



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

ZÁPĚSTNÍ KLOUB PRO PROTÉZY HORNÍCH KONČETIN

THE WRIST JOINT FOR UPPER LIMB PROSTHESIS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

RADEK HOLLEIN

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. DAVID PALOUŠEK, Ph.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav konstruování

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Radek Hollein

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Zápěstní kloub pro protézy horních končetin

v anglickém jazyce:

The wrist joint for upper limb prosthesis

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je konstrukční návrh a ověření funkce polohovatelného kloubu protézy horní končetiny na reálném prototypu. Práce zahrnuje návrh uložení kloubu, aretační systém a realizaci plně funkčního prototypu.

Cíle bakalářské práce:

Bakalářská práce musí obsahovat: (odpovídá názvům jednotlivých kapitol v práci)

1. Úvod
2. Přehled současného stavu poznání
3. Analýza problému a cíl práce
4. Návrh konstrukčních řešení
5. Výsledné konstrukční řešení
6. Diskuze
7. Závěr
8. Seznam použitých zdrojů

Forma práce: průvodní zpráva, výkresy součástí, výkres sestavení, montážní výkres, digitální data, funkční výrobek

Typ práce: konstrukční; Účel práce: výzkum a vývoj

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 - 20 stran textu bez obrázků).

Zásady pro vypracování práce:

http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/BP_DP/Zasady_VSKP_2014.pdf

Šablona práce: http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/UK_sablona_praci.zip

Seznam odborné literatury:

1. David Wills, Prosthesis (Meridian: Crossing Aesthetics) Paperback. Publisher: Stanford University Press (June 1995), ISBN-10: 0804724601, ISBN-13: 978-0804724609
2. Bella J. May EdD PT CEEAA FAPTA, Margery A. Lockard PT PhD. Prosthetics & Orthotics in Clinical Practice: A Case Study Approach. ISBN-10: 0803622570, ISBN-13: 978-0803622579.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. David Paloušek, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 22.11.2013

L.S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ANOTACE

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem konstrukčního řešení protézy zápěstí umožňující polohovatelnost a aretaci a následnou realizací funkčního prototypu. Konstrukční řešení je navrženo tak, aby bylo inovativní. S ohledem na rešerši je volen takový rozsah pohybu a počet poloh aretačního mechanismu, aby byla zajištěna funkčnost protézy zápěstí. Velikost protézy zápěstí je dimenzována pro ruku dospělého muže.

Pro návrh konstrukčního řešení byl využit program Autodesk Inventor Professional 2012, výkresová dokumentace byla zpracována s pomocí AutoCAD Mechanical 2012. Jednotlivé díly prototypu byly vytvořeny pomocí technologie rapid prototyping z ABS plastu, případně obráběním ocelových polotovarů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kloub protézy horní končetiny, protéza zápěstí, flexe, extenze, rapid prototyping, Inventor, AutoCAD

ANOTATION

This bachelor thesis deals with the structural design of the wrist prosthesis allowing positionability and lock and subsequent implementation of a functional prototype. The structural design is made to be innovative. With respect to the research, the range of movement and the number of positions of the locking mechanism are selected to ensure the functionality of the prosthetic wrist. The size of wrist prosthesis is designed for an adult male hand. For the structural design Autodesk Inventor Professional 2012 was used. Drawings were prepared using AutoCAD Mechanical 2012. Individual components of the prototype are made of ABS plastic, using rapid prototyping technology, or steel machining blanks.

KEY WORDS

Wrist joint for upper limb prosthesis, wrist prosthesis, flexion, extension, rapid prototyping, Inventor, AutoCAD

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HOLLEIN, R. *Zápěstní kloub pro protézy horních končetin*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 51 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. David Paloušek, Ph.D..

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci Zápěstní kloub protézy horních končetin vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Davida Palouška, Ph.D. a uvedl v seznamu zdrojů všechny použité literární a odborné zdroje.

V Brně dne 23.května 2014

.....
vlastnoruční podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Davidu Palouškovi, Ph.D. za odborné vedení a doc. Ing. Josefu Sedlákovi Ph.D. za technickou podporu při používání technologie rapid prototyping.

