který manipulátor během testů provedl, byl cca 1700. Po skončení testovací fáze byla provedena demontáž některých komponentů (např. vačka, vodící kladky, hřeben apod.). Po jejich důkladném očištění byly tyto komponenty dále důkladně zkoumány z hlediska zjištění poškození vlivem opotřebení a únavy, jež mají nejzásadnější vliv na celkovou životnost mechanismu. Při této prohlídce nebylo zjištěno vážnějších poškození způsobené provozem. Mírná otlačenost v oblasti změny zakřivení dráhy byly pozorovány na hlavní vačce. Toto bylo způsobeno tím, že hlavní vačka byla z cenových důvodů vyráběna tepelně nezpracovaná. V místech změny zakřivení dráhy dochází právě ke změnám pohybů kladek a tím i k největším silovým působením. Tato otlačenost však neměla vliv, jak na přesnost polohování mechanismu, tak ani na jeho funkčnost. Z naměřených dat a zkušeností získaných při experimentálních zkouškách na vačkovém standu vyplynula některá kritická místa, u nichž by mělo dojít k vylepšení a optimalizaci. Mezi tato místa patří především celková hmotnostní a pevnostní

optimalizace vedoucí k celkovému snížení hmotnosti všech komponentů mechanismu a tím i zvýšení kompaktnosti celého zařízení. Dále pak modifikace některých funkčních prvků jako je například zvětšení přívodních kanálků pro přívod stlačeného vzduchu do manipulačního ramene. V současnosti jsou dimenzovány nedostatečně a není možné zvyšovat rychlost jejich výsuvu. Všechna tato opatření vedou k vytvoření kompaktního a subtilního mechanismu pro automatickou výměnu nástrojů využívající pro náhon pouze jednoho motoru, a to asynchronního motoru. Výhodou použití asynchronního motoru je jednoduché řízení (oproti servu), čímž opět dojde ke snížení celkové ceny manipulatoru. Navíc ve spojení s relativně jednoduchou konstrukcí dává velkou perspektivu pro další vývoj a praktické nasazení.

7.2.4 Ochrana duševního vlastnictví

Jednoduchost a unikátnost navrženého řešení vedla k tomu, že byla navázána spolupráce s Útvarem transferu technologií na VUT v Brně, který zprostředkoval a finančně podpořil podání patentové přihlášky a přihlášky o udělení užitného vzoru. V roce 2010 byl udělen a uveden v platnost užitný vzor. Patentové řízení nadále pokračuje.

Kompletní výčet autorů podílejících se na vývoji a podání užitného vzoru a patentové přihlášky: Ing. Jan PAVLÍK, Ing. Pavel BADIN, prof. Ing. Zdeněk KOLÍBAL CSc, doc. Ing. Petr BLECHA Ph.D., Ing. Radim BLECHA Ph.D., Ing. František BRADÁČ Ph.D.

The image shows two side-by-side screenshots of patent application forms from the Czech Patent Office (Úřad průmyslového vlastnictví). The left form is for a patent (Přihláška vynálezu) and the right form is for a utility model (Přihláška užitného vzoru). Both forms contain fields for applicant information, title, and classification codes.

Left Form (Patent):

- Úřad průmyslového vlastnictví, Antonína Čermáka 2a, 160 08 Praha 6, Tel.: 220 363 111, Fax: 224 324 718, E-mail: posta@upv.cz, WWW.UPV.CZ
- Přihláška vynálezu, se žádostí o udělení patenta
- Podávající číslo: E35526, název (titul):
- Správná značka přihlášky:
- Požádání o příjím výkladu dne: 18.11.2009/08:08
- MPF: []
- Výřezek: []
- Kód: []
- 1. DRUH PŘIHLÁŠKY: Přihláška národní (s výjimkou nebo ZAHRAŇAČNÍ) (s výjimkou): (1300) N
- Výběr druh: []
- Nová přihláška vynálezu: []
- 2. NÁZEV VYNÁLEZU: (9400) Manipulátor pro automatickou výměnu nástrojů
- 3. POČET PŘIHLAŠOVATELŮ: (9001) 1
- 4. PŘIHLAŠOVATEL(Ů):

Příjmení / Jméno	(710101)	Vysoké učení technické v Brně
Jméno	(710301)	
Titul příjím.jm.	(710401)	
Titul vzajm.	(711501)	
Město	(710501)	Antonínská
Číslo	(710601)	543/1
Město	(710701)	Brno

Right Form (Utility Model):

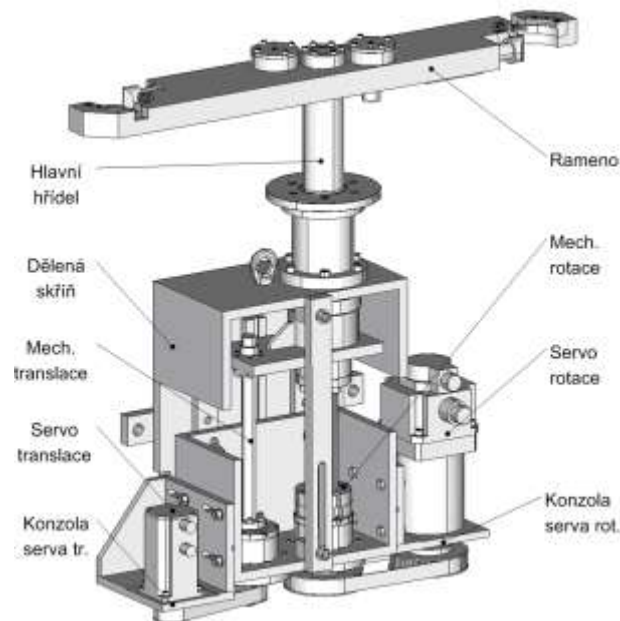
- Úřad průmyslového vlastnictví, Antonína Čermáka 2a, 160 08 Praha 6, Tel.: 220 363 111, Fax: 224 324 718, E-mail: posta@upv.cz, WWW.UPV.CZ
- Přihláška užitného vzoru, se žádostí o zápis užitného vzoru do rejstříku
- Podávající číslo: E35548, název (titul):
- Správná značka přihlášky:
- Požádání o příjím výkladu dne: 18.11.2009/08:08
- MPF: []
- Výřezek: []
- Kód: []
- 1. DRUH PŘIHLÁŠKY: Přihláška národní (s výjimkou nebo ZAHRAŇAČNÍ) (s výjimkou): (1300) N
- Výběr druh: []
- Nová přihláška užitného vzoru: []
- 2. NÁZEV UŽITNÉHO VZORU: (9400) Manipulátor pro automatickou výměnu nástrojů
- 3. POČET PŘIHLAŠOVATELŮ: (9001) 1
- 4. PŘIHLAŠOVATEL(Ů):

Příjmení / Jméno	(710101)	Vysoké učení technické v Brně
Jméno	(710301)	
Titul příjím.jm.	(710401)	
Titul vzajm.	(711501)	
Město	(710501)	Antonínská
Číslo	(710601)	543/1
Město	(710701)	Brno

Obr. 166: Dvojice titulních stran podání patentové přihlášky a užitného vzoru

7.3 Kompaktní manipulátor AVN

Na základě poznatků a zkušeností získaných při vývoji a experimentálních zkouškách na STD-25 bylo přistoupeno k realizaci návrhu nového velmi rychlého manipulátoru pro výměnu nástrojů. Snahou tohoto vývoje bylo zachování všech výhod dosavadního řešení, tedy především jeho jednoduchosti a možnosti vyrobit toto zařízení i s omezenými výrobními možnostmi (není nutno vyrábět složité globoidní vačky) a současně eliminovat veškeré nedostatky, které se na STD-25 projevíly během zkoušek. Primární snahou při návrhu nového manipulátoru bylo odstranění dvou nejzásadnějších nedostatků, s kterými jsme se při experimentech u standu STD-25 potýkali. V první řadě šlo o mimoosé zatížení vyvozované šroubem translace na konzolu, která tuto sílu dále přenáší na hlavní hřídel a tím umožňuje její pohyb nahoru a dolů. Experimenty ukázaly, že vyosení této síly má za následek výrazné zvýšení potřebné hnací síly vlivem příčení ve vedení. Dále toto vyosení s sebou přináší náchylnost na vznik trhavého pohybu hlavní hřídele a v neposlední řadě nutnost vhodné volby kluzných materiálů pro vedení hlavní hřídele. Jako další problémový se ukázal uzel přenosu rotace na hlavní hřídel, přesněji uložení drážkové hřídele v náboji. Již ze samotné podstaty věci vyplývá, že toto uložení musí být vyrobeno s vůlí. Tento fakt s sebou přináší problém v podobě toho, že tato vůle je relativně na malém poloměru (drážkového hřídele) a tato je v poměru vůči délce ramene znásobena. Tato vůle má tedy za následek velký rozptyl přesnosti polohy najetí ramene.



Obr. 167: 3D model manipulátoru zkušebního standu STD-25

Snahou konstrukce bylo všechny výše uvedené nedostatky eliminovat a tím dosáhnout optimálního řešení, jež má za cíl dosáhnout co možná nejlepších parametrů dosahovaných při výměně nástrojů. Dále je nutno podotknout, že návrh manipulátoru byl proveden pro nástroje střední hmotnostní kategorie (10-20kg) a tomu odpovídá i nasazení u větších frézovacích center. Při návrhu bylo též počítáno s univerzálností tohoto zařízení, která spočívá především v možnosti manipulace se všemi typy nástrojových držáků, které jsou na trhu běžně dostupné. Tato univerzálnost a

modulárnost je zajištěna možností výměny celého uzlu ramene manipulace, které realizuje uchopování jednotlivých nástrojů. Rozměrovými a geometrickými modifikacemi tohoto uzlu je tedy možné dosáhnout nejen výše zmíněnou univerzálnost ve vztahu k typu nástrojového držáku, ale také z pohledu optimalizace vůči konkrétnímu typu stroje (optimalizace z pohledu zástavbových rozměrů manipulátoru a zásobníku do stroje a v návaznosti na to i optimalizace z hlediska bodu výměny).

Při návrhu byly zohledněny i současné trendy vedoucí ke ekologickým a energeticky nenáročným řešením. Koncepte užívající dvojici servomotoru, které nemají v kinematickém řetězci zařazen žádný samosvorný mechanismus, umožňují provádět rekuperaci, tedy při procesu brzdění není energie naakumulovaná v mechanismu a mařena v brzdých odporech, nebo ve tření, ale je pomocí procesu rekuperace a k tomu speciálně navrženým měničům opět přeměňována na elektřinu.

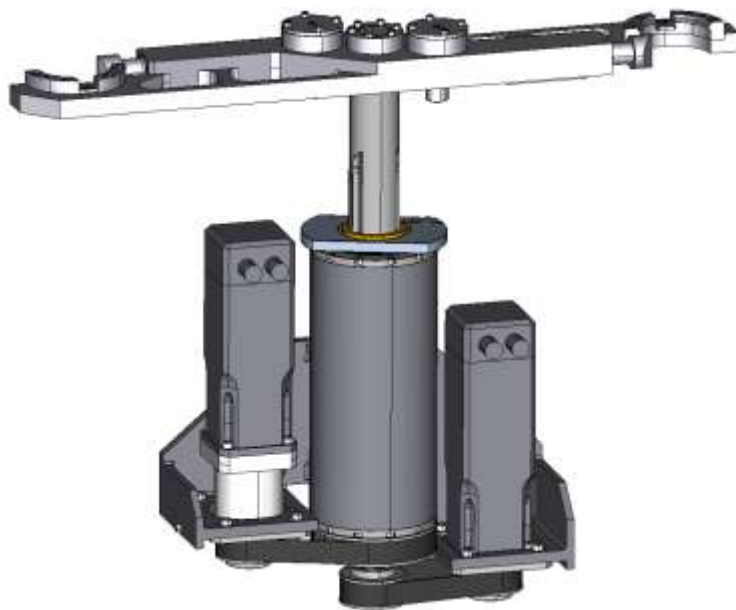
Takto získaná energie může být buď vracena do sítě, nebo lépe z hlediska menšího rušení elektrické soustavy, ukládána do superkapacitorů, které umožní pozdější využití této energie. Další nemalou výhodou řešení využívající superkapacity je šetrnost k elektrické soustavě. Energie v nich akumulovaná je uvolňovaná především v době náběhu motoru, tedy v době největšího odběru. Toto umožňuje minimalizovat proudové rázy do sítě a tím celkově zlepšit její stav.

