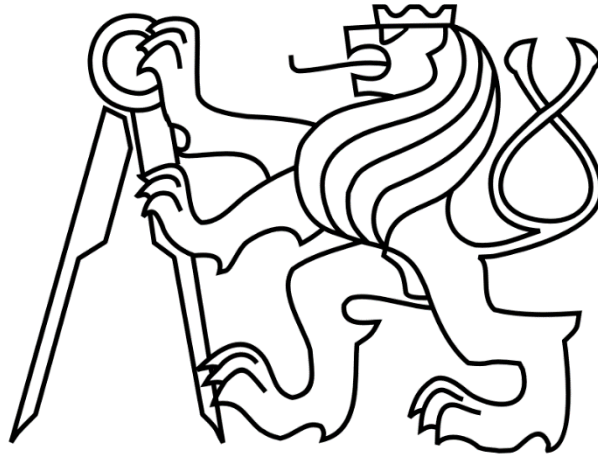


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



Bakalářská práce

Návrh připojení pneumatického vysokootáčkového vřetene na CNC
frézovací stroj

2016

Matěj Pešice

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl v příloženém seznamu veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1. 7. 2009.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 14.7.2016

.....

podpis

Poděkování

Úvodem bych chtěl poděkovat Ing. Josefu Kekulovi za vedení této bakalářské práce, za odborné vedení a cenné rady. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Pavlu Zemanovi Ph.D. za konzultace a podněty k řešení úlohy práce. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině a přátelům za neustálou podporu během studia.

Anotace

<i>Jméno autora:</i>	Matěj Pešice
<i>Název BP:</i>	Návrh připojení pneumatického vysokootáčkového vřetene na CNC frézovací stroj
<i>Číslo BP:</i>	BP 0201
<i>Rozsah práce:</i>	42 stran, 43 obrázků, 5 listů výkresové dokumentace
<i>Akad. rok vyhotovení:</i>	2015/2016
<i>Ústav:</i>	Ústav výrobních strojů a zařízení
<i>Vedoucí BP:</i>	Ing. Josef Kekula
<i>Konzultant:</i>	Ing. Pavel Zeman, Ph.D.
<i>Zadavatel tématu:</i>	ČVUT FS, Ú12135
<i>Využití:</i>	Zjednodušení připojování pneumatického vysokootáčkového vřetene k CNC frézovacímu stroji
<i>Klíčová slova:</i>	pneumatické vřeteno, konektor, automatická výměna nástrojů, CNC, CAD, demonstrační obrobky

Abstrakt:

Bakalářská práce se zabývá návrhem konektoru pro jednoduché, přímé napojení vysokootáčkového pneumatického vřetene k CNC frézovacímu stroji MCFV 5050LN. Na základě výrobní dokumentace je konektor zhotoven a je ozkoušena jeho funkčnost. Jsou navrženy 3D modely dvou obrobků určených k demonstraci technologickým možností daného přídavného vřetene.

Annotation

<i>Author:</i>	Matěj Pešice
<i>Title:</i>	Interface design of the pneumatic high-speed spindle to CNC milling machine
<i>Number:</i>	BP 0201
<i>Extent:</i>	42 pages, 43 images, 5 sheets of drawings
<i>Academic Year:</i>	2015/2016
<i>Department:</i>	Department of Production Machines and Equipment
<i>Tutor:</i>	Ing. Josef Kekula
<i>Consultant:</i>	Ing. Pavel Zeman Ph.D.
<i>Submitter:</i>	ČVUT FS, Ú12135
<i>Application:</i>	Interface simplification of the pneumatic high-speed spindle to the CNC milling machine
<i>Keywords:</i>	pneumatic spindle, connector, ATC, CNC, CAD, demonstration workpiece

Abstract:

Bachelor's thesis is dedicated to the designation of the connector that enables easy connection of the additional pneumatic spindle to the CNC milling machine MCFV 5050LN. New version of the connector was tested on the milling machine. 3D models of the experimental workpieces were designed to demonstrate the functions of the pneumatic spindle.

Obsah

1. Úvod	10
2. Rozbor problematiky	11
2.1. Přídavná vysokootáčková vřetena.....	11
2.2. Výrobci vysokootáčkových vřeten.....	13
2.2.1. NSK America Corp.....	13
2.2.2. Big Daishowa	14
2.2.3. Air Turbine	15
2.2.4. Bryan Machine.....	16
2.2.5. Iscar	17
2.2.6. Fakulta strojní ČVUT	17
3. Návrh konektoru přídavného vřetene.....	19
3.1. Stávající provedení	19
3.2. Možné varianty konektorů	20
3.2.1. Stäubli SPC.....	20
3.2.2. Modulární konektory CombiTac.....	20
3.2.3. Walther Präzision	21
3.2.4. Parker Snap Tite	21
3.3. Konstrukční řešení konektorových bloků	22
3.3.1. Zvolené konektory.....	23
3.3.2. Rozměrové podmínky konektorových bloků.....	26
3.3.3. Varianty řešení.....	27
3.3.4. Vyrobené díly, kontrola funkčnosti	30
3.3.5. Postup připojování vřetene	32
3.3.6. Podmínky použití vřetene v automatické výměně nástrojů.....	33
4. Návrh demonstračních obrobků.....	35
5. Závěr	38
Seznam obrázků	39
Seznam použitého softwaru.....	40
Seznam příloh.....	40
Seznam použitých zdrojů.....	41

Seznam symbolů, jednotek a značek

Značka	Význam	Jednotka
D	průměr	mm
f	frekvence	Hz
n	otáčky	min^{-1}
p	tlak	bar
R	poloměr	mm
t	čas	s
Q	objemový průtok	$\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$
α	úhel	°
\varnothing	průměr	mm

Zkratka	Význam
ATC	Automatická výměna nástroje <i>(Automatic Tool Change)</i>
CAD	Počítačem podpořený návrh <i>(Computer Aided Design)</i>
CNC	Číslicové řízení počítačem <i>(Computer Numeric Control)</i>
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci <i>(International Organization for Standardization)</i>
PLC	Programovatelný logický automat <i>(Programmable Logic Controller)</i>

1. Úvod

V oblasti mikroobrábění je stále více využíváno mikrofrézování pro zhotovení jemných a složitých tvarových prvků. K tomuto účelu řada firem přináší na trh přídatná vysokootáčková vřetena, která jsou schopna zajistit potřebné technologické podmínky pro danou aplikaci. Jednotlivá vřetena se liší především konstrukčním provedením, typem pohonu a výkonem. Není výjimkou, že jsou vřetena použitelná v automatické výměně nástrojů, tento požadavek s sebou však nese i specifická konstrukční opatření.

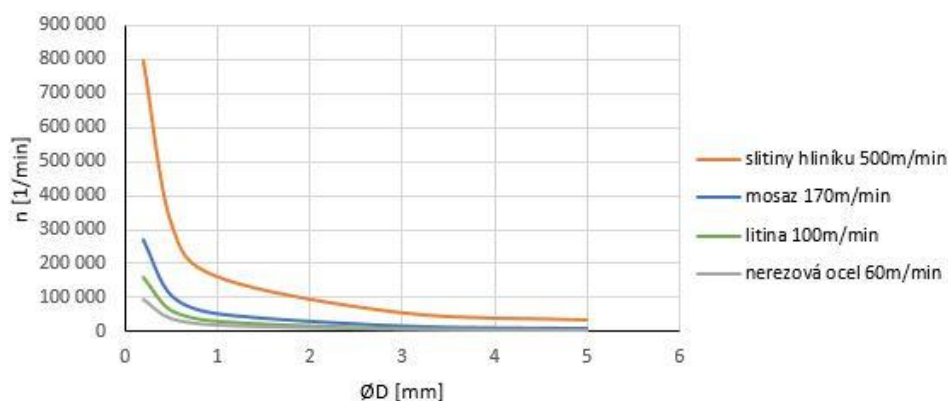
Pro experimentální účely bylo vyvinuto pneumatické přídatné vřeteno, které je schopno dosáhnout otáček v řádu statisíců za minutu a které disponuje zpětnovazebnou regulací otáček v zátěži, což není u tohoto typu přídatných vřeten běžné. Dosavadní řešení připojení tohoto vřetene ke stroji je však poměrně složité, vyžaduje při každé manipulaci s vřetenem ruční připojování periférií a zdlouhavé úkony v prostoru stroje.

V této práci bude navržen speciální konektor, který zjednoduší proces připojování přídatného vřetene ke stroji, sníží počet úkonů při připojování a jejich složitost a tím přiblíží vývoj vřetene směrem k začlenění do automatické výměny nástrojů. Návrh bude proveden pro vertikální, 3-osé CNC frézovací centrum MCFV 5050LN.

Dalším cílem této práce je návrh obrobků, na kterých by bylo možné demonstrovat technologické možnosti a funkce daného přídatného vřetene a výsledků dosažitelných použitím přídatného vřetene na běžném CNC frézovacím centru.

2. Rozbor problematiky

Pro zhotovení jemných tvarů frézováním se používají frézy malých průměrů. Aby bylo dosaženo požadované řezné rychlosti, je potřeba zajistit vysoké otáčky nástroje. Tím jsou kladeny specifické nároky na použitý stroj. V případě, že se nedosáhne požadované řezné rychlosti, bude to mít negativní vliv na jakost povrchu, na životnost nástroje a v neposlední řadě se prodlouží výrobní časy. Ovšem je na místě správně definovat o jaké rozměry se v případě mikrofrézování jedná. Hlavní rozměrový parametr, průměr nástroje, se může pohybovat od 0,1 mm až do 3 mm. Na Obr. 1 je vidět závislost počtu otáček na průměru nástroje pro různé materiály obrobku, respektive různé řezné rychlosti. Uvedené hodnoty jsou v případě použití monolitní frézy ze slinutého karbidu s TiAlN povlakem.



Obr. 1 - Závislost otáček na průměru nástroje

Výroba komponentů na mikroúrovni se často provádí tvářením ve formách. Mikrofrézování se využívá při výrobě součástí pro použití v elektrotechnickém průmyslu, optickém průmyslu, ve výrobě hodinek, v medicíně a dalších odvětvích. Mikrofrézování je využíváno jednak k zhotovení složitých tvarů a reliéfů do tepelně zpracovaných forem, nebo k samotnému obrábění mikrosoučástí, jak je uvedeno v [1].

V obrábění miniaturních tvarů se však mikrofrézování setkává s dalšími možnostmi výroby. To se týká především výroby forem na plasty a kov. Zde se běžně využívá i beztržiskových metod obrábění jako elektroerozivního obrábění, či laserových technologií, případně také obrábění iontovým, nebo elektronovým paprskem. Vhodná technologie se volí podle požadavků konkrétní aplikace z hlediska tvarové složitosti, obráběného materiálu, hospodárnosti.

2.1. Přídavná vysokootáčková vřetena

Přídavná vysokootáčková vřetena se používají v případě, že otáčky vlastního vřetene zvoleného stroje nejsou pro danou aplikaci dostačující. Taková situace nastává nejčastěji tehdy, je-li obrábění prováděno nástrojem malého průměru a je nutné dosáhnout vysoké řezné rychlosti vzhledem k požadavkům na kvalitu povrchu, životnost nástroje a v neposlední

řadě na výrobní časy. Jedná se o zajímavou alternativu pořízení výkonnějšího a tedy nákladnějšího stroje, při zisku otáček vřetene v řádu až statisíců za minutu. Toto doplnění technologických možností frézovacího stroje je využíváno také jen pro vybrané operace zvolením vřetene ze zásobníku v automatické výměně nástrojů. Připojení přídatného vřetene je uskutečněno, podobně jako u kteréhokoli držáku nástroje, upnutím standardního kužele do dutiny vřetene stroje.