OBSAH	11
ÚVOD	13
1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	14
1.1 Anatomie zápěstí	14
1.1.1 Kostí zápěstí	14
1.1.2 Pevné struktury v zápěstí	14
1.1.3 Kloubní spojení	14
1.2 Pohyby konané v zápěstí	15
1.3 Důvody amputace horních končetin	16
1.4 Účelovost protézy zápěstí	17
1.4.1 Koncové nástroje	17
1.4.2 Tahové protézy	17
1.4.3 Myoelektrické protézy rukou	17
1.4.4 Bionické protézy rukou	18
1.4.5 Pasivní protézy rukou	19
1.4.6 Vzhled protéz	19
1.5 Rozdělení protéz zápěstí	20
1.5.1 Protézy umožňující pronačně-supinační pohyb	20
1.5.2 Protézy zápěstí umožňující flexně-extenzivní pohyb	21
1.5.3 Rychloupínací protézy	22
1.5.4 Protézy po amputaci v zápěstí a pro dlouhá residua končetin	22
1.6 Pohony protéz	22
1.6.1 Pasivní (manuální) pohon	22
1.6.2 Pohon motorem	22
1.7 Velikosti protéz zápěstí	23
1.8 Registrované patenty	25
1.8.1 Flex Wrist	25
1.8.2 Multi-Flex Wrist	26
1.8.3 Multifunkční protéza	27
1.9 Příklady vyráběných protéz	28
1.9.1 Myowrist Transcarpal 10V38	28
1.9.2 Sierra Wrist Flex Unit	28
1.9.3 Flex Wrist	29
1.9.4 Multi-Flex Wrist	29
1.9.5 MyoWrist 2Act 10V40	29
1.10 Shrnutí zjištěných poznatků	30
2 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍLE PRÁCE	31
3 NÁVRH KONSTRUKČNÍCH ŘEŠENÍ	32
3.1 Varianta I	32
3.1.1 Návrh aretačního mechanismu	32
3.1.2 Popis ovládání aretace	33
3.1.3 Návrh spojení s horní končetinou	33
3.2 Varianta II	34
3.3 Zhodnocení návrhů	34
4 VÝLEDNÉ KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	36

4.1	Popis konstrukce	36
4.1.1	Zajištění flexe a extenze	36
4.1.2	Návrh aretačního mechanismu	36
4.1.3	Aretační páka	37
4.1.4	Válcový segment, rozsah poloh	37
4.1.5	Popis ovládání aretace	38
4.2	Výroba prototypu protézy	38
4.2.1	Použité materiály	38
4.2.2	Postup výroby dílů	38
4.2.3	Montáž prototypu	38
5	DISKUZE	40
6	ZÁVĚR	41
	SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	42
	SEZNAM TABULEK	43
7	Seznam použitých zkratk a symbolů	44
7.1	Seznam použitých zkratk a symbolů	44
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	45

ÚVOD

Pro osoby po amputaci horní končetiny je návrat do reálného života mimořádně obtížný. Bez možnosti manipulace chybějící končetinou se stávají běžné denní činnosti, jako oblékání, stravování, manipulace s předměty, velkým problémem. K různým překážkám vyplývajících z absence končetiny se navíc přidává psychická zátěž, pacienti se mohou cítit vyloučení ze společnosti.

K návratu do běžného života pomáhají pacientům.. Primárním úkolem protéz je náhrada úchopu. Protéz umožňujících uchopování předmětů existuje celá řada, nicméně bez mechanismů nahrazujících pohyby kloubů zdravých končetin je jejich funkčnost velmi omezená. Přidáním umělého kloubu k protéze horní končetiny se stává multifunkční jednotkou.

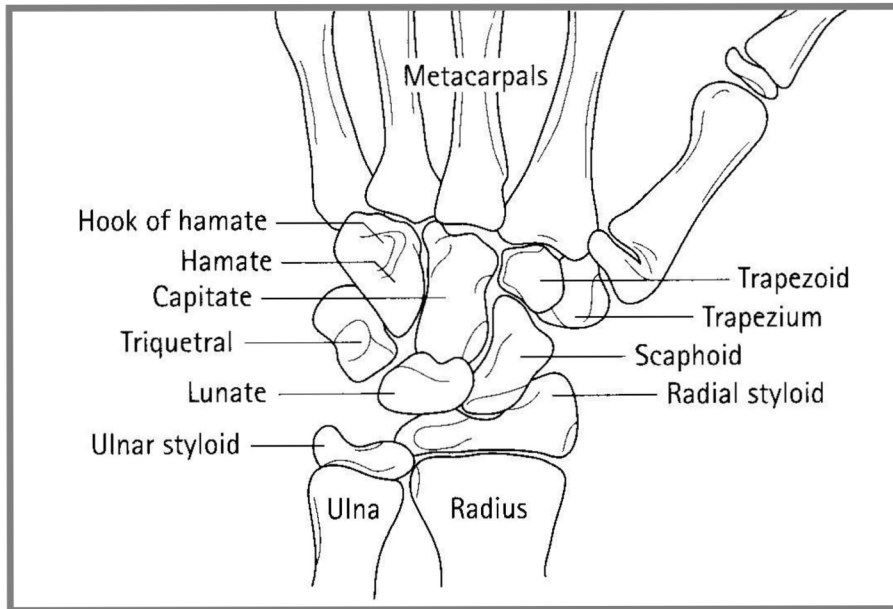
Na klouby protéz jsou kladeny určité nároky, jak od uživatelů tak od jejich tvůrců a konstruktérů. Pro uživatele se jako klíčová jeví jednoduchost ovládání, rozsah pohybu a možnost aretace vybrané polohy s dostatečnou únosností. Obecnými požadavky jsou nízká hmotnost, malé rozměry, provoz s minimálními nároky na údržbu, spolehlivost, funkčnost atd.

Významnou roli pro funkčnost protéz horních končetin hraje kloub nahrazující rotaci zápěstí. Právě návrh konstrukce a vytvoření prototypu takového kloubu je cílem této bakalářské práce.

