

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2302T019 Stavba výrobních strojů a zařízení

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

System výměny rotačních hydraulických přípravků

Autor: **Bc. Jan Semerád**  
Vedoucí práce: **Doc. Ing. Zdeněk Hudec, CSc.**

Akademický rok 2013/2014

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta strojní  
Akademický rok: 2013/2014

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan SEMERÁD**  
Osobní číslo: **S12N0055K**  
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Stavba výrobních strojů a zařízení**  
Název tématu: **Systém výměny rotačních hydraulických přípravků**  
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

Provedte rešerši v dané oblasti. Zpracujte tematiku z hledisek principů, srovnání jednotlivých koncepcí, konstrukčních provedení, užitných vlastností a aplikací

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova diplomové práce:

1. Rešerše konstrukčních řešení u vybraných výrobců
2. Konstrukční návrh adaptéru pro rychlou výměnu přípravků a jejich seřízení
3. Návrh rotačního rozvaděče pro přívod ovládacích médií přípravků vřetenem stroje
4. Sestavy a kusovníky, výpočty, detail vybrané součásti
5. Technicko - ekonomické hodnocení navržené konstrukce

Rozsah grafických prací: dle potřeby  
Rozsah pracovní zprávy: 50-70 stran A4  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

**HUDEC, Z.** *Upínací desky, sklíčovadla - příklady, Učební text KOS.* Plzeň: ZČU, 2013

**HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J.** *Příručka strojního inženýra 1.* Brno: Computer Press, 1999

*Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.*

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Zdeněk Hudec, CSc.**  
Katedra konstruování strojů  
Konzultant diplomové práce: **Ing. Petr Štípek**  
HOFMEISTER s. r. o. Plzeň

Datum zadání diplomové práce: **23. září 2013**  
Termín odevzdání diplomové práce: **23. května 2014**

  
Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.  
děkan



  
Doc. Ing. Václava Lužová, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 23. září 2013

## **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne: .....

.....

podpis autora

# ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Bc. Semerád	Jan
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	2302T019 Stavba výrobních strojů a zařízení	
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	Doc. Ing. Hudec, CSc.	Zdeněk
<b>PRACOVIŠTĚ</b>	ZČU - FST - KKS	
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<del><b>BAKALÁŘSKÁ</b></del>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Systém výměny rotačních hydraulických přípravků	

<b>FAKULTA</b>	Strojní	<b>KATEDRA</b>	KKS	<b>ROK ODEVZD.</b>	2014
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

## POČET STRAN

<b>CELKEM</b>	79	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	79	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	-
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<b>STRUČNÝ POPIS</b>	<p>Cílem práce je navrhnout konstrukční návrh adaptéru pro rychlou výměnu soustružnických upínacích přípravků a jejich seřízení, zpracovat rešerši zařízení zabývajících se touto problematikou. Dále vypracovat návrh rotačního rozvaděče pro přívod ovládacích médií přípravků vřetenem stroje, provést rešerši v dané oblasti, srovnání jednotlivých koncepcí a konstrukčních provedení. Vypracovat výkresovou dokumentaci, sestavy a detaily vybraných součástí.</p>
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b>	<p>upínací přípravek, soustruh, příruba, polotovar, obrobek, hydraulická rychlospojka, vřeteno, rotační rozvaděč, těsnění, chladič, labyrint, hřídel, konstrukce, ložisko, píst</p>

## SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

<b>AUTHOR</b>	Bc. Semerád	Jan
<b>FIELD OF STUDY</b>	2302T019 Design of Manufacturing Machines and Equipment	
<b>SUPERVISOR</b>	Doc. Ing. Hudec, CSc.	Zdeněk
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KKS	
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	The system for exchanging of rotating hydraulic fixtures	

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Machine Design	<b>SUBMITTED IN</b>	2014
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES

<b>TOTALLY</b>	79	<b>TEXT PART</b>	79	<b>GRAPHICAL PART</b>	-
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

<b>BRIEF DESCRIPTION</b>	<p>The aim of the thesis is proposing the design of adapter for quick exchanging of turning fixture and their setting, processing research of devices dealing with this issue. Next, developing the design of rotary unit for supplying operating mediums of fixtures through the spindle of machine, performing research in this area and comparing of individual concepts and construction design. Elaboration of drawing documentations, assemblies and details of the selected components.</p>
<b>KEY WORDS</b>	<p>Fixture, lathe, flange, semi work piece, hydraulic quick coupler, spindle, rotary unit, seal , cooler, labyrinth, shaft, construction, bearing, piston</p>

## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>7</b>
1.1	<i>Historie a současnost společnosti Hofmeister s.r.o. ....</i>	7
1.2	<i>Specifikace zadání diplomové práce .....</i>	8
1.3	<i>Cíl diplomové práce.....</i>	9
<b>2</b>	<b>Úvod do problematiky .....</b>	<b>9</b>
2.1	<i>Upínací přípravy.....</i>	10
2.1.1	Současný stav .....	10
2.1.2	Návrh řešení .....	11
<b>3</b>	<b>Hydraulické rychlospojky.....</b>	<b>12</b>
3.1	<i>Rešerše hydraulických rychlospojek .....</i>	12
3.1.1	Požadavky na hydraulické rychlospojky .....	12
3.1.2	Haberkorn Ulmer s.r.o. ....	13
3.1.3	Walther-Präcizion.....	15
3.1.4	Roemheld.....	18
3.2	<i>Konstrukce samouzavíracího zařízení .....</i>	24
<b>4</b>	<b>Seřízení upínacího přípravku .....</b>	<b>26</b>
<b>5</b>	<b>Stroje.....</b>	<b>28</b>
5.1	<i>Redukční kroužky.....</i>	29
<b>6</b>	<b>Univerzální adaptér .....</b>	<b>31</b>
6.1	<i>Zaslepení radiálních kanálů .....</i>	38
<b>7</b>	<b>Přívod médií .....</b>	<b>40</b>
7.1	<i>Průchod vřetenem.....</i>	41
7.2	<i>Hydraulický rotační rozvaděč.....</i>	44
7.2.1	Současný stav .....	46
7.2.1.1	Požadavky kladené na rotační rozvaděč .....	49
7.2.2	Rešerše rotačních rozvaděčů .....	49
7.2.2.1	Scott Rotary Seals.....	49
7.2.2.2	Roemheld.....	50
7.2.2.3	Duff-Norton .....	51
7.2.2.4	Deublin .....	52
7.2.2.5	Rotary Systems, Inc. ....	52
7.2.2.6	Zhodnocení nabízených produktů.....	53
7.2.3	Návrh řešení .....	54
7.2.3.1	Funkce hydrostatického rozvaděče .....	54
7.2.4	Stanovení rozměru spáry .....	55

7.2.4.1	Kontrolní výpočet .....	59
7.2.5	Konstrukční návrh hydrostatického rotačního rozvaděče .....	61
7.2.6	Konstrukční návrh segmentového hydrostatického rotačního rozvaděče .....	65
<b>8</b>	<b>Teplotní objemová roztažnost .....</b>	<b>69</b>
<b>9</b>	<b>Technicko-ekonomické hodnocení .....</b>	<b>73</b>
9.1	<i>Výpočet doby úhrady po zavedení nového produktu .....</i>	<i>74</i>
<b>10</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>75</b>
	<b>Poděkování .....</b>	<b>77</b>
	<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>78</b>



**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 1.1: Logo společnosti [2].....</i>	7
<i>Obr. 1.2: Firma Hofmeister na Borských polích [2].....</i>	7
<i>Obr. 1.3: Ilustrační obrázek soustružnického centra s inverzně vertikální osou [13] .....</i>	8
<i>Obr. 1.4: Příklad soustružnického centra s inverzně vertikální osou [14] .....</i>	8
<i>Obr. 1.5: Koncepce stroje a červeně vymezené oblasti řešené v diplomové práci .....</i>	9
<i>Obr. 2.1: Jeden ze současných upínacích přípravků.....</i>	10
<i>Obr. 2.2: Koncept řešení .....</i>	11
<i>Obr. 3.1: Tělo přípravku s kanály, které budou nahrazeny zástrčkou rychlospojky .....</i>	12
<i>Obr. 3.2: Rychlospojky Stucchi [3] .....</i>	13
<i>Obr. 3.3: Konstrukce rychlospojky (např. kuličková) [3] .....</i>	13
<i>Obr. 3.4: Označení závitů [3] .....</i>	13
<i>Obr. 3.5: Řez rychlospojkou řady A [3] .....</i>	14
<i>Obr. 3.6: Rozměry komponent [3] .....</i>	14
<i>Obr. 3.7: Hodnoty pro jednotlivé rozměrové řady [3] .....</i>	15
<i>Obr. 3.8: Rychlospojka řady CP [4] .....</i>	15
<i>Obr. 3.9: Rozměry komponent [4] .....</i>	16
<i>Obr. 3.10: Hodnoty pro jednotlivé rozměrové řady CP [4] .....</i>	16
<i>Obr. 3.11: Rychlospojka řady CT [4] .....</i>	17
<i>Obr. 3.12: Rozměry a varianty připojení [4] .....</i>	17
<i>Obr. 3.13: Hodnoty pro jednotlivé rozměrové řady CT [4] .....</i>	18
<i>Obr. 3.14: Rychlospojka F 9.428 [6] .....</i>	18
<i>Obr. 3.15: Rozměry spojovací vsuvky a otvoru pro zašroubování [6] .....</i>	19
<i>Obr. 3.16: Pracovní fáze [6] .....</i>	19
<i>Obr. 3.17: Hodnoty pro vsuvku a otvor na Obr. 3.15 [6] .....</i>	19
<i>Obr. 3.18: Rozměry spojovacího mechanismu a otvoru pro zašroubování [6] .....</i>	20
<i>Obr. 3.19: Hodnoty pro spojovací mechanismus a otvor na Obr. 3.18 [6] .....</i>	20
<i>Obr. 3.20: Rychlospojka F 9.430 [7] .....</i>	20
<i>Obr. 3.21: Rozměry vsuvky, spojovacího mechanismu a otvoru pro zašroubování [7] .....</i>	21
<i>Obr. 3.22: Hodnoty pro vsuvku, spojovací mechanismus a otvor na Obr. 3.21 [7].....</i>	21
<i>Obr. 3.23: Spojovacího mechanismus pro montáž bez lícování [7] .....</i>	22
<i>Obr. 3.24: Rychlospojka F 9.461 [8] .....</i>	22
<i>Obr. 3.25: Spojka v uzavřeném a otevřeném stavu [8] .....</i>	23
<i>Obr. 3.26: Výrobní požadavky na otvor pro vsuvku, její rozměry [8].....</i>	23
<i>Obr. 3.27: Schéma funkce navrženého samouzavíracího zařízení .....</i>	24
<i>Obr. 3.28: Znázornění situace před a po připojení.....</i>	25
<i>Obr. 3.29: Max. rozměry "zásuvky" .....</i>	25
<i>Obr. 3.30: Vyrobené díly seřazené v pořadí montáže. Vpravo je znázorněna aplikace klíče do drážky v matici pomocí zápichu pro o-kroužek, který se osadí následně po dotažení a vyjmutí klíče .....</i>	25

<i>Obr. 4.1: Schéma funkce a polohy navrženého seřizovacího zařízení</i> .....	26
<i>Obr. 4.2: Kompletní seřizovací zařízení v rozstřelu a v řezu izometrického pohledu</i> .....	26
<i>Obr. 4.3: Seřizovací zařízení umístěno 3x po 120° v naznačeném univerzálním adaptéru</i> .....	27
<i>Obr. 4.4: Vyrobené táhlo a víko připravené k montáži</i> .....	27
<i>Obr. 5.1: Vřeteno obráběcího stroje [9]</i> .....	28
<i>Obr. 5.2: Přehled zakončení vřeten a jejich rozměrů [10]</i> .....	28
<i>Obr. 5.3: Redukční kroužky [12]</i> .....	29
<i>Obr. 5.4: Typy redukčních kroužků dle způsobu montáže [12]</i> .....	29
<i>Obr. 5.5: Zleva doprava typ FF1, FF2 a FF3 [12]</i> .....	29
<i>Obr. 5.6: Rozměry pro řadu FF1 [12]</i> .....	30
<i>Obr. 5.7: Rozměry pro řadu FF2 [12]</i> .....	30
<i>Obr. 5.8: Rozměry pro řadu FF3 [12]</i> .....	30
<i>Obr. 5.9: Nabídka redukčních kroužků řady A [29]</i> .....	30
<i>Obr. 6.1: Pohled shora na rozmístění rychlospojek v prostoru</i> .....	31
<i>Obr. 6.2: Přidáno zařízení pro radiální seřízení přípravku</i> .....	31
<i>Obr. 6.3: Soustružnický polotovar univerzálního adaptéru</i> .....	32
<i>Obr. 6.4: Tvar a rozměry soustružnického polotovaru</i> .....	32
<i>Obr. 6.5: Univerzální adaptér osazený kroužky č. 24162000 a 24182010 od firmy SMW Autoblok</i> .....	33
<i>Obr. 6.6: Radiální vrtání v různém směru a v různých výškových hladinách při pohledu shora</i> .....	33
<i>Obr. 6.7: Sestava univerzálního adaptéru</i> .....	34
<i>Obr. 6.8: Pohled v ose rotace zdola</i> .....	34
<i>Obr. 6.9: 3D model univerzálního adaptéru v řezu</i> .....	35
<i>Obr. 6.10: Závitové otvory a jejich funkce</i> .....	35
<i>Obr. 6.11: Pohled na tělo příruby shora</i> .....	36
<i>Obr. 6.12: Tvar a rozměry otvorů zhotovených v univerzálním adaptéru pro uložení rychlospojek</i> .....	36
<i>Obr. 6.13: Vyrobené tělo univerzálního adaptéru</i> .....	37
<i>Obr. 6.14: Tělo při pohledu od vřetena stroje</i> .....	37
<i>Obr. 6.15: Montáž rychlospojky pomocí klíče</i> .....	37
<i>Obr. 6.16: Adaptér osazený rychlospojkami</i> .....	37
<i>Obr. 6.17: Namontované seřizovací zařízení</i> .....	37
<i>Obr. 6.18: Kompletně osazený adaptér</i> .....	37
<i>Obr. 6.19: Vřeteno (A6) obráběcího stroje</i> .....	38
<i>Obr. 6.20: Stroj osazen univerzálním adaptérem</i> .....	38
<i>Obr. 6.21: Kanály uzavřeny stavěcími šrouby</i> .....	38
<i>Obr. 6.22: Záslepky od firmy SKF [16]</i> .....	38
<i>Obr. 6.23: Hydraulické zátky s venkovním závitem [17]</i> .....	39
<i>Obr. 6.24: Expandér [18]</i> .....	39
<i>Obr. 6.25: Katalogový list expandéru [18]</i> .....	39
<i>Obr. 6.26: Materiálový list a provozní tlak pro ucpávku [18]</i> .....	39

<i>Obr. 6.27: Kanály univerzální přírubby utěsněny pomocí expandérů</i> .....	40
<i>Obr. 7.1: Koncepce stroje s vymezenými oblastmi pro řešení</i> .....	40
<i>Obr. 7.2: Zleva: vřeteno A6, redukce přišroubovaná ke vřetenu, přívodní tyč spojena s redukcí</i> .....	41
<i>Obr. 7.3: Detail spojení tyče s redukcí, přišroubované ke vřetenu</i> .....	42
<i>Obr. 7.4: Rozvodná tyč protažena vřetenem stroje</i> .....	42
<i>Obr. 7.5: Spodní konec tyče ukotven v nasazeném adaptéru</i> .....	43
<i>Obr. 7.6: Celkový pohled</i> .....	43
<i>Obr. 7.7: Bohatá škála nabízených produktů na trhu [19, 20, 21]</i> .....	44
<i>Obr. 7.8: Hlavní části rotační jednotky pro jedno médium [22]</i> .....	44
<i>Obr. 7.9: Šestikánalový rozvaděč v rozstřelu [23]</i> .....	45
<i>Obr. 7.10: Dvanáctikanalová rotační jednotka [30]</i> .....	45
<i>Obr. 7.11: Frézovací přípravek napájen pomocí rotačního rozvaděče [23]</i> .....	46
<i>Obr. 7.12: Rotační rozvaděč ve svislé poloze [5]</i> .....	46
<i>Obr. 7.13: Nakupovaný rotační rozvaděč na stroji</i> .....	47
<i>Obr. 7.14: Chladič rotační jednotky</i> .....	47
<i>Obr. 7.15: Popis zařízení v řezu</i> .....	48
<i>Obr. 7.16: Řez rotačním rozvaděčem</i> .....	48
<i>Obr. 7.17: Stávající jednotka s chladičem na stroji (vpravo štítek zaznamenávající teplotu zařízení)</i> .....	48
<i>Obr. 7.18: AP rozvaděč od společnosti SRS [25]</i> .....	49
<i>Obr. 7.19: Rotační rozvaděč F 9.281 a jeho vnější rozměry [25]</i> .....	50
<i>Obr. 7.20: Závislost otáček a rozběhového momentu na tlaku [25]</i> .....	50
<i>Obr. 7.21: HPMC zařízení pro vysoké otáčky [26]</i> .....	51
<i>Obr. 7.22: Závislost otáček na tlaku média (kde 175 psi = 12 bar) [26]</i> .....	51
<i>Obr. 7.23: Rotační jednotka Deublin</i> .....	52
<i>Obr. 7.24: Zařízení typu 017 pro 5 radiálních kanálů [24]</i> .....	52
<i>Obr. 7.25: Závislost otáček na tlaku [24]</i> .....	52
<i>Obr. 7.26: Dvoukanalový hydrostatický rozvaděč [27]</i> .....	53
<i>Obr. 7.27: Provozní podmínky [27]</i> .....	53
<i>Obr. 7.28: Návrh hydrostatického rotačního rozvaděče pro 4 kanály tlakového oleje</i> .....	55
<i>Obr. 7.29: Katalogový list různých druhů olejů VG [28]</i> .....	56
<i>Obr. 7.30: Vztah mezi průtokem oleje <math>Q_L</math> a délkou spáry <math>L</math></i> .....	57
<i>Obr. 7.31: Vztah mezi průtokem oleje <math>Q_L</math> a optimální poloměrovou vůlí <math>h_0</math></i> .....	57
<i>Obr. 7.32: Rozměry těla a hřídele rozvaděče tvořící spáru</i> .....	58
<i>Obr. 7.33: Dosednutí při maximální možné excentricitě</i> .....	59
<i>Obr. 7.34: Řez tělem s popisky zápichů</i> .....	62
<i>Obr. 7.35: Chladičí kanál skrz tělo</i> .....	62
<i>Obr. 7.36: Hřídel rotačního rozvaděče</i> .....	63
<i>Obr. 7.37: Sestava jednotky s hřídelem</i> .....	63
<i>Obr. 7.38: Rozvaděč opatřen víčky</i> .....	64

<i>Obr. 7.39: Řešení přívodu tlakového vzduchu .....</i>	64
<i>Obr. 7.40: Řez drenážními kanály.....</i>	64
<i>Obr. 7.41: Zkonstruovaný rotační rozvaděč .....</i>	64
<i>Obr. 7.42: Tělo dolní s popisky zápichů.....</i>	65
<i>Obr. 7.43: Izometrický pohled .....</i>	65
<i>Obr. 7.44: Sestava těla horního .....</i>	66
<i>Obr. 7.45: Chladicí kanál skrz těla .....</i>	66
<i>Obr. 7.46: Kompletní sestava jednotky .....</i>	67
<i>Obr. 7.47: Řez drenážními kanály.....</i>	67
<i>Obr. 7.48: Řez vedoucí skrz svorníky .....</i>	67
<i>Obr. 7.49: Řez chladícím okruhem.....</i>	67
<i>Obr. 7.50: Sestava segmentu těla - mezikusu .....</i>	68
<i>Obr. 7.51: Zleva řez přívody médií, dále drenážemi, závitovými svorníky a vpravo chladícími kanály .....</i>	68
<i>Obr. 8.1: Hřídél rotačního rozvaděče zatížen teplotou 60°C a zafixován v prostoru .....</i>	70
<i>Obr. 8.2: Zasiťování modelu pro výpočet MKP .....</i>	71
<i>Obr. 8.3: Prodloužení - výsledek analýzy zatěžování teplotou 60°C.....</i>	71
<i>Obr. 8.4: Rozdíl mezi modelem při teplotě 20°C a 60°C (max. prodloužení 200 krát zvětšeno) .....</i>	71
<i>Obr. 8.5: Segment těla rotačního rozvaděče zatížen teplotou a zafixován v prostoru .....</i>	72
<i>Obr. 8.6: Zasiťování modelu pro výpočet MKP .....</i>	72
<i>Obr. 8.7: Prodloužení - výsledek analýzy zatěžování teplotou 60°C.....</i>	72
<i>Obr. 8.8: Rozdíl mezi modelem při teplotě 20°C a 60°C (max. prodloužení 200 krát zvětšeno) .....</i>	72

# 1 Úvod

Zadavatelem diplomové práce je společnost Hofmeister s.r.o.

## 1.1 Historie a současnost společnosti Hofmeister s.r.o.

Společnost Hofmeister s.r.o. je ryze česká rodinná firma, zabývající se vývojem, výrobou a prodejem nářadí pro kovoobrábění. Založili ji bratři Jindřich a Václav Hofmeisterovi v roce 1990. Dnes v tomto směru firma úspěšně pokračuje, specializuje se především na výrobu standardních a speciálních obráběcích nástrojů. Soustředí se také na vývoj a výrobu měřících i upínacích přípravků mechanicky, pneumaticky či hydraulicky ovládaných. Oborově ji lze začlenit do oblasti přesného strojírenství, své výrobky dodává do celého světa a to nejen v oblasti automobilového průmyslu. Firma se zaměřuje i na obchodní činnost v oblasti distribuce kompletního sortimentu nářadí pro kovoobrábění včetně brusiva a měřidel. Její podnikatelské aktivity jsou založeny na vstřícném a flexibilním přístupu vůči zákazníkům. Hlavním cílem podnikání je budování dlouhodobých vztahů se zákazníky prostřednictvím zavádění nových technologií, zvyšování kvality a spolehlivosti výrobků a služeb. Společnost figuruje v programu celoživotního vzdělávání, úzce spolupracuje se Západočeskou univerzitou a Střední průmyslovou školou strojnickou v Plzni. V roce 2001 se firma Hofmeister přestěhovala do vlastního výrobního závodu na Borských polích a nyní v ní pracuje okolo 100 zaměstnanců. [1, 2]



Obr. 1.1: Logo společnosti [2]

Mezi její další činnosti patří:

- prodej profesionálního nářadí a technické poradenství pro kovoobrábění
- vývoj a výroba obráběcích nástrojů s VBD
- vývoj a výroba speciálních nástrojů pro vysokorychlostní obrábění
- vývoj a výroba monolitních obráběcích nástrojů
- vývoj a výroba frézovacích i soustružnických upínacích přípravků
- výroba forem pro vstřikování plastů
- montáž a servis filtračních systémů pro obrábění kovů
- ostření nástrojů
- CNC obrábění
- konstruování ve 3D
- certifikovaná kontrola

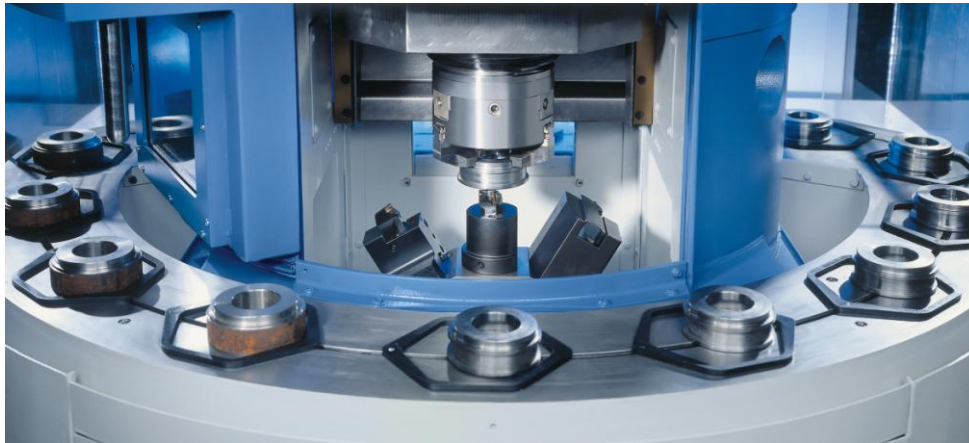


Obr. 1.2: Firma Hofmeister na Borských polích [2]

## 1.2 Specifikace zadání diplomové práce

Tématem diplomové práce je systém rychlé výměny rotačních hydraulických přípravků a jejich seřízení pro minimalizaci času "change - over - time".

Tyto soustružnické přípravky navrhované a vyráběné firmou Hofmeister jsou osazovány výhradně na soustružnická centra s inverzně vertikální osou. Jde o stroje se svislým vřetenem, ke kterému je připevněný přípravek. Obráběný polotovar upnutý v přípravku tedy vykonává všechny řezné pohyby včetně příjezdů k paletám sloužícím pro automatickou výměnu polotovarů. Klasické i poháněné nástroje jsou upnuty v revolverové hlavě s vodorovnou osou rotace.



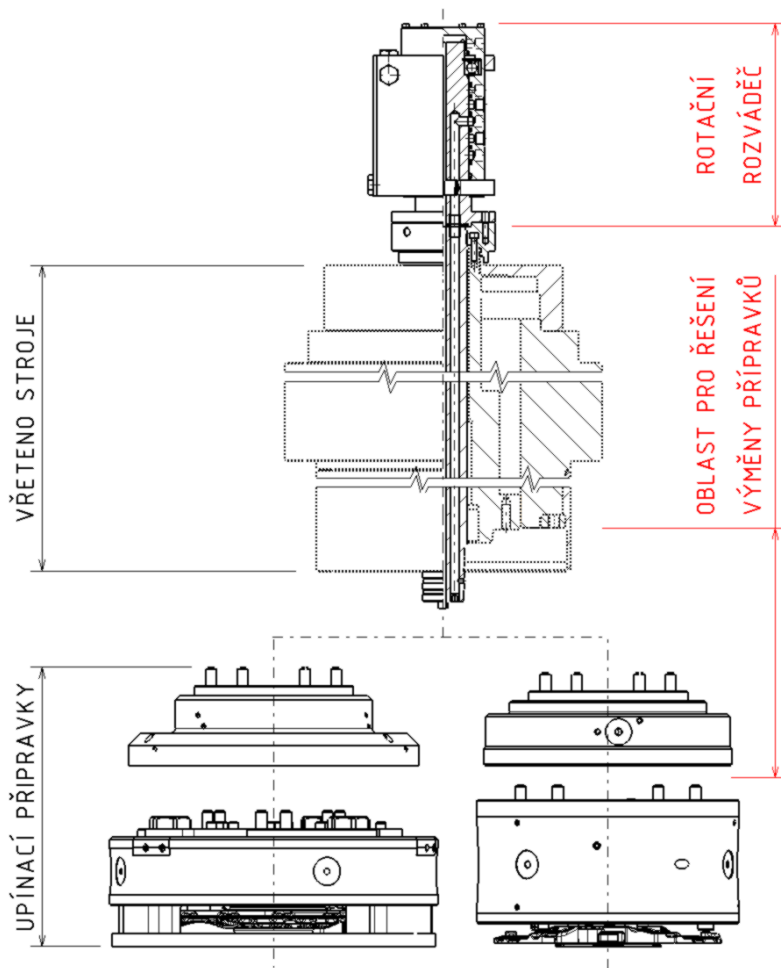
Obr. 1.3: Ilustrační obrázek soustružnického centra s inverzně vertikální osou [13]

Vzájemná zaměnitelnost přípravků a tedy jejich rychlá výměna bude řešena pomocí univerzálního adaptéru - přírubě nastálo připojené ke vřetenu stroje, jejíž návrh bude součástí práce. K této přírubě bude možné připojit různé hydraulické přípravky a to ve stavu, kdy budou kanály s ovládacím hydraulickým olejem pod tlakem. Požadavkem na toto připojení / odpojení přípravků je, aby probíhalo bezztrátově - bezodkapově. Oblast pro řešení zadání diplomové práce je vyznačena na Obr. 1.5, na němž jsou mimo jiné schematicky znázorněny dva různé upínací přípravky a svislé vřeteno stroje.



Obr. 1.4: Příklad soustružnického centra s inverzně vertikální osou [14]

Součástí diplomové práce je také řešení přívodu tlakového ovládacího média vřetenem stroje do navrženého univerzálního adaptéru. Pro přechod média ze stacionární části stroje do rotujícího vřetená bude navrženo zařízení - rotační rozvaděč pro více kanálů, pro tlak ovládacího média 50 barů a pro 2 500 otáček za minutu. Toto zařízení je znázorněno v horní části *Obr. 1.5*.



*Obr. 1.5: Koncepce stroje a červeně vymezené oblasti řešené v diplomové práci*

### 1.3 Cíl diplomové práce

Cílem práce je navrhnout komplexní řešení problematiky popsané ve specifikaci zadání, vyvinout příslušné zařízení, které bude splňovat zadané podmínky a svými vlastnostmi bude konkurovat výrobkům na trhu. Dalším požadavkem je jednoduchost, finanční únosnost a samozřejmě co nejnižší nároky na údržbu a opravy. Mezi vedlejší požadavky patří rozměry zařízení, hmotnost a využití moderních technologií.

## 2 Úvod do problematiky

V této části práce jsou podrobně popsány úskali jednotlivých částí kompletního řešení z nynějšího stavu až do stavu, který je cílem diplomové práce. Po zhodnocení stávajícího řešení budou vybrány komponenty a zařízení potřebné pro rychlou výměnu rotačních hydraulických přípravků a jejich seřízení pro minimalizaci času "change - over - time". Poté bude provedena rešerše těchto zařízení na trhu, srovnání jednotlivých koncepcí, konstrukčních provedení, užitných vlastností a aplikací.

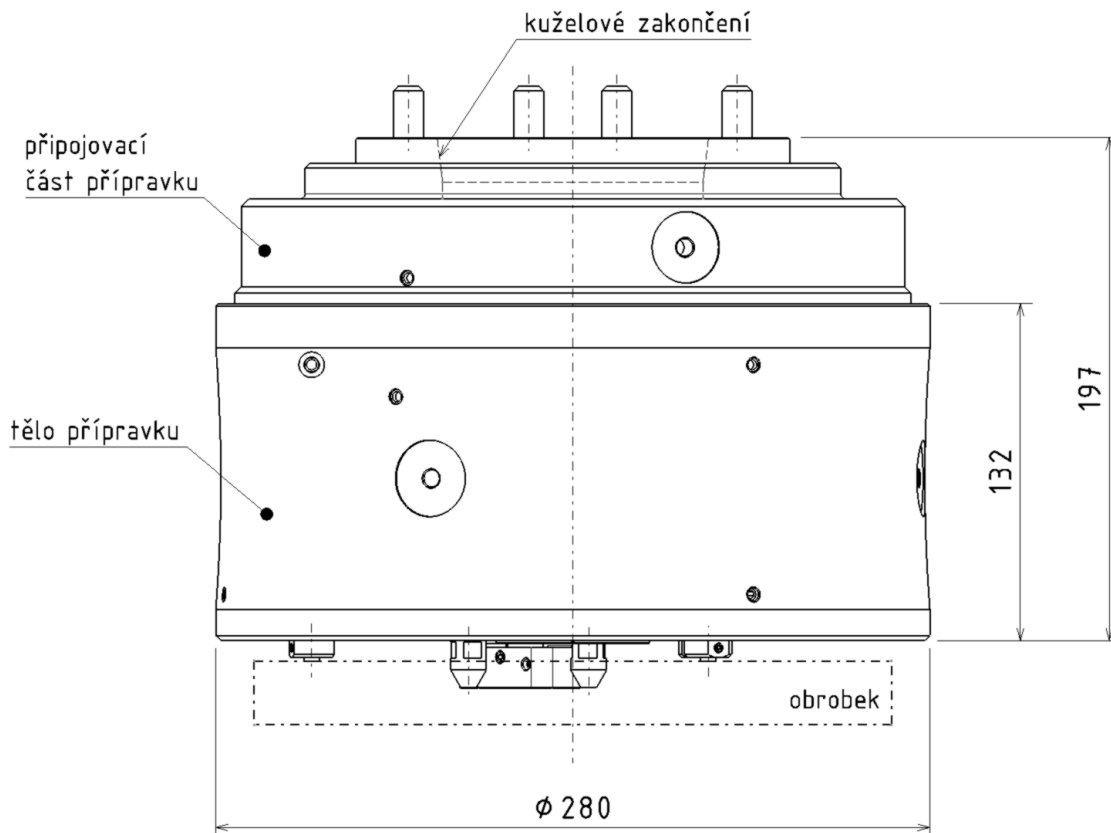
## 2.1 Upínací přípravky

### 2.1.1 Současný stav

Firma Hofmeister již vyvinula a vyrobila několik soustružnických upínacích přípravků pro konkrétního zákazníka. Jedná se o zařízení nemalých rozměrů a hmotností, proto je manipulace s nimi obtížná a čas pro výměnu a seřízení velmi dlouhý.

Přípravky jsou hydraulicky ovládané zpravidla čtyřmi okruhy tlakového oleje. Funkce přípravků spočívá ve dvou krocích. Prvním krokem je polohování a přidržování obrobku v přípravku ve správné poloze a to v okamžiku, kdy přejímá polotovar z palety. Tento stav před upnutím je zajištěn zpravidla dvojčinnými písty, tedy dvěma kanály tlakového média. Druhým krokem je samotné upnutí do stavu, při kterém je možné obrábět. Na upínání je zapotřebí zbývajících dvou kanálů hydraulického oleje, který ovládá opět dvojčinné písty. Pátým médiem používaným v přípravcích je tlakový vzduch, sloužící především jako detekce správně upnutého polotovaru v okamžiku před zahájením obráběcích operací. Vzduch vyúsťuje otvory v dosedacích plochách mezi přípravkem a obrobkem a při upnutí ve správné poloze dojde ke škrcení. Řídicí jednotka stroje sleduje nárůst či pokles tlaku nebo průtoku vzduchu během celé operace.

Na *Obr. 2.1* je znázorněn upínací přípravek pro konkrétní součást. Skládá se ze dvou hlavních dílů. Připojovací část je napevno přišroubována ke vřetenu stroje, které má kuželové zakončení. Druhá část - tělo přípravku obsahuje veškeré ovládací a upínací prvky a je přišroubováno k "horní" připojovací části. Oba dva díly je možné vůči sobě seřídít do osy a to poklepem těla před utažením šroubů. Ovšem tento způsob seřízení je nepřesný a velice zdlouhavý.



*Obr. 2.1: Jeden ze současných upínacích přípravků*



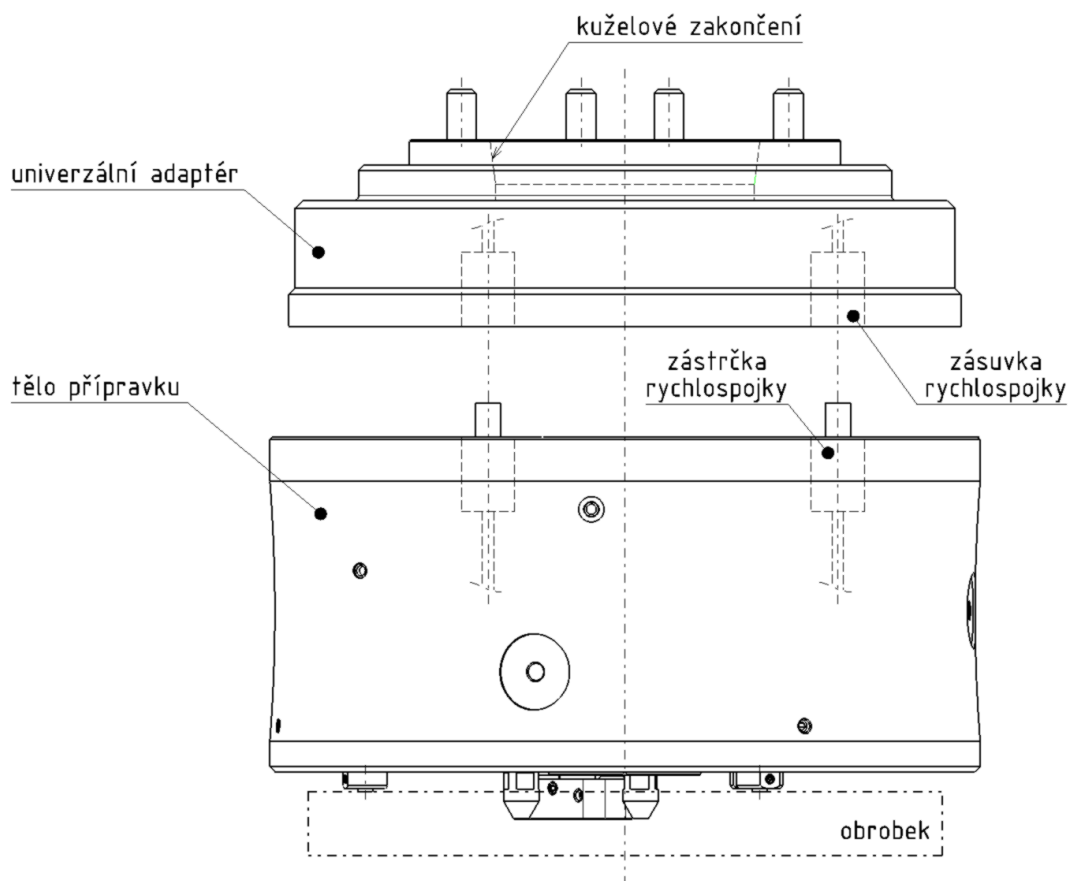
### 2.1.2 Návrh řešení

Jedním z hlavních cílů práce je vzájemná zaměnitelnost přípravků a jejich rychlá výměna mezi různými stroji. Cílem tohoto požadavku je snaha dosáhnout maximálního vytížení strojů, které bude možno snadno osadit přípravkem pro obrábění dílu, který je v danou chvíli prioritním. Při velké škále typově podobných obrobků je tento postup ekonomicky výhodný a důraz je kladen i na časovou náročnost potřebnou pro osazení a seřízení.

Tato výměna by měla proběhnout na zapnutém stroji, tedy ve stavu, kdy budou kanály s ovládacím hydraulickým olejem pod tlakem.

Na *Obr. 2.2* je schematicky znázorněn návrh řešení. "Horní" připojovací část bude nahrazena univerzálním adaptérem - přírubou, která bude nastálo připojená ke vřetenu stroje a zároveň bude vždy pod tlakem oleje. K ní bude možno připojit libovolný upínací přípravek. Požadavkem na toto připojení / odpojení je, aby probíhalo bezztrátově - bezodkapově. Pro splnění tohoto předpokladu bude mezi adaptérem a tělem přípravku použito zařízení na principu hydraulických rychlospojek.

Dále by toto řešení mělo obsahovat zařízení pro komfortní a rychlé seřízení těla přípravku do osy univerzálního adaptéru.



*Obr. 2.2: Koncept řešení*

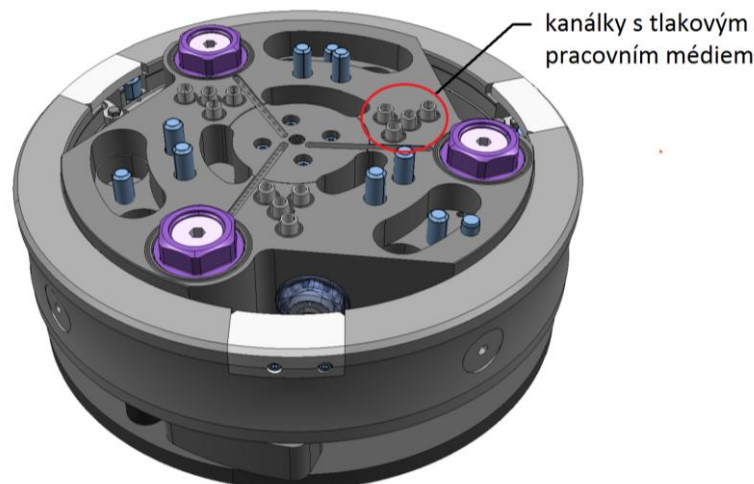
### 3 Hydraulické rychlospojky

Vysokotlaké rychlospojky slouží k rychlému a snadnému spojování nebo rozpojování hydraulických obvodů a nacházejí široké uplatnění ve strojírenství, letectví, potravinářství, dále v chemických, stavebních, zemědělských a jiných specifických odvětvích a zařízeních. Použití rychlospojek usnadňuje montáž a demontáž zařízení a umožňuje rychlou výměnu hydraulických modulů, což přináší úsporu času a nákladů. Převážná většina vysokotlakých rychlospojek je vyráběna podle ISO norem. Nejčastěji jsou v hydraulice používány normy: ISO 7241-1 A (ISO - A) – Evropský standard; ISO 7241-1 B (ISO - B) – Americký standard; ISO 16028. [3]

#### 3.1 Rešerše hydraulických rychlospojek

##### 3.1.1 Požadavky na hydraulické rychlospojky

Při výběru rychlospojek je nutné respektovat konstrukční řešení již existujících přípravků. Kanály vedoucí k pracovním pístům jsou vzhledem k průtoku oleje dimenzovány na průměr 5 mm, spojovací zařízení tedy nesmí olej škrtit. Dále je zde požadavek na maximální rozměr rychlospojky, protože kanály v přípravku již mají danou svou polohu viz *Obr. 3.1*. Na tomto obrázku je znázorněn vyrobený přípravek současného stavu, který bude následně upraven tak, aby ho bylo možné připojit k univerzálnímu adaptéru, jak je naznačeno na *Obr. 2.2* v kapitole návrh řešení. Pro seřízení přípravku do osy je nutné, aby spojovací zařízení nabízelo dostatečnou radiální vůli.



*Obr. 3.1: Tělo přípravku s kanály, které budou nahrazeny zástrčkou rychlospojky*

Vydefinované požadavky na hydraulické rychlospojky:

- max. pracovní tlak           do 100 bar
- systém zapojení            automatický
- systém uzavření            bezodkapový
- provozní teplota           do 100 °C
- nominální průměr         5 mm
- radiální vůle               ±0.5 mm
- rozměr D max               20 mm

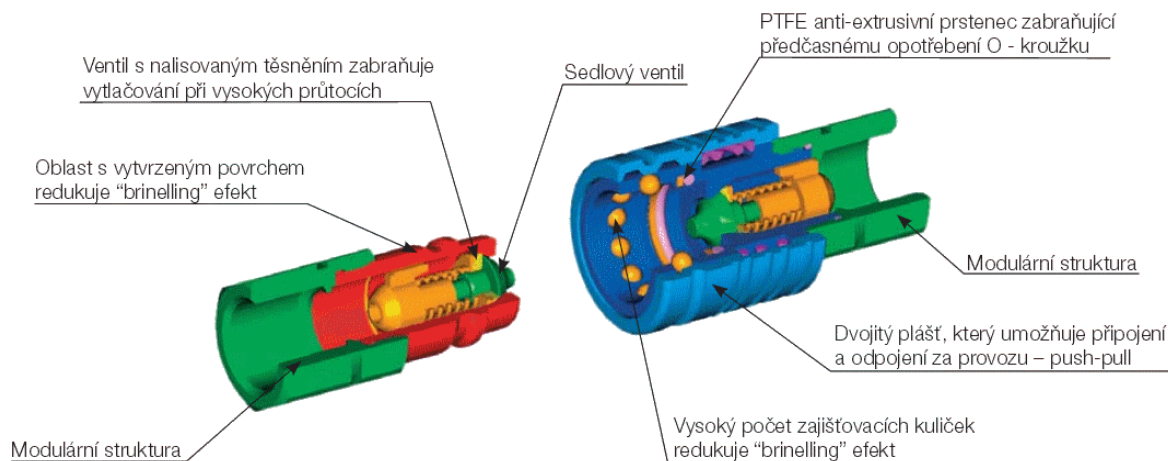
Je třeba zvolit takový typ hydraulické rychlospojky, který bude tyto požadavky splňovat.

### 3.1.2 Haberkorn Ulmer s.r.o.

V oblasti rychlospojek tato firma spolupracuje s renomovaným italským výrobcem Stucchi S.p.A, který nabízí hydraulické komponenty v různých materiálech a technických řešeních jako jsou například rychlospojky bezodkapové, kuličkové, PUSH PULL nebo šroubovací. Firma Stucchi patří mezi celosvětovou špičku výrobců rychlospojek a od ostatních výrobců se liší neustálým přílivem inovativních a progresivních řešení v oblasti hydraulických spojů. [3]



Obr. 3.2: Rychlospojky Stucchi [3]



Obr. 3.3: Konstrukce rychlospojky (např. kuličková) [3]

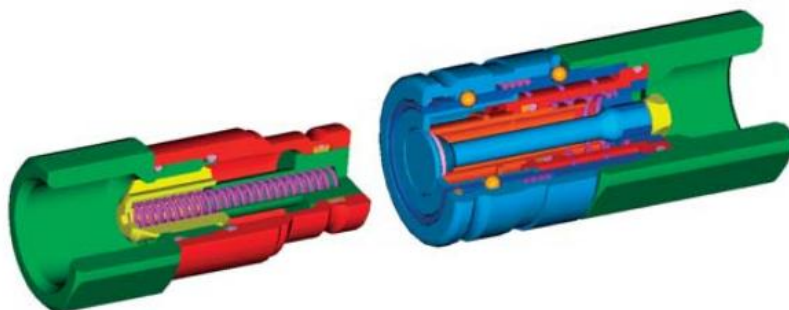
Rychlospojky se dodávají v provedení s vnitřním nebo vnějším závitem. Modulární struktura umožňuje zapojení rychlospojky bez přidavného šroubení přímo do obvodu. Stejně jako šroubení tak i některé rychlospojky mají možnost využít provedení závitů v lehké nebo těžké řadě a také možnost prodlouženého závitu, který se využívá při zapojení rychlospojky do panelu.



Obr. 3.4: Označení závitu [3]

- Série A - vnější závit AG

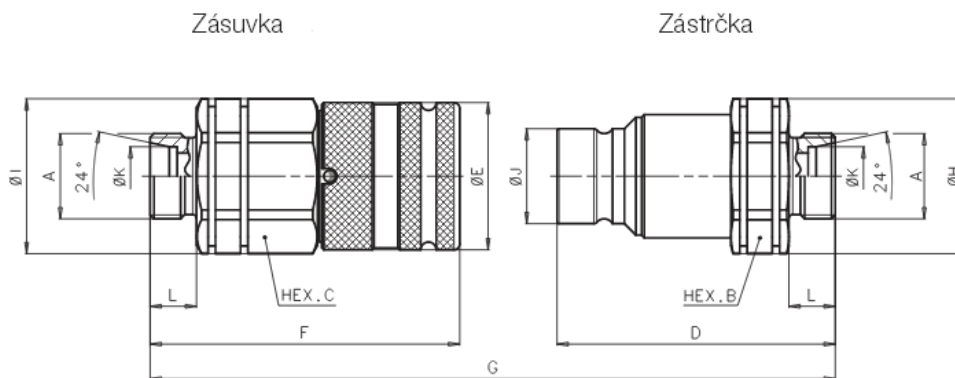
Série A je prémiová řada se specifickými vlastnostmi zajišťujícími této spojce vedoucí postavení v mnoha hydraulických aplikacích, kde je zapotřebí vysoký výkon zahrnující tlakové impulsy s odstraněním ztráty tekutiny a nečistot v obvodu. Série A má patentovanou vnitřní konstrukci s integrovaným uzavíracím mechanismem, který výrazně snižuje předčasné opotřebení pohybem mezi spojovacími díly způsobené pulzním tlakem a vahou hadice, když se spojka nachází v horizontální poloze. Pozoruhodná je jednoduchost spojení, kdy zásuvku se zástrčkou můžeme spojit a rozpojit pouze jednou rukou. Rychlospojka obsahuje těsnění z nitrilu se speciálním tvarováním zamezujícím vytlačování kroužku v teflonu a dále bezpečnostní zámek zabraňující náhodnému rozpojení. Non-spill konstrukce zabraňuje úniku kapaliny při připojení / odpojení a zároveň průniku vzduchu do soustavy. Modulární struktura umožňuje vysokou flexibilitu spojení. Spojky jsou k dispozici od velikosti 1/8" až 1 1/2" s velkým výběrem závitů. [3]



Obr. 3.5: Řez rychlospojku řady A [3]

Technická data:

- |                       |                                  |
|-----------------------|----------------------------------|
| • max. pracovní tlak  | do 420 bar                       |
| • zaměnitelné s       | ISO 16028                        |
| • systém zapojení     | stáhnutí kroužku                 |
| • systém uzavření     | bezodkapový                      |
| • závit AG            | vnější podle DIN 2353/ISO 8434-1 |
| • řada                | L - lehká                        |
| • provozní teplota    | -20 °C až 100 °C                 |
| • zapojení pod tlakem | ne                               |
| • radiální vůle       | ± 0.1 mm                         |



Obr. 3.6: Rozměry komponent [3]

BG	ISO DN	Typ	Řada	A Závit	HEX		D	E	F	G	J	K	L	Pracovní tlak max.
					B	C								
1	6,3	A7	L8	M14x1,5	22	27	51,9	28	52,1	93,2	16,1	8,2	10	420
1	6,3	A7	L10	M16x1,5	22	27	52,9	28	53,1	95,2	16,1	10,2	11	420
2	10	A9	L10	M16x1,5	30	30	65,5	32	69,6	119,1	19,7	10,2	11	350
2	10	A9	L12	M18x1,5	30	30	65,5	32	67,6	117,1	19,7	12,2	11	350
2	10	A9	L15	M22x1,5	30	30	66,5	32	68,6	119,1	19,7	15,2	12	350
2	10	A9	L18	M26x1,5	30	30	66,5	32	68,6	119,1	19,7	18,2	12	350
3	12,5	A13	L12	M18x1,5	36	36	71,0	38	79,1	132,8	24,5	12,2	11	330
3	12,5	A13	L15	M22x1,5	36	36	72,0	38	80,1	134,8	24,5	15,2	12	330
3	12,5	A13	L22	M30x2	36	36	74,0	38	82,1	138,8	24,5	22,2	14	330
4A	16	A15	L15	M22x1,5	36	41	73,0	42	84,5	139,9	27,0	15,2	12	330
4A	16	A15	L18	M26x1,5	36	41	73,0	42	82,0	137,4	27,0	18,2	12	330
4A	16	A15	L22	M30x2	36	41	74,0	42	81,4	137,8	27,0	22,2	14	330
4	19	A17	L18	M26x1,5	46	46	89,0	48	101,3	168,3	30,0	18,2	12	330
4	19	A17	L22	M30x2	46	46	89,0	48	100,3	167,3	30,0	22,2	14	330

Obr. 3.7: Hodnoty pro jednotlivé rozměrové řady [3]

### 3.1.3 Walther-Präzision

Od roku 1951 vyrábí a vyvíjí WALTHER-PRÄZISION monospojky a multispojky, které jsou nasazovány všude tam, kde jsou přenášeny a bezpečně rozpojovány kapaliny, páry, plyny, elektrické a optické signály, stejně jako silová elektřina. Výrobní program s téměř 400 000 nabízenými variantami je celosvětově nejširší v oblasti monospojek, multispojek a dockingsystémů (automatických multispojek). [4]

- Série CP

Ekologické spojky řady CP s konstrukcí pro snadné připojování a odpojování jsou vhodné pro střední tlaky do 250 bar. Tato řada je vhodná pro všechny aplikace, které vyžadují minimální únik, vysoký průtok a jednoduchou manipulaci. Výhodou je možnost ručního odblokování bezpečnostního zařízení, což nabízí bezpečnost pro všechny procesy. [4]

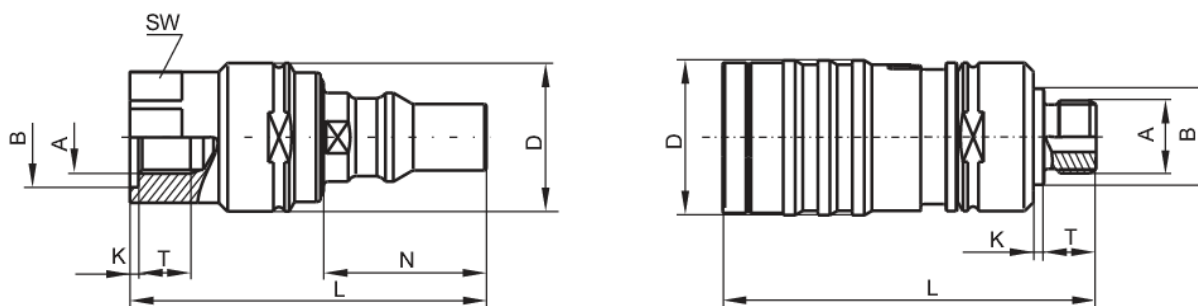


Obr. 3.8: Rychlospojka řady CP [4]

Bezodkapová konstrukce umožňuje rozpojení bez sebemenších ztrát a zároveň brání vnikání okolního vzduchu do soustavy. Zároveň nedochází k rozstříku kapaliny. Všechny části rychlospojky jsou vyrobeny z nerezové oceli. Řada CP se vyznačuje vysokým průtokem a minimální tlakovou ztrátou, snadným použitím bez námahy a to i pro nemazací kapaliny. Zařízení je opatřeno bezpečnostním zámekem, který brání náhodnému rozpojení pod tlakem. [4]

Technická data:

- max. pracovní tlak do 250 bar
- zaměnitelné s ISO 16028
- systém zapojení stáhnutí /zatlačení kroužku
- systém uzavření bezodkapový
- závit vnější podle DIN 2353/ISO 8434-1
- řada lehká
- provozní teplota -20 °C až 130 °C
- zapojení pod tlakem do 8 bar
- radiální vůle 0.05 až 0.1 mm



Obr. 3.9: Rozměry komponent [4]

	Bestellnummer part number	Anschluss A connection A	Form	D	SW	L	T	B	K	N	Gewicht weight [g]
Verschluss- kupplung self-sealing coupling	<b>CP-006-0-S1018-02-2</b>	M 18 x 1,5	I	35,5	32	86,5	12	–	–	–	380
	<b>CP-006-0-WB017-02-2</b>	G 3/8 A	II	35,5	32	87,5	12	22	2,5	–	390
	<b>CP-006-0-WX517-02-2</b>	G 3/8	III	35,5	32	94	12	23	2	–	435
Verschluss- nippel self-sealing adaptor	<b>CP-006-2-S1018-02-2</b>	M 18 x 1,5	I	35,5	32	76	12	–	–	37,6	230
	<b>CP-006-2-WB017-02-2</b>	G 3/8 A	II	35,5	32	78,5	12	22	2,5	37,6	235
	<b>CP-006-2-WX517-02-2</b>	G 3/8	III	35,5	32	84	12	23	2	37,6	285

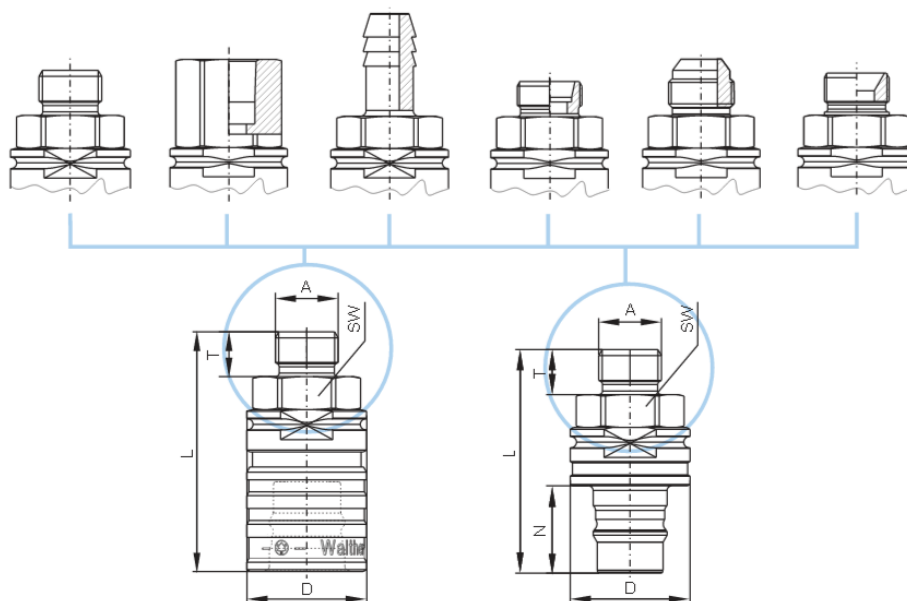
Obr. 3.10: Hodnoty pro jednotlivé rozměrové řady CP [4]

- Série CT

Bezodkapové spojky řady CT jsou nejnovější generací rychlospojek pro nízké tlaky vycházející z předchozí řady. Tato série je vhodná pro všechny aplikace, které vyžadují minimální únik a nejjednodušší manipulaci. Také nabízí vysoký průtok v důsledku optimalizované geometrie ventilu a více konstrukčních variant připojení zástrček a zásuvek viz Obr. 3.12. [4]



Obr. 3.11: Rychlospojka řady CT [4]



Obr. 3.12: Rozměry a varianty připojení [4]

Technická data:

- |                       |   |
|-----------------------|---|
| • max. pracovní tlak  | do 64 bar   |
| • zaměnitelné s       | ISO 16028   |
| • systém zapojení     | stáhnutí / zatlačení kroužku                          |
| • systém uzavření     | bezodkapový   |
| • závit               | vnější / vnitřní dle DIN 2353/ISO 8434-1, DIN ISO 228 |
| • řada                | lehká   |
| • provozní teplota    | -20 °C až 130 °C                                      |
| • zapojení pod tlakem | do 30 bar   |
| • radiální vůle       | 0.03 až 0.1 mm  |

	Bestellnummer Part number kurzfristig lieferbar available at short notice	Anschluss A Connection A	Form	Reihe Series	Rohr AD Pipe OD	DN	D	SW	L	T	N	Gewicht Weight (g)
Verschlusskupplung Self-sealing coupling	CT-003-0-WR010-02-2	G 1/8A	I				21,4	14	61,7	8		98
	CT-003-0-WR013-02-2	G 1/4A	I				21,4	14	64,7	11		104
	CT-003-0-WR510-02-2	G 1/8	II				21,4	14	63,7	9		104
	CT-003-0-SL004-02-2	4 mm	III				21,4	14	72,9	18		97
	CT-003-0-SL006-02-2	6 mm	III				21,4	14	78,7	25		98
Verschlussnippel Self-sealing adaptor	CT-003-2-WR010-02-2	G 1/8A	I				21,4	14	47,5	8	22,2	43
	CT-003-2-WR013-02-2	G 1/4A	I				21,4	14	50,5	11	22,2	49
	CT-003-2-WR510-02-2	G 1/8	II				21,4	14	49,5	9	22,2	49
	CT-003-2-SL004-02-2	4 mm	III				21,4	14	58,7	18	22,2	42
	CT-003-2-SL006-02-2	6 mm	III				21,4	14	64,5	25	22,2	43

Obr. 3.13: Hodnoty pro jednotlivé rozměrové řady CT [4]

### 3.1.4 Roemheld

Firma Roemheld tvoří spolu s Hilma Stark skupinu společností, které nabízí širokou škálu produktů v oblasti energetiky a upínání pro výrobní inženýrství. Sortiment je doplněn o mnoho hydraulických prvků pro všeobecné průmyslové použití, součástí pro systém montáže a pro technologie lineárních pohonů. Vzhledem k rozmanitosti produktů a k dlouholetým zkušenostem je skupina Roemheld schopna rozvíjet a nabízet systémová řešení napříč společnostmi. Celosvětově má v současné době vedoucí postavení na trhu v oblasti hydraulického upínání pro kovoobráběcí výrobní techniku.

Velký počet dceřiných společností ve Velké Británii, Francii, USA, Japonsku a Jižní Koreji, stejně jako mnoho obchodních partnerů po celém světě zaručuje společnosti Roemheld efektivní prodej, rozsáhlý servis a intenzivní konzultace pro zákazníky. [5]

- Typ F 9.428



Obr. 3.14: Rychlospojka F 9.428 [6]

Tyto spojky se používají za účelem přenosu kapalných nebo plyných médií jako hydraulický olej nebo stlačený vzduch, např. v obráběcích strojích zejména pro přenos od stolu obráběcího stroje do držáku nástroje či přípravku. Díky svým kompaktním rozměrům mohou být velmi dobře integrovány do jednotlivých těles. Spojovací mechanismus a spojovací vsuvka jsou vybaveny axiálním těsněním, z čehož plyne krátký spojovací zdvih 4 mm a hladká čelní strana spojovacího mechanismu. Roemheld nabízí vestavěná i závitová těla viz Obr.

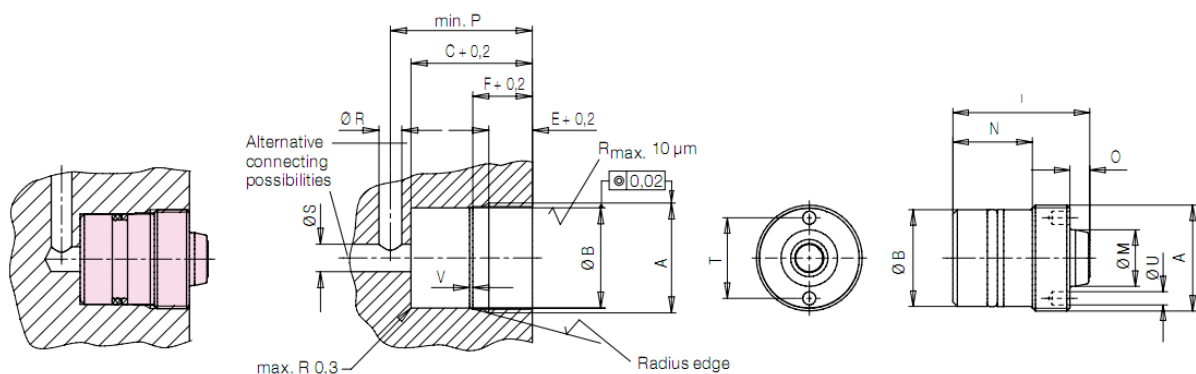


3.14. Vestavěné typy jsou určeny pro montáž do desek a jsou zvláště vhodné pro použití v multispojčkách. Závítové typy mohou být zašroubovány přímo do těla a jsou proto optimální pro spojení mezi dvěma komponentami, jako např. základní a výměnný přípravek. [6]

Technická data:

- max. pracovní tlak do 350 bar
- systém zapojení automatický
- síla pro zapojení 82 N
- systém uzavření bezodkapový
- řada střední
- provozní teplota do 100 °C
- radiální vůle 0.1 až 0.2 mm

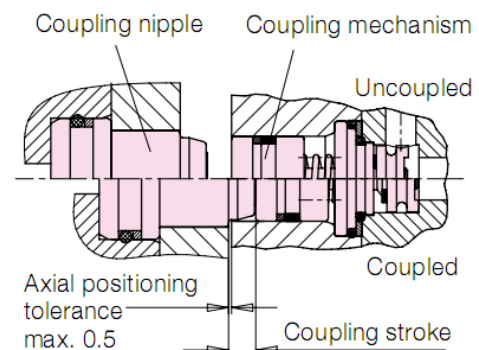
Výhody: spojovací prvky z nerezové oceli, minimální rozměry pro instalaci, tři různé jmenovité světlosti pro optimální přizpůsobení průtoku, přenos hydraulického oleje, stlačeného vzduchu a vakua, velké axiální polohovací tolerance, zapuštění spojovacího mechanismu, s čímž je spojeno jednoduché čištění a snižuje se riziko kontaminace, jednoduchá výroba otvoru pro zašroubování, výběr z mnoha variant. [6]



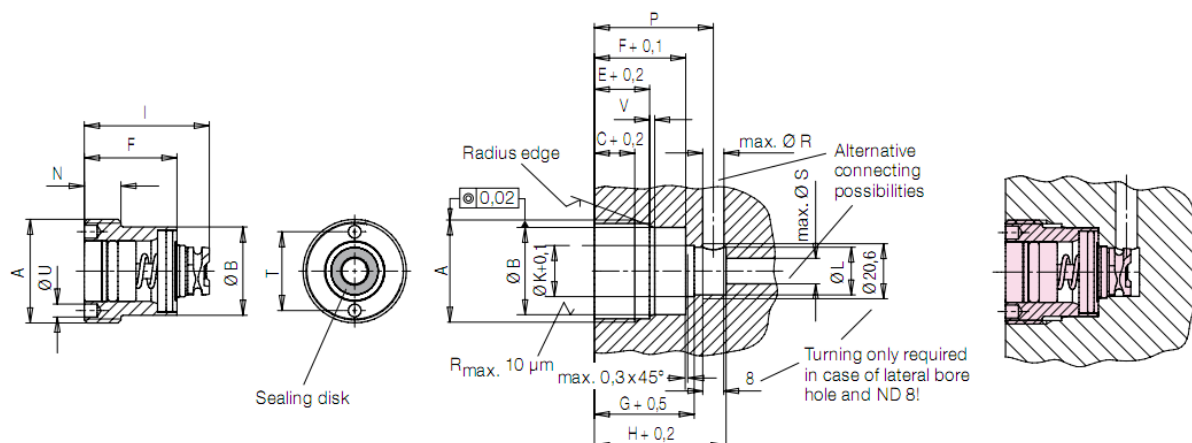
Obr. 3.15: Rozměry spojovací vsuvky a otvoru pro zašroubování [6]

Coupling nipple	Built-in	Threaded-body	Built-in	Threaded-body
ND	3	3	5	5
A	[mm] 20 H7	M20x1.5	20 H7	M24x1.5
B	[mm] 15.8	17 H7	15.8	21.9 H8
C	[mm] 10	22	10	26.5
D	[mm] 11.5	-	11.5	-
E	[mm] -	9.5	-	9.5
F	[mm] -	11	-	13
H	[mm] 16	-	16	-
I	[mm] 25.9	26.5	25.9	31
M	[mm] 9.8	9.8	13.5	12.8
N	[mm] 10	13.5	10	18
O	[mm] 4.5	4.5	4.5	4.5
P	[mm] 14	27	14	31
R	[mm] 5	5	5	5
S	[mm] 5	6	5	6
T	[mm] -	15	-	18.25
U	[mm] -	3	-	3
V	[°] -	1.5x20°	-	0.7x15°

Obr. 3.17: Hodnoty pro vsuvku a otvor na Obr. 3.15 [6]



Obr. 3.16: Pracovní fáze [6]



Obr. 3.18: Rozměry spojovacího mechanismu a otvoru pro zašroubování [6]

Coupling mechanism		Threaded-body	Built-in	Threaded-body	Built-in
ND		3	3	5	5
A	[mm]	M20x1.5	10	M24x1.5	14
B	[mm]	18 H7	15	20.5 H8	19
C	[mm]	9.5	-	9.5	-
D	[mm]	-	10.8	-	10.8
E	[mm]	13	-	13	-
F	[mm]	21.5	21.5	21.5	21.5
G	[mm]	23.5	2	23.5	2
H	[mm]	31	9.5	31	9.5
I	[mm]	29.2	29.2	29.2	29.2
J	[mm]	32	-	32	-
K	[mm]	12	12	12	12
L	[mm]	11.2	11.2	11.2	11.2
M	[mm]	-	-	-	-
N	[mm]	8.5	-	8.5	-
O	[mm]	-	-	-	-
P	[mm]	28	6.5	28	6.5
Q	[mm]	31.8	-	31.8	-
R	[mm]	5	5	5	5
S	[mm]	6	7	6	7
T	[mm]	15	-	18.25	-
U	[mm]	3	-	3	-
V	[°]	0.5x20°	-	1.2x15°	-

Obr. 3.19: Hodnoty pro spojovací mechanismus a otvor na Obr. 3.18 [6]

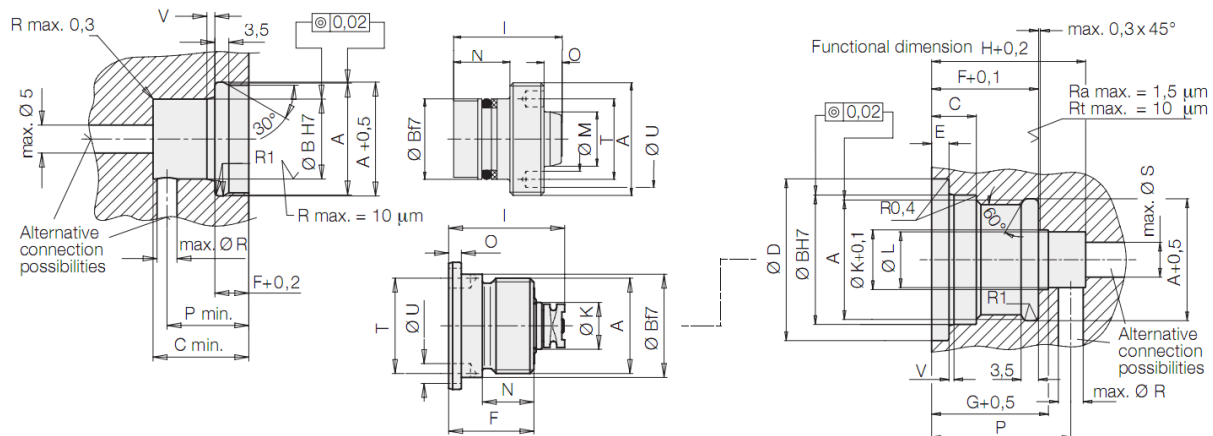
- Typ F 9.430

Ve srovnání s ostatními spojovacími prvky se závitem jsou spojky řady 9.430 velmi kompaktním zařízením. Má-li být přípravek připojen k základní desce bez vedení, mohou být závitové vsuvky a spojovací mechanismy našroubované přímo v připojovaných dílech, které mohou být vůči sobě radiálně posunuty. Spojovací mechanismus ve tvaru pouzdra je zašroubován do výrobně jednoduchého montážního otvoru v přírubě. Axiální síly,



Obr. 3.20: Rychlospojka F 9.430 [7]

kteřé vznikají při nárůstu tlaku ve spojeném režimu, musí být absorbovány mimo částí spojky. Pokud není nutné lícované vedení s přírubou, průměr  $D+0.2$  mm může být vynechán. Hloubkové rozměry jsou poté zkráceny o rozměr  $F+0.05$  mm a při stísněných montážních podmínkách může být použit kryt ve tvaru obdélníka o rozměrech R a S viz *Obr. 3.23*. [7]



*Obr. 3.21: Rozměry vsuvky, spojovacího mechanismu a otvoru pro zašroubování [7]*

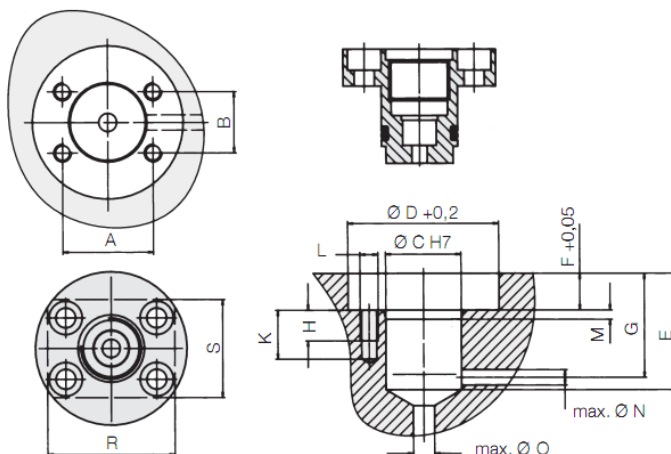
Element		Coupling mechanism	Threaded nipple	Threaded nipple with VSV	Coupling mechanism	Threaded nipple with VSV	Threaded nipple
NW		3	3	3	5	5	5
A	[mm]	M 20x1.5	M 24x1.5	M 24x1.5	M 24x1.5	M 28x1	M 28x1
Ø B	[mm]	22	20	20	26	20	20
C	[mm]	3.5	27	30	9	30	24
Ø D	[mm]	-	-	-	32.5	-	-
E	[mm]	-	-	-	3.5	-	-
F	[mm]	21.5	10	10	21.5	8.5	8.5
G	[mm]	23.5	-	-	23.5	-	-
H	[mm]	31	-	-	31	-	-
I	[mm]	29.3	29.5	34	29.3	32	27
Ø K	[mm]	12	-	-	12	-	-
Ø L	[mm]	11.2	-	-	11.2	-	-
Ø M	[mm]	-	9.8	9.8	-	13.5	13.5
N	[mm]	18.5	15	19.5	13	19.5	14
O	[mm]	-	4.5	4.5	3.2	4.5	4.5
P	[mm]	28	21	25	28	20.5	20.5
Ø R	[mm]	5	5	5	5	5	5
Ø S	[mm]	7	7	7	7	7	7
T	[mm]	16	17	17	24	20	20
Ø U	[mm]	3	3.5	3.5	5	4.3	4.3
V		-	2x15°	2x15°	1x15°	2x15°	2x15°

*Obr. 3.22: Hodnoty pro vsuvku, spojovací mechanismus a otvor na Obr. 3.21 [7]*

Technická data:

- max. pracovní tlak do 500 bar
- systém zapojení automatický
- síla pro zapojení 82 N
- systém uzavření bezodkapový
- řada střední / těžká
- provozní teplota do 100 °C
- radiální vůle  $\pm 0.1$  až  $\pm 0.2$  mm

A	[mm]	43	30
B	[mm]	23	20
Ø C H7	[mm]	32	25
Ø D +0,2	[mm]	65	50
E	[mm]	38	38
F +0,05	[mm]	15	12
G min.	[mm]	35	34
H	[mm]	12	10
K	[mm]	18	16
L	[mm]	M 8	M 6
M		3 x 15°	3 x 15°
Ø N max.	[mm]	6	5
Ø O	[mm]	7	7
R	[mm]	60	42
S	[mm]	40	32



Obr. 3.23: Spojovacího mechanismus pro montáž bez lícování [7]

- Typ F 9.461

Automaticky ovládané spojky tohoto typu jsou používány na obráběcích strojích s paletovými výměnnými systémy pro přenos hydraulického oleje a stlačeného vzduchu od stolu obráběcího stroje k upínacímu přípravku. Mají rovná čela bez vystupujících prvků pro utěsnění, proto není nutné jejich přesné umístění a připouští se radiální posunutí do 2 mm. Čištění spojovacích ploch je vzhledem k plochým povrchům velmi snadné. [8]



Obr. 3.24: Rychlospojka F 9.461 [8]

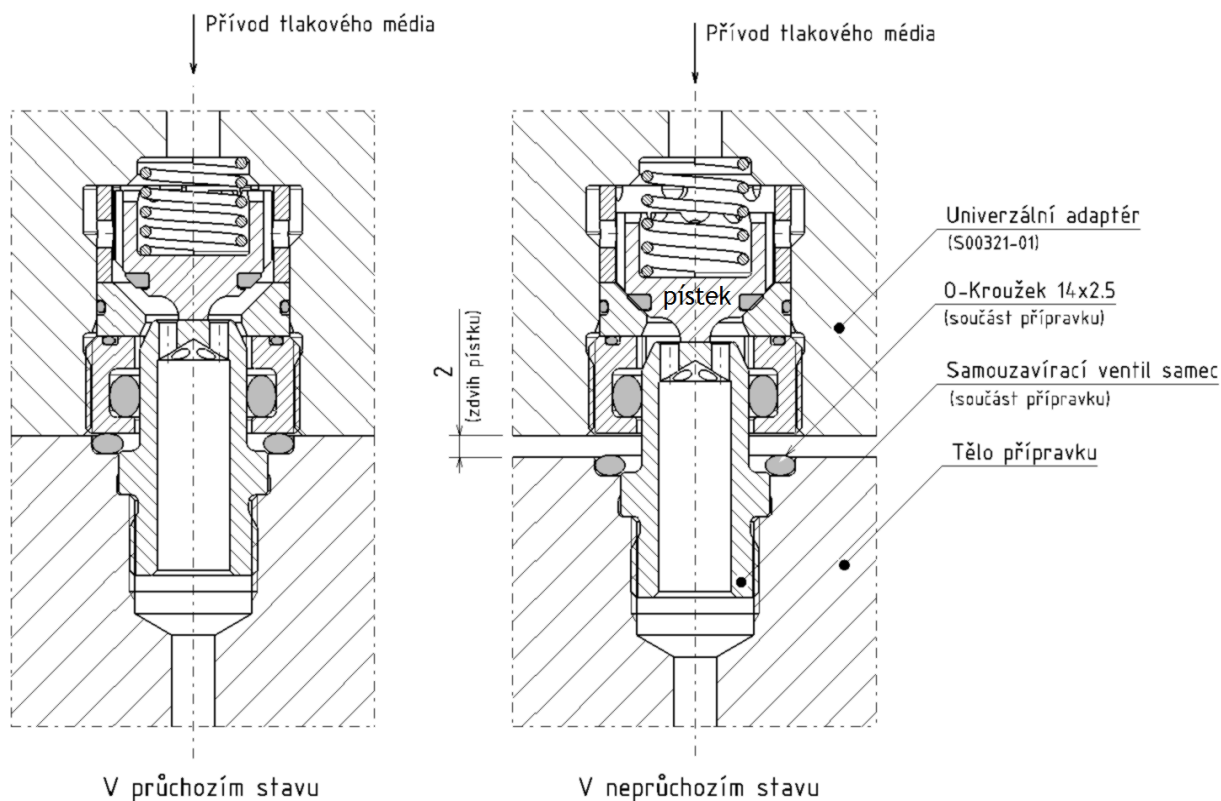
Tyto patentované spojky nejsou ovládaný vzájemným stisknutím obou částí jako u obvyklých rychlospojek, jsou totiž otevírány nárůstem tlaku v hydraulickém vedení. Vnitřní zpětné ventily protilehlých spojovacích prvků jsou navrženy jako písty. V režimu bez tlaku jsou tlačnou pružinou udržovány uzavřené. Jakmile tlak v okruhu vzroste a překoná sílu pružiny, otevře se spojka blíže čerpadlu či kompresoru. Nyní se tlakové médium dostává také na čelo protilehlé spojky a ta se vlivem působení tlaku na kruhovou plochu také otevře. Poklesne-li v kanálu tlak pod hodnotu, která je dána silou pružiny, spojka se tak automaticky uzavře. [8]



### 3.2 Konstrukce samouzavíracího zařízení

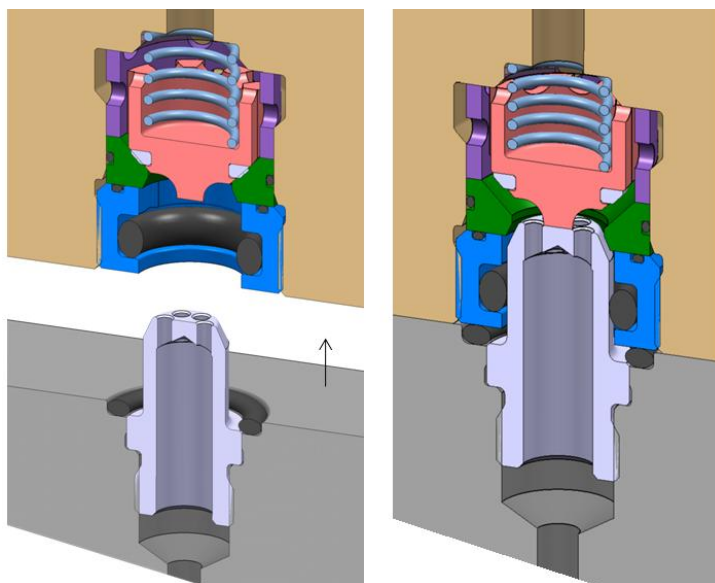
Žádná z výše uvedených rychlospojek nesplňuje veškeré požadavky vyspecifikované v kapitole 3.1.1. Pro naši aplikaci by nejvíce vyhovovalo zařízení F 9.461 nebo závitový typ F 9.428 či F 9.430 od firmy Roemheld. U prvního typu je výhodou dostatečná radiální vůle, ovšem velikost tohoto zařízení přesahuje požadavek na maximální rozměr. Při použití této rychlospojky by muselo dojít k výrazným konstrukčním změnám na již vyrobených upínacích přípravcích, což je vzhledem k jejich velikosti a složitosti nemyslitelné. V druhém a třetím případě se jedná o rychlospojky závitového typu, které jsou velice kompaktní a splňují požadavek na rozměr zařízení. Ovšem radiální vůle, kterou obě tyto spojky nabízejí, je pro naše použití nedostačující.

Vzhledem k těmto okolnostem bylo navrženo a zkonstruováno vlastní spojovací zařízení tak, aby splňovalo všechny vyspecifikované požadavky. Skládá se z několika dílů, které lze rozdělit na dvě skupiny viz *Obr. 3.27*. První skupinu tvoří pouze samouzavírací ventil samec s o-kroužkem. Tyto dva díly jsou součástí těla přípravku, tvoří tedy "zástrčku" rychlospojky. "Zásuvkou" rychlospojky, tedy druhou skupinou, jsou ostatní vyráběné i nakupované díly vložené do přesného otvoru v univerzálním adaptéru.

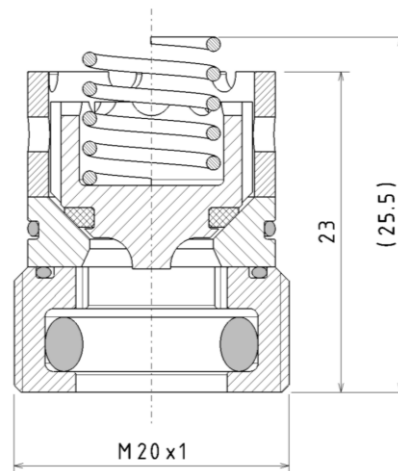


*Obr. 3.27: Schéma funkce navrženého samouzavíracího zařízení*

Při přiblížení libovolného přípravku osazeného zástrčkou rychlospojky k univerzálnímu adaptéru dochází cca 2 mm před dosednutím k nadzvedávání pístku samcem a tedy otevírání přívodního kanálu. V tomto okamžiku je tlakové médium utěsněno obvodovým o-kroužkem a pokračuje skrz otvory v samci do přípravku. Zároveň může dojít k seřízení přípravku vůči adaptéru v radiálním směru a následně je přípravek dotažen šrouby k adaptéru.



Obr. 3.28: Znárodnění situace před a po připojení



Obr. 3.29: Max. rozměry "zásuvky"

## Technická data:

- max. pracovní tlak do 100 bar
- systém zapojení automatický
- systém uzavření bezodkapový
- provozní teplota do 100 °C
- nominální průměr 5 mm
- radiální vůle ±0.5 mm
- rozměr max. M20x1

Na Obr. 3.30 jsou zobrazeny již vyrobené díly "zásuvky" rychlospojky spolu s klíčem, který slouží pro utažení matice se závitem M20x1. V matici je vyrobená obdélníková drážka, která odpovídá tvaru klíče navrženého speciálně pro tuto aplikaci. Výkresová dokumentace je přiložena v příloze diplomové práce pod číslem S00321-50.

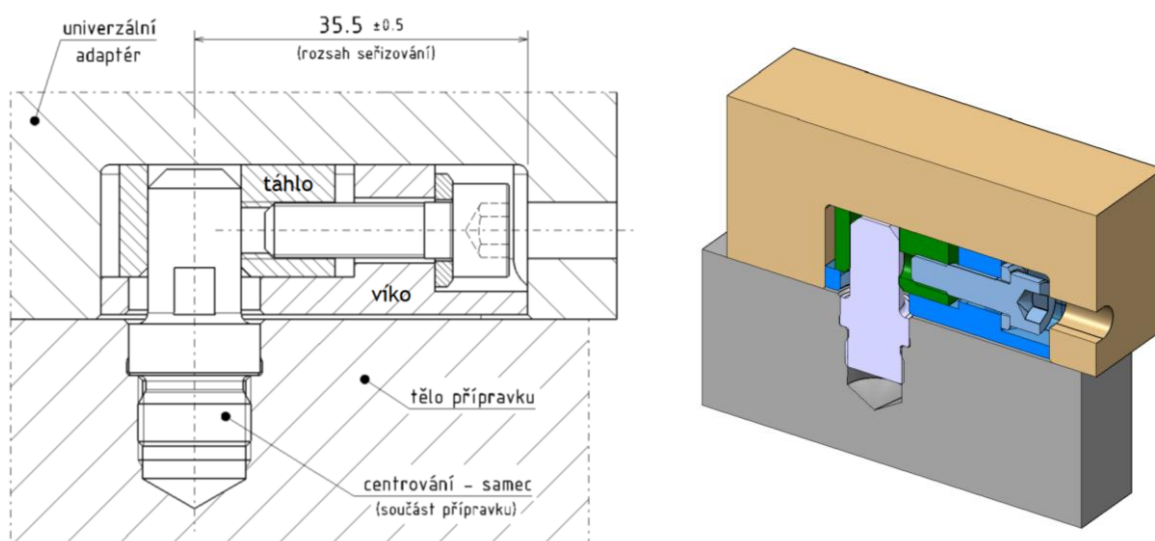


Obr. 3.30: Vyrobenné díly seřazené v pořadí montáže. Vpravo je znázorněna aplikace klíče do drážky v matici pomocí zápichu pro o-kroužek, který se osadí následně po dotažení a vyjmutí klíče

## 4 Seřízení upínacího přípravku

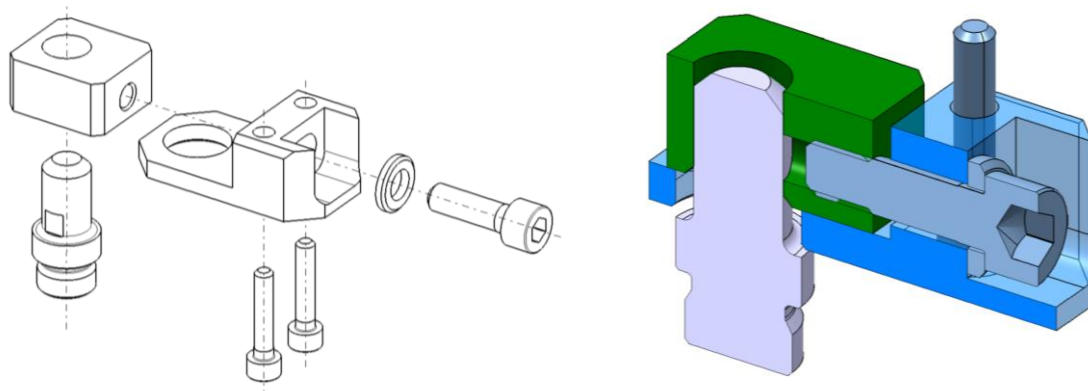
Z již navrženého samouzavíracího zařízení vyplývá, že radiální vůle každé rychlospojky dovoluje přesné seřízení přípravku vůči univerzálnímu adaptéru v rozsahu  $\pm 0.5$  mm a to v okamžiku před finálním vzájemným dotažením těchto dvou dílů. V současné chvíli je dolaďení vzájemné polohy řešeno poklepem těla přípravku. Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.1.1, tento způsob seřízení je nepřesný a velice zdlouhavý.

Vzhledem k cíli diplomové práce, tedy vzhledem k požadavku na rychlou výměnu rotačních hydraulických přípravků a jejich **seřízení** pro minimalizaci času "change - over - time", bude navrženo zařízení pro komfortní seřízení těla přípravku do osy univerzálního adaptéru.



Obr. 4.1: Schéma funkce a polohy navrženého seřizovacího zařízení

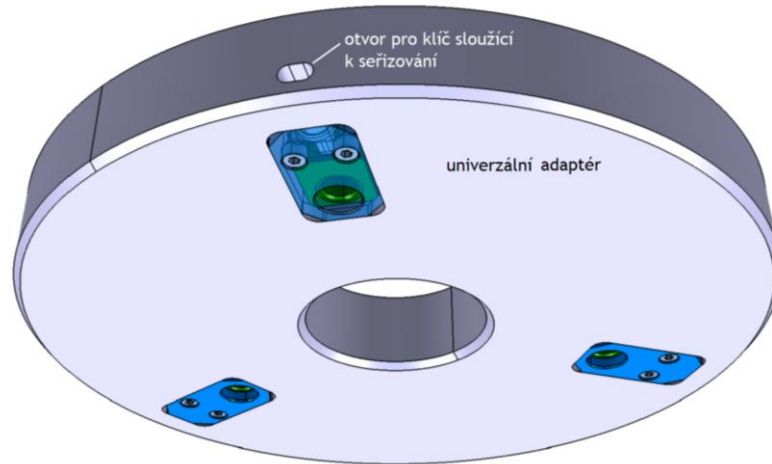
Také toto zařízení lze rozdělit na dvě skupiny, viz obrázek výše. První skupinu tvoří pouze kolík nazvaný centrování-samec, který je součástí těla přípravku a tvoří tedy "zástrčku". "Zásuvkou" a tedy druhou skupinou, jsou vyráběné díly víko, táhlo a dále nakupované díly. Tento celek je vložen do přesného otvoru v univerzálním adaptéru a skrz víko je přišroubován. Funkce spočívá v utahování či povolování šroubu, jehož hlava je opřená z jedné nebo druhé strany. Tím dochází k pohybu táhla v ose šroubu doprava či doleva a tento pohyb je zároveň přenášen na kolík, který je přes lícovaný průměr vsunut do táhla. Kolík je opět přesně nalícován a dotažen do přípravku, který je tedy tímto způsobem ovládán.



Obr. 4.2: Kompletní seřizovací zařízení v rozstřelu a v řezu izometrického pohledu

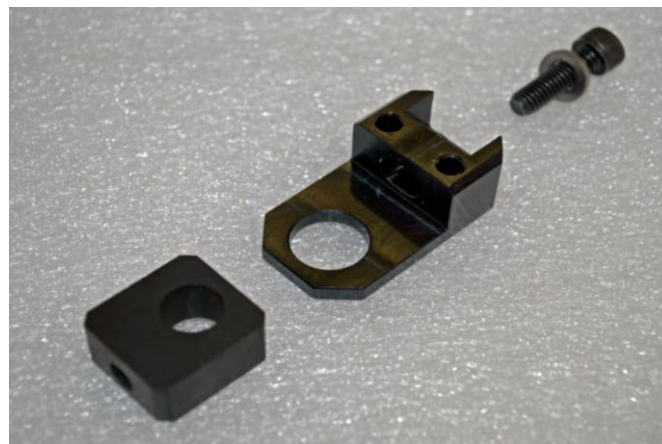


Vzhledem k tomu, že se jedná o soustružnické upínací přípravky, bude i tvar budoucího univerzálního adaptéru kotoučového charakteru. Pro přesné a rovnoměrné seřízení bude tedy seřizovací zařízení použito třikrát po obvodu a to pokud možno na co největším průměru.



Obr. 4.3: Seřizovací zařízení umístěno 3x po 120° v naznačeném univerzálním adaptéru

Každá tato polohovací sestava bude ovládaná samostatně šroubem přístupným z obvodu kotouče. Výhodou této koncepce je, že pro finální seřízení bude moci obsluha vyvinout mezi jednotlivými zařízeními tahové či tlakové předpětí a tím dosáhne velmi přesného polohování přípravku, který je k adaptéru přitažen jen velmi jemně. Teprve až po kontrolním měření házení, které se provádí úchylkoměrem na některé z válcových či kuželových funkčních ploch přípravku, dojde k finálnímu utažení šroubů momentovým klíčem.



Obr. 4.4: Vyrobené táhlo a víko připravené k montáži

Konkrétní umístění těchto seřizovacích zařízení bude upřesněno dle konstrukčního uspořádání rychlospojek v univerzálním adaptéru, dle otvorů pro šrouby připevňující adaptér ke vřetenu stroje, dále dle otvorů pro šrouby připevňující samotný přípravek k adaptéru a v neposlední řadě také dle vrtaných vnitřních propojovacích kanálů v adaptéru. Snahou ovšem bude uspořádání přesně po 120°. Výkresová dokumentace je přiložena v příloze diplomové práce pod číslem S00321-70.

## 5 Stroje

Již vyrobené upínací přípravky jsou používány na svislých soustružnických centrech, které jsou osazeny vřeteny se zakončením typu B dle normy DIN 55026 o různé velikosti. Především jde o rozměr A6 a A8. Těmto rozměrům odpovídají i přípravky v současné době vyráběné či plánované.



Obr. 5.1: Vřeteno obráběcího stroje [9]

DIN 55026 Type A,B - ISO 7021 Type A2 Type A1-A2	Size	A	B max	C1	C2	D	E1	F1	E2	F2
	3	92	53.983	11	-	16	3xM10	70.6	-	-
	4	108	63.521	11	-	20	11xM10	82.6	-	-
	5	133	82.573	13	14.288	22	11xM10	104.8	8xM10	61.9
	6	165	106.385	14	15.875	25	11xM12	133.4	8xM12	82.6
	8	210	139.731	16	17.462	28	11xM16	171.4	8xM16	111.1
	11	280	196.883	18	19.05	35	11xM20 (11xM18)	235	8xM20 (8xM18)	165.1
	15	380	285.791	19	20.638	42	12xM24 (12xM22)	330,2	11xM24 (11xM22)	247.6
	20	520	412.795	21	22.225	48	12xM24	463,6	11xM24	368,3
	28	725	584.248	24	25.400	56	12xM30	647.6	11xM30	530.2
	<p><b>Type A:</b> Tapped holes in flange (outer bolt circle) without inner bolt circle.  <b>Type B:</b> Tapped holes in flange (outer bolt circle) and in inner bolt circle.            Dimensions in brackets according to ISO 7021.</p>									

Obr. 5.2: Přehled zakončení vřeten a jejich rozměrů [10]

Univerzální adaptér (viz Obr. 2.2) sloužící pro připojení libovolného přípravku, by měl být univerzální i z hlediska připevnění ke vřetenu stroje. Z tohoto důvodu nebude adaptér zakončen broušeným kuželem daného rozměru, naopak bude obsahovat válcové osazení broušeného a lícovaného rozměru, sloužící pro připevnění tzv. mezikroužku. Ten bude zaměnitelný a umožní tak připevnit celou soustavu s přípravkem ke stroji s libovolným typem a velikostí zakončení vřetena.

## 5.1 Redukční kroužky

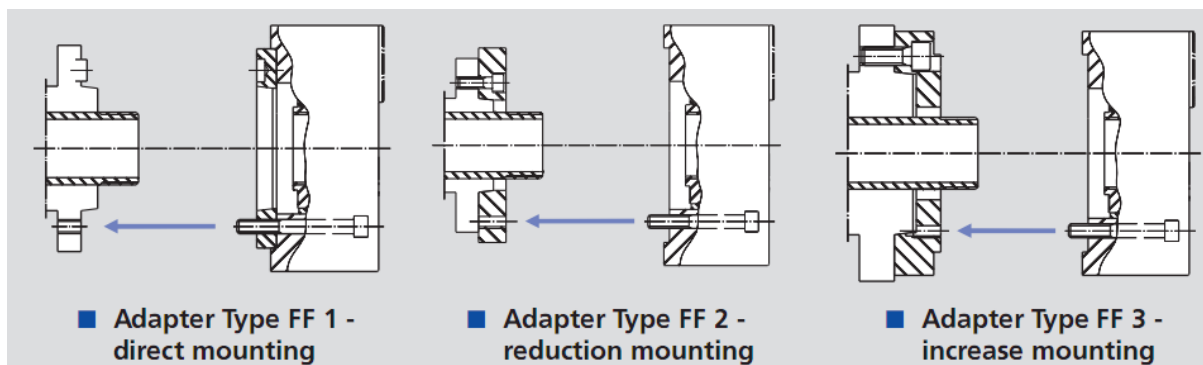
Tyto velmi přesné mezikroužky se používají jako redukce mezi sklíčidla a krátké kuželové nosy vřeten. Vyrábějí se dle normy DIN 55026/ISO-A 702/1 a to v mnoha provedeních a rozměrech. Redukční kroužek lze pevně přišroubovat ke sklíčidlu - v tomto případě se jedná o kroužek typu FF1 s přímou montáží. Druhou variantou je kroužek typu FF2 či FF3 s nepřímou montáží, který se připevňuje ke vřetenu stroje. Znázorněno na Obr. 5.4.



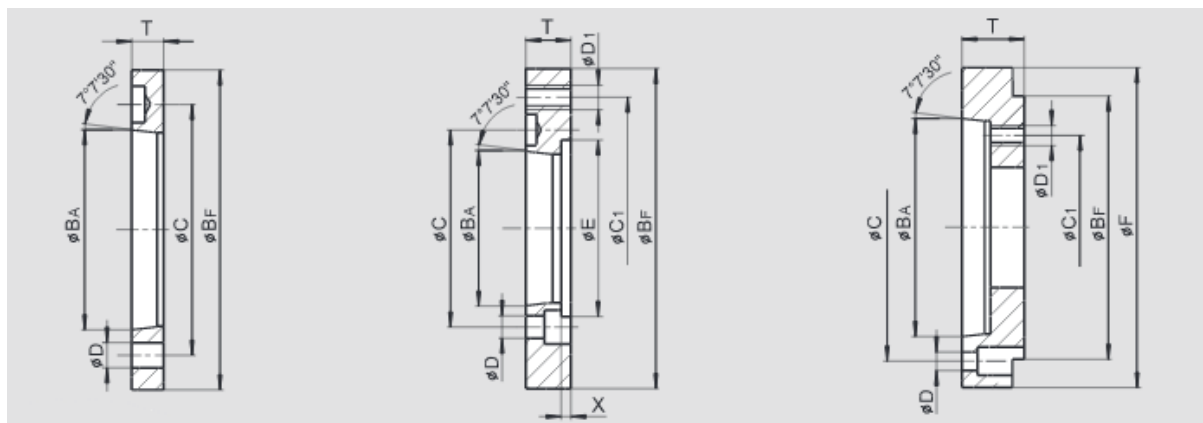
Obr. 5.3: Redukční kroužky [12]

- **SMW Autoblok**

Společnost Autoblok byla založena v roce 1981 jako dceřiná společnost firmy Autoblok Itálie, která je největším výrobcem upínání a nástrojových řešení v Evropě již od roku 1942. Globální firemní organizace se zaměřuje na kvalitu, cenu, technickou podporu a zákaznický servis. Výrobky jsou vyráběny podle nejnáročnějších standardů ve světě. V roce 1993 Autoblok získala firma SMW z Německa. Kombinace těchto dvou předních výrobních subjektů tvoří společnost, která produkuje vysoce kvalitní a všestranné upínací zařízení. [11]



Obr. 5.4: Typy redukčních kroužků dle způsobu montáže [12]



Obr. 5.5: Zleva doprava typ FF1, FF2 a FF3 [12]

Adapter Id. No.	Spindle nose	BF mm	BA mm	C mm	D mm	T mm	Weight kg
24141300	A4	115	63.513	82.6	11.5	13	0.6
075421	A5	120	82.563	104.8	10.5	16	0.7
24151400	A5	130	82.563	104.8	11.5	15	0.75
24151600	A5	140	82.563	104.8	11.5	15	1
24151700*	A5	140	82.563	104.8	11.5	24	1.5
24161720	A6	160	106.375	133.4	13.5	17	1.2
24162000	A6	170	106.375	133.4	13.5	17	1.5
24162500*	A6	170	106.375	133.4	13.5	24	2.2
24182500	A8	220	139.719	171.4	17	19	2.7
24182510*	A8	220	139.719	171.4	17	27	4
24183050	A8	280	139.719	171.4	17	19	6.5
24113100	A11	300	196.869	235	21	21	5.5
24113110*	A11	300	196.869	235	21	30	8
24113500	A11	280	196.869	235	21	21	4
24125000	A15	380	285.775	330.2	25	23	8
24127100*	A15	380	285.775	330.2	25	33	11.5
24178000	A20	520	412.775	463.6	27	25	14.5

Obr. 5.6: Rozměry pro řadu FF1 [12]

Adapter Id. No.	Spindle nose	BF mm	BA mm	C mm	D mm	C1 mm	D1 mm	E mm	X mm	T mm	Weight kg
24141400	A4	130	63.513	82.6	11.5	104.8	M10	-	-	20	1.2
24141600	A4	140	63.513	82.6	11.5	104.8	M10	-	-	20	1.6
24151720	A5	160	82.563	104.8	11.5	133.4	M12	-	-	24	2.2
24152000	A5	170	82.563	104.8	11.5	133.4	M12	-	-	24	2.7
24152500	A5	220	82.563	104.8	11.5	171.4	M16	-	-	24	5.5
24162530	A6	220	106.375	133.4	13.5	171.4	M16	-	-	24	5
24163100	A6	300	106.375	133.4	13.5	235	M20	155	10	30	11
24163500	A6	280	106.375	133.4	13.5	235	M20	-	-	30	9
24183100	A8	300	139.719	171.4	17	235	M20	-	-	30	11.5
24184000*	A8	300	139.719	171.4	17	235	M20	155	10	40	15.5
24185000	A8	380	139.719	171.4	17	330.2	M24	197	10	40	24
24115000	A11	380	196.869	235	21	330.2	M24	197	10	40	21
24116100	A11	520	196.869	235	21	463.6	M24	267	12	45	54
24126100	A15	520	285.775	330.2	25	463.6	M24	-	-	40	40
24179400	A20	720	412.775	463.6	27	647.6	M30	-	-	50	93

Obr. 5.7: Rozměry pro řadu FF2 [12]

Adapter Id. No.	Spindle nose	BF mm	BA mm	C mm	D mm	C1 mm	D1 mm	F mm	T mm	Weight kg
24151310	A5	115	82.563	104.8	11.5	82.6	M10	127	30	1.7
24161310	A6	115	106.375	133.4	13.5	82.6	M10	165	35	3.5
24161410	A6	130	106.375	133.4	13.5	104.8	M10	165	35	3.4
24161610	A6	140	106.375	133.4	13.5	104.8	M10	165	35	3.3
24181710	A8	140	139.719	171.4	17	104.8	M10	210	35	5.2
24181720	A8	160	139.719	171.4	17	133.4	M12	210	40	5.8
24182010	A8	170	139.719	171.4	17	133.4	M12	210	40	6.2
24112510	A11	220	196.869	235	21	171.4	M16	280	45	11.8
24123110	A15	300	285.775	330.2	25	235	M20	380	50	22
24175000	A20	380	412.777	463.6	27	330.2	M24	520	58	55

Obr. 5.8: Rozměry pro řadu FF3 [12]

- **Buck chuck**

Již více než 75 let navrhuje a vyrábí americká společnost Buck Chuck produkty související s upínáním strojních dílů. Firma Buck Chuck používá patentovaný systém Ajust-Tru pro výrobu sklíčidel a příslušenství s využitím v mnoha aplikacích nejen ve strojírenském průmyslu. [15]



"A" Series Adapter

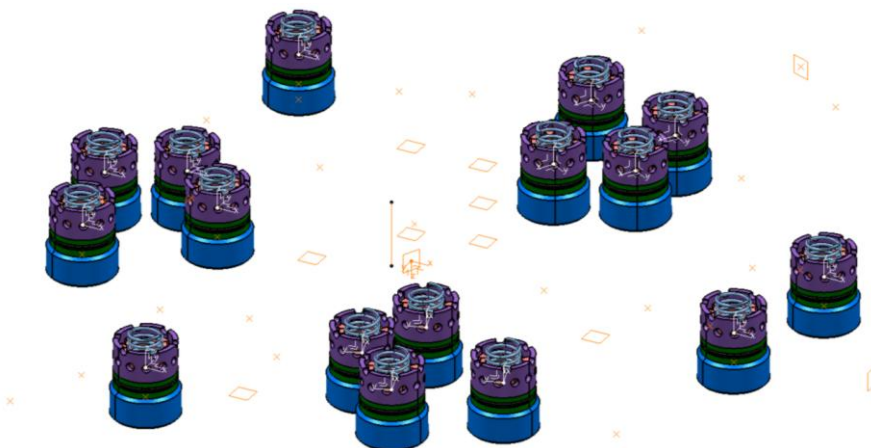
Chuck Dia. (In.)	Mount	Model	Low Price
6	A1-5	<b>327-5899</b>	\$273.12
8	A1-8	<b>327-5900</b>	394.51
8¼	A1-5	<b>327-5902</b>	273.12
8¼	A1-6	<b>327-5903</b>	273.12
10	A1-5	<b>327-5898</b>	174.98
10	A1-6	<b>327-5904</b>	294.13
10	A1-8	<b>327-5905</b>	294.13
12	A1-6	<b>327-5906</b>	318.65

Obr. 5.9: Nabídka redukčních kroužků řady A [29]

## 6 Univerzální adaptér

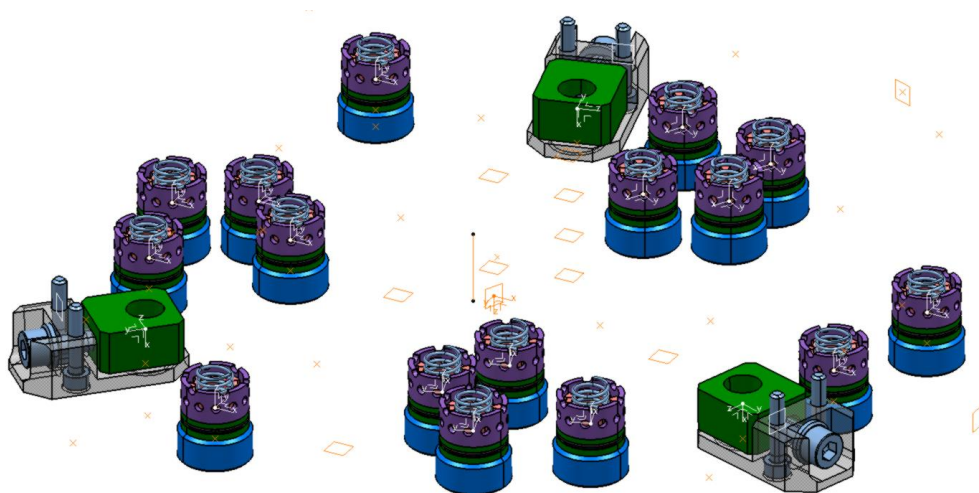
Konstrukce univerzálního adaptéru vychází z kapitoly 2.1.2 Návrh řešení, ve které byla popsána představa, jakou úlohu by měl tento díl plnit. Z onoho návrhu řešení bylo patrné, že pro požadovanou funkci jsou zapotřebí klíčové komponenty jako zařízení na principu hydraulické rychlospojky, zařízení pro radiální seřízení přípravku či doplňkové příslušenství pro montáž celku ke stroji atd.

Nyní jsou tyto komponenty zkonstruovány a připraveny pro návrh univerzálního adaptéru. Jeho dispozice vychází z již vyrobených upínacích přípravků, které budou v této koncepci používány. Každý takovýto přípravek obsahuje kanálky s tlakovým pracovním médiem zakončené obyčejnou trubičkou, jak bylo znázorněno na *Obr. 3.1* (str. 12). Jejich rozmístění i množství je u každého přípravku různé. V prvním kroku je nutné vyspecifikovat souřadnice všech kanálků od všech přípravků, vytvořit v prostoru rovinu a do ní zakreslit body, které tyto polohy reprezentují. Na takto vyznačená místa jsou následně rozmístěna již zmiňovaná zařízení na principu hydraulické rychlospojky.



*Obr. 6.1: Pohled shora na rozmístění rychlospojek v prostoru*

Další komponentou, kterou je třeba umístit do volného prostoru mezi rychlospojky, je seřizovací zařízení z kapitoly 4 na str. 26. Jak již bylo uvedeno, snahou je uspořádání po obvodu třikrát po  $120^\circ$  v téže rovině.

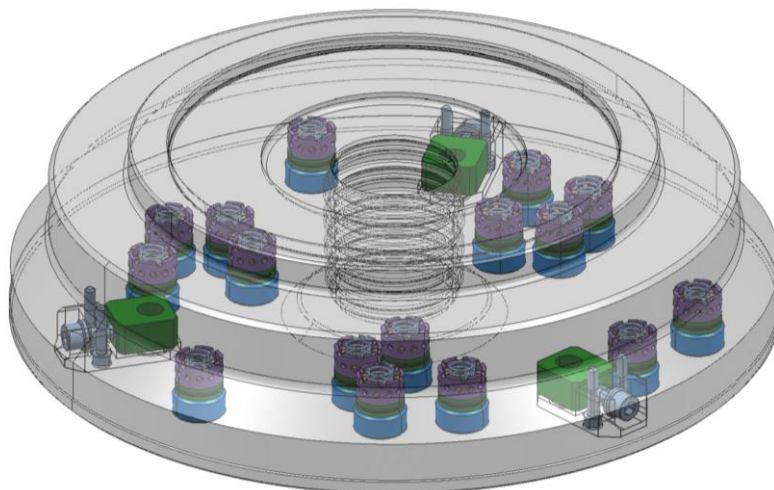


*Obr. 6.2: Přidáno zařízení pro radiální seřízení přípravku*

Některé, kanálkům odpovídající body, jsou dokonce ve shodné poloze a překrývají se. Znamená to, že toto místo je obsazeno jednou rychlospojkou, která bude obsluhovat více typů přípravků. Jiná poloha je naopak unikátní pro jeden jediný typ upínače. Tato rychlospojka bude pracovat pouze s tímto konkrétním přípravkem, v ostatních případech zůstane neobsazená. Neobsazená - tedy zavřená a to z důvodu, že v takovém přípravku jednoduše bude scházet dutý kolík nazvaný samouzavírací ventil samec, který má za úlohu otevírat pístek v rychlospojce (viz. Obr. 3.27 na straně 24).

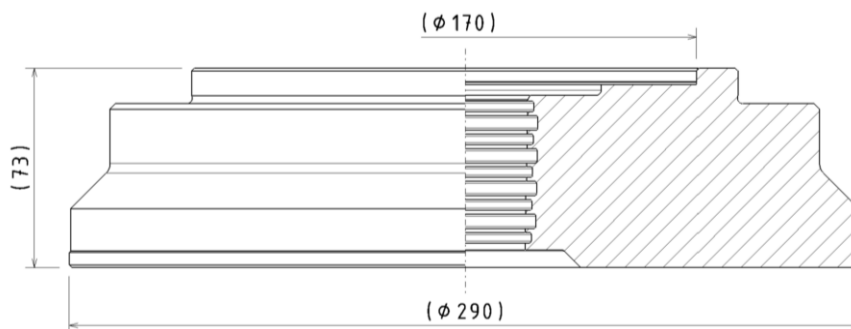
Je tedy pravděpodobné, že nikdy nebude osazen takový přípravek, který bude využívat kompletně všechny rychlospojky, kterých je v případě tohoto řešení šestnáct. Toto číslo se zdá být vysoké, ovšem je to minimum, které lze použít. Jak již bylo řečeno, koncept vychází z již vyrobených upínacích přípravků. Kdybychom k takto navrženému adaptéru postupně připojily každý přípravek jeden po druhém, využili bychom právě všech šestnáct pozic.

Dalším krokem v konstrukci univerzálního adaptéru je přidání hmoty, ve které budou rozmístěné komponenty uloženy. Jde o materiál, který dá výrobku nejen tvar a rozměr, ale bude na něm záviset i výsledná tuhost dílu a jiné mechanické vlastnosti. Z 3D modelu takto navrženého tělesa je v této fázi vygenerován výrobní výkres soustružnického polotovaru, který bude výchozím dílem pro následné frézovací operace.



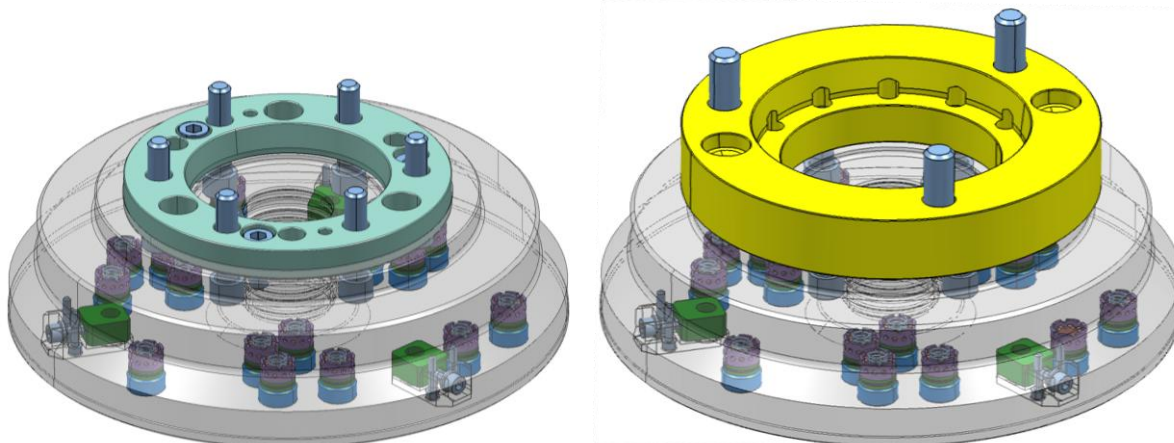
Obr. 6.3: Soustružnický polotovar univerzálního adaptéru

Univerzální adaptér je v ose rotace opatřen čtyřmi zápichy, do kterých bude přivedeno ovládací médium shora skrz vřeteno. Ty jsou mezi sebou odděleny menšími zápichy, do kterých bude osazeno těsnění.



Obr. 6.4: Tvar a rozměry soustružnického polotovaru

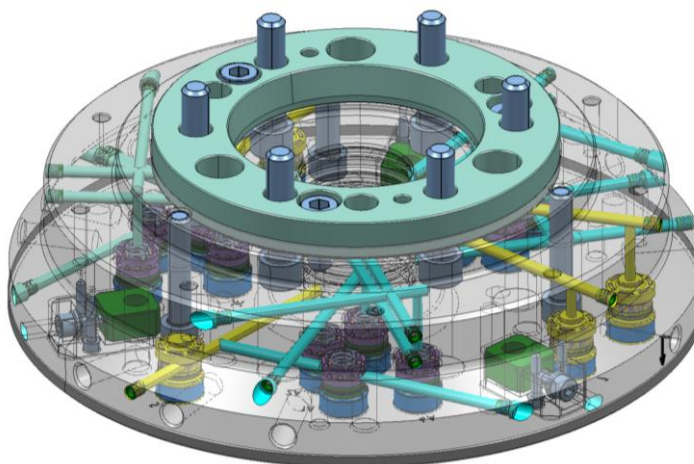
Na předchozích obrázcích je v horní části zobrazeno broušené osazení o průměru 170 mm připravené pro vložení redukčního kroužku, který bude zaměnitelný a umožní tak připevnit přírubu ke stroji s libovolným typem a velikostí zakončení vřetena. Rozměr osazení je dán tvarem mezikroužků od firmy SMW Autoblok. Na následujícím obrázku je příruba znázorněna již s osazeným kroužkem natočeným tak, aby šrouby nekolidovaly s rozmístěnými rychlospojkami či zařízením pro radiální seřízení. Na levém obrázku je redukční kroužek typu FF1 o velikosti odpovídající vřetenu A6 a v pravé části je kroužek FF3 pro velikost A8.



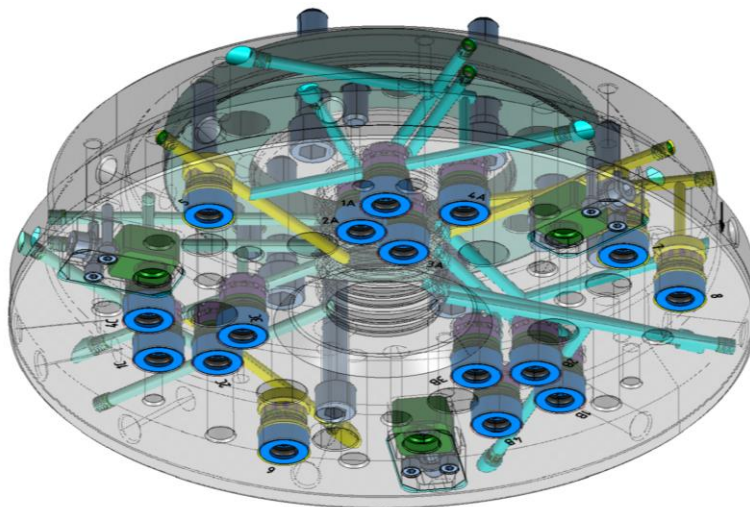
Obr. 6.5: Univerzální adaptér osazený kroužky č. 24162000 a 24182010 od firmy SMW Autoblok

Následujícím krokem při konstrukci příruby jsou vrtací a frézovací operace. Pro každou rychlospojku je vytvořen tvarově členitý otvor, ve kterém bude uložena. Stejně tak pro tři seřizovací sestavy. Následuje vrtání závitových otvorů pro šrouby připevňující redukční kroužek. Poté je do sestavy doplněn ostatní spojovací materiál jako např. šrouby pro přitážení celku ke stroji či odtlačovací šrouby pro snadnou demontáž z vřetena stroje atd. Dalším důležitým prvkem jsou závitové otvory M12, které slouží pro připojení soustružnického přípravku. Všechny tyto operace jsou vrtány či frézovány a následně broušeny v axiálním směru, tedy rovnoběžně s osou rotace dílu.

Po rozmístění těchto důležitých komponent je na řadě radiální vrtání kanálů. Je třeba propojit konkrétní rychlospojky s konkrétními zápichy v ose adaptéru, do kterých je médium přivedeno. Všechny doposud zhotovené upínací přípravky a především jejich pracovní písky byly navrženy na průtok kanálem o průměru 5 mm. Také rychlospojky jsou dimenzovány na světlost 5 mm, proto i zde budou kanály vrtány vrtákem o stejném průměru, aby nedocházelo ke škrcení média. Cesta k propojení daných rychlospojek navzájem a poté dále do určitého zápichu je s ohledem na již zhotovené axiální otvory velmi složitá, což je patrné z následujících obrázků.



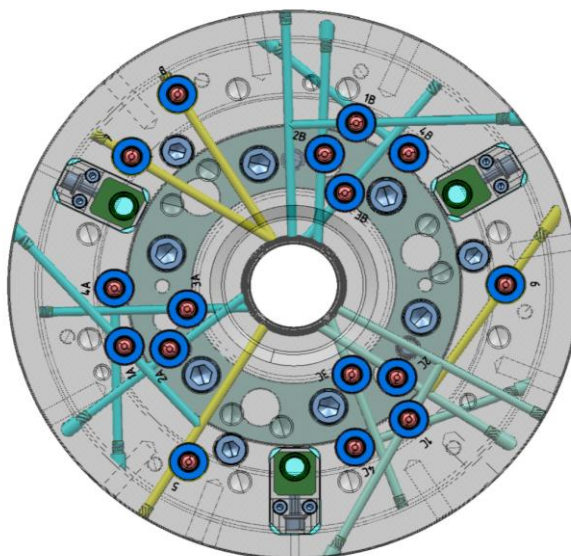
Obr. 6.6: Radiální vrtání v různém směru a v různých výškových hladinách při pohledu shora



Obr. 6.7: Sestava univerzálního adaptéru

Jednotlivé výstupy kanálů na čele příruby, tedy v místě rychlospojek, jsou označeny gravírovaným popisem. Popis slouží především k identifikačním důvodům při tvorbě návodů, servisních záznamů či předepisování podmínek např. pro typ či tlak média v konkrétním kanálu určitého čísla. Konstrukčně je tento adaptér navržen pro čtyři kanály, obsahuje tedy čtyři rozvodné zápichy, o kterých již bylo zmíněno u Obr. 6.4.

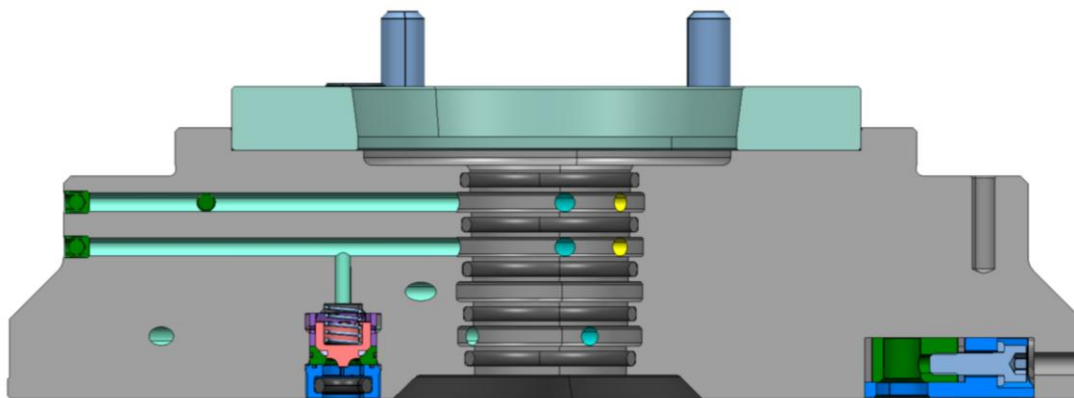
Rychlospojky označené 1A, 1B, 1C a 5 jsou propojeny mezi sebou navzájem a dále s prvním zápichem. Do druhého zápichu ústí 2A, 2B, 2C a kanál číslo 6. Společně propojené kanály 3A, 3B, 3C a 7 do třetího a zbývající 4A, 4B, 4C a 8 do čtvrtého zápichu. Po obvodu dílu je také vygravírována šipka směřující dolů. Podobnou šipkou opačného směru jsou označeny také všechny upínací přípravky, které jsou s tímto adaptérem kompatibilní. Toto seznačení je pomůckou při montáži, kdy je třeba oba díly pootočit do správné polohy a poté pomocí šroubů přitáhnout. Tímto pohybem se dané rychlospojky otevřou a kanály se zprůchodní. Následuje radiální seřízení a finální dotažení šroubů momentovým klíčem.



Obr. 6.8: Pohled v ose rotace zdola

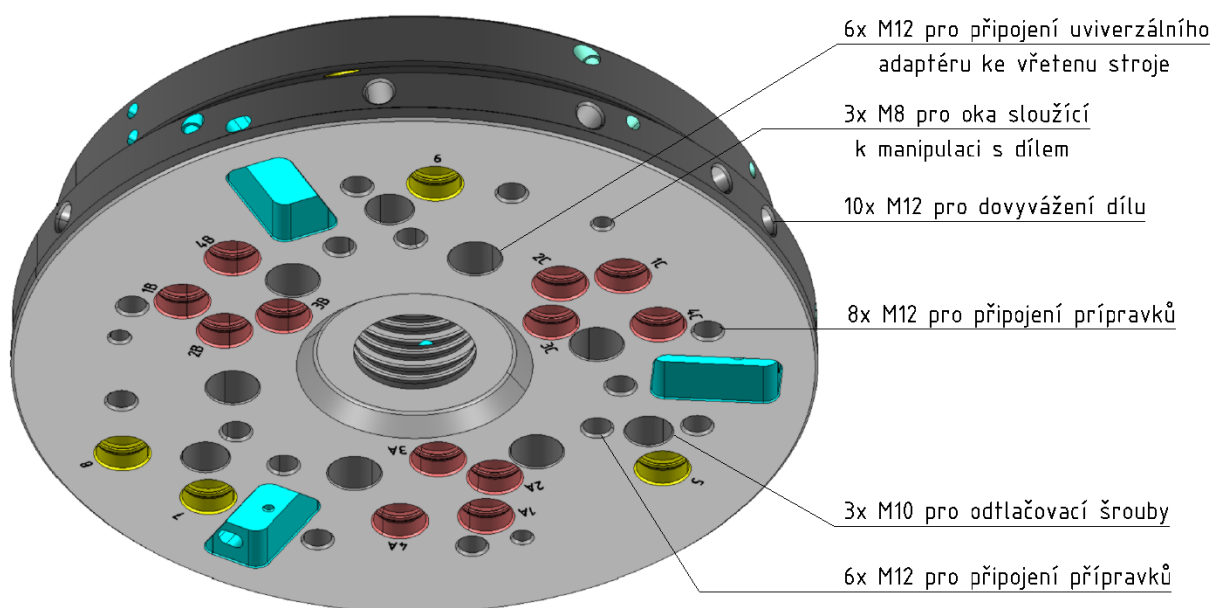
Na následujícím obrázku je znázorněn lomený řez sestavou univerzálního adaptéru, kde se v levé části nachází rychlospojka 3C propojená se třetím zápichem a v pravé části sestava dílů pro radiální seřízení přípravku.





Obr. 6.9: 3D model univerzálního adaptéru v řezu

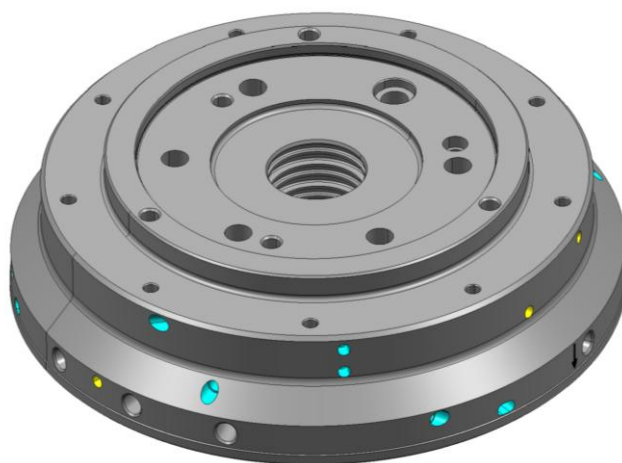
V samotném tělese příruby bez osazeného příslušenství můžeme vidět přesné otvory pro rychlospojky vyznačené červenou a žlutou barvou. Jejich profil je znázorněn na Obr. 6.12. Tyrkysově jsou vyznačeny frézované otvory pro seřizovací zařízení a účel ostatních prvků je popsán na následujícím obrázku.



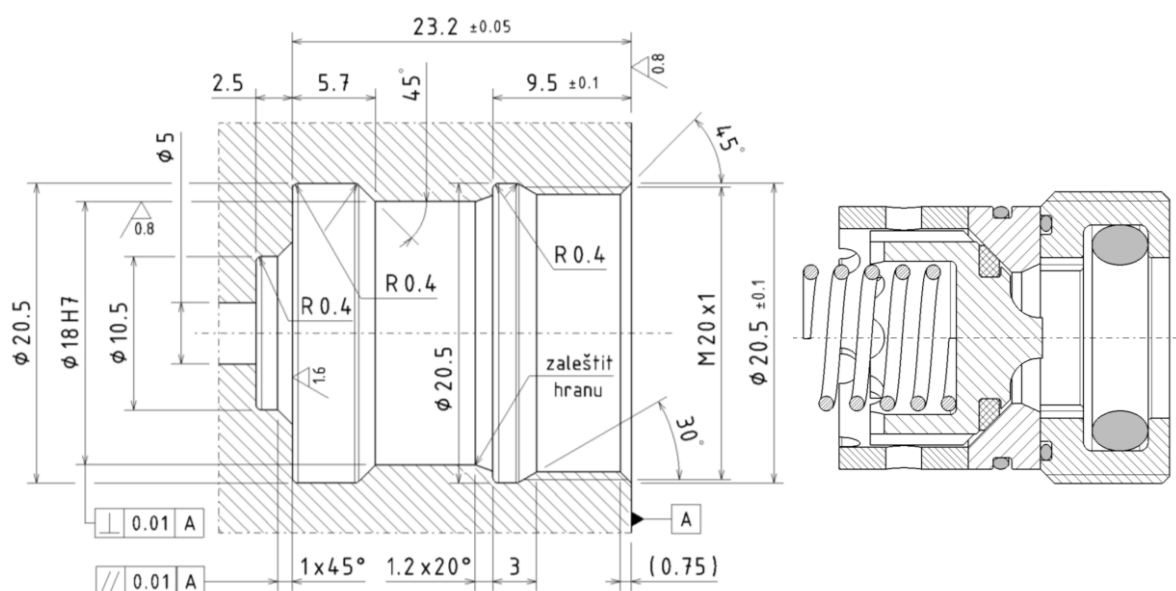
Obr. 6.10: Závitové otvory a jejich funkce

Kompletně osazená sestava univerzálního adaptéru musí být vzhledem k vysokým rychlostem, které budou při soustružení dosahovat nárazově až 3 000 otáček za minutu, vyvážená. Základního teoretického vyvážení bylo dosaženo již ve fázi návrhu v modelovém prostředí programu Catia. Každému jednotlivému dílu použitému v sestavě je přiřazena hustota materiálu, z kterého je vyroben, nebo mu je přiřazena přímo hmotnost zjištěná na základě vážení. Celá sestava je poté v programu zvážena a je vygenerováno těžiště celku. Následným odebráním materiálu v určitých místech tělesa příruby je možné těžiště posunout do osy rotace. V případě tohoto konkrétního řešení došlo k vytvoření deseti závitových otvorů M12 vrtaných z obvodu radiálně k ose. Jsou nerovnoměrně rozmístěny a to proto, aby se podařilo posunout těžiště právě do osy rotace. Můžeme si jich povšimnout na obrázku výše. Takto je zhotoveno základní teoretické vyvážení.

Ovšem při provozu je nutné dovážít celek mnohem přesněji. K tomu se používá speciálních mobilních měřících přístrojů. Jsou měřeny vibrace způsobené nevyváhou při rotaci přímo na obráběcím stroji. Přístroj je schopen vyhodnotit úhlovou polohu a hmotnost, kterou je třeba odebrat či přidat na uživatelem zadaném poloměru. Zde se bude jednat o přidávání hmoty a to do již zmíněných závitových otvorů. K tomuto účelu lze použít stavěcích šroubů M12 z různých materiálů či v různých délkách a docílit tak minimálních vibrací.



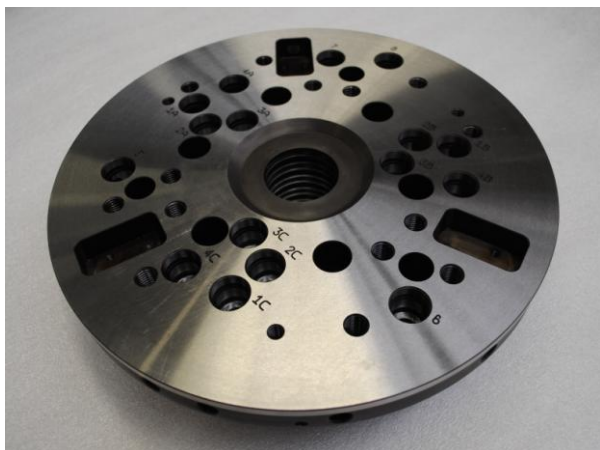
Obr. 6.11: Pohled na tělo příruby shora.



Obr. 6.12: Tvar a rozměry otvorů zhotovených v univerzálním adaptéru pro uložení rychlospojek

Množství a především rozmístění rychlospojek dělá tento adaptér plně kompatibilní se všemi již vyrobenými hydraulickými upínacími přípravky. Jak již bylo zmíněno, pravděpodobně nikdy nebude na tento adaptér osazeno takové upínací či jiné zařízení, které by využilo kompletně všech šestnáct rychlospojek. Ovšem vyloučené to není. Je možné, že v budoucnu bude konstruováno více mnohem složitějších přípravků náročnějších na množství přivedených ovládacích médií. Výhodou proto je, že tento navržený adaptér, obsahující hojný počet rychlospojek, splňuje podmínky pro vznik i takto složitých zařízení. Stejně tak při návrhu jednodušších upínacích přípravků, které budou využívat např. pouze jeden či dva hydraulické okruhy, bude nabízená škála rychlospojek v adaptéru opět výhodou. Konstruktor si pro své řešení bude moci zvolit ze šestnácti možných pozic a bude tak mít více tvůrčích možností.

Příruba je zhotovená z oceli ČSN 41 4220. Funkční plochy jsou cementovány a kaleny na tvrdost 56 HRC a následně jsou broušeny dle přesných rozměrových a geometrických tolerancí. Výkresová dokumentace je přiložena v příloze diplomové práce pod číslem S00321-00. Na následujících snímcích je znázorněn již vyrobený univerzální adaptér.



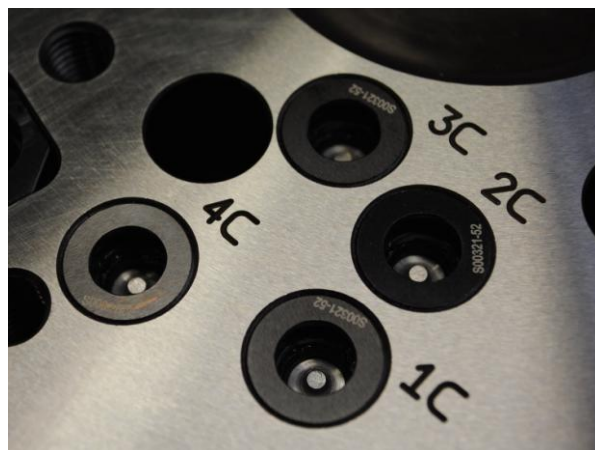
Obr. 6.13: Vyrobené tělo univerzálního adaptéru



Obr. 6.14: Tělo při pohledu od vřetena stroje



Obr. 6.15: Montáž rychlospojky pomocí klíče



Obr. 6.16: Adaptér osazený rychlospojkami



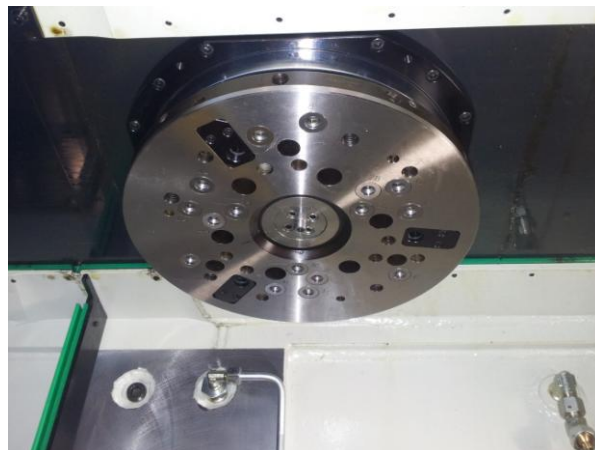
Obr. 6.17: Namontované seřizovací zařízení



Obr. 6.18: Kompletně osazený adaptér



Obr. 6.19: Vřeteno (A6) obráběcího stroje



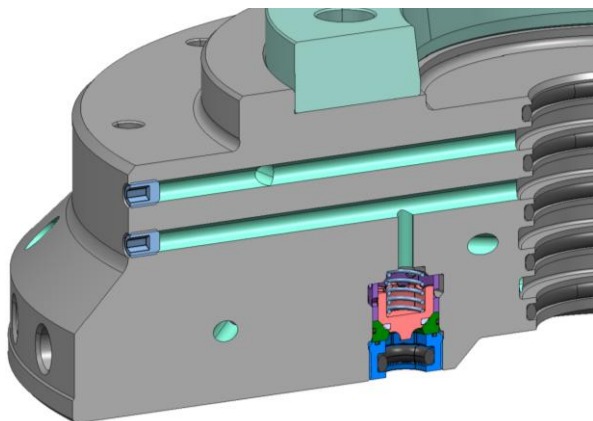
Obr. 6.20: Stroj osazen univerzálním adaptérem

## 6.1 Zaslepení radiálních kanálů

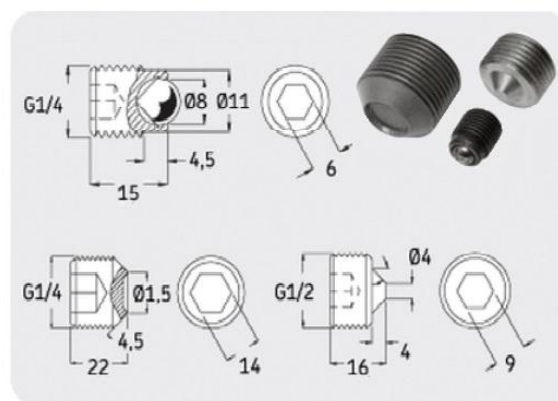
Propojovací kanály, vrtané do tělesa univerzálního adaptéru za účelem přivedení ovládacího média do rychlospojek, jsou z technologického hlediska vyrobeny radiálně z obvodu dílu. Situace je znázorněna na *Obr. 6.9* na straně 35. Vznikají tím slepá ramena vyústující na obvodu z tělesa, což je výrobně nevyhnutelné, ovšem pro funkci nevyhovující. Proto je třeba tyto výstupy zaslepit. K tomuto účelu lze použít různé druhy víček, zásepek či zátek.

Nejjednodušším způsobem je konec kanálu o průměru 5 mm opatřit závitem M6 a našroubovat stavěcí šroub. Ovšem je třeba ho v závitu spolehlivě zatěsnit např. speciálním vláknem či lepidlem. Dalším způsobem je použít hydraulické zátky s vnějším či vnitřním šestihrannem. Tyto zátky jsou utěsněny pryžovým nebo měděným kroužkem na čele. Vyrábějí se jak s metrickým závitem, tak s trubkovým. U těchto komponent je nevýhodou větší rozměr, tedy nárok na prostor, což je v případě tohoto řešení komplikované.

Sofistikovanější řešení nabízí firma SKF vyrábějící zásepkky, které jsou opatřeny opět závitem, ale není třeba žádného přídavného těsnění. Otvor pro tuto zátku musí být na dně závitu opatřen kuželovou plochou. Stykem této plochy s kuželovým či kulovitým zakončením zátky dochází k utěsnění.



Obr. 6.21: Kanály uzavřeny stavěcími šrouby



Obr. 6.22: Zásepkky od firmy SKF [16]



ZÁTKA METRICKÁ      ZÁTKA G      ZÁTKA G NA IMBUS

objednávací kód					
	bar	mm	M	(g)	ks
<b>Zátka metrická</b>					
Z-M1215	500	17	12X1,5	22	1
Z-M1415	500	19	14X1,5	29	1
Z-M1615	450	22	16X1,5	44	1
Z-M1815	450	24	18X1,5	53	1
Z-M2215	400	27	22X1,5	90	1
<b>Zátka Withwort G</b>					
Z-G18	250	14	1/8"		1
Z-G14	250	19	1/4"		1
Z-G38	350	22	3/8"		1
Z-G12	350	27	1/2"		1
<b>Zátka se závitem G na imbus</b>					
ZKE-G18	250		1/8"		1
ZKE-G14	250		1/4"		1
ZKE-G38	350		3/8"		1
ZKE-G12	350		1/2"		1


**Materiál:**  
Niklovaná ocel

**Použití:**  
Zátky pro uzavření výpustě se šroubují do tělesa a pro vysoké tlaky a úplné dotěsnění je zapotřebí použít hliníkových nebo měděných podložek.

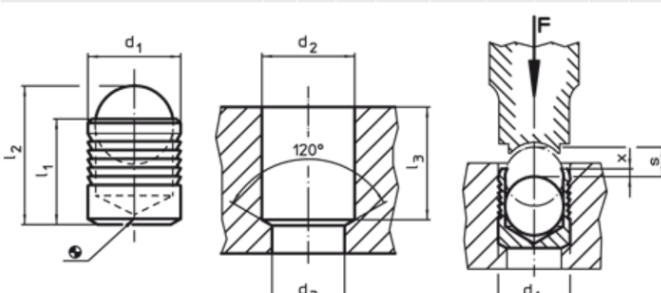
Obr. 6.23: Hydraulické zátky s venkovním závitem [17]

Všechna tato doposud zmíněná řešení jsou jednoduše rozebíratelná, což je z hlediska bezpečnosti menší nevýhodou. Při osazování přípravku na adaptér dochází k vzájemnému seřízení, přičemž je zapotřebí, aby obsluha prováděla dotahování či povolování šroubu v zařízení pro radiální seřízení viz kapitola 4, *Obr. 4.3*. Celý tento proces je prováděn v okamžiku, kdy jsou kanály pod tlakem oleje. Nebylo by proto vhodné a především bezpečné, aby došlo k nechtěnému otevření kanálu. Z tohoto důvodu jsou k zaslepení kanálů v univerzálním adaptéru použity ucpávky od firmy Halder.

Ucpávky Expandér jsou určeny ke spolehlivému, rychlému a levnému uzavření otvoru u tekutinových systémů. Montují se nalisováním do otvoru pomocí daného narážeče. [18]



Obj.č.	d1	l1	l2 ~	d2 +0,1	d3 max.	l3 min.	x ±0,2	s	$\frac{g}{g}$
22880.0056	6	6,5	8,6	6	5,3	6,3	0,4	2,5	1,3

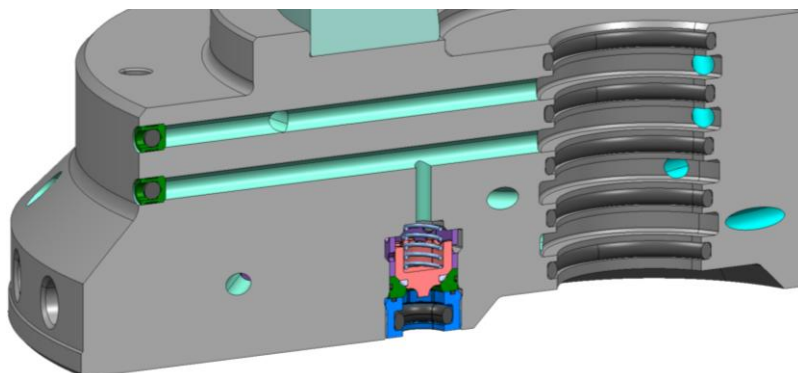


Obr. 6.24: Expandér [18]

Obr. 6.25: Katalogový list expandéru [18]

Materiál:							
Tělo: • Nerez 1.4305				Kulička: • Zušlechťená ocel, zušlechťená, popouštěná			
Provozní a zkušební tlaky pro Expander® ucpávky, tělo z nerez 1.4305							
Materiál vestavby	ETG-100 AISI 1144	C15Pb 1.0403	GG-25 DIN 1691	GGG-50 DIN 1693	AlCuMg2 3.1354	AlMgSiPb 3.0615	G-AISI7Mg 3.2371
d <sub>1</sub> 3-10 mm	Provozní tlak p [bar]						
	450	450	450	450	450	380	380
pTest [bar]							
1400      1400      1400      1400      1400      1200      1200							

Obr. 6.26: Materiálový list a provozní tlak pro ucpávku [18]

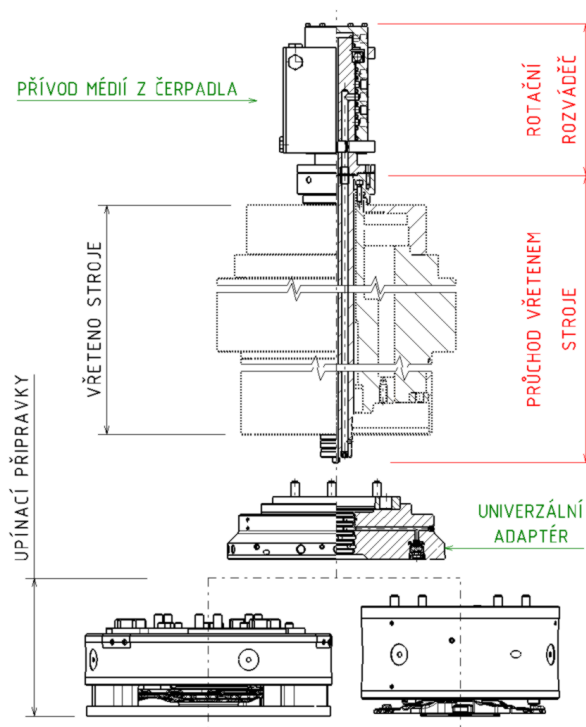


Obr. 6.27: Kanály univerzální příruby utěsněny pomocí expandérů

## 7 Přívod médií

Následující část diplomové práce se bude zabývat přívodem ovládacích médií do zkonstruovaného univerzálního adaptéru. Tato oblast se skládá ze tří částí. První je zdroj, tedy čerpadlo obráběcího stroje a následný rozvod média vysokotlakými hadicemi skrz redukční ventily až k horní části vřetena stroje. Tato část nebude podrobněji popisována, protože je dána dispozicí stroje. Druhou částí je rotační rozvaděč - zařízení pro přechod média ze stacionární části stroje do rotujícího vřetena. Tato část je velice složitá a komplikovaná a proto bude podrobněji řešena v kapitole 7.2. Třetí část se zabývá propojením rotující části rozvaděče s univerzálním adaptérem skrz vřeteno stroje. Jde o jednodušší oblast, která vychází především z tvaru vřetena, a proto bude vysvětlena v následující kapitole.

Obě dvě oblasti pro řešení jsou znázorněny červeně na obrázku níže, na kterém je mimo jiné vyobrazen také již hotový univerzální adaptér.

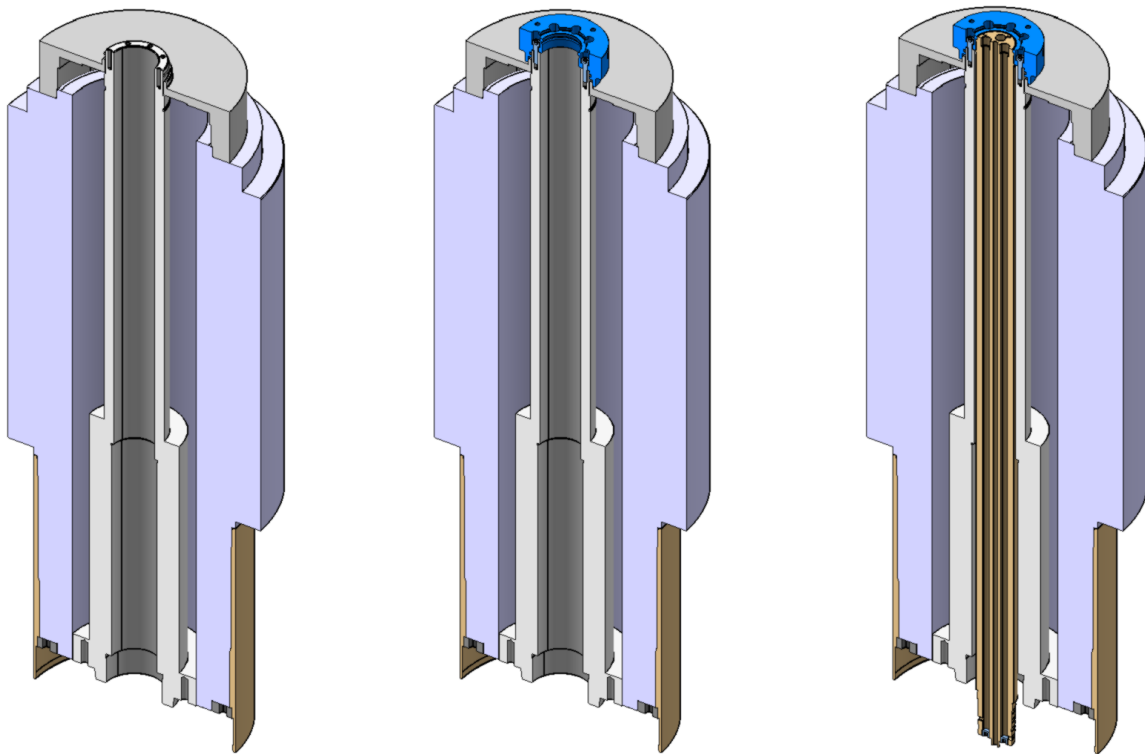


Obr. 7.1: Koncepce stroje s vymezenými oblastmi pro řešení

## 7.1 Průchod vřetenem

Vřetena moderních obráběcích strojů jsou navržena tak, aby umožnila protažení obráběného tyčového polotovaru vřetenem, nebo aby umožnila ovládání např. připojeného sklíčidla. Dříve se používala sklíčidla převážně ručně ovládaná, ovšem s nástupem obráběcích center je začala nahrazovat sklíčidla ovládaná automaticky. Nejjednodušším způsobem je mechanické ovládání tažnou tyčí, protaženou skrz vřeteno stroje. V případě problematiky řešené v této diplomové práci bude tažná tyč nahrazena tzv. přívodní tyčí, která nebude kromě společné rotace s vřetenem vykonávat žádný jiný pohyb.

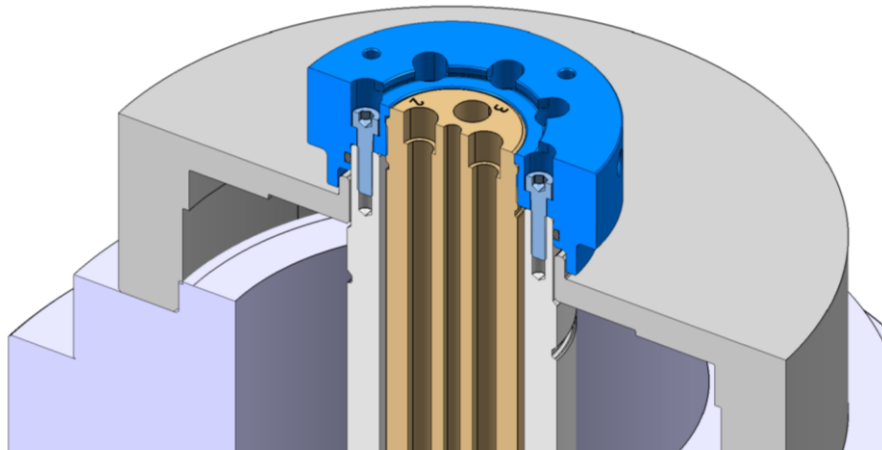
Její rozměry vychází z tvaru vřetena, které je schematicky naznačeno na následujícím obrázku. Přesně je vymodelována celková délka, průměr otvoru v ose a připojovací plochy v horní a dolní části vřetena, jejichž rozměry výrobce udává. Pro upevnění přívodní tyče k horní části vřetena byla navržena redukce k němu nastálo přišroubovaná. Je opatřena závittem pro spojení s tyčí. Oba dva díly jsou pojištěny proti vzájemnému pootočení.



Obr. 7.2: Zleva: vřeteno A6, redukce přišroubovaná ke vřetenu, přívodní tyč spojena s redukcí

Redukce je na svém horním čele opatřena čtyřmi závitovými otvory pro připojení rotační části hydraulického rozvaděče, který je vystředěn pomocí broušeného průměru v redukci.

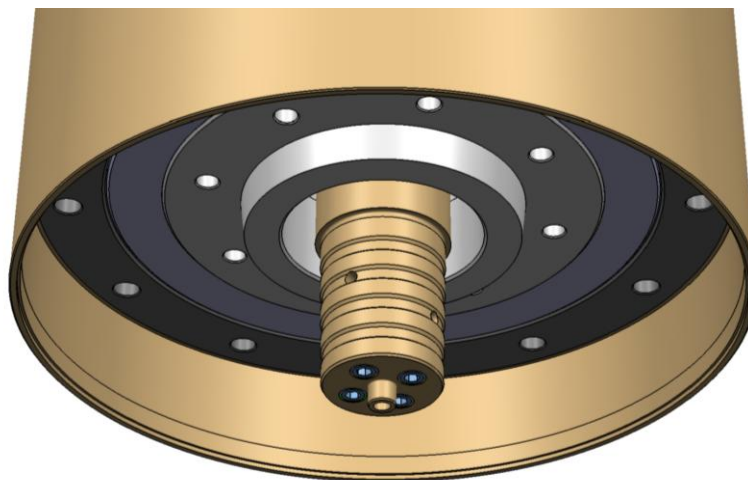
Skrz přívodní tyč, jejíž délka přesahuje 1000 mm, jsou rovnoběžně s osou rotace vrtány čtyři kanály po 90°, sloužící pro přívod ovládacího média do univerzálního adaptéru a následně do upínacího přípravku. V ose rotace tyče je vrtán pátý kanál menšího průměru určený pro přívod tlakového vzduchu, který v přípravku slouží převážně jako detekce správně upnutého obrobku. V horní části tyče jsou kanály opatřeny zahloubením na průměr 12 H11, které bude sloužit pro spojení s kanály rotačního rozvaděče.



Obr. 7.3: Detail spojení tyče s redukcí, přišroubované ke vřetenu

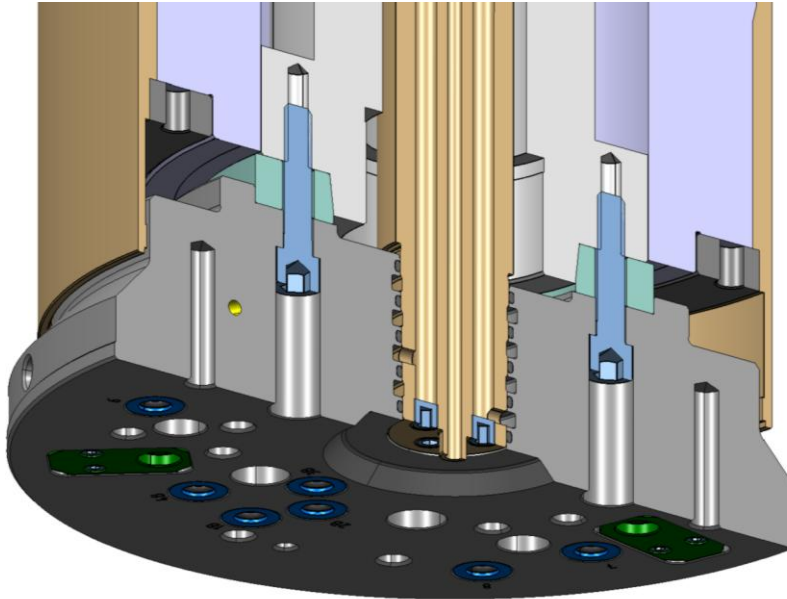
Přívodní tyč je na svém dolním konci opatřena čtyřmi zápichy, do kterých je přivedeno médium pomocí čtyř radiálně vrtaných otvorů. Každý z těchto otvorů propojuje zápich s právě jedním již zmíněným hlubokým vrtáním ve směru osy rotace. Broušené válcové plochy oddělující zápichy slouží jako těsnící plochy, na kterých dojde ke styku s těsněním vloženým v zápichách univerzálního adaptéru. Tím dochází k oddělení jednotlivých okruhů média. Průměr válcového osazení je zdola odstupňován po 0.5 mm a to z důvodu snadnějšího montáže. Hluboké vrtání po celé délce tyče je na dolním čele zaslepeno stavěcím šroubem utěsněným lepidlem. Pátý kanál určený pro tlakový vzduch je veden tyčí skrz univerzální adaptér přímo do upínacího přípravku.

Na Obr. 7.4 je znázorněna přívodní tyč namontovaná ve vřetenu stroje. Její dolní konec není nijak zpevněn ani vystředěn. V tento okamžik proto není vhodné roztáčet vřeteno stroje, protože by došlo k rozvibrování tyče a hrozilo by poškození jednotlivých dílů. Celá sestava bude zpevněna až po nasazení univerzálního adaptéru na tyč a jeho přitažení na kuželové zakončení vřetena stroje. Takto zkompleťovaný průchod vřetenem je vyobrazen na následujících obrázcích.



Obr. 7.4: Rozvodná tyč protažena vřetenem stroje

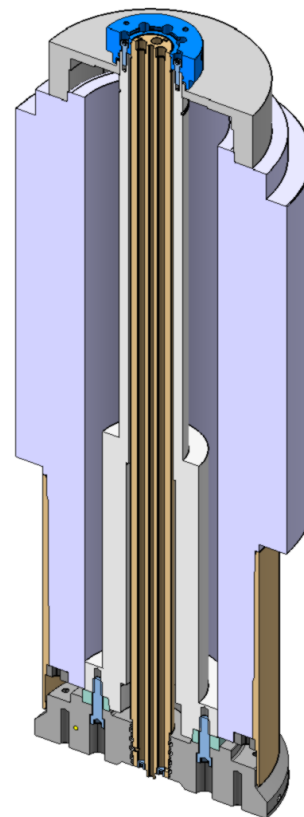




Obr. 7.5: Spodní konec tyče ukotven v nasazeném adaptéru

Univerzální adaptér je navržen tak, aby ho bylo možné za pomoci redukčních kroužků nasadit na stroje o různých velikostech vřeten. Převážně jde o rozměr A6 a A8. Jednotlivá vřetena se liší především svou délkou, proto je pro každý typ navržena přírodní tyč odpovídající délky. Ovšem připojení tyče v horní části i v oblasti univerzálního adaptéru zůstává nezměněné.

Výkresová dokumentace zkonstruovaného univerzálního adaptéru i ostatních navržených komponent je jako příloha součástí diplomové práce.



Obr. 7.6: Celkový pohled

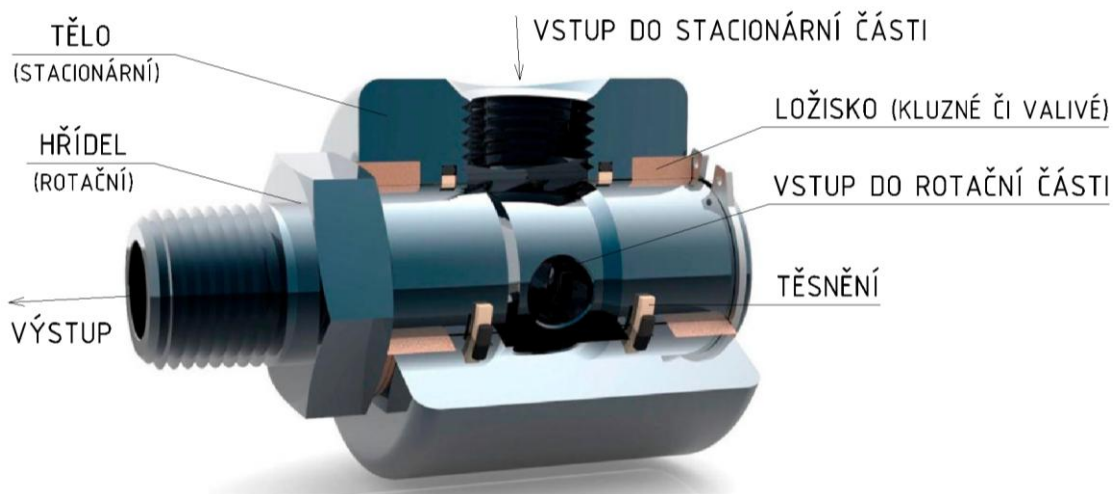
## 7.2 Hydraulický rotační rozvaděč

Rotační rozvaděč nebo také rotační jednotka či rotační spojka je zařízení používané pro přenos tlakového média ze stacionárního vstupu do rotujícího výstupu při zachování tlaku a izolace tekutiny od okolního prostředí. Mohl také být definován jako zařízení, které zajišťuje utěsnění mezi stacionárním přívodním kanálem, jako je např. potrubí nebo hadice, a otáčející se části (hřídel, buběn, válec, nebo vřeteno) pro umožnění toku tekutiny do rotující části či naopak z rotujícího dílu do pevného. Rotační jednotky jsou navrženy tak, aby snášely velký rozsah teplot a tlaku a nabízely tak velmi široké uplatnění. Kromě toho mohou tato zařízení pracovat s několika nezávislými zdroji a typy médií současně. Obvykle se používají pro různé teplosměnné kapaliny, páru, vodu, termální oleje, hydraulické kapaliny, chladicí kapaliny, řezné emulze a také pro vzduch.



Obr. 7.7: Bohatá škála nabízených produktů na trhu [19, 20, 21]

Rotační rozvaděče se staly velice oblíbenými komponentami, protože jsou velmi univerzální a z hlediska prostorové náročnosti výhodnější než ostatní zařízení určená pro podobné účely. Jejich vlastnosti se uplatní tam, kde je zapotřebí neustálé dodávky mazání, chlazení nebo jiné tekutiny zajišťující chod nebo funkci rotujících částí. Jsou využívány v mnoha aplikacích od potravinářského či farmaceutického průmyslu až po aplikace v chemickém, automobilovém a v mnoha odvětvích strojírenského průmyslu. Ve strojírenství našly nejčastější uplatnění v moderních obráběcích strojích. Rotační spojky bývají obvykle vyrobeny z nerezové oceli, ovšem používají se i jiné materiály jako např. hliník nebo mosaz.



Obr. 7.8: Hlavní části rotační jednotky pro jedno médium [22]

Rotační rozvaděče jsou vyráběny v různých tvarech a velikostech. Rozdílnost spočívá především v počtu médií, která je možné k rozvaděči připojit. Na obrázku výše je znázorněna rotační jednotka pro jedno médium, tedy jednokanálová. Nejčastěji používané jsou rozvaděče dvoukanálové, tříkanálové a čtyřkanálové. Ovšem existují i vícekanálové např. dvanácti.

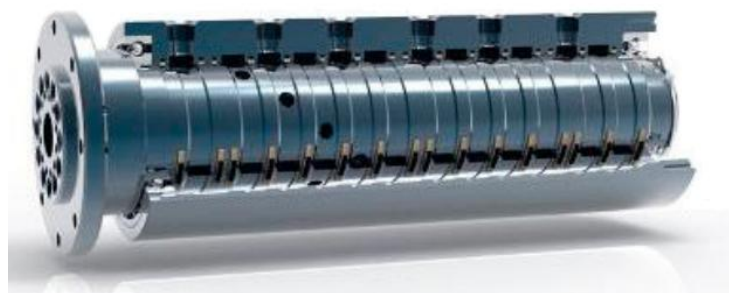
Bez ohledu na počet kanálů se toto zařízení skládá většinou ze čtyř hlavních dílů. Jedná se o hřídel, tělo rozvaděče, dvojici ložisek a hydraulické těsnění.

Do těla jednotky, které je mechanicky zajištěno proti otáčení, je přivedeno médium trubkou či hadicí se šroubením. Jedná se tedy o vstup kapaliny do stacionární části. Médium poté pokračuje do oblasti zápchu v hřídeli a radiálním otvorem do osy hřídele vstupuje do rotační části. V ložiskách uložený otáčející se hřídel je dutý, což médiu umožňuje pokračovat dále k výstupu např. do vřetena stroje. Směr proudu média může být samozřejmě situován i opačně.

Z popisu funkce je zřejmé, že hydraulické těsnění, tedy speciální kroužek pro utěsnění rotačních pohybů, je klíčovou částí celého zařízení. Během provozu je zatěžován nejen silou od tlaku tekutiny, ale i třením při styku s těsnicí plochou - válcovou plochou hřídele. Životnost kroužku tedy mohou ovlivnit faktory spojené s druhem kapaliny a jejím tlakem, otáčkami hřídele a také s teplotou média a celého zařízení. Kdyby se těsnost kroužku porušila, došlo by k úniku média, nebo v případě vícekanálového rozvaděče by mohlo dojít také k promíchání jednotlivých okruhů. To by mělo za následek zásadní narušení funkce připojeného zařízení, které je rotační jednotkou napájeno.

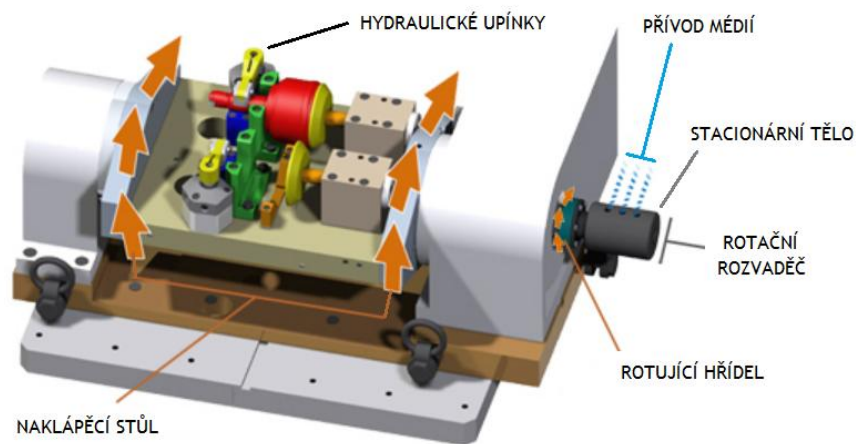


Obr. 7.9: Šestikánalový rozvaděč v rozstřelu [23]



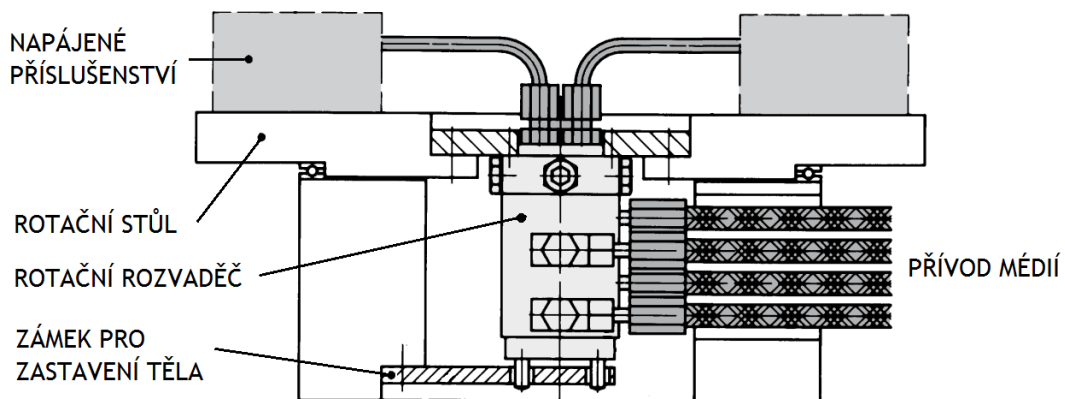
Obr. 7.10: Dvanáctikanálová rotační jednotka [30]

Na Obr. 7.11 je vyobrazen frézovací přípravek jako příklad použití rotačního rozvaděče. Hydraulické upínky, sloužící pro zpevnění polotovaru při upínání, jsou ovládané pravděpodobně tlakovým olejem. Ten je přiveden třemi kanály do rotačního rozvaděče, který umožní přechod média do rotujícího hřídele nastalo spojeného s hřídelem naklápěcího stolu. Tím je zajištěný nepřetržitý přívod oleje k upínkám, které pracují i během naklápění stolu při obrábění.



Obr. 7.11: Frézovací přípravek napájen pomocí rotačního rozvaděče [23]

Na následujícím obrázku je schematicky znázorněno použití rotační jednotky tentokrát ve svislé poloze. V tomto případě je tlakové médium vedeno skrz rotační spojku do otočného stolu, na kterém je umístěno napájené příslušenství.



Obr. 7.12: Rotační rozvaděč ve svislé poloze [5]

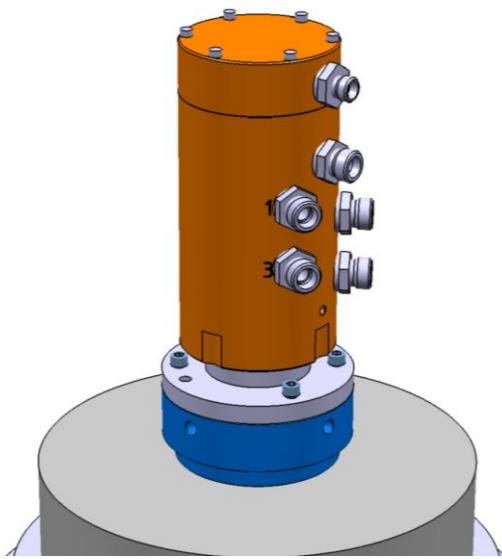
### 7.2.1 Současný stav

Při návrhu svého prvního soustružnického hydraulicky ovládaného upínacího přípravku řešila firma Hofmeister problematiku upínání rotujícího polotovaru jako celek. Tedy i přívod ovládacích médií strojem k upínacím či polohovacím komponentám v těle přípravku. Přestup média ze stacionární části stroje do rotujícího vřetena byl řešen pomocí nakupovaného zařízení vyobrazeného na Obr. 7.13. Jedná se o rotační rozvaděč určený pro čtyři kanály tlakového oleje a jeden kanál pro vzduch. S ohledem na tvar a způsob připojení tohoto zařízení byla navržena již zmíněná redukce a tyč vedoucí skrz vřeteno stroje. Takto navržený komplet spolu s přípravky Hofmeister je v současné době používán na mnoha strojích.

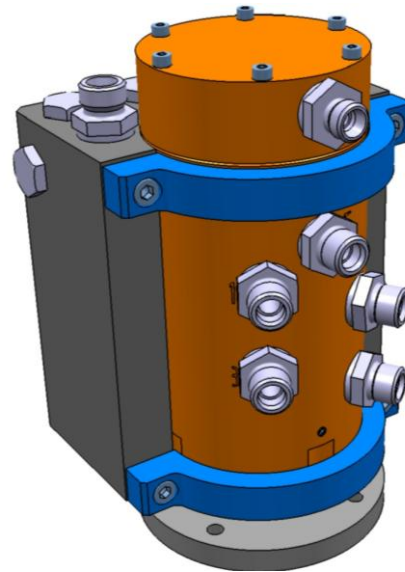
Ovšem postupem času se začalo projevovat, že tento používaný rotační rozvaděč není stoprocentně spolehlivý. Z analýz několika poruch bylo zjištěno, že dochází k mechanickému opotřebením rotačního těsnění, které od sebe odděluje jednotlivé kanály média. Důsledkem toho poté dochází k propojení těchto kanálů, přičemž každý z nich obsahuje médium, které je pod určitým tlakem zajišťuje konkrétní funkci přípravku. Propojením dvou kanálů a následným

vyrovnáním jejich tlaku přestává přípravek plnit svou funkci, a pokud se toto stane při procesu obrábění, může dojít k nepříjemným kolizím.

Byla proto zrealizována mnohá opatření vedoucí ke zvýšení životnosti rotačního těsnění v rozvaděči. Zásadním negativně působícím faktorem je teplota vznikající třením břitu stacionárního těsnění v těle jednotky o válcovou plochu rotujícího hřídele. Z tohoto důvodu byl zkvalitněn povrch hřídele pochromováním a následným broušením a leštěním. Dále byl k tělu rotační jednotky přišroubován duralový chladič (Obr. 7.14), jehož cílem je odvádět teplo přestupem z povrchu těla rozvaděče. Je připojený na chladicí okruh, který je součástí převážné většiny moderních obráběcích strojů, kde chladí např. vřetenou či revolverovou hlavu s nástroji. Také samotné rotační těsnění bylo nahrazeno kvalitnějším teplotě odolnějším vyráběným na zakázku.



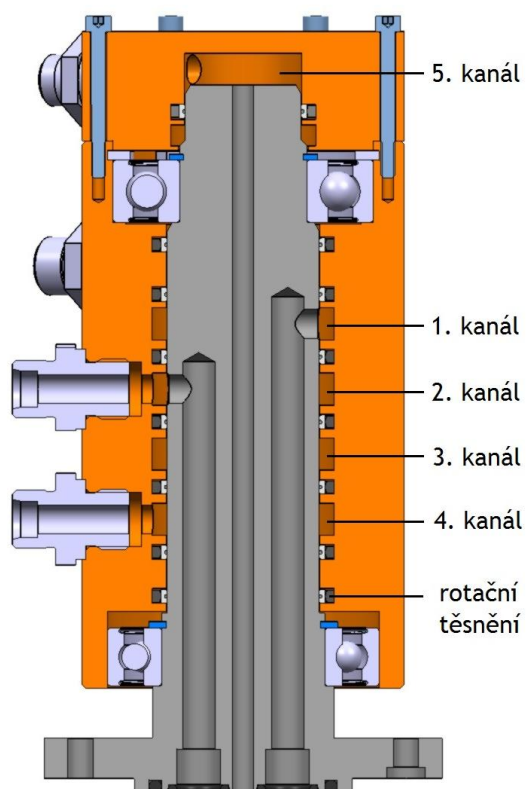
Obr. 7.13: Nakupovaný rotační rozvaděč na stroji



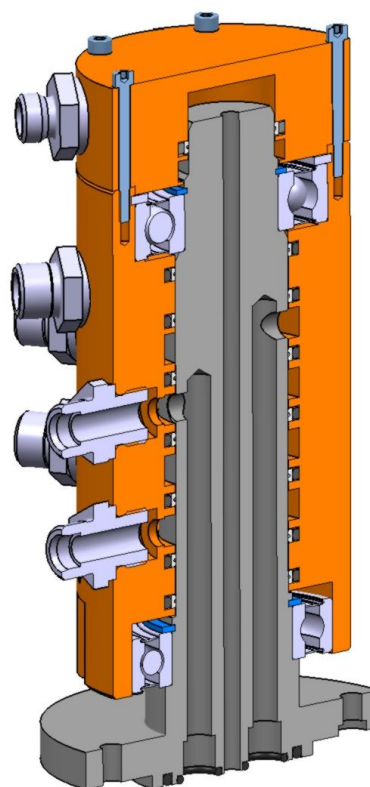
Obr. 7.14: Chladič rotační jednotky

Tyto úpravy samozřejmě vedly k výraznému zvýšení životnosti těsnění a tedy celého zařízení, ovšem stále se objevují případy, kdy dochází k drobným poruchám. Životnost ovlivňuje mnoho faktorů jako např. druh soustružnické operace, maximální otáčky dosahované při obrábění, čas obrábění těmito vysokými otáčkami, prodlevy mezi jednotlivými cykly, tedy čas výměny obrobků atd. Neméně důležitý je také druh používaného média, jeho tlak a způsob zapojení. Na životnosti těsnění se samozřejmě projeví, zda jsou natlakovány např. všechny kanály najednou, či pouze jeden z nich nebo dokonce žádný a jak dlouho tento stav trvá. Proto jsou upínací přípravky navrženy tak, aby byly vždy pod tlakem alespoň dva kanály a zároveň aby nebyly v rotační jednotce umístěny vedle sebe. Např. při obrábění je pod tlakem kanál číslo 1 a 3, zatímco kanál 2 a 4 je odlehčen a naopak při zastavení a výměně polotovaru je pod tlakem druhý se čtvrtým a první se třetím je bez tlaku. Dochází tak k rovnoměrnému namáhání a mazání rotačního těsnění.

S ohledem na tyto podmínky bylo pro konkrétní rotační rozvaděč stanoveno období bezpečného provozu a po dosažení tohoto časového úseku je nutné provést tzv. repasi neboli preventivní výměnu těsnění. Je pravdou, že náklady na výměnu těsnění jsou jen zlomkem nákladů ušlého zisku, které by vznikly neplánovanými prostoji stroje, ovšem i přesto je cena těsnění poměrně vysoká a z ekonomického hlediska není tento postup příliš výhodný. Z technického hlediska je ovšem nutný. Proto je cílem diplomové práce navrhnout řešení této problematiky viz kapitola 1.2 Specifikace zadání diplomové práce na straně 8.



Obr. 7.15: Popis zařízení v řezu



Obr. 7.16: Řez rotačním rozvaděčem



Obr. 7.17: Stávající jednotka s chladičem na stroji (vpravo štítek zaznamenávající teplotu zařízení)

### 7.2.1.1 Požadavky kladené na rotační rozvaděč

Požadavky kladené na rotační rozvaděč vycházejí z podmínek, při kterých současně upínací přípravky pracují. Tedy z maximálních používaných otáček při soustružení, dále z maximálního pracovního tlaku média, na který jsou přípravky konstruovány, stejně tak musí být dodržen počet kanálů ovládacího média. Dalším požadavkem je navrhnout připojovací část rotační jednotky tak, aby ji bylo možné namontovat na stroj bez sebemenších konstrukčních zásahů do redukce či tyče vedoucí skrz vřetenou stroje. V neposlední řadě musí být dodržen požadavek na maximální rozměr zařízení, vycházející z prostoru nad vřetenem stroje.

Zadané parametry:

- max. pracovní tlak oleje 50 bar
- max. pracovní tlak vzduchu 15 bar
- max. otáčky 2 500 ot/min
- min. počet kanálů pro olej 4
- min. počet kanálů pro vzduch 1
- max. průměr zařízení 250 mm

### 7.2.2 Rešerše rotačních rozvaděčů

V této části diplomové práce bude zpracována rešerše zařízení na trhu. Budou představeny takové rotační rozvaděče, které jsou vhodné pro aplikaci v našich podmínkách a odpovídají především požadavku na počet používaných médií. Tedy minimálně čtyři okruhy pro ovládací tlakový olej a jeden okruh pro tlakový vzduch.

#### 7.2.2.1 Scott Rotary Seals

Společnost byla založena v roce 1960 pod názvem Scott Engineering v Oleanu v USA, kde sídlí dodnes. Později se začala specializovat na řešení neobvyklých technických problémů spojených s těsněním rotačních pohybů a přejmenovala se na Scott Rotary Seals. Dnes se SRS stále rozrůstá, aby vyhovovala potřebám průmyslu při navrhování a výrobě inovativních řešení pro zákazníky po celém světě. [25]

Rotační rozvaděč série AP je pětikanálové zařízení z nerezové oceli s černou vrstvou chránící povrch proti opotřebení. Jako médium je možné použít oleje, chladicí kapaliny, plyny i páru. Těsnění tvoří teflonový kroužek spolu s předepínacím pryžovým kroužkem kruhového průřezu. [25]

Technická data:

- max. pracovní tlak 7 500 psi (520 bar)
- max. otáčky 850 ot/min
- max. teplota 105 °C

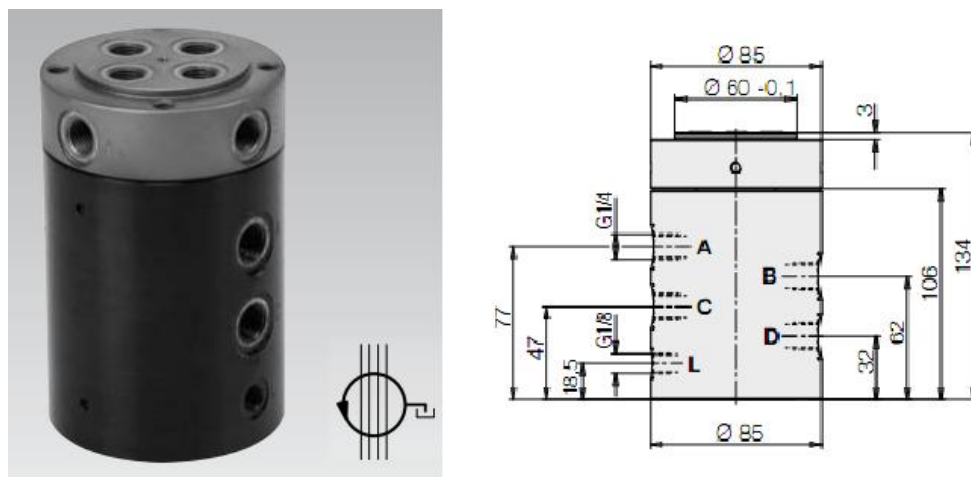


Obr. 7.18: AP rozvaděč od společnosti SRS [25]

### 7.2.2.2 Roemheld

Společnost Roemheld již byla představena v kapitole 3.1.4. V jejím sortimentu, který nabízí širokou škálu produktů v oblasti energetiky a upínání pro výrobní inženýrství, nechybí ani řešení pro rotační průchod kapalného nebo plynného média z nepohyblivé na rotující nebo otočnou část stroje. [25]

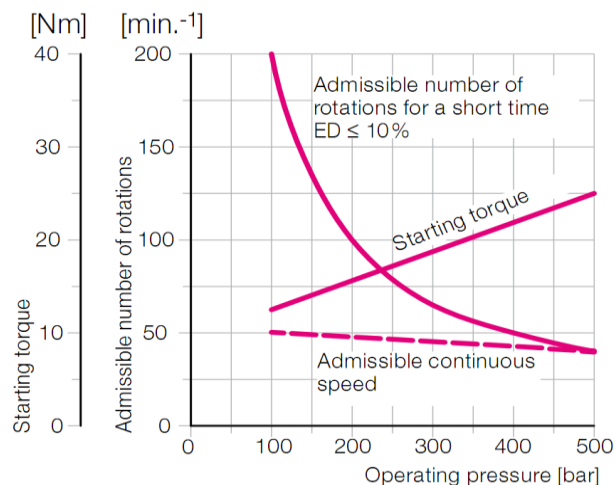
Zařízení pro rotační průchod typu F 9.281 lze použít pro rozvod tlakového oleje dle DIN 51524-2, nebo pro stlačený vzduch, který musí být přimazáván a zbaven veškeré vody. Výhodou této konstrukce je volba axiálního či radiálního připojení k rotačnímu pístu. Ten je uložen v kuličkových ložiscích a jeho provozní plochy jsou nitrizovány, broušeny a leštěny. Speciální těsnění má nízké tření a je odolné proti otěru. V případě malého úniku média bude tento objem sveden kontrolovaným způsobem zpět do zásobníku stroje. Pro používání při maximálních otáčkách musí být volen nižší tlak média a to pouze krátkodobě. Závislost přípustných otáček na tlaku média je znázorněna na *Obr. 7.20*. [25]



*Obr. 7.19: Rotační rozvaděč F 9.281 a jeho vnější rozměry [25]*

#### Technická data:

- max. pracovní tlak 500 bar
- max. otáčky 200 ot/min
- max. teplota 60 °C
- nominální průměr 5 mm
- max. průtok 12 l/min
- hmotnost 5.5 kg



*Obr. 7.20: Závislost otáček a rozběhového momentu na tlaku [25]*



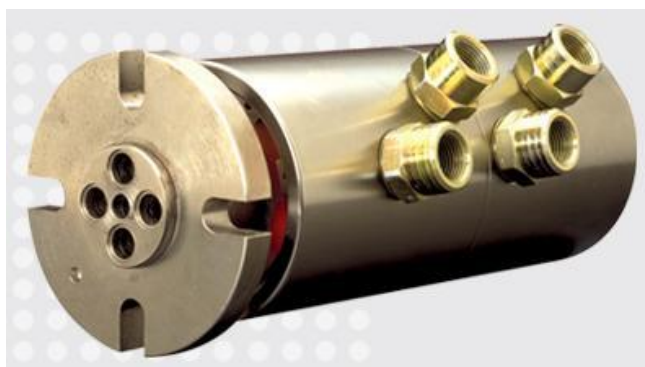
### 7.2.2.3 Duff-Norton

Americká společnost Duff-Norton sídlící v Amherstu získala pověst spolehlivých a vysoce kvalitních výrobků, které se používají pro průmyslové zvedání, polohování a přenos médií. Všechny navržené výrobky jsou podrobeny přísnému testování v průběhu celého procesu výroby, aby byla zajištěna maximální kvalita. Rotační jednotky vyráběné touto firmou nabízejí prvotřídní funkčnost přenosu médií přes velmi širokou škálu aplikací. Rozdělují se pro aplikaci s vysokým tlakem HPMC (high pressure multi-circuit) anebo a vysokou rychlostí HSMC (high speed multi-circuit), které dosahují až 3000 ot/min. [26]

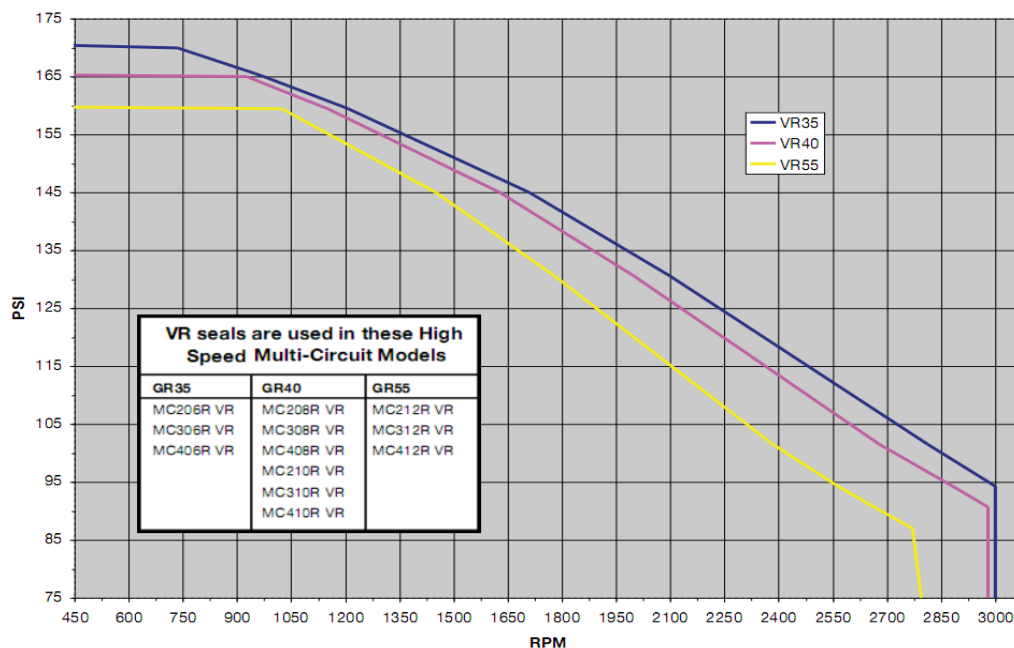
Rotační rozvaděč typu HPMC pro čtyři média je určen pro vysoké rychlosti, ovšem při velmi nízkém tlaku. Každý kanál je utěsněn, a proto nedochází k promíchání jednotlivých médií různého typu, které je možné současně použít. [26]

Technická data:

- max. pracovní tlak 12 bar
- max. otáčky 3 000 ot/min
- max. teplota 120 °C



Obr. 7.21: HPMC zařízení pro vysoké otáčky [26]



Obr. 7.22: Závislost otáček na tlaku média (kde 175 psi = 12 bar) [26]

#### 7.2.2.4 Deublin

Společnost Deublin byla založena v roce 1945 pány Deublerem a Linnem. Název společnosti je kombinací jejich jmen. Deublin je předním výrobcem rotačních přívodů, které umožňují přenos tlakové kapaliny ze stacionárního zdroje do rotačních strojů pro vytápění, chlazení nebo jako přívod tlakové tekutiny. Pětikanálový rotační rozvaděč se skládá z rotoru vyrobeného z nerezové oceli a mosazného těla. Při použití rozdílných médií se doporučuje např. pro vzduch použít kanály 1 číslo 1 a 2, a pro hydraulický olej třetí a čtvrtý kanál.

Technická data:

- max. pracovní tlak oleje 850 psi (60 bar)
- max. pracovní tlak vzduchu 175 psi (12 bar)
- max. otáčky 250 ot/min
- max. teplota 80 °C

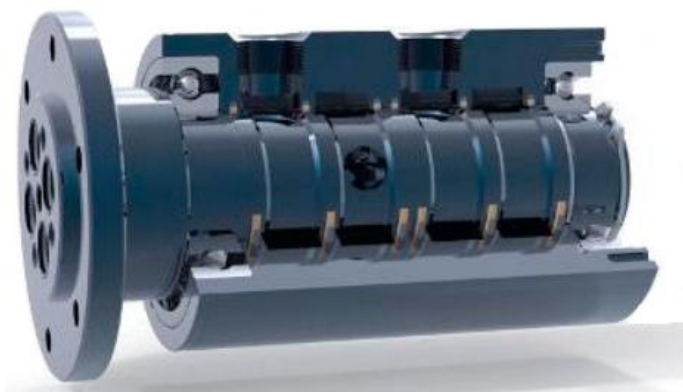


Obr. 7.23: Rotační jednotka Deublin

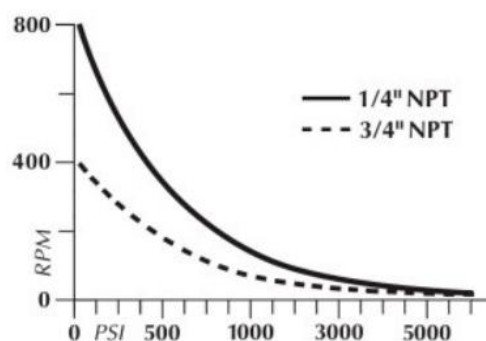
#### 7.2.2.5 Rotary Systems, Inc.

Tato americká společnost sídlící v Minnesotě se specializuje na vývoj a výrobu rotačních rozvaděčů a jejich příslušenství. [24]

Rotační jednotka typu 017 je víceúčelové pětikanálové zařízení s kaleným hřídelem opatřeným osazením a otvory pro montáž ke stroji. Hřídel je v ose vrtaný pro průchod pátého kanálu a je uložen v jednořadých kuličkových ložiscích. Jednotlivé kanály jsou odděleny teflonovým rotačním těsněním. [24]



Obr. 7.24: Zařízení typu 017 pro 5 radiálních kanálů [24]

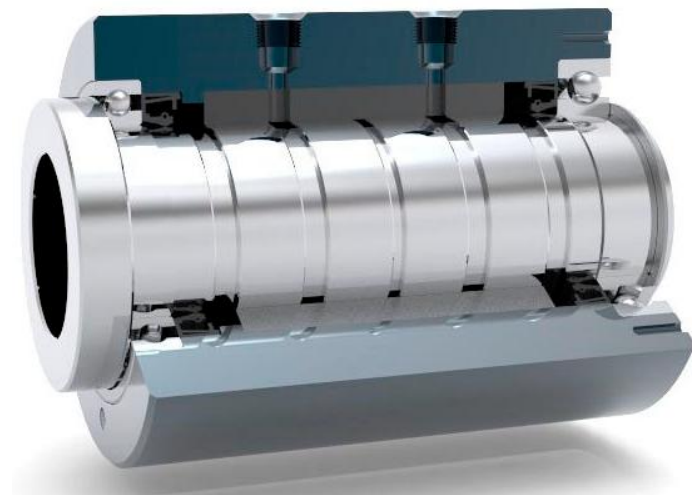


Obr. 7.25: Závislost otáček na tlaku [24]

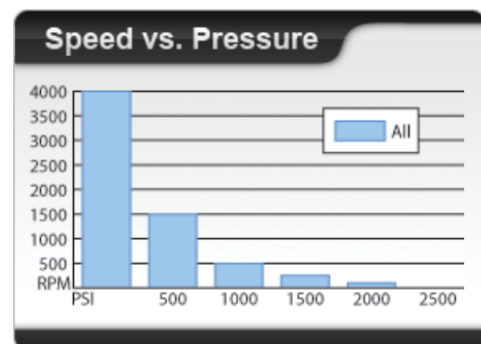
Technická data:

- max. pracovní tlak oleje 7 000 psi (480 bar)
- max. pracovní tlak vzduchu 500 psi (34 bar)
- max. otáčky 800 ot/min
- max. teplota 400 °C

Společnost Rotary Systems dále nabízí rotační rozvaděč typu 032, který se svou koncepcí zcela odlišuje od všech ostatních. Těsnění jednotlivých kanálů zde není zajištěno rotačním těsněním, u kterého dochází ke kontaktu s hřídelem, nýbrž je využíváno bezkontaktního tzv. hydrostatického těsnění, které je tvořeno samotným médiem při průchodu miniaturní vůlí mezi stacionární a rotující částí. Tato zařízení jsou určena pro aplikace, které vyžadují vysokou rychlost a tlak současně. Nabízejí se s jedním nebo dvěma průchody. [27]



Obr. 7.26: Dvoukanálový hydrostatický rozvaděč [27]



Obr. 7.27: Provozní podmínky [27]

Technická data:

- max. pracovní tlak oleje 2 000 psi (138 bar)
- max. pracovní tlak vzduchu 100 psi (7 bar)
- max. otáčky 4 000 ot/min
- max. teplota 150 °C

#### 7.2.2.6 Zhodnocení nabízených produktů

Téměř všechna výše popisovaná zařízení splňují podmínku pro použití média o tlaku 50 bar. Stejně jako u všech ostatních, jsou ovšem otáčky. Většina produktů je vyráběna pro používání na obráběcích strojích za účelem občasného polohování např. otočného stolu či k naklápění pracovního stolu. Ovšem v případě problematiky řešené v této diplomové práci jde o rozvaděč používaný při procesu soustružení. Pouze společnosti Duff-Norton a Rotary Systems nabízejí zařízení pracující při vysokých otáčkách, která by našim podmínkám vyhovovala. Ovšem je nutno podotknout, že maximální dovolené otáčky a maximální používaný tlak je u těchto strojů v určité závislosti. Z grafů na Obr. 7.22 a Obr. 7.27 je možno odečíst, že při námi požadovaných 2 500 otáčkách za minutu je dovoleno použít médium o tlaku mnohem nižším než je potřebných 50 barů. Žádný z těchto nabízených produktů tedy neodpovídá zadaným parametrům, a proto bude přistoupeno k návrhu vlastního zařízení.

### 7.2.3 Návrh řešení

Rotační těsnění, jak již bylo několikrát zmíněno, je z hlediska životnosti bezpochyby nejslabším článkem celého zařízení. Oddělení jednotlivých kanálů tímto kontaktním způsobem je sice z konstrukčního hlediska velice snadné, ovšem mechanické opotřebení těsnícího kroužku je i při použití dokonalých kluzných materiálů značné. Bohužel žádnými dalšími úpravami či vylepšeními okolních dílů není možné opotřebování těsnícího břitu zmírnit či zpomalit. Ke kontaktu musí docházet vždy a síla, které je těsnění vystaveno, nemůže být snížena, protože je závislá na tlaku použitého média. Nastává tedy otázka, jak, nebo čím rotační těsnění nahradit.

Velice zajímavý je koncept tzv. hydrostatického rotačního rozvaděče typu 032 nabízeného firmou Rotary Systems. Těsnění jednotlivých kanálů zde není zajištěno kontaktním rotačním těsněním, nýbrž je využíváno bezkontaktního labyrintového těsnění. Ovšem tato jednotka, která je zpracována v rešerši na straně 53, svými technickými parametry nevyhovuje požadovaným hodnotám a navíc je vyráběna pouze ve dvoukanálovém provedení. Nicméně princip labyrintového těsnění je velmi perspektivní a další návrh vlastního rotačního rozvaděče se bude ubírat touto cestou.

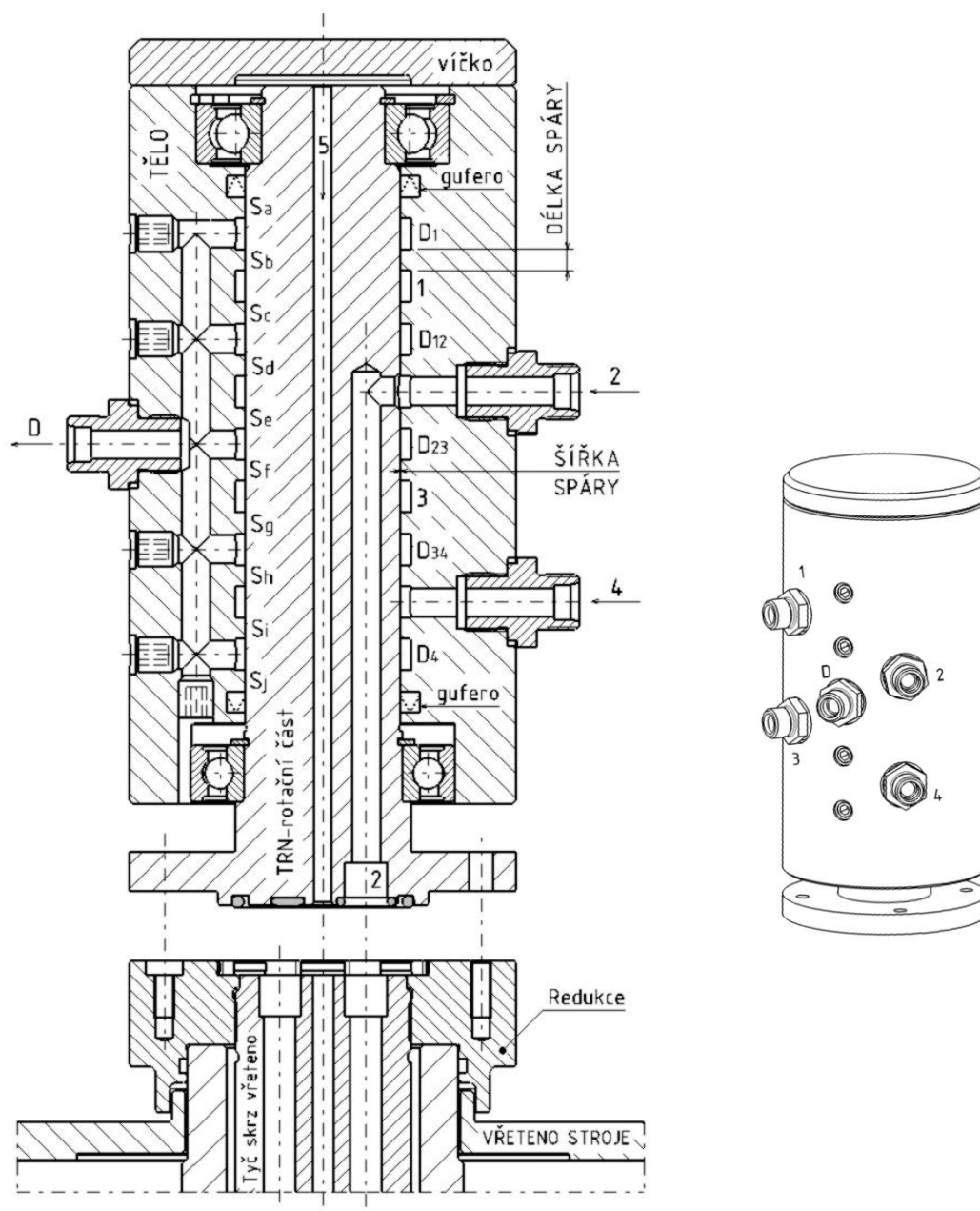
Na obrázku v následující kapitole popisující funkci je znázorněn návrh hydrostatického rotační jednotky pro čtyři okruhy tlakového oleje, které jsou vzájemně odděleny labyrintovým těsněním.

#### 7.2.3.1 Funkce hydrostatického rozvaděče

Médium je přivedeno hadicemi přes šroubení do zápichů v těle označených číslicemi 1 až 4. Dále poté vstupuje do radiálních otvorů v trnu, které jsou vyrobeny v poloze odpovídající zápichům 1 až 4. Axiálním vrtáním v trnu médium pokračuje do otvorů v tyči procházející skrz vřetenou a dále potom do univerzálního adaptéru. Pátý okruh určený pro tlakový vzduch je veden kanálkem v ose trnu a vstup do rozvaděče by byl řešen v oblasti víčka. Doposud je princip stejný jako v rozvaděčích s mechanickým těsněním, ovšem nyní se dostáváme k těsnění jednotlivých okruhů. Nad i pod každým přívodním zápichem v těle (1 až 4) se nachází další tzv. drenážní zápich označený písmenem D s indexem. Např. kanál číslo 1 je shora obklopen drenážním zápichem  $D_1$  a zdola zápichem  $D_{12}$ , který je společný i pro kanál 2. Mezi zápichem 2 a 3 se nachází drenáž  $D_{23}$ , mezi 3 a 4 je drenáž  $D_{34}$  a pod kanálem 4 je zápich  $D_4$ .

Hlavní otvor v těle, na jehož vnitřní válcové ploše jsou vyrobeny zápichy, musí být vzhledem k funkci vyroben s kladnou tolerancí. Naopak průměr trnu, který je do těla vsunut a uložen v ložiscích, musí být vyroben se zápornou tolerancí. Tím dochází mezi každým drenážním zápichem ( $D_1, D_{12}, D_{23}, D_{34}, D_4$ ) a přívodním zápichem (1, 2, 3, 4) ke vzniku tzv. spáry o profilu mezikruží. Těchto spár je celkem 10 a jsou označeny  $S_a$  až  $S_j$ . Rozměr spáry je dán její délkou, která vychází z konstrukce zařízení a její šířkou, která odpovídá průměrové toleranci trnu a otvoru v těle.

Spára je ve své podstatě tvarově velmi jednoduchý labyrint. Teoreticky, s klesajícím rozměrem šířky spáry a narůstajícím rozměrem délky, bude ve spáře narůstat odpor, díky kterému proteče spárou méně média. Funkce je tedy následující. Pokud je pod tlakem např. kanál číslo 2, tlakové médium samozřejmě pokračuje trnem a tyčí až do adaptéru avšak zároveň dochází k jeho řízenému úniku spárou  $S_d$  do drenážního zápichu  $D_{12}$  a také spárou  $S_e$  do zápichu  $D_{23}$ . Všech pět drenážních zápichů je vzájemně propojeno vrtáním vyobrazeným v levé části těla rozvaděče a následně vyúsťují z těla šroubením D, ke kterému je připojena hadice či potrubí a objem média proteklého spárami je tak sváděn zpět do nádrže před čerpadlem.



Obr. 7.28: Návrh hydrostatického rotačního rozvaděče pro 4 kanály tlakového oleje

Cílem dalšího postupu je navrhnout rozměr spáry tak, aby byla schopna udržet médium o tlaku max. 50 bar např. v kanálu číslo 2 a zároveň aby sousední kanály 1 a 3 zůstaly bez tlaku. Nebo současně okruh 2 a 4 pod tlakem, zatímco 1 a 3 bude odlehčen, nebo naopak.

#### 7.2.4 Stanovení rozměru spáry

Pro stanovení rozměrů spáry je důležité znát tlakové ovládací médium. Na všech obráběcích strojích, které byly doposud osazeny upínacími přípravky od firmy Hofmeister, je jako ovládací médium používáno hydraulického oleje VG 32. Proto bude při dimenzování spáry počítáno právě s tímto olejem, jehož vlastnosti jsou vypsány v katalogovém listu na obrázku níže.

Vlastnosti	Jednotka	RENOLIN VG					Zkouška dle
		22	32	46	68	100	
Hydraulický olej dle DIN 51 524-2 HLP dle ISO 6743-4 HM	-	22	32	46	68	100	-
Mazací olej dle DIN 51 517-3 CLP dle ISO 6743-6 CKC	-	22	32	46	68	100	-
Kinematická viskozita při 40 °C	mm <sup>2</sup> /s	22	33	47	67	100	DIN 51 550 a
při 100 °C	mm <sup>2</sup> /s	4,4	5,5	6,8	8,5	11	DIN 51 562
Viskozitní index	-	100	100	98	95	95	DIN ISO 2909
Hustota při 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	865	872	878	882	888	DIN 51 757
Bod vzplanutí v otevřeném kelímku dle Clevelanda	°C	165	210	220	224	240	DIN ISO 2592
Bod tuhnutí	°C	- 27	- 27	- 27	- 24	- 21	DIN ISO 3016
Neutralizační číslo	mg KOH/g	0,3					DIN 51 558-1
Číslo zmydlnění	mg KOH/g	0,6					DIN 51 559
Obsah sulfátového popela	% hmotnosti	0,2					DIN 51 575
Obsah vody	% hmotnosti	množstevně nelze prokázat					DIN 51 582
Obsah nerozpustných látek	% hmotnosti	množstevně nelze prokázat					DIN 51 592
Deemulgační vlastnosti	min	15					DIN 51 599
Odlučování vzduchu při 50 °C	min	3	6	7	8	16	DIN 51 381
Odolnost proti pění ihned	ml	prakticky 0					ASTM D 892
po 10 min	ml	0					postup I až III
Korozní účinky na mědi	stupeň koroze	1-100 A 24					DIN 51 759
Korozní účinky na oceli	stupeň koroze	0 - A					DIN 51 585

Obr. 7.29: Katalogový list různých druhů olejů VG [28]

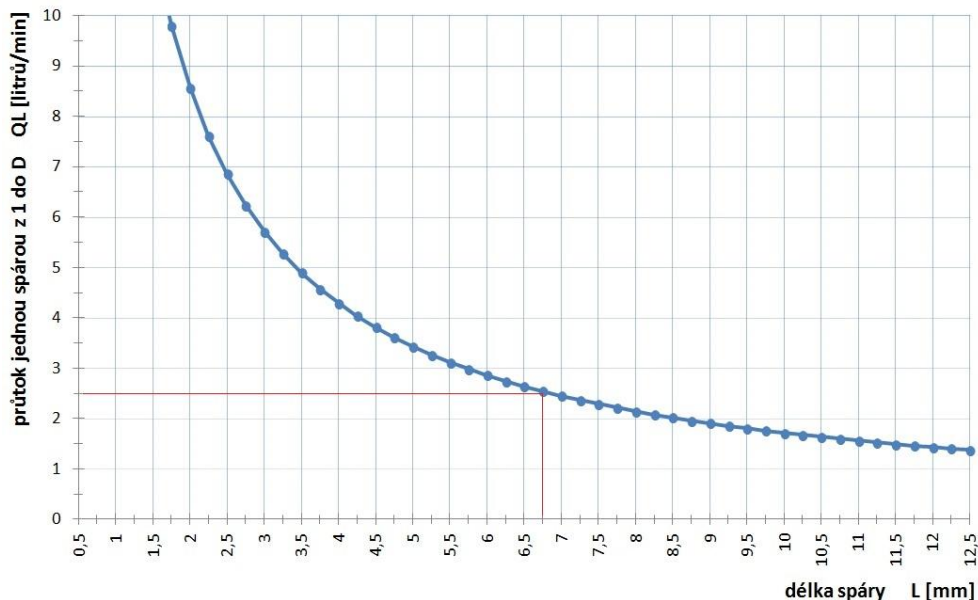
Dalším údajem, který je nutné stanovit, je maximální dovolený průtok oleje spárou při jednom okruhu pod tlakem. Jak již bylo řečeno, používané upínací přípravky jsou osazeny na různých obráběcích strojích, z nichž každý disponuje různým příslušenstvím. Nás samozřejmě nejvíce zajímá čerpadlo hydraulického oleje, tedy jeho výkon. Ze všech používaných čerpadel je vybráno to, které je výkonnostně nejslabší, a jeho parametry jsou vypsány níže.

- max. pracovní tlak média 100 bar
- max. průtok média 36 l/min (uvedeno při kinematické viskozitě 41 mm<sup>2</sup>/s)
- typ média minerální oleje dle DIN 51524
- teplotní rozsah média -10°C až +70°C
- kinematická viskozita média 16 až 160 mm<sup>2</sup>/s
- max. výkon 7 000 W

Konkrétně pro případ hydrostatického rozvaděče je nejdůležitějším údajem čerpadla jeho maximální průtok média. V tomto případě je čerpadlo schopno dodat 36 litrů média za minutu, jehož kinematická viskozita je 41 mm<sup>2</sup>/s. Viskozita používaného oleje VG 32 je 33 mm<sup>2</sup>/s, což je nižší hodnota. Čerpadlo tedy bude schopno dodat větší množství oleje VG 32, než je udáváno v jeho specifikaci. Ovšem pro další výpočty bude mezní hodnota průtoku oleje drenáže z rotační jednotky zpět do nádrže stroje, což je zároveň objem, který bude muset čerpadlo doplnit do vstupů v těle rotační jednotky, uvedených 36 l/min.

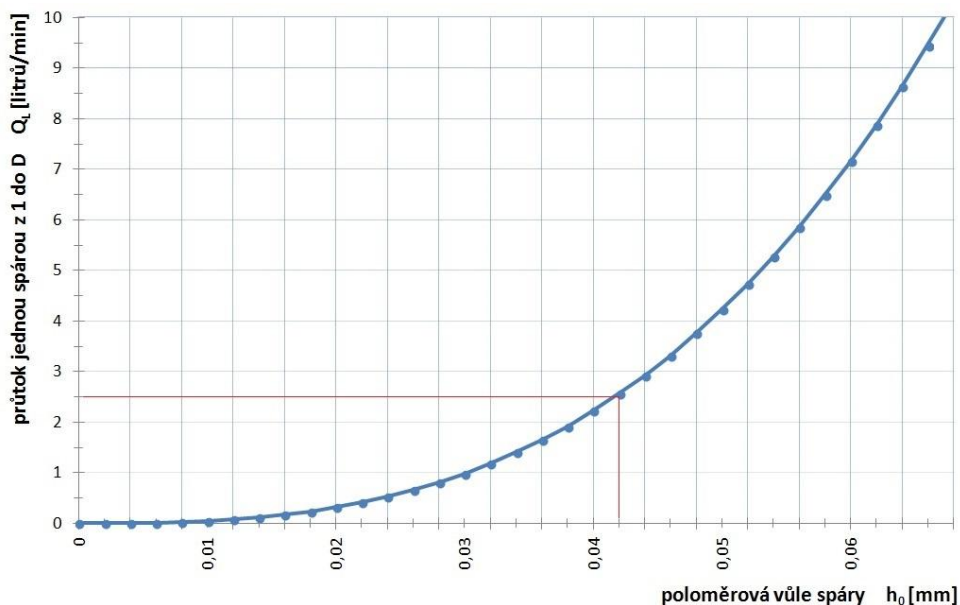
S ohledem na parametry čerpadla je stanoven maximální dovolený průtok oleje spárou při jednom okruhu pod tlakem 5 l/min. Při stavu, který z funkčního hlediska přípravků nastává většinou, tedy při dvou kanálech pod tlakem a dvou odlehčených, bude tato hodnota 10 l/min. V okamžiku, kdy by byly pod tlakem všechny čtyři okruhy, se bude z rotačního rozvaděče do nádrže stroje vracet 20 litrů oleje VG 32 za minutu. Důležité je zdůraznit, že při jednom kanálu pod tlakem prochází olej do drenáže dvěma spárami viz popis funkce rotačního rozvaděče (kapitola 7.2.3.1). Cílem tedy je navrhnout rozměr spáry tak, aby skrz ni protékal olej VG 32 o tlaku 50 bar maximálním dovoleným průtokem  $Q_{L\ DOV} = 2.5$  litrů za minutu.

Na základě výpočtu, který bude uveden níže jako kontrolní, byla stanovena závislost průtoku oleje  $Q_L$  na délce spáry  $L$ . Přesněji se jedná o průtok oleje VG 32 jednou spárou z natlakovaného kanálu číslo 1 do drenážního zápichu D. Tato závislost je znázorněna na grafu níže. Z průběhu je patrné, že pro zadaný maximální průtok 2.5 litrů za minutu bude délka spáry volena v oblasti od cca 6.75 mm a více.



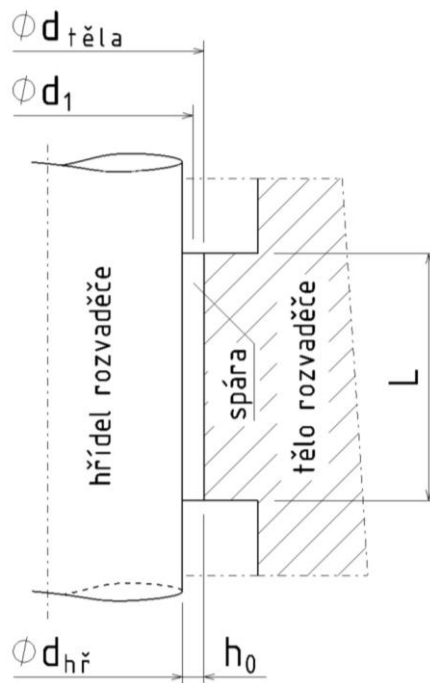
Obr. 7.30: Vztah mezi průtokem oleje  $Q_L$  a délkou spáry  $L$

Dalším grafem vycházejícím z výpočtu je závislost průtoku oleje  $Q_L$  na poloměrové vůli spáry  $h_0$ . Opět se jedná o průtok oleje VG 32 jednou spárou z natlakovaného kanálu číslo 1 do drenážního zápichu D. V grafu níže je opět vynesena hodnota maximálního průtoku 2.5 litrů za minutu a k ní odpovídající hodnota na vodorovné ose. To znamená, že optimální poloměrová vůle bude volena v oblasti do cca 0.042 mm.



Obr. 7.31: Vztah mezi průtokem oleje  $Q_L$  a optimální poloměrovou vůlí  $h_0$

Na Obr. 7.32 je schematicky znázorněn detail zápichů vyrobených v otvoru těla rozvaděče, do kterého je vsunut hřídel rozvaděče. Díky poloměrové vůli  $h_0$  vzniká již zmiňovaná spára, jejíž jmenovitý průměr  $d_1$  je vzhledem k volbě použitých ložisek a dvou hřídelových těsnění (gufer) stanoven na 44 mm. Délka spáry  $L$  je zvolena 10 mm a optimální poloměrová vůle  $h_0$  je dána tolerancemi otvoru o průměru  $d_{\text{těla}}$  a hřídele o průměru  $d_{\text{hř}}$ .



Obr. 7.32: Rozměry těla a hřídele rozvaděče tvořící spáru

S ohledem na složitost výroby je rozměr otvoru v těle zvolen s tolerancí H6. Hřídel, respektive jeho válcová plocha výrobně jednodušší než otvor, je zpřesněna tolerancí js5. Níže jsou jednotlivé tolerance vyčísleny a je vypočtena maximální a minimální poloměrová vůle tohoto uložení.

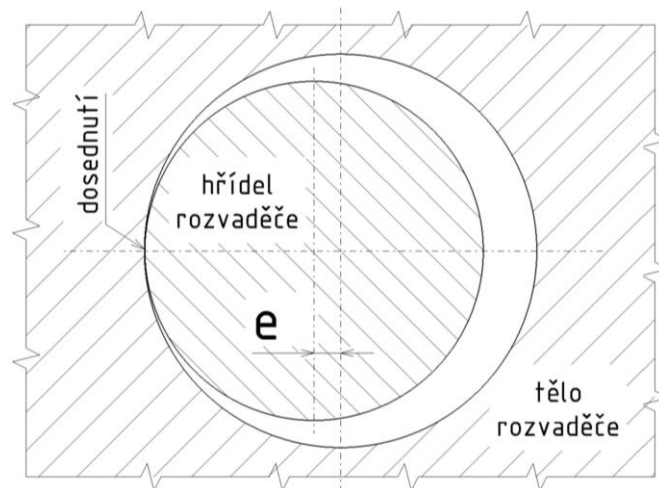
$$\begin{aligned} \text{Ø}44 \text{ H6} &\Rightarrow \text{Ø}44 \begin{matrix} +16 \\ 0 \end{matrix} \Rightarrow \begin{matrix} \text{Ø}44.016 \text{ mm} \\ \text{Ø}44.000 \text{ mm} \end{matrix} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ø}44 \text{ e5} &\Rightarrow \text{Ø}44 \begin{matrix} -50 \\ -61 \end{matrix} \Rightarrow \begin{matrix} \text{Ø}43.950 \text{ mm} \\ \text{Ø}43.939 \text{ mm} \end{matrix} \end{aligned}$$

- maximální poloměrová vůle  $h_0 = 0.0385 \text{ mm}$
- minimální poloměrová vůle  $h_{0 \text{ min}} = 0.025 \text{ mm}$

V kontrolním výpočtu průtoku média spárou bude počítáno s méně příznivým stavem, tedy s maximální poloměrovou vůlí  $h_0$ , která je 0.0385 mm. Pro výpočet je také nutné stanovit relativní excentricitu čepu v otvoru  $\varepsilon$ . Její hodnota vyjadřuje poměr vůli poloměrové vůli. Excentricita jinými slovy nesoustřednost může vzniknout např. nepřesnou výrobou nebo chybnou montáží. Z funkčního hlediska by neměl nastat, ovšem pro výpočet bude uvažován nejvíce nepříznivý stav, kterým je taková excentricita čepu, že v jednom místě dojde k dosednutí válcové plochy hřídele na vnitřní válcovou plochu otvoru v těle rozvaděče. Tento stav je dán hodnotou  $\varepsilon = 1$ , tedy excentricita  $e$  je rovna poloměrové vůli  $h_0$ , což je maximum.





Obr. 7.33: Dosednutí při maximální možné excentricitě

Shrnutí stanovených parametrů:

- |   |   |
|---|---|
| • délka spáry                                 | $L = 10 \text{ mm}$   |
| • jmenovitý průměr spáry                      | $d_1 = 44 \text{ mm}$                                       |
| • optimální poloměrová vůle spáry             | $h_0 = 0.0385 \text{ mm}$                                   |
| • relativní excentricita čepu v otvoru        | $\varepsilon = 1$   |
| • kinematická viskozita oleje při 40°C        | $\nu = 33 \text{ mm}^2/\text{s}$                            |
| • měrná hmotnost oleje při 15°C               | $\rho = 872 \text{ kg/m}^3$                                 |
| • maximální otáčky vřetena                    | $n_V = 2\,500 \text{ ot/min} = 41.667 \text{ ot/s}$         |
| • tlakový spád mezi vstupem a drenáží         | $\Delta p_{1D} = 50 \text{ bar} = 5 \times 10^6 \text{ Pa}$ |
| • výška hladiny v drenážní drážce - zaplavení | $H_D = 50 \text{ mm}$                                       |
| • maximální dovolený průtok jednou spárou     | $Q_{L,DOV} = 2.5 \text{ l/min}$                             |

#### 7.2.4.1 Kontrolní výpočet

##### Labyrintové těsnění:

- poloměrová vůle spáry -  $h$ :

$$h = h_0 \Rightarrow h = 0.0385 \text{ mm} = 3.85 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

- excentricita čepu v otvoru -  $e$ :

$$e = \varepsilon \cdot h \Rightarrow e = 1 \cdot 3.85 \cdot 10^{-5} = 3.85 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

- dynamická viskozita oleje při 40°C -  $\eta$ :

$$\eta = \rho \cdot \nu \Rightarrow \eta = 872 \cdot 33 \cdot 10^{-6} = 0.0288 \text{ kg/m} \cdot \text{s}$$

- odpor spáry -  $R_L(h)$ :

$$R_L(h) = \frac{12 \cdot L \cdot \eta}{\pi \cdot h^3 \cdot (d_1 + h) \cdot (1 + 1,5 \cdot \varepsilon^2)} =$$

$$= \frac{12 \cdot 0,01 \cdot 0,0288}{\pi \cdot (3,85 \cdot 10^{-5})^3 \cdot (0,044 + 3,85 \cdot 10^{-5}) \cdot (1 + 1,5 \cdot 1^2)} = 1,74947 \cdot 10^{11} \text{ kg/m}^4 \cdot \text{s}$$

- průtok jednou spárou  $S_b$  z kanálu č. 1 do drenáže  $D_1$  -  $Q_L$ :

$$Q_L = \frac{\Delta p_{1D}}{R_L(h)} = \frac{5 \cdot 10^6}{1,74947 \cdot 10^{11}} = 2,858 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} = \underline{1,7148 \text{ l/min}}$$

Podmínka:  $Q_L \leq Q_{LDOV}$

$$1,7148 \leq 2,5 \quad \Rightarrow \quad \text{podmínka **SPLNĚNA**}$$

- průtok oběma spárami  $S_a$  a  $S_b$  z kanálu č. 1 do drenáží  $D_1$  a  $D_{12}$  -  $Q_{L2}$ :

$$Q_{L2} = 2 \cdot Q_L = 2 \cdot 1,7148 = 3,4296 \text{ l/min}$$

- hydraulický výkon -  $Pp(h)$ :

$$Pp(h) = \Delta p_{1D} \cdot Q_L \Rightarrow Pp(h) = 5 \cdot 10^6 \cdot 2,858 \cdot 10^{-5} = 142,9 \text{ W}$$

- tlak v zaplavené drenážní drážce -  $\Delta p_D$ :

$$\Delta p_D = H_D \cdot \rho \cdot g \Rightarrow \Delta p_D = 0,05 \cdot 872 \cdot 9,81 = 427,57 \text{ Pa} = \underline{0,00428 \text{ bar}}$$

kde  $H_D$  je rozdíl výšky mezi spodním drenážním zápichem  $D_4$  a drenážním šroubením  $D$  viz *Obr. 7.28: Návrh hydrostatického rotačního rozvaděče pro 4 kanály tlakového oleje*

- průtok spárou  $S_d$  z drenáže  $D_{12}$  do kanálu č. 2 -  $Q_{D2}$ :

$$Q_{D2} = \frac{\Delta p_D}{R_L(h)} = \frac{427,57}{1,74947 \cdot 10^{11}} = 2,44399 \cdot 10^{-9} = \underline{0,0001466 \text{ l/min}}$$

### Třecí výkon spáry:

- plocha spáry -  $A_L$ :

$$A_L = \pi \cdot d_1 \cdot L \Rightarrow A_L = \pi \cdot 0,044 \cdot 0,01 = 0,00138 \text{ m}^2$$

- obvodová rychlost čepu -  $v$ :

$$v = \pi \cdot d_1 \cdot n_v \Rightarrow v = \pi \cdot 0,044 \cdot 41,667 = 5,76 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

- třecí výkon spáry -  $P_T$ :

$$P_T = \frac{\eta \cdot A_L \cdot v^2}{h} = \frac{0,0288 \cdot 0,00138 \cdot 5,76^2}{3,85 \cdot 10^{-5}} = 34,27 \text{ W}$$

**Optimalizace celkového výkonu:**

- výkon čerpadla -  $P_P$ :

$$P_P = \Delta p_{1D} \cdot Q_L \Rightarrow P_P = 5 \cdot 10^6 \cdot 2.858 \cdot 10^{-5} = 142.9 \text{ W}$$

- celkový výkon jedné spáry -  $P_C$ :

$$P_C = P_P + P_T \Rightarrow P_C = 142.9 + 34.27 = 177.17 \text{ W}$$

- celkový výkon 4 spár - 2 kanály pod tlakem -  $P_{C4}$ :

$$P_{C4} = 4 \cdot P_C \Rightarrow P_{C4} = 4 \cdot 177.17 = 708.69 \text{ W}$$

- celkový výkon 8 spár - 4 kanály pod tlakem -  $P_{C8}$ :

$$P_{C8} = 8 \cdot P_C \Rightarrow P_{C8} = 8 \cdot 177.17 = \underline{1\,417.39 \text{ W}}$$

Z výpočtu je patrné, že průtok oleje navrženou spárou z kanálu číslo 1 pod tlakem 50 bar do drenážního zápichu je nižší než stanovený maximální dovolený průtok. Olej, který se nachází v drenážním kanálu, je nyní pod velmi nízkým tlakem 0.00428 bar a odtud protéká další spárou do sousedního kanálu číslo 2, který má být v tento okamžik bez tlaku. Médium o takto nízkém tlaku tam protéká v minimálním množství a to 0.0001466 litrů za minutu. Tyto výsledky jsou velice příznivé a spára - labyrint o těchto rozměrech tak splňuje všechny požadavky potřebné pro spolehlivou funkci hydrostatického rotačního rozvaděče. Také celkový výkon 1 417.39 W potřebný pro doplňování oleje při čtyřech kanálech pod tlakem je nižší než daný výkon čerpadla.

Zajímavostí je, že kinematická viskozita téhož oleje VG 32 zahřátého na teplotu 100°C se změní na pouhých 5 mm<sup>2</sup>/s. Kdyby byl kontrolní výpočet opakován s touto hodnotou kinematické viskozity, průtok  $Q_L$  jednou spárou  $S_b$  z kanálu č. 1 do drenáže bude 11.32 l/min oproti původnímu 1.7148 litru za minutu. V tomto případě by podmínka maximálního dovoleného průtoku samozřejmě splněna nebyla. Z toho tedy vyplývá, že musí být zajištěna stálá teplota oleje a to maximálně do 40° C.

V následující části diplomové práce bude zpracován konstrukční návrh hydrostatického rotačního rozvaděče dle výpočtem ověřených rozměrů. Požadavkem je, aby v konstrukčním návrhu bylo zahrnuto také chlazení celého zařízení, které zajistí stálou výše zmíněnou maximální teplotu oleje.

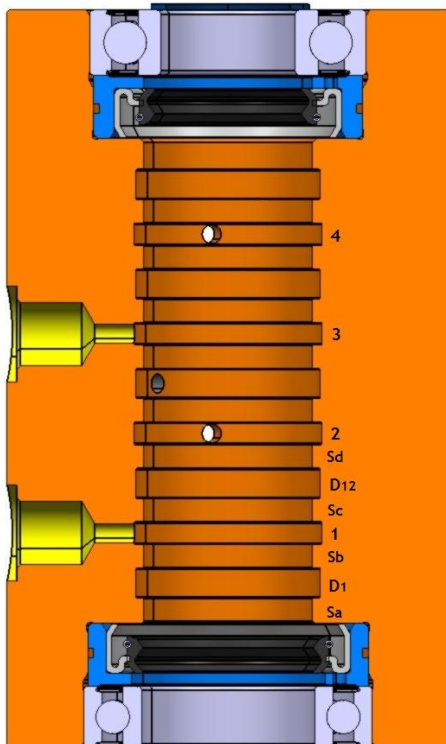
**7.2.5 Konstrukční návrh hydrostatického rotačního rozvaděče**

Konstrukce hydrostatického rotačního adaptéru vychází z kapitoly 7.2.3.1 Funkce hydrostatického rozvaděče, která je součástí návrhu řešení. Tato kapitola obsahuje *Obr. 7.28: Návrh hydrostatického rotačního rozvaděče pro 4 kanály tlakového oleje*, na kterém je funkce tohoto zařízení podrobně popsána.

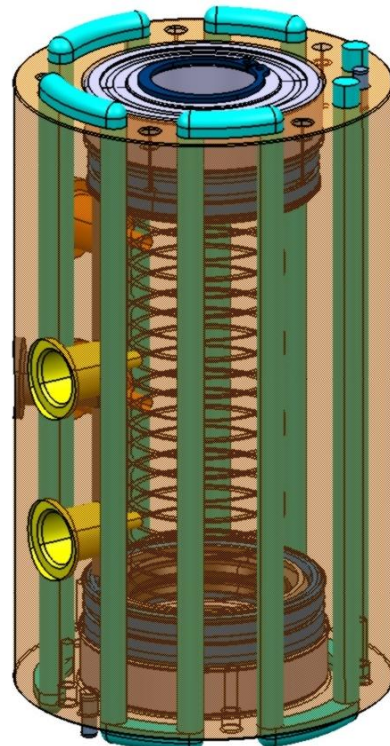
Prvním krokem návrhu je konstrukce těla rozvaděče znázorněného oranžovou barvou, jak je možné vidět na následujícím obrázku. Tvar a především rozměr zápchů vytvořených v osovém otvoru vychází ze zvolených a výpočtem ověřených hodnot. Pořadí kanálů je nyní zvoleno zdola, přičemž první je spára  $S_a$  zabraňující průniku velkého množství oleje z drenážního zápchu  $D_1$  k ložisku. Do  $D_1$  olej prolíná skrz spáru  $S_b$  z přívodního kanálu 1, do kterého je tlakový olej přiváděn hydraulickým šroubením, které je zašroubováno v otvoru žluté barvy s vnitřním trubkovým závitem o rozměru 3/8". Nad zápchem číslo 1 je zrcadlově k  $D_1$  zápch  $D_{12}$ , který odvádí olej proteklý spárou  $S_c$  a nad zápchem  $D_{12}$  je opět spára  $S_d$  stejného rozměru, která odděluje přívodní kanál číslo 2. Takto uspořádané "okolí" přívodního kanálu 1 se opakuje také pro kanál číslo 2, 3 a 4. Mezi těmito zápchy a ložisky se po obou stranách nachází speciální hřídelové těsnění pro vysoké otáčky - gufero zalísované ve vyráběné vložce modré barvy. Olej, který pronikne až do oblasti gufera, by měl dle výpočtu být o maximálním tlaku  $\Delta p_D = 0.00428$  bar (tlak v zaplavené drenážní drážce).

Zvolené těsnění dle katalogu pracuje do tlaku 3,4 bar při obvodových rychlostech čepu do 10 m/s, zatímco obvodová rychlost hřídele v tomto konkrétním případě vychází 5.76 m/s.

Na *Obr. 7.35* je rozvaděč vyobrazen v izometrickém pohledu. Tyrkysovou barvou je skrz objem těla vymodelován prostorový chladicí kanál, jehož odečtením vznikne deset rovnoměrně rozmístěných axiálních vrtání o průměru 8 mm sloužících pro cirkulaci chladicího média. Jejich vzájemné propojení bude řešeno následně v dolním a horním víčku rozvaděče.

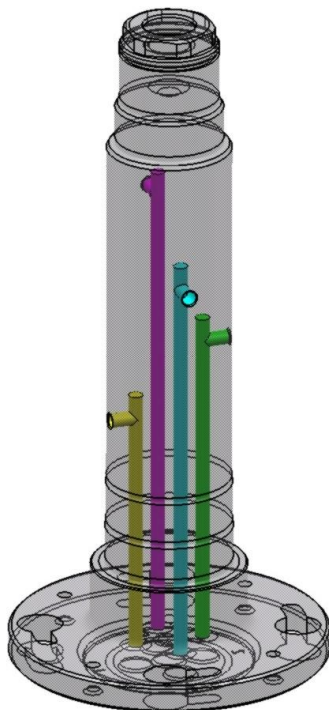


Obr. 7.34: Řez tělem s popisky zápchů

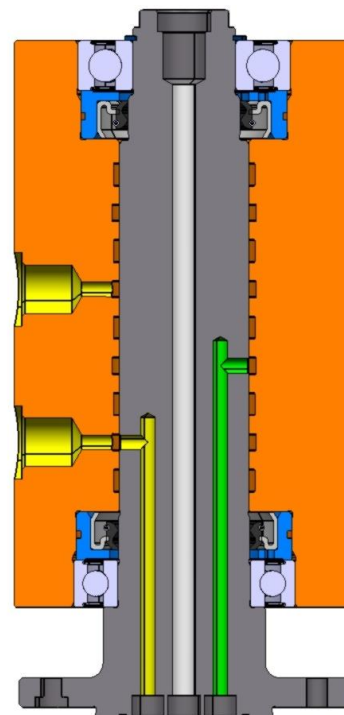


Obr. 7.35: Chladicí kanál skrz tělo

Druhým krokem je návrh hřídele rotačního rozvaděče s leštěnou válcovou plochou jmenovitého průměru 44 mm v délce odpovídající všem zápichům v těle. Díl je dále opatřen přesnými leštěnými válcovými plochami pro styk s břitem gufera a také broušenými plochami pro zalisování ložisek. Rovnoběžně s osou rotace jsou v trnu vrtány čtyři kanály a v příslušné výšce jsou radiálně propojeny na povrch válce. Žlutý je pro tlakový olej ze zápichu číslo 1, zelený pro 2, modrý pro 3 a nejdelší fialový pro 4. okruh oleje. Vrtání ústí na spodní čelo, které je tvarově stejné, jako rotační jednotka používaná doposud. Tímto je tedy zajištěno, že tento rozvaděč bude možno připevnit k redukci, která je nyní součástí stroje a nebude nutné ji konstrukčně upravovat nebo nahrazovat jinou.



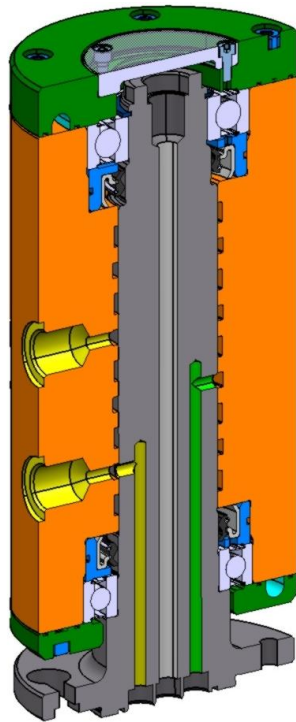
Obr. 7.36: Hřídel rotačního rozvaděče



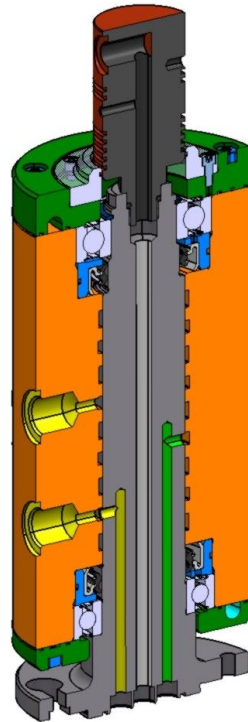
Obr. 7.37: Sestava jednotky s hřídelem

Konstrukce zařízení pokračuje návrhem víček, která uzavírají tělo rozvaděče shora i zdola a zároveň slouží pro uchycení ložisek v axiálním směru. Jsou zobrazena zelenou barvou na Obr. 7.38. Kvůli zajištění přesné polohy jsou víčka k tělu rozvaděče přišroubována lícovanými šrouby. V řezu víčka je možné vidět tyrkysově modrý kanál pro rozvod chladicího média propojující jednotlivá axiální vrtání chlazení v těle. Horní víčko navíc obsahuje závitové otvory pro připojení šroubení pro vstup a výstup chladiva a dále obsahuje víčko bílé barvy o menším průměru. To slouží především jako krytka proti vnikání nečistot z okolí.

Takto navržený rotační rozvaděč je určený pouze pro čtyři okruhy tlakového oleje. V případě, že bude potřeba také pátého kanálu s tlakovým vzduchem, bude tato krytka demontována a hřídel rotační jednotky bude osazen nakupovaným rotačním rozvaděčem určeným pro jeden okruh tlakového vzduchu. Ten bude dále veden osovým otvorem v hřídeli. Původní krycí víčko bude nahrazeno jiným, zobrazeným na dalším obrázku, které bude nasazeno přes nakupovanou komponentu a opět bude zajišťovat utěsnění proti vnikání nečistot.

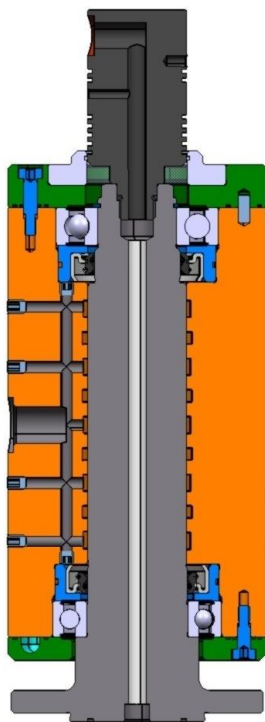


Obr. 7.38: Rozvaděč opatřen víčkem

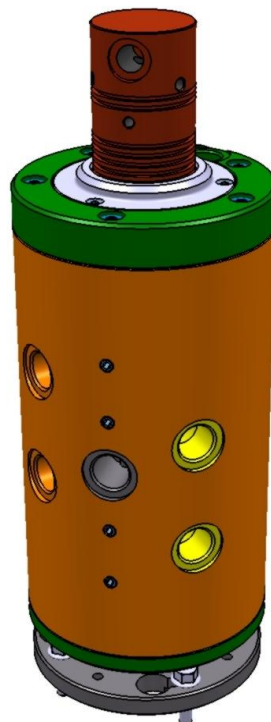


Obr. 7.39: Řešení přívodu tlakového vzduchu

Obr. 7.40 je řez drenážními kanály zkonstruovaného rotačního rozvaděče. Jednotlivé drenážní zápichy jsou vrtáním v těle navzájem propojeny a svedeny do otvoru se závitem G3/8" připraveného pro montáž šroubení, ke kterému bude připojena hadice zajišťující odvod přebytečného hydraulického oleje zpět do nádrže stroje.



Obr. 7.40: Řez drenážními kanály



Obr. 7.41: Zkonstruovaný rotační rozvaděč

Z rozměrů celého zařízení je patrné, že výroba zápichů na vnitřní válcové ploše hlavního otvoru v těle rozvaděče bude velice obtížná. Především dodržení přesných rozměrových i geometrických tolerancí tvaru zápichů.

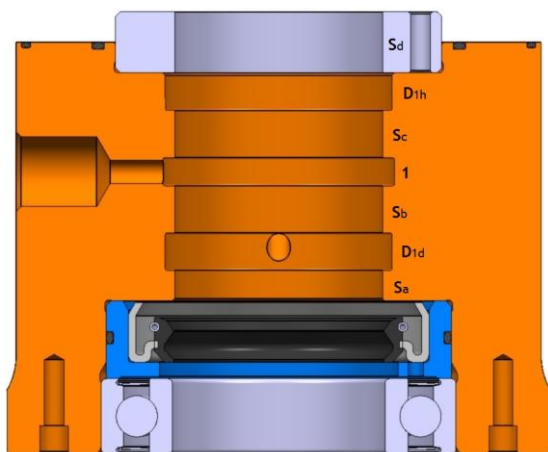
Z hlediska počtu okruhů pro média splňuje takto navržený rotační rozvaděč zadání, ovšem kdyby bylo potřeba zařízení pro více okruhů, bylo by nutné zkonstruovat zařízení nové, které by narůstalo na své délce. Při tomto způsobu konstrukce, tedy těleso rozvaděče vyrobené z jednoho dílu, by se tato část těla stávala nevyrobitelnou.

Z tohoto důvodu bude dále zpracován druhý konstrukční návrh, který se bude zabývat možností rozdělit tělo rotační jednotky na jednotlivé výrobně jednodušší díly, z kterých bude možné stavebnicově smontovat rotační rozvaděč o různém počtu hydraulických okruhů.

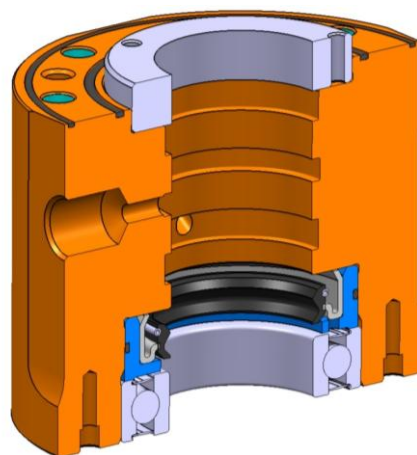
### 7.2.6 Konstrukční návrh segmentového hydrostatického rotačního rozvaděče

Segmentový rotační rozvaděč se skládá ze dvou hlavních konstrukčních skupin, které jsou základním stavebním kamenem a budou použity vždy bez ohledu na počet okruhů média. Jedná se o tělo dolní a tělo horní. Další konstrukční skupinou je tzv. segment těla, neboli mezikus, který je možné v libovolném počtu vkládat mezi dolní a horní tělo, čímž vzniká rotační jednotka o libovolném počtu kanálů pro médium.

Tělo dolní sestavené z několika dílů je vyobrazeno na následujících dvou obrázcích. Ložisko s guferem zalisovaným v modré vložce zůstává stejné, jak tomu bylo v prvním konstrukčním návrhu. Ovšem funkce některých zápichů se mírně odlišuje. Zatímco přívodní zápich 1, spáry  $S_a$ ,  $S_b$ ,  $S_c$  a drenážní zápich  $D_{1d}$  pracují naprosto shodně jako v předchozím konceptu, u drenáže  $D_{1h}$  a spáry  $S_d$  dochází ke změně. Drenážní zápich v předchozím návrhu, umístěný shodně s nynějším  $D_{1h}$ , byl společný pro médium z kanálu 1 i 2. Oproti tomu v tomto případě slouží  $D_{1h}$  pro odvod oleje pouze z kanálu 1. Středící kroužek bílé barvy plní dvě funkce. První je vzájemné sestředění jednotlivých segmentů, ze kterých se bude hotový rozvaděč skládat a jeho druhou neméně důležitou funkcí je vytvořit spáru  $S_d$ . Ta je tvořena přesným broušeným vnitřním průměrem středícího kroužku, její šířka je stejná jako u ostatních spár  $S_a$ ,  $S_b$  a  $S_c$ , ovšem její délka, dána výškou kroužku, je větší o 2 mm. Toto prodloužení zvyšuje odpor ve spáře a je tak zajištěno, že olej z drenážního zápichu  $D_{1d}$  neprojde do drenážního zápichu v dalším segmentu těla umístěného nad středícím kroužkem.



Obr. 7.42: Tělo dolní s popisky zápichů

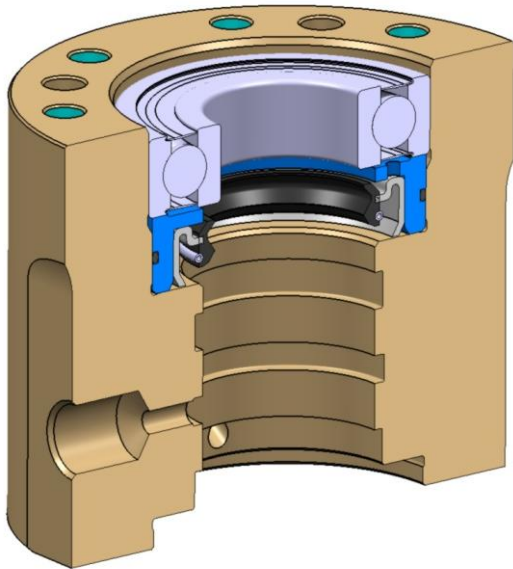


Obr. 7.43: Izometrický pohled

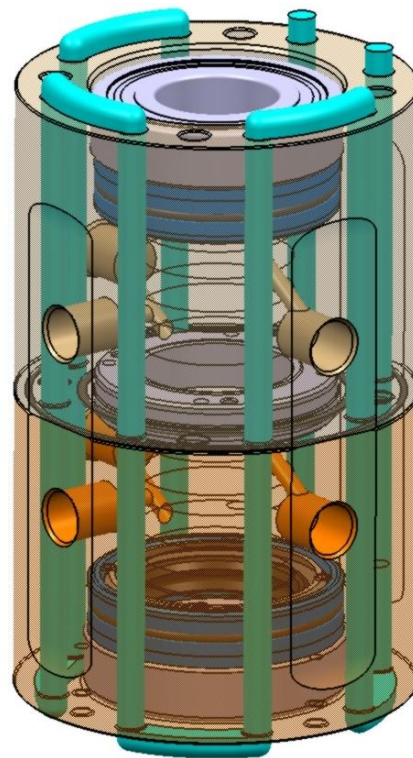
Tělem opět prochází axiální kanály určené pro cirkulaci chladicího média, které jsou utěsněny pryžovými kroužky v horním čele dílu. Tři závitové otvory ve středícím kroužku rozmístěné po  $120^\circ$  slouží pro jeho pohodlnou demontáž odtlačovacími šrouby.

Následující obrázek zachycuje sestavu těla horního. Jedná se o téměř totožný díl osazený druhým ložiskem a hřídelovým těsněním avšak nikoli středícím kroužkem, který je součástí sestavy těla dolního.

Smontováním obou těchto skupin dílů, tedy těla dolního a těla horního, vzniká dvoukanálový rotační rozvaděč. Vyobrazen je na *Obr. 7.45*, na kterém je také možno vidět objem tyrkysově modrého chladicího kanálu. Propojení jednotlivých kanálů pro chladicí médium je opět řešeno pomocí víček, stejně tak i vstup a výstup chladiva.



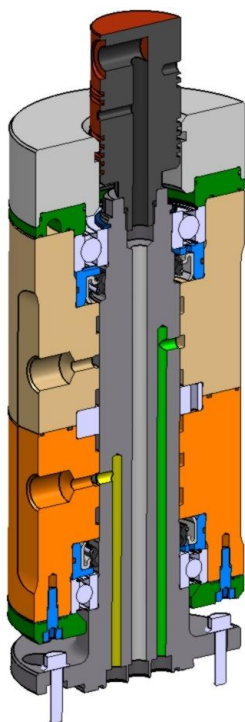
*Obr. 7.44: Sestava těla horního*



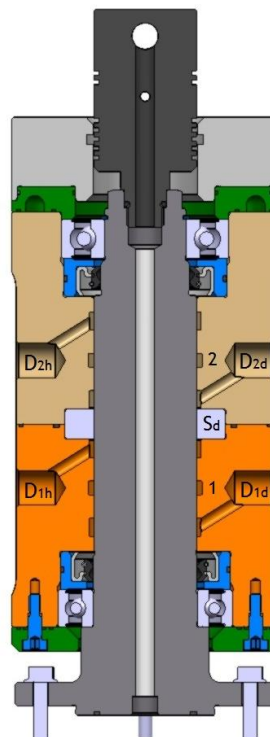
*Obr. 7.45: Chladicí kanál skrz těla*

Dvojice následujících obrázků zachycuje dvoukanálový rotační rozvaděč osazený hřídelem, dolním a horním víčkem zelené barvy, nakupovanou rotační jednotkou pro tlakový vzduch a bílým krycím víčkem. Vlevo je zobrazen řez přívodními kanály prvního a druhého tlakového média, na obrázku vpravo je zobrazen řez drenážními kanály. V dolním těle oranžové barvy se nachází závitový otvor pro šroubení, kterým bude odveden olej ze zápichu  $D_{1d}$  a naproti pro odvod oleje ze zápichu  $D_{1h}$ . V hnědém horním těle je tomu stejně, ovšem drenáže  $D_{2d}$  a  $D_{2h}$  odvádějí pouze médium číslo 2. Spára  $S_d$  tvořená středícím kroužkem zde tedy odděluje jednotlivé okruhy a proto je možné v kanálu číslo 1 a v kanálu číslo 2 použít různá média, která by tedy spolu teoreticky neměla přijít do styku.



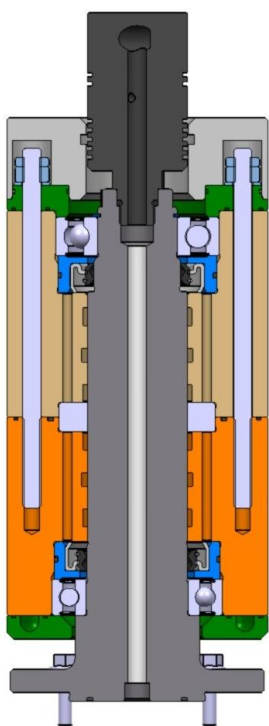


Obr. 7.46: Kompletní sestava jednotky

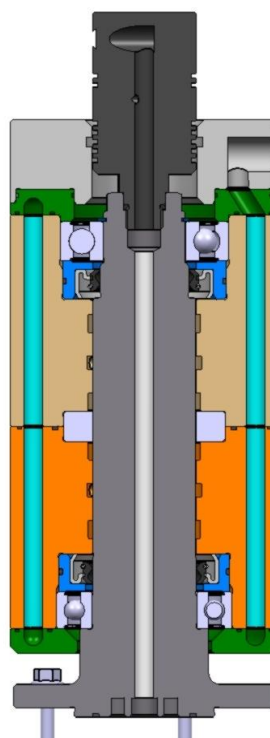


Obr. 7.47: Řez drenážními kanály

Jednotlivé díly tvořící tělo rotačního rozvaděče společně s horním víčkem jsou navzájem staženy čtyřmi závitovými svorníky s maticemi. Tím dojde ke zpevnění všech dílů a ty se poté díky svým přesným tolerancím chovají stejně jako rotační jednotka vyrobená z jednoho dílu. Obr. 7.49 je řezem v rovině chladicích kanálů, kde je vidět přívod chladicího média řešený opět závitovým otvorem G3/8" pro montáž šroubení v horní krytce bílé barvy.

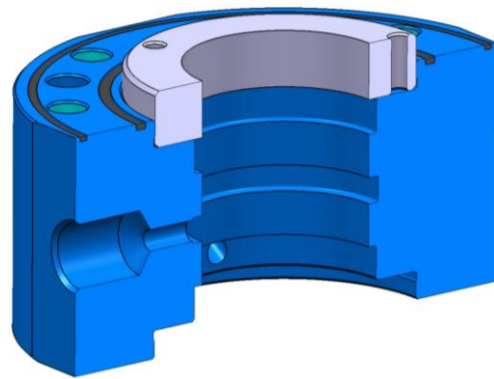


Obr. 7.48: Řez vedoucí skrz svorníky



Obr. 7.49: Řez chladicím okruhem

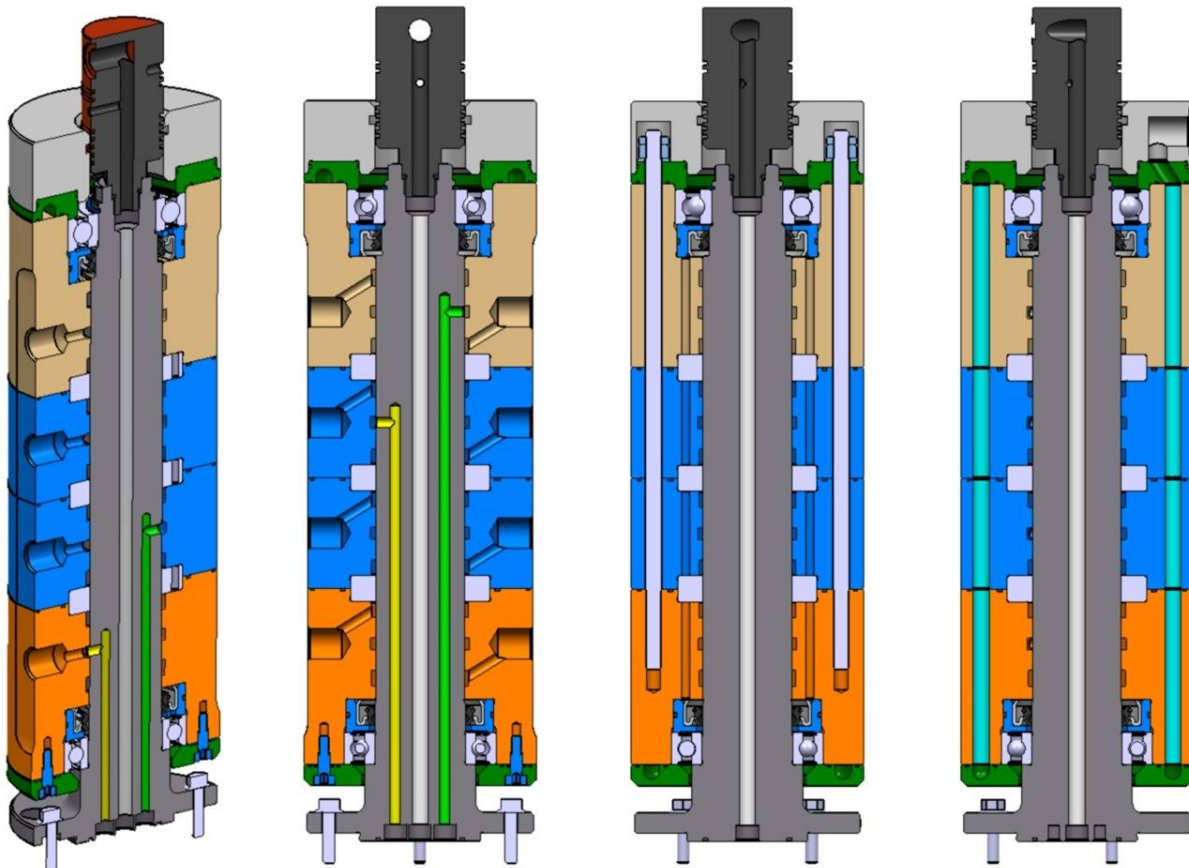
Takto tedy vypadá rotační rozvaděč určený pro dvě média. Ovšem pro víceokruhové zařízení, především potom pro zadané čtyřokruhové, je třeba mezi dolní tělo a horní tělo vložit v úvodu zmíněný segment těla, nebo několik těchto mezikusů. Segment je díl obsahující opět jeden vstup, přívodní zápich obklopen dvěma spárami, dva drenážní zápichy a stejně tak i středící kroužek a dvě čelní těsnění. Je tedy určen pro jeden okruh média. Dolní část tohoto segmentu je uzpůsobena k nasazení na tělo dolní a horní část naopak komunikuje s tělem horním.



Obr. 7.50: Sestava segmentu těla - mezikusu

Mezikus je samozřejmě opatřen otvory pro průchod chladiva a také otvory pro prostrčení svorníků určených k sešroubování sestavy. Jednotlivé segmenty je možno skládat v téměř libovolném množství nad sebe.

Následující obrázky již vyobrazují hydrostatický rotační rozvaděč pro čtyři okruhy média, který je sestaven ze dvou krajních skupin obsahujících ložiska a ze dvou segmentů modré barvy umístěných uprostřed.



Obr. 7.51: Zleva řez přívody médií, dále drenážemi, závitovými svorníky a vpravo chladičími kanály

Sestavový výkres (S00393-00) takto zkonstruovaného hydrostatického rotačního rozvaděče spolu s kusovníkem, ve kterém jsou vypsány všechny vyráběné i nakupované díly, je jako příloha součástí diplomové práce.

Výhodou tohoto stavebnicového řešení je především snadnější vyrobitelnost jednotlivých dílů, které nedosahují oproti původnímu návrhu tak velkých rozměrů. Dalšími výhodami je mnoho, například možnost sestavit rotační rozvaděč o libovolném počtu okruhů média. Přesněji od dvou do maximálního počtu, který je omezen pouze vyrobitelností hřídele o odpovídající délce. Stejně tak musí být upravována délka svorníku. Dalším kladem je, že v každém okruhu lze použít různý druh média. Jednotlivé segmenty je také možno při sestavování libovolně polohovat po 90°. Tím vzniká několik prostorových variant pro připojení přívodních či drenážních hadic z různých směrů.

## 8 Teplotní objemová roztažnost

V této kapitole je provedena kontrola změny rozměru spáry vlivem teploty, která ovlivňuje především hřídel a tělo rotačního rozvaděče. Zdrojem tepla je bezpochyby průtok média labyrintem, tedy jeho škrcení a dalším zdrojem mohou být také kuličková ložiska, gufera a popřípadě také zvýšená okolní teplota zařízení. Změna rozměru spáry se projeví na průtoku oleje z přívodního kanálu pod tlakem 50 bar do drenážního zápichu.

Výpočet změny poloměru  $\Delta r_H$  funkční vnější válcové části hřídele rotační jednotky je proveden níže dle obecného vzorce pro teplotní objemovou roztažnost. Materiálem hřídele je ocel ČSN 41 4220, její koeficient teplotní roztažnosti  $\alpha = 13 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , průměr hřídele  $d_0 = 44 \text{ mm}$ , ohřev o  $10^\circ\text{C}$  tedy z teploty  $t_0 = 20^\circ\text{C}$  na teplotu  $t_1 = 30^\circ\text{C}$ .

$$\Delta r_H = \frac{d_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t}{2} = \frac{d_0 \cdot \alpha \cdot (t_1 - t_0)}{2} = \frac{44 \cdot 13 \cdot 10^{-6} \cdot (30 - 20)}{2} = 0.0029 \text{ mm}$$

Výpočet změny poloměru  $\Delta r_S$  funkční vnitřní válcové části segmentu těla rotační jednotky je proveden opět dle stejného vzorce pro teplotní objemovou roztažnost. Materiálem segmentu je mosaz MS58, její koeficient teplotní roztažnosti  $\alpha_m = 18.7 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , průměr otvoru segmentu  $d_0 = 44 \text{ mm}$ , ohřev o  $10^\circ\text{C}$  tedy z teploty  $t_0 = 20^\circ\text{C}$  na teplotu  $t_1 = 30^\circ\text{C}$ .

$$\Delta r_S = \frac{d_0 \cdot \alpha_m \cdot \Delta t}{2} = \frac{d_0 \cdot \alpha_m \cdot (t_1 - t_0)}{2} = \frac{44 \cdot 18.7 \cdot 10^{-6} \cdot (30 - 20)}{2} = 0.0041 \text{ mm}$$

Změna optimální poloměrové vůle spáry, respektive její zvětšení  $\Delta h_o$ , je vypočítána jako rozdíl zvětšení poloměru segmentu a hřídele. Nová optimální poloměrová vůle při teplotě  $30^\circ\text{C}$  označená  $h_{o30}$  poté bude vypočítána jako původní poloměrová vůle  $h_o = 0.0385 \text{ mm}$  (viz kapitola 7.2.4 Stanovení rozměru spáry) zvětšená o  $\Delta h_o$ .

$$\Delta h_o = \Delta r_S - \Delta r_H = 0.0041 - 0.0029 = 0.0012 \text{ mm}$$

$$h_{o30} = h_o + \Delta h_o = 0.0385 + 0.0012 = \underline{0.0397 \text{ mm}}$$

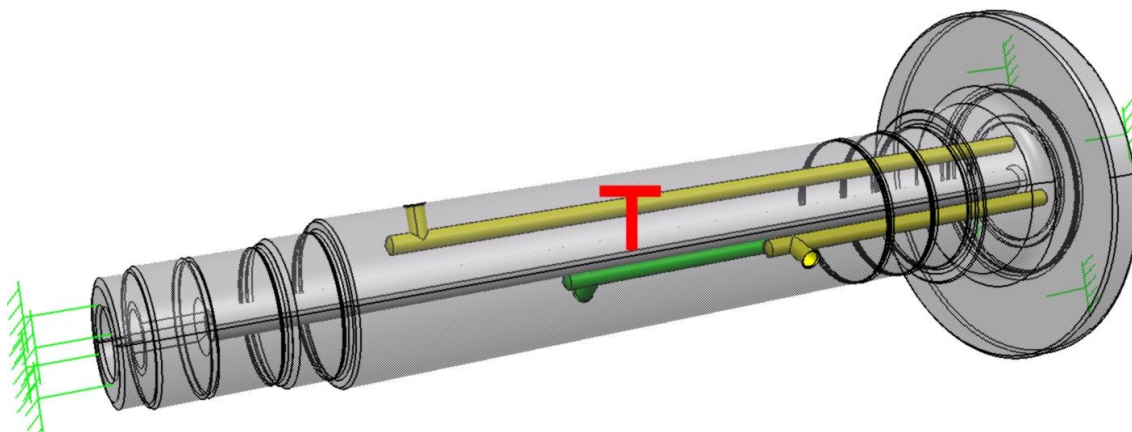
Kdyby byl v tomto okamžiku kontrolní výpočet z kapitoly 7.2.4.1 opakován s hodnotou optimální poloměrové vůle spáry  $h_{o30} = 0.041$  mm, průtok  $Q_{L30}$  jednou spárou z kanálu pod tlakem 50 bar do drenáže bude 1.88 l/min oproti původnímu 1.71 litru za minutu. Následující tabulka udává výše uvedeným způsobem zjištěné hodnoty změny poloměrů, změny optimální poloměrové vůle spáry, nové optimální poloměrová vůle spáry a průtoku jednou spárou z kanálu pod tlakem 50 bar do drenáže při teplotách od pokojové teploty 20°C až do 100°C.

Tab. 1: Základní údaje o rozměru spáry při ohřívání rotačního rozvaděče a výsledný průtok spárou

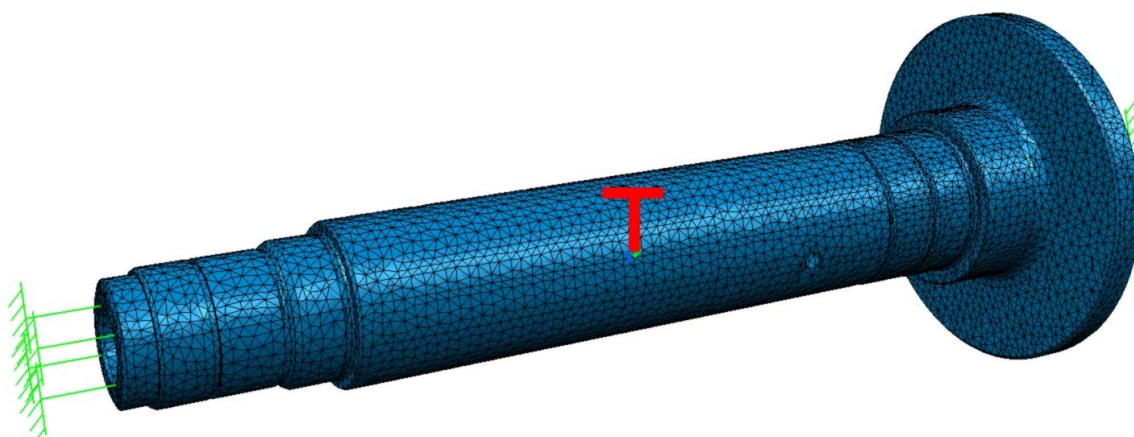
Teplota [°C]	$\Delta r_H$ [mm]	$\Delta r_S$ [mm]	$\Delta h_o$ [mm]	$h_{o_{xx}}$ [mm]	$Q_{L_{xx}}$ [l/min]
30	0.0029	0.0041	0.0012	$h_{o30} = 0.0397$	$Q_{L30} = 1.8802$
40	0.0057	0.0082	0.0025	$h_{o40} = 0.0410$	$Q_{L40} = 2.0711$
50	0.0086	0.0123	0.0037	$h_{o50} = 0.0422$	$Q_{L50} = 2.2584$
60	0.0114	0.0165	0.0051	$h_{o60} = 0.0436$	$Q_{L60} = 2.4908$
70	0.0143	0.0206	0.0063	$h_{o70} = 0.0448$	$Q_{L70} = 2.7023$
80	0.0172	0.0247	0.0075	$h_{o80} = 0.0460$	$Q_{L80} = 2.9254$
90	0.0200	0.0288	0.0088	$h_{o90} = 0.0473$	$Q_{L90} = 3.1805$
100	0.0230	0.0330	0.0100	$h_{o100} = 0.0485$	$Q_{L100} = 3.4289$

Z výsledků uvedených v tabulce je patrné, že teplotní objemová roztažnost mosazi je větší než u oceli, a proto vlivem vzrůstající teploty dochází ke zvětšování rozměru spáry. Tato skutečnost má samozřejmě vliv na průtok spárou, který se také zvyšuje od 1,71 l/min při pokojové teplotě do 3.43 l/min při teplotě 100°C. Vzhledem k dříve stanovenému maximálnímu dovolenému průtoku  $Q_{L_{DOV}} = 2.5$  litrů za minutu je možno zkonstatovat, že maximální možná pracovní teplota rotačního rozvaděče je 60°C, při které průtok dosahuje 2.49 litrů za minutu. Je ovšem nutno dodat, že toto tvrzení je správné při uvažování konstantní kinematické viskozity média - oleje VG 32.

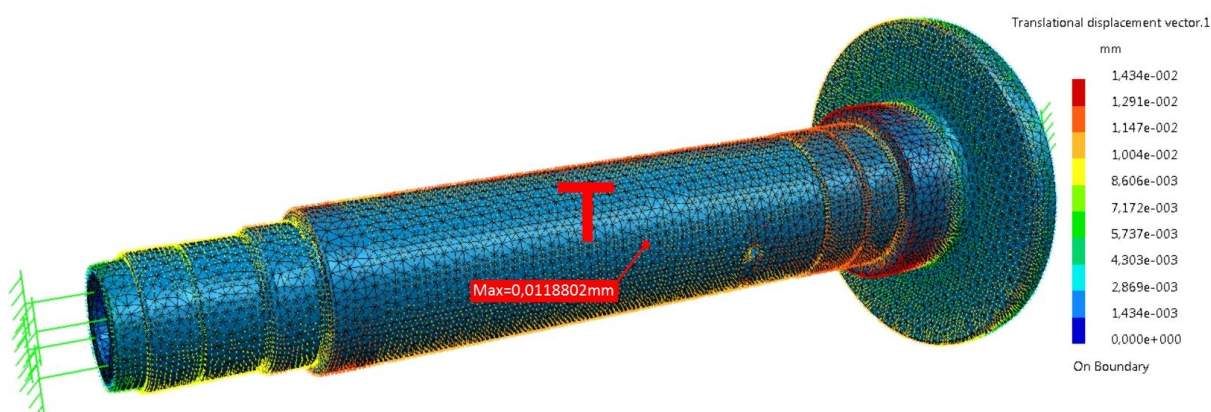
Pro ověření správnosti výpočtu je na následujících obrázcích znázorněn postup analýzy objemové roztažnosti metodou konečných prvků. Analýza je aplikována jak na ocelový hřídel, tak na mosazný segment těla rotační jednotky při teplotě 60°C.



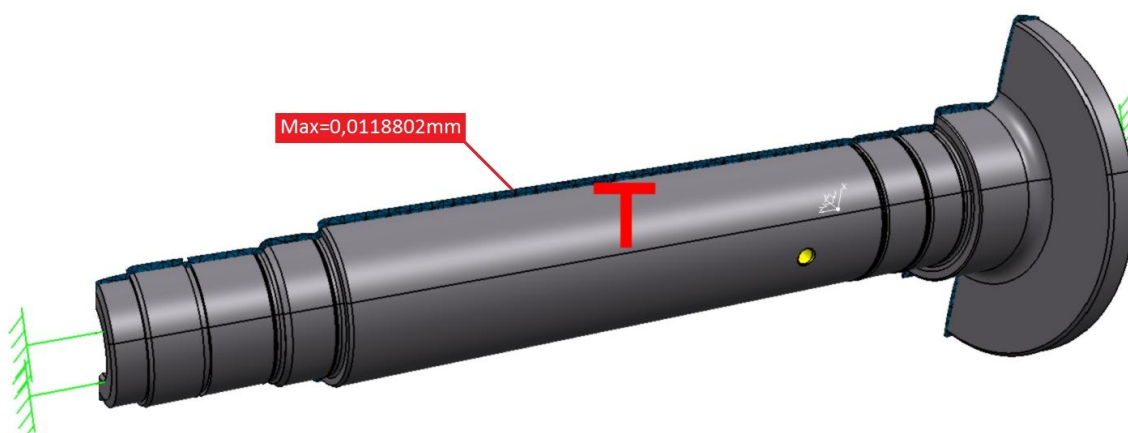
Obr. 8.1: Hřídel rotačního rozvaděče zatížen teplotou 60°C a zafixován v prostoru



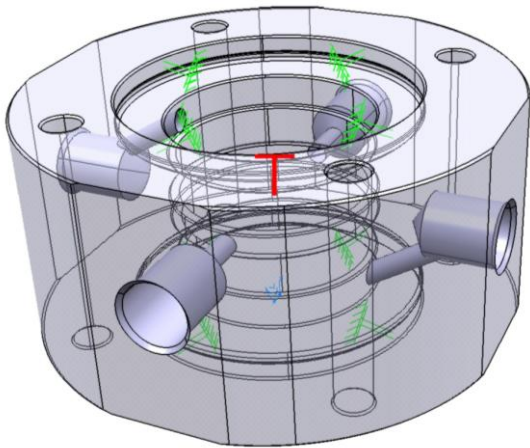
Obr. 8.2: Zasiťování modelu pro výpočet MKP



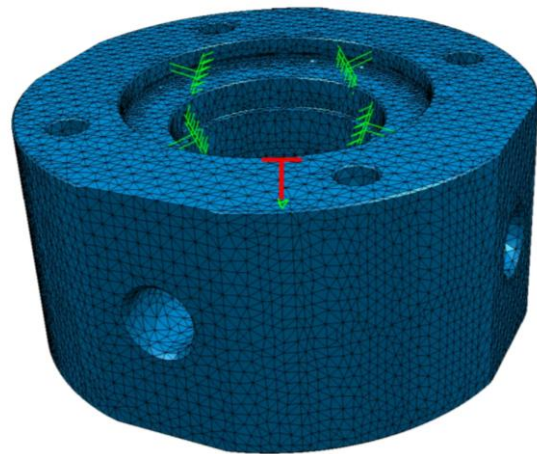
Obr. 8.3: Prodloužení - výsledek analýzy zatěžování teplotou 60°C



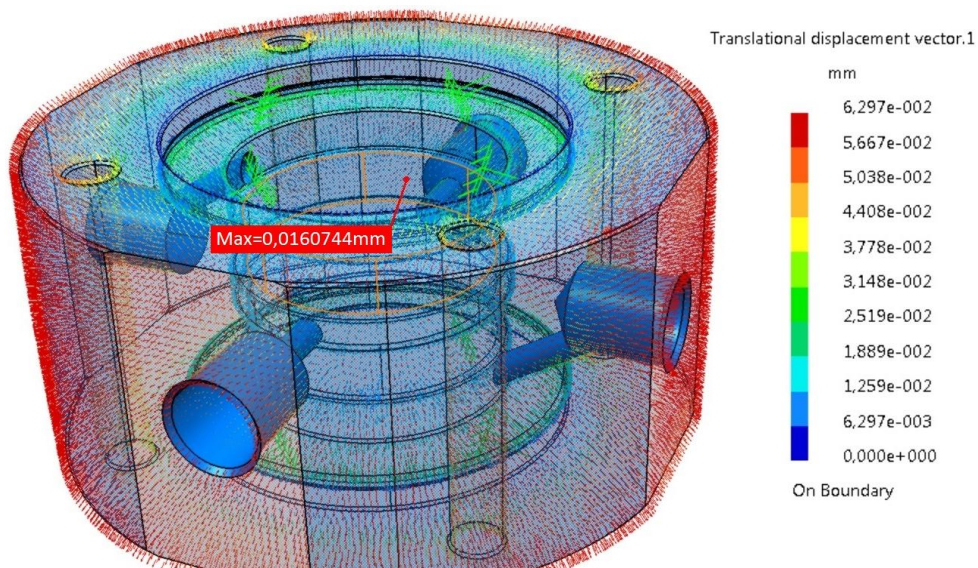
Obr. 8.4: Rozdíl mezi modelem při teplotě 20°C a 60°C (max. prodloužení 200 krát zvětšeno)



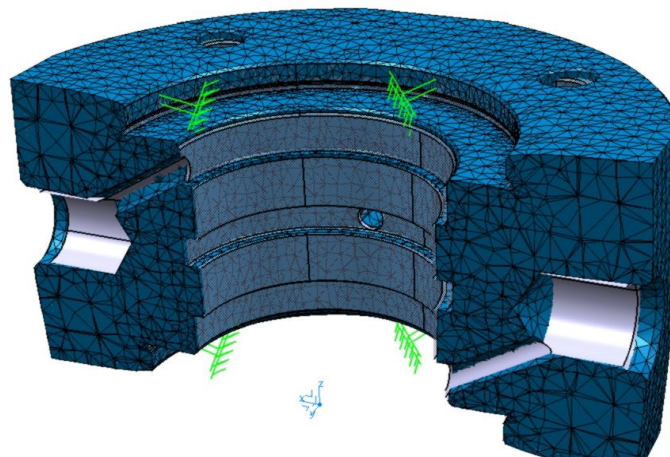
Obr. 8.5: Segment těla rotačního rozvaděče zatížen teplotou a zafixován v prostoru



Obr. 8.6: Zasiťování modelu pro výpočet MKP



Obr. 8.7: Prodloužení - výsledek analýzy zatěžování teplotou 60°C



Obr. 8.8: Rozdíl mezi modelem při teplotě 20°C a 60°C (max. prodloužení 200 krát zvětšeno)

Výsledky analýzy metodou konečných prvků potvrzují výsledky dosažené klasickým výpočtem (viz *Tab. I*). Při simulaci zvýšení teploty z 20°C na 60°C vychází zvětšení poloměru válcové části hřídele rotační jednotky o 0.0119 mm, jak je možné vidět na obrázku *Obr. 8.4* a zvětšení vnitřní válcové části segmentu těla o 0.0161 mm viz *Obr. 8.7*.

## 9 Technicko-ekonomické hodnocení

Pro obrábění dílu, který je v danou chvíli prioritním, je nyní možno k univerzálnímu adaptéru nastálo připojenému ke vřetenu stroje snadno a rychle nasadit libovolný soustružnický upínací přípravek. Cílem tohoto řešení je dosáhnout maximálního vytížení obráběcích strojů, kterými zákazník disponuje a přináší mu tak nemalou úsporu nákladů. Výše úspory přímo souvisí s pracovním procesem, strojním parkem či organizací výroby podniku a nelze ji proto jednoznačně vyčíslit. Cílem diplomové práce bylo tuto problematiku, tedy návrh adaptéru, řešit po technické stránce.

Podnět pro návrh a vývoj hydrostatického rotačního rozvaděče byl dán z důvodu neuspokojivého současného řešení, jehož základem je nakupovaný rozvaděč. K prodloužení jeho životnosti jsou realizována různá opatření, která jsou vyčíslena níže. Pro zvýšení odolnosti rotačního těsnění je zkvalitněn povrch hřídele. Samotné těsnění bývá nahrazováno kvalitnějším teplotě odolnějším vyráběným na zakázku. I přes zmíněné úpravy, které doprovází odborná demontáž a následná montáž, je nutné snižovat teplotu zařízení externím chladičem navrženým pouze pro tuto aplikaci. Pro zajištění produkce musela být pro zmíněný rozvaděč stanovena zaručená životnost, která vzhledem k současnému objemu výroby odpovídá provozu cca 6 měsíců, po jehož dosažení je nutné provést tzv. repasi neboli preventivní výměnu těsnění a kontrolu ostatních komponent. S tím jsou spojeny nejen náklady na repasi samotnou, ale také hodnotu zmeškané výroby během plánované odstávky stroje. Garance životnosti v sobě musí zahrnovat i riziko neočekávané havárie, které plně hradí dodavatel a je zavázán k 24 hodinovému servisu a skladování rezervních dílů. (Pozn. instalováno 13 ks osazení, sklad náhradních dílů - minimálně 10 ks).

*Tab. II: Investiční náklady na pořízení původního řešení a uvedení do provozu*

Položky nákladů	Náklady [Kč]
Pořizovací náklady nakupovaného rotačního rozvaděče	50 000
Náklady na povrchovou úpravu stávajícího hřídele	1 500
Pořizovací náklady těsnění vyráběného na zakázku	2 000
Náklady na repasi (práce + instalační materiál)	2 500
Výrobní náklady externího chladičového zařízení	7 500
<b>Celkové investiční náklady původního řešení - <math>IN_p</math></b>	<b>63 500</b>

*Tab. III: Roční náklady na provoz původního řešení*

Položky nákladů	Náklady [Kč]
Náklady na repasi	2x 17 000
Náklady na plánované odstávky a prostoje	2x 10 000
Náklady na pohotovost servisu a sklad náhradních dílů	25 000
Servisní náklady zapříčiněné náhlou poruchou	25 000
<b>Celkové roční provozní náklady původního řešení - <math>PN_p</math></b>	<b>104 000</b>

Nově navržený hydrostatický rotační rozvaděč by měl dle teoretických předpokladů pracovat bezúdržbově po dobu dvou let. Provozní náklady tedy budou nižší a to i vzhledem ke konstrukci bez mechanického těsnění, čímž odpadají náklady na preventivní repase. Také náklady na servisní zásahy budou nižší a to díky segmentovému uspořádání těla, které nabízí komfortnější, rychlejší a levnější opravu zařízení. Náklady na jeho vývoj a výrobu tvoří pro společnost Hofmeister investici, která je vyčíslena níže.

Tab. IV: Investiční náklady na pořízení nového řešení a uvedení do provozu

Položky nákladů	Náklady [Kč]
Náklady na vývoj hydrostatického rotačního rozvaděče	130 000
Náklady na výrobu hydrostatického rotačního rozvaděče	70 000
<b>Celkové investiční náklady nového řešení - <math>IN_N</math></b>	<b>200 000</b>

Tab. V: Roční náklady na provoz nového řešení

Položky nákladů	Náklady [Kč]
Náklady na preventivní výměnu rotačního těsnění	-
Náklady na plánované odstávky a prostoje	0.5x 10 000
Náklady na pohotovost servisu a sklad náhradních dílů	15 500
Servisní náklady zapříčiněné náhlou poruchou	18 500
<b>Celkové roční provozní náklady nového řešení - <math>PN_N</math></b>	<b>39 000</b>

## 9.1 Výpočet doby úhrady po zavedení nového produktu

Roční úspora provozních nákladů:

$$\dot{U}_{\text{roční}} = PN_P - PN_N = 104\,000 - 39\,000 = \underline{65\,000 \text{ Kč}}$$

Dodatková investice:

$$I_{\text{dodat}} = IN_N - IN_P = 200\,000 - 63\,500 = \underline{136\,500 \text{ Kč}}$$

**Doba úhrady:**

$$T_{\text{úhrady}} = \frac{I_{\text{dodat}}}{\dot{U}_{\text{roční}}} = \frac{136\,500}{65\,000} = \underline{2.1 \text{ roky}}$$



## 10 Závěr

V první části diplomové práce "Systém výměny rotačních hydraulických přípravků" jsem se zabýval návrhem **příruby** nastálo připojené ke vřetenu stroje, ke které je možné snadno a rychle připojit různé soustružnické hydraulicky ovládané upínací přípravky. Cílem této výměny je dosáhnout maximálního vytižení obráběcích strojů. Ty bude možno za velice krátkou dobu osadit upínacím přípravkem pro obrábění dílu, který je v danou chvíli prioritním. Při konstrukci této příruby, pracovně nazývané univerzální adaptér, bylo nutné zohlednit požadavky kladené na funkci, provozní podmínky, zástavbový prostor, připojovací rozměry atd.

Před samotným návrhem univerzálního adaptéru byla provedena rešerše takových zařízení, která by svou funkcí usnadnila řešení problematiky. Vzhledem k dopředu jasně stanovené a velmi specifické funkci konstruovaného dílu, nebylo možné použít téměř žádných univerzálních nakupovaných komponent určených k obecnému použití v mnoha aplikacích. Ovšem poznatky získané jejich rešerší byly přínosem při návrhu vlastních zařízení, která se mnohdy vyznačují jednodušší koncepcí, avšak splňují všechny požadované vlastnosti. Příkladem je zkonstruovaná hydraulická bezodkapová **rychlospojka** umožňující vzájemný radiální pohyb obou spojených součástí.

Při samotné konstrukci univerzálního adaptéru bylo nutné brát v potaz několik již vyrobených a plně fungujících upínacích přípravků, které se tak staly součástí koncepce rychlé výměny. Univerzální adaptér byl také konstruován s vědomím toho, že jeho funkce a vlastnosti budou přímo ovlivňovat s ním kompatibilní upínací přípravky, které bude firma Hofmeister vyvíjet v budoucnu. Z tohoto důvodu došlo k optimalizaci kontaktních ploch, připojovacích členů, ovládacích a dalších prvků tak, aby nově vznikající přípravky nemusely být v tomto ohledu nadbytečně složité. Dále bylo nutné zohlednit normou předepsaný tvar vřetena obráběcího stroje, ke kterému se celá sestava připojuje. Horní, tedy připojovací část adaptéru byla navržena tak, aby k ní bylo možno připevnit jeden z několika nakupovaných kuželových redukčních mezikroužků. Použitím těchto prvků se celá univerzálnost ještě rozšířila, protože nyní je možné univerzální adaptér osazený libovolným přípravkem jednoduše namontovat na obráběcí stroj s libovolnou velikostí vřetena.

V zadání práce byl také zdůrazněn požadavek na přesné, rychlé a pro obsluhu komfortní seřízení celé soustavy. Vzhledem k tomu, že na obráběném polotovaru upnutém v přípravku se provádí také velmi přesné dokončovací soustružnické operace, bylo nutné této problematice věnovat zvýšenou pozornost. Nejpresnější variantou seřízení je přímé mechanické polohování samotného přípravku vůči adaptéru, který obsahuje zkonstruované **polohovací** zařízení obstarávající tento pohyb. To vše za předpokladu, že všechny použité prvky zajišťující spolehlivé spojení, nebo rychlé připojení či odpojení přípravku jsou navrženy tak, aby dovolovaly dodatečné polohování již osazeného přípravku při zachování všech důležitých funkcí.

K celé sestavě univerzálního adaptéru byla zpracována kompletní výkresová dokumentace, dle které již došlo ve firmě Hofmeister k výrobě a následné montáži. Výsledky jsou součástí diplomové práce v podobě fotografií. Adaptér byl také osazen na obráběcí stroj a jeho funkce byla spolu s upínacími přípravky úspěšně ověřena.

V druhé části diplomové práce jsem se zabýval řešením přívodu tlakového ovládacího média vřetenem stroje do navrženého univerzálního adaptéru. Stěžejní oblastí této problematiky je zařízení zajišťující přechod média ze stacionární části stroje do rotujícího vřetena, tzv. **rotační rozvaděč**. Nejprve byl v práci podrobně popsán současný stav, tedy podmínky, jednotlivé prvky a princip, na kterém stávající zařízení pracuje. Zdůrazněny byly jeho nevýhody a nedostatky a byly shrnuty důvody, které vedou k návrhu nového rotačního rozvaděče.

Z těchto informací bylo postupně stanoveno několik technických, provozních i výrobních požadavků kladených na následnou konstrukci.

Poté byla provedena rešerše rotačních rozvaděčů na trhu, kde každé zařízení nabízelo minimálně jednu unikátní vlastnost, díky které vynikalo nad ostatními. Ovšem námi požadovaný rotační rozvaděč používaný přímo pro proces soustružení je při provozu vystaven takovému namáhání, které nebude uspokojeno pouze jednou výjimečnou specifickou vlastností, nýbrž kombinací několika takových exkluzivních vlastností. Žádný z produktů popsaných v rešerši nesplňoval všechny zadané požadavky, a proto bylo přistoupeno k návrhu vlastního hydraulického rotačního zařízení.

Rešeršní část se při pozdějším klíčovém rozhodování, jakou koncepci zvolit, stala opět velice přínosnou inspirací. Bylo usouzeno, že při použití mechanického kontaktního rotačního těsnění, které je používáno ve většině produktů, nebude možné dosáhnout výsledků odpovídajících zadání. Návrh se tedy začal ubírat přímou, ovšem poněkud neznámou cestou k tzv. **hydrostatickému** rozvaděči pracujícímu na principu labyrintového těsnění rotačních pohybů s řízeným ztrátovým průtokem. Funkce takového zařízení byla podrobně popsána v textu práce, jednalo se spíše o přání či představu, jak by měl hydrostatický rotační rozvaděč teoreticky pracovat. Pro splnění této představy byl proveden velmi důležitý krok, kterým bylo nadimenzovat tvar a především rozměr labyrintu. K tomuto účelu posloužil výpočet zabývající se touto problematikou. Snahou bylo do výpočtu zahrnout reálné podmínky, při kterých bude zařízení pracovat.

Po dosažení výsledků byl zahájen samotný konstrukční návrh respektující vypočítané či výpočtem ověřené hodnoty. V diplomové práci byly vypracovány dvě různé konstrukční varianty, které se z hlediska funkce zásadně neliší. Rozdíl spočívá především v ohledu na vyrobiteľnost dílů, univerzálnost použití, na komfort při montáži, údržbě nebo případných servisních výměnách. Konkrétní výhody a nevýhody onoho či druhého konstrukčního řešení jsou uvedeny výše v textu ve zhodnocení u každé z variant. Já osobně hodnotím jako přínosnější a perspektivnější variantu druhou, tedy hydrostatický rotační rozvaděč s tzv. segmentovým uspořádáním těla. Pro tuto variantu byla zpracována kompletní výkresová dokumentace, na jejímž základě může dojít k výrobě prvního prototypu. Je totiž nutné podotknout, že tato problematika je oblastí téměř neznámou, výpočet je teoretický a funkci celého zařízení může ovlivnit mnoho různých vlivů. Výstupem této části diplomové práce je tedy prototypové zařízení určené k důkladnému **testování** ve firmě Hofmeister, kde bude díky strojnímu a technickému vybavení na vysoké úrovni, díky kvalifikovaným pracovníkům v mnoha odvětvích a především díky pevnému odhodlání pokořit každou technickou i jinou výzvu, podrobeno co možná nejreálnějším testům vedoucím k ověření funkčnosti.

## Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce panu Doc. Ing. Zdeňku Hudcovi, CSc. za odborné vedení, cenné rady a připomínky, projevenou ochotu a příjemnou spolupráci. Děkuji konzultantovi Ing. Petru Štípkovi za poskytnuté rady a poznatky z praxe, věcné připomínky a především za vstřícnost a věnovaný čas. Nemalé poděkování patří vedení společnosti Hofmeister s.r.o. za možnost podílet se na vývoji a řešení problematiky, která je obsahem diplomové práce, a to v odborně i morálně velmi kvalitním kolektivu.

## Seznam použité literatury

- [1] *3. místo v soutěži Živnostník roku 2007*. MM Průmyslové spektrum [online]. Copyright © 2013 [Cit. 19. 10. 2013]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/novinka/3-misto-v-soutezi-zivnostnik-roku-2007.html>
- [2] *O nás*. Hofmeister [online]. Copyright © 2013 [Cit. 19. 10. 2013]. Dostupné z: <http://www.hofmeister.cz/onas>
- [3] *Hydraulické rychlospojky*. Haberkorn [online]. Copyright © Haberkorn Ulmer s.r.o. [Cit. 8. 11. 2013]. Dostupné z: <http://www.haberkorn.cz/dyndoc/view/hyd-rychlospojky.pdf>
- [4] *Monocouplings*. Walther-Präzision [online]. Copyright © 2013 [Cit. 8. 11. 2013]. Dostupné z: <http://www.walther-praezision.de/english/produkte/index.html>
- [5] *About Us*. Roemheld [online]. Copyright © Römheld GmbH [Cit. 12. 11. 2013]. Dostupné z: <http://www.roemheld.de/EN/roemheld.aspx?cmd=UEBERUNS>
- [6] *F 9.428*. Roemheld [online]. Copyright © Römheld GmbH [Cit. 13. 11. 2013]. Dostupné z: <http://www.roemheld.de/EN/roemheld.aspx?cmd=IMAGES&csid=152>
- [7] *F 9.430*. Roemheld [online]. Copyright © Römheld GmbH [Cit. 13. 11. 2013]. Dostupné z: <http://www.roemheld.de/EN/roemheld.aspx?cmd=IMAGES&csid=153>
- [8] *F 9.461*. Roemheld [online]. Copyright © Römheld GmbH [Cit. 13. 11. 2013]. Dostupné z: <http://www.roemheld.de/EN/roemheld.aspx?cmd=IMAGES&csid=2825>
- [9] *Turning motor-spindle*. Omlat [online]. Copyright © 2013 All rights reserved [Cit. 15. 11. 2013]. Dostupné z: [http://www.directindustry.com/prod/omlat/hydrostatic-spindles-14590-234639.html#product-item\\_234856](http://www.directindustry.com/prod/omlat/hydrostatic-spindles-14590-234639.html#product-item_234856)
- [10] *Spindlenoses*. Lathes [online]. Copyright © 2013 Tony Griffiths [Cit. 6. 12. 2013]. Dostupné z: <http://www.lathes.co.uk/spindlenose/spindlenoses.pdf>
- [11] *About Us*. SMW Autoblok [online]. Copyright © 2013 SMW Autoblok [Cit. 8. 12. 2013]. Dostupné z: <http://www.smwautoblok.com/index.php/about-us>
- [12] *Chuck adapters*. SMW Autoblok [online]. Copyright © 2013 SMW Autoblok [Cit. 8. 12. 2013]. Dostupné z: <http://www.smwautoblok.com/media/uploads/Chuck-Adapters-catalog.pdf>
- [13] *Hartdrehen auf EMAG Drehmaschine*. Initiative mittelstand [online]. Copyright © Huber Verlag für Neue Medien [Cit. 15. 12. 2013]. Dostupné z: <http://cdn.pressebox.de/a/2ca726c5dcab2215/attachments/0584531.attachment/filename/1470.jpg>
- [14] *Pronto 6*. Famar [online]. Copyright © 2013 Famar Group [Cit. 8. 11. 2013]. Dostupné z: <http://www.famargroup.com/en/products/pronto-6>
- [15] *About Us*. Buck Chuck [online]. Copyright © Forkardt, Inc. [Cit. 15. 12. 2013]. Dostupné z: <http://www.buckchuckusa.com/index.php>
- [16] *Zátky pro olejové kanálky a odvzdušňovací otvory*. SKF [online]. Copyright © 2014 [Cit. 3. 1. 2014]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/maintenance-products/hydraulic-tools-for-mounting-and-dismounting/hydraulic-tool-accessories/plugs-for-oil-ducts-and-vent-holes>

- [17] *Zátky pro uzavření výpustě s venkovním závitem*. GMS [online]. Copyright © 2014 gms velkoobchod s.r.o. [Cit. 5. 1. 2014]. Dostupné z: <http://doc.gms.cz/file/dokumentace/20120308141856-katalogovy-list.jpg>
- [18] *Strojní a zajišťovací prvky*. Halder [online]. Copyright © 2014 Halder Inc. [Cit. 6. 1. 2014]. Dostupné z: <http://www.halder.de/produkte/artgroupdetail.asp?s=cz&k=1&a=389&g=1&menu=296&submenu=products>
- [19] *Rotary Unions*. Leak Seal Engineering [online]. Copyright © 2012 Leak Seal Engineering [Cit. 12. 2. 2014]. Dostupné z: <http://www.leaksealengineering.com/rotary-unions.htm>
- [20] *Rotary Unions*. Vektek [online]. Copyright © 1996 - 2014 Vektek, Inc. [Cit. 12. 2. 2014]. Dostupné z: <https://www.vektek.com/Product.aspx?CategoryUid=79>
- [21] *Union 4 Pass 3/8 BSP*. Deublin [online]. Copyright © 2014 Deublin Company [Cit. 17. 2. 2014]. Dostupné z: <http://www.deublin.com/4-passage-design-flanged-rotor-special-seals-brass-housing/>
- [22] *Series 002 90 Degree Swivel with Bushings*. Rotary Systems [online]. Copyright © 2014 Rotary Systems, Inc. [Cit. 21. 2. 2014]. Dostupné z: <http://rotarysystems.com/series-002>
- [23] *What is a Rotary Union?* DSTI [online]. Copyright © 2014 Dynamic Sealing Technologies, Inc. [Cit. 6. 3. 2014]. Dostupné z: <http://www.dsti.com/products/what-is-a-rotary-union>
- [24] *Series 017 4 Pass Flange Mount Rotary Unions*. Rotary Systems [online]. Copyright © 2014 Rotary Systems, Inc. [Cit. 21. 2. 2014]. Dostupné z: <http://rotarysystems.com/series-017>
- [25] *F9.281*. Roemheld [online]. Copyright © Römheld GmbH [Cit. 16. 3. 2014]. Dostupné z: <http://www.roemheld.com/en/roemheld.aspx?cmd=PDF&Article=3000881&csid=15813&sm=>
- [26] *Hpmc/hsmc Series*. Duff-Norton [online]. Copyright © 2011 Duff-Norton [Cit. 2. 4. 2014]. Dostupné z: <http://www.duffnorton.com/productdetails.aspx?id=7937>
- [27] *Series 032 Hydrostatic Rotary Union*. Rotary Systems [online]. Copyright © 2014 Rotary Systems, Inc. [Cit. 21. 2. 2014]. Dostupné z: <http://www.rotarysystems.com/series-032>
- [28] *RENOLIN VG 32*. Praktik spol. [online]. Copyright © 2014 Praktik [Cit. 11. 4. 2014]. Dostupné z: <http://www.praktikloziska.cz/admin/uploaded/file/RENOLIN%20VG%20.pdf>
- [29] *Scroll chucks adapters*. Buck Chuck [online]. Copyright © Forkardt, Inc. [Cit. 15. 12. 2013]. Dostupné z: <http://store.buckchuck.com/scroll-chucks-adapters>
- [30] *Series 027 12 Pass Flange Mount Rotary Unions*. Rotary Systems [online]. Copyright © 2014 Rotary Systems, Inc. [Cit. 21. 2. 2014]. Dostupné z: <http://rotarysystems.com/series-027>