

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství  
Studijní zaměření: Dopravní a manipulační technika

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Robotické koncové efekторы

Autor: **Filip HRDLIČKA**

Vedoucí práce: **Ing. Roman ČERMÁK, Ph.D.**

Akademický rok 2012/2013

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Filip HRDLIČKA**  
Osobní číslo: **S12B0033P**  
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**  
Název tématu: **Robotické koncové efekторы**  
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:

Proveďte rešerši v oblasti robotických koncových efektorů, s důrazem na antropomorfní robotické ruce. Zpracujte tematiku z hledisek principů činnosti, srovnání jednotlivých koncepcí, vlastností, aplikací, atd. Rámcově zmapujte trendy v oboru a očekávaný budoucí vývoj. V praktické části práce navrhnete laboratorní experiment robotické ruky - detaily viz příloha zadání.

#### Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

#### Osnova bakalářské práce:

1. Rešerše v oblasti.
2. Srovnání principů činnosti, vlastností, technických prostředků, apod.
3. Trendy a očekávaný budoucí vývoj.
4. Návrh laboratorního experimentu podle přílohy zadání.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Rozsah pracovní zprávy: **30-40 stran A4**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:

**SICILIANO, B., KHATIB, O.** *Springer Handbook of Robotics*, Springer-Verlag. Berlin - Heidelberg: Springer-Verlag, 2008

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

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Roman Čermák, Ph.D.**  
Katedra konstruování strojů  
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Roman Čermák, Ph.D.**  
Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: **24. září 2012**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **28. června 2013**

  
Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.  
děkan



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

V Plzni dne 24. září 2012

## **Prohlášení o autorství**

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

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

V Plzni dne: .....

.....

podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Romanovi Čermákovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a podněty, které vedly k vypracování této práce, a za jeho ochotu a trpělivost.

Dále bych rád poděkoval své sestře Mgr. Tereze Hrdličkové za pečlivé pročtení textu a provedenou jazykovou korekturu.

# ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	<b>Příjmení</b> Hrdlička	<b>Jméno</b> Filip	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	B2301 „Dopravní a manipulační technika“		
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	<b>Příjmení (včetně titulů)</b> Ing. Čermák, Ph.D.	<b>Jméno</b> Roman	
<b>PRACOVISTĚ</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	<b>Nehodící se škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Robotické koncové efekторы		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KKS	<b>ROK ODEVZD.</b>	2013
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

## POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	74	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	42	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	20
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;"><b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b></p> <p style="text-align: center;"><b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b></p>	<p>Bakalářská práce shrnuje druhy robotických rukou, jejich vlastnosti a principy činnosti. Dále se práce zabývá zmapováním druhů senzorů použitelných u robotických rukou a nástinem současných trendů. V konstrukční části byl proveden návrh tříprsté robotické ruky a návrh univerzálního upínacího mechanismu pro robotické rameno.</p>
<p style="text-align: center;"><b>KLÍČOVÁ SLOVA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b></p>	<p style="text-align: center;">Robotické ruce, pohony, přenosové soustavy, senzory, uchopování</p>

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	<b>Surname</b> Hrdlička	<b>Name</b> Filip	
<b>FIELD OF STUDY</b>	B2301 “Transport Vehicles and Handling Machinery“		
<b>SUPERVISOR</b>	<b>Surname (Inclusive of Degrees)</b> Ing. Čermák, Ph.D.	<b>Name</b> Roman	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>TYPE OF WORK</b>	<del><b>DIPLOMA</b></del>	<b>BACHELOR</b>	<b>Delete when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Robotic effectors		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Machine Design	<b>SUBMITTED IN</b>	2013
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	74	<b>TEXT PART</b>	42	<b>GRAPHICAL PART</b>	20
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION</b>  <b>TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	This Bachelor thesis summarizes the kinds of robotic hands, their characteristics and principles of operation. The work mapping the types of sensors applicable in robotic hands and outline current trends. In the design part was designed a three-fingered robotic hand and a universal clamping device for the robot arm.
<b>KEY WORDS</b>	Robotic hands, drives, transmission systems, sensors, grasping

## Obsah

Úvod.....	1
1. Historie.....	2
2. Druhy robotických rukou.....	3
2.1 Gifu Hand III.....	4
2.2 High Speed Multifingered Hand.....	5
2.3 DLR Hand II.....	5
2.4 MARS Hand.....	6
3. Konstrukce robotické ruky.....	7
3.1 Druhy pohonů.....	7
3.1.1 Hydraulické motory.....	7
3.1.2 Pneumatické motory.....	8
3.1.3 Elektrické motory.....	8
3.1.4 Materiály s tvarovou pamětí (SMA – Shape memory alloy).....	8
3.1.5 Elektroaktivní polymery (EAP – Electroactive polymers).....	9
3.2 Druhy přenosových soustav.....	9
3.2.1 Lineární přenos.....	9
3.2.2 Řemenový (pásový) převod.....	10
3.2.3 Ozubený převod.....	10
3.3 Rozmístění pohonů a přenosové soustavy.....	10
3.3.1 Vnitřní pohon.....	10
3.3.2 Vzdálený pohon.....	10
3.4 Struktura pohonů.....	11
3.4.1 Jednosměrné motory.....	11
3.4.2 Obousměrné motory.....	12
3.4.3 Druhy struktur pohonů.....	12
4. Taktilní senzory.....	14
4.1.1 Taktilní snímače s elastomery a senzory typu FSR (Force Sensitive Resistor).....	14
4.1.2 Senzory s tenzometry.....	15
4.1.3 Senzory s piezoelektrickými materiály.....	15
4.1.4 Senzory s optickými vlákny.....	15
5. Uchopování.....	18



6.	Trendy a budoucí vývoj .....	20
6.1	Umělý hmat .....	20
6.2	Robotická protéza s reaktivním pohonem .....	21
6.3	Umělé svaly .....	22
7.	Návrh robotické ruky .....	24
7.1	Vstupní předpoklady a parametry .....	24
7.2	Návrh konečných parametrů .....	25
7.3	Volba pohonů a přenosových soustav .....	25
7.3.1	Volba pohonu pro svírání a rozevírání prstů .....	25
7.3.2	Volba pohonu pro otáčení prstů .....	27
7.3.3	Volba pružin .....	28
7.4	Návrh prstů .....	31
7.5	Výsledná sestava robotické ruky .....	32
7.6	Parametry robotické ruky .....	36
7.6.1	Použitý materiál .....	36
7.6.2	Minimální nosnost .....	36
7.6.3	Shrnutí parametrů .....	38
8.	Návrh univerzálního upínacího mechanismu .....	39
9.	Návrh jednotné koncovky pro upínací mechanismus .....	41
10.	Závěr .....	42

## Seznam obrázků

Obrázek 2-1 Gifu III vlevo s již s instalovanými senzory [6] .....	4
Obrázek 2-2 High Speed Multifingered Hand [7] .....	5
Obrázek 2-3 DLR Hand II [9].....	6
Obrázek 2-4 Model v CADu ruky MARS [1] .....	6
Obrázek 3-1 Princip funkce EAP, kdy se po přivedení napětí materiál deformuje [13] .....	9
Obrázek 3-2 Uspořádání pohonu kloubu s pasivním prvkem a se sekundárním pohonem [3].....	11
Obrázek 3-3 Pohon druhého článku ozubenými koly a lanovým vedením [3] .....	12
Obrázek 3-4 Pohon druhého článku lanovým vedením s pružinovým kompenzátorem [3].....	13
Obrázek 4-1 Uspořádání senzoru typu FSR [14].....	14
Obrázek 4-2 Snímač typu DOTS (plochy 1 až 12 - tenzometry) [14] .....	15
Obrázek 4-3 Uspořádání optického taktilního snímače se změnou útlumu [14].....	16
Obrázek 4-4 Uspořádání optického vláknového taktilního senzoru s mikroohybem [14] .....	16
Obrázek 4-5 Uspořádání maticového taktilního snímače s optickými vláknovými senzory [14] .....	17
Obrázek 5-1 Rozdělení jednotlivých druhů úchopů lidské ruky [16].....	19
Obrázek 6-1 Umělá forma kůže, ve které se nachází tekutina a senzory schopné detekovat sebemenší vibrace [17].....	21
Obrázek 6-2 Model robotické paže [18] .....	22
Obrázek 6-3 Umělá noha poháněná pneumatickými svaly [19].....	23
Obrázek 6-4 Pásky nanotrubic [21] .....	23
Obrázek 7-1 Robotické rameno Mitsubishi RV-2SD [23] .....	24
Obrázek 7-2 Zvolené mikroservo Futaba S3114 [24] .....	26
Obrázek 7-3 Rozměrové kóty ozubených kol [25].....	27
Obrázek 7-4 Rozměrové kóty torzních pružin [26] .....	29
Obrázek 7-5 Jednotlivé články prstu .....	32
Obrázek 7-6 Prst s namontovanými osičkami, pružinami a pojistnými kroužky .....	32
Obrázek 7-7 Levý rotační člen s přišroubovanou základnou prstu a nasazeným prstem .....	32
Obrázek 7-8 Základní deska s namontovanými posuvnými členy .....	33
Obrázek 7-9 Základní deska se všemi prsty, montážními členy a vložkou .....	34
Obrázek 7-10 Ruka s instalovanými mikroservy.....	34
Obrázek 7-11 Ozubené soukolí a textilní podložkou a příčným kolíkem .....	35
Obrázek 7-12 Kompletní sestava robotické ruky – pohled zdola.....	35
Obrázek 7-13 Kompletní sestava robotické ruky - pohled shora.....	36

Obrázek 7-14 Působení sil při uchopení tenké desky 2 prsty .....	37
Obrázek 8-1 Řez rychloupínacím mechanismem .....	40
Obrázek 9-1 Koncovka pro robotickou ruku .....	41
Obrázek 9-2 Koncovka pro pneumatické čelisti HMS3-20D .....	41

## **Seznam tabulek**

Tabulka 2-1 Přehled parametrů vybraných robotických rukou [2].....	3
Tabulka 7-1 Základní parametry robotického ramene [22] .....	24
Tabulka 7-2 Základní výchozí parametry ruky.....	25
Tabulka 7-3 Parametry microserva Futaba S3114 [24] .....	26
Tabulka 7-4 Rozměry použitých ozubených kol [25] .....	27
Tabulka 7-5 Přehled parametrů vybraných pružin [26].....	29
Tabulka 7-6 Základní parametry robotické ruky .....	38

## **Seznam příloh**

Příloha č. 1: Výkres robotické paže

Příloha č. 2: CAD modely robotické ruky

Příloha č. 3: Výkresová dokumentace rychloupínacího mechanismu

Příloha č. 4: Výkres čelistí HMS3-20D a její koncovky, CAD model

## **Použitý software**

Autodesk Inventor Professional 2012

## Úvod

Ve světě se nyní používá mnoho druhů robotických rukou, které manipulují s předměty různých velikostí a tvarů. Většinou se jedná o jednoduché manipulátory, jež bývají určeny k manipulaci s tvarově jednoduchými tělesy. Častěji jsou používány manipulátory pro uchopování jednoho konkrétního typu předmětu, například při výrobě automobilů. Existují i odvětví, v nichž se jednoduché manipulátory nedají použít. Jedná se například o manipulaci s náchylným chemickým či biologickým materiálem. Při práci s takovým materiálem je vyžadován cit v rukou, neboť díky němu je možné rozeznat sílu, teplotu, tuhost a další vlastnosti předmětů a látek. Protože jednoduché manipulátory těchto vlastností nedosahují, je nezbytný zásah člověka. Lidská ruka je totiž díky mnoha nervovým zakončením velice všestranná a přizpůsobivá.

S některými složitějšími typy robotických rukou je možné se setkat například v nemocnicích. Díky pokrokům v oblasti robotických rukou je možné operovat pacienta bez přímé účasti chirurga. Chirurg tak může díky chirurgickým robotům pacienta operovat i na dálku. Během takové operace se může spoléhat pouze na svůj zrak. Představte si však chirurga, který operuje pacienta v jiné části světa pomocí pokročilých robotických rukou. Tyto ruce by byly vybaveny senzory, z nichž se signály přenáší zpět k chirurgovi. V takovém případě by chirurg mohl skutečně pocítit tvrdost, tvar i teplo jednotlivých tkání, dokázal by nahmatat nádory či jiné anomálie. Měl by tedy pocítit, jako kdyby se pacienta dotýkal vlastníma rukama. Princip založený na zdokonalení senzorů v robotických rukou a přenosu informací ke koncovému uživateli by se dal použít i v jiných profesích či průmyslových odvětvích. Pyrotechnik by při zneškodňování výbušnin nemusel spoléhat na dálkově ovládaného robota s robotickou paží řízeného velmi stroze pouze joystickem či vystavovat riziku svůj vlastní život při manipulaci s výbušninou přímo na místě. Díky pokročilým robotickým rukám by mohl výbušninu zneškodnit z bezpečné vzdálenosti se stejnou precizností, jako kdyby byl přímo nad ní.

Příkladem pokroku vývoje robotické ruky je snaha dosáhnout plnohodnotné robotické protézy pro lidi, kteří přišli o ruku. Dnešní protézy už dokážou uchopit nejrůznější předměty a s jejich pomocí si člověk dokonce dokáže zavázat i tkaničky, nicméně stále jsou svými vlastnostmi vzdáleny rukám lidským. V budoucnu by tyto protézy mohly být téměř nerozpoznatelné od rukou opravdových. Měly by stejné, případně lepší, vlastnosti a dokázaly by plnit stejné úkoly jako ruce lidské.

Právě z těchto důvodů se v posledních několika desetiletích snaží různé vývojové týmy vyrobit robotickou ruku, která by byla co možná nejpodobnější lidské ruce. Obzvláště v posledních 25 letech zaznamenala tato oblast vývoje obrovský posun vpřed, a to především díky objevům v elektronice.

## 1. Historie

Během staletí se objevily různé návrhy umělých (mechanických) rukou. Jeden z prvních známých nákresů je datován do roku 1496. Nákres vytvořil italský renesanční umělec Leonardo Da Vinci. Šlo o velmi jednoduchou konstrukci čtyřprsté ruky, kde každý z prstů byl složen ze tří článků (stejně jako 4 z prstů lidské ruky). Ruka měla být poháněna soustavou kladek a lanek.

Návrhy robotických rukou se opět objevily až v 19. století. Roku 1864 E. Spellerberg navrhl umělou ruku, která byla založena na soustavě pákových mechanismů, vratných pružin a lanek. Pokud se za výstupní lanko zatáhlo, pružina se stlačila a pákový mechanismus sevřel všech pět prstů ruky. Po odlehčení výstupního lanka se stlačená pružina roztáhla, a ruka se tak rozevřela. Na podobném principu fungovaly i další mechanické ruce navržené v následujících letech.

První opravdovou robotickou ruku (tedy spíše manipulátor) vyvinul Ralph Mosher v roce 1960. Zkonstruovaná ruka měla pouze dva totožné prsty umístěné proti sobě, a tak se hodila pouze k uchopování jednodušších těles.

Teprve roku 1969 byla zkonstruována první ruka antropomorfního typu. Tato ruka měla jen tři prsty, ale obsahovala už tzv. palec, tedy prst, který byl umístěn naproti zbývajícím prstům. Připojením palce získala ruka podobné uchopovací možnosti jako lidská ruka. [1]

V Německém středisku pro letectví a kosmonautiku (DLR - Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt) byla vyvinuta jedna z nejdokonalejších robotických rukou současné doby. Ruka má čtyři prsty a každý z prstů je vybaven čtyřmi klouby. V konečcích prstů jsou umístěny miniaturní taktilní senzory, což ruce umožňuje pracovat s rozličnými materiály v různých prostředích. [5]

## 2. Druhy robotických rukou

Vývoj a konstrukce robotických rukou nebyly mezi lety 1980 až 1990 příliš intenzivní, avšak v následujících letech začal tento trend rapidně narůstat. Příčinou uvedeného nárůstu byl vznik a vývoj nových technologií, které umožnily stavět různé variace rukou pracujících na různých principech.

Nové technologie umožnily přiblížit parametry robotických rukou k parametrům lidské ruky a některé z nich dokonce překonat. Lidská ruka se dokáže zavřít a otevřít zhruba za 2 desetiny vteřiny a vyvinout sílu na konečku prstu až 15N. Rychlostní hranici momentálně překonává např. Gifu Hand, Ultralight Hand či High Speed Multifingered Hand. Silovou hranici pak pokořuje např. Barret Hand, DLR Hand II či již zmíněná High Speed Multifingered Hand.

Při porovnání většiny robotických rukou, jež v dnešní době existují, lze zjistit, že vývojáři preferují především návrhy a konstrukce rukou, které mají pět prstů. Ruce s pěti prsty tvoří téměř polovinu navržených a zkonstruovaných rukou. Zbylé návrhy a konstrukce rukou mají tři nebo čtyři prsty. Každá z těchto dvou kategorií zaujímá zhruba jednu čtvrtinu celku. Při výběru pohonu robotických rukou bývá preferován pohon elektrickými motory. Mezi nejpoužívanější přenosové soustavy patří soustava lanová. [2]

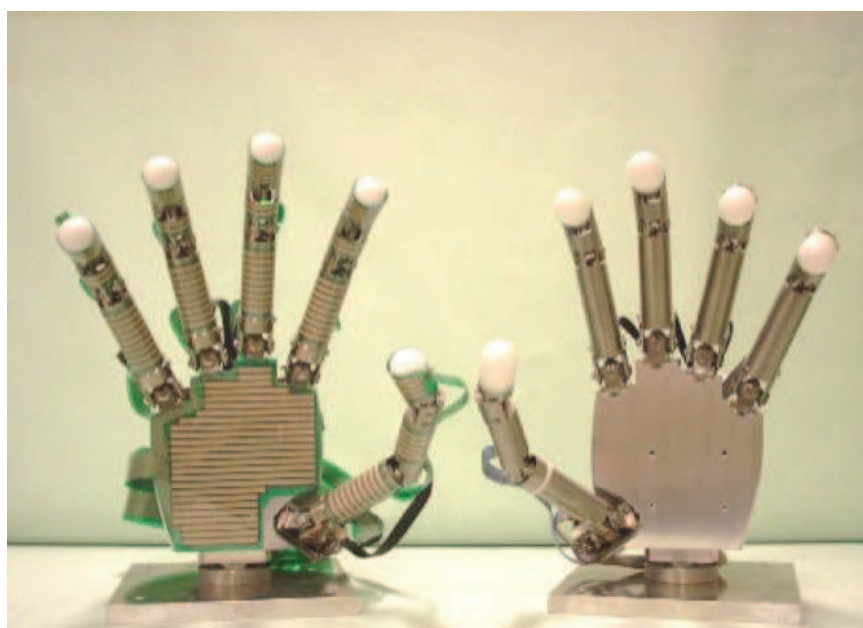
Tabulka 2-1 Přehled parametrů vybraných robotických rukou [2]

Název	Počet prstů	Počet stupňů volnosti	Počet pohonů	Typ pohonu	Typ přenosu
Stanford/JPL Hand	3	9	9	elektrický	lanový
Utah/MIT	4	16	16	pneumatický	lanový
Belgrade/USC Hand	5	15	4	elektrický	táhlový, šneková kola
Barret Hand	3	8	4	elektrický	lanový
DLR Hand I	4	16	12	elektrický	lanový
Dist Hand	5	16	16	elektrický	lanový
Robonaut Hand	5	19	14	elektrický	lanový
Gifu Hand	5	20	16	mikroserva	lanový, ozubená kola
Blackfingers	5	22	36	pneumatické svaly	lanový
Tuat/Karlsruhe Hand	5	24	1	elektrický	lanový, táhlový

Ultralight Hand	5	18	13	flexibilně tekutinový	žádný
DLR Hand II	4	17	13	elektrický	lanový
RTR Hand I	3	9	3	mikroserva	šroubový
Dexterous Robot	4	12	-	žádný	lanový, táhlový
Shadow Hand	5	23	23	pneumatické svaly	lanový
Thing Hand	4	14	6	elektrický	lanový
High Speed Multifingered Hand	3	10	10	elektrický	harmonické převodovky

## 2.1 Gifu Hand III

Ruka Gifu má 4 stejné prsty a jeden palec. Palec má 4 klouby a 4 stupně volnosti, prsty mají rovněž 4 klouby, ale jen 3 stupně volnosti. Je to zapříčiněno tím, že u prstů je poslední kloub pod špičkou prstu poháněn nepřímo, kdežto u palce jsou poháněny všechny klouby. To je důvod, proč má celá ruka 20 kloubů, ale jen 16 stupňů volnosti. Klouby 2 až 4 u prstů fungují ve směru zavírání a otevírání ruky, zatímco první kloub funguje ve směru kolmém (vybočování prstů do strany). Pohon kloubů je řešen elektrickými mikroservy. Po celé ruce jsou rovněž rozmístěny taktilní senzory, a to jak na dlani, tak z vnitřní strany všech prstů. Taktilní senzory jsou zde řešeny formou mřížkového vzoru v tenkém filmu. V něm jsou umístěny elektrody a vodivý inkoust, jehož elektrický odpor se mění v závislosti na vyvozeném tlaku. Celkově má ruka 859 detekčních bodů, kterými může snímat předměty či své okolí. [6]



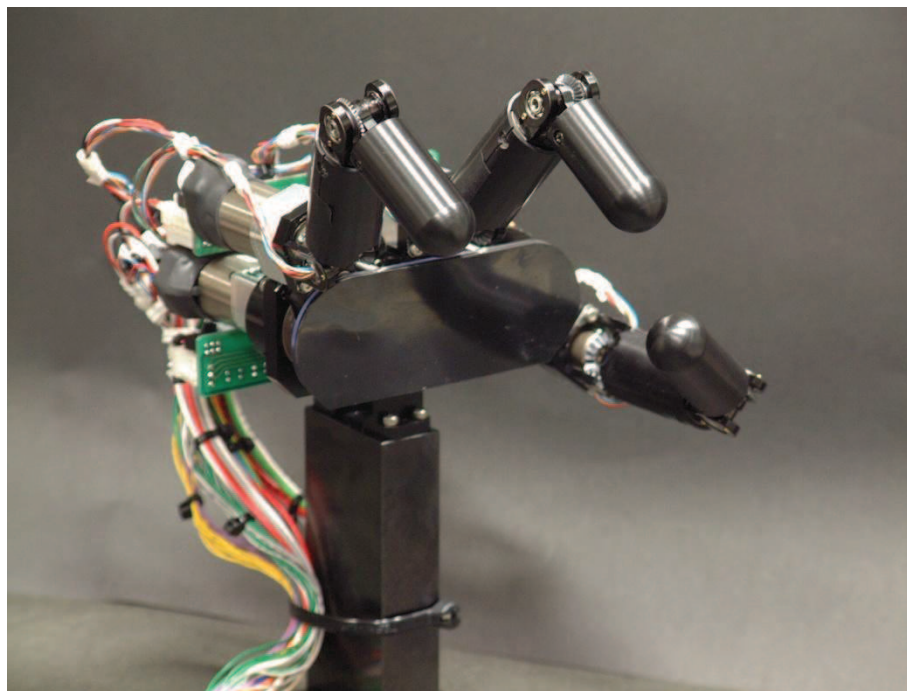
Obrázek 2-1 Gifu III vlevo s již s instalovanými senzory [6]



## 2.2 High Speed Multifingered Hand

Tato ruka byla přímo navržena pro určité specifické vlastnosti. Pro nízkou hmotnost, vysokou rychlost, akceleraci a přesnost. Váha celé ruky je nižší než 1 kg. Aby mohlo být dosaženo tohoto stavu, byl počet prstů stanoven na nejnižší možný počet, který je potřeba ke stabilnímu uchopování předmětů. Tato ruka má 3 prsty, z nichž 2 fungují jako palce (levý a pravý). Počet článků prstů byl stanoven rovněž na minimum, takže každý prst má pouze 2 články a 2 klouby. Celkově má ruka 8 stupňů volnosti, 2 u prostředního prstu, který koná pouze pohyb ve směru zavírání či otevírání ruky, po 3 pak u palců, jež navíc konají pohyb do stran. Pokud je k tomu ruka uzpůsobena, může se celá pohybovat ještě v místě zápěstí rotačním pohybem kolem své osy.

Jednotlivé klouby jsou poháněny malými vysoce výkonnými motory s harmonickými převodovkami. Pro pohon kloubů mezi články jsou motory umístěny ve spodním článku. Pro pohon kloubů mezi dlaní a spodním článkem jsou pak motory umístěny pod dlaní společně s motory pro posun palců do stran. Každý kloub je navíc vybaven silovým senzorem a na samotných konečcích prstů jsou pak umístěny taktilní senzory. [7]



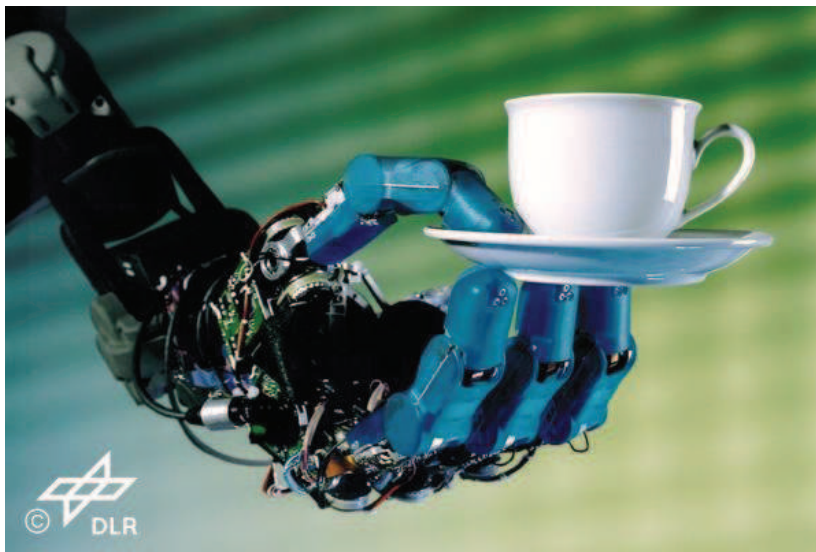
Obrázek 2-2 High Speed Multifingered Hand [7]

## 2.3 DLR Hand II

Tato ruka se skládá ze čtyř naprosto identických prstů, z nichž jeden je použit jako palec. Celá ruka má dohromady 13 stupňů volnosti, po třech stupních na každém prstu a navíc jeden stupeň pro pohyb palce v dlaní. Pohon jednotlivých článků se skládá ze stejnosměrných elektrických motorů, ozubených řemenů, harmonických převodovek a kuželových soukolí. Konfigurace se liší mezi jednotlivými klouby. Kuželová kola jsou umístěna v základním kloubu u dlaně. Harmonické převodovky jsou z geometrických důvodů napojeny přímo na elektrické motory. Střední kloub je poháněn ozubeným



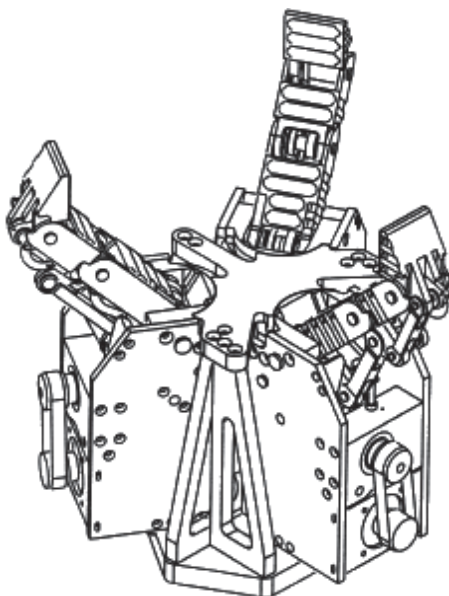
řemenem v poměru 2:1, a tudíž je možné použít motor menších rozměrů. Výsledná síla, kterou dokáže špička prstu působit, je až 30N. V ruce jsou kromě polohových senzorů, které snímají aktuální polohu kloubů, umístěny také miniaturní taktilní senzory ve špičce každého prstu. To vše umožňuje jedinečnou ohebnost ruky. [8]



Obrázek 2-3 DLR Hand II [9]

## 2.4 MARS Hand

Tato ruka se skládá ze tří prstů, které se dokážou otáčet kolem vlastní osy v rozmezí  $60^\circ$ , a základny, k níž jsou prsty připevněny. Samotné prsty jsou rozmístěny po  $120^\circ$ , čímž dokážou uchopovat objekty různými způsoby (cylindrické, sférické a planární uchopení). Všechny prsty jsou naprosto identické, skládají se ze tří článků o různých délkách. Jednotlivé články jsou na své vnitřní straně vybaveny tlakovými senzory. Prsty jsou poháněny soustavou táhel (lineárním převodem). Samotná táhla jsou poháněna elektrickými motory, jež jsou umístěny v základně ruky. Pohyb táhel jednoho prstu zajišťuje jeden elektrický motor, otáčení prstu pak druhý. Celkově má tato ruka 6 pohonů, které připadají na 12 stupňů volnosti. [1]



Obrázek 2-4 Model v CADu ruky MARS [1]

### 3. Konstrukce robotické ruky

Termín antropomorfismus označuje schopnost robotické ruky napodobit ruku lidskou. Jedná se o aspekty, mezi něž patří například tvar, velikost, soudržnost či barva, teplota a další. V dnešní době mají zatím veškeré robotické ruce v porovnání s lidskou rukou nízkou zručnost. Lidská ruka se totiž skládá z více než 19 šlach, 17 kloubů, 19 kostí, nespočetně nervů a tisíce hmatových, tlakových a teplotních receptorů, které jsou obsaženy v kůži. Lidská ruka má dvě základní schopnosti. Schopnost uchopovat a držet předměty různých velikostí a tvarů a schopnost vnímat okolí kolem sebe prostřednictvím dotyku. Tyto vlastnosti jsou stejně důležité také při konstrukci robotické ruky. Díky uvedeným vlastnostem mohou roboti prozkoumávat své okolí a manipulovat v něm s předměty.

Z tohoto důvodu je napodobení lidské ruky obrovskou konstrukční výzvou, jež je s každým nově vzniklým typem ruky stále blíže svému uskutečnění. Robotická ruka antropomorfního typu má oproti klasickým robotickým manipulátorům hned několik výhod.

Lidská ruka je naprosto univerzální nástroj. Díky podobnému zařízení by roboti získali schopnost téměř neomezeně operovat v prostředí, které bylo stvořeno lidmi pro lidskou ruku. Robotická ruka může být navíc ovládána operátorem na dálku, tj. z jiného místa a z jakékoliv vzdálenosti, například díky datové rukavici. Operátor může zasáhnout na potřebném místě, aniž by se musel přesunovat či se vystavovat riziku.

Návrh robotické ruky může být realizován několika různými způsoby. V okamžiku, kdy je vytvořena nadefinovaná kinematická struktura, specifikovaná velikost a tvar, zbývá vyřešit už jen návrh druhu pohonu a přenosové soustavy. Tento aspekt návrhu je klíčový, neboť konstruktéři bývají obvykle omezeni velikostí a tvarem ruky. [3]

Vlastnostmi ideální robotické ruky by měly být nízká hmotnost, jednoduché řízení a nízká cena. Společně s těmito aspekty by měla mít také dobré uchopovací vlastnosti a schopnost operování s rozličnými předměty. [4]

#### 3.1 Druhy pohonů

Používají se k pohonu robotů či jejich jednotlivých částí. Pro každý typ pohonu se hodí jiný druh použití. Existuje několik druhů pohonů, od běžných druhů, kam patří různé motory, až po speciální druhy, mezi které lze zařadit např. materiály s tvarovou pamětí. [3]

##### 3.1.1 Hydraulické motory

Tyto motory dokážou vyvinout velkou sílu a mají velmi dobré parametry v poměru výkon - hmotnost. Jejich nevýhodou je však pomalý reakční čas, velikost hydraulické soustavy a problém s těsností vysokotlaké tekutiny, která vyžaduje častou kontrolu a údržbu. Další nevýhodou je problém při použití v mobilních zařízeních, v nichž je potřeba celou soustavu integrovat dovnitř, což značně zvyšuje hmotnost a rozměry celého zařízení.

Hydraulické motory mohou být buď přímočaré, nebo rotační. Přímocharé motory fungují jako klasický píst, kdežto rotační motory fungují na principu lopatek podobně

jako vodní motory. K pohonu hydraulického motoru je třeba hydraulická soustava. Ta se skládá z čerpadla, jež je poháněné buď elektrickým motorem, spalovacím motorem či jiným aktuátorem. Dále je v soustavě přítomný rozvod tekutiny, který zajišťují vysokotlaké hadice.

Poslední důležitou součástí je řídicí jednotka ovládaná povětšinou elektronicky. Je tvořena systémem ventilů, jež propouštějí kapalinu do motorů, které jsou zrovna potřeba, tj. tam, kam přijde příkaz, aby se klapka otevřela. [3]

### 3.1.2 Pneumatické motory

Tyto motory jsou podobné hydraulickým, neboť je možné, rozdělit je na lineární a rotační. Lineární jsou velmi vhodné pro dvoupolohový pohyb, což je zároveň i jejich hlavní nevýhoda v případě, že je potřeba regulovat polohu. Pneumatické motory jsou velmi rychlé, malé, levné a jednoduché na ovládání. Pohon motorů obstarává stlačený vzduch, který je přiváděn hadicemi buď z kompresoru, anebo z tlakové lahve. Proti hydraulickým motorům je tak komplexnost celé soustavy menší.

Podobně jako u hydraulických motorů je i zde nevýhodné použití v mobilních zařízeních, a to z hlediska velikosti a hmotnosti kompresoru a motoru. [3]

### 3.1.3 Elektrické motory

Jedná se o nejpoužívanější způsob pohonu u robotů, a to hned z několika důvodů. Elektromotory se dají velmi dobře ovládat a regulovat. K jejich pohonu je zapotřebí elektrická energie, která může být poskytována z baterií. Baterie jsou mobilní a skladné. Samotné motory mají rovněž malé rozměry a rozvodnou soustavu tvoří elektrické vodiče, jež nepotřebují téměř žádnou údržbu. Kromě klasických rotačních motorů se mohou používat i motory krokové či lineární (solenoidy). [3]

### 3.1.4 Materiály s tvarovou pamětí (SMA – Shape memory alloy)

Jedná se o kovové slitiny na bázi niklu a titanu (např. Nitinol), které se vlivem tepla začínají deformovat a při chladnutí se vrací zpět do svého původního stavu. Tyto materiály se používají hlavně ve formě tenkého drátu (vlákna), jenž se dokáže rychle zahřát, pokud skrz něj proudí elektrický proud.

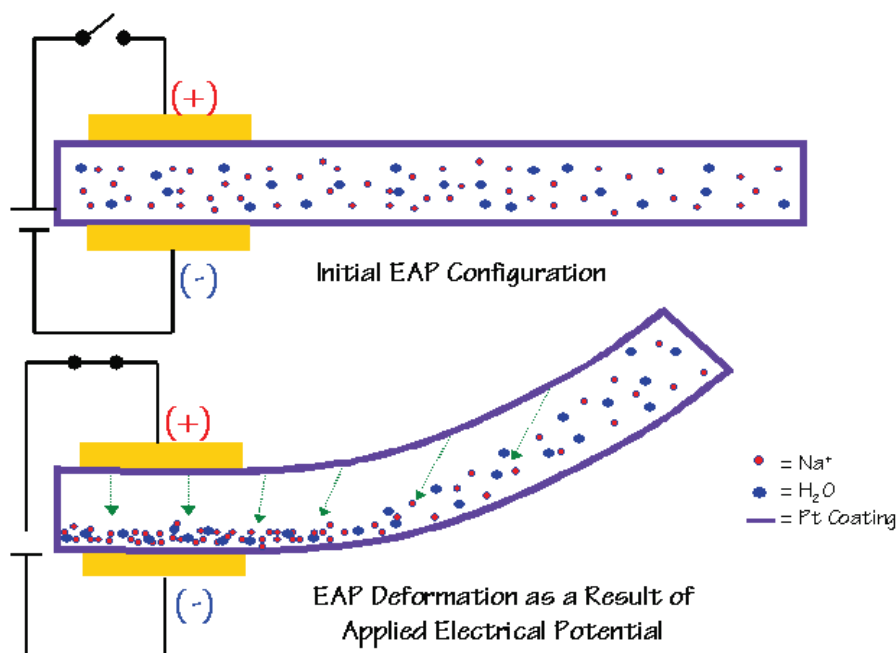
V robotice se dá této vlastnosti využít hlavně při pohonu prstů robotické ruky, kde svazek těchto vláken funguje stejně jako šlacha v lidské ruce. Šlacha se totiž také skládá z několika malých vláken. Mezi stavbou lidské a robotické ruky existuje značná podobnost, což je jejich velká výhoda. Další výhody jsou jejich malé rozměry, cenová dostupnost, poměr velikosti síly ku rozměrům, atd. Velikost stisku prstů závisí pouze na použitém počtu a průměru vláken.

Jejich nevýhodami jsou omezená životnost, hysterezní chování či rychlost deformace, která závisí na použitém rozměru vlákna a na síle použitého elektrického zdroje. Další nevýhodou je jejich chování při chladnutí, neboť při tomto procesu se drát chladí mnohem pomaleji, a tak se prst narovnáva pomalu. V některých konstrukcích se dokonce prst nenavrací do svého maxima. Tento problém se dá vyřešit použitím různých pasivních prvků (pružiny, elastické materiály), které mu pomohou se zcela narovnat. Nicméně zde opět může dojít k poškození vlákna a jeho vlastností. [10]

### 3.1.5 Elektroaktivní polymery (EAP – Electroactive polymers)

Je to druh polymerních materiálů, jež jsou schopny měnit svůj tvar v závislosti na přivedeném napětí. Tyto polymery mají velkou rychlost deformace srovnatelnou např. s materiály s tvarovou pamětí. Na rozdíl od těchto materiálů však dokážou polymery působit mnohem menší silou. [Flexinol as actuator for a humanoid finger]

Dva nejčastější typy polymerů jsou iontové a elektronické. Oba typy jsou vybaveny po stranách elektrodami, které po přivedení napětí deformují polymer v daném směru. Pro pohon iontových polymerů je třeba jen pár voltů (v řádech jednotek), ale napájení celého polymeru spotřebovává větší množství energie. Pro udržení určité pozice je třeba, aby byl polymer stále napájen. V tomto případě jsou výhodnější polymery elektronické. K jejich pohonu je sice nutné vysoké napětí (v řádech kilovoltů), avšak k napájení je třeba už jen malé množství energie. Tento typ navíc dokáže udržet danou polohu bez jakéhokoli napájení. [11, 12]



Obrázek 3-1 Princip funkce EAP, kdy se po přivedení napětí materiál deformuje [13]

## 3.2 Druhy přenosových soustav

Základním účelem přenosové soustavy je dopravit mechanickou energii z motoru do místa určení (spotřeby). Návrh a výběr druhu soustavy se řídí určitými požadavky. Jedná se zpravidla o druh a umístění motoru. Rovněž není možné opomenout aspekty, jakými jsou účinnost, cena či energetické ztráty soustavy (tření). [3]

### 3.2.1 Lineární přenos

Lineární přenos sil je velmi častý a například v robotických rukou téměř nepostradatelný. Uplatnění najde při pohonu různých táhel či lanek, jež jsou dále napojena například na jednotlivé prsty ruky či klouby.

Lineárního pohybu se dá docílit různými způsoby. Jedním z nich je použití lineárního motoru, na němž je napojeno přenosové táhlo, které přenáší pohyb a sílu na

určené místo. Na podobném principu pracuje i ozubený hřeben a pastorek, kde pastorek je poháněn rotačním motorem a hřeben se pohybuje po vedení.

Dalším častým způsobem je použití lanka (ocelového či jiného z pevného materiálu), kdy je lanko navíjeno motorem. U tohoto způsobu je pak třeba zajistit vratný pohyb buďto pružinou, anebo druhým lankem, které bude navíjeno v opačném směru (ve většině případů druhým motorem). [3]

### 3.2.2 Řemenový (pásový) převod

Jedná se o rotační přenos sil, kde mezi dvěma řemenicemi obíhá řemen (pás), který může být i ozubený (má vyšší účinnost). Mnohonásobným stupněm převodu lze získat poměry až 100:1 (na 100 otáček motoru připadá jedna otáčka hnané části). Nevýhodou tohoto převodu je prokluz, kdy v případě dlouhého provedení řemen ochabuje a prokluzuje. [3]

### 3.2.3 Ozubený převod

Jedná se o velmi spolehlivý, těsný a nízkoúdržbový rotační převod. Tento převod zabírá málo prostoru a může přenášet velké síly a momenty. Převodový poměr je téměř libovolně volitelný, čímž lze v místě zátěže získat potřebný energetický výstup. Ozubený převod se často používá pro pohon zápěstí robotických rukou či kloubů jako je například loket. [3]

## 3.3 Rozmístění pohonů a přenosové soustavy

Druhy pohonů kloubů je možné rozdělit do dvou hlavních skupin. V prvním případě jde o umístování motoru co nejbližší ke kloubu (do článku prstu), případně přímo do kloubu samotného. V druhém případě je motor umístěn do dlaně ruky, či předloktí. V tomto případě je však nutné vést od motoru ke kloubům přenosovou soustavu, která je bude ovládat. Toto řešení je náročnější na provedení, nicméně je jedinou možností v případech, kdy je dostupný prostor omezen. [3]

### 3.3.1 Vnitřní pohon

Jedná se o první případ uložení, kdy je motor uložen buď přímo v kloubu, anebo hned vedle něj v článku prstu.

Přímé uložení v kloubu snižuje komplexnost ruky, neboť zcela odpadá použití přenosové soustavy. Přímé uložení motorů v kloubech či vedle kloubů je velice výhodné. V některých případech je totiž kinematická nezávislost kloubu vůči ostatním vyžadována.

Toto uložení má ovšem i své nevýhody. Vzhledem k velikosti motorů a prstů ruky se jen obtížně dosahuje toho, aby ruka měla stejnou sílu úchopu při stejných rozměrech prstů jako ruka lidská. Navíc motory zabírají značnou část místa uvnitř prstů, což znemožňuje přidání dalších zařízení, jakými jsou například tlaková či teplotní čidla. [3]

### 3.3.2 Vzdálený pohon

Vzdálený pohon je další alternativou v případě, kdy není možné použít motor přímo v místě kloubu. V takovém případě je kloub ovládán motorem, který je umístěn



v dlani nebo v předloktí ruky. K pohánění kloubu motorem je ovšem zapotřebí přenosová soustava (např. ocelové lanko).

Tento typ pohonu byl inspirován fungováním lidské ruky, kde jednotlivé šlachy, které ústí z dlaně, pohybují prsty. I zde se zatáhnutím lanka prst stáhne a za pomoci například pružiny, se po uvolnění lanka opět natáhne. Rovněž může být použito paralelní lanko, které bude prst naopak narovnávat. [3]

### 3.4 Struktura pohonů

Jak už bylo řečeno výše, existují dva typy pohonu kloubů, vnitřní (tedy přímý) a vzdálený (tedy nepřímý). Tyto pohony mohou být umístěny v ruce v různých provedeních, tj., buď může být použit jeden, nebo i více pohonů pro každý kloub. Klouby poté mohou operovat v různých směrech.

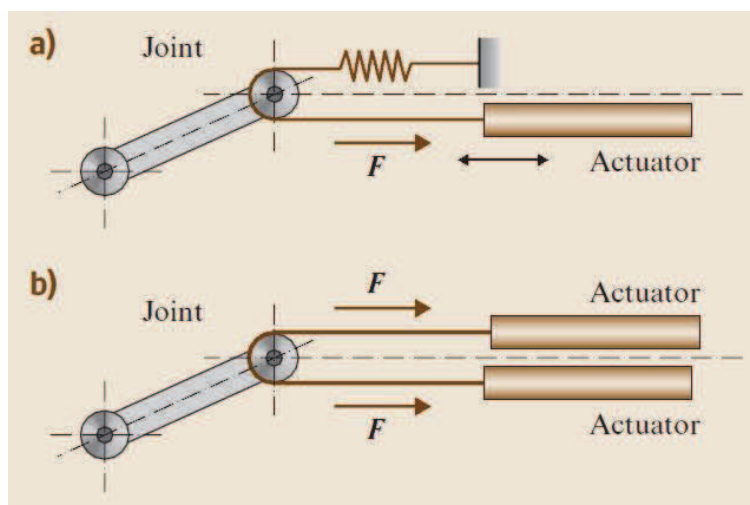
Pokud bude počet kloubů označen jako  $N$  (zápěstí neuvažujeme) a počet použitých pohonů jako  $M$ , mohou nastat tři případy pohonu kloubů.

Prvním z nich je situace, kdy  $M < N$ , tzn., že některé klouby budou pouze pasivní, sdružené nebo úplně bez pohonu. Druhým případem je  $N = M$ , kdy každý kloub má svůj vlastní pohon, a proto zde nejsou žádné pasivní, sdružené či nepoháněné klouby. Třetím a posledním případem je  $M > N$ . V tomto případě je na některých kloubech použit více než jeden pohon. [3]

#### 3.4.1 Jednosměrné motory

Každý motor může generovat řízený pohyb pouze v jednom směru, tzn., že pro pohyb vratný je třeba použít aktivní návratový prvek (např. druhý motor) anebo pasivní návratový prvek (např. pružinu). Tento způsob pohybu je založen na podobném principu, jakým pracují šlachy v lidské ruce.

Uvedený typ motorů se používá hlavně při použití pásového vedení (za pomoci kladek), kde každý motor je umístěn na jedné straně pásu. Proto se jednosměrných motorů využívá hlavně pro vzdálený pohon kloubů, kde mohou být motory umístěny v dlani nebo zápěstí, neboť tam je pro jejich uložení dostatek místa. [3]



Obrázek 3-2 Uspořádání pohonu kloubu s pasivním prvkem a se sekundárním pohonem [3]

### 3.4.2 Obousměrné motory

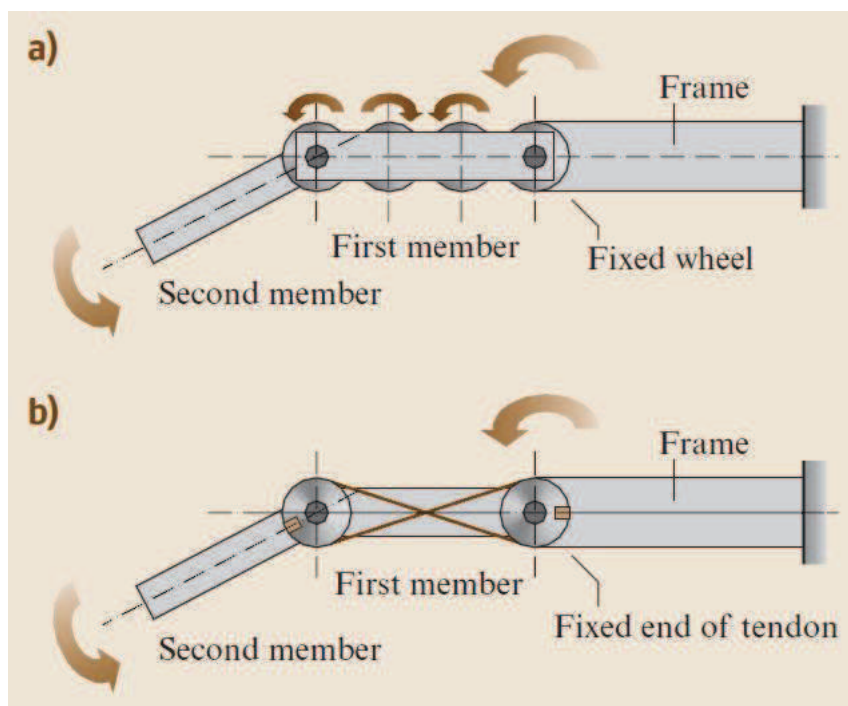
Každý motor může generovat řízený pohyb v obou směrech, a tudíž může být použit jen jeden motor bez jakýchkoli jiných přídavných prvků. Proto jsou tyto motory ideální pro přímý pohon kloubů s použitím jednoduchého převodového ústrojí. Dále jsou vhodné také pro vzdálený pohon s ozubenými koly. [3]

### 3.4.3 Druhy struktur pohonů

Nejlépeším případem pro ovládání jednotlivých prstů v robotické ruce je ovládání každého kloubu vlastním pohonem, ať už přímo či nepřímo. Ne vždy je však takové řešení možné nebo potřebné. Z těchto důvodů existují i pohony, kde platí podmínka  $M < N$ . Jak již bylo zmíněno výše, jedná se o případ, kdy je počet motorů nižší než počet kloubů. Aby bylo dosaženo pohonu všech kloubů, musí v tomto případě dojít ke sdružení některých kloubů s jinými. [3]

#### 3.4.3.1 Sdružené klouby pevným způsobem

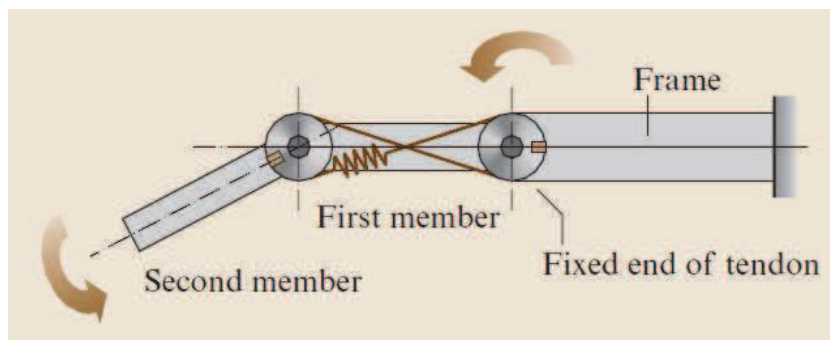
Pevný způsob sdružených kloubů znamená, že každý motor, který pohybuje více klouby, pohání buď soustavu ozubených kol anebo lanové vedení. Tyto převody přenášejí pohyb až ke druhému článku prstu. Další možností je propojení 2 či více prstů v základních kloubech u dlaně na společné pohonné hřídeli, která je následně poháněna jen jedním motorem. Výhodou tohoto systému je možnost kontroly polohy druhého článku. Nevýhodou je špatná přizpůsobivost prstů k tvaru uchopovaného předmětu, což způsobuje špatné držení uchopeného předmětu. [3]



Obrázek 3-3 Pohon druhého článku ozubenými koly a lanovým vedením [3]

### 3.4.3.2 Sdružené klouby pružným způsobem

Jedná se o podobný způsob sdružení kloubů jako v předcházejícím případě, ale zde je použito jen lanové vedení, které je navíc rozšířeno o pružný člen (často jednoduchá lineární pružina). Tato pružina funguje jako koncentrátor napětí v případě, že daný prst už uchopil předmět, ale ostatní prsty stále ještě v uchopování pokračují. Toto řešení pak umožňuje odstranit nedostatek špatné přizpůsobivosti prstů, a tím dosáhnout lepšího úchopu. [3]



Obrázek 3-4 Pohon druhého článku lanovým vedením s pružinovým kompenzátorem [3]



## 4. Taktilní senzory

„Taktilní senzory a snímače umožňují získat specifickou informaci, kterou nelze obstarat jiným způsobem a jejíž znalost je nutná při interakci mezi různými předměty. Umožňují chránit robota, měkce uchopit předmět, realizovat pohyb při kinematických omezeních, působit silou nebo momentem v daném směru, přesně měřit souřadnice předmětu v prostoru apod. Patří k nim i velké množství různých senzorů od mikropsínačů indikujících dotyk, přes senzory měřící úchopnou sílu nebo prokluzování uchopeného předmětu až po složité snímače nahrazující lidský hmat.“ [14]

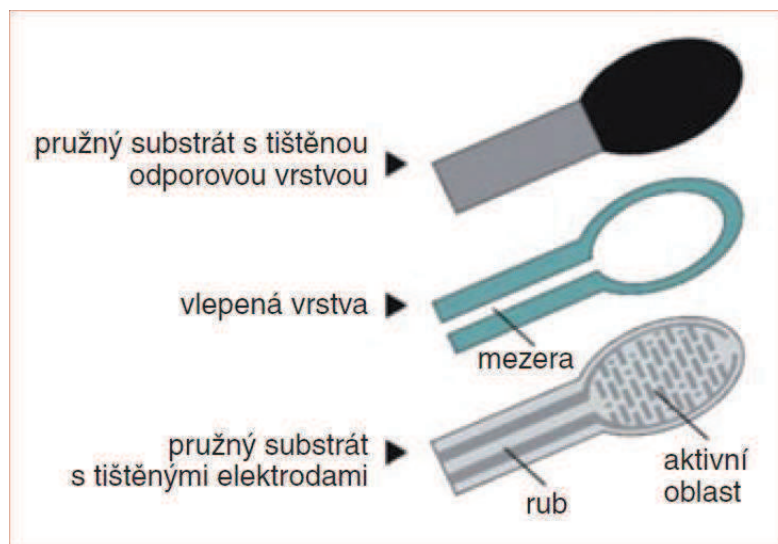
Taktilní senzor je měřící zařízení, jež dokáže snímat pohyb a sílu a tuto informaci převádět na elektrický signál, který je dále zpracován. Jedná se tedy o snímač. Tyto snímače se dají použít např. ke snímání tvarů a rozměrů předmětů, k ověřování správného úchopu předmětu, k ochraně robota či jeho okolí, atd.

Existuje několik druhů taktilních senzorů. Lze je rozdělit podle způsobu, jakým snímají informaci. [14]

### 4.1.1 Taktilní snímače s elastomery a senzory typu FSR (Force Sensitive Resistor)

„Jako převodník síly na elektrický signál je u tohoto typu použit vodivý elastomer měnící svůj elektrický odpor v závislosti na působící síle. V principu jde o silikonovou pryž syčenou grafitem nebo železným prachem. Se stlačováním a relaxací poddajného materiálu se mění výsledný odpor senzoru.“ [14] Neboli, při stlačení elastomeru se částice grafitu či železa k sobě přiblíží, čímž vzroste vodivost materiálu (odpor tudíž klesá). Při odlehčování je tomu naopak.

Senzory typu FSR pracují na podobném principu, jako taktilní snímače. Rozdíl je v tom, že místo elastomeru s grafitem či železem, jsou zde použity tenké odporové polymerové vrstvy, jež se skládají z vodivých a nevodivých částic o velmi malé velikosti. [14]

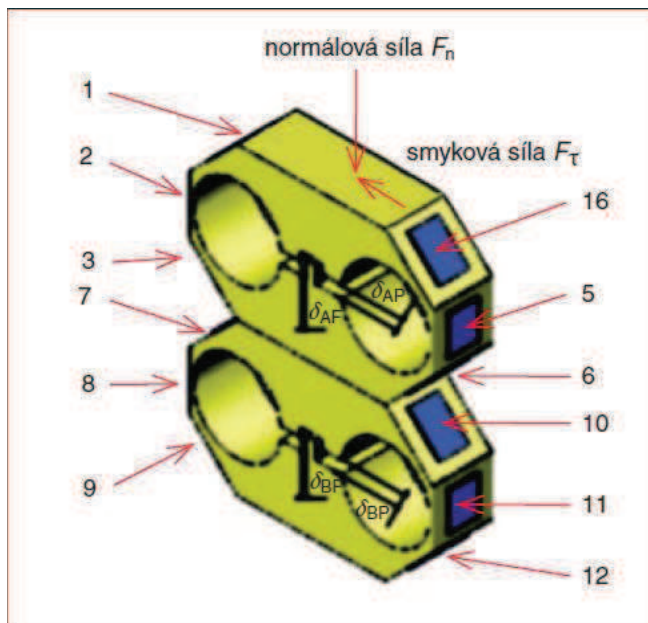


Obrázek 4-1 Uspořádání senzoru typu FSR [14]

### 4.1.2 Senzory s tenzometry

„Jsou založeny na měření deformace prvků robota aktivní silou např. při uchopení předmětu. Jako převodník síly na elektrický signál se použije drátkový, fóliový nebo polovodičový tenzometr nalepený na sledovaný namáhaný díl. Takto lze vytvořit senzor síly působící v daném místě nebo detekovat celkovou působící sílu.“

Příkladem snímače používaného robotice k současnému měření úchopné normálové a smykové síly je dvousložkový snímač typu DOTS (Double Octagon Tactile Sensor). Snímačem typu DOTS lze měřit i velké síly s velkou citlivostí, a to při lineární závislosti mezi působící silou a výstupem ze snímače.“ [14]



Obrázek 4-2 Snímač typu DOTS (plochy 1 až 12 - tenzometry) [14]

### 4.1.3 Senzory s piezoelektrickými materiály

Jedná se o senzory obsahující krystaly křemene nebo jiných materiálů s podobnými vlastnostmi, např. piezoelektrická keramika ( $\text{BaTiO}_3$ ,  $\text{PbTiO}_3$ ,  $\text{PbZrO}_3$ ). Pokud dojde k zatížení krystalů, vznikne v nich elektrické napětí. Z tohoto důvodu jsou velmi vhodné pro měření dynamických zatížení. Nehodí se však k měření statických či pomalých zatížení, protože vzniklý náboj se v důsledku nedokonalé izolace vybíjí.

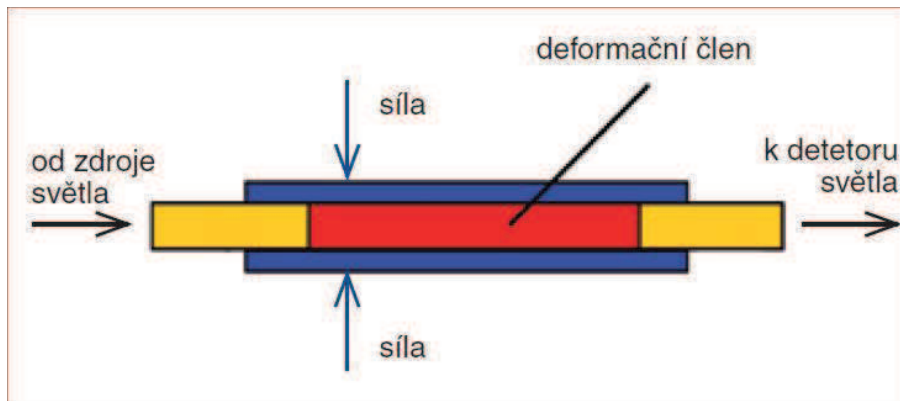
Další výhodou těchto senzorů jsou jejich malé rozměry a konstrukční jednoduchost. Nevýhodou je velký vnitřní odpor. Senzory fungující na bázi křemene se dají použít i při vysokých teplotách (až  $500^\circ\text{C}$ ), zatímco senzory na bázi piezoelektrické keramiky pracují při nižší teplotě (asi  $200^\circ\text{C}$ ), ale mají zhruba 10x větší citlivost, než senzory na bázi křemene. [14, 15]

### 4.1.4 Senzory s optickými vlákny

„Optický vláknový senzor je tvořen optickým vláknem, v němž vnější vlivy moduluji procházející světlo. Lze měnit jeho amplitudu, fázi, polarizaci nebo spektrální vlastnosti. Optický senzor je napájen zdrojem světla (laser, laserová dioda, LED). Velikost změny způsobené měřenou veličinou je analyzována detektorem.“ [14]  
 Detekovat deformaci lze různými způsoby. [14]

#### 4.1.4.1 Senzory se změnou útlumu

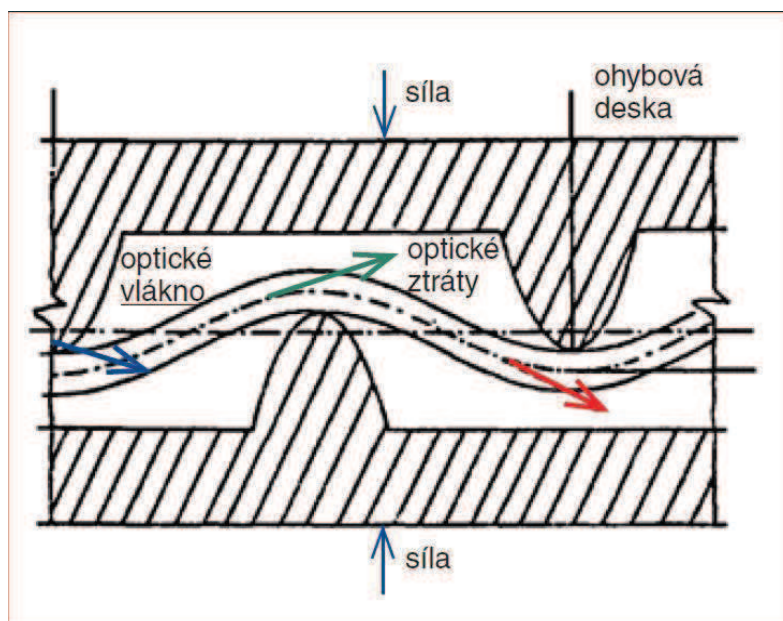
Do optického vlákna je vložen průsvitný člen, jehož optické vlastnosti jsou závislé na okolí (tlak, teplota). Na optickém vláknu je opět umístěn zdroj a snímač. Dle vlastností okolí, např. při zvýšené teplotě, má průsvitný člen rozdílnou propustnost než za pokojové teploty. Tohoto rozdílu lze využít například při měření teploty. [14]



Obrázek 4-3 Uspořádání optického taktilního snímače se změnou útlumu [14]

#### 4.1.4.2 Senzory s mikroohybem vlákna

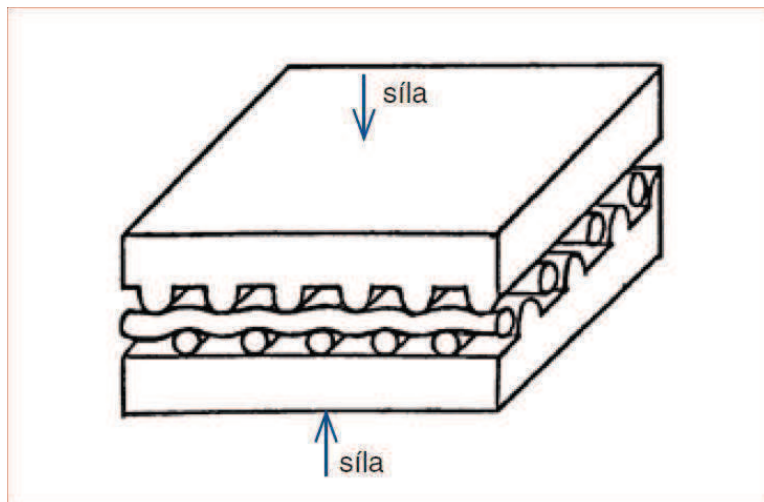
Prvním způsobem zjištění deformace je ohyb optického vlákna. Při tomto ohybu procházející světlo naráží do pláště vlákna, a dochází tak ke ztrátám (klesá intenzita). Velikost ztráty intenzity světla lze zjistit pomocí detektoru na druhém konci optického vlákna. Tyto ztráty pak odpovídají působící zatěžující síle. [14]



Obrázek 4-4 Uspořádání optického vláknového taktilního senzoru s mikroohybem [14]

#### 4.1.4.3 Senzory se vzájemnou optickou vazbou

Tyto senzory jsou složeny z propojených optických vláken, která jsou zbavená obalu. K jednomu vláknu je připojen zdroj a k druhému detektor. Při působení zatěžovací síly se určitá část světla dostává z jednoho vlákna do druhého. Toto množství poté opět odpovídá velikosti zatěžovací síly. [14]



Obrázek 4-5 Uspořádání maticového taktálního snímače s optickými vláknovými senzory [14]

## 5. Uchopování

Lidská ruka se vyvinula ve velmi komplexní, adaptivní a obratný úchopový nástroj. Díky velkému počtu stupňů volnosti je schopná jednoduše a v krátkém časovém úseku zrealizovat různou orientaci prstů. To umožňuje přizpůsobit ruku jakémukoliv tvaru daného objektu tak, aby došlo k jeho nejlepšímu uchopení. U robotických rukou se konstruktéři snaží napodobit tuto přizpůsobivost, víceúčelovost a obratnost.

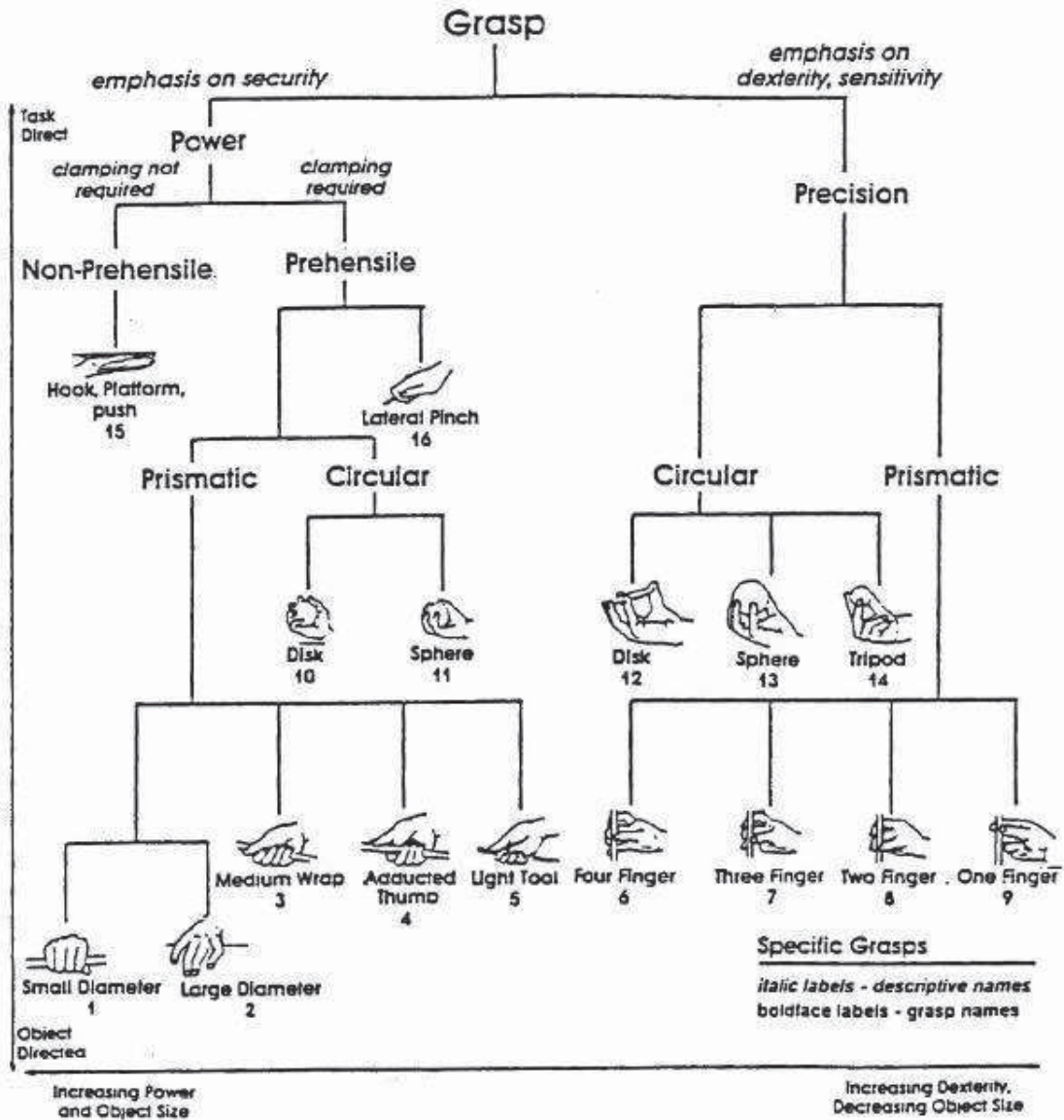
Robotické ruce lze podle typu ruky rozdělit do dvou skupin - na antropomorfní ruce a na mechanická chapadla. Antropomorfní ruce mají zpravidla 3 a více prstů, kde jeden prst funguje vždy jako palec. Tyto ruce mají vysokou obratnost při různých uchopovacích operacích, nicméně kvůli vysokému počtu stupňů volnosti, mají složité řízení a vysokou výrobní cenu. Mechanická chapadla jsou přesným opakem. Mají malý počet stupňů volnosti, jednoduchou konstrukci, jednoduché řízení a nízkou pořizovací cenu. Kvůli malému počtu stupňů volnosti, který je způsoben i tím, že tato chapadla mívají pouze 2 protiběžné prsty, postačí tato chapadla jen na jednoduché uchopovací operace. Pro složitější operace je vyžadována víceprstá konstrukce.

Existují dva rozdílné způsoby uchopování, uchopování pomocí konečků prstů a uchopování celou plochou ruky. První způsob se bude využívat při potřebě přesného uchopení, kdežto druhý způsob bude využit u operací, kde je potřeba pevné uchopení. Proto se malé či štíhlé předměty budou uchopovat pouze konečky prstů, zatímco objemnější a větší předměty se můžou uchopovat plochou celé dlaně, ale i konečky prstů.

Oba způsoby uchopování je možné ještě rozdělit, a to na uchopování paralelní a centrické. Paralelní uchopování spočívá v tom, že všechny prsty (kromě palce) jsou vedle sebe a jsou navzájem rovnoběžné, kdežto palec je posazen proti nim. V tomto případě může být úchop proveden dvěma prsty, třemi prsty atd. Při uzavírání pak ruka tvoří jakousi válcovou objímku. Uchopovat lze jak konečky prstů (malé a lehké předměty, např. tužku, papír, klíč), tak i celou plochou ruky (větší a těžší předměty, např. trubku, kladivo, knihu). Centrické uchopování spočívá v centrické pozici všech prstů, které svojí polohou opisují povrch předmětu. Toto uchopení se používá při uchopování předmětů v ose jejich rotace a je nutné použít při něm nejméně tři prsty. I zde je možné uchopovat jak konečky prstů (např. ozubené kolo, kuličku), tak celou plochou ruky (např. míček, jablko).

Avšak většina robotických rukou dokáže uchopovat tělesa pouze v paralelním či centrickém módu. Nedokážou měnit pozici prstů, a tím se přizpůsobit všem tvarům předmětů, které vyžadují jiný typ uchopování. To není pro využití v praxi žádoucí. Ideální by bylo sestavit takovou ruku, která by dokázala měnit pozici prstů stejně jako ruka lidská, a přizpůsobit se tak jakémukoliv tvaru předmětu. [4]





Obrázek 5-1 Rozdělení jednotlivých druhů úchopů lidské ruky [16]

## 6. Trendy a budoucí vývoj

V současné době se ve vývoji a testování objevilo několik technologií, jež se v budoucnu mohou stát velmi důležitými pro konstrukci robotických rukou. Technologie, které budou snižovat hmotnost, výrobní náklady, zmenšovat rozměry či zvyšovat sílu, přesnost, citlivost a výdrž umělých rukou, a to jak v protetice, tak v průmyslovém použití.

### 6.1 Umělý hmat

Vědcům z univerzity v Jižní Kalifornii se povedlo zkonstruovat robotický prst, respektive jen jeho špičku, jež dokáže rozpoznávat povrchy stejně, jako lidský prst. Tento prst je natolik citlivý, že schopnosti lidského prstu dokonce překonává, a dokáže od sebe rozeznat i velmi podobné povrchy - takové, které už člověk není schopen rozpoznat.

Při rozlišování povrchů pracuje lidský prst tak, že přes něj přejede, čímž se povrch prstu přizpůsobuje různým nerovnostem na zkoumaném povrchu. Tyto deformace prstu jsou pak zaznamenávány nervovým systémem a přeposílány do mozku k vyhodnocení. To je důvodem, proč stačí neznámý povrch pouze jednou ohmatat a při příštím kontaktu ho lidský mozek dokáže už velmi dobře identifikovat. Robotický prst pracuje velice podobně. Jeho senzory jsou totiž obaleny kapalinou, která je překrytá jemnou látkou. Při přejetí přes povrch se látka s kapalinou rozvibrují a senzory zaznamenají signál, jenž je přeposlán do počítače k vyhodnocení. Inspirace lidskými prsty zde byla velmi výrazná.

Každá informace o struktuře povrchu je jedinečná, i když některé si mohou být velmi podobné, dokonce natolik, že je lidský mozek není schopen dokonale rozlišit. V tomto ohledu je robotický prst díky citlivějším sensorům přesnější. Jeho tvůrci se pyšní, že při 117 testovaných materiálech má jejich prst přesnost kolem 95%.

Budoucí využití této technologie spočívá hlavně v robotických protézách, díky nimž by člověk mohl opět získat hmat. Dále se může uplatnit při výrobě umělé kůže, která by se tak dala použít kdekoli na těle člověka či robota. U robotů by to znamenalo, že by měli o mnoho větší interakci s okolím. Roboti by tak na rozdíl od dnešních technologií, které dokážou vnímat okolí pouze senzory na špičkách svých prstů či pomocí několika dalších vybraných míst na jejich povrchu, mohli vnímat okolí celým svým tělem podobně jako lidé. [17]



Obrázek 6-1 Umělá forma kůže, ve které se nachází tekutina a senzory schopné detekovat sebemenší vibrace [17]

## 6.2 Robotická protéza s reaktivním pohonem

Profesor Michael Goldfarb a jeho tým z agentury DARPA vyvinuli revoluční prototyp antropomorfní ruky i s paží. Tato protéza dokáže unést 9 až 11 kilogramů, což je zhruba 3-4x více, než ostatní robotické protézy, a zároveň je i 3-4x rychlejší.

V porovnání s konkurenčními robotickými zařízeními se tato ruka dokáže v zápěstí kromě rotačního pohybu i ohýbat, a to stejným způsobem jako lidská ruka. Samozřejmě je nezávislý pohyb jednotlivých prstů ruky.

Největší odlišností této protézy od ostatních však nejsou její schopnosti v oblasti motoriky, nýbrž odlišnost v oblasti pohonu všech dynamických součástí. Konkurence používá ve valné většině elektrický pohon s použitím baterií a servomotorů, který má velmi špatný poměr hmotnost – výkon – výdrž. Při zachování určitého výkonu a operační výdrže je třeba zvýšit počet baterií, což při použití současné technologie vede k enormnímu zvýšení hmotnosti, a protézy se tak stávají pro běžného uživatele nepoužitelnými. Tato protéza však používá reaktivní pohon, který zcela odstraňuje problém s těžkými bateriemi.

Pohon je založen na chemické reakci peroxidu vodíku. Nádobka na peroxid vodíku je součástí paže a dokáže vydržet až 18 hodin provozu. Speciální katalyzátor umožňuje výbuch peroxidu vodíku, jenž se mění na vodní páru o teplotě přes 200°C. Tato pára je pak rozvedena soustavou potrubí do jednotlivých ventilů fungujících na stejném principu jako pneumatické motory.

Jediným odpadem je zde tedy pára, která je rozváděna do pórovitého povrchu protézy a zde kondenzuje na vodu. Ta se poté vylučuje na povrchu ruky a svým množstvím připomíná pocení člověka za teplého dne. [18]





Obrázek 6-2 Model robotické paže [18]

### 6.3 Umělé svaly

V současné době se vyvíjejí nové druhy umělých svalů, které nebudou obsahovat žádné pohyblivé či rotační součástky a budou se chovat podobně jako lidské svaly. Umělé pohony mohou mít při stejných rozměrech i 100x větší sílu než svaly lidské.

Nejpoužívanější novinkou jsou svaly pneumatické. Do svalů je pod tlakem vhaněn vzduch, jenž způsobí rozšíření svalu v příčném směru a jeho zkrácení v podélném směru.

Tyto svaly mohou být navíc opatřeny vratnou pružinou, která je po vypuštění vzduchu vrátí do původní pozice. Jejich novější řešení však už využívá zapletení elastického materiálu či materiálu s tvarovou pamětí přímo do struktury svalu, takže není potřeba využít pružinu či druhý sval pro zpětný pohyb. Výhodou těchto svalů jsou jejich rozměry, síla a nízká provozní hluknost. Nevýhodou je malé podélné smrštění a u mobilních zařízení také nutnost integrace zdroje stlačeného vzduchu. [19]

Dalším příkladem umělých svalů mohou být uhlíkové nanotrubic. Pokud je k nanotubicím přivedeno elektrické napětí, mají tendenci se roztahovat. V případě, kdy budou nanotrubic nalepeny na obě strany nosné pásky a následně k jedné straně nanotubic bude přivedeno elektrické napětí, dojde k ohybu pásky směrem k nenapájené straně.

Současným nejnadanějším využitím nanotubic se zdá být materiál s názvem Aerogel, který se skládá ze spletených nanotubic a mezer vyplněných vzduchem. To je také důvodem, proč jeden centimetr krychlový tohoto materiálu váží pouze 1,5 miligramu. Materiál je navíc stabilní ve velmi širokém teplotním rozmezí, a to přibližně od  $-200^{\circ}\text{C}$  až do  $+1500^{\circ}\text{C}$ . Aerogel je možné proměnit ve velmi tenké a dlouhé pásy, jež jsou v podélném směru velmi pevné a tuhé, ale napříč jsou pružné. Pokud je do takového pásu následně přivedeno elektrické napětí, rozšíří se až o 220%. Výsledným produktem by tak mohly být velmi tenké a lehké svaly, které by byly pevnější než ocel. [19, 20]



Obrázek 6-3 Umělá noha poháněná pneumatickými svaly [19]



Obrázek 6-4 Pásky nanotrubic [21]

## 7. Návrh robotické ruky

Existuje několik možných variant návrhů robotických rukou. Během vytváření návrhu je třeba nejdříve rozhodnout, pro jaký účel bude ruka používána. Dle vybraného účelu se pak zvolí tvar ruky, počet prstů a její pohyblivost v prostoru. Konečný návrh bude ovlivněn i uvažovanou hmotností ruky, její nosností a velikostí uchopovaných předmětů. Zvolené parametry omezují konečný výběr použitých materiálů, převodů a pohonů.

### 7.1 Vstupní předpoklady a parametry

Vytváření návrhu robotické ruky bylo omezeno několika vstupními předpoklady a parametry. Jako nosné médium bylo vybráno robotické rameno Mitsubishi RV-2SD, jež svými parametry předurčilo konečnou velikost a hmotnost ruky. Vstupními parametry byly rozměry koncového rozhraní ramene (viz příloha č.1) a jeho maximální nosnost. Maximální nosnost ramene činí 3 kg, ale pro plynulý a přesný provoz ramene se doporučuje zátěž do 2 kg.

Tabulka 7-1 Základní parametry robotického ramene [22]

<b>počet stupňů volnosti</b>	6
<b>zátěž (maximální)</b>	2 (3) kg
<b>maximální dosah</b>	504 mm
<b>přesnost umístění</b>	$\pm 0,02$ mm
<b>maximální rychlost</b>	4400 mm/s



Obrázek 7-1 Robotické rameno Mitsubishi RV-2SD [23]

Dalším předpokladem byla možnost použití i jiných mechanických, pneumatických či elektrických zařízení. Každé zařízení však disponuje rozdílným rozhraním pro uchycení k rameni. Z tohoto důvodu bylo třeba vytvořit univerzální upínací mechanismus s jednotným rozhraním.

Celý návrh by měl vycházet z jednoduché konstrukce, která umožní snadnou montáž všech potřebných komponent. Dalším předpokladem je možnost použití běžně dostupných dílů a materiálů.

## 7.2 Návrh konečných parametrů

Hlavním účelem bylo vytvoření experimentálního návrhu ruky, která bude schopná manipulovat s předměty různých tvarů a nízkých hmotností. Celková hmotnost ruky je omezena nosností ramene (2 kg). Hmotnost manipulovaného předmětu by se měla pohybovat do hodnoty 0,5 kg. Aby byla splněna počáteční podmínka, musí se celková hmotnost ruky i s upínacím mechanismem pohybovat do hodnoty 1,5 kg. Velikost prstů a dlaně je omezena velikostí předmětů, se kterými bude manipulováno. Jedná se především o předměty denní potřeby, s nimiž člověk běžně manipuluje (talíř, hrneček, kniha, atd.).

Pro manipulaci s různými tvary předmětů je nutné, aby ruka umožňovala paralelní i centrické uchopení. Paralelní uchopení lze dosáhnout použitím minimálně dvou protiběžných prstů. U centrického uchopení je třeba minimálně tří prstů, jež budou vůči sobě rozmístěny ideálně v úhlu 120°. Pro dosažení těchto podmínek je nutné, aby měla ruka minimálně 3 prsty, z nichž alespoň 2 dokážou měnit svojí polohu.

Tabulka 7-2 Základní výchozí parametry ruky

<b>hmotnost (včetně upínacího mechanismu)</b>	max. 1,5 kg
<b>nosnost</b>	min. 0,5 kg
<b>počet prstů</b>	3
<b>druhy uchopení</b>	centrické, paralelní

## 7.3 Volba pohonů a přenosových soustav

Volba pohonů a přenosových soustav je důležitou částí návrhu, neboť zcela ovlivňuje výsledné parametry ruky, např. nosnost a velikost.

### 7.3.1 Volba pohonu pro svírání a rozevírání prstů

Pro pohon prstů byl vybrán jednoduchý druh pohonu skládající se z lanového vedení, elektrického servomotoru a pružin. Sevření celého prstu zajišťuje pouze jeden servomotor, jenž navíjí lanko. Rozevření prstu zajišťují torzní pružiny.

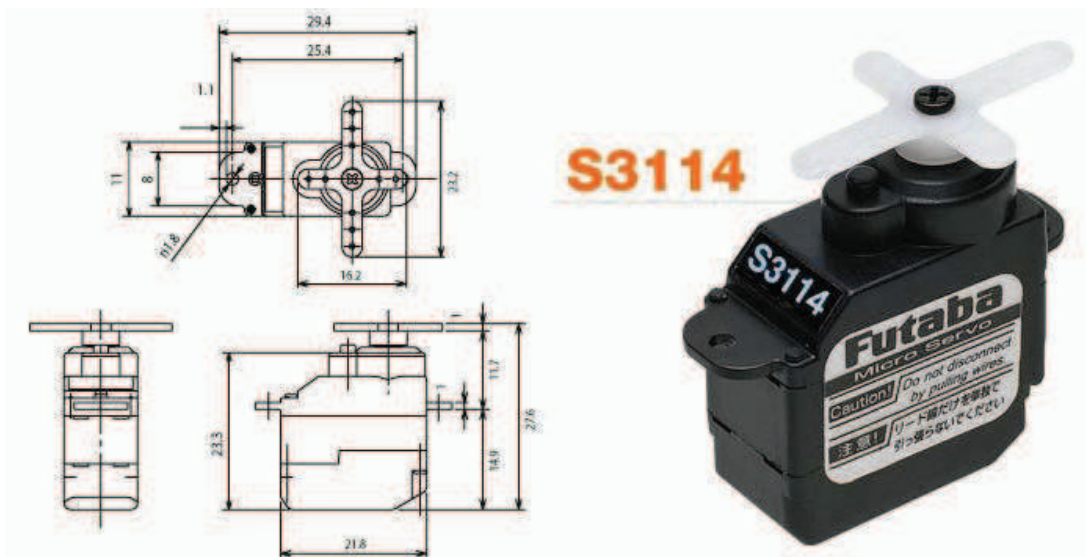
Ze základní podmínky nosnosti alespoň 0,5 kg bylo nutné uvážit, že při určitém natočení ruky může téměř celá tíha spočinout jen na jednom prstu. Proto bylo zapotřebí zvolit dostatečně výkonný servomotor, který by dokázal udržet celou tíhu. Pro udržení tělesa o hmotnosti 0,5 kg je třeba minimální síla větší jak  $F_G$ :

$$F > F_G = m_t \cdot g = 0,5 \cdot 9,81 = 4,905N$$

Nakonec bylo vybráno mikroservo Futaba S3114, které disponuje malými rozměry a statickým momentem  $M_s = 1,7 \text{ kg.cm}$ . To odpovídá točivému momentu  $M = 16,677 \text{ N.cm}$  dle vztahu:

$$M = M_s \cdot g = 1,7 \cdot 9,81 = 16,677 N \cdot cm$$

$$M_s = m \cdot r [kg \cdot cm], \quad M = m \cdot g \cdot r [N \cdot cm]$$



Obrázek 7-2 Zvolené mikroservo Futaba S3114 [24]

Tabulka 7-3 Parametry microserva Futaba S3114 [24]

<b>řízení</b>	analogové
<b>napájecí napětí</b>	6 V
<b>rozměry</b>	22 x 11 x 20 mm
<b>hmotnost</b>	7,8 g
<b>moment</b>	1,7 kg.cm
<b>rychlost</b>	0,09 s/60°
<b>převody</b>	nylonové
<b>ložiska</b>	kluzné
<b>typ motoru</b>	stejnoseměrný
<b>konektor</b>	univerzální RX

K zajištění dostatečně velké síly pro udržení zátěže bylo zvoleno rameno microserva o velikosti 10 mm.

$$F = \frac{M}{r} = \frac{166,77}{10} = 16,667 N$$

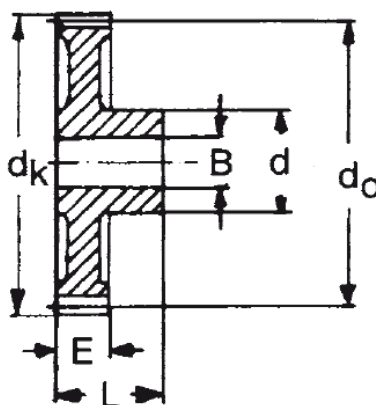
**F [N]** maximální síla mikroserva

**M [N.mm]** točivý moment mikroserva

**r [mm]** rameno mikroserva

### 7.3.2 Volba pohonu pro otáčení prstů

Pro otáčení prstů do vhodné polohy byla vybrána stejná mikroserva jako pro jejich pohon. Pro převod energie byla zvolena čelní ozubená kola z plastu (Hostaform C). Ozubená kola byla vybrána ze stránek prodejce T.E.A. TECHNIK [25].



Obrázek 7-3 Rozměrové kóty ozubených kol [25]

Tabulka 7-4 Rozměry použitých ozubených kol [25]

kolo	modul	počet zubů	B [mm]	d [mm]	dk [mm]	do [mm]	L [mm]	E [mm]
1 (pastorek)	0,5	21	4	8	11,5	10,5	10	3
2	0,5	32	4	12	17	16	10	3

**B [mm]** průměr díry

**d [mm]** průměr náboje

**dk [mm]** průměr kola

**do [mm]** průměr roztečné kružnice

**L [mm]** výška kola

**E [mm]** výška ozubení



Jejich osová vzdálenost je 13,5 mm a převodový poměr 1,524. Napojení kol k ostatním členům bylo vyřešeno následujícím řešením.

Náboj hnaného kola byl zapuštěn do rotačního členu a následně zajištěn příčným kolíkem. Funkce kolíku spočívá jak v zajištění polohy, tak v přenosu rotačního pohybu z kola na člen. Napojení hnacího kola na výstup mikroserva nemohlo být přesně realizováno, neboť to záleží na druhu zakončení výstupní osy. Druh jejího zakončení je totiž možné zjistit až po zakoupení vybraného mikroserva, protože tuto informaci výrobce neposkytuje. V případě realizace by se tak musel tento problém vyřešit dodatečně.

### 7.3.3 Volba pružin

Pružiny zajišťují vratný pohyb prstu a zároveň ovlivňují i jeho uzavírání při navíjení lanka. Při zvolení různě silných pružin lze totiž dosáhnout postupného uzavírání jednotlivých článků prstu. S funkcí postupného uzavírání jednotlivých článků počítá i tento návrh ruky.

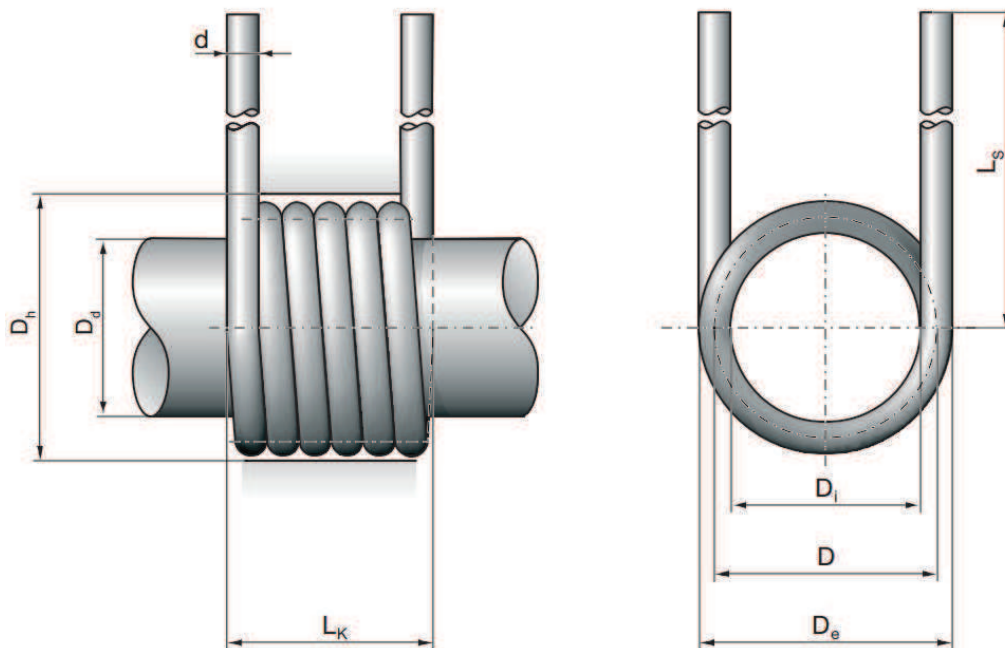
Pro zajištění této podmínky bylo nutné dosáhnout pohybu, při kterém se nejdříve začne jako první ohýbat článek (č. 1), jenž je nejbližší dlani. Následně pak prostřední článek (č. 2) a nakonec článek koncový (č. 3). Toho bylo dosaženo použitím pružin, pro jejichž ohyb je potřebná různá síla. U článku č. 3 byla zvolena nejsilnější pružina, zatímco u článku č. 1 pružina nejslabší.

Při vzniku návrhu muselo být dále uvažováno, že součet sil všech pružin v prstu ( $F_{pc}$ ) se silou tíhy uchopeného tělesa ( $F_G$ ) musí být menší, než maximální síla, již dovede vyvinout mikroservo ( $F$ ). Platí tedy podmínka:

$$F > F_G + F_{pc} \quad \Rightarrow \quad F_{pc} < F - F_G$$

$$F_{pc} < 16,677 - 4,905 = 11,772N$$

Torzní pružiny byly vybrány z katalogu firmy Hennlich [[http://www.pksevis.com/data/web/upload/29\\_hennlich/katalog-pruziny-hennlich.pdf](http://www.pksevis.com/data/web/upload/29_hennlich/katalog-pruziny-hennlich.pdf), 27.6.2013]. Úhel ramen nezátížených pružin odpovídá úhlu 180°. Délka ramen zvolených pružin v tabulce 7-5 neodpovídá katalogovým hodnotám, neboť pro použití v prstech musely být jejich konce zkráceny. Rovněž tak úhel pružin v tabulce 7-5 neodpovídá úhlům v katalogu, protože se nejedná o maximální výchylku pružin, ale o maximální pracovní úhel pružin, který je dán geometrií prstu.



Obrázek 7-4 Rozměrové kóty torzních pružin [26]

Tabulka 7-5 Přehled parametrů vybraných pružin [26]

číslo	d [mm]	D <sub>i</sub> [mm]	D [mm]	D <sub>e</sub> [mm]	$\varphi_p$ [°]	L <sub>k</sub> [mm]	L <sub>s</sub> [mm]	D <sub>d</sub> [mm]	D <sub>h</sub> [mm]	R <sub>mr</sub> [N.mm/°]
1	0,7	4,5	5,2	5,9	143	7	15	4	6,5	0,27
2					93	5	15			0,48
3					91	5	10			0,48

**d [mm]** průměr drátu

**D<sub>i</sub> [mm]** vnitřní průměr pružiny

**D [mm]** střední průměr pružiny

**D<sub>e</sub> [mm]** vnější průměr pružiny

**$\varphi_p$  [°]** maximální pracovní úhel pružiny

**L<sub>k</sub> [mm]** délka závitové části pružiny

**L<sub>s</sub> [mm]** délka ramene

**D<sub>d</sub> [mm]** průměr vodícího trnu

**D<sub>h</sub> [mm]** průměr vodícího pouzdra

**R<sub>mr</sub> [N.mm/°]** tuhost pružiny



**Výpočet momentů a sil jednotlivých pružin:**

Pružina č.1 je použita pro článek prstu č.1, jež se nalézá u dlaně. Pružina č.2 je použita pro střední článek a pružina č.3 je použita pro koncový článek.

$$M_{t1} = R_{mr1} \cdot \varphi_{p1} = 0,27 \cdot 143 = 38,61N \cdot mm \quad F_{p1} = \frac{M_{t1}}{L_{s1}} = \frac{38,61}{15} = 2,574N$$

$$M_{t2} = R_{mr2} \cdot \varphi_{p2} = 0,48 \cdot 93 = 44,64N \cdot mm \quad F_{p2} = \frac{M_{t2}}{L_{s2}} = \frac{44,64}{15} = 2,976N$$

$$M_{t3} = R_{mr3} \cdot \varphi_{p3} = 0,48 \cdot 91 = 43,68N \cdot mm \quad F_{p3} = \frac{M_{t3}}{L_{s3}} = \frac{43,68}{10} = 4,368N$$

$F_p$  [N]                      síla pružiny

$M_t$  [N.mm]                      kroutící moment pružiny

$$\text{Celková síla pružin: } F_{pc} = \sum F_p = 9,918N < F - F_G = 11,772N$$

11,772 N je celková síla potřebná pro stažení všech pružin. Z důvodů geometrického uspořádání prstů vůči ruce však není možné, aby byly všechny pružiny staženy na své pracovní maximum. Maximální síla potřebná pro stažení pružin tak nastane při stažení prstu naprázdno, což odpovídá síle:

$$F_{pcmax} = F_{p1max} + F_{p2max} + F_{p3max} = 8,964N < F - F_G = 11,772N$$

$$\begin{aligned} M_{t1max} &= R_{mr1} \cdot \varphi_{p1max} = 0,27 \cdot 90 = 24,3N \cdot mm & M_{t2max} &= M_{t2} \\ F_{p1max} &= \frac{M_{t1max}}{L_{s1}} = \frac{24,3}{15} = 1,62N & F_{p2max} &= F_{p2} \\ & & M_{t3max} &= M_{t3} \\ & & F_{p3max} &= F_{p3} \end{aligned}$$

$F_{pcmax}$  [N]                      maximální celková síla pružin

$F_{pmax}$  [N]                      maximální síla pružiny

$M_{tmax}$  [N.mm]                      maximální kroutící moment pružiny

Podmínka pro maximální sílu pružin byla splněna i v případě uvažované tíhové síly předmětu. Ta však při stažení prstu naprázdno může být přítomna pouze jako zavěšené břemeno. Z následujících rovnic tedy vyplývá, že maximální síla prstů bude přímo úměrná druhu uchopeného tělesa. Čím rozměrnější těleso bude, tím menší síla bude potřebná na stažení pružin a tím více síly zbude pro uchopení tělesa a naopak.

## 7.4 Návrh prstů

Návrh prstů robotické ruky vychází z anatomie lidské ruky. Výsledný tvar, velikost i uspořádání prstů, se tedy podobá lidské předloze. Vzhledem k anatomickému vzoru byl pro robotickou ruku zvolen prst se třemi články, což umožňuje lepší obalení uchopovaného předmětu a tím jeho lepší držení. Pro účely, které má ruka splňovat, stačí použít tři univerzální prsty. Toto rozhodnutí s sebou přináší levnější výrobní náklady, neboť stačí vyrobit jeden univerzální prst třikrát.

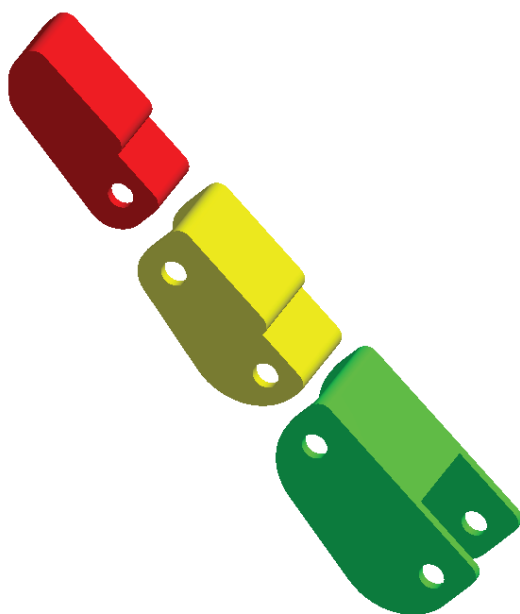
Výroba článků prstu by mohla být provedena za pomoci technologie Rapid prototyping - 3D tisku. Prsty by v tomto případě byly vytvořeny z plastu. Články by se daly rovněž vyrobit i z hliníkových profilů, ale vzhledem k tvaru a geometrii článků by byl tento druh výroby pracnější. Volba jedné, nebo druhé možnosti, by byla podmíněna nejen ekonomickým hlediskem, ale jistě i případnou životností vyrobených součástek.

Druhý a třetí článek prstu je vybaven výstupkem na svém hřbetu. Toto jednoduché geometrické řešení zabraňuje zvrácení článku. Prst tak při nezátíženém stavu zůstane narovnan podobně, jako prst lidské ruky.

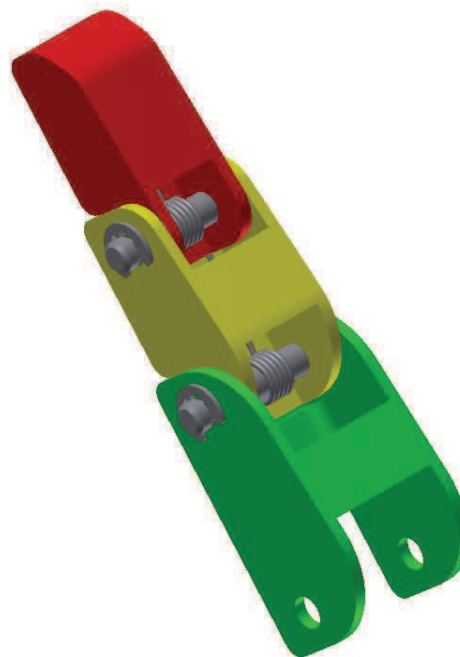
Ke smontování jednotlivých článků byly použity ocelové osičky s příčnými drážkami na svých koncích. Do drážek byly vloženy pojistné třmenové kroužky, jež osičku fixují proti posuvu. Uvedený druh montáže je tak velice jednoduchý a rychlý. V případě potřeby výměny článku, pružiny či jiných úprav není problematické prst kdykoli rozebrat.

Na prst je dále možné přimontovat různá příslušenství. Jedná se hlavně o tlakové senzory, jež ruce umožní šetrnější a přesnější manipulaci s předměty. Součástí prstu mohou být i pryžové či gelové pásy, které by po připevnění na vnitřní stranu prstu a jeho špičku umožnily lepší úchop předmětů. Fungovaly by tedy na podobném principu jako bříška lidských prstů.

<b>osová vzdálenost článku 1 (zelený)</b>	22,5 mm
<b>osová vzdálenost článku 2 (žlutý)</b>	20 mm
<b>celková výška prstu</b>	75 mm
<b>výška jednotlivých článků 1, 2, 3</b>	35, 30, 30 mm
<b>šířka jednotlivých článků 1, 2, 3</b>	18, 15, 12 mm



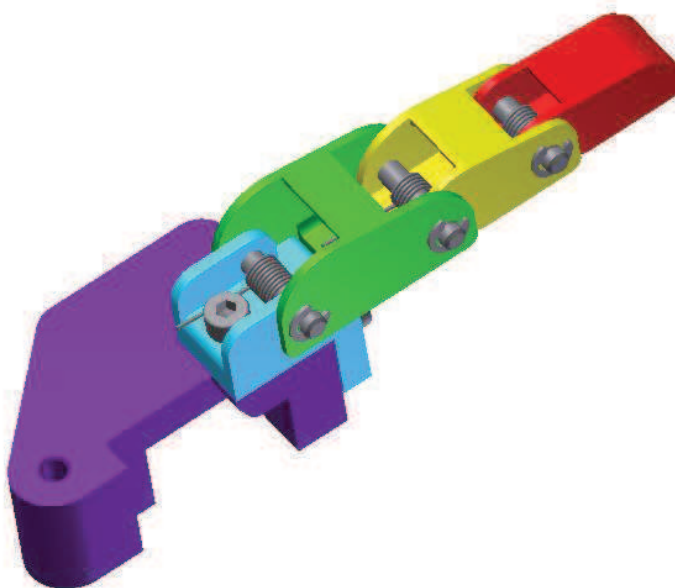
Obrázek 7-5 Jednotlivé články prstu



Obrázek 7-6 Prst s namontovanými osičkami, pružinami a pojistnými kroužky

## 7.5 Výsledná sestava robotické ruky

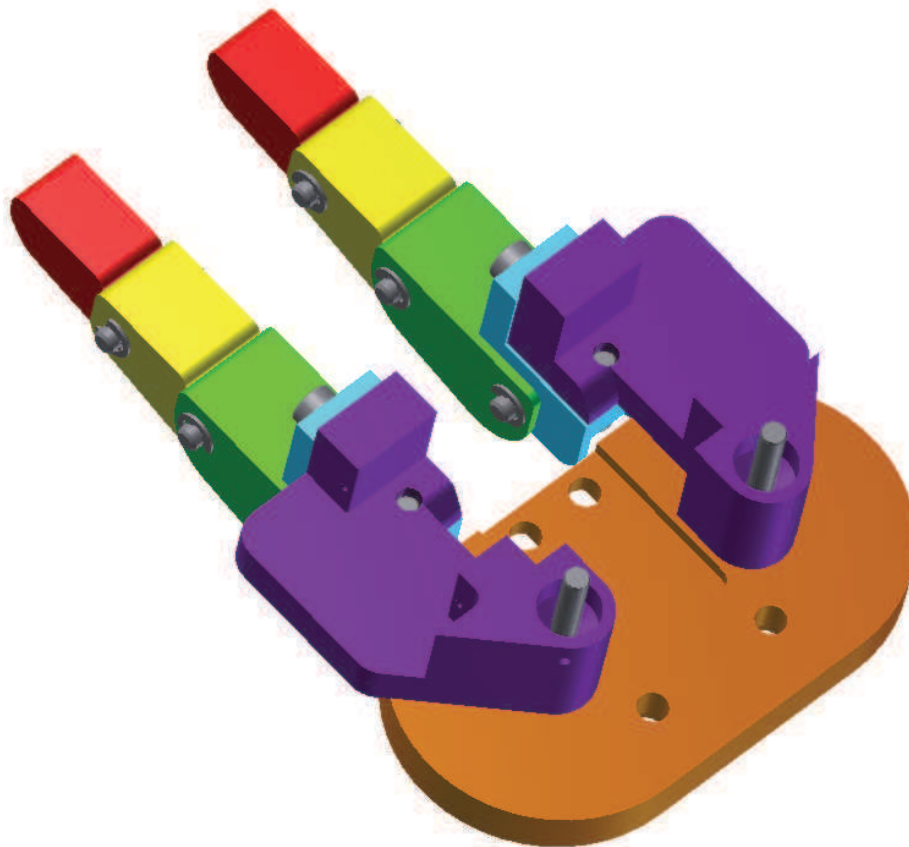
Konečný návrh modelu robotické ruky počítá v základním postavení s paralelním umístěním prstů. Aby mohlo být dosaženo centrického uchopení, bylo nutné zajistit rotační pohyb dvou prstů kolem základní desky. Maximální úhel rotace prstů byl stanoven na  $90^\circ$ . Třetí prst, jenž je umístěn proti zbylým dvěma, je pevně vázán k základní desce a koná pouze uzavíratelný pohyb. Rotací prstů až o  $90^\circ$  je možné dosažení polohy, kde jsou tyto dva prsty vůči sobě protiběžné. To ruce umožňuje uchopení předmětu pouze dvěma prsty.



Obrázek 7-7 Levý rotační člen s přišroubovanou základnou prstu a nasazeným prstem

Prsty, které rotují kolem základní desky (oranžová), byly připevněny k rotačním montážním členům (fialová) pomocí základny prstu (modrá). Ta je přišroubována k rotačním členům pomocí dvou šroubů M4. Levý i pravý rotační člen jsou rozměrově identické, ale zrcadlově otočené. V rotačních členech je umístěno zahloubení u čepů pro nasazení náboje ozubených kol. Dále je v nich obsažena drážka pro umístění mikroserva, jež je určeno pro pohon prstu.

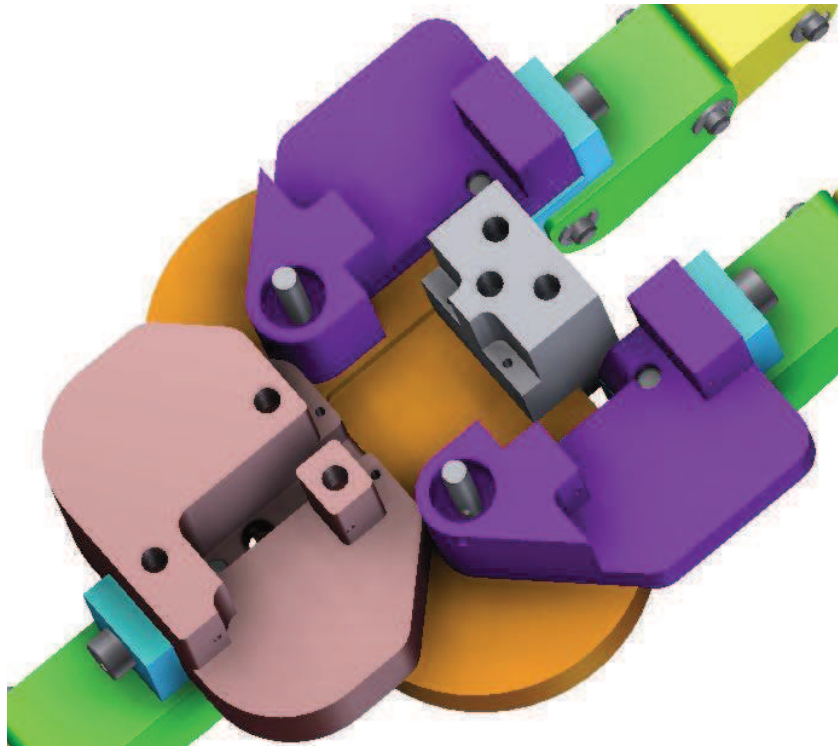
Takto sestavené rotační členy byly připevněny pomocí čepů, které jsou zasazeny v základní desce. Mezi rotační členy, základní desku a čepy by bylo při sestavování reálného modelu přidáno mazivo v podobě vazelíny pro snadnější pohyb komponent.



Obrázek 7-8 Základní deska s namontovanými posuvnými členy

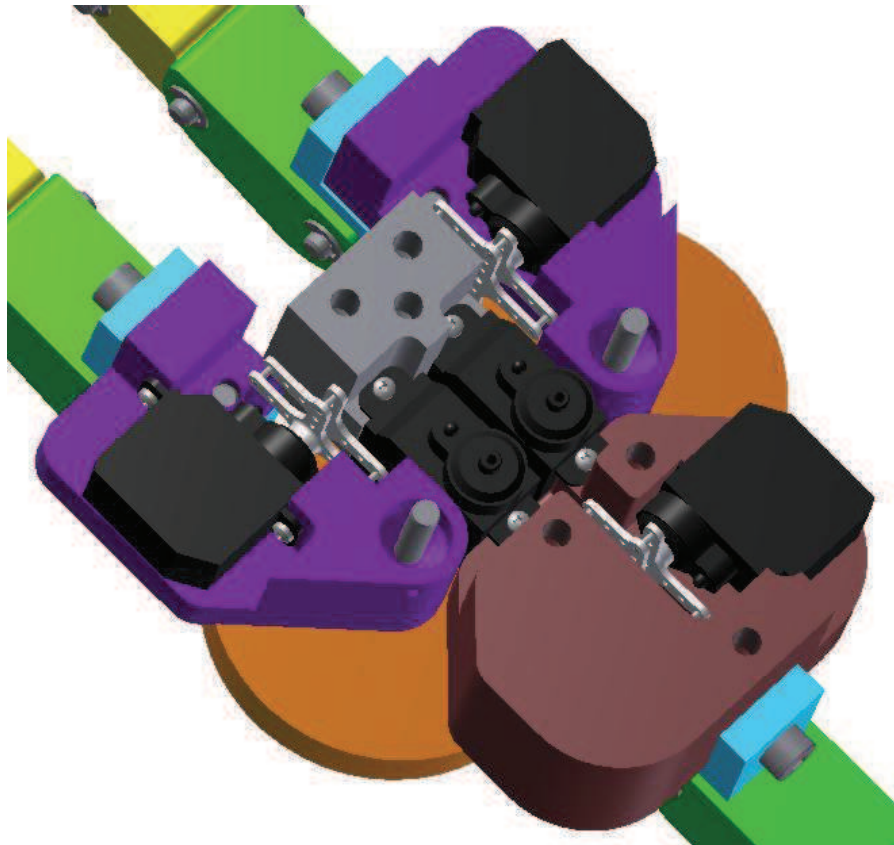
Dalším krokem návrhu bylo umístění třetího protiběžného prstu. Podobně jako u rotačních montážních členů, i zde byl použit montážní člen, jenž je však pevně spojen se základní deskou pomocí dvou šroubů M4. K tomuto statickému členu je přišroubována základna prstu rovněž pomocí dvou šroubů M4. Na základnu je nasazen prst obdobně, jako tomu bylo u rotačních členů.

Naproti statickému montážnímu členu byla umístěna vložka. Ta je uchycena pomocí dvou šroubů M4 k základní desce. Statický člen i vložka disponují osazením pro uchycení dvou mikroserv, jež jsou určeny pro pohon rotačních členů.



Obrázek 7-9 Základní deska se všemi prsty, montážními členy a vložkou

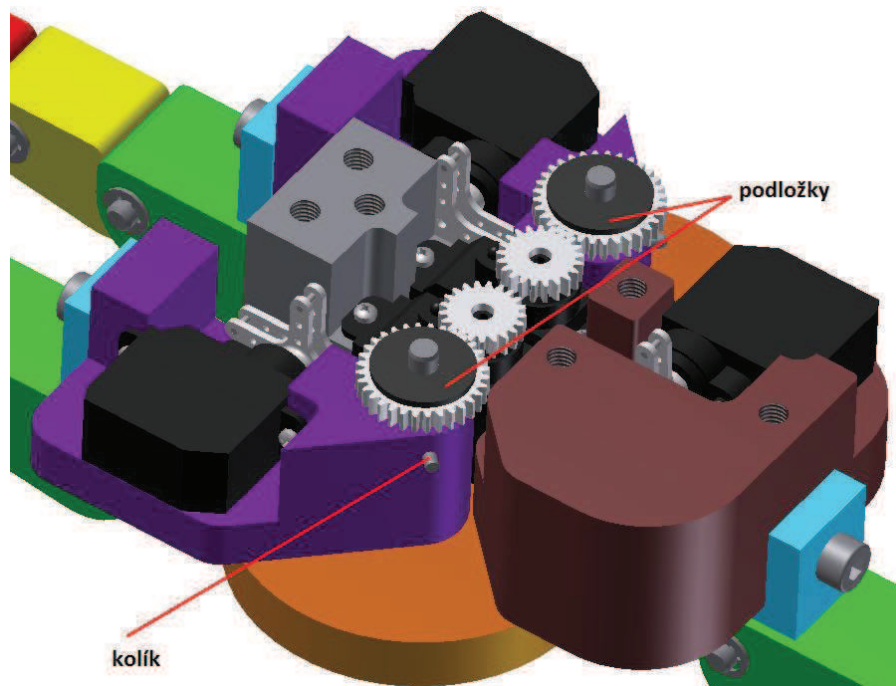
Všechna mikroserva byla po svých stranách přišroubována k montážním členům a vložce šrouby M1,6. Na mikroserva určená pro pohon prstů jsou nasazena ramena pro navíjení lanek.



Obrázek 7-10 Ruka s instalovanými mikroservy

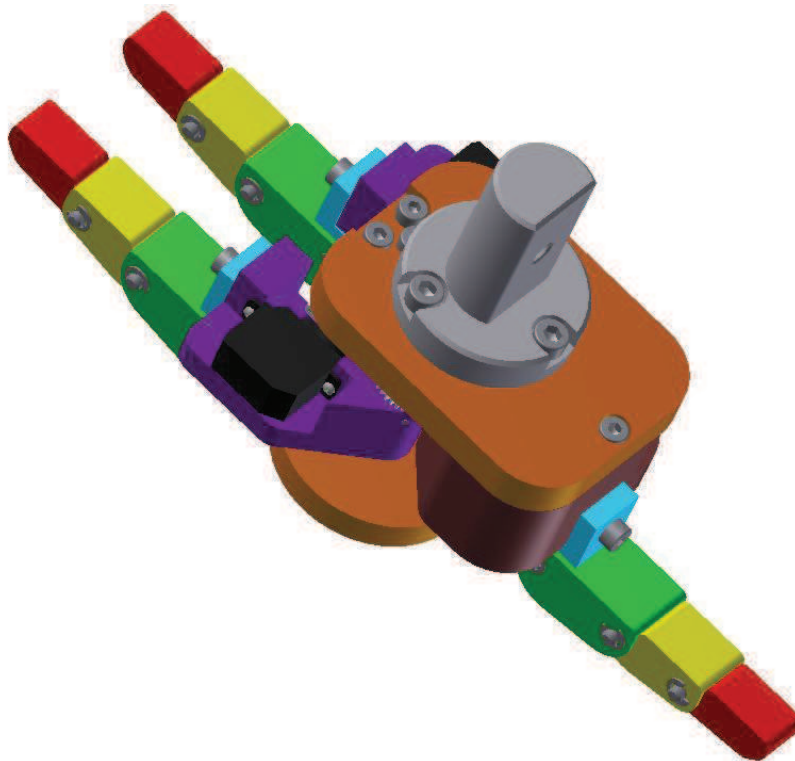


Předposledním krokem bylo namontování čelních ozubených soukolí a jejich zajištění příčným kolíkem k rotačním členům. Na čelní hnací kola jsou navlečeny textilní podložky, jež by v případě sestavování robotické ruky byly napuštěny olejem či vazelinou pro snadnější pohyb komponent.

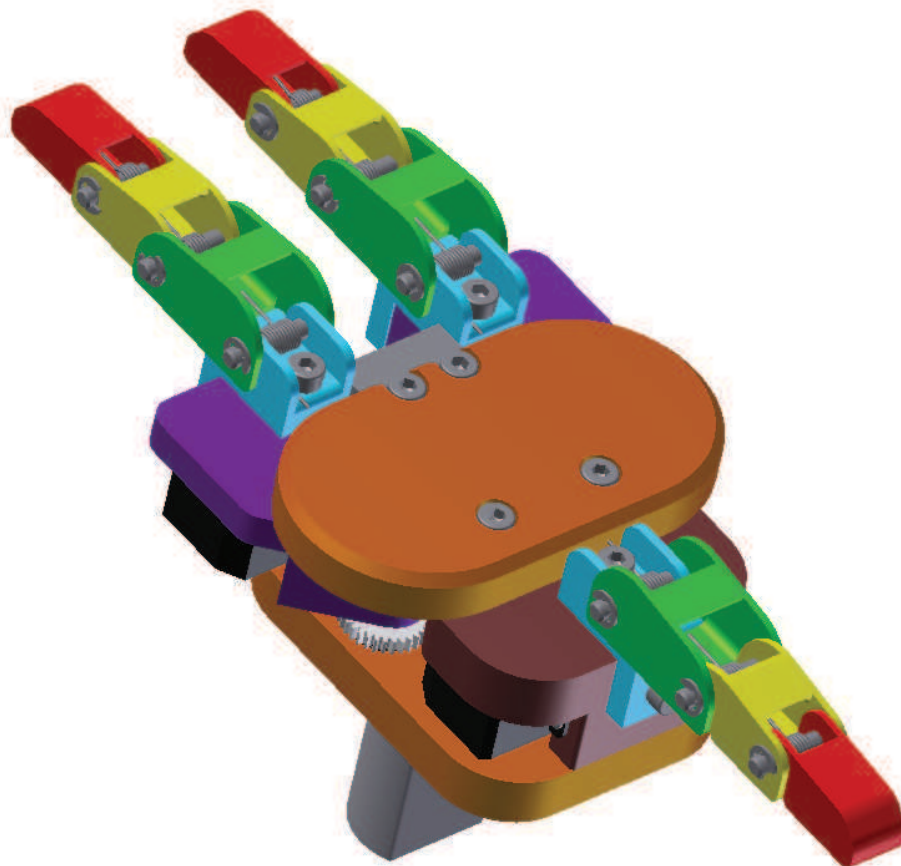


Obrázek 7-11 Ozubené soukolí a textilní podložkou a příčným kolíkem

Nakonec byla celá sestava zakryta spodní deskou a přišroubována 6 šrouby M4. Následně byla na spodní desku přišroubována jednotná koncovka pro rychloupínací mechanismus pomocí 3 šroubů M5.



Obrázek 7-12 Kompletní sestava robotické ruky – pohled zdola



Obrázek 7-13 Kompletní sestava robotické ruky - pohled shora

## 7.6 Parametry robotické ruky

### 7.6.1 Použitý materiál

Vzhledem k nízké hmotnosti hliníku byl tento materiál použit pro výrobu všech masivnějších dílů (rotační členy, statický člen, vložku, základny prstů, základní a krycí desku). Prsty by byly vyrobeny z plastu (pravděpodobně polyamidu) nebo rovněž z hliníku. Plast (Hostaform C) by byl jako výchozí materiál použit při výrobě ozubených převodů. Lanka by byla vyrobena z nylonu. Ostatní spojovací materiál (šrouby, pružiny, čepy, kolíky, pojistné kroužky, osy) by byl z oceli použitý výrobcem.

### 7.6.2 Minimální nosnost

Minimální nosnost ruky je možné určit z extrémů hodnot sil. Nejmenší nosná síla, která může být na ruce dosažena, je při použití pouze jednoho zcela sevřeného prstu. Velikost maximální síly v takovém případě odpovídá vzorci:

$$F_{nmax} = F - F_{pcmax} = 16,677 - 8,964 = 7,713N$$

To odpovídá maximální nosnosti:

$$m_{max} = \frac{F_{nmin}}{g} = \frac{7,713}{9,81} = 0,786kg$$

Pro dokázání tohoto tvrzení byla spočtena nosnost při úchopu tělesa za pomoci špiček dvou prstů. Za předpokladu použití pogumovaných špiček prstů a uchopovaného



tělesa z oceli je součinitel smykového tření  $f=0,8$ . Pro sílu v prstu při tomto úchopu platí vzorce:

$$M_{t1} = R_{mr1} \cdot \varphi_{p1} = 0,27 \cdot 143 = 38,61 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad F_{p1} = \frac{M_{t1}}{L_{s1}} = \frac{38,61}{15} = 2,574 \text{ N}$$

$$M_{t2} = R_{mr2} \cdot \varphi_{p2} = 0,48 \cdot 21 = 10,08 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad F_{p2} = \frac{M_{t2}}{L_{s2}} = \frac{10,08}{15} = 0,672 \text{ N}$$

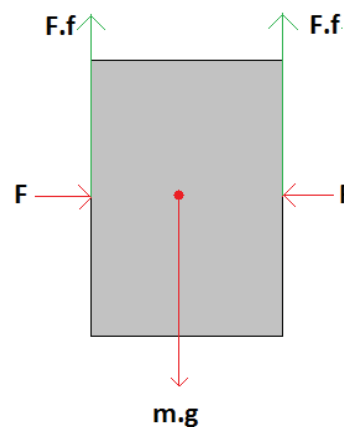
$$M_{t3} = R_{mr3} \cdot \varphi_{p3} = 0,48 \cdot 0 = 0 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad F_{p3} = \frac{M_{t3}}{L_{s3}} = \frac{0}{15} = 0 \text{ N}$$

$$F_{pcmax} = F_{p1} + F_{p2} + F_{p3} = 2,574 + 0,672 + 0 = 3,246 \text{ N}$$

$$F_{nmax} = F - F_{pcmax} = 16,677 - 3,246 = 13,431 \text{ N}$$

$$m \cdot g - 2 \cdot F_{nmax} \cdot f = 0$$

$$m_{max} = \frac{2 \cdot F_{nmax} \cdot f}{g} = \frac{2 \cdot 13,431 \cdot 0,8}{9,81} = 2,191 \text{ kg}$$



Obrázek 7-14 Působení sil při uchopení tenké desky 2 prsty

$m_{max}$  [kg] maximální nosnost jednoho prstu v maximálním sevření

$F_{nmax}$  [N] maximální síla jednoho prstu v maximálním sevření

$F$  [N] maximální síla mikroserva

$F_{pcmax}$  [N] maximální celková síla pružin

$F_p$  [N] síla pružiny

$M_t$  [N.mm] kroutící moment pružiny

$g$  [m/s<sup>2</sup>] gravitační zrychlení

$f$  [1] součinitel tření

Z předchozích výpočtů vyplývá, že minimální nosnost je  $m = 0,786$  kg. Při uchopování těles různých rozměrů různými způsoby pak může být minimální nosnost i větší.

### 7.6.3 Shrnutí parametrů

V následující tabulce jsou shrnuty základní parametry ruky. Další obrazové materiály jsou obsaženy v příloze 2.

Tabulka 7-6 Základní parametry robotické ruky

<b>počet prstů</b>	3
<b>počet stupňů volnosti</b>	11
<b>počet pohonů</b>	4
<b>druhy uchopení</b>	paralelní, centrické
<b>hmotnost</b>	0,623 kg
<b>nosnost</b>	0,786 kg
<b>délka</b>	90 mm
<b>výška</b>	107,5 mm
<b>šířka</b>	110,5 mm
<b>rozpětí prstů na délku</b>	224,5 mm
<b>rozpětí prstů na šířku</b>	264 mm

## 8. Návrh univerzálního upínacího mechanismu

Z důvodů použití různých koncových zařízení bylo zapotřebí navrhnout univerzální upínací mechanismus. S použitím jednotné koncovky je možné snadno vyměnit jakékoliv zařízení bez potřeby použití speciálních redukci.

Dalším požadavkem, který by měl mechanismus splňovat, je možnost rychlého nasazení a vyjmutí jednotné koncovky bez nutnosti použití šroubů. Z těchto důvodů byl navržen rychloupínací mechanismus, jenž pracuje na principu výsuvného kolíku.

Při vložení univerzální koncovky do tubusu rychloupínacího mechanismu je kolík díky zkosené hraně zatlačen do stěny tubusu. Univerzální koncovka obsahuje na svém spodku díru, do které se při dosednutí koncovky na konec tubusu zasune kolík. Ten díky jednostrannému zkosení neumožní vypadnutí univerzální koncovky z tubusu. Pro následné vyjmutí univerzální koncovky z tubusu je třeba nejdříve zatlačit na spoušť, k níž je kolík pevně připevněn. Kolík se opět zasune do stěny tubusu. Pak je možné univerzální koncovku vyjmout.

### Výpočet na stříh kolíku:

$$F = g \cdot (m_r + m_t) = 9,81 \cdot (0,623 + 0,5) = 11,017N$$

$$\tau_s = \frac{F}{S} \leq \tau_{Ds}$$

$$\tau_s = \frac{F}{S} = \frac{F}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{4F}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 11,017}{\pi \cdot (6 \cdot 10^{-3})^2} = 389646,669Pa = 0,39MPa \leq 50MPa$$

$\tau_s$ [MPa]	napětí ve smyku	
$\tau_{Ds}$ [MPa]	dovolené napětí ve smyku	pro ocel ČSN 411373 je $\tau_{Ds} = 50MPa$
F [N]	střížná síla	
S [m <sup>2</sup> ]	střížná plocha kolíku	
d [m]	průměr kolíku	$d = 6 \cdot 10^{-3}m$
$m_r$ [kg]	hmotnost ruky	$m_r = 0,623kg$
$m_t$ [kg]	hmotnost uchopeného tělesa	$m_t = 0,5kg$

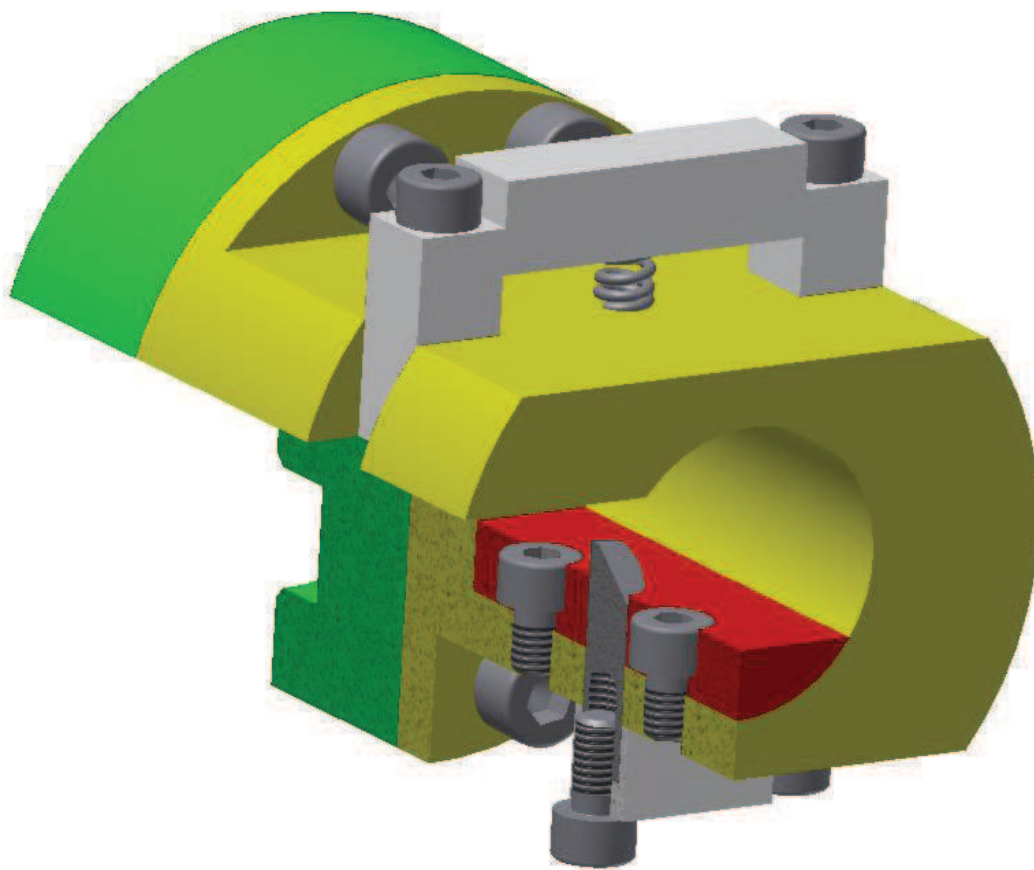
Posledním požadavkem bylo zajištění nezaměnitelné polohy univerzální koncovky v tubusu z důvodů ovládnání koncového zařízení. Tento požadavek byl vyřešen plošným zarovnáním jedné strany univerzální koncovky, jež má rotační profil. Díra v tubusu pak byla vybavena rovinou vložkou, skrz kterou prochází výsuvný kolík.

Celý mechanismus se skládá z mezikusu (zelená), který zajišťuje propojení s koncovkou robotického ramene pomocí kolíku a 4 šroubů M5. Na mezikus je přišroubovám tubus (žlutý) pomocí 4 šroubů M5. Do díry tubusu je zasunuta vložka (červená), jež je připevněna 2 šrouby M4. Tubus obsahuje drážky pro spoušť. Spoušť je

sešroubována ze 4 kusů 4 šrouby M4 a obsahuje tlačnou pružinu a kolík. Kolík je ke spoušti přišroubován jedním šroubem M4. Aby nedocházelo k jeho pootočení, je částečně zasunut do madla a přilepen.

Všechny části rychloupínacího mechanismu jsou vyrobeny z hliníku. Kolík je vyroben z oceli. Ostatní spojovací materiál (šrouby, kolíky, pružina) je z oceli použité výrobcem. Volba těchto materiálů zajistila nízkou hmotnost celého rychloupínacího mechanismu rovnající se  $m = 0,396 \text{ kg}$ .

Veškerá výkresová dokumentace a obrazové materiály jsou obsaženy v příloze č.3.

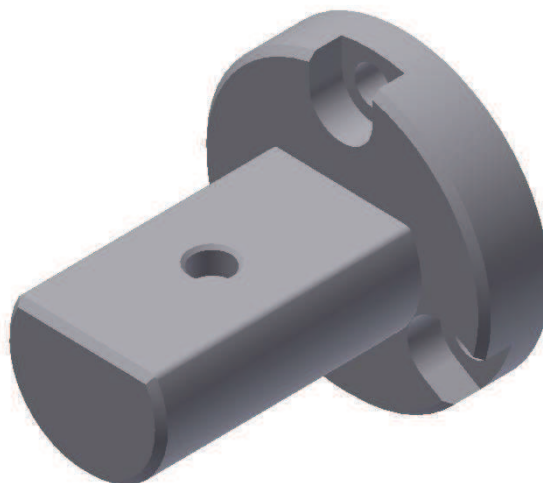


Obrázek 8-1 Řez rychloupínacím mechanismem

## 9. Návrh jednotné koncovky pro upínací mechanismus

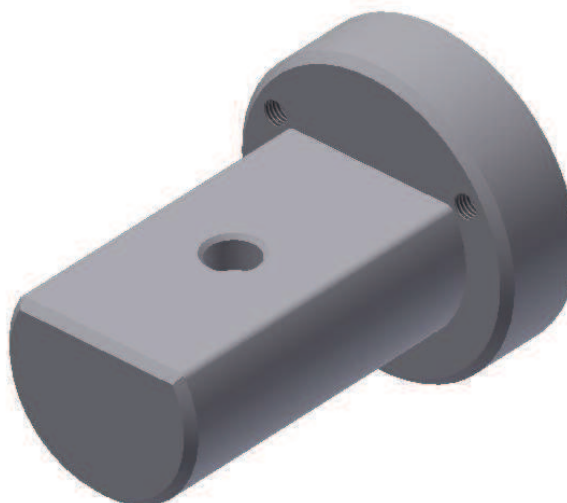
Návrh koncovky zcela vychází z tvaru díry univerzálního rychloupínacího mechanismu, neboť musí být jeho přesným protikusem. Jedná se tedy o hřídel přesných rozměrů, která má sražený profil. V tomto rovinném sražení je umístěna díra pro kolík. Druhou část koncovky pak tvoří osazení. Velikost osazení závisí na druhu použitého zařízení. Pro výrobu obou koncovek byl zvolen hliník.

Pro robotickou ruku bylo zvoleno osazení o průměru 45 mm a tloušťky 10 mm. V osazení jsou umístěny 3 díry bez závitů pro zápustné šrouby M5 a zahloubení pro hlavy šroubů. Díry jsou rozmístěny po 120°.



Obrázek 9-1 Koncovka pro robotickou ruku

Pro pneumatické čelisti MHS3-20D bylo vybráno osazení o průměru 36 mm, což odpovídá průměru čelistí. Podobně jako u první koncovky jsou i zde 3 díry pro šrouby rozmístěny po 120°. Tyto díry jsou však vybaveny závitěm pro šrouby M3 bez zapuštění, neboť šrouby budou procházet skrz čelisti.



Obrázek 9-2 Koncovka pro pneumatické čelisti HMS3-20D

## 10. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo provést rešerši robotických koncových efektorů s důrazem na antropomorfní robotické ruce a zmapování druhů použitelných pohonů, přenosových soustav a senzorů. Zároveň byla provedena rešerše v oblasti uchopování a trendů.

Hlavním cílem praktické části práce bylo vytvoření experimentálního návrhu robotické ruky, která by byla schopná manipulace s předměty různých tvarů a nízkých hmotností. Vedlejším cílem bylo vytvoření rychloupínacího mechanismu pro robotické rameno. Na základě všech vstupních parametrů a předpokladů bylo rozhodnuto o konstrukci robotické ruky s minimálně třemi prsty a s možností paralelního a centrického uchopení. Maximální hmotnost ruky i s rychloupínacím mechanismem byla stanovena na 1,5 kg. Minimální nosnost ruky byla stanovena na 0,5 kg. Celá konstrukce by měla být jednoduše smontovatelná a na výrobu jejích dílů by měly být použity běžně dostupné materiály.

Veškeré počáteční podmínky byly konstrukčním návrhem splněny. V případě hmotnosti a nosnosti pak dokonce i překonány. Celková hmotnost robotické ruky s rychloupínacím mechanismem činí 1,019 kg. Minimální nosnost robotické ruky byla stanovena na 0,786 kg.

Vzhledem k snadné montáži a výměně dílů je možné do budoucna osadit ruku různými druhy prstů. Dále je možné na ruku namontovat nejrůznější senzory, jež umožňují snímání tlaků či teplot.

## Seznam použité literatury

- [1] BIRGLEN, L., LALIBERTÉ, T., GOSSELIN, C. *Underactuated Robotic Hands*. Berlin: Springer, 2008. ISBN 978-3-540-77458-7
- [2] ALBA, D., ARMADA, M., PONTICELLI, R. An introductory Revision to Humanoid Robot Hands. In ARMADA, M., GONZÁLEZ SANTOS, P. *Climbing and Walking Robots*. Berlin: Springer, 2005. s. 701-712. ISBN 978-3-540-22992-6
- [3] SICILIANO, B., OUSSAMA, K. *Springer Handbook of Robotics*. Berlin: Springer, 2008. ISBN 978-3-540-23957-4
- [4] CARBONE, G. *Grasping in Robotics*. London: Springer, 2013. ISBN 978-1-4471-4663-6
- [5] KAB. *Mikromotory pohánějí robotickou ruku* [online]. [cit. 20.2.2013]. [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=34156](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=34156).
- [6] MOURI, T., KAWASAKI, H., YOSHIKAWA, K., TAKAI, J., ITO, S. *Antropomorphic Robot Hand: Gifu Hand III* [online]. [cit. 17.3.2013]. [http://www.mindtrans.narod.ru/pdfs/Gifu\\_Hand\\_III.pdf](http://www.mindtrans.narod.ru/pdfs/Gifu_Hand_III.pdf).
- [7] NAMIKI, A., YOSHIROI, I., ISHIKAWA, M., KANEKO, M. *Development of High-speed Multifingered Hand System and Its Application to Catching* [online]. [cit. 18.3.2013]. <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1249273>.
- [8] BUTTEFAB, J., GREBENSTEIN, M., LIU, H., HIRZINGER, G. *DLR-Hand II: Next Generation of Dextrous Robot Hand* [online]. [cit. 7.12.2012]. <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=932538>.
- [9] DLR. [online]. [cit. 7.12.2012]. <http://www.dlr.de/rm/en/Portaldata/52/Resources/images/bildgalerie/Hand-II-Tasse.jpg>.
- [10] FJELLANG, Ø. *Flexinol as Actuator for a Humanoid Finger - Possibilities and Challenges*. Masteroppgave: University of Oslo, 2008.
- [11] *Electroactive polymers*. [online]. [cit. 8.3.2013]. [http://en.wikipedia.org/wiki/Electroactive\\_polymer](http://en.wikipedia.org/wiki/Electroactive_polymer).
- [12] SODOMKA, S. *Elektroaktivní elastomery*. [online]. [cit. 8.3.2013]. <http://sodomkalubomir.blog.cz/1102/elektroaktivni-elelastomery>.
- [13] DEYLE, T. *Electroactive Polymers as Artificial Muscles for Robot Application*. [online]. [cit. 1.5.2013]. <http://www.hizook.com/blog/2009/12/28/electroactive-polymers-eap-artificial-muscles-epam-robot-applications>.
- [14] VOLF, J. *Taktilní senzory pro automatizaci*. [online]. [cit. 14.11.2012]. <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/37544.pdf>.
- [15] VŠČHT. [online]. [cit. 21.11.2012]. [http://web.vscht.cz/kadleck/aktual/MT\\_INaRP/Tlak3\\_au100723.pdf](http://web.vscht.cz/kadleck/aktual/MT_INaRP/Tlak3_au100723.pdf).
- [16] MILLER, A. *GraspIt!: A Versatile Simulator for Robotic Grasping*. [online]. [cit. 23.6.2013]. <http://www1.cs.columbia.edu/~amiller/thesis.pdf>.
- [17] JAVŮREK, K. *Robotický prst dokáže rozpoznat povrch lépe než lidský*. [online]. [cit. 23.4.2013]. <http://vtm.e15.cz/roboticky-prst-dokaze-rozpoznat-povrch-lepe-nez-lidsky>.
- [18] KNÍŘOVÁ, T. *Revoluční robotická protéza s raketovým pohonem*. [online]. [cit. 1.5.2013]. <http://www.inovace.cz/novinky/682-revolucni-roboticka-proteza-s-raketovym-pohonem>.



- [19] KOUKAL, M. *Umělé svaly nahradí 100 svalovců*. [online]. [cit. 1.5.2013]. <http://21stoleti.cz/blog/2011/05/20/umele-svaly-nahradi-100-svalovcu>.
- [20] OTČENÁŠKOVÁ, M. *Perfektní umělé svaly*. [online]. [cit. 1.5.2013]. [http://www.rozhlas.cz/leonardo/technologie/\\_zprava/563566](http://www.rozhlas.cz/leonardo/technologie/_zprava/563566).
- [21] SALAZAR, J. *Ray Baughman creates artificial muscles*. [online]. [cit. 1.5.2013]. <http://earthsky.org/human-world/ray-baughman-creates-artificial-muscles>.
- [22] HMT. [online]. [cit. 25.6.2013]. [http://hmt.fh-duesseldorf.de/hmt/index.php/Mitsubishi\\_RV-2SD](http://hmt.fh-duesseldorf.de/hmt/index.php/Mitsubishi_RV-2SD).
- [23] CABELL & GEORGE. *Mitsubishi Introduces RV-2SD/SQ, a Compact, High Performance 6 Axis Robot*. [online]. [cit. 25.6.2013]. <http://www.cgco.com/news/13-mitsubishi/31-mitsubishi-introduces-rv-2sdsq-a-compact-high-performance-6-axis-robot>.
- [24] ASTRA. [online]. [cit. 25.6.2013]. <http://www.astramodel.cz/cz/katalog/futaba/servo-s3114-1.5kg.cm-0.10s-60%C2%B0-nano-p367.html>.
- [25] T.E.A. TECHNIK. *Plastová ozubená kola*. [online]. [cit. 27.6.2013]. <http://www.teatechnik.cz/plastova-1>.
- [26] HENNLICH. *Pružiny*. [online]. [cit. 27.6.2013]. [http://www.pkservis.com/data/web/upload/29\\_hennlich/katalog-pruziny-hennlich.pdf](http://www.pkservis.com/data/web/upload/29_hennlich/katalog-pruziny-hennlich.pdf).
- [27] MITSUBISHI. *Mitsubishi Industrial Robot*. [online]. [cit. 27.6.2013]. [http://suport.siriustrading.ro/02.DocArh/07.RI/03.Seria%20RV%20\(Vertical\)/05.RV-SD/01.Manuale/RV-2SD%20-%20Standard%20Specifications%20Manual%20BFP-A8790-R%20\(07.12\).pdf](http://suport.siriustrading.ro/02.DocArh/07.RI/03.Seria%20RV%20(Vertical)/05.RV-SD/01.Manuale/RV-2SD%20-%20Standard%20Specifications%20Manual%20BFP-A8790-R%20(07.12).pdf). – viz příloha č.1
- [28] SMCETECH. *Parallel Style Air Gripper/2 Finger, 3 Finger, 4 Finger, Series MHS*. [online]. [cit. 27.6.2013]. <http://content.smcotech.com/pdf/MHS.pdf>. - viz příloha č.4

## **PŘÍLOHA č. 1**

### **Výkres robotické paže**

2.4 Outside dimensions • Operating range diagram

(1) RV-2SD (standard specification)

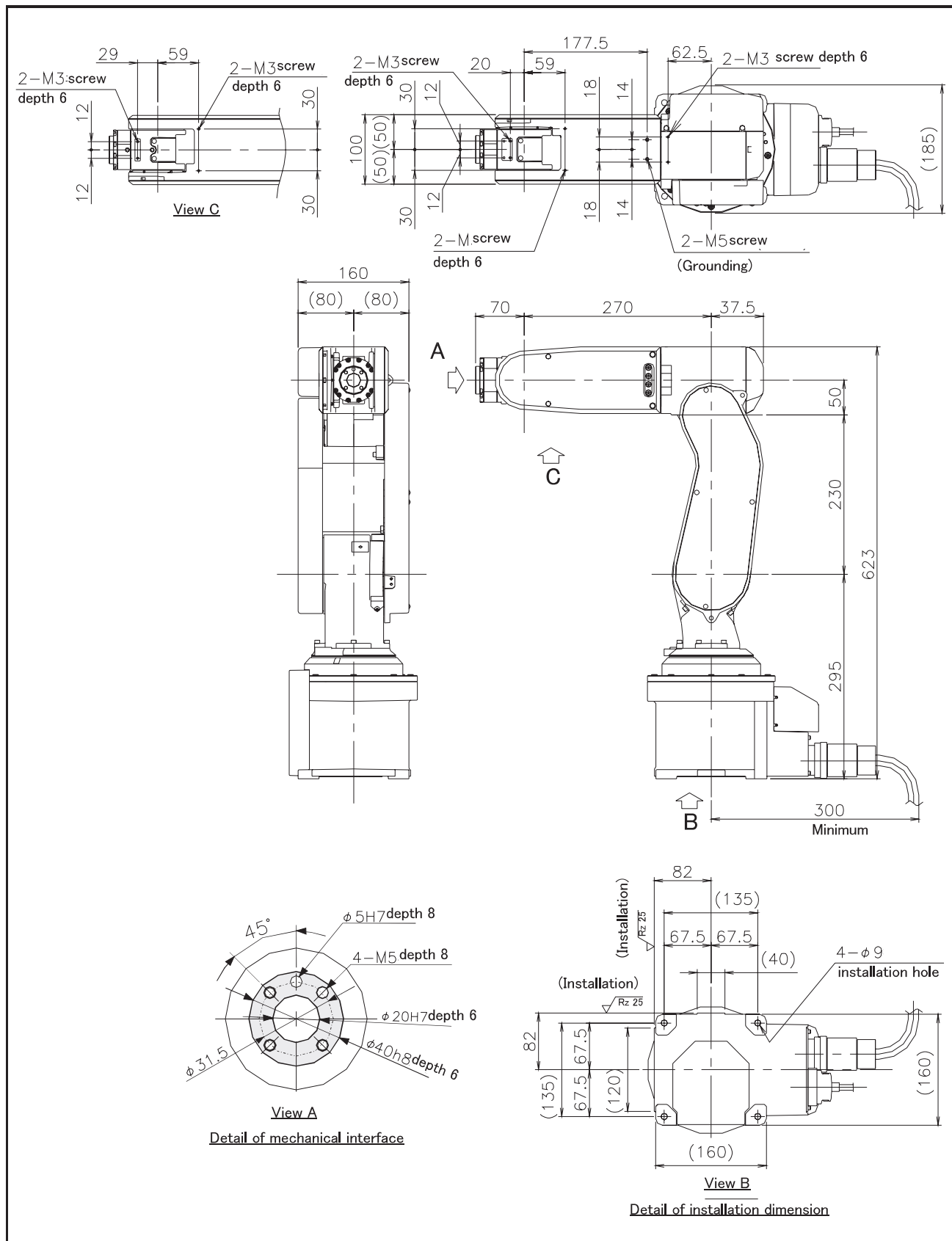
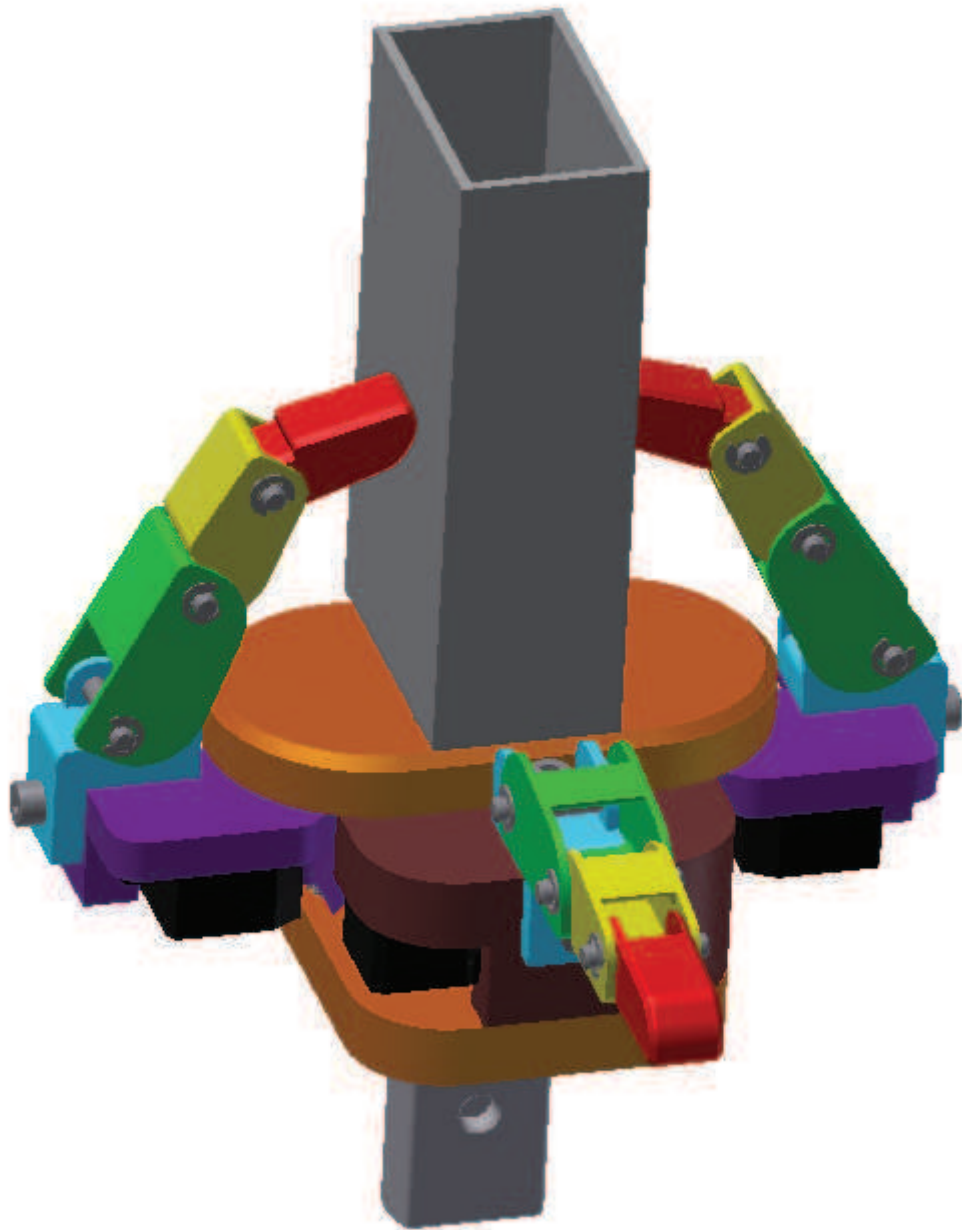


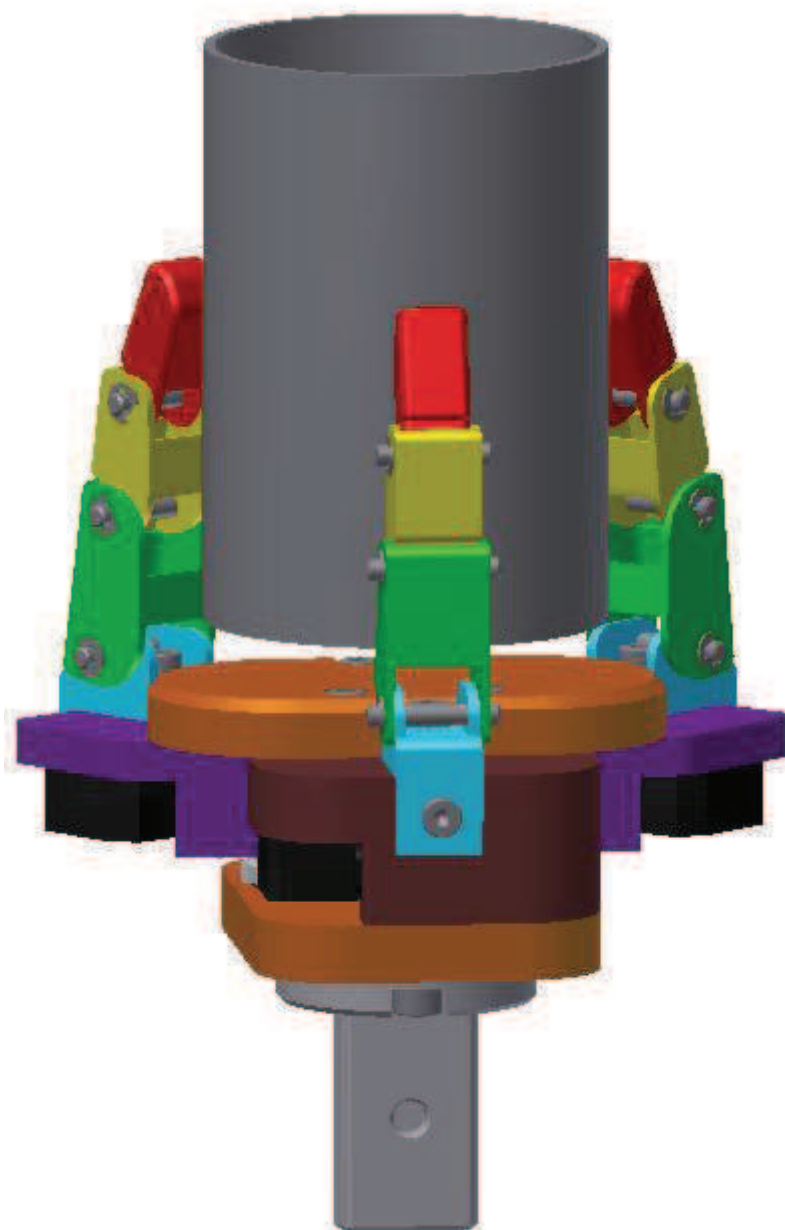
Fig.2-3 : Outside dimensions (standard specification)

## **PŘÍLOHA č. 2**

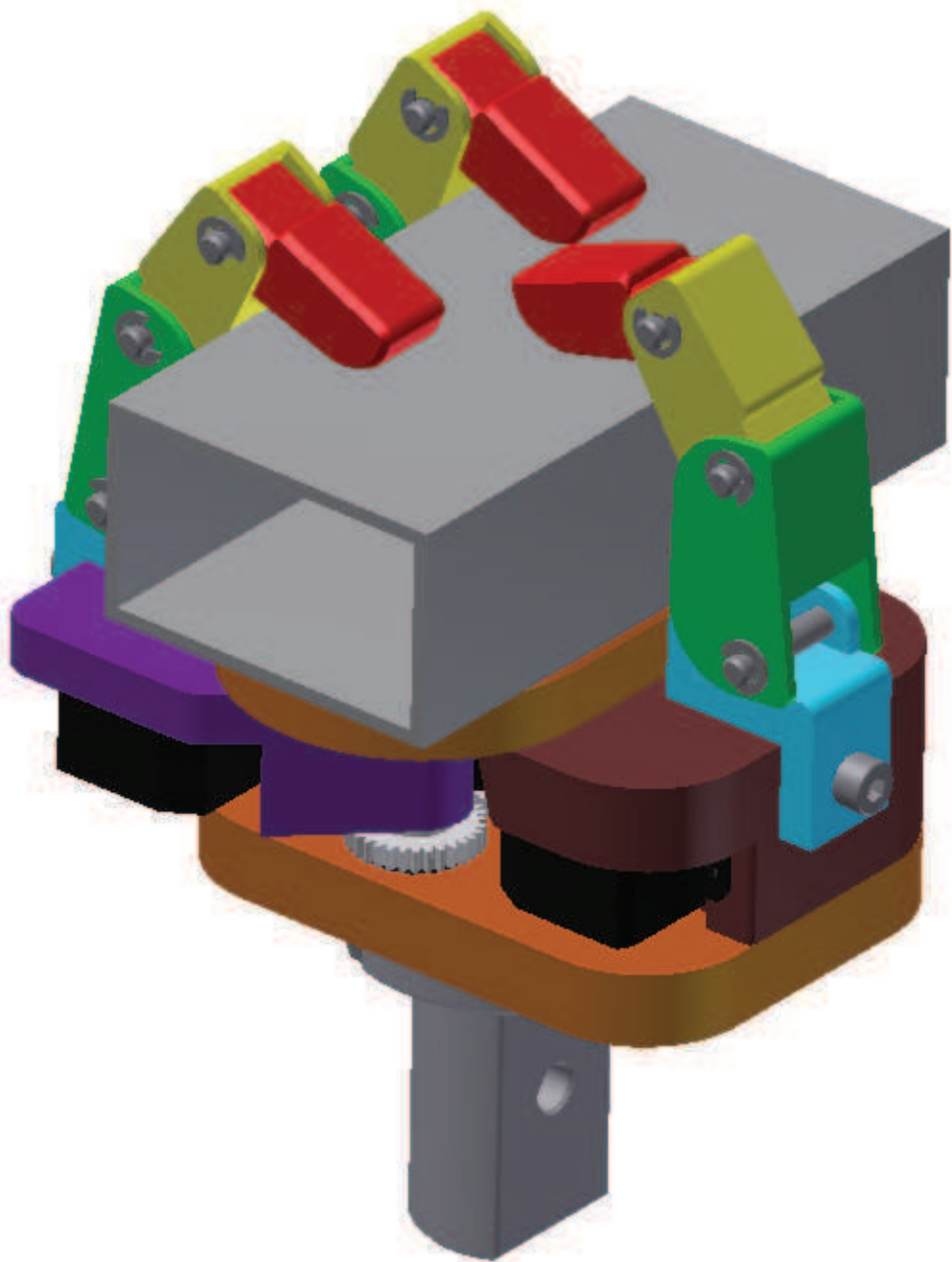
### **CAD modely robotické ruky**



**1 Uchopení profilu dvěma prsty**



2 Centrické uchopení trubky



**3 Paralelní uchopení obdélníkového profilu**



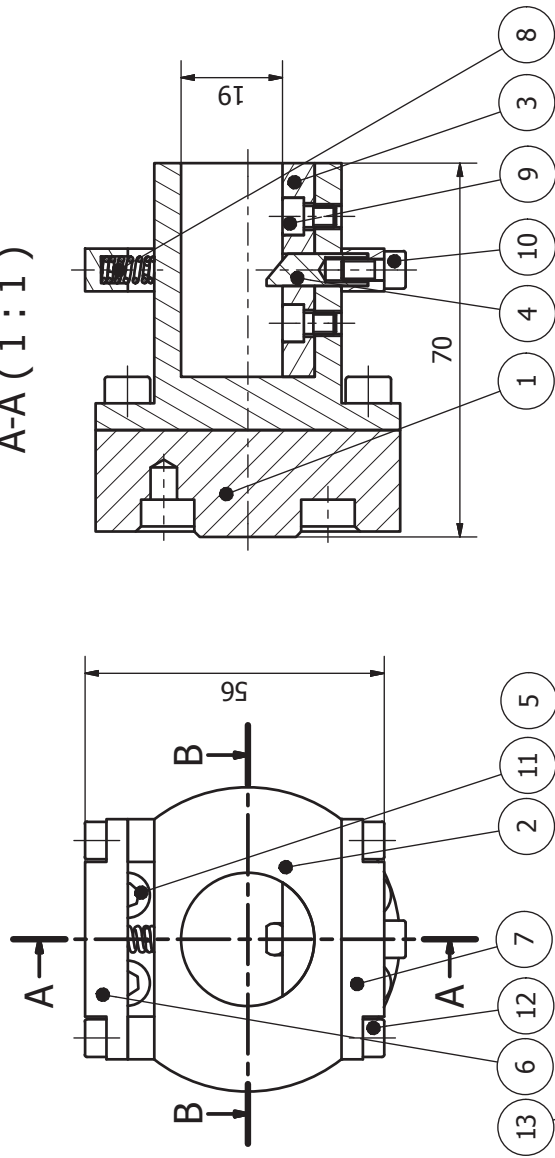


4 Umístění robotické ruky v rychloupínacím mechanismu

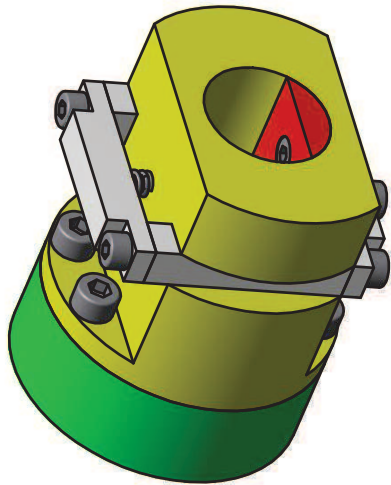
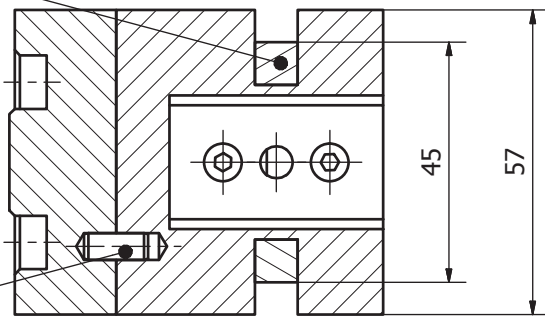
## **PŘÍLOHA č. 3**

### **Výkresová dokumentace rychloupínacího mechanismu**

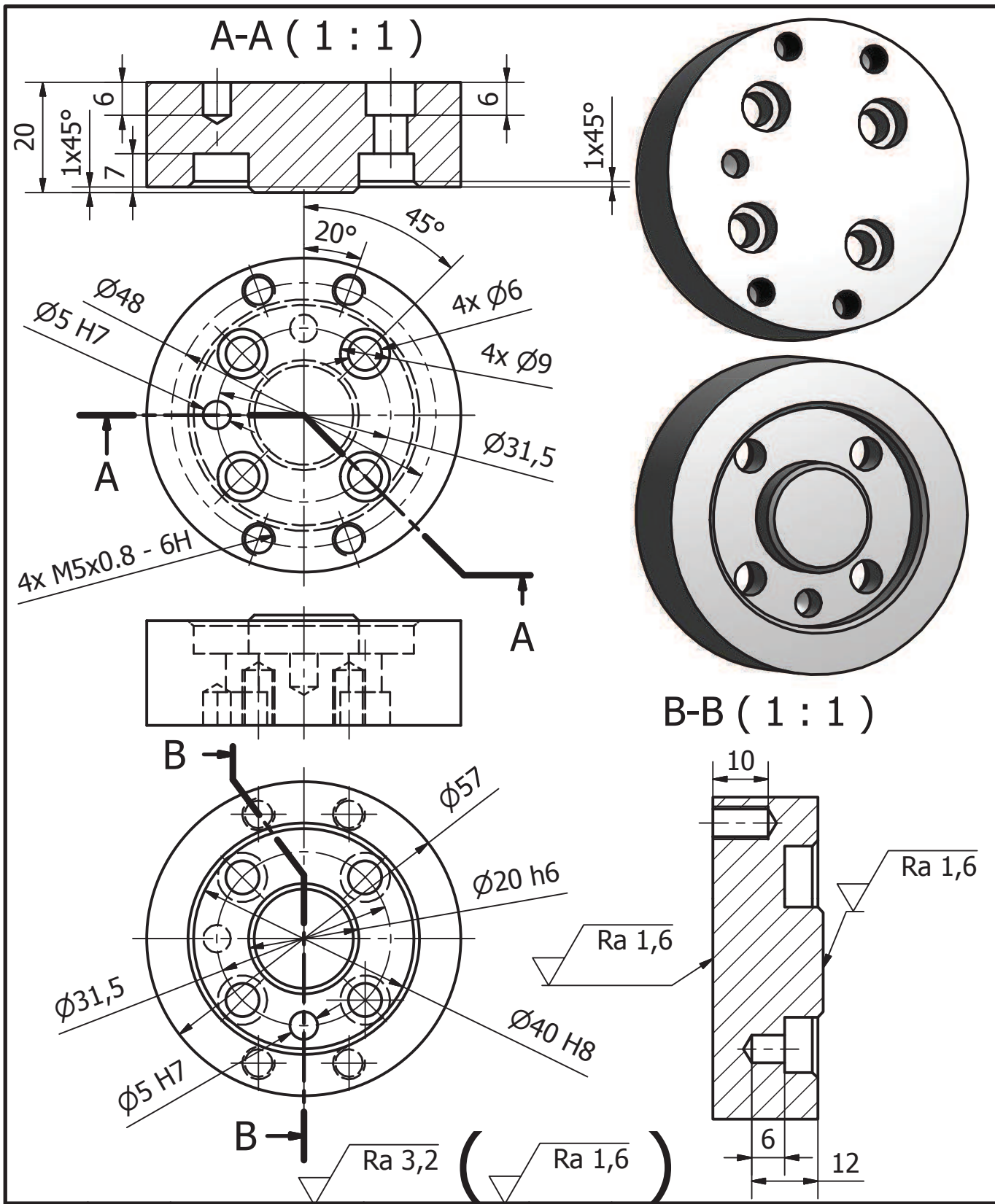
A-A (1 : 1)



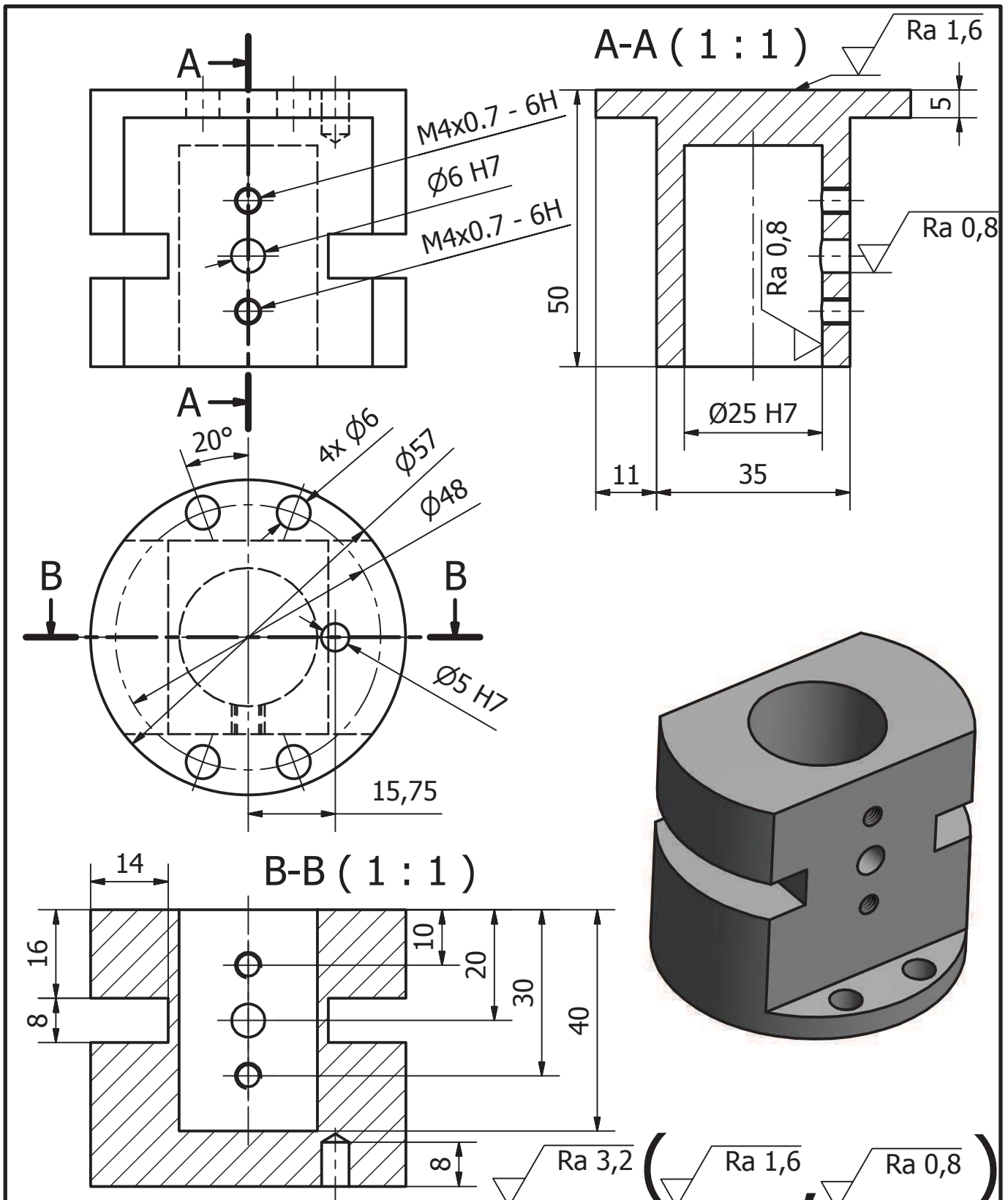
B-B (1 : 1)



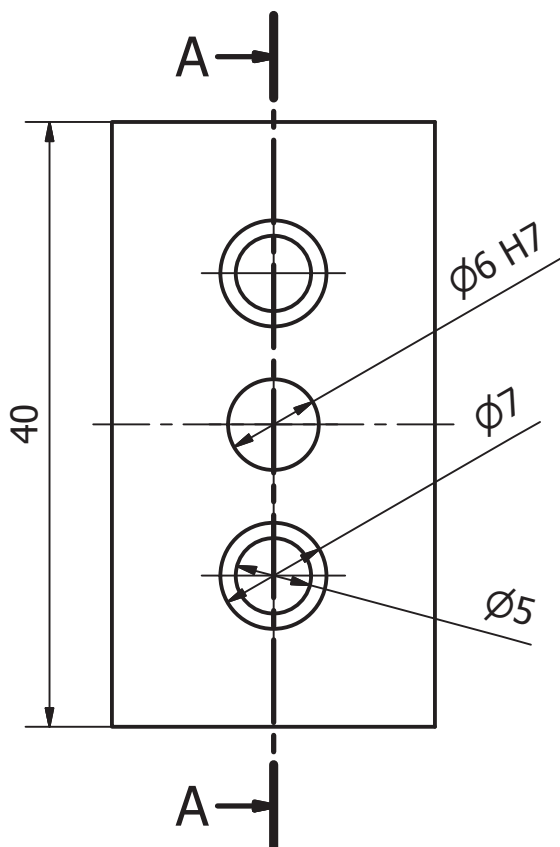
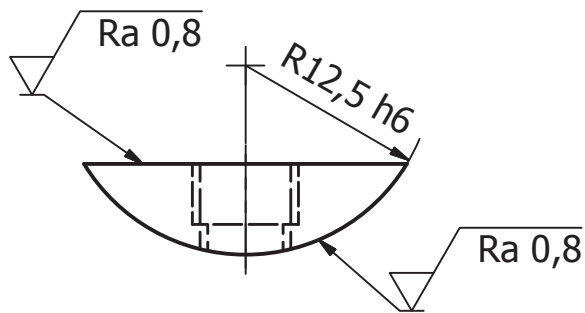
13	ISO 2338 - 5 h8 x 12 - B	ISO 2338	Nerezová ocel	2
12	ISO 4762 - M4 x 10	ISO 4762	Nerezová ocel	4
11	ISO 4762 - M5 x 10	ISO 4762	Nerezová ocel	4
10	ISO 4762 - M4 x 8	ISO 4762	Nerezová ocel	1
9	ISO 4762 - M4 x 6	ISO 4762	Nerezová ocel	2
8	Tlačná pružina		Ocel	1
7	RUM.07		Hliník - 6061	1
6	RUM.06		Hliník - 6061	1
5	RUM.05		Hliník - 6061	2
4	RUM.04		Ocel	1
3	RUM.03		Hliník - 6061	1
2	RUM.02		Hliník - 6061	1
1	RUM.01		Hliník - 6061	1
<b>POZICE</b>	<b>ČÍSLO SOUČÁSTI</b>	<b>NORMA</b>	<b>MATERIÁL</b>	<b>KS</b>
PROMĚTÁNÍ	ČÍSLO SOUČÁSTI	INDEX	ZMĚNA	
MĚŘÍTKO	PŘESNOST ISO 2768 - mK	MATERIAL		ROZMĚR - POLOTOVAR
1:1	TOLEROVÁNÍ ISO 8015			
		KRESLIL Filip Hrdlička TECH. REFERENT SCHVÁLIL NÁZEV		ČÍSLO VÝKRESU SESTAVY DATUM 28.4.2013 ČÍSLO SEZNAMU POLOŽEK DATUM TYP DOKUMENTU ISO 16016
FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI		Rychloupínací mechanismus Číslo výkresu RUM.00		KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ LISZLUSTŮ 1 / 1



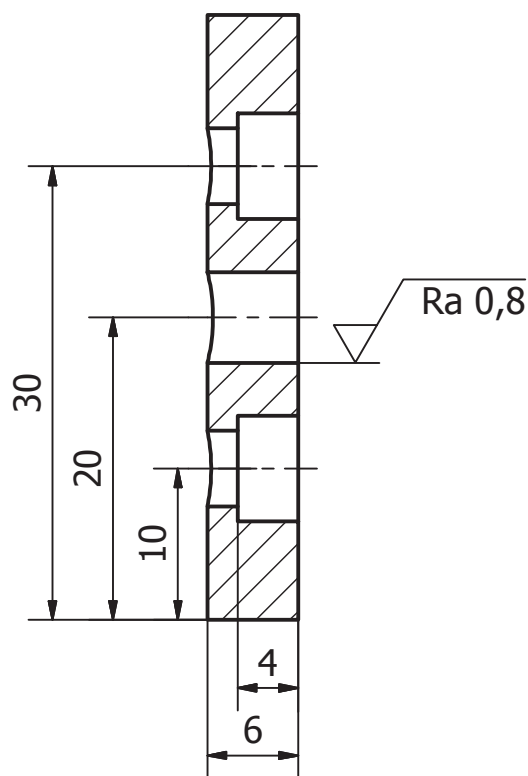
PROMÍTÁNÍ 	MĚŘÍTKO 1:1	PŘESNOST ISO 2768 - mK TOLEROVÁNÍ ISO 8015	HMOTNOST	INDEX	ZMĚNA
 FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI  KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ			MATERIÁL Al	ROZMĚR - POLOTOVAR	
			KRESLIL Filip Hrdlička	DATUM 28.4.2013	ČÍSLO VÝKRESU SESTAVY
			TECH. REFERENT	DATUM	ČÍSLO SEZNAMU POLOŽEK
			SCHVÁLIL	DATUM	TYP DOKUMENTU
NÁZEV Mezikus			ISO 16016	Číslo výkresu RUM.01	
				LIST/LISTŮ 1/1	



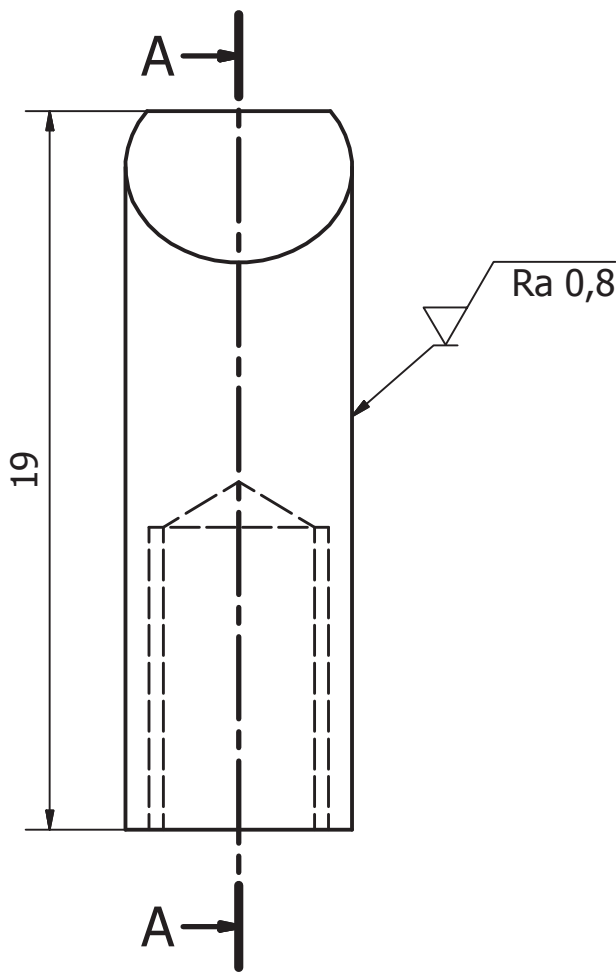
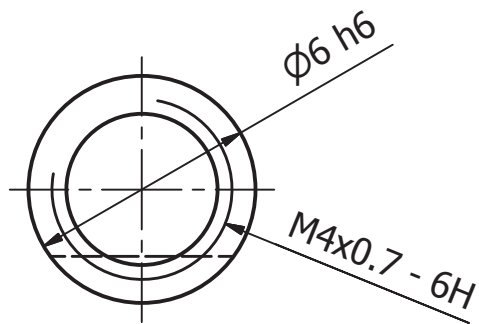
PROMÍTÁNÍ 	MĚŘÍTKO 1:1	PŘESNOST ISO 2768 - mK TOLEROVÁNÍ ISO 8015	HMOTNOST	INDEX	ZMĚNA	
<p>FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI</p> <p>KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ</p>			MATERIÁL Al	ROZMĚR - POLOTOVAR		
			KRESLIL Filip Hrdlička	DATUM 28.4.2013	ČÍSLO VÝKRESU SESTAVY	
			TECH. REFERENT	DATUM	ČÍSLO SEZNAMU POLOŽEK	
			SCHVÁLIL	DATUM	TYP DOKUMENTU	
NÁZEV Tubus			ISO 16016	Číslo výkresu RUM.02		
				LIST/LISTŮ 1/1		



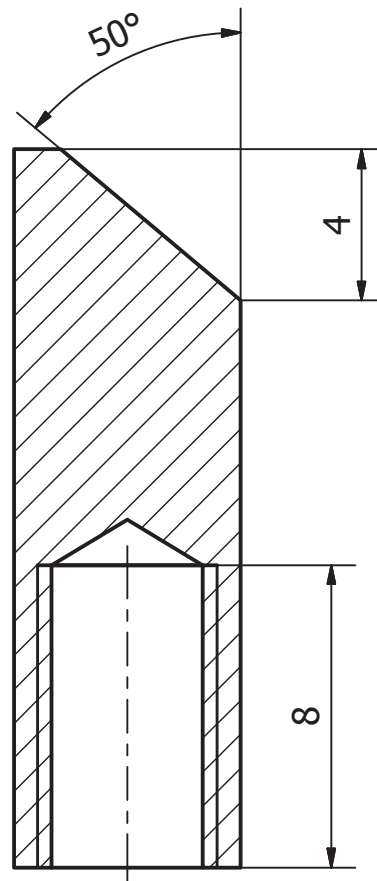
A-A ( 2: 1 )



PROMÍTÁNÍ 	MĚŘÍTKO 2:1	PŘESNOST ISO 2768 - mK TOLEROVÁNÍ ISO 8015	HMOTNOST	INDEX	ZMĚNA
 FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI  KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ			MATERIÁL Al	ROZMĚR - POLOTOVAR	
			KRESLIL Filip Hrdlička	DATUM 28.4.2013	ČÍSLO VÝKRESU SESTAVY
			TECH. REFERENT	DATUM	ČÍSLO SEZNAMU POLOŽEK
			SCHVÁLIL	DATUM	TYP DOKUMENTU
NÁZEV Vložka			ISO 16016	Číslo výkresu RUM.03	
				LIST/LISTŮ 1 / 1	

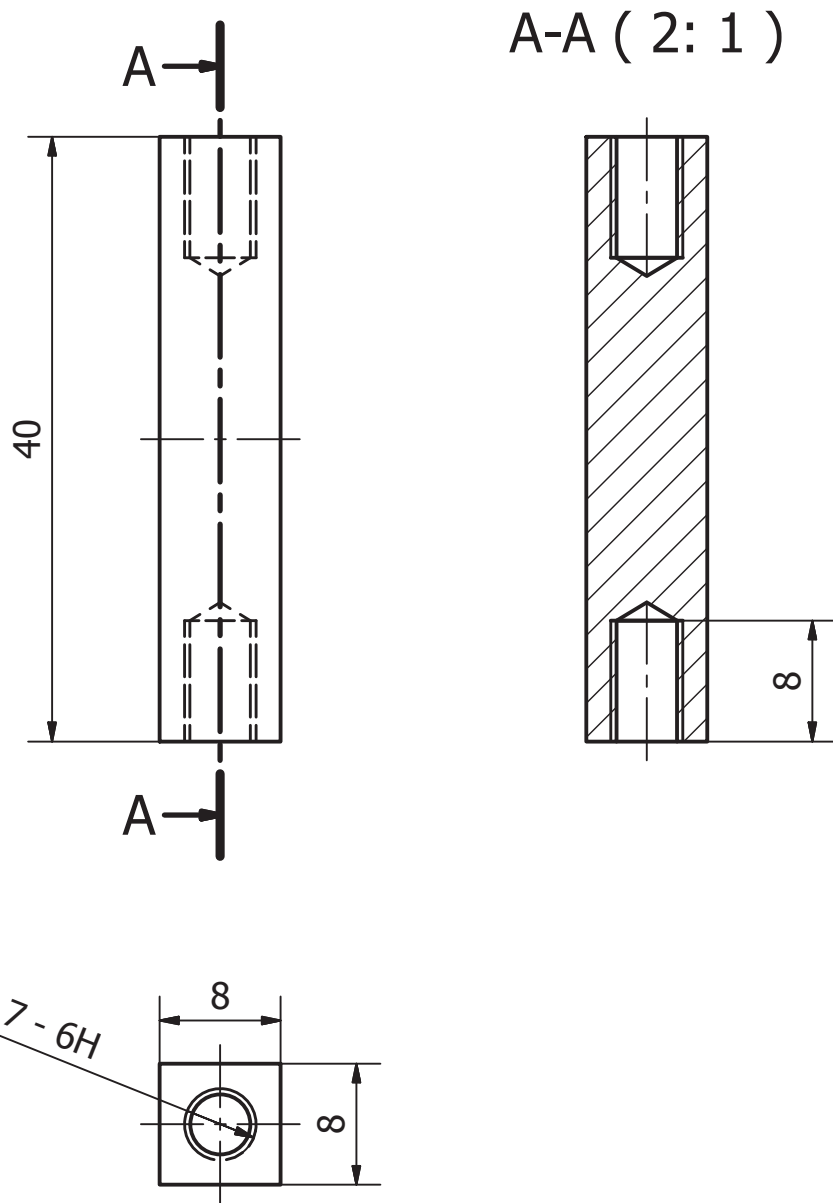


A-A ( 5 : 1 )



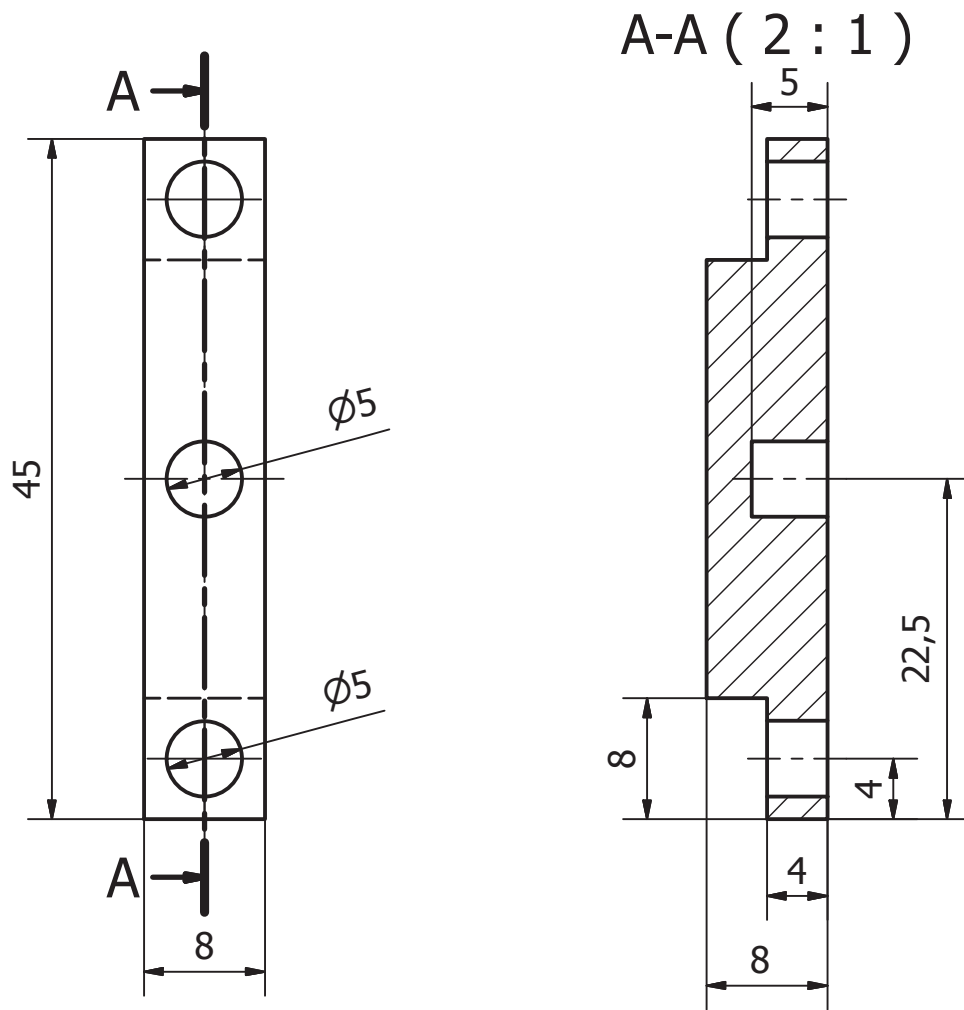
PROMÍTÁNÍ 	MĚŘÍTKO 5:1	PŘESNOST ISO 2768 - mK TOLEROVÁNÍ ISO 8015	HMOTNOST	INDEX	ZMĚNA
 FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI  KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ			MATERIÁL ocel	ROZMĚR - POLOTOVAR	
			KRESLIL Filip Hrdlička	DATUM 28.4.2013	ČÍSLO VÝKRESU SESTAVY
			TECH. REFERENT	DATUM	ČÍSLO SEZNAMU POLOŽEK
			SCHVÁLIL	DATUM	TYP DOKUMENTU
			NÁZEV Kolik	ISO 16016	Číslo výkresu RUM.04
			LIST/LISTŮ 1 / 1		





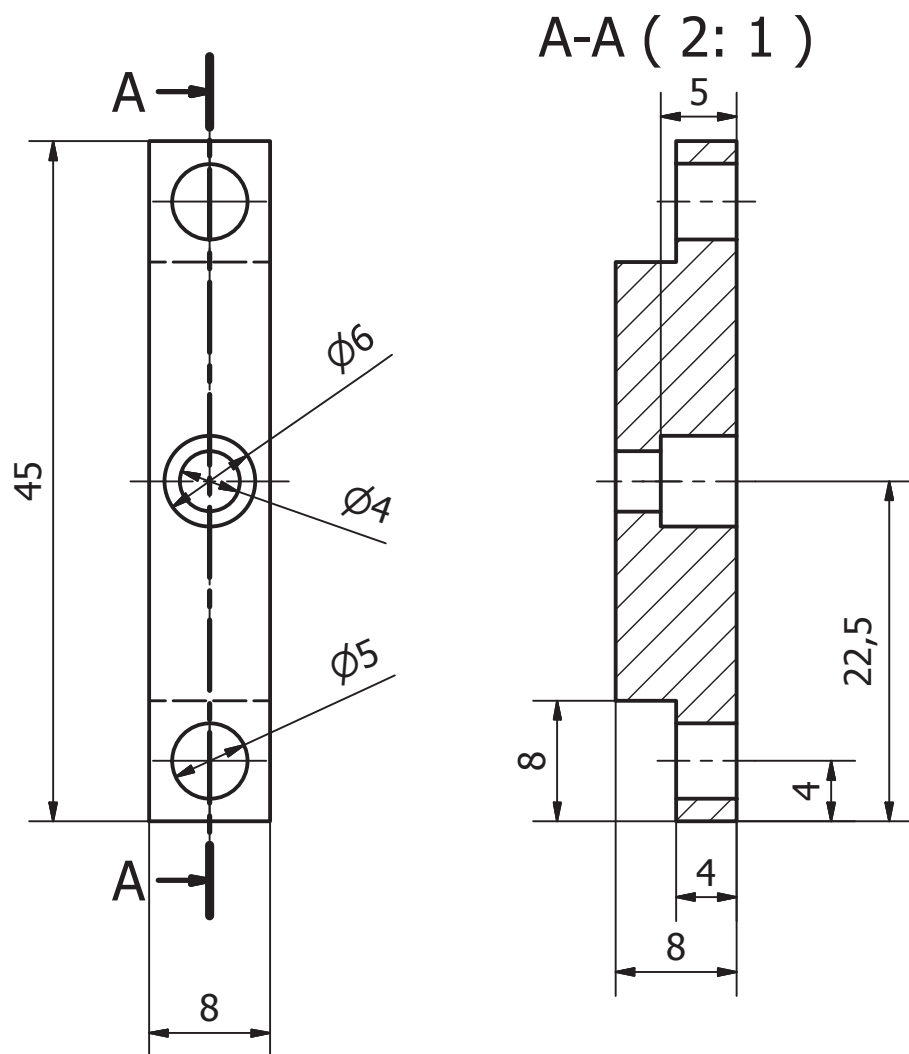
$Ra\ 3,2$

PROMÍTÁNÍ 	MĚŘÍTKO 2:1	PŘESNOST ISO 2768 - mK TOLEROVÁNÍ ISO 8015	HMOTNOST	INDEX	ZMĚNA
 FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI  KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ			MATERIÁL Al	ROZMĚR - POLOTOVAR	
			KRESLIL Filip Hrdlička	DATUM 28.4.2013	ČÍSLO VÝKRESU SESTAVY
			TECH. REFERENT	DATUM	ČÍSLO SEZNAMU POLOŽEK
			SCHVÁLIL	DATUM	TYP DOKUMENTU
			NÁZEV Boční tyč	ISO 16016	Číslo výkresu RUM.05
			LIST/LISTŮ 1 / 1		



$\nabla$  Ra 3,2

PROMÍTÁNÍ 	MĚŘÍTKO 2:1	PŘESNOST ISO 2768 - mK TOLEROVÁNÍ ISO 8015	HMOTNOST	INDEX	ZMĚNA
 FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI  KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ			MATERIÁL Al	ROZMĚR - POLOTOVAR	
			KRESLIL Filip Hrdlička	DATUM 28.4.2013	ČÍSLO VÝKRESU SESTAVY
			TECH. REFERENT	DATUM	ČÍSLO SEZNAMU POLOŽEK
			SCHVÁLIL	DATUM	TYP DOKUMENTU
NÁZEV Horní tyč			ISO 16016	Číslo výkresu RUM.06	
				LIST/LISTŮ 1/1	



$Ra\ 3,2$

PROMÍTÁNÍ 	MĚŘÍTKO <b>2:1</b>	PŘESNOST ISO 2768 - mK TOLEROVÁNÍ ISO 8015	HMOTNOST	INDEX	ZMĚNA
 <b>FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI</b>  <b>KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ</b>			MATERIÁL Al	ROZMĚR - POLOTOVAR	
			KRESLIL Filip Hrdlička	DATUM 28.4.2013	ČÍSLO VÝKRESU SESTAVY
			TECH. REFERENT	DATUM	ČÍSLO SEZNAMU POLOŽEK
			SCHVÁLIL	DATUM	TYP DOKUMENTU
NÁZEV <b>Dolní tyč</b>			ISO 16016	Číslo výkresu <b>RUM.07</b>	
			LIST/LISTŮ <b>1 / 1</b>		

## **PŘÍLOHA č. 4**

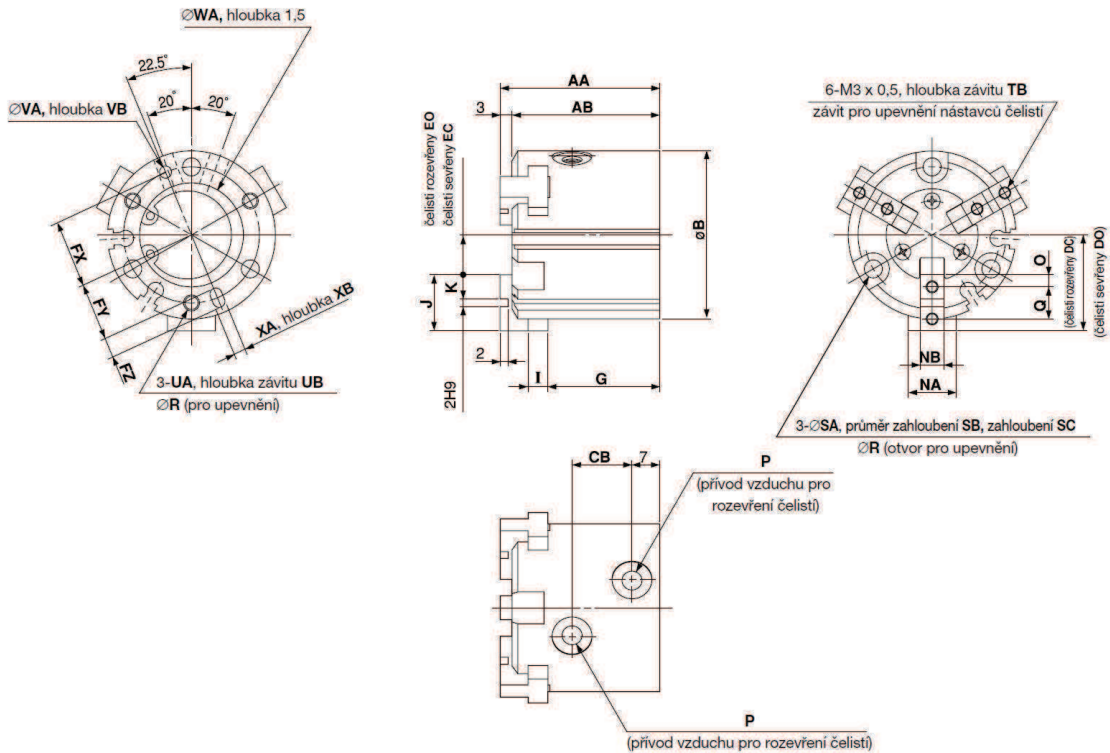
**Výkres čelistí MHS3-20D a její koncovky, CAD model**



1 Vizualizace připojení čelistí MHS3-20D pomocí koncovky k rychloupínacímu mechanismu

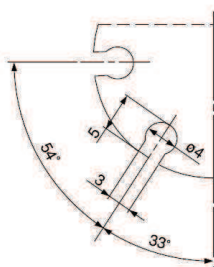
# Řada MHS3

## Rozměry MHS3-16,20,25D

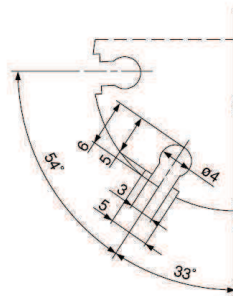


### Rozměry drážek pro snímače polohy

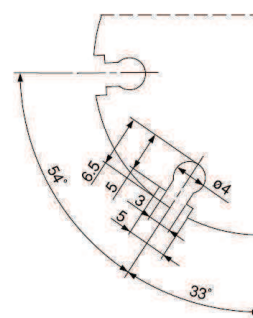
MHS3-16 □



MHS3-20 □

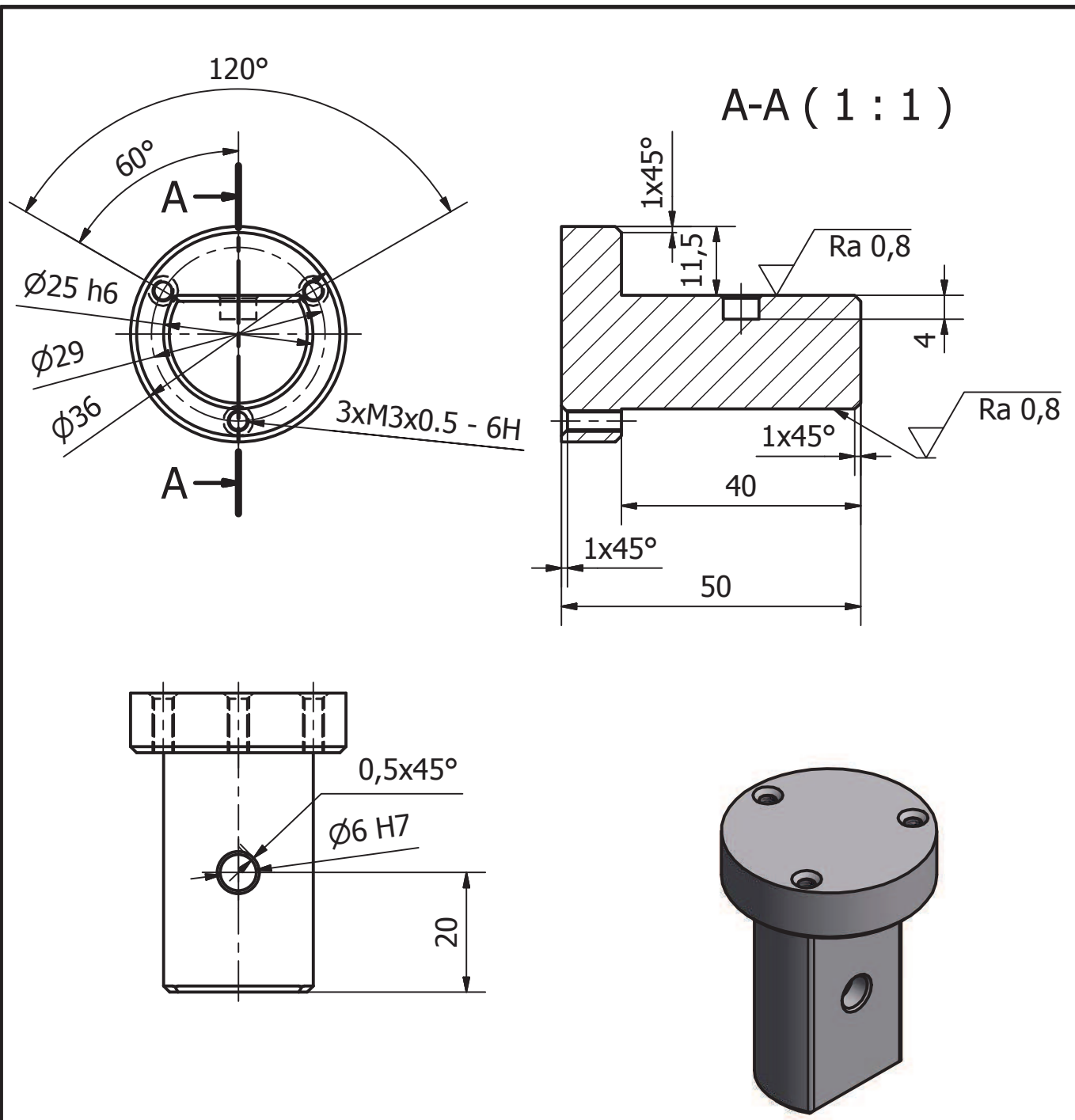


MHS3-25 □



Typ	AA	AB	$\varnothing B$	CB	DC	DO	EC •	EO •	FX	FY	FZ	G	I	J	K	NA	NB	O	P	Q	$\varnothing R$
MHS3-16D	35	32	30	11	15	17	5 <sup>-0,2</sup> <sub>-1,4</sub>	7 <sup>+1,5</sup> <sub>+0,1</sub>	12,5	11	3	25	4	10	4	8	5h9	2	M3 x 0,5	6	25
MHS3-20D	38	35	36	13	18	20	6 <sup>-0,3</sup> <sub>-1,4</sub>	8 <sup>+1,5</sup> <sub>+0,1</sub>	14,5	13	3	27	5	12	5	10	6h9	2,5	M5 x 0,8	7	29
MHS3-25D	40	37	42	15	21	24	7 <sup>-0,3</sup> <sub>-1,3</sub>	10 <sup>+1,3</sup> <sub>+0,1</sub>	17	14,5	5	28	5	14	6	12	6h9	3	M5 x 0,8	8	34
Typ	$\varnothing SA$	SB	SC	TB	UA	UB	$\varnothing VA$	VB	$\varnothing WA$	$\varnothing XA$	XB										
MHS3-16D	3,4	6,5	8	5	M3 x 0,5	4,5	2H9	2	17H9	2H9	2										
MHS3-20D	3,4	6,5	9,5	6	M3 x 0,5	6	2H9	2	21H9	2H9	2										
MHS3-25D	4,5	8	10	6	M4 x 0,7	6	3H9	3	26H9	3H9	3										

• U tříčelistových úchopných hlavíc se tolerance vztahuje k průměru uchopeného předmětu.



PROMÍTÁNÍ 	MĚŘÍTKO <b>1:1</b>	PŘESNOST ISO 2768 - mK TOLEROVÁNÍ ISO 8015	HMOTNOST	INDEX	ZMĚNA
 FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI  KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ			MATERIÁL hliník	ROZMĚR - POLOTOVAR	
			KRESLIL Filip Hrdlička	DATUM 28.4.2013	ČÍSLO VÝKRESU SESTAVY
			TECH. REFERENT	DATUM	ČÍSLO SEZNAMU POLOŽEK
			SCHVÁLIL	DATUM	TYP DOKUMENTU
NÁZEV <b>Koncovka pro HMS3-20D</b>			ISO 16016	Číslo výkresu <b>Koncovka_MHS</b>	
			LIST/LISTŮ <b>1 / 1</b>		