1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

1.1 Anatomie zápěstí

Skladba kostí tvořících zápěstí je patrná z Obr. 1.



Obr. 1 Anatomie zápěstí

1.1.1 Kostí zápěstí

Zápěstí tvoří tyto kosti [1]:

- Kost vřetenní (radius)
- Kost loketní (ulna)
- Zápěstní kůstky (carpals)

- bližší řada (proximální)
- vzdálená řada (distální)

1.1.2 Pevné struktury v zápěstí

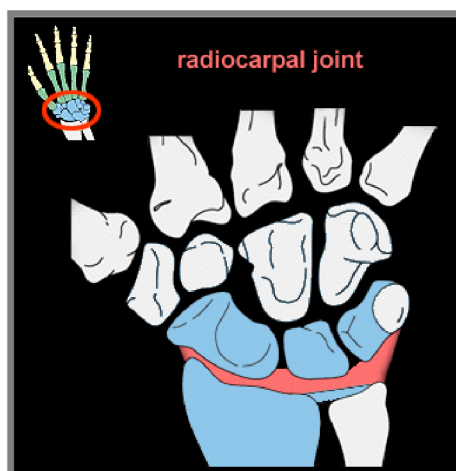
- Trojhranná vazivově chrupavčitá destička (discus articularis)

1.1.3 Kloubní spojení

Rozlišujeme celkem čtyři typy kloubních spojení v oblasti zápěstí [2]:

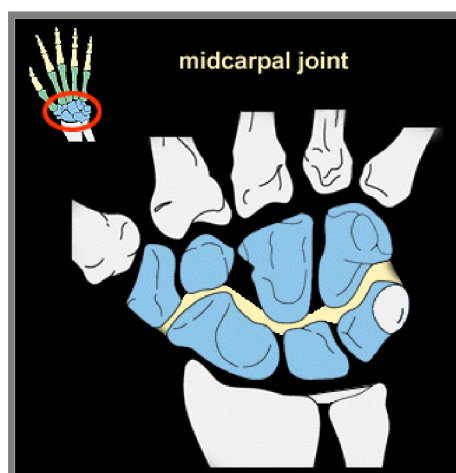
- Radioulnární
 - spojení mezi vřetenní a loketní kostí
- Radiokarpální

- spojení mezi vřetenní kostí, proximální řadou karpů a vazivově chrupavčitou destičkou



Obr. 2 Radiokarpální kloubní spojení

- Mediokarpální
 - spojení mezi proximální a distální řadou karpálů, s konvexně-konkávním průběhem



Obr. 3 Mediokarpální kloubní spojení

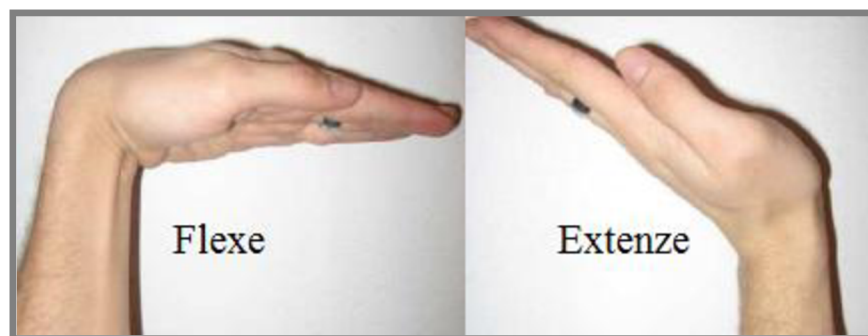
- Karpometakarpální
 - téměř nepohyblivé spojení distální řady karpů a záprstních kůstek (metakarpálů)

1.2 Pohyby konané v zápěstí

V zápěstí se vykonávají následující pohyby [2]:

- Flexe (80-90°) a extenze (60°)
 - probíhají mezi jamkou kosti vřetenní a hlavicí tvořenou proximální řadou karpálů

- Ulnární (až 45°) a radiální dukce (do 20°)
 - vzniká při pohybu karpálů směrem k loketní nebo vřetenní kosti
- Pronace (150°) a supinace (150°)
 - je umožněna obtáčením vřetenní kosti kolem kosti loketní
 - v průběhu pronace se předloketní kosti zkříží do tvaru X
 - při zapojení lokte a lopatky je možná pronace až v rozsahu 360°
- Cirkumdukce
 - kombinace předchozích pohybů
 - kroužení



Obr. 4,5 Flexe, extenze

1.3 Důvody amputace horních končetin

Amputace se provádí vždy až jako poslední možnost, kdy již všechny jiné způsoby záchrany končetiny byly vyzkoušeny, nebo jako zásah při velmi vážném zranění s nutností rychlého jednání z důvodu ohrožení života pacienta [3].