Přídavná vřetena je možno kromě výkonosti a typu použití rozdělit také podle typu pohonu. Používané pohony přídatných vysokotáčkových vřeten jsou pneumatické, elektrické, hydraulické a mechanické.

Pneumatická vřetena jsou vybavena přímým vzduchovým pohonem bez převodů, což jim dodává vynikající hladkost chodu bez vibrací a rovněž dostatečný výkon pro užití mikronástrojů. Nevýhodou tohoto typu přídatného vřetene je náročnost na kvalitu a spotřebu vzduchu a absence možnosti plynulé regulace otáček. Jedná se o problém zachovat konstantní otáčky při zatížení vřetene. Při používání pneumatického vřetene je vlastní vřeteno stroje v nečinnosti, tudíž nedochází k jeho opotřebení a spotřebě elektrické energie. U tohoto typu vřetene je potřeba zajistit přívod vzduchu pro pohon turbíny a případně pro funkci dalších elementů vřetene (závisí na provedení konkrétního typu).

Mezi výhody elektrických vřeten lze zařadit snadnou regulaci a velký rozsah otáček, nebo také možnost propojení s řídicím systémem stroje. U tohoto typu přídatného vřetene je třeba počítat s nutností připojení datového kabelu pro spojení s vřetene s řídicí jednotkou. Mimo zmíněný kabel je nutné ještě přivést médium pro chlazení motoru (vzduch, či vodu), případně pro mazání ložisek. Vzhledem k počtu těchto nutných periférií obvykle elektrická vřetena bývají na stroji instalována dlouhodobě, nikoli používána v jednorázové operaci s upnutím vřetene v rámci automatické výměny nástrojů.

Hydraulické přídatné vřeteno je poháněno vysokotlakým čerpadlem, za užití chladicí kapaliny jako hnacího média. Z důvodu nutnosti kooperace s vysokotlakým agregátem lze vřeteno použít pouze na stroji, vybaveném vysokotlakým chlazením. Přívod chladicí kapaliny bývá řešen středem vřetene přímo z vřetene stroje a další vnější periferie není potřeba k vřetení připojovat, tudíž je možno velice snadno vřeteno připojit ke stroji a i ho zařadit do automatické výměny nástrojů.

Mechanická vřetena (zrychlovací hlavy) pracují v součinnosti s vlastním vřetenem stroje a prostřednictvím mechanických převodů násobí jeho otáčky. Svou konstrukcí umožňují mechanická vřetena snadné začlenění do automatické výměny nástrojů, potřeba je pouze zajistit přívod chladicí kapaliny. [2]

2.2. Výrobci vysokootáčkových vřeten

2.2.1. NSK America Corp. [3]

NSK America Corporation byla založena v roce 1984 a je součástí japonské mateřské společnosti NSK Nakanishi založené roku 1930. Společnost je zaměřena na vysoce přesné ruční nástroje pro stomatologii a průmyslové použití a dále na vřetena pro obráběcí stroje. V nabídce této firmy jsou k nalezení přídatná elektrická a pneumatická vřetena.

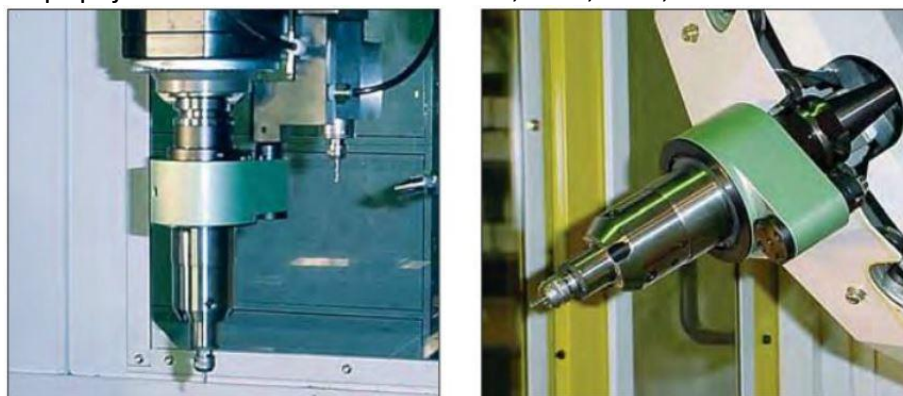
V řadě elektrických přídatných vřeten s označením HES viz Obr. 2, určených pro vrtání a frézování lze volit ze dvou modelů. Konkrétně HES510, které je schopno vyvinout otáčky až 50tis. za minutu a výkonem 340W, nebo výkonnější HES810 s maximálními 80tis. otáčkami za minutu a výkonem 350W. Liší se také rozsah otáček vřetene, kdy u modelu HES510 je lze plynule regulovat od 5tis. za minutu a u modelu HES810 od 20tis. za minutu. Pro obrábění s těmito vřeteny lze použít nástroje od průměru 0,5mm do průměru 4mm u HES810, respektive 6,35mm u HES510.



Obr. 2 - Elektrické vřeteno NSK HES

Dalším produktem nabízeným firmou NSK jsou pneumatická vřetena s označením HPS viz Obr. 3, opět ve dvou variantách – HPS250, která nabízí maximální otáčky 25tis. za minutu a HPS500 s maximálními 50tis. otáčkami za minutu. Vřeteno lze objednat v provedení, které uzpůsobeno pro použití v automatickém výměníku nástrojů. Přívod hnacího vzduchu do vřetene je v takovém případě řešen prostřednictvím ventilu umístěného na otočném prstenci. Tento prstenec je nabízen ve více variantách podle možnosti nastavení polohy připojovacího ventilu vzhledem k zámku upínače:

- fixovaný připojovací ventil, bez možnosti natočení
- připojovací ventil možno natočit 45°, -45°
- připojovací ventil možno natočit 90°, 180°, 270°, 360°



Obr. 3 - Pneumatické vřeteno NSK HPS

Polohovací blok (na Obr. 4) je umístěn trvale na stroji a je nabízen v různých provedeních, podle typu stroje, na kterém bude instalován. V nabídce jsou bloky například pro stroje Haas, nebo Robodrill, v případě, že pro zvolený stroj blok v nabídce není, lze jej na zakázku vyrobit.

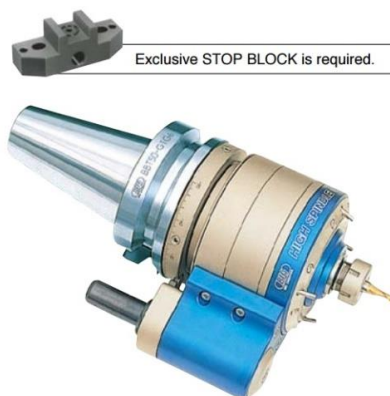


Obr. 4 - Polohovací blok

2.2.2. Big Daishowa [4]

Tato japonská firma se specializuje na nástroje, držáky nástrojů, měřicí techniku a v neposlední řadě i na přídatná vřetena. Z přídatných vřeten v nabídce tohoto výrobce lze zmínit zrychlovací hlavy a pneumatická vřetena.

Zrychlovací hlava viz Obr. 5 nese označení GTG a umožňuje zvýšení otáček stroje 4, 5, nebo 6 krát, avšak pouze do výše maximálních 20tis. otáček za minutu. Tento model má na vnějším plášti trn, který se při připojení ke stroji zasune do bloku umístěného na stacionární části stroje, aby nedošlo k roztočení celého těla vřetene. Zároveň je tímto trnem vedena chladicí kapalina, která ústí do trysek umístěných na spodní části vřetene.



Obr. 5 - Mechanické vřeteno GTG

Pneumatické vřeteno firmy Big Daishowa s označením RBX je k dostání ve dvou variantách – RBX5 s rozsahem otáček 40tis. - 50tis. za minutu a RBX7 s otáčkami v rozmezí 60tis. - 80tis. za minutu, přičemž maximální tlak vzduchu dosahuje hodnoty 6 bar. U tohoto vřetene je možné nastavit fixně jednu hladinu otáček, která je vnitřní regulací udržována, u které není blíže specifikována technologie, či přesnost. Co se týče přívodu vzduchu, tak je nabízeno provedení s přívodem vzduchu středem kužele z vřetene stroje, u tohoto je však problém s nutností zaručit čistotu přiváděného vzduchu. Je zde riziko výskytu zbytku chladicí kapaliny,

což je nežádoucí, proto používanější je provedení s přívodem vzduchu z boku. Ten je řešen přes blok přišroubovaný k plášti vřetene. V případě přívodu vzduchu středem vřetene je bezproblémové zařazení vřetene do automatické výměny nástrojů a v případě bočního přívodu firma nabízí jak variantu pro ruční připojování vzduchového konektoru na Obr. 6 vlevo, tak i blok pro použití vřetene v automatické výměně nástrojů na Obr. 6 vpravo.

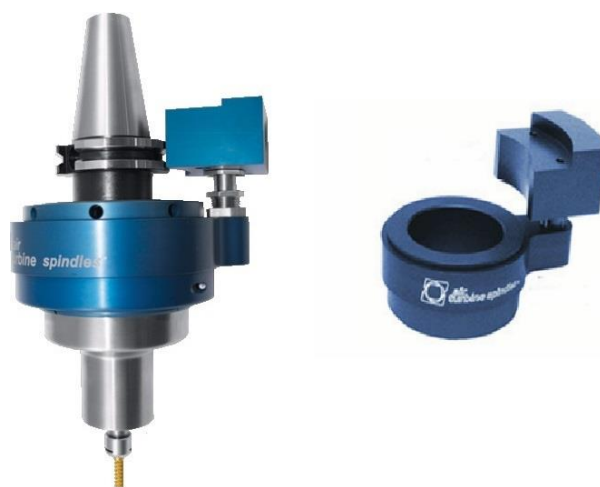


Obr. 6 - Pneumatické vřeteno RBX

2.2.3. Air Turbine [5]

Americká firma Air Turbine Technology, Inc. je jedním z největších výrobců pneumatických vřeten na světě. Vřetena tohoto výrobce se chlubí konstrukcí sestávající z pouhých dvou pohyblivých částí – turbíny a keramických, vzduchem chlazených ložisek, což má za důsledek minimální vibrace a tepelné zatížení. V nabídce lze nalézt vyvrtávací a frézovací vřetena s rozsahem 25tis. – 90tis. otáček za minutu.

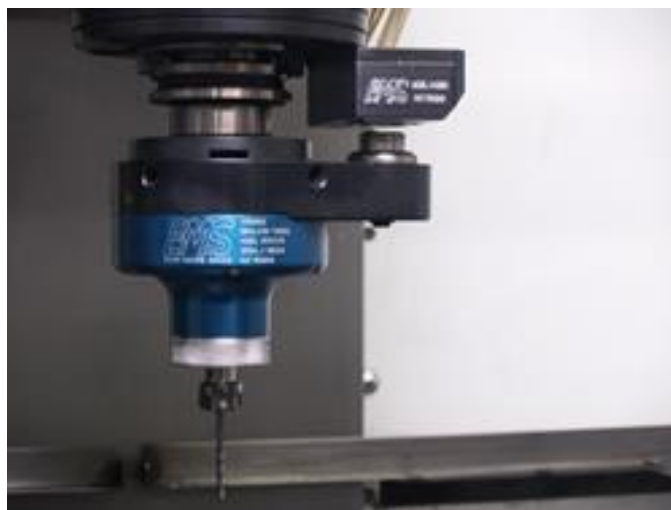
Vřeteno dosahující nejvyšších otáček je série 602 s otáčkami v rozsahu 40tis. – 90tis. za minutu při maximálním tlaku vzduchu 6 bar. Vřeteno je možné vybavit modulem pro použití v automatické výměně nástrojů, u kterého firma uvádí kompatibilitu se stroji Haas, Fanuc, Brother a Mazak. Pro jiné stroje nabízí možnost zakázkové úpravy modulu. Tento modul sestává z plně otočného prstence viz Obr. 7, který je kompatibilní pro více vřeten tohoto výrobce a připojovacího bloku.



Obr. 7 - Air Turbine 602

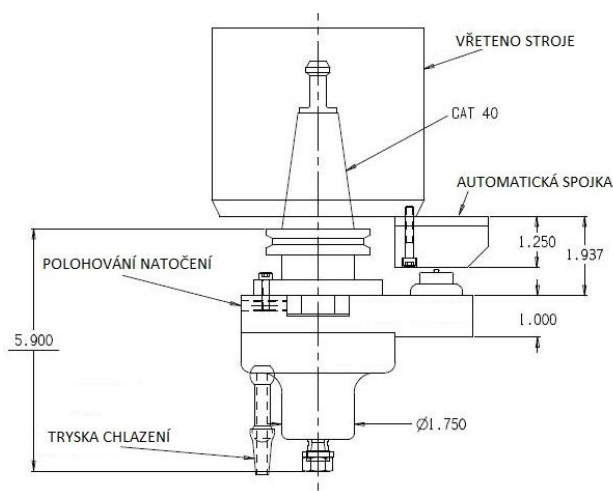
2.2.4 Bryan Machine [6]

Americký výrobce Bryan Machine je zaměřen na výrobu forem pro vstřikování plastů, speciálních soustružnických nástrojů a na elektroerozivní obrábění. Pro svou potřebu, ale také pro komerční nabídku tato firma vyvinula přídavné vysokootáčkové pneumatické vřeteno s označením VRT viz Obr. 8. Toto vřeteno disponuje rozsahem otáček od 15tis. do 40tis. za minutu a je vybaveno výrobcem blíže nespecifikovanou vnitřní regulací otáček, která vyžaduje ruční nastavení na dané otáčky.



Obr. 8 - Bryan Machine VRT

Vřeteno je uzpůsobeno pro užití v automatické výměně nástrojů a výrobce ve své prezentaci naznačuje možnost využití více těchto vřeten v zásobníků nástrojů s tím, že každé vřeteno bude osazeno jiným nástrojem a lze tedy rychle zhotovit obrobek pneumatickým vřetenem při použití více nástrojů. Na plášti vřetene je instalován prsteneček, který je třeba nastavit do správné polohy natočení vůči bloku konektoru umístěnému na vřeteni stroje. K propojení konektoru dochází prostřednictvím systému s označením "Auto Air Coupler", tedy automatické spojky řízené elektronicky povelům z řídicího systému stroje. Spojka do přídavného vřetene přivádí jednak vzduch pro pohon turbíny a za druhé chladicí kapalinu ústící do trysek umístěných na spodní straně přídavného vřetene. Schéma provedení vřetene lze vidět na Obr. 9. Vřeteno lze spustit pomocí M kódu, tudíž je provoz tohoto vřetene možný bez zásahu obsluhy stroje.



Obr. 9 - Provedení spojky vřetene VRT

2.2.5. Iscar [7]

Izraelská společnost Iscar je předním výrobcem nástrojů pro obrábění. Mezi nabízenými produkty lze jako zajímavost nalézt přídatné vřeteno SpinJet viz Obr. 10, které je poháněno chladicí kapalinou. Nárokem na užitý stroj je tlak jeho chladicího systému alespoň 20 bar. Vzhledem k přívodu kapaliny středem vřetene a tedy provedení bez propojených vnějších periferií je možno v případě potřeby (například při posuvu stolu s nutností otáčení vřetene) roztočit i vlastní vřeteno stroje a to až do výše 3000 otáček za minutu. Maximální otáčky vřetene SpinJet dosahují 40tis. za minutu. Pro informaci o aktuálních otáčkách je vřeteno vybaveno bezdrátovým modulem, který s přenosovou frekvencí 2,4 GHz přenáší signál otáček na displej, který může být až ve vzdálenosti 5 metrů od vřetene.

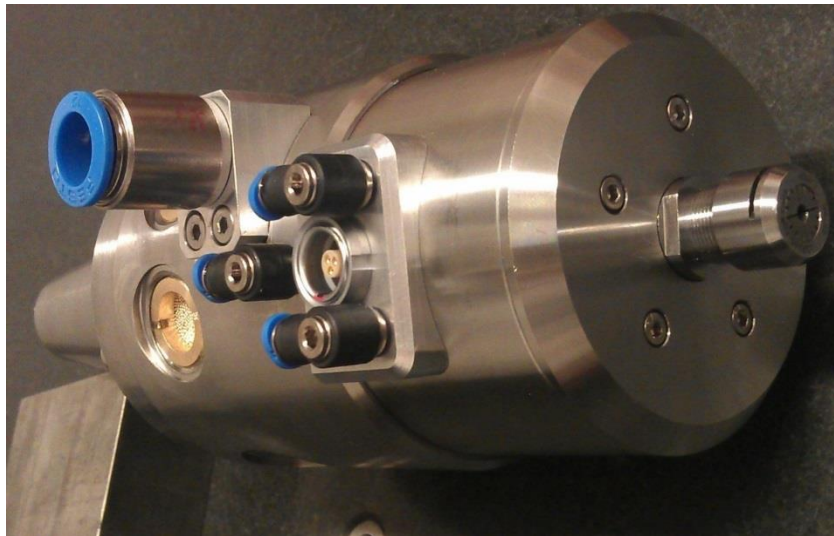


Obr. 10 - Iscar SpinJet a displej otáček

2.2.6. Fakulta strojní ČVUT

Na půdě ČVUT Fakulty Strojní – Ústavu výrobních strojů a zařízení bylo vyvinuto experimentální přídatné vysokootáčkové vřeteno s pneumatickým pohonem a zpětnovazebnou regulací. Toto vřeteno je otestováno na bezproblémový provoz do otáček

150tis. za minutu. Pohon vřetene je zajištěn pneumaticky, přiváděním tlakového vzduchu do statoru turbíny s radiálním vstupem a axiálním výstupem. Tlak přiváděného vzduchu dosahuje maximálně 6 bar. Hřídel vřetene je uložen ve valivých keramických (hybridních) ložiskách s kosoúhlým stykem. Požadovaná předepínací síla ložisek je vyvozena napájením předepínacího systému tlakovým vzduchem. Devizou tohoto vřetene je možnost regulace otáček. Jedná se o zpětnovazebnou regulaci prostřednictvím PI regulátoru a pneumatického proporcionálního ventilu, které se ovládají pomocí PLC automatu. Zpětnou vazbu v regulačním obvodu představuje indukční snímač, který během každé otáčky rotoru vřetene vyšle impuls. Ze snímače je potřeba přivést signál do PLC automatu. Vřeteno je vidět na Obr. 11 [8]



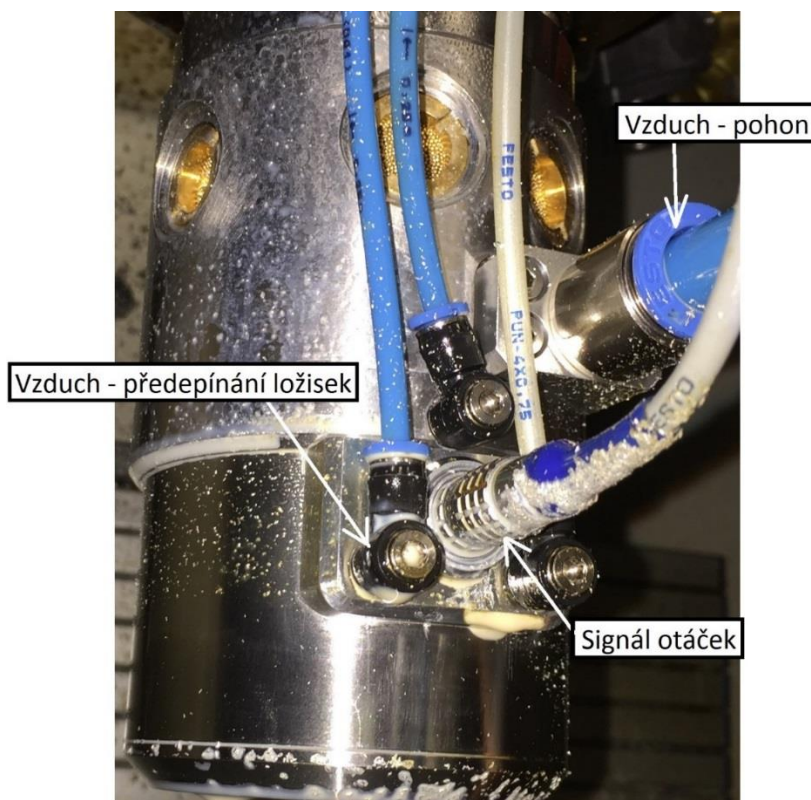
Obr. 11 - Laboratorní vřeteno ČVUT FS Ú12135

3. Návrh konektoru přídatného vřetene

Tato práce bude věnována návrhu zjednodušení připojení nutných periférií daného experimentálního vřetene pro snadnější a rychlejší manipulaci při upínání vřetene k vřetení stroje. Upínání bude probíhat manuálně, nicméně toto zjednodušení značně přiblíží konstrukci přídatného vřetene k začlenění do automatické výměny nástrojů. Hlavním kritériem při volbě provedení propojení bude jednoduchost a kompaktnost řešení.

3.1. Stávající provedení

Konektory jsou osazeny na samostatných blocích vystupujících z pláště vřetene. Připojení dvou vzduchových obvodů – pro předepínání ložisek a pro pohon, je řešeno prostřednictvím konektorů Festo, které jsou k bloku připevněny prostřednictvím závitů a které jsou opatřeny rychlospojkami pro připojení hadice patřičného průměru. Elektrický konektor pro přenos signálu čidla otáček je od firmy Lemo, jehož zásuvka je jištěna maticí z vnější strany bloku. Vzduchové konektory vyžadují ruční manipulaci s rychlospojkami, konektor Lemo má aretaci proti samovolnému rozpojení konektoru, se kterou je nutné rovněž ručně manipulovat. Další periférií vřetene, viditelnou na obrázku, je vzduchový vstup pro systém mazání ložisek, ten však nebude nutné zapojovat, vzhledem k mazání tukem, využívanému v požadované variantě. Dosavadní řešení připojení je na Obr. 12.



Obr. 12 - Vřeteno připojené ke stroji v současné podobě

3.2. Možné varianty konektorů

Je důležité, aby konektory umožňovaly propojení pouhým zasunutím kužele vřetene do dutiny vřetene stroje, tedy aby nebylo nutné ručně konektor propojovat, či zajišťovat. Konektory budou v obráběcím prostoru stroje a budou tedy v kontaktu s chladicí kapalinou a třískami. Z tohoto důvodu je nutné, aby konektory vykazovaly dostatečnou těsnost a byly z odolného materiálu, například z nerezové oceli. Konektor pro přívod vzduchu musí být schopen přenést tlak minimálně 6 bar a průtok vzduchu bude dosahovat 300l/min. Elektrický konektor musí mít tři kontakty pro analogovou zem, napájení a signál otáček.

3.2.1. Stäubli SPC [9]

V nabídce fluidních rychlospojek firmy Stäubli je možno nalézt konektory SPC, určené především do modulového řešení konektorových systémů, které jsou schopny přenášet všechny fluidní média (oleje, emulze, vzduch). Jsou navrženy pro použití v připojování obráběcích hlav, hydraulických systémů, použití u forem a počítá se u nich s častým připojováním/odpojováním, čemuž odpovídá garantovaná živostnost 1 milion cyklů. Konektory jsou odstupňovány podle světlosti přívodního otvoru a to od průměru 3mm do 20mm, přičemž maximální pracovní tlaky přenášených médií jsou od 450 bar po 160 bar u největšího konektoru. Konektory jsou vybaveny systémem propojení, kdy je třeba zatlačením zástrčky do zásuvky konektoru stlačit pružinu. Pokud tuto sílu přestaneme vyvíjet, pružina konektor opět rozpojí a oba díly konektoru se uzavřou. Konektor v případě propojení a přenosu vzduchu zaručuje, že do systému nevniknou nečistoty z okolí a platí to i v případě rozpojení kontaktů. Materiál konektorů je nerezová ocel.



Obr. 13 - Konektor Stäubli SPC

3.2.2. Modulární konektory CombiTac [10]

Firma Multi-Contact (součást koncernu Stäubli) nabízí modulární konektorový systém, který umožňuje zkombinovat více druhů konektorů v rámci jednoho modulárního konektorového

domku. Model CombiTac je určen pro použití v průmyslové automatizaci. Při konfiguraci modulárního bloku lze zvolit například elektrické, fluidní (mimo jiné i Stäubli SPC), optické a další typy konektorů. Systém je pro zajištění přesného propojení vybaven zaváděcími kolíky. Domek konektorů má vždy stejnou šířku, ale délka závisí na počtu zvolených konektorových modulů. Rozměry celého dílce (minimální uvažovaná délka 75mm, šířka 35mm), jsou přesto značné vzhledem k rozměru přídatného vřetene.



Obr. 14 - Konektor Stäubli SPC

3.2.3. Walther Präzision [11]

Obdobný produkt, jakým je Stäubli SPC má ve své nabídce i firma Walther Präzision, která je zaměřena na konektory – rychlospojky pro automatickou výměnu. Série CT je nabízena v provedení z nerezové oceli a je vybavena podobným systémem silového propojení, jako SPC. Pracovní tlak přenášený konektory je 64 bar a je možno vybírat z rozměrů od průměru 3mm po 19mm.



Obr. 15 - Konektor Walther Präzision CT

3.2.4. Parker Snap Tite [12]

Divize Snap Tite americké společnosti Parker je zaměřena na řešení v oblasti fluidních systémů a hydraulických ventilů. V katalogu tohoto výrobce je také série konektorů 71 zaručující při procesu propojování snadnou a rychlou manipulaci s minimálním únikem média. Konstruktivní řešení je podobné, jako u ostatních zmíněných konektorů, tzv. systém

“flat-face“, tedy s plochými stykovými plochami. Konektor je schopný přenášet vzduch o tlaku až 690 bar a je zhotoven z kvalitní nerezové oceli.



Obr. 16 - Konektor Snap Tite 71 series

3.3. Konstrukční řešení konektorových bloků

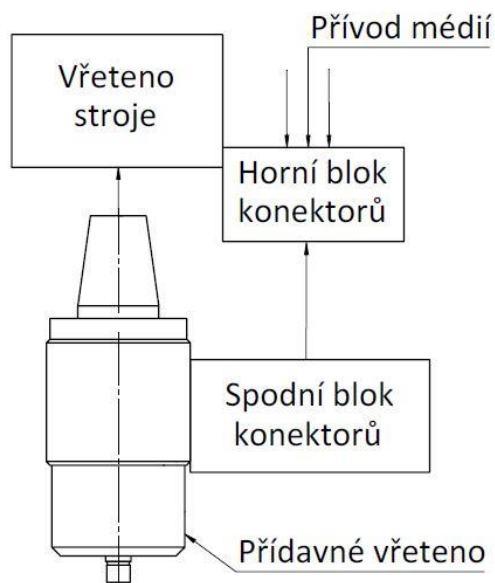
Připojení vřetene je navrhováno pro vertikální, 3-osé frézovací centrum firmy ZPS s označením MCFV 5050 LN. Typ upínacího kužele vřetene stroje je SK 40, tedy shodný s kuželem na přídatném vřetení. Stroj je vybaven lineárními motory a elektrickým vřetenem s maximem otáček ve výši 15tis. za minutu. Pracovní rozjezdy os jsou (X/Y/Z) 500/400/400 mm. CNC řídicí systém je Siemens Sinumerik 840 D.



Obr. 17 - Stroj ZPS MCFV 5050 LN

Rámcově bylo na základě rešerše používaných řešení jiných vřeten zvoleno následující uspořádání elementů propojení viz Obr. 18. Propojení bude realizováno prostřednictvím dvoudílného konektoru. Na stacionární část vřetene stroje bude trvale instalován konektorový blok se stálým přívodem potřebných médií. Na přídatném vřetení bude

přípevněn druhý konektorový blok, který bude napojen na patřičné okruhy v přidavném vřeteni. Propojení obou bloků proběhne v okamžiku upnutí vřetene do stroje.

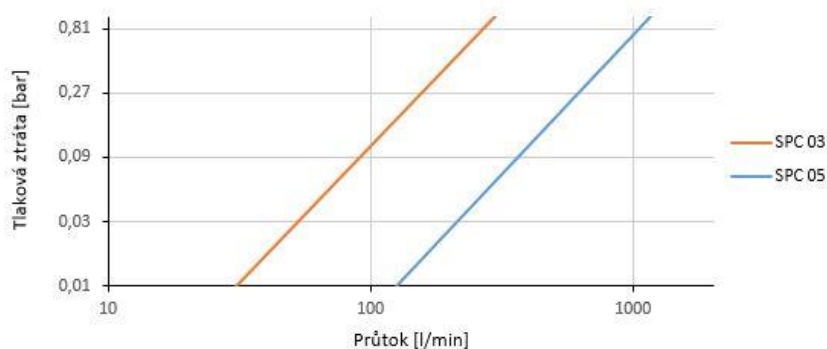


Obr. 18 - Schéma uspořádání propojení

3.3.1. Zvolené konektory

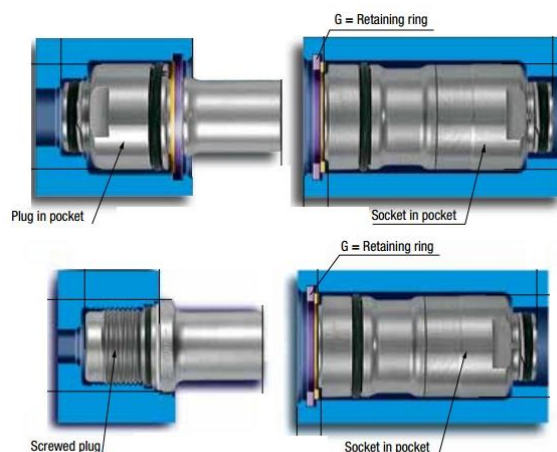
Přenos tlakového vzduchu [9]

Pro přenos tlakového vzduchu do dvou vzduchových obvodů byly z uvedených možností zvoleny konektory Stäubli SPC. Pro vzduchový okruh pohonu turbíny byl vzhledem k požadovaným nárokům na přenášený průtok zvolen konektor SPC 05. U tohoto konektoru v případě přenosu vzduchu o tlaku 6 bar tlaková ztráta viz Obr. 19 při uvažovaném průtoku 300 l/min dosahuje 0,03 bar, což je vyhovující hodnota. K přenosu vzduchu pro předepínání ložisek nejsou nároky na přetlak a průtok příliš vysoké, proto byla zvolena nejmenší výrobcem nabízená velikost konektoru SPC 03. Volba shodného typu konektorů zaručuje bezproblémovou konstrukci konektorových bloků, jelikož sám výrobce využívá současně různé velikosti konektorů v modulových konektorových systémech.



Obr. 19 - Závislost tlakové ztráty na průtoku vzduchu

Firma Stäubli má v nabídce konektoru SPC dvě varianty montážního provedení konektorů, jak je zřejmé z Obr. 20. V případě první varianty viz Obr. 20 nahoře jsou jak zásuvka, tak zástrčka uloženy do dutin a v nich jsou zajištěny pojistným kroužkem. Aby nedocházelo k úniku vzduchu, jsou obě součásti v kapse opatřeny těsnicími O-kroužky. Druhou variantou je kombinace uložení zásuvky do kapsy a montáž zástrčky pomocí závitu, jak lze vidět na Obr. 20 dole.



Obr. 20 - Varianty montáže konektoru SPC

Pro řešenou úlohu byla zvolena druhá varianta, tedy kombinace uložení zásuvky do dutiny a montáže zástrčky závitem. Tato varianta je jednodušší z hlediska montáže i výroby a v případě zástrčky vyžaduje menší zástavbové prostory. Pro tuto variantu výrobce garantuje propojení konektoru do maximální excentricity os obou dílů konektoru 0,25mm a plnou těsnost a funkčnost přenosu i v případě neúplného zasunutí zástrčky do zásuvky do hodnoty 2mm. Maximální zdvih konektoru SPC 03 je 8,8mm a konektoru SPC 05 13,3mm. Konkrétní zvolené díly mají v katalogu výrobce tato označení:

zásuvka malého konektoru	SPC 03.2000/IA
zástrčka malého konektoru	SPC 03.5408/IA/MD
zásuvka velkého konektoru	SPC 05.2000/IA
zástrčka velkého konektoru	SPC 05.5414/IA/MD

Přenos signálu otáček

Pro přenos signálu senzoru otáček z přídatného vřetene do PLC automatu byl zachován původní elektrický konektor Lemo. V případě elektrického konektoru je počítáno s ručním připojením konektoru obsluhou, vzhledem k tomu, že všechna nalezená řešení konektoru vyžadují manuální aretaci propojení. Konektor je vyobrazen na Obr. 21. Jedná se o model zaručující vodotěsnost spojení, což je nutná podmínka v případě uvažované aplikace. Zásuvka bude instalována do spodního konektorového bloku na přídatném vřeteni, konkrétně bude uložena do dutiny v konektorovém bloku a z vnější strany pojištěna maticí. Katalogová označení součástí jsou tato:

zásuvka konektoru

HEG.0K.303.CLLPV

zástrčka konektoru

FGG.0K.303.CLAC25Z



Obr. 21 - Elektrický konektor Lemo

Přívod vzduchu do konektoru

Pro přívod vzduchu do horního konektorového bloku bude zajištěn prostřednictvím rychlospojek Festo QS-F viz Obr. 22 instalovanými z boku konektorového bloku v provedení s 90° kolenem, aby vývod pro hadici směřoval vzhůru. Montáž je zajištěna pomocí závitů – G1/4 v případě přívodu vzduchu pro pohon (spojka pro hadici D=12mm) a M5 v případě přívodu vzduchu pro předepínání ložisek (vývod pro hadici D=4mm). Rychlospojky mají takovéto katalogové označení:

přívod vzduchu pro pohon

QS-F 533 853

přívod vzduchu pro předepínání ložisek

QS-F 533 849



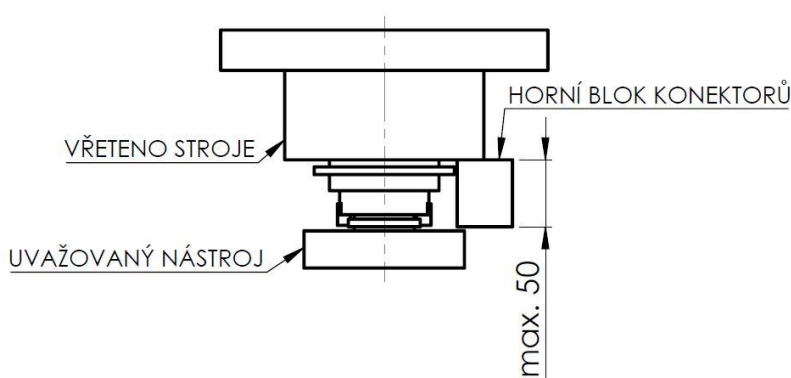
Obr. 22 - Rychlospojka Festo QS-F

3.3.2. Rozměrové podmínky konektorových bloků

Obecně bude při návrhu konektorových bloků kladen důraz na maximální kompaktnost provedení. Zároveň bude voleno takové konstrukční řešení, které bude vyžadovat co možná nejméně úprav v již vyrobených dílech přídatného vřetene (plášť, krytování atd.).

Rozměry horního bloku konektorů

Rozměry horního konektorového bloku, především jeho výška, jsou hlavním limitujícím parametrem. Vzhledem k tomu, že bude blok trvale instalován na vřeteni stroje, nesmí v provozu stroje bez připojeného přídatného vřetene zasahovat do prostoru, ve kterém se může potenciálně nacházet držák nástroje upnutého do vřetene. Konkrétně je to omezeno vzdáleností čela vřetene a čela rotoru vřetene, která činí 50mm. Do tohoto prostoru se musí vejít horní konektorový blok včetně všech dílčích konektorů.



Obr. 23 - Omezení prostoru horního bloku konektorů

Rozměry spodního bloku konektorů

U spodního dílu konektorového bloku bude využito rozměrů a tvaru kostky, na které byly instalovány vzduchové rychlospojky, a elektrická zásuvka v dosavadním provedení přídatného vřetene viz Obr. 24 vlevo. V bocích kostky jsou vyfrézované drážky, které kopírují zafrézování v krytu spodní části vřetene (Obr. 24 vpravo), který se do nich zasouvá. Z vrchní strany se nachází dvojice závitových děr pro spojení kostky s čelem příruby vřeteníku. V případě, že budou tyto prvky společně s šířkou bloku zkopírovány z původní kostky konektorů, nebude nutné kryt vřetene ani vřeteník upravovat. Výrobci přídatných vřeten obvykle mají montáž spodního dílu konektorového bloku řešenou otočným prstencem, nebo je blok přišroubován k plášti přídatného vřetene. Pro tuto úlohu byla zvolena druhá zmíněná varianta, tedy připevnění pomocí šroubů.



Obr. 24 - Provedení původní kostky konektorů

3.3.3. Varianty řešení

Horní blok konektorů

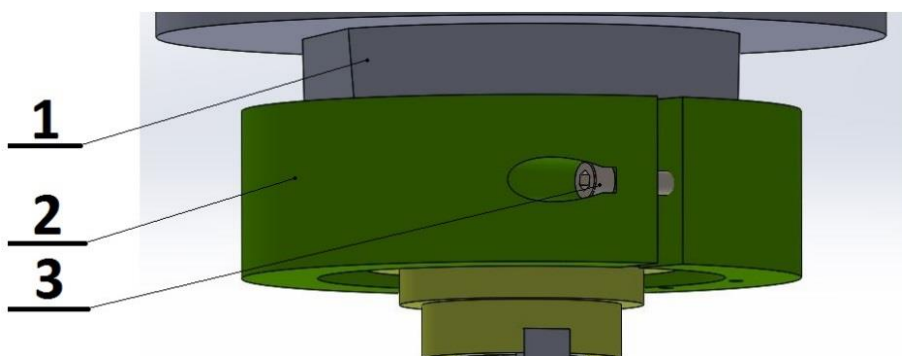
Jedním z problémů, který je třeba vyřešit, je montáž horního konektorového bloku k tubusu vřetene. V úvahu připadají dvě varianty provedení montáže. První variantou je, že bude blok (Obr. 25, pozice 2) připevněn dvojicí šroubů přímo do tubusu vřetene (Obr. 25, pozice 1). Tato varianta vyžaduje vrtání závitů do tubusu vřetene stroje.



Obr. 25 - Montáž horního bloku šrouby do vřetene

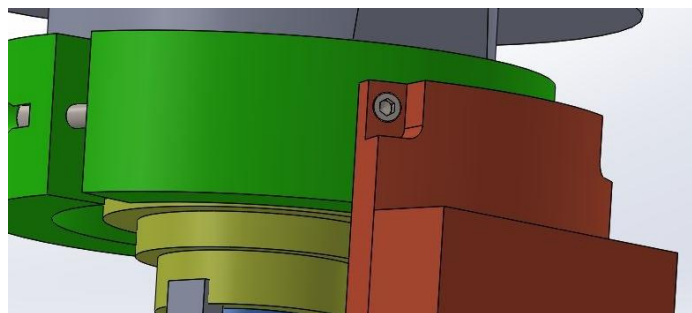
Druhou možností, jak blok konektorů na vřeteno instalovat je pomocí objímky (Obr. 26, pozice 2). Horní blok konektorů bude opět připevněn dvojicí šroubů, konkrétně s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem, ale tentokrát k objímce, která bude na vřeteni držet sevřením. Tato objímka obepne válcový profil tubusu vřetene (Obr. 26, pozice 1) a po nastavení požadovaného natočení bloku konektorů se dotáhne stahovací šroub objímky (Obr. 26, pozice 3). Pro řešenou úlohu se více hodí toto provedení montáže bloku s ohledem na druhou variantu a to z těchto důvodů:

- Vrtání závitů do vřetene je obtížné a hrozilo by porušení vřetene
- Montáž objímky nevyžaduje žádný trvalý zásah do dílce vřetene stroje
- Jedná se o univerzálnější variantu i z hlediska implementace konektoru na jiný stroj



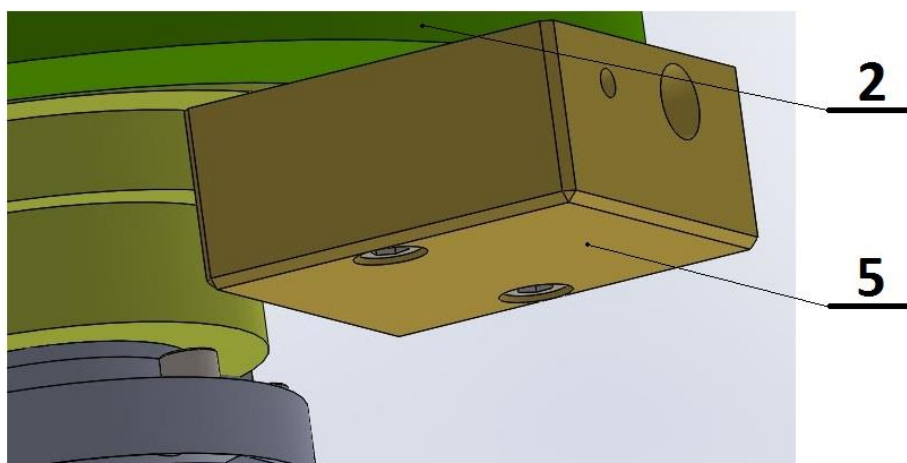
Obr. 26 - Objímka vřetene pro montáž konektor. bloku

Pro připevnění horního konektorového bloku k objímce budou použity dva šrouby s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem. Jsou však opět dvě možnosti, do jakého místa objímky umístit závitové díry. Na zvolené možnosti bude záviset výsledný tvar konektorového bloku. První možností je umístit závitové díry z boku objímky, jak je vidět na Obr. 27. V tomto případě však je nutné vyrobit konektorový blok s válcovou dosedací plochou a závitů by bylo třeba vrtat do válcové plochy objímky, nebo by bylo nutné vyfrézovat rovnou plochu na válcovém boku objímky.



Obr. 27 - Umístění šroubů konektoru z boku objímky

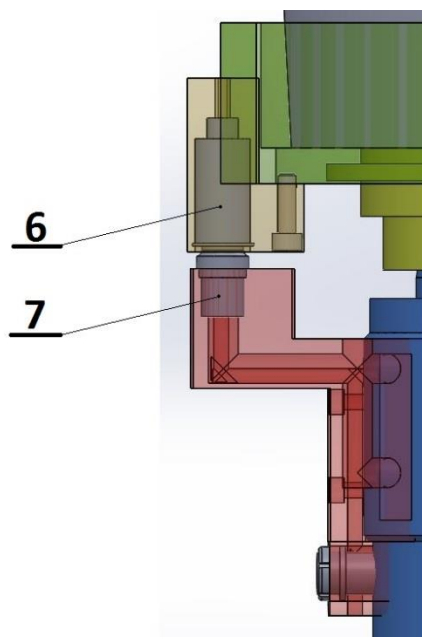
Druhou možností je umístit závity pro připojovací šrouby konektorového bloku (Obr. 28, pozice 5) na spodní stranu objímky vřetene (Obr. 28, pozice 2). Toto provedení vyžaduje výrazně méně nutných výrobních úkonů jak u objímky, tak u konektorového bloku. Navíc je u této varianty možné konektorový blok posunout více k ose vřetene, což bude znamenat menší vyčnívání bloku v prostoru. Z uvedených důvodů byla zvolena tato možnost umístění propojovacích šroubů.



Obr. 28 - Umístění šroubů konektoru na spodní stranu objímky

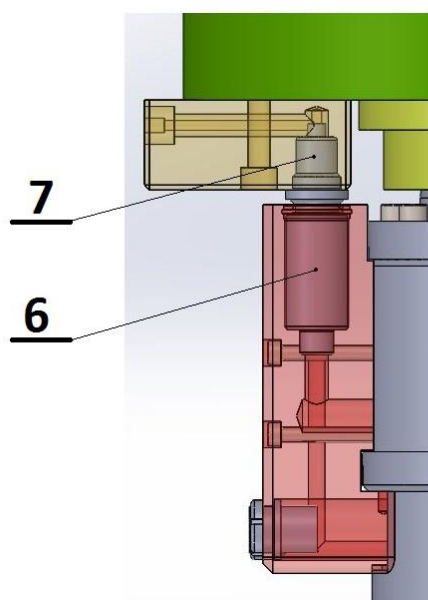
Umístění pneumatických konektorů

Co se týče umístění zásuvek a zástrček vzduchových konektorů, tak se nabízejí dvě možné kombinace. Zásuvku lze umístit do horního konektorového bloku (Obr. 29, pozice 6) a zástrčku do spodního konektorového bloku (Obr. 29, pozice 7), nebo lze zvolit opačné uspořádání. V případě první varianty vzhledem k omezení prostoru pro horní konektor bude tento kvůli dlouhé zástrčce zasahovat do dílu objímky. To obnáší nutnost vyfrézování drážky do boku objímky a značně se tím v tomto místě ztenčí tloušťka objímky. Pro spodní blok konektoru to bude znamenat stavbu složitou na výrobu a prostorově rozměrnou.



Obr. 29 - Umístění zásuvek do horního konektor. bloku

Varianta 2, tedy umístění zástrček konektorů do horního bloku (Obr. 30, pozice 7) a zásuvek do spodního bloku (Obr. 30, pozice 6), je z hlediska složitosti a využití prostoru značně výhodnější. Zástrčky konektorů lze pohodlně umístit do prostoru pod objímku, není nutné aby zasahovaly do dílu objímky a lze je tedy i více přiblížit k ose vřetene. Spodní blok konektorů bude proto mít kompaktní tvar. Vzhledem k uvedeným výhodám je zvoleno toto řešení.

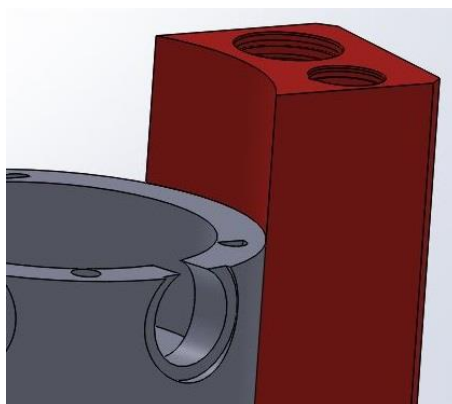


Obr. 30 - Umístění zástrček do horního konektor. bloku

Spodní blok konektorů

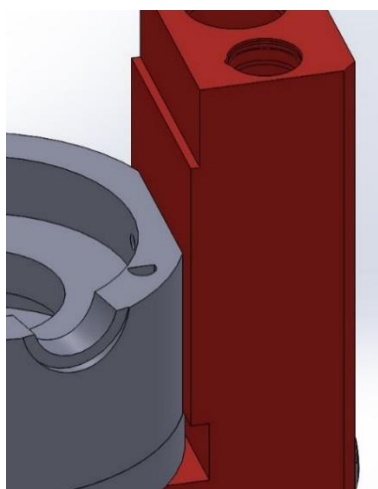
U spodního konektorového bloku je třeba vyřešit, v jakém provedení budou dosedací plochy v místě kontaktu pláště vřetene a zadní části bloku. Dosedací plocha bloku může být válcová a kopírovat tak tvar pláště vřetene, jak je vidět na Obr. 31. Na dosedací ploše konektorového

bloku je však třeba vyfrézovat drážku pro těsnicí O kroužek kolem vstupu vzduchu pro pohon vřetene a také do pláště vřetene vyvrtat závity pro spojovací šrouby, které prochází středem konektorového bloku. Zároveň vyrobít takto dlouhou válcovou plochu na spodním konektorovém bloku není z technologického hlediska výhodné.



Obr. 31 - Válcové provedení dosedacích ploch

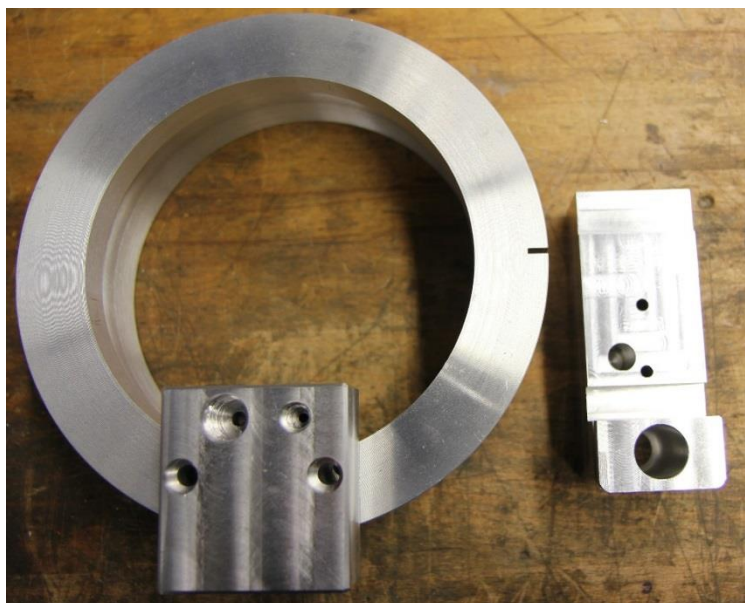
Z hlediska zjednodušení výroby se vhodnějším provedením se zdá být takové, kdy místem kontaktu obou dílů je rovinná plocha viz Obr. 32. V tomto případě je nutné rovinnou plochu vyfrézovat do rozvodníku vřetene, nicméně odpadá tak problém s výrobou drážky pro O kroužek a závity pro šrouby. Zadní část konektorového bloku bude tak méně náročná na zhotovení. Proto bude pro danou úlohu zvoleno toto řešení.



Obr. 32 - Rovinné provedení dosedacích ploch

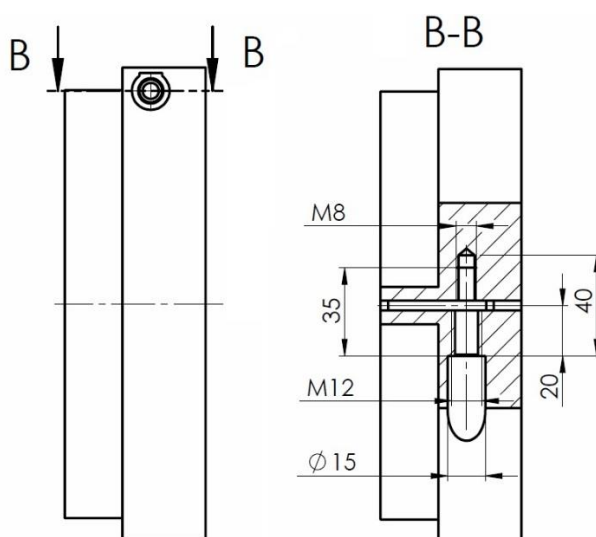
3.3.4. Vyrobené díly, kontrola funkčnosti

Jednotlivé díly byly vyrobeny na frézovacím centru KMAS MCV 1000, polotovar objímky byl zhotoven na konvenčním soustruhu. Vzhledem k tomu, že se jedná o kusovou výrobu, nebyla složitost dílů překážkou, nicméně pro sériovou výrobu by bylo třeba konstrukci dílů změnit pro snadnější zhotovení. Jako příklad lze uvést rozdělení spodního bloku konektoru na dva díly, což by usnadnilo výrobu některých prvků. Zhotovené díly před smontováním jsou vidět na Obr. 33.



Obr. 33 - Zhotovené díly konektoru

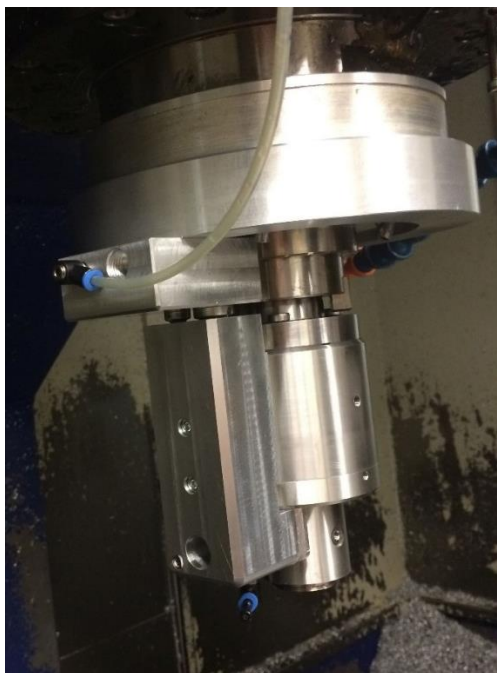
Materiál objímky se po rozříznutí zachoval jinak, než bylo přepokládáno. Válcová dosedací plocha objímky byla vysoustružena na jmenovitý průměr tubusu vřetene. Předpoklad byl, že se objímka po rozříznutí vlivem pnutí rozevře a bude třeba jí stahovacím šroubem stáhnout, aby pevně držela na vřeteni. Po rozříznutí se však objímka naopak smrštila a vnitřní průměr zmenšil, tudíž nebylo možné objímku na vřeteno nasadit. Z toho důvodu byl na objímce dodatečně zhotoven závit M12 v průchozí díře viz Obr. 34, do kterého se zašroubuje odtlačovací šroub.



Obr. 34 - Detail odtlačovacího systému objímky

Všechny komponenty byly sestaveny, konektory ve spodním konektorovém bloku jsou v kapsách uloženy při správné funkci těsnicích O kroužků. Objímka tubusu vřetene byla na tubus naistalována a její límec doražen o čelo tubusu vřetene, aby byl horní konektorový blok ve správné výšce, uvažované při konstrukci. V případě nevhodné axiální polohy dílů by

nastaly problémy s upnutím vřetene, respektive s funkčností konektoru. Připojení přídatného vřetene k vřetení stroje proběhlo v pořádku a test těsnosti vzduchového okruhu také potvrdil funkčnost konektoru.



Obr. 35 - Test funkčnosti konektoru

3.3.5. Postup připojování vřetene

Dosavadní řešení

- Upnutí přídatného vřetene do stroje
- Přivedení vzduchových hadic obráběcím prostorem stroje
- Připojení vzduchové hadice pohonu turbíny rychlospojkou
- Připojení vzduchové hadice předepínání ložisek rychlospojkou
- Připojení kabelu signálu otáček zástrčkou LEMO

Navržené řešení

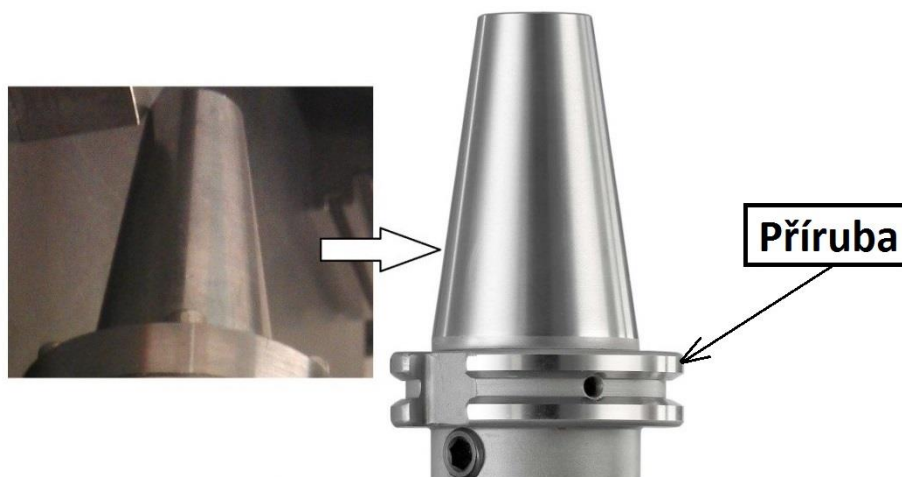
- Očištění zásuvek pneumatických konektorů od případných nečistot
- Upnutí přídatného vřetene do stroje
- Připojení kabelu signálu otáček zástrčkou LEMO

Ze shrnutí je patrné, že došlo ke snížení počtu nutných úkonů, ke zjednodušení propojení a ke zkrácení času, nutného k propojení všech periférií. Pro začlenění pneumatického vřetene do automatické výměny nástrojů by bylo třeba u vyvinutého konektoru úkony redukovat pouze na jeden, a to upnutí přídatného vřetene do stroje.

3.3.6. Podmínky použití vřetene v automatické výměně nástrojů

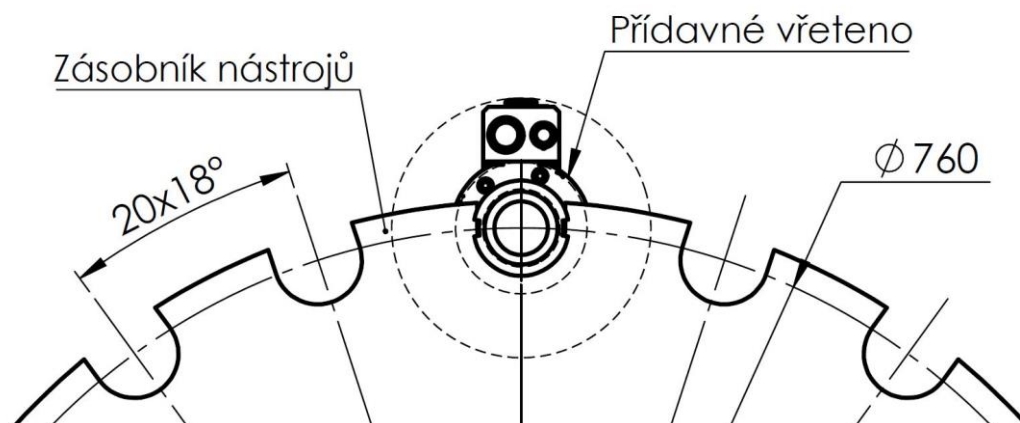
Jedním z dalších kroků v budoucím vývoji přídavného vřetene je uzpůsobení vřetene pro možnost jeho použití v automatické výměně nástrojů. Lze uvést několik hlavních podmínek s tímto vývojovým krokem souvisejících.

Přídavné vřeteno musí být vybaveno upínacím kuželem s přírubou jako kterýkoli držák nástroje. Tato příruha má v sobě drážky kameny vřetene stroje a slouží pro správné usazení držáku ve vřetení a pro přenos krouticího momentu. Zároveň je součástí límce drážka po celém jeho obvodu, do které se zasunou plochá pera při vkládání nástroje do zásobníku. Touto přírubou současná verze vřetene nedisponuje, viz Obr. 36.



Obr. 36 - Úprava kuželu přídavného vřetene

Co se týče prostoru pro vřeteno s konektorem v zásobníku nástrojů, je třeba brát v potaz rozměry přídavného vřetene vzhledem k dalším pozicím zásobníku. Z kontroly rozměrů zásobníku instalovaného na stroji MCFV 5050 LN vyplývá, že by nebyly sousední pozice zásobníku omezeny, pokud by vřeteno bylo natočeno ve směru normály na věnec zásobníku, jak je vidět na Obr. 37.



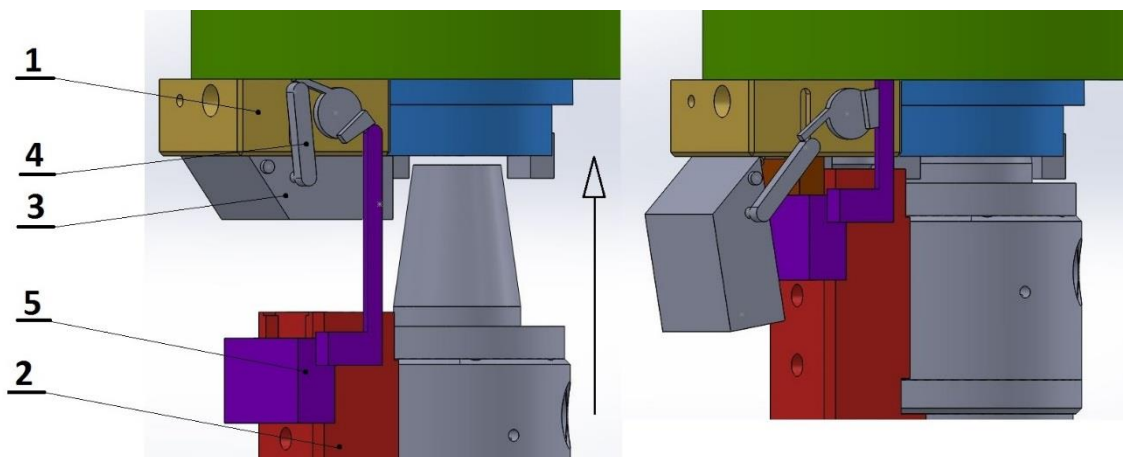
Obr. 37 - Přídavné vřeteno v zásobníku nástrojů

Dále je nutné, aby elektrický konektor byl propojen automaticky, tedy aby obsluha nemusela manuálně připojovat zástrčku konektoru, jak je tomu nyní. K tomuto účelu by mohl posloužit například elektrický konektor viz Obr. 38, používaný ve zmiňovaném modulárním konektoru CombiTac. Tento konektor je navržen pro navádění a aretaci rámečkem modulárního konektoru, tudíž se hodí pro danou aplikaci. Použity by byly pouze samostatné vnitřní díly zástrčky a zásuvky el. konektoru, které by bylo třeba umístit do navržených konektorových bloků.



Obr. 38 - Elektrický konektor ze systému CombiTac

S implementací elektrického konektoru, který by byl propojován automaticky, souvisí i nutnost zajištění jeho ochrany v době, kdy není systém propojen. Jedná se především o zabránění kontaktu konektoru s chladicí kapalinou a třískami. Stejně tak pneumatické konektory by bylo třeba od chladicí kapaliny a třísek očistit ofukem, nebo jednodušeji, zajistit zakrytí všech konektorů v době rozpojení konektoru. Ideový návrh zakrytí je zachycen na Obr. 39. Kryt (pozice 3) je polohován prostřednictvím posuvného mechanismu (pozice 4), který je umístěn na horním konektorovém bloku. Posuvný mechanismus je ovládán pákou spojenou s držákem elektrického konektoru (pozice 5), který je umístěn na spodním konektorovém bloku. Uvažované řešení je navrženo pro možnost implementace na navržené díly konektoru s pouhou úpravou již vyrobených součástí.



Obr. 39 - Systém zakrytí konektorů

4.Návrh demonstračních obrobků

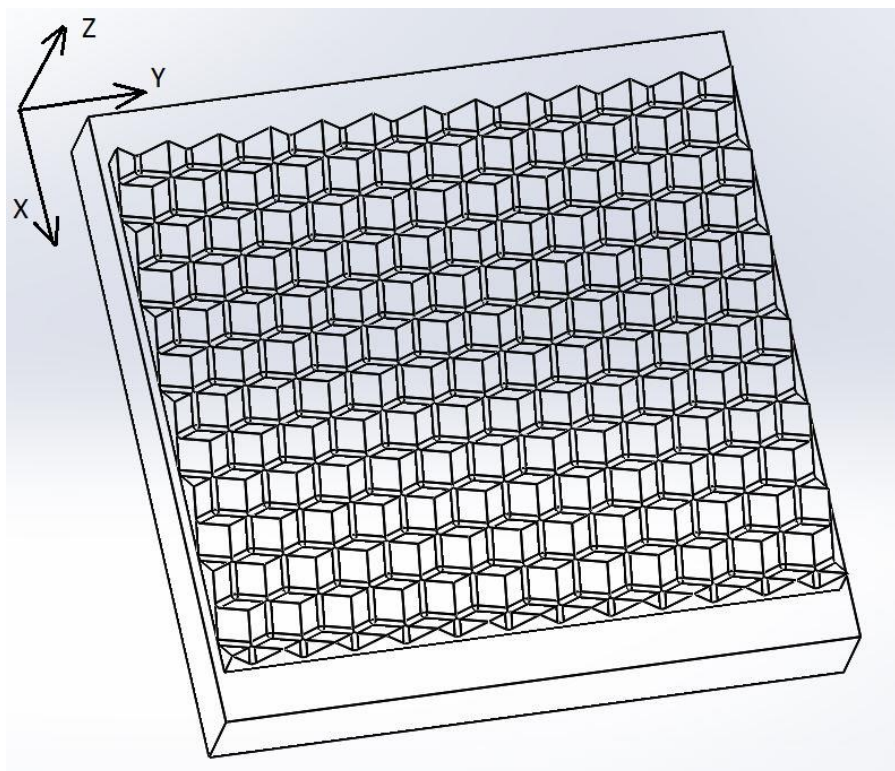
Demonstrační obrobky navrhované v této části práce budou sloužit pro demonstraci technologických možností daného přídatného vřetene, resp. stroje, který bude daným vřetene osazen. Vzhledem k tomu, že se jedná o experimentální model, je důležité nejen, aby byla otestována jeho plná funkčnost, respektive jeho provozní vlastnosti, ale také aby bylo možné fyzicky prezentovat obrobky, které dokládají výkonnost a obecně přednosti vyvíjeného přídatného vřetene. K tomuto účelu byly zvoleny dva obrobky.

Prvním obrobkem je tvar reflektorové matrice, která obsahuje mnoho pravidelně se opakujících tvarových prvků. Jedná se o optický povrch, který napomáhá specifickému rozkladu dopadajícího světla. V praxi se tato matrice, viz Obr. 40 využívá například u plastových odrazek, nebo u koncových světel automobilů.



Obr. 40 - Příklady reflektorové matrice [13]

Pole se skládá se z velkého množství krychlí o hraně 2 mm, pootočených o 45° kolem osy Z a naklopených o 45° vůči vodorovné rovině. Každé dvě krychle mají společnou jednu hranu. Na Obr. 41 je vidět CAD model obrobku s uvažováním zaoblení vnitřních hran radiusem nástroje. Pro obrábění bude použita kulová fréza o průměru 0,5 mm, tedy zaoblení jsou 0,25mm. Rozměry podstavy jsou 35 x 35 x 5 mm. Obrábění bude zajímavé i vzhledem k testování životnosti nástroje. Dá se předpokládat, že takové pole jeden nástroj obrobí nedokáže. Dále bude zajímavá výsledná doba obrábění, která bude zřejmě značná, vzhledem k rozsahu pole. Obrobek tohoto typu by byl v praxi využitelný např. jako forma pro výrobu plastových odrazek.

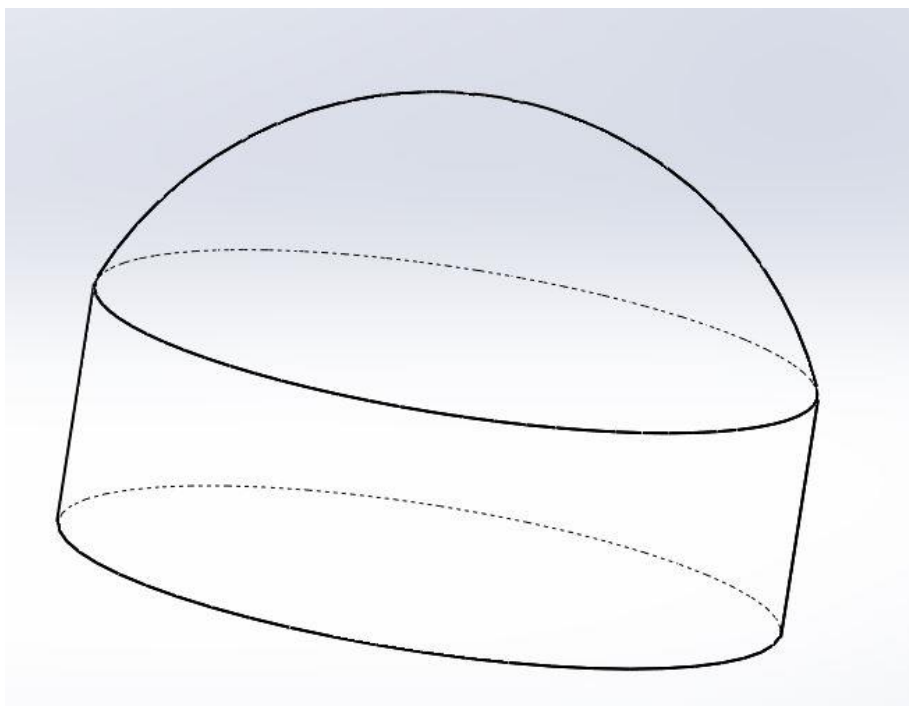


Obr. 41 – Model obrobku reflektorové matrice

Druhým obrobkem je kulový vrchlík, jehož podstavou je válec o průměru 30 mm. Tento obrobek je využíván pro demonstraci přesnosti stroje, lze na něm měřit přesnost kulového povrchu a také jeho jakost. Fyzický obrobek je vidět na ilustračním Obr. 42, CAD model obrobku potom na Obr. 43.



Obr. 42 - Obrobek kulového vrchlíku



Obr. 43 - Model obrobku kolového vrchlíku

5. Závěr

Úvodní kapitola byla věnována popsání základních pojmů a problémů souvisejících s přidavnými vysokootáčkovými vřeteny. Byly popsány přednosti jednotlivých typů vřeten, specifické požadavky z hlediska připojení ke stroji a vřetena byla vzájemně porovnána.

Hlavní část práce byla věnována návrhu konektoru pro připojení pneumatického vřetene ke stroji. Nejprve byly uvedeny příklady některých konkrétních přidavných vřeten a byla zjištěna a porovnána aktuálně nabízená řešení připojení, která jsou k dostání u jednotlivých výrobců vřeten. Dále byly porovnány možnosti řešení přívodu stlačeného vzduchu do vzduchových okruhů vřetene, což je hlavní problém, který bylo pro zjednodušení připojení třeba vyřešit. Ze zjištěných možností bylo zvoleno řešení propojení prostřednictvím pneumatických konektorů Stäubli SPC, které jsou vhodné pro automatické propojení bez aretace.

Následně byly navrženy konektorové bloky, do kterých se umístily zvolené konektory. Konektorové bloky byly navrženy s důrazem na kompaktnost a jednoduchost provedení, zároveň byl však brán ohled na již vyrobené díly, tudíž návrh vyžaduje minimální nutné množství úprav již vyrobených dílů vřetene a zásahů do konstrukce stroje. Na základě vyhotovených výrobních výkresů byly všechny součásti konektoru zhotoveny, celá sestava byla smontována a byla otestována funkčnost připojení a vřetene s pozitivním výsledkem.

Bylo porovnáno dosavadní a nově navržené řešení připojení vřetene s konstatováním úspěšného zjednodušení a omezení počtu a složitosti úkonů při připojování přidavného vřetene. Pro další vývoj vřetene byly zmíněny nutné požadavky a úpravy potřebné pro použití daného vřetene v automatické výměně nástrojů.

V poslední části práce byly navrženy dva demonstrační obrobky, které jsou charakterem prvků a tvarem vhodné k reprezentaci dosažitelných výsledků při použití daného pneumatického vřetene.

Seznam obrázků

Obr. 1 - Závislost otáček na průměru nástroje	11
Obr. 2 - Elektrické vřeteno NSK HES	13
Obr. 3 - Pneumatické vřeteno NSK HPS	13
Obr. 4 - Polohovací blok	14
Obr. 5 - Mechanické vřeteno GTG	14
Obr. 6 - Pneumatické vřeteno RBX	15
Obr. 7 - Air Turbine 602	15
Obr. 8 - Bryan Machine VRT	16
Obr. 9 - Provedení spojky vřetene VRT	17
Obr. 10 - Iscar SpinJet a displej otáček	17
Obr. 11 - Laboratorní vřeteno ČVUT FS Ú12135	18
Obr. 12 - Vřeteno připojené ke stroji v současné podobě	19
Obr. 13 - Konektor Stäubli SPC	20
Obr. 14 - Konektor Stäubli SPC	21
Obr. 15 - Konektor Walther Präzision CT	21
Obr. 16 - Konektor Snap Tite 71 series	22
Obr. 17 - Stroj ZPS MCFV 5050 LN	22
Obr. 18 - Schéma uspořádání propojení	23
Obr. 19 - Závislost tlakové ztráty na průtoku vzduchu	23
Obr. 20 - Varianty montáže konektoru SPC	24
Obr. 21 - Elektrický konektor Lemo	25
Obr. 22 - Rychlospojka Festo QS-F	25
Obr. 23 - Omezení prostoru horního bloku konektorů	26
Obr. 24 - Provedení původní kostky konektorů	26
Obr. 25 - Montáž horního bloku šrouby do vřetene	27
Obr. 26 - Objímka vřetene pro montáž konektor. bloku	27
Obr. 27 - Umístění šroubů konektoru z boku objímky	28
Obr. 28 - Umístění šroubů konektoru na spodní stranu objímky	28
Obr. 29 - Umístění zásuvek do horního konektor. bloku	29
Obr. 30 - Umístění zástrček do horního konektor. bloku	29
Obr. 31 - Válcové provedení dosedacích ploch	30
Obr. 32 - Rovinné provedení dosedacích ploch	30
Obr. 33 - Zhotovené díly konektoru	31
Obr. 34 - Detail odtlačovacího systému objímky	31
Obr. 35 - Test funkčnosti konektoru	32
Obr. 36 - Úprava kuželu přídatného vřetene	33
Obr. 37 - Přídatné vřeteno v zásobníku nástrojů	33
Obr. 38 - Elektrický konektor ze systému CombiTac	34
Obr. 39 - Systém zakrytování konektorů	34
Obr. 40 - Příklady reflektorové matrice	35
Obr. 41 – Model obrobku reflektorové matrice	36
Obr. 42 - Obrobek kulového vrchlíku	36
Obr. 43 - Model obrobku kolového vrchlíku	37

Seznam použitého softwaru

1. SolidWorks Vzdělávací edice, 2015 SP5.0
2. Zoner Photo Studio, Verze 14.0
3. Microsoft Office Standard 2013, SP3

Seznam příloh

Výkresová dokumentace

Název	Č. výkresu
1. Přídavné vřeteno (sestava)	2016-03-00
2. Konektorový blok spodní	2016-03-01
3. Konektorový blok horní	2016-03-02
4. Plášť vřetene	2016-03-03
5. Objímka tubusu vřetene	2016-03-04

Seznam použitých zdrojů

1. MM průmyslové spektrum. *Mikrofrézování oceli - zdroj úspor* [online]. Praha: Průmyslové spektrum, 26. červen. 2007 [cit. 2016-leden-15]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/mikrofrezovani-oceli-zdroj-uspor.html>
2. KEKULA, J. a T. ZAVÁZAL. Stroje pro mikroobrábění, vysokootáčková vřetena. In: *Obráběcí stroje na EMO Hannover 2013*. Praha: VCSVTT, 2013.
3. NSK AMERICA, CORP. Katalog produktů. In: *Motors & Spindles, Micro-grinders* [online]. Illinois: 2015. Dostupné také z: http://www.nskamericacorp.com/Catalog/NSK_Catalog/#236
4. BIG DAISHOWA SEIKI, CO. LTD. Katalog produktů. In: *Air turbine spindle, High spindle* [online]. 2016. Dostupné také z: http://www.big-daishowa.com/pdf/general_ca_pdf/b_bdv_dv_shank.pdf
5. AIR TURBINE TECHNOLOGY, INC. Katalog produktů. In: *High Speed Spindles Series* [online]. 2016. Dostupné také z: http://www.airturbinetools.com/spindles/high_speed_spindles.html
6. BRYAN MACHINE SERVICE. Katalog produktů. In: *VRT High Speed Spindles* [online]. 2016. Dostupné také z: <http://bryanmachine.com/spindles/>
7. ISCAR, LTD. Katalog produktů. In: *SPINJET Coolant-Driven HSM Spindles* [online]. 2016. Dostupné také z: <http://www.iscar.com/Products.aspx/CountryID/1/ProductId/12042#>
8. KEKULA, J. a P. KONEČNÝ. *Vyvinuté vysokootáčkové vřeteno s pneumatickým pohonem*. Praha: VCSVTT, 2014.
9. STÄUBLI INTERNATIONAL AG. Katalog produktů. In: *SPC All Fluids Connectors* [online]. 2014. Dostupné také z: <http://www.staubli.com/en/connectors/multi-couplings-system/valve-gating-spc/>
10. STÄUBLI INTERNATIONAL AG. Katalog produktů. In: *CombiTac Programme* [online]. 2014. Dostupné také z: <http://www.staubli.com/en/connectors/multi-couplings-system/combitalc/>
11. WALTHER-PRÄZISION. Katalog produktů. In: *Serie CT* [online]. 2016. Dostupné také z: http://www.walther-praezision.de/de/produkte/monokupplungen/niederdruck_bis_zu_100_bar/serie_ct/index.html
12. PARKER HANNIFIN MANUFACTURING SWEDEN AB. Katalog produktů. In: *Snap-tite 71 Series* [online]. 2016. Dostupné také z: http://www.snap-tite.com/snaptite_QD/products/drybreak_non-spill_couplings/71_series/
13. Round reflector. In: *GrabCAD* [online]. 9. 9. 2011 [cit. 2016-07-01]. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/round-reflector>
14. MM průmyslové spektrum. *Mikrofrézování jemných tvarů a struktur ve výrobě forem* [online]. 14. prosinec. 2010 [cit. 2016-leden-15]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/mikrofrezovani-jemnych-tvaru-a-struktur-ve-vyrobe-forem.html>

15. Průmysl. *Obráběcí stroje: integrovaná vřetena obráběcích strojů* [online]. 5. prosinec. 2012 [cit. 2016-březen-03]. Dostupné z: <http://www.prumysl.cz/obrabeci-stroje-integrovana-vretena-obrabecich-stroju/>
16. MCGENOUGH, J. *Micromachining of Engineering Materials*. New York: Marcel Dekker, Inc. 2002. ISBN 0-8247-0644-7.