7.3.1 Konstrukce

Při konstrukci byl kladen maximální důraz na jednoduchost řešení, z níž plyne i snaha o co možná nejmenší počet vyráběných komponent a nároků na jejich obrábění. Byly preferovány především komponenty rotačního charakteru, jejichž výroba je výrazně rychlejší a z ekonomického hlediska příznivější než u komponent nerotačních. Též byl kladen důraz na možnost seřízení některých funkčních uzlů, čímž bylo dosaženo snížení nároků na geometrickou přesnost některých funkčních ploch (např. vedení kladek rotace). Jak již bylo několikrát zdůrazněno, při návrhu nové konstrukce byl kladen velký důraz na minimalizaci počtu komponent a na to, aby tyto komponenty byly výrobně co nejjednodušší. Na základě těchto požadavků byla vytvořena nová „dvoutubusová“ koncepce manipulátoru. Její snahou je nejen minimalizace počtu komponent tvořící manipulátor a snížení jejich výrobní náročnosti, ale snaží se i dosáhnout co možná nejlepších silových poměrů v mechanismu manipulátoru a tím eliminovat nadměrné síly vznikající nevhodným uspořádáním prvků, konstrukcí a nebo volbou materiálů.



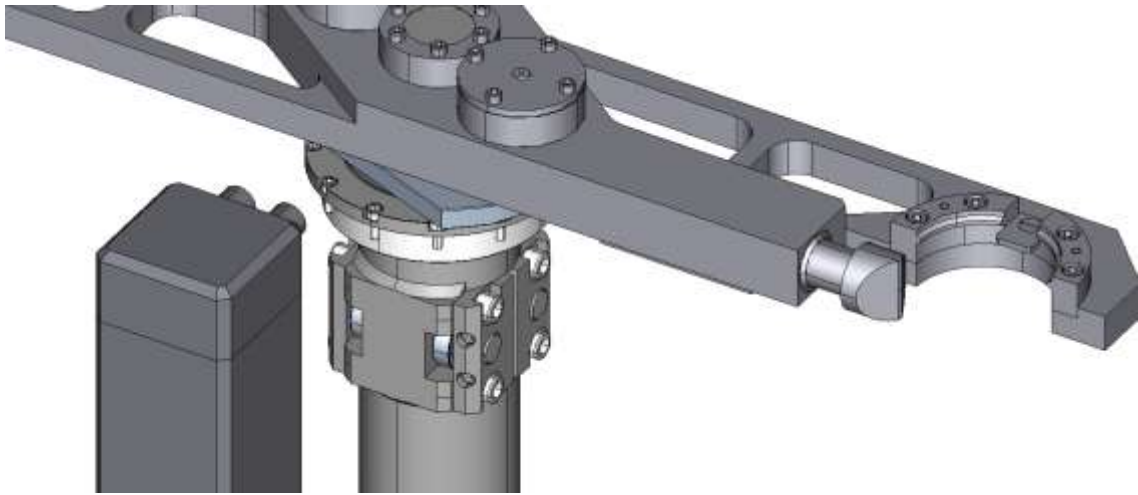
Obr. 168: 3D model manipulátoru v zasunutém stavu



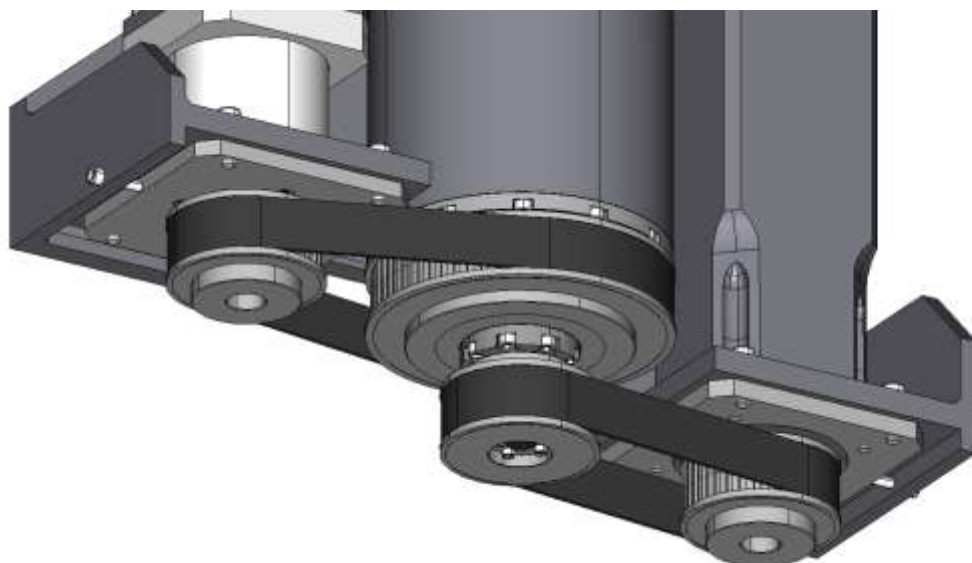
Obr. 169: 3D model manipulátoru ve vysunutém stavu

Podíváme-li se detailněji na konstrukce zařízení je patrné, že ústředním prvkem je hlavní hřídel. Její rotační a translační pohyb je přímo přenášen na rameno manipulace. Jakákoliv nepřesnost či vůle v mechanismech přenášejících pohyb na hlavní hřídel se tedy projeví v nepřesnosti najíždění ramene manipulace. Jak je vidět na obr. 170 bylo snahou eliminovat veškerá místa v nichž by mohlo docházet ke zbytečným nepřesnostem a vůlím. Hlavní hřídel je koncipována tak, že umožňuje realizaci translace i rotace zcela bez vůlí. Toto je u translace zajištěno kuličkovým šroubem, který zajišťuje dostatečnou tuhost a rychlost translace. U rotačního pohybu je přenos realizován pomocí předepnutých kladek, které při rotačním pohybu nevykonávají žádný pohyb, pouze přenáší silové působení. Při translaci zajišťují pomocí své rotace stálou a neměnnou orientaci ramene manipulátoru. Tyto kladky jsou upevněny na tubus rotace, který zajišťuje realizaci rotačního pohybu. Při návrhu bylo též počítáno s možností jednoduchého ustavení a předepnutí těchto kladek viz obr. 170. Kladky byly dimenzovány pro přenos kroutícího momentu cca 250Nm, který zajistí

v dostatečné míře realizaci velice rychlé výměny i pro hmotnější nástroje. Tubus rotace slouží nejen jako ústřední člen pro přenos rotačního pohybu, ale také pro surné uložení hlavní hřídele. Toto je realizováno kluzně pomocí bronzového vodícího pouzdra umístěného na tubus rotace a kamene z bronzového materiálu umístěného na konci hřídele. V horní části tubusu rotace je pevně umístěno kluzné ložisko, jímž prochází hlavní hřídel, který je na svém konci, který se posouvá v tubusu rotace, opatřen bronzovým kamenem. Toto řešení bylo zvoleno na základě zkušeností z realizace experimentálních zkoušek na standu STD-25. Při experimentech se bronz ukázal jako nejvhodnější materiál. Plastová kluzná ložiska se neosvědčila, a to především kvůli jejich velké výrobní nepřesnosti a zejména pak kvůli velkým rozdílům součinitele tření materiálu ložiska v závislosti na zátěžových tlacích, které způsobovaly trhavé pohyby. Kombinace ložiska a kluzáku je pak motivována snahou o zvětšení vzdáleností podpor hlavní hřídele a tím i zmenšení reakčních sil v těchto kluzných elementech.

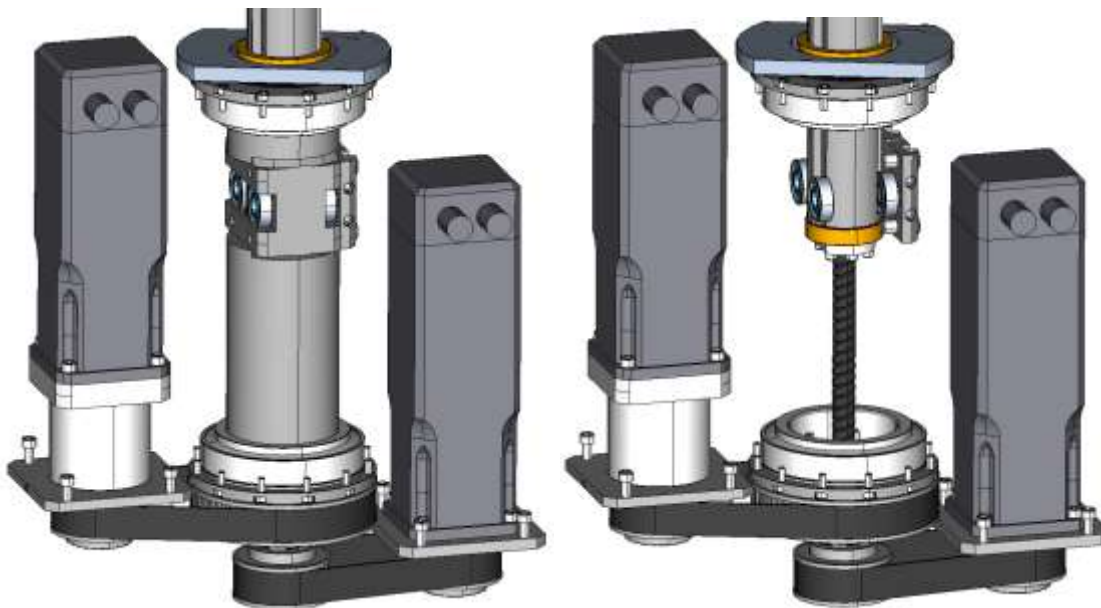


Obr. 170: 3D model nového manipulátoru - rameno a odkrytované vodící kladky



Obr. 171: 3D model manipulátoru - pohled na realizaci převodů pohonu

Tubus je dále opatřen dosedací deskou, která slouží jako doraz pro palce ramene manipulace. Tyto palce zajišťují aretaci nástrojů v rameni a zabraňují jejich uvolnění při rotaci ramene. Při translačním pohybu, kdy jede rameno do spodní úvratě, dochází ke stlačení aretačních palců a tím i zablokování nástrojů v rameni. U klasických konstrukcí je tento doraz upevněn na nepohyblivém krku, tedy palce musejí při rotaci ramene po dorazové desce klouzat. Proto je vhodná jejich konstrukce z některého vhodného kluzného materiálu (bronz). Dále je nutné tyto plochy dobře mazat, aby nedocházelo k jejich zadírání. Jelikož tyto části většinou nebývají krytované dochází k jejich zanášení nečistotami a je nutná jejich častější údržba. Řešení užití v popisované konstrukci má dosedací desku spojenou s tubusem rotace, což s sebou přináší výhodu v tom, že rameno manipulace vůči dosedací desce nemění svoji orientaci. Tím je tedy dosaženo eliminace tření a zadírání v tomto styku. Dále je zde i jistá finanční úspora, protože na tuto desku nejsou kladeny žádné nároky na kvalitu materiálu.



Obr. 172: Pohled na tubus rotace a šroub rotace

Celý tubus rotace je pak uložen v páru kuželíkových ložisek. Tato ložiska zajišťují geometricky přesný a bezvúlový chod tohoto tubusu nesoucího rameno manipulace a hlavní hřídel. Celý tento tubus je pak s ložisky uložen v hlavním tubusu, který tvoří skříň manipulátoru a je naháněn pomocí řemenového převodu a bezvúlovou převodovkou se servomotorem. Tím je dosaženo maximální možné jednoduchosti konstrukce a zároveň jsou eliminovány takřka všechny problematické uzly, v kterých by mohlo docházet k případným poruchám ve vztahu k přesnosti polohování manipulátoru. Z obrázků je též patrné, že oproti klasickým konstrukcím je u tohoto manipulátoru určitá zvláštnost, a to ta, že při rotaci ramene musí současně rotovat i kuličkový šroub, aby nedošlo k nežádoucímu translačnímu pohybu. Tato synchronizace je naprosto nezbytná pro správnou funkci manipulátoru jako celku.

7.3.2 Parametry kompaktního manipulátoru

Jak již bylo uvedeno v předchozí kapitole, snahou bylo vytvořit do jisté míry univerzální zařízení, u něž by změnou některých komponentů nebo uzlů mohlo dojít k

žádaným změnám parametrů. Výše byla popsána možnost záměny ramene nebo změna typu pohonu. Je nutno podotknout, že zařízení je dostatečně dimenzováno, a proto je možné zaměnit i stávající servomotory za výkonnější a tím je možno dosáhnout daleko lepších parametrů jako je čas výměny. Současná konstrukce počítá s užitím motorů Control Techniques CTM508T.

Tyto motory byly vybrány z několika důvodů. Prvním z nich je jejich charakteristika. Tyto motory mají snížený počet max. otáček, ale díky tomu mají zvýšený kroutící moment. Další výhodou je to, že jsou vybaveny brzdou, která spolehlivě udrží v klidové poloze jak rotaci (zde nepůsobí vnější síly), ale i translační pohyb, kde je počítáno s realizací tohoto pohybu za pomoci kuličkového šroubu, který v našem případě není samosvorný. Další a to nezanedbatelnou výhodou tohoto typu motoru je možnost výrazného přetížení a přetočení. Pro běžné aplikace není problém 2,5-násobné momentové přetížení a přetočení až na 600min^{-1} . Ze simulací provedených v prostředí MSC.Adams byly získány orientační časy, které je možno pomocí tohoto mechanismu dosáhnout. Následující tabulka prezentuje možné dosažitelné časy v závislosti na hmotnostní třídě nástrojů.

Tabulka 15: Tabulka dosažitelných rychlostí v závislosti na hmotnosti nástroje

Hmotnostní třída	Celková hmotnost nástrojů dané třídy [kg]	Průměrný čas výměny [s]
1	14	3
2	20	3,75
3	26	4,5

Takto výrazné zlepšení časů oproti STD-25, i při zachování stejného typu pohonu, je způsobeno především optimalizací konstrukce. Koncepce je navržena tak, aby nedocházelo k silovým působením, která by nadbytečně zatěžovala mechanismus a tím snižovala jeho rychlost/výkonnost. V neposlední řadě je nutno podotknout, že i výsledná přesnost při realizaci rotačního pohybu bude výrazně zlepšena. Zařízení eliminovalo vliv vůle v drážkovaném hřídeli a chyba rotace je zatížena už jen tuhostí a přesností synchronního řemenového převodu a dále pak bezvůlové planetové převodovky.

7.3.3 Varianta řešení s prvkem THK

Z hlediska konstrukce byla nalezena alternativa k výše uvedené variantě kompaktního řešení manipulátoru. Tato spočívá v implementaci speciálního prvku, který v sobě integruje dvojici vlastností, a to vlastnosti kuličkového šroubu a kuličkové tyče s drážkami. Tím je dosaženo podobných vlastností jako u uvedeného řešení, pomocí dvou rotačních pohybů je docíleno celého procesu výměny. Primárně je tento prvek určen pro implementaci do robotů typu Scara, kde realizuje translační pohyb v ose Z. Z hlediska funkčnosti, robustnosti a kompaktnosti je však možné tento komponent s úspěchem aplikovat i v manipulátorech AVN.



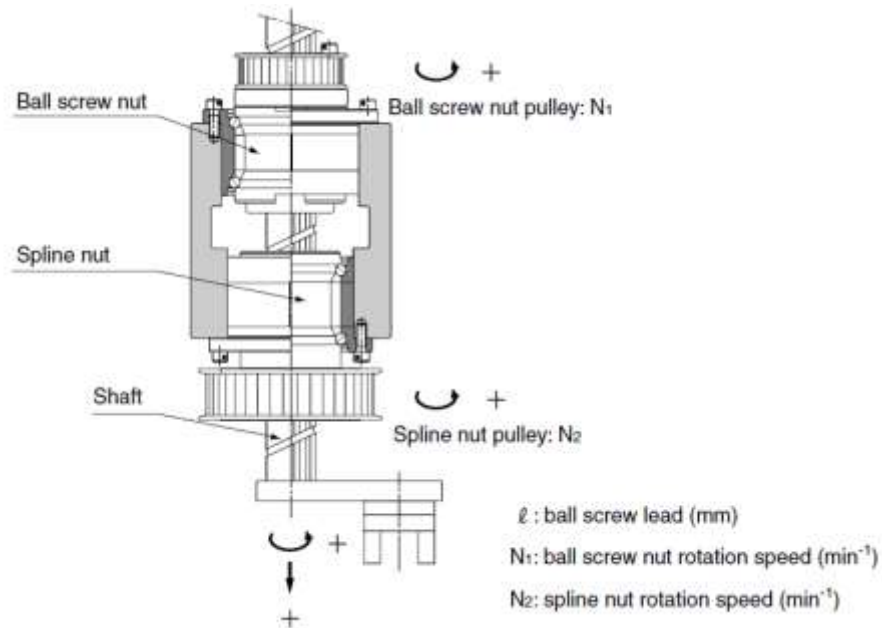
Obr. 173: Kuličkový šroub/kuličková tyč s drážkami – drážkovaný šroub [64]

Z hlediska samotné konstrukce je možné si povšimnout, že užitím integrovaného kuličkového šroubu a kuličkové tyče s drážkami je docíleno výrazně jednodušší konstrukce celého manipulátoru. Dnes, kdy je preferována snaha kupovat komponenty od specializovaných výrobců a co možná v nejmenší míře vyrábět, je tato koncepce takřka ideální.

Srovnáme-li obě výše uvedené koncepce, můžeme konstatovat, že každá má svá pro a proti, na jejichž základě je možno zvolit příslušnou variantu. Firma disponující dostatečnou technologií a kapacitou bude spíše preferovat variantu, u níž se bude snažit minimalizovat cenu za pomoci výroby komponent svépomocí, zatímco firmy s chybějící technologií, nebo nedostatečnou kapacitou budou volit především cestu nákupu co možná největšího počtu komponent.

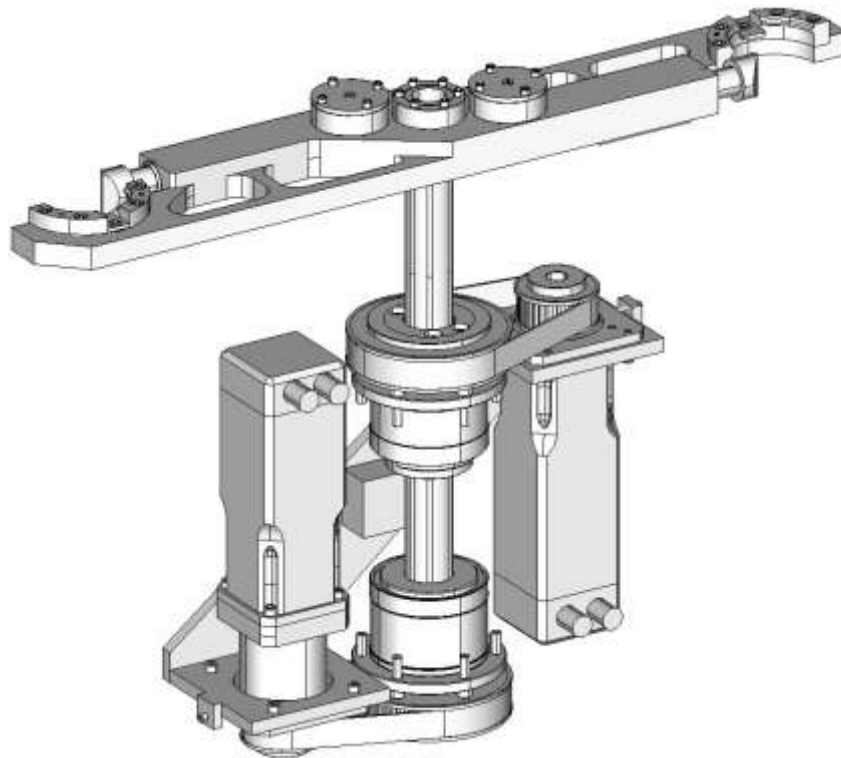
Motion	Action direction	Input		Shaft motion	
		Ball Screw pulley	Ball Spline pulley	Vertical direction (speed)	Rotational direction (rotation speed)
1. Vertical 	① Vertical direction → downward Rotational direction → 0	N_1	0	$V=N_1 \cdot f$	0
		(Forward)		$(N_1 \neq 0)$	
	② Vertical direction → upward Rotational direction → 0	$-N_1$	0	$V=-N_1 \cdot f$	0
		(Reverse)		$(N_1 \neq 0)$	
2. Rotational 	① Vertical direction → 0 Rotational direction → forward	N_1	N_2	0	N_2 (Forward)
			(Forward)		$(N_1=N_2 \neq 0)$
	② Vertical direction → 0 Rotational direction → reverse	$-N_1$	$-N_2$	0	$-N_2$ (Reverse)
			(Reverse)		$(-N_1=-N_2 \neq 0)$
3. Spiral 	① Vertical direction → upward Rotational direction → forward	0	N_2	$V=N_2 \cdot f$	N_2
			$(N_2 \neq 0)$		(Forward)
	② Vertical direction → downward Rotational direction → reverse	0	$-N_2$	$V=-N_2 \cdot f$	$-N_2$
			$(-N_2 \neq 0)$		(Reverse)

Obr. 174: Obrázek z katalogu THK popisující aktivaci jednotlivých náhonů v závislosti na požadovaném výstupním pohybu [64]

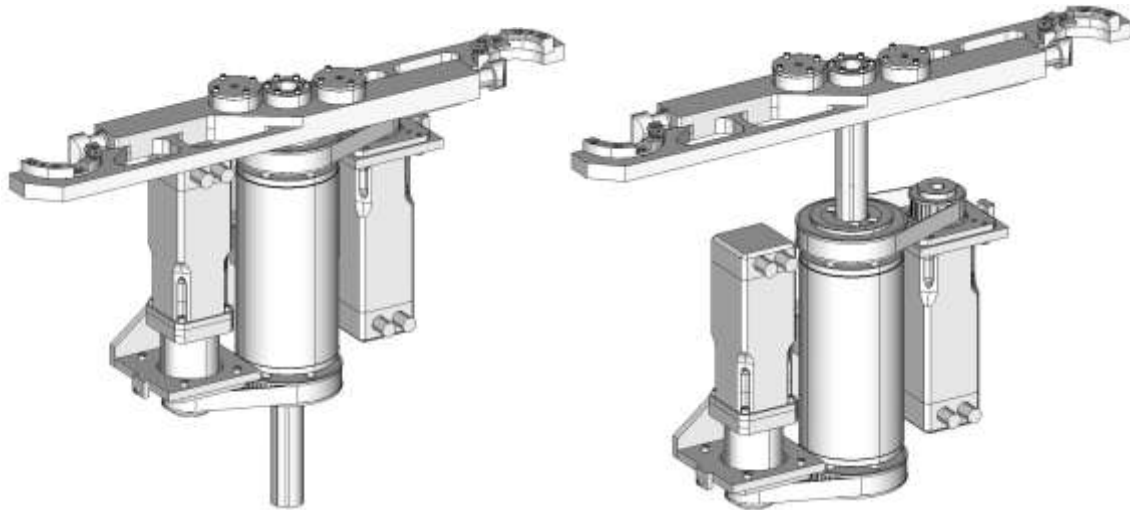


Obr. 175: Konceptní uspořádání Z osy robotu Scara dle katalogu THK [64]

V případě první varianty můžeme mezi klady uvést především velkou tuhost a únosnost z hlediska přenosu kroutícího momentu, která je daná především výrazně větším poloměrem, na kterém k přenosu dochází. Další výhodou je snadná výroba a dostupnost všech komponent, kdy při výpadku jednoho dodavatele jsme schopni zajistit dodávky u jiných dodavatelů. Z manipulátoru se rovněž vysouvá pouze hlavní hřídel s ramenem, je možné ho tedy z hlediska zástavby umístit blízko k jiným uzlům.

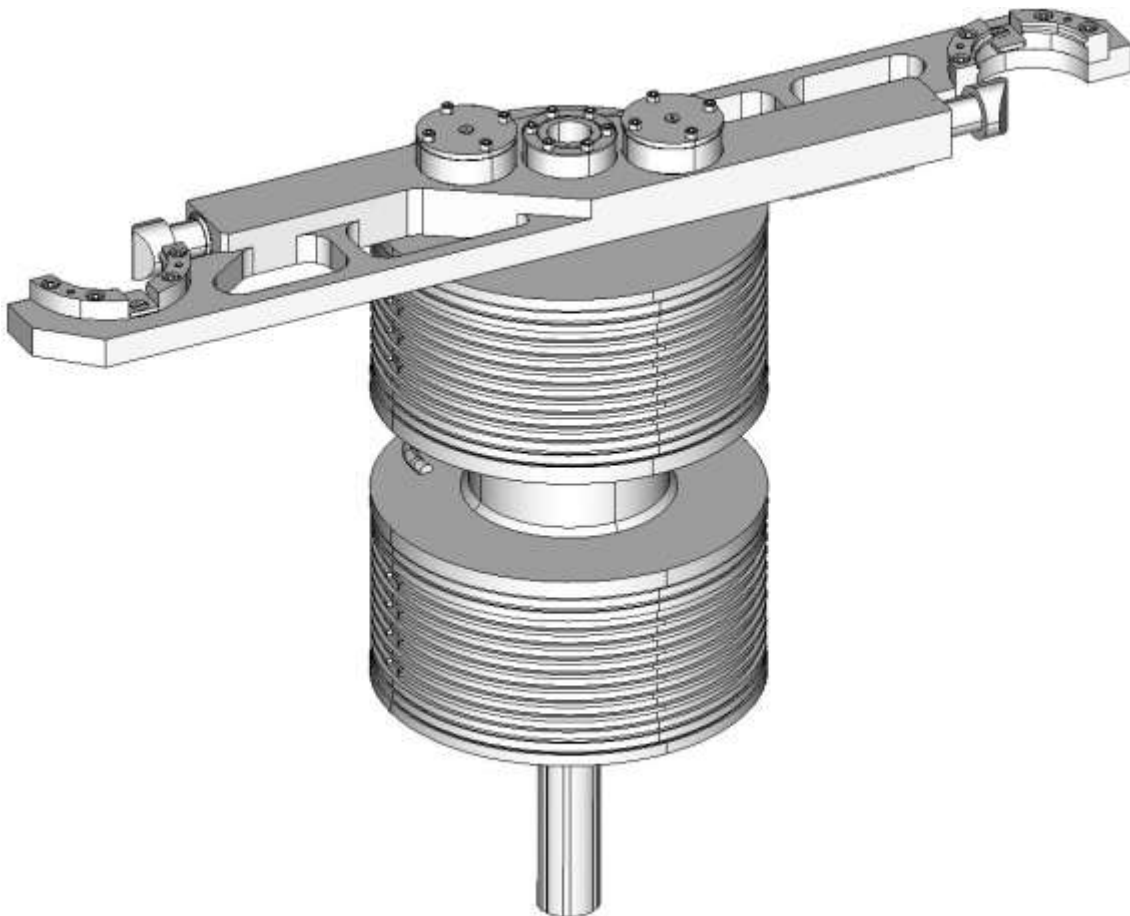


Obr. 176: Koncepte manipulátoru s drážkovaným šroubem (tubus skryt)



Obr. 177: Vysunutý a zasunutý stav manipulátoru

K nevýhodám je pak třeba uvést především relativní složitost. I když byl při konstrukci kladen důraz na užití co možná nejmenšího počtu přesně obráběných komponent, je tento počet ve srovnání s druhou variantou stále vysoký. Nevýhodou je rovněž kluzné uložení některých prvků, jako je hlavní hřídel (translace). Tento typ uložení nejen že snižuje celkovou účinnost, ale může v některých případech zapříčinit přičení mechanismu.



Obr. 178: Koncepte manipulátoru AVN s dvojití momentových motorů

Výhody druhé varianty jsou především v kompletně valivém uložení, které minimalizuje ztráty, malé zástavbové rozměry a především pak značná jednoduchost řešení, která je založena na jednom integrovaném nakupovaném prvku. Toto však sebou přináší i značnou nevýhodu v závislosti na jednom nebo omezeném počtu dodavatelů schopných tento komponent zajisti. Jako další nedostatek je možno uvést nutnost větší vzdálenosti spodní části manipulátoru od ostatních komponent. Při zasouvání ramen totiž dochází k vysouvání šroubu z manipulátoru.

Jako další možnost směřovanou především do budoucna je návrh integrace momentových motorů k tomuto typu řešení. Toto řešení vede k dalšímu zjednodušení konstrukce manipulátoru, ke zpřesnění polohování (eliminací řetězce komponent mezi motorem a hnanou hřídelí, přímé odměřování na motoru). Jsou zde rovněž eliminovány možné ztráty, které jsou tvořeny pouze valivými elementy na drážkovaném šroubu a v uložení dvojice „matic“.

Výše uvedený koncept počítá s motory firmy Siemens 1FW6130, které disponují jmenovitým momentem 410Nm a maximálním momentem 820Nm. Manipulátor je však v tomto směru limitován především drážkovaným šroubem, který může přenášet moment cca 760Nm. I přes to, že jsou tyto motory konstrukčně koncipovány pro chlazení vodou, není s tímto typem chlazení počítáno. Časové prodlevy mezi jednotlivými cykly výměny jsou zcela dostačující i pro chlazení vzduchem. Ve spojení s velkým poskytovaným momentem výše popisovaného typu elektromotoru je možno pomocí navrženého uspořádání docílit efektivnějšího a rychlejšího procesu výměny nástrojů všech velikostí.

Tento návrh byl učiněn především proto, aby byly demonstrovány možnosti a směry dalšího vývoje automatické výměny nástrojů, vedoucí k vytvoření inteligentních systémů adaptivně přístupujících k jednotlivým nástrojům, především s ohledem na jejich hmotnost, polohu těžiště atd. Prvním krokem k takovémuto komplexnímu řešení je právě návrh manipulátoru, které umožňuje souvisle řídit polohu nástroje v průběhu celé výměny, čímž je dosaženo nejefektivnějšího využití výkonu motoru a v neposlední řadě zvyšování účinnosti a možnost opětovného využití energie akumulované v pohybujiících se nástrojích. Přímé náhony mají právě oproti klasickým řešením s vačkou možnost realizovat rekuperaci, čímž je dosaženo efektivnějšího využití energie zohledňující nejmodernější trendy v strojírenství. Neustále se snižující cena, a to jak elektroniky v podobě frekvenčních měničů, tak i moderních typů pohonů, jako jsou právě užívané momentové motory, které dávají tušit, že doba jejich praktického nasazení i v těchto typech aplikací není příliš vzdálená.

8 ZÁVĚR

Autor disertační práce se podílel na řešení mnoha projektů jak MŠMT, Inovačních voucherů JMK, tak i projektů specifického výzkumu na FSI VUT v Brně. V návaznosti na zapojení do projektu „1.2.4 Rychlá automatická manipulace“ Brněnského pracoviště VCSVTT (Výzkumné Centrum pro Strojírenskou Výrobní Techniku a Technologii) bylo vytvořeno téma této disertační práce PROBLEMATIKA RYCHLÉ AUTOMATICKÉ VÝMĚNY NÁSTROJŮ U OBRÁBĚCÍCH STROJŮ.

Práce se v široké míře zabývá rešeršní činností, jejíž snahou je vytipování vhodného segmentu na trhu s obráběcími stroji, u něž je možno předpokládat potenciál pro uplatnění nových koncepcí. Jako potenciálně vhodná se jeví oblast malých a středně velkých frézovacích center, kde v současnosti drží takřka monopol asijské dodavatelé unifikovaných zařízení pro automatickou výměnu nástrojů. Snahou této práce je nalézt vhodné alternativní řešení manipulátorů pro výměnu nástrojů, vůči v současnosti masově dodávaným vačkovým mechanismům.

Za pomoci moderních metod jako je systémová analýza, 3D modelování, MKP výpočty (pevnostní, kinematiky i dynamiky) atd., byly vytvořeny konstrukční návrhy několika alternativních řešení manipulátorů jak vlastní, tak u vačkového standu navazující na řešení vyplývající z diplomové práce, jejíž byl autor disertační práce vedoucím. Pro vybraná řešení byly dále vypracovány simulační modely pro predikci vlastností a chování mechanismů.

V návaznosti na řešený projekt 1.2.4 bylo finančně umožněno vyrobení dvojice fyzických výstupů - standů, které sloužily jak pro ověření funkčních vlastností, tak i pro ověření simulačních modelů, které byly za pomoci SW MSC.ADMS sestaveny. Dalším nezanedbatelným výstupem, který vyplynul z řešení a vzájemné spolupráce s ostatními kolegy z Brněnského pracoviště VCSVTT, bylo udělení užitého vzoru v roce 2010 na řešení jednováčkového manipulátoru pro automatickou výměnu nástrojů. Souběžně bylo zahájeno i patentové řízení, které nadále probíhá.

Rovněž je nutné zdůraznit, že výsledky projektu 1.2.4, na něž je tato práce navázána, byly jak v rámci průběhu řešení, tak i při závěrečných oponenturách obhájeny, a to jak před odborníky z VCSVTT, tak i před externími oponenty MŠMT, kteří byli za tímto účelem přizváni. Na základě těchto odborných posudků byl projekt uzavřen jako úspěšně vyřešený.

Tato disertační práce rovněž poukazuje na některé opomíjené aspekty související s danou problematikou, jimž je nutné nadále věnovat pozornost a předkládá možnosti a směry dalšího vývoje vedoucího ke kvalitnější a rychlejší automatizaci výměny nástrojů.

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KOLÍBAL, Z. *Průmyslové roboty I – Konstrukce průmyslových robotů a manipulátorů*, Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1993. ISBN 80-214-0526-0
- [2] KOLÍBAL, Z. – KADLEC, Z. *Průmyslové roboty II – Konstrukce výstupních hlavic a periferií*, Brno: PC-DIR spol. s r.o., 1993. ISBN 80-0533-3
- [3] JANÍČEK, Přemysl. *Systémové pojetí vybraných oborů pro techniky : Hledání souvislostí*. 1. Brno : CERM Brno, 2007. ISBN 978-80-7204-554-9.
- [4] STONAVSKÝ, J. *Manipulátor pro automatickou výměnu nástrojů u horizontálních frézek : diplomová práce*, Brno: VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství 2005.
- [5] BADIN, P. *Manipulátor pro výměnu nástrojů řízený vačkami : diplomová práce*, Brno: VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství 2006.
- [6] Houša, J. a kolektiv *Konstrukce číslicově řízených obráběcích strojů*, Praha : SNTL, 1985. 287 s
- [7] BLECHA, P. - BLECHA, R. - BRADÁČ, F. - PAVLÍK, J.: *Závěrečná zpráva projektu 1.2.4, VCSVTT : výzkumná zpráva*, Brno: Brněnské pracoviště VCSVTT, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009.
- [8] MAREK, J. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*, Praha: MM publishing s.r.o., 2006. ISBN 1212-2572
- [9] CECIMO [online]. 2009 [cit. 2009-07-08]. Dostupné z WWW: <<http://www.cecimo.be>>.
- [10] CIRP [online]. 2009 [cit. 2009-07-08]. Dostupné z WWW: <<http://www.cirp.net>>.
- [11] MIKSCH GmbH [online]. 2011 [cit. 2011-01-11]. Dostupné z WWW: <<http://www.miksch.de>>.
- [12] DMG [online]. 2011 [cit. 2011-01-11]. Dostupné z WWW: <www.gildemeister.com>.
- [13] Gifu ENTERPRISE CO., LTD [online]. 2011 [cit. 2011-01-07]. Dostupné z WWW: <<http://www.atcgifu.com>>.
- [14] MAZAK [online]. 2011 [cit. 2011-04-23]. Dostupné z WWW: <<http://www.mazak.com>>.
- [15] OKUMA [online]. 2009 [cit. 2009-07-08]. Dostupné z WWW: <<http://www.okuma.com>>.
- [16] COLOMBO FILIPPETTI [online]. 2009 [cit. 2009-07-08]. Dostupné z WWW: <<http://www.cofilto.it>>.
- [17] TOS Kuřim [online]. 2010 [cit. 2010-11-06]. Dostupné z WWW: <<http://www.tos-kurim.cz>>.
- [18] SHIN NIPPON KOKI [online]. 2010 [cit. 2010-11-06]. Dostupné z WWW: <<http://www.snkc.co.jp>>.

- [19] STANSZ [online]. 2010 [cit. 2010-11-06]. Dostupné z WWW: <<http://www.stansz.nl>>.
- [20] RUF [online]. 2010 [cit. 2010-11-06]. Dostupné z WWW: <<http://www.brikettieren.de>>.
- [21] Berg Spanntechnik [online]. 2011 [cit. 2011-03-21]. Dostupné z WWW: <<http://www.berg-spanntechnik.de>>.
- [22] Vischer and Bolli [online]. 2011 [cit. 2011-03-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.vb-tools.com>>.
- [23] ABB [online]. 2010 [cit. 2010-11-07]. Dostupné z WWW: <<http://www.abb.com>>.
- [24] COMAU [online]. 2011 [cit. 2011-03-21]. Dostupné z WWW: <<http://www.comau.com>>.
- [25] KUKA [online]. 2009 [cit. 2009-08-02]. Dostupné z WWW: <<http://www.kuka.com>>.
- [26] PIBOMULTI [online]. 2010 [cit. 2010-06-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.pibomulti.com>>.
- [27] OMG [online]. 2010 [cit. 2010-06-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.omgnet.it>>.
- [28] SIDEPALSA [online]. 2011 [cit. 2011-03-21]. Dostupné z WWW: <<http://www.sidepalsa.com>>.
- [29] Pragati Automation Pvt. Ltd [online]. 2009 [cit. 2009-07-08]. Dostupné z WWW: <<http://www.pragati-automation.com>>.
- [30] SOBOLA, Jan. Státní podpora vědy a výzkumu: stroje firem TOS Varnsdorf a TOS Kuřim – OS. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 19.11.2008, 11, [cit. 2011-03-21]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/statni-podpora-vedy-a-vyzkumu-stroje-firem-tos-varnsdorf-a-tos-kurim-os>>.
- [31] HASONĚ, František. Nová řešení ve stavbě těžkých svislých soustruhů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 12. května 2009, 5, [cit. 2011-03-21]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nova-reseni-ve-stavbe-tezkych-svislych-soustruhu>>.
- [32] Mori Seiki [online]. 2011 [cit. 2011-03-21]. Dostupné z WWW: <<http://www.moriseiki.com>>.
- [33] Sandvik Coromant [online]. 2011 [cit. 2011-01-17]. Dostupné z WWW: <<http://www.sandvik.coromant.com>>.
- [34] SECO Tools [online]. 2011 [cit. 2011-03-21]. Dostupné z WWW: <<http://www.secotools.com>>.
- [35] Pramet s.r.o [online]. 2011 [cit. 2011-01-18]. Dostupné z WWW: <<http://www.pramet.com>>.
- [36] Big- plustooling [online]. 2010 [cit. 2010-08-12]. Big- Kaiser. Dostupné z WWW: <<http://www.bigplustooling.com>>.

- [37] *Haimer* [online]. 2011 [cit. 2011-01-17]. Dostupné z WWW: <<http://www.sktechnik.cz/obrabeci-nastroje-stroje-merici-pristroje-prislusenstvi-strojirenstvi>>.
- [38] *Myyellowcoat* [online]. 2011 [cit. 2011-04-05]. Dostupné z WWW: <www.myyellowcoat.com/smart-ideas/weak-links-new-machine-3>.
- [39] *Narex MTE* [online]. 2011 [cit. 2011-01-19]. DIN 69 871. Dostupné z WWW: <http://www.narexmte.cz/prospekty/M_fam11_cz.pdf>.
- [40] *Industributiken Scandinavia AB* [online]. 2011 [cit. 2011-03-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.industributiken.se/english/shell-mill-holder-din-6357-for-cutters-with-driving-slot-form-a-1.html>>.
- [41] *Diebold* [online]. 2011 [cit. 2011-03-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.diebold-hsk.de/pdfs/08.pdf>>.
- [42] *ZIP s.r.o.* [online]. 2011 [cit. 2011-03-20]. Dostupné z WWW: <http://www.zip.cz/upload/File/HSK-A_69893%20A.pdf>.
- [43] *Tools-n-Gizmos* [online]. 2011 [cit. 2011-03-21]. Dostupné z WWW: <<http://www.tools-n-gizmos.com/specs/Tapers.html>>.
- [44] *Kemmler* [online]. 2011 [cit. 2011-03-21]. Dostupné z WWW: <http://en.kemmler-tools.de/fileadmin/user_upload/03_produkte/online-katalog/Kap_02_MAS_BT.pdf>.
- [45] *UNITED NEWS NETWORK GmbH* [online]. 2011 [cit. 2011-03-18]. Dostupné z WWW: <<http://www.pressebox.de/pressemeldungen/sandvik-tooling-deutschland-gmbh-geschaeftsbereich-coromant/boxid/243518>>.
- [46] *BIG Kaiser Precision Tooling Inc.* [online]. 2011 [cit. 2011-03-17]. Dostupné z WWW: <<http://www.bigkaiser.com/pdfs/BIG-PLUS%20Tooling%20System%20EXi48-4.pdf>>.
- [47] *Ctemag* [online]. 2010 [cit. 2010-05-22]. Polygon Power. Dostupné z WWW: <<http://www.ctemag.com/pdf/2009/0901-Toolholders.pdf>>.
- [48] *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2011 [cit. 2011-03-18]. Dostupné z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/vyvozovani-pod-drobnohledem>>.
- [49] *DETA INTERNATIONAL* [online]. 2011 [cit. 2011-03-18]. Dostupné z WWW: <<http://www.deta.com.tw>>.
- [50] *AENY INTERNATIONAL INC.* [online]. 2011 [cit. 2011-03-19]. Dostupné z WWW: <<http://www.aeny.com.tw>>.
- [51] *Demmeler* [online]. 2011 [cit. 2011-03-19]. Dostupné z WWW: <<http://www.demmeler.com>>.
- [52] *Pascal Corporation* [online]. 2011 [cit. 2011-03-19]. Dostupné z WWW: <<http://www.pascaleng.co.jp>>.
- [53] *CDS Corporation* [online]. 2011 [cit. 2011-03-20]. Dostupné z WWW: <http://www.cdsindexers.com/tool_changers.php>.

- [54] SAMICK TECH CO., LTD. [online]. 2011 [cit. 2011-03-20]. Dostupné z WWW: <<http://samick.en.ecplaza.net/products.asp>>.
- [55] Pragati Automation Pvt. Ltd. [online]. 2011 [cit. 2011-03-21]. Dostupné z WWW: <<http://www.pragati-automation.com/en/product/atc/armdrive.shtml>>.
- [56] UNION Werkzeugmaschinen GmbH Chemnitz [online]. 2011 [cit. 2011-03-21]. Dostupné z WWW: <<http://www.union-machines.com>>.
- [57] MAG [online]. 2011 [cit. 2011-03-21]. Dostupné z WWW: <<http://www.mag-ias.com>>.
- [58] TOS Varnsdorf [online]. 2011 [cit. 2011-03-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.tosvarnsdorf.cz>>.
- [59] MM Průmyslové spektrum [online]. 2011 [cit. 2011-03-21]. Dostupné z WWW: <<http://www.cnckonstrukce.cz/data/files/v-4-prispevek.pdf>>.
- [60] Technik ihned [online]. 2011 [cit. 2011-03-21]. Dostupné z WWW: <http://technik.ihned.cz/c4-10004030-11353200-800000_d-automacka-vymena-nastroju-a-obrobku>.
- [61] Poppeová, V. a kolektiv *Automatizácia strojárskej výroby*, 1. vyd., V Žilině : EDIS, 2002. 229 s. ISBN: 80-8070-009-5
- [62] KOLOC, Z. - VÁCLAVÍK, M. *Vačkové mechanismy*, Praha: SNTL, 1988.
- [63] PETRŮ, K. *Zdvihové závislosti vačkových mechanismů*, Praha: SNTL, 1980.
- [64] THK [online]. 2010 [cit. 2010-02-15]. Dostupné z WWW: <<http://www.thk.com>>.
- [65] VUES Brno s.r.o. [online]. 2010 [cit. 2010-03-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.vues.cz>>.
- [66] BUBLÍK, O. *Konstrukční řešení výměny nástrojů pro vertikální obráběcí centrum*. Plzeň, 2007. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [67] European Patent Office [online]. 2010 [cit. 2010-02-04]. Dostupné z WWW: <<http://worldwide.espacenet.com/>>.
- [68] National Instruments [online]. 2011 [cit. 2010-05-11]. Dostupné z WWW: <<http://www.ni.com/>>.
- [69] Kistler [online]. 2010 [cit. 2010-11-08]. Dostupné z WWW: <<http://www.kistler.com/>>.
- [70] Český úřad zeměměřičský a katastrální [online]. 2010 [cit. 2010-12-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.cuzk.cz/>>.

10 VLASTNÍ PUBLIKACE

- [1] NOVOTNÝ, T.; BRADÁČ, F.; BLECHA, P.; BLECHA, R.; KOLÍBAL, Z.; PAVLÍK, J.; OPL, M. Závěrečná zpráva projektu 2.4. 1. Praha: VCSVTT, 2010.
- [2] PAVLÍK, J.; KOLÍBAL, Z.; BLECHA, P.; BLECHA, R.; BRADÁČ, F.; OPL, M.; NOVOTNÝ, T. Závěrečná zpráva projektu 1.2.4 - 2009. Praha: VCSVTT, 2009.
- [3] OPL, M.; PAVLÍK, J.; MATĚJKA, P.; KOLÍBAL, Z. Parallel Planar Mechanism for the Support of Education in Robotics and Mechatronics. In RAAD 2009. Brasov, Romania: Editura Printech, 2009. s. 141-141. ISBN: 978-606-521-315- 9.
- [4] MATĚJKA, P.; PAVLÍK, J.; OPL, M.; KOLÍBAL, Z.; KNOFLÍČEK, R. Mechatronic Backlash- Free System for Planar Positioning. In Recent Advances in Mechatronics 2008- 2009. Berlin: Springer- Verlag Berlin Heidelberg, 2009. s. 377-382. ISBN: 978-3-642-05021- 3.
- [5] PAVLÍK, J.; KOLÍBAL, Z.; BLECHA, P.; BLECHA, R.; BRADÁČ, F. Závěrečná zpráva projektu 1.2.4. Číslo zprávy: V-08-071. Praha: VCSVTT, 2008. s. (24 s.)
- [6] PAVLÍK, J.; KOLÍBAL, Z.; OPL, M.; MATĚJKA, P. Konstrukce odlitků hlavních částí vodorovné vyvrtávačky Fermat. Praha: VCSVTT, 2008. s. (19 s.)
- [7] PAVLÍK, J.; KOLÍBAL, Z.; OPL, M.; MATĚJKA, P. Transfer of knowledge of control of non-conventional reconfigurable parallel mechanism in production machines and robots. In RAAD 2008 Programme and book of abstract. Ancona, Italy: Tipografia Piefederici, 2008. s. 83-84. ISBN: 978-88-903709-0- 8.
- [8] PAVLÍK, J.; BRADÁČ, F.; HOUFEK, L.; KOLÍBAL, Z. Analýza deformací střížného nástroje na lisu MOSSINI. Praha: VCSVTT, 2008. s. (30 s.)
- [9] PAVLÍK, J.; OPL, M.; BLECHA, R. Systémy AVN, AVO a manipulace s třískami. In Obráběcí stroje na EMO Hannover 2007. Praha: Společnost pro obráběcí stroje, 2007. s. 117-125. ISBN: 978-80-903421-7- 0.
- [10] BLECHA, P.; BLECHA, R.; BRADÁČ, F.; PAVLÍK, J. Závěrečná zpráva projektu 1.2. 4. č.zprávy V-07- 050. Praha: VCSVTT, 2007. s. (22 s.)
- [11] PAVLÍK, J.; KOLÍBAL, Z.; KUBELA, T.; POCHYLÝ, A. Modern methods of solving complex kinematical structures of robots and manipulators. In RAAD 2007: Programme and Book of Abstracts. RAAD 2007. Ljubljana - Slovenia: University of Ljubljana, 2007. s. 378-383. ISBN: 978-961-243-067- 2.
- [12] BRADÁČ, F.; PAVLÍK, J.; KOLÍBAL, Z.; POCHYLÝ, A.; KUBELA, T.; BLECHA, P.; BLECHA, R. ROBOTIC MANIPULATORS FOR TOOLS MANIPULATION. In Summaries Volume. Bratislava: SLOVAK UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, BRATISLAVA, 2007. s. 162-1 (282 s.) ISBN: 978-80-227-2677-1.
- [13] BLECHA, P., PAVLÍK, J., BLECHA, R., BRADÁČ, F. Systémy automatizace OS, systémy AVN, AVO, manipulace s třískami a polotovary. In Seminář SpOS a VCSVTT: Obráběcí stroje na EMO Hannover 2005. Praha: ČVUT Praha - VCSVTT, 2006. s. 119-127. ISBN: 80-903421-5-9.

- [14] PAVLÍK, J. Fast automatic tool change. In Book of Abstracts - 4th International PhD Conference on Mechanical Engineering - PhD2006. Plzeň: Západočeská univerzita Plzeň, 2006. s. 67-68. ISBN: 80-7043-486- 4.
- [15] BLECHA, P.; BLECHA, R.; BRADÁČ, F.; PAVLÍK, J. Závěrečná zpráva projektu 1.2.4: Rychlá automatická manipulace. č.zprávy V-05- 077. Praha: VCSVTT, 2005. s. (80 s.)
- [16] KOLÍBAL, Z.; BLECHA, R.; BLECHA, P.; BRADÁČ, F.; PAVLÍK, J. Studie kinematických struktur nového typu "Automatizované manipulace s nástroji". Brno: VCSVTT, 2004. s. (42 s.)

11 PRODUKTY A PATENTY

- [1] PAVLÍK, J.; BADIN, P.; KOLÍBAL, Z.; BLECHA, P.; BLECHA, R.; BRADÁČ, F.; Vysoké učení technické v Brně: *Manipulátor pro automatickou výměnu nástrojů*. 20453, užitný vzor. Praha (2010)
- [2] PAVLÍK, J.; OPL, M.; MATĚJKA, P.; KOLÍBAL, Z.: Paralelní mechanismus; Rovinný paralelní mechanismus. FSI A1/ 1229c. (funkční vzorek)
- [3] PAVLÍK, J.; BRADÁČ, F.; OPL, M.: Průběžný mísič Gifos; Gifos s.r.o. Přízova 1, 60200 Brno. (funkční vzorek)
- [4] PAVLÍK, J.; BRADÁČ, F.; MATĚJKA, P.; NOVOTNÝ, T.: Pračka vzduchu 2000 m3. Gifos s.r.o. Přízova 1, 602 00 Brno. (prototyp)
- [5] PAVLÍK, J.; OPL, M.; HOLUB, M.: Stand pro kalibraci akcelerometrů. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Technická 2, 61669 BRNO. (funkční vzorek)
- [6] BLECHA, P.; PAVLÍK, J.; BRADÁČ, F.; BLECHA, R.; KOLÍBAL, Z.: Systém AVN Tyc 32; Systém automatické výměny nástrojů. Strojírna Tyc s.r.o.. (funkční vzorek)
- [7] BLECHA, P.; PAVLÍK, J.; BRADÁČ, F.; BLECHA, R.; KOLÍBAL, Z.: STD 25; Stand pro výzkum rychlé automatické manipulace s nástroji. FSI VUT v Brně - lab. C1.
- [8] BRADÁČ, F.; BLECHA, R.; BLECHA, P.; PAVLÍK, J.; KOLÍBAL, Z.: Automat na třídění ucpávek; Automat na třídění pryžových ucpávek. AGGA speciální technická pryž Vlachovice. (funkční vzorek)
- [9] BLECHA, P.; BLECHA, R.; BRADÁČ, F.; PAVLÍK, J.; KOLÍBAL, Z.: Systém. metodika analýzy rizik; Systémová metodika pro stanovení preventivních opatření k předcházení potenciálních rizik. FSI VUT v Brně. (certifikovaná metodika)
- [10] KOLÍBAL, Z.; PAVLÍK, J.; BADIN, P.; BLECHA, P.; BLECHA, R.; BRADÁČ, F.: Vačkový stand; Jednovačkové zařízení pro automatickou výměnu nástrojů. Těžká laboratoř C1 na FSI VUT v Brně, ÚVSSR. (funkční vzorek)
- [11] KOLÍBAL, Z.; PAVLÍK, J.; BLECHA, P.; BLECHA, R.; BRADÁČ, F.: Výsuvné rameno; Výsuvné rameno automatické výměny nástrojů. Těžká laboratoř C1 na FSI, VUT v Brně, ÚVSSR. (funkční vzorek)

- [12] BRADÁČ, F.; BLECHA, R.; NOVOTNÝ, T.; SYNEK, M.; PAVLÍK, J.: Lineární servopohon; Laboratorní polohovací zařízení s lineárním motorem. VUT FSI B1/ 305. (funkční vzorek)
- [13] BRADÁČ, F.; PAVLÍK, J.; SYNEK, M.; BLECHA, R.; NOVOTNÝ, T.: 2D pneu. manipulátor; 2D laboratorní pneumaticky řízený manipulátor. VUT FSI B1/ 305. (funkční vzorek)
- [14] BRADÁČ, F.; BLECHA, R.; SYNEK, M.; PAVLÍK, J.; NOVOTNÝ, T.: 3D manipulátor; 3D laboratorní manipulátor. VUT FSI B1/ 305. (funkční vzorek)
- [15] HOLUB, M.; OPL, M.; PAVLÍK, J.; BRADÁČ, F.: Univerzální software pro měření teplotními senzory. ÚVSSR, FSI VUT, Technická 2, 616 69, Brno. (software)
- [16] HOLUB, M.; BRADÁČ, F.; OPL, M.; PAVLÍK, J.: Sběr a zpracování dat z měření geometrických odchylek. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Technická 2, 61669 BRNO. (software)
- [17] HOLUB, M.; PAVLÍK, J.; OPL, M.; BRADÁČ, F.: Zařízení pro měření geometrických chyb rotačních stolů. VUT v Brně, FSI, Technická 2, 61669, Brno, Místnost A1/ 1224. (funkční vzorek)
- [18] BRADÁČ, F.; PAVLÍK, J.; NOVOTNÝ, T.; MATĚJKA, P.: Pračka 3000m³; Pračka vzduchu 3000 m³. Gifos s.r.o. Přízova 1, 602 00 Brno. (prototyp)
- [19] BRADÁČ, F.; HOLUB, M.; PAVLÍK, J.; OPL, M.; NOVOTNÝ, T.; TŮMA, Z.: DeltaRobot; Manipulátor na bázi paralelní kinematiky - delta robot s třemi osami. VUT FSI, Technická 2, B1/ 305. (funkční vzorek)

12 OSTATNÍ ČINNOST

Vedení diplomových a bakalářských

- [1] PIVODA, M. Trendy současného vývoje automatické výměny nástrojů u frézovacích center. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Pavlík.
- [2] TŮMA, J. *Konstrukce paralaktické vidlicové montáže astronomického dalekohledu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 85 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Pavlík.
- [3] DOSTÁL, J. *Konstrukce vidlicové azimutální montáže*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 84 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Pavlík.
- [4] WALSBERGER, L. *Návrh a konstrukce stroje pro potravinářskou výrobu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 55 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Pavlík.
- [5] HORÁK, J. *Návrh manipulačního stolu pro otáčení obrobků*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 92 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Pavlík.

- [6] MALÍK, T. *Návrh zásobníku Pick-up pro těžké frézovací hlavy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 70 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Pavlík.
- [7] PODLOUCKÝ, M. Rešerše automatické výměny nástrojů u frézovacích center. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 32 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Pavlík.
- [8] HUŇKA, R. Rešerše nástrojových upínacích rozhraní frézovacích strojů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 46s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Pavlík
- [9] KREJČÍ, P. Trendy současného vývoje automatické výměny nástrojů u frézovacích center. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 24 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Pavlík.

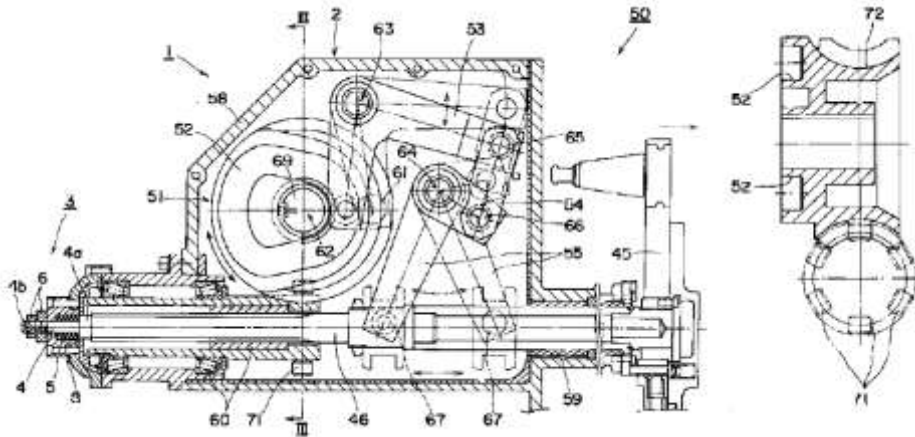
Spolupráce na projektech

- [1] Výzkum a vývoj (VaV) nekonvenčních manipulátorů a robotů (NMaR), zahájení: 01.01.2010, ukončení: 31.12.2010
- [2] Komplexní podpora výuky pneumatických systémů v oblasti řízení a simulace, zahájení: 01.01.2008, ukončení: 31.12.2008
- [3] Inovační voucher JMK - Návrh koncepce navařovacího robotu, Tirso a.s., ukončení: 4.5.2010
- [4] Inovační voucher JMK - Měření vlastností kompozitních materiálů, Foller s.r.o., ukončení: 31.5.2011

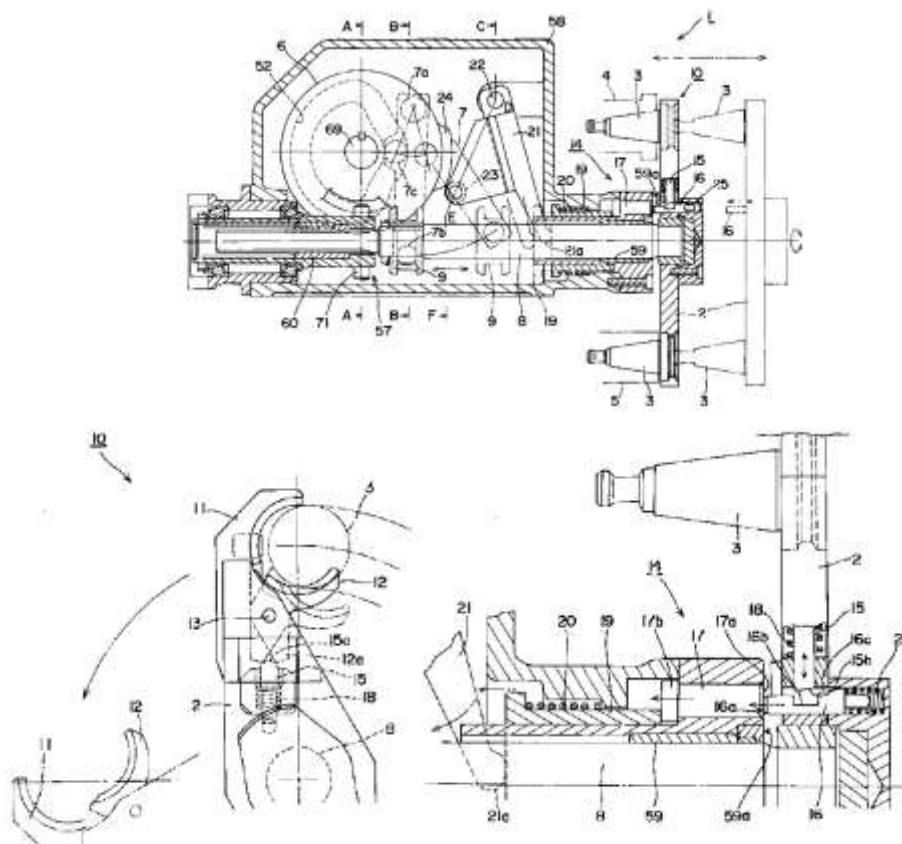
13 PŘÍLOHY

Patentová rešerše

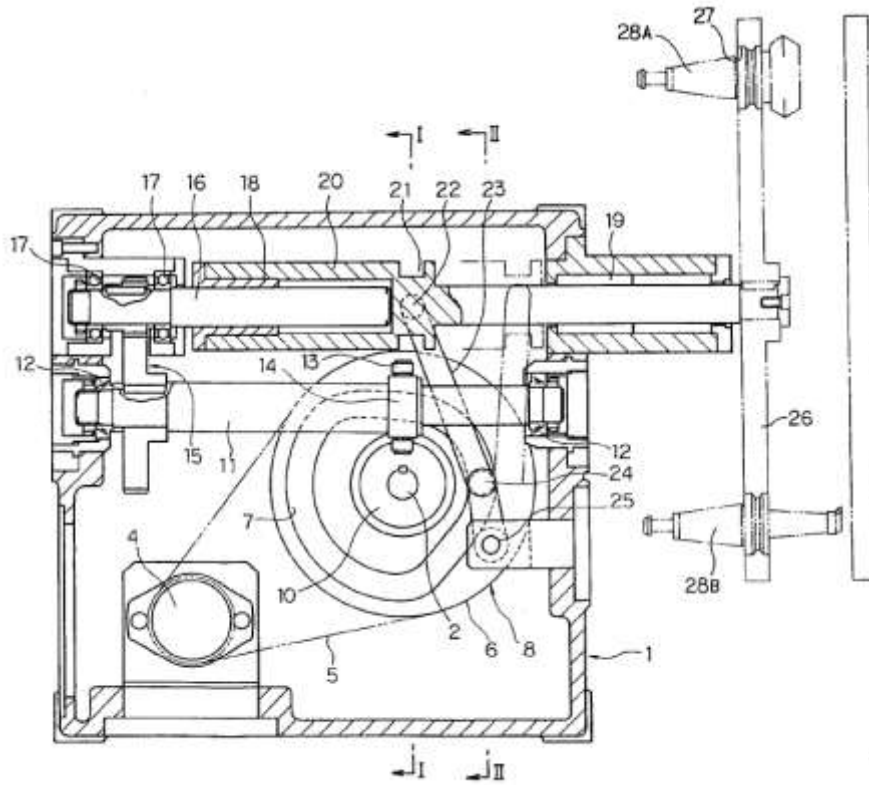
Tato příloha obsahuje stručné výňatky, převážně schémata vybraných patentů zabývajících se problematikou automatické výměny nástrojů. Plné znění jednotlivých patentů je možno nalézt na přiloženém DVD.



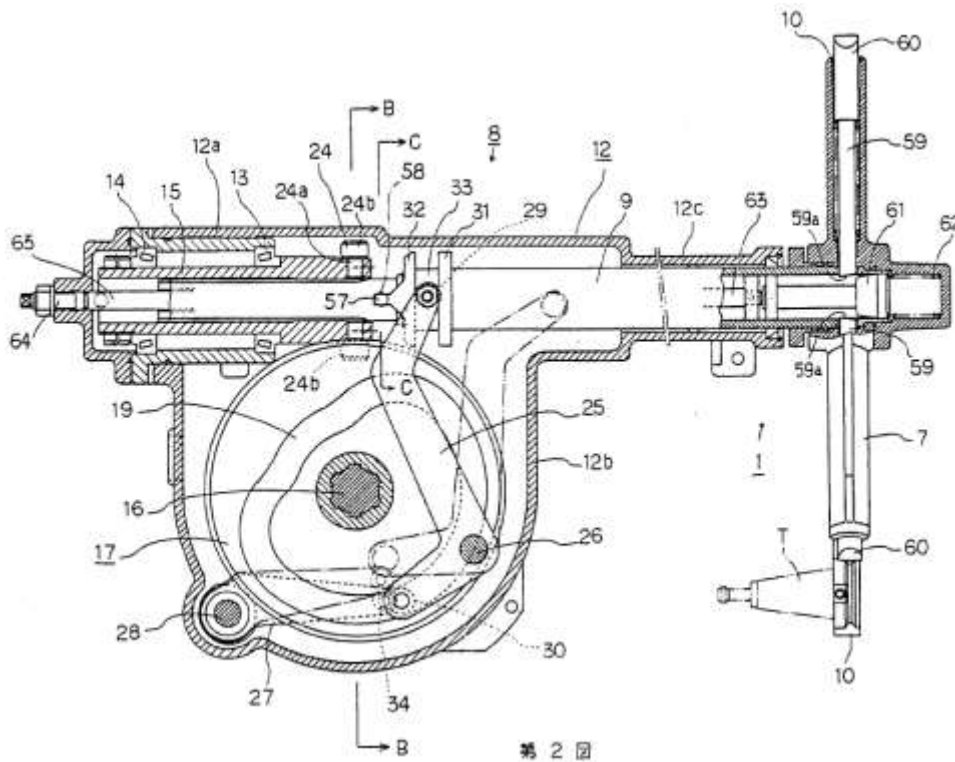
Řešení dle patentu JP2000024862A [67]



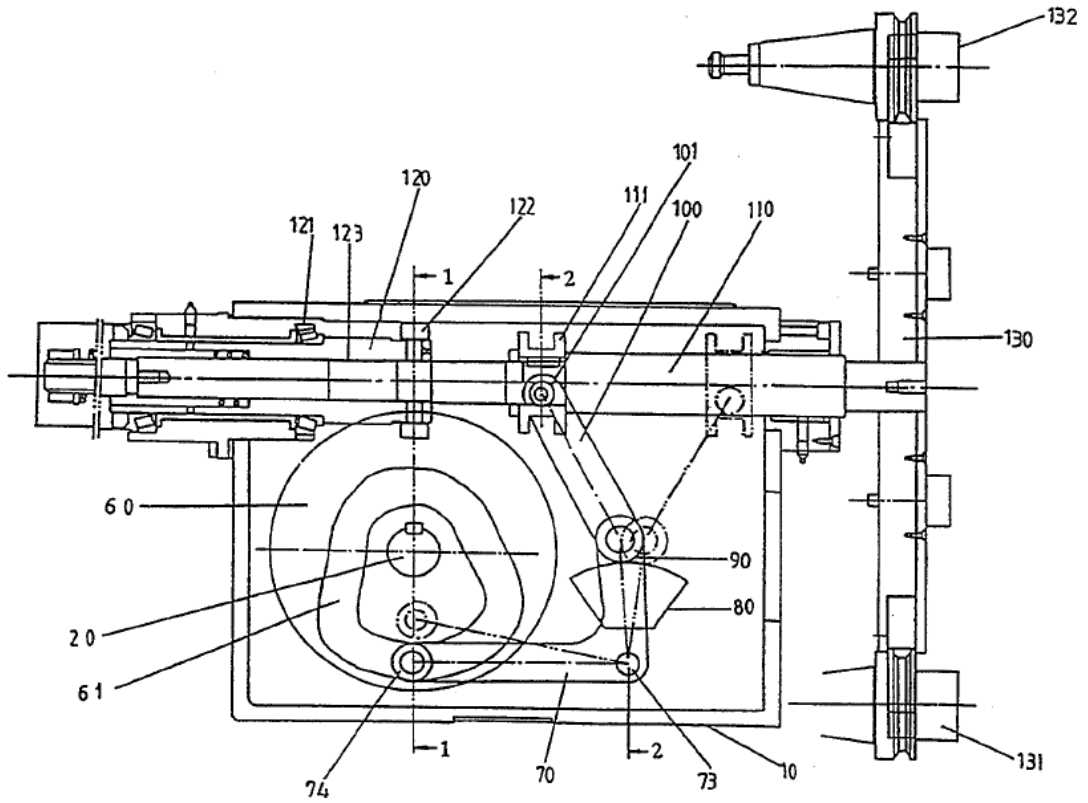
Řešení dle patentu JP2000126966A [67]



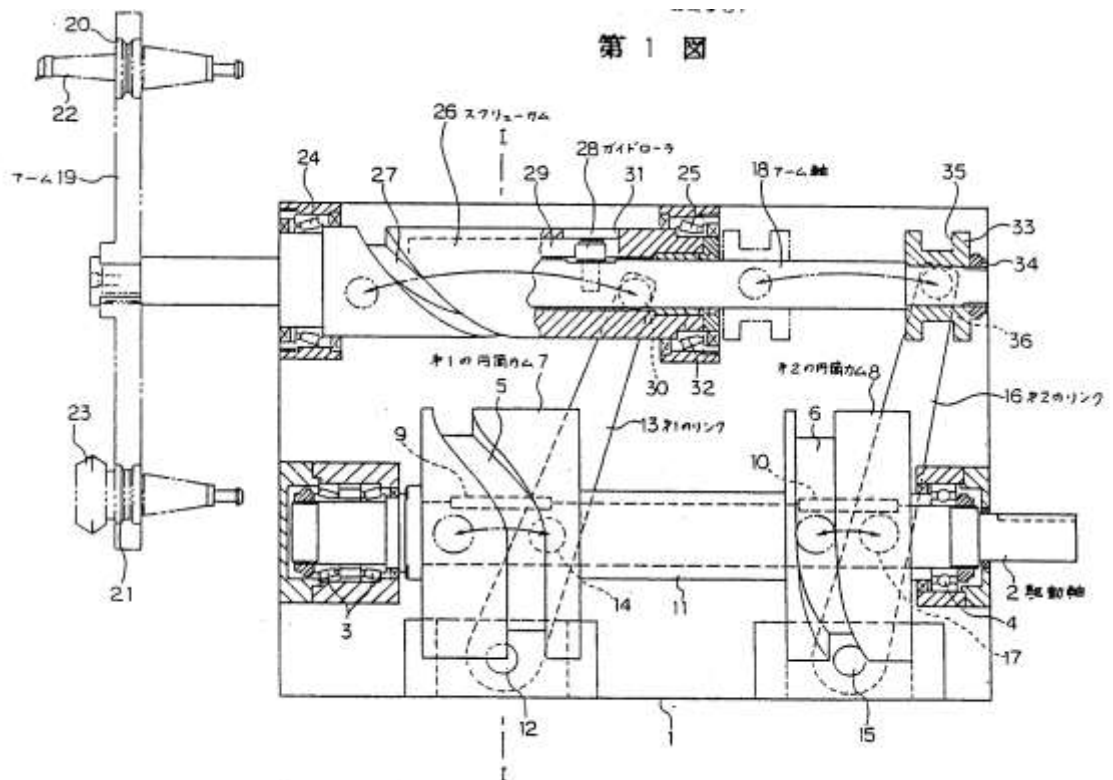
Řešení dle patentu JP60213454A [67]



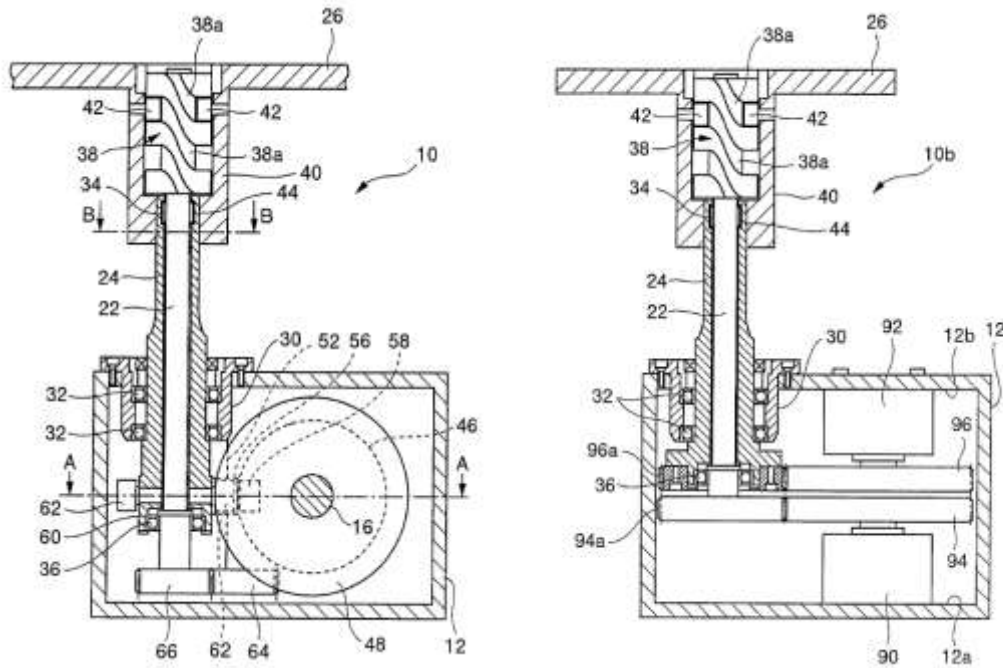
Řešení dle patentu JP62282840A [67]



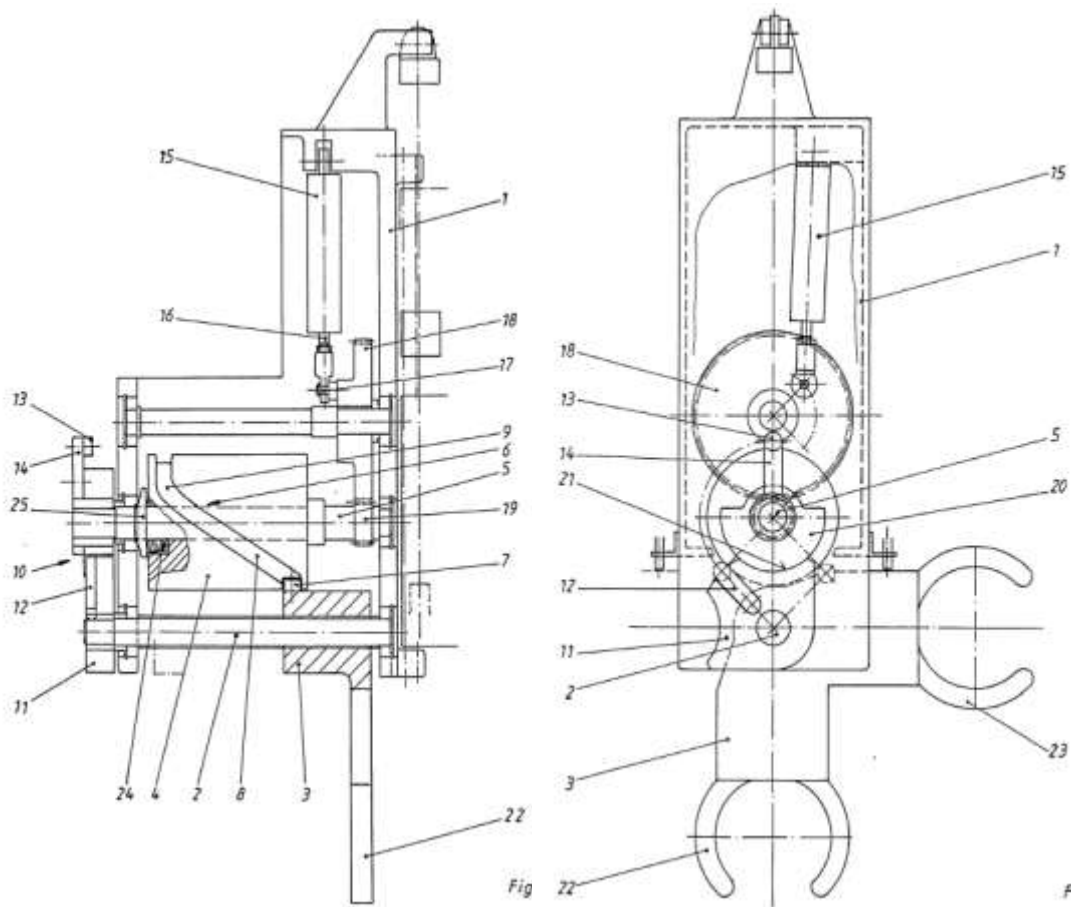
Řešení dle patentu US5337623A [67]



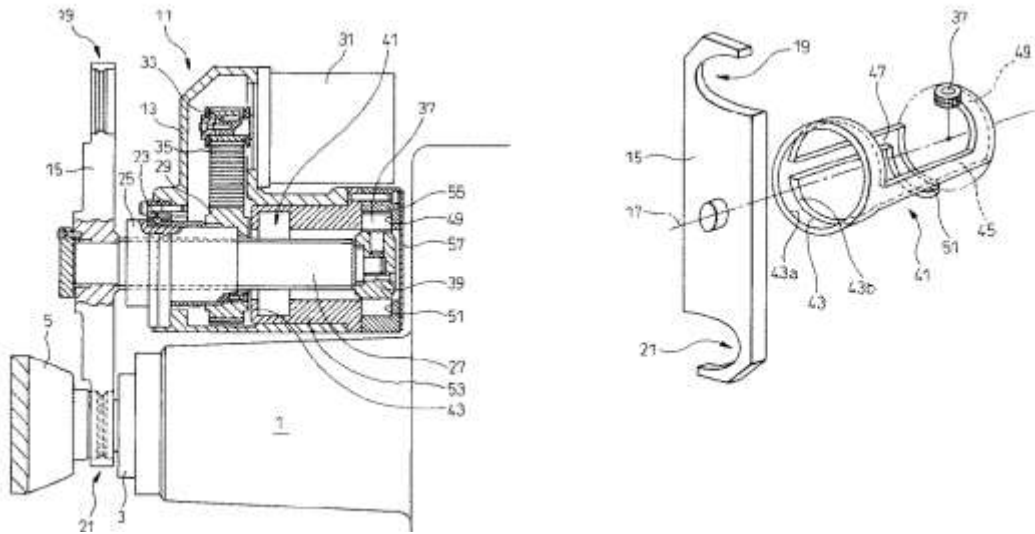
Řešení dle patentu JP62004544A [67]



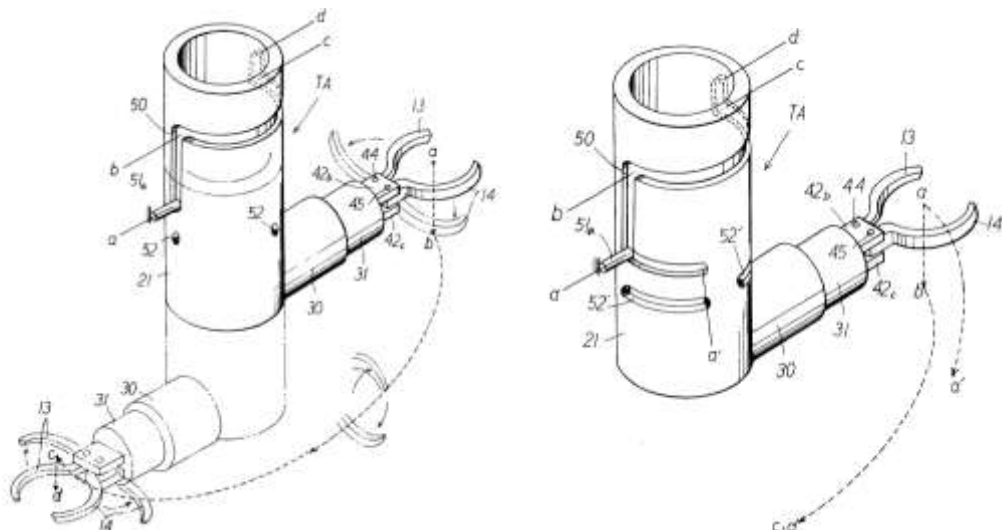
Řešení dle patentu DE 197 49 937 A1 [67]



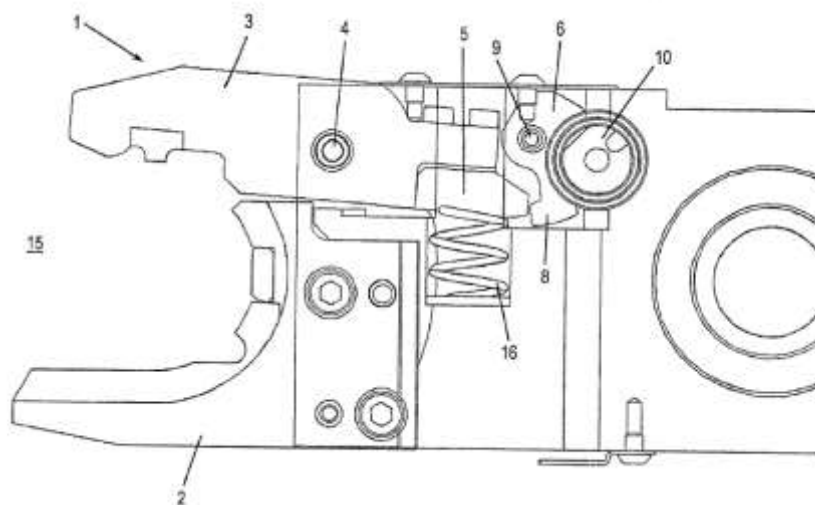
Řešení dle patentu DE 43 00 754 A1 [67]



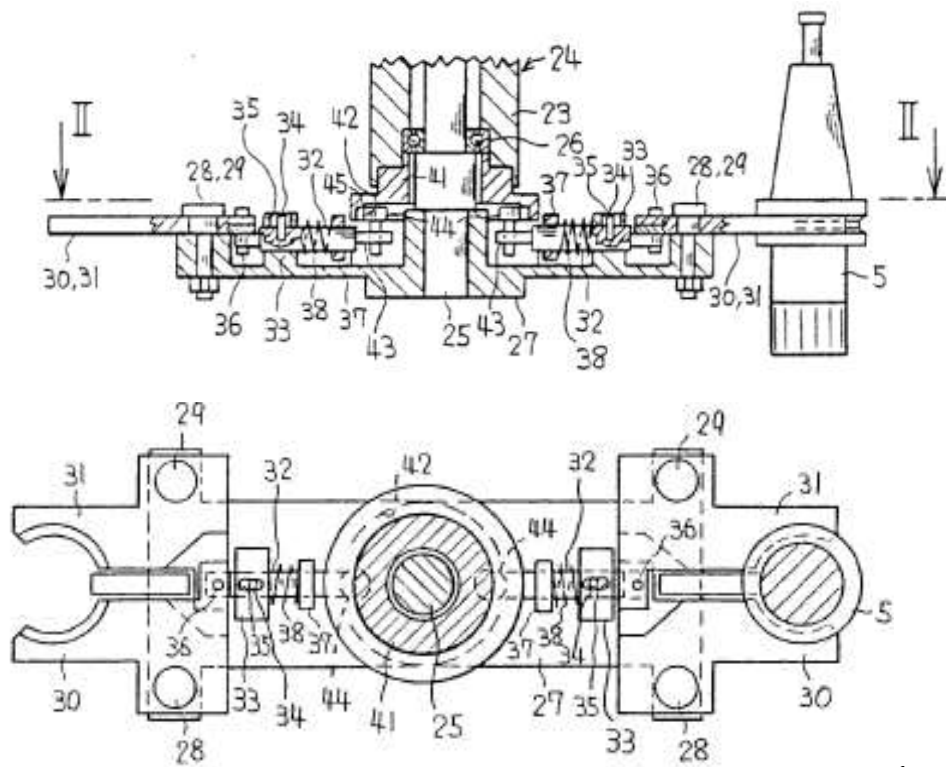
Řešení dle patentu JP2006102853A [67]



Řešení dle patentu DE 10 2006 000 354 B3 [67]

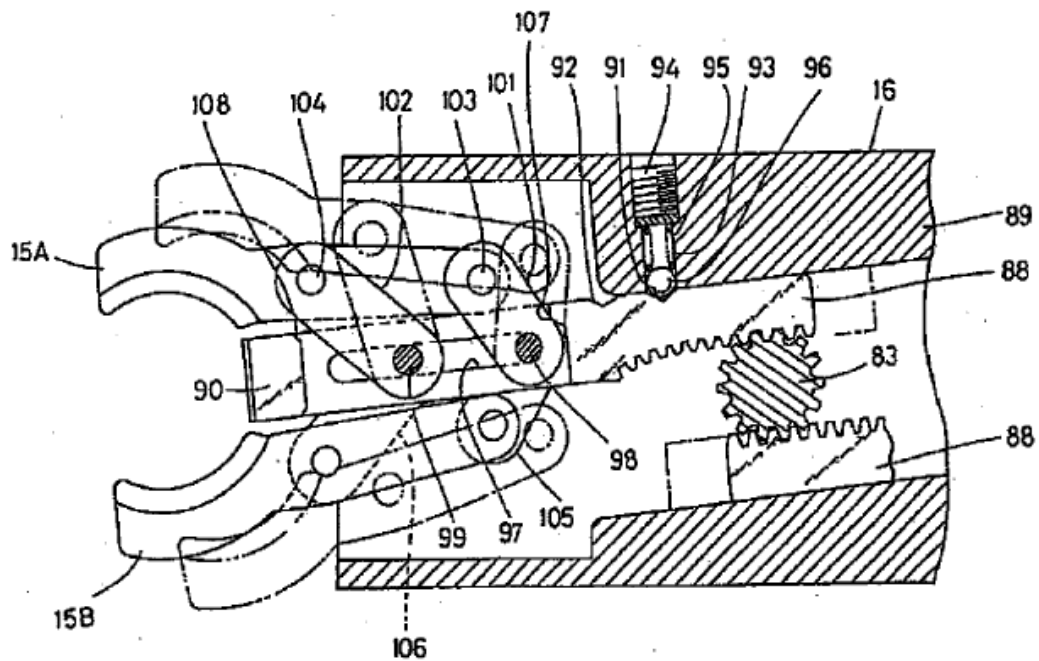


Řešení dle patentu JP56134148A [67]

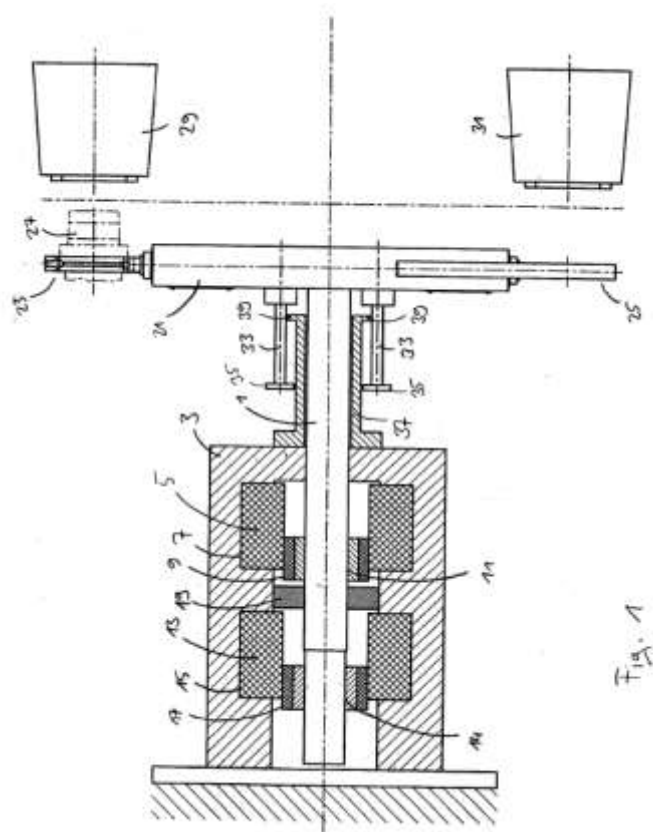


1

Řešení dle patentu JP1051247A [67]



Řešení dle patentu JP7164214A [67]



Řešení dle patentu DE 103 54 441 A1[67]