Nejčastějšími důvody amputací horních končetin jsou [3][4]:

- Zranění, která neumožňují zachránit končetinu (uplatnění pravidla: Při poškození tří typů tkání z pěti je nutná amputace)
- Nádory, především rakovinotvorné, které není možno odstranit standardně operativně
- Choroby a stavy životu nebezpečné (infekce, kostní sarkomy, nekrózy, omrzliny, popáleniny)

1.4 Účelovost protézy zápěstí

Pro pacienty po amputaci horní končetiny je nezbytné nahradit chybějící ruku a její funkčnost umělou náhradou.

Protézy zápěstí slouží k [4]:

- Upevnění protézy ruky do zápěstní jednotky
- Nastavení polohy zápěstí a tak i náhrady ruky do pracovní pozice
- Aretaci, uzamknutí v nastavené poloze

Náhrady rukou, které se nasazují na protézu zápěstí, se nazývají terminální jednotky (z anglického terminal - koncové). Existují také protézy horní končetiny bez jasného rozlišení na část zápěstí a část ruky, např. tahové protézy. Níže jsou uvedeny některé druhy terminálních jednotek.

1.4.1 Koncové nástroje

Koncové nástroje jsou terminální jednotky s mechanickými částmi.

Koncových nástrojů existuje celá řada, od držáků zubních kartáčků, svěrných úchopových háků, přes šroubováky a nářadí až po golfové hole a držáky rybářských prutů [5] [6] [7].

Podle pohyblivosti a zdroje pohybu je možno koncové nástroje dělit na:

- Nepohyblivé – kladivo, pila
- Pasivně pohyblivé – pohyb nástroje je prováděn druhou rukou, např. otevření svěrného háku pomocí páky, ovládání čelistí šroubem atd.



Obr. 6 Koncové nástroje

1.4.2 Tahové protézy

Pohyb jiné části těla je převeden přes tažné kabely k nástroji, např. naklonění trupu způsobí zavření úchopového háku. Běžné jsou uchopovací čelisti se samovolným otevíráním, případně samovolným zavíráním. Tahové protézy jsou konstruovány jako celek, bez rozlišení zápěstní části [5][6][7].

1.4.3 Myoelektrické protézy rukou

Tyto terminální pomůcky ovládají pacienti pomocí elektrických impulsů, které jsou vyvolávány v zachovaných svalech předloktí a snímány elektrodami. Běžně lze

ovládat ukazováček, prostředník a protistojný palec. Hlavní klady jsou funkčnost, samostatnost a samoobslužnost pacientů. Myoelektrika nejsou ale vhodná pro všechny pacienty. Nezbytný je dobrý stav svalstva předloktí po amputaci, manipulace s protézou vyžaduje trénink v řádu měsíců a pořizovací cena se pohybuje až po statisíce korun [6][8].



Obr. 7 Myoelektrická protéza Ottobock

1.4.4 Bionické protézy rukou

Snímání elektrických signálů svalstva v předloktí využívají i bionické náhrady. Na rozdíl od myoelektrických terminálních pomůcek mohou pacienti pohybovat každým prstem a to samostatně i dohromady, k sobě (sevření) i od sebe (roztažení). Úchopy a pozice prstů je možno naprogramovat přesně podle potřeb pacienta. Bionické protézy



zatím nejdokonaleji nahrazují ztrátu horní končetiny [9][10].

Vzhledem ke konstrukci protézy zápěstí je u myoelektrických a bionických protéz potřeba pamatovat na průchozí otvory pro kabely, navíc musí být řešeno uložení kabelů a baterií v předloketní části.

1.4.5 Pasivní protézy rukou

1.4.5

Funkcionální možnosti tohoto druhu protéz jsou omezeny na jednoduché poskytování opory při držení. Zvláštní význam mají po amputacích ve vysokých úrovních, když amputovaný odmítá funkcionální protézy, resp. když nelze chybějící funkce nahradit. Někteří pacienti záměrně nechtějí nějaké zvláště aktivní funkce protézy a spíše mají vysoké nároky na design, vzhled, komfort nošení a jednoduchou manipulaci [11].

1.4.6 Vzhled protéz

1.4.6

U výrobců protéz rukou lze také objednat silikonové návleky, tzv. kosmetické rukavičky, které imitují vzhled zdravé končetiny a mají také ochrannou funkci. K dokonalému napodobení zdravé končetiny je v nabídce široká paleta odstínů barev a různá provedení detailů (póry, nehty).



Obr. 9 Kosmetická rukavička

Přední výrobci protéz Fillauer Companies [5], RSL Steeper [6], Ottobock [7] nabízí kompletní řešení protéz horních končetin s možností kombinace jednotlivých prvků včetně výběru náhrady zápěstí nebo kosmetické rukavičky. Jednotlivé nabízené prvky jsou variabilní s ostatními a umožňují tak vybrat optimální řešení pro všechny požadavky.

1.5 Rozdělení protéz zápěstí

1.5.1 Protézy umožňující pronačně-supinační pohyb

Plní elementární funkci, náhradu rotace v pronačně-supinačním smyslu. Dle způsobu zajištění náhrady ruky a dle tvaru rozlišujeme následující druhy pronačně-supinačních protéz [4] [5] [6] [7]:

Třecí

Pro upevnění a uzamčení polohy je využito tření. Toto tření vyvolává např. deformace plastové upevňovací vložky nebo utažení kovové objímky.

Třecí mechanismus se hodí pro běžné činnosti a protézu lze vyrobit s nízkou hmotností. Při vysoké zátěži se může projevovat prokluz.



Obr. 10 Třecí P-S protéza

Tvarové

Aretace polohy vzniká tvarovým stykem pevných elementů, např. na plochý disk s prohlubněmi dosedá pojistný kolík spojený s kabelem, kolík dosednutím do prohlubně v disku zajišťuje zamknutí a zatáhnutím za kabel se jednotka uvolňuje.

Tento typ mechanismu může být vhodný pro extrémní zatížení, odolnost proti prokluzu je mnohem vyšší než u třecích protéz, nevýhodou je relativně vyšší hmotnost vzniklá použitím kovu u namáhaných dílů.



Obr. 11 Tvarová P-S protéza

Válcové

Tvar válcového zápěstí má univerzálnější použití, nevýhodou je nepřírozený tvar. Využívá se pro připojení většiny sofistikovaných protéz ruky. Díky kvalitním materiálům a minimalizaci rozměrů nemají rozměry zápěstí v současné době vliv na kosmetický vzhled.

Oválné

Oválný tvar je hůře vyrobitelný, méně funkční než kruhový, ale perfektně napodobuje tvar zdravého zápěstí, takže se používá při požadavku na precizní kosmetické zpracování.

V případě krátkých residuí končetiny je běžné, že mechanismus zajišťující pronaci a supinaci je zasazen přímo na lůžku obepínajícím pahýl, v mechanismu je umístěna trubka nahrazující předloktí, na kterou jsou pak nasazovány další protetické prvky.

1.5.2 Protézy zápěstí umožňující flexně-extenzivní pohyb

1.5.2

Flexně-extenzivní protézy musí splňovat dvě základní funkce nastavení polohy a zamknutí v nastavené poloze [4].

Protézy se nejčastěji skládají z osy válcového segmentu, který se kolem osy otáčí, a mechanismu pro uzamknutí polohy. Pro zamykání se využívá např. tvarového styku prohlubní a pohyblivého trnu nebo drážek, do kterých je pružinou vtlačována destička. Pro návrat do neutrální pozice bývá využito zkrutných či tažných pružin.

Flexně-extenzivní protézy jsou přídavným zařízením pro některou z protéz zajišťující pronačně-supinační pohyb, nejsou tedy standardem. Při rozhodování o použití flexní protézy proti sobě stojí tyto faktory: přidaná délka a hmotnost proti schopnosti lepší manipulace s terminální pomůckou nezbytné pro činnosti denní potřeby (osobní hygiena, stravování) [4].

Na rozdíl od mechanismu, který zajišťuje pronačně-supinační rotaci, je nutné flexně-extenzivní protézu montovat do vzdálenosti v úrovni zdravého zápěstí.



Obr. 12 Napojení protéz na náhradu předloktí

Pacienti s jednou amputovanou končetinou většinou vystačí v denním životě se zdravou, dostatečně funkční rukou. Pro pacienty po bilaterální amputaci horních končetin, nebo s amputovanou dominantní rukou, je flexně-extenzivní protéza nezbytností [4].

1.5.3 Rychloupínací protézy

Tyto protézy musí zajistit následující funkce [4]:

- Rychlé a jednoduché odemknutí
- Možnost vytažení terminální pomůcky z jednotky
- Výměnu pomůcky za jinou
- Manuální nastavení požadované pozice
- Zamknutí

S výhodou lze na vícero terminálních pomůcek připravit adaptéry, které se uchytí v protéze a umožní tak jejich rychlé výměny [4][5].

1.5.4 Protézy po amputaci v zápěstí a pro dlouhá residua končetin

Charakteristickým znakem tohoto typu protéz je velmi malá délka a jednoduchá konstrukce. Krátká vzdálenost neumožňuje uložení složitých mechanismů, v opačném případě by byl protetický celek příliš dlouhý a špatně by se s ním manipulovalo [12].

1.6 Pohony protéz

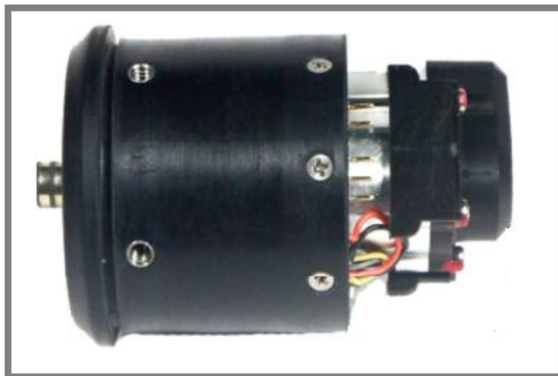
1.6.1 Pasivní (manuální) pohon

Protéza se nastavuje do patřičné polohy druhou rukou, v případě oboustranné amputace jedním koncovým zařízením o druhé a naopak. Dle provedení se musí nejdříve protéza odemknout, po nastavení polohy opět zamknout.

1.6.2 Pohon motorem

Motor je používán spolu s myoelektrickými a bionickými protézami rukou. Motor vnáší hmotnost navíc do celé umělé končetiny. Zajistit napájení a umístění v protetickém celku může být obtížné, ale pro běžný život pacientů je použití motorů zrychlením (odpadá jakákoli manipulace zdravou rukou) a ulehčením. Používá se buď provedení v protéze ruky (pro dlouhá residua končetiny), nebo v protéze předloktí (pro krátká residua). Motory ukládané v protézách předloktí jsou zpravidla silnější, rychlejší a vzhledem k menší vzdálenosti od zdravé části končetiny méně zatěžují [4][13][14].

Existují sice koncepty pro nezávislý pronačně-supinační a flexně-extenzivní pohyb (buď současně nebo nezávisle na sobě), ale přední výrobci protéz komerčně nabízejí pouze motory s pronačně-supinačním pohybem [15]. Nejpoužívanější motory pochází od firmy Motion Control, což je divize společnosti Fillauer Companies, Inc.



Obr. 13 Elektrický motor Standard MC Rotator

1.7 Velikosti protéz zápěstí

1.7

Při konstrukci protéz je třeba mít na paměti, že pacienti, kteří mohou umělou končetinu potřebovat, nejsou pouze dospělí jedinci, např. po zranění, ale také děti a batolata. Pro menší dětské ruce musí být rozměry protéz voleny v jiných velikostech a při jejich aplikaci musí být uvažováno možné zvětšení rozměrů kvůli velkým růstovým skokům.

Klíčové rozměry u pronačně-supinačních protéz:

- Průměr
- Výška

U flexně-extenzivních protéz jsou důležitými hodnotami:

- Přípojně rozměry
- Výška
- Velikost připojitelného adaptéru

Stručný přehled vybraných komerčně dostupných zápěstí a jejich velikostí pro kategorii dospělí jsou uvedeny v Tab.1.

Pro ženy s drobnějšíma rukama jsou údaje z tabulky přibližně o 5 mm menší. Velikosti průměrů protéz pro děti se pohybují ve stupnici po 5 mm od 30 mm pro batolata po 50 mm pro dospívající [5][6][7].

Tab. 1 Velikosti protéz zápěstí

číselné údaje v mm

	Výrobce	Ottobock	RSL Steeper	Hosmer	Motion Control	Motion Control
Rotační protézy	Název modelu	Wrist Unit 10V18	Lightweight Friction Wrist	Rotational Wrist	-	-
	Průměr	50	54	51	x	x
	Tloušťka	x	31	x	x	x
Flexní protézy	Název modelu	Myo Carpal 10V38	-	Sierra Wrist Flex Unit	Flexion Wrist	Multi Flexion Wrist
	Průměr	36	x	51	59	59
	Výška	24,7	x	x	22	25

1.8 Registrované patenty

1.8

1.8.1 Flex Wrist

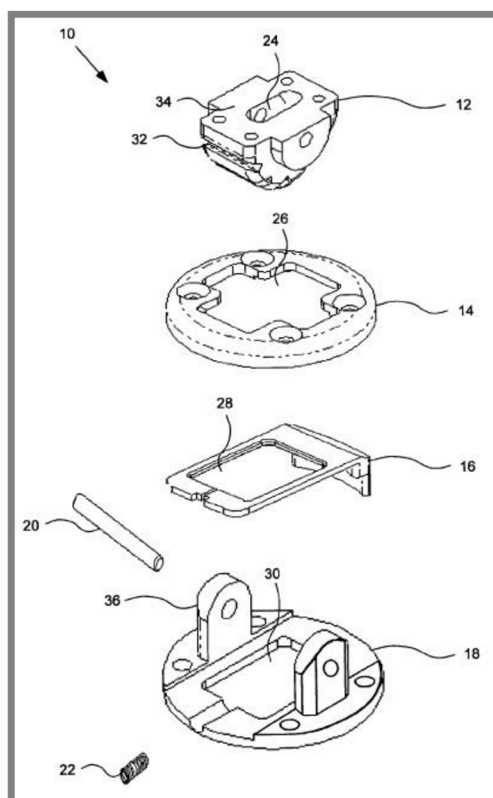
1.8.1

č. patentu: 7144430 B2, datum uznání: 5. 12. 2006, nabyvatel: Motion Control, Inc.
Tento patent řeší pohyb a uzamčení polohy protézy zápěstí ve smyslu flexe a extenze. Hlavními částmi kloubu jsou: základová deska (18), pohyblivá uzamykací destička (16), válcová část (12) s výřezy (32), hlavní osa (20) a krycí deska (14).

Flexně-extenzivní pohyb zajišťuje válcová část pohybující se na hlavní ose zasazené do základové desky. Válcová část má na svém povrchu řadu drážek, do kterých zapadá pohyblivá uzamykací destička. Uzamykací destička je v kontaktu s tlačnou pružinou, která zasouvá destičku do drážky v poloválcové části, a je zajištěna proti nechtěným pohybům krycí deskou.

Základová, uzamykatelná a krycí deska mají otvory takové velikosti a tvaru, aby v nich mohla být umístěna válcová část a tím bylo možno zkrátit délku zápěstní jednotky oproti používaným protézám s aretačními kuličkami nebo kolíky. Na poloválcové části je připevněna horní deska s vhodným tvarem pro umístění terminální jednotky. K horní desce mohou být připevněny zkrutné pružiny, které navrátí jednotku do výchozí polohy.

Všechny díly jsou uzpůsobeny k protažení kabelů k ovládání připojené bionické či myoelektrické protézy.



Obr. 14 Flex Wrist - patentová kresba

1.8.2 Multi-Flex Wrist

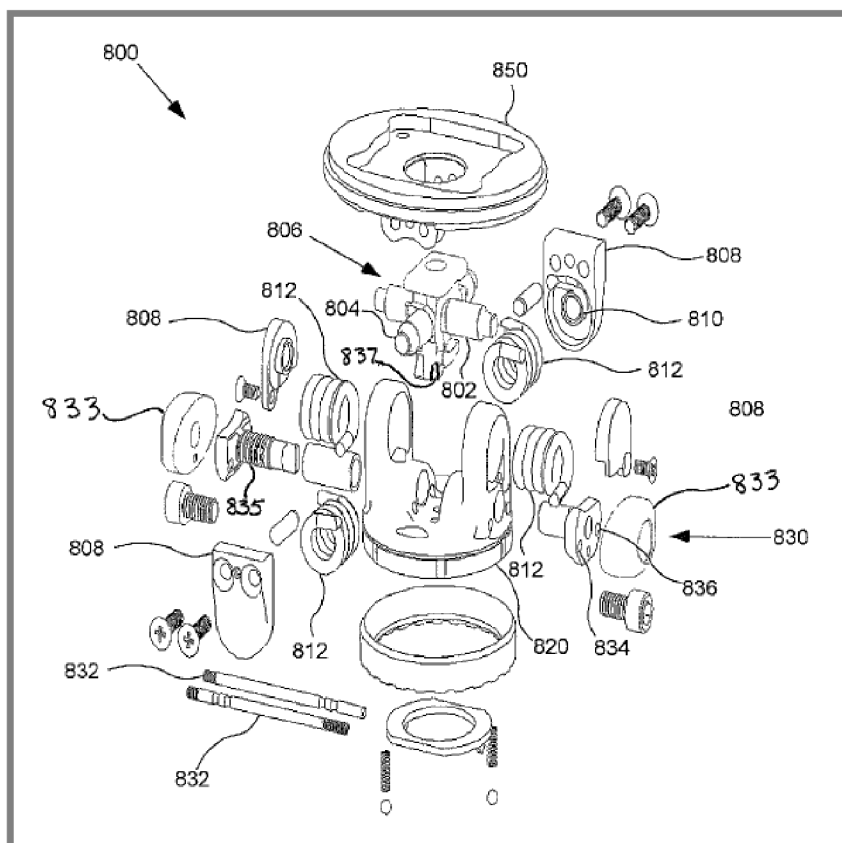
č. patentu: 7914587 B2, datum uznání: 29. 3. 2011, nabyvatel: Motion Control Inc.
Pod obchodním označením Multi-flex wrist je registrován patent rozšiřující původní, registrovaný v roce 2006 (Flex Wrist). Tato zápěstní protéza je také určena k použití s myoelektrickou či bionickou protézou ruky.

Náhrada zápěstí je složena ze základové desky (620), dále z křížové části (806) s dvěma osami (804,802) umožňující polohovatelnost a uzamykatelnost ve dvou směrech rotace, a to každou zvlášť i obě zároveň, a z pružin (812), nejlépe zkrutných na obou osách, které centrují polohu zápěstní jednotky. Patřičnou polohu zápěstí zajistí dvě zmíněné osy.

Pro aretaci v nastavené poloze je možno využít aretačního mechanismu složeného ze dvou pojistných tvarovaných kolíků (832), aretačních čepů (833) a pružin (835) na čepích. Při dosednutí tvarovaného kolíku na odpovídající místo křížové části, lze vsunout či vysunout uzamykací čep.

Mechanismus je vytvořen tak, že aretační čep může být vysunut pouze při nulovém zatížení a zároveň je to umožněno tlačnou pružinou. Nechtěné odemčení vyžaduje obrovskou sílu, protéza tak zůstává spolehlivá i při enormním zatížení.

I v tomto patentu jsou v každé potřebné části vytvořeny průchozí otvory pro protažení kabelů k bionické či myoelektrické protéze.



Obr. 15 Multi-Flex Wrist - patentová kresba

1.8.3 Multifunkční protéza

č.patentu:US 7048768 B1, datum uznání: 23.5.2006, nabyvatel: Rouse-J.H., Farquharson-R.H., Betts-Ch.G.

Multifunkční, tělem poháněná protéza zápěstí připojitelná ke konci protézy předloktí skýtá přes 270° rozsahu pronačně-supinační rotace s možností uzamknutí v mnoha polohách a rozsah 50° flexně-extenzivního pohybu se třemi uzamykatelnými polohami a rychloupínacím systémem pro koncová zařízení (128).

Aretační zámky jsou ovládány zdravou rukou nebo tělem tažnými kabely. Princip zamykání je obdobný u flexního i supinačního pohybu. Tělo jednotky vytvářejí dvě válcové dutiny (168). Každou dutinou prochází jeden kabel (23, 34) ukončený aretačními pohyblivými kolíky s drážkou.

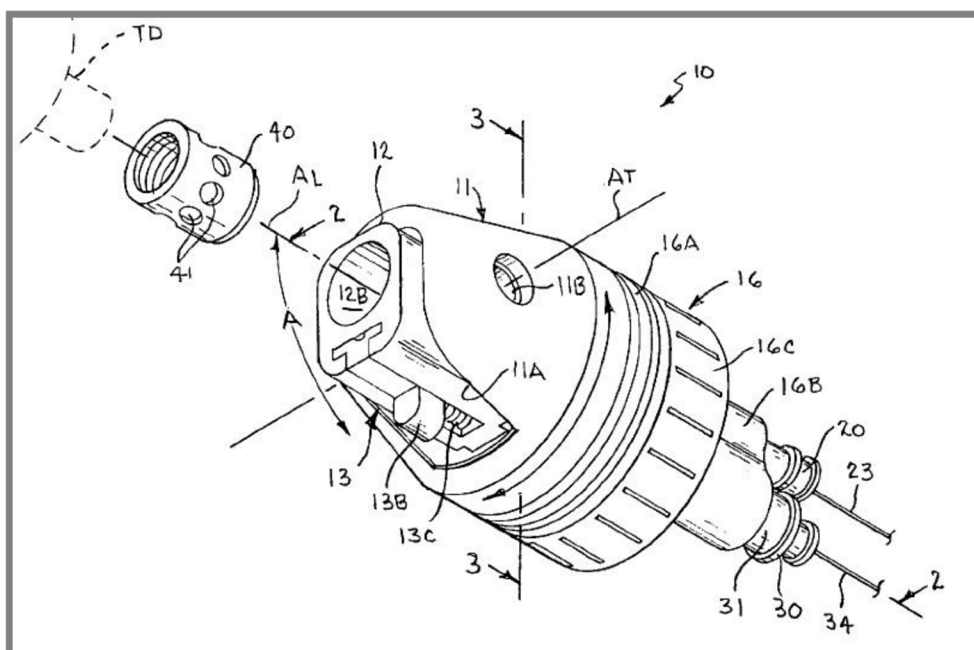
Tahem kabelu se kolík pohybuje proximálně proti tlačné pružině. Současně s posuvem kolík rotuje díky obvodové drážce a kontaktu se stavitelným šroubem, který dosedá do drážky. Šroub zajišťuje kolík v poloze odemčeno bez nutnosti stálého tahu.

Po odemknutí se nastaví patřičná poloha a dalším tahem kolík rotuje, působení pružiny nic nebrání a kolík se posune do polohy zamčeno.

Pro pronačně-supinační rotaci je použit disk se sadou kruhových otvorů rovnoměrně rozmístěných po kružnici. Do těchto otvorů zapadá první z aretačních kolíků. Pro snazší rotaci může být v kontaktu pohyblivé a nepohyblivé části využito valivých kuličkových elementů.

Flexně-extenzivní rotace je zajištěna částí s válcovým povrchem s třemi prohlubněmi na zakřivené části, do kterých zapadá druhý z aretačních kolíků. Válcová část má na distálním konci otvor (128) pro zasunutí adaptéru terminální pomůcky.

Zajištění terminální pomůcky je provedeno kuličkou, která je do otvoru vtlačována tlakem pružiny(13c) dosedající na pohyblivý ovladač(138). Ve všech pohyblivých mechanismech se mohou požit pružiny, ať už zkrutné nebo jiného typu, pro ulehčení navrácení do původní polohy.



Obr. 16 Multifunkční protéza - patentová kresba

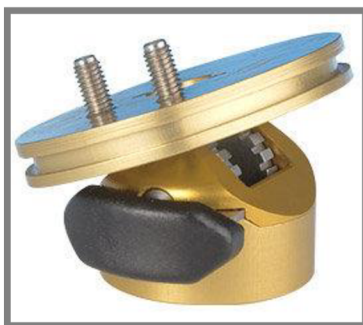
1.9 Příklady vyráběných protéz

1.9.1 Myowrist Transcarpal 10V38

Tato protéza od německého výrobce Ottobock může být aretována v pěti pozicích po 20° od -40° do $+40^\circ$. Tímto rozsahem zajišťuje fyziologicky přirozené pozice při práci s protézou a částečně redukuje potřebu nepřirozených kompenzačních pohybů při vykonávání monotónních činností. Pro připojení ruky je přidáno rychloupínací zařízení, které je možno kombinovat s elektricky poháněným rotačně-supinačným rotorem [12].

Protéza slouží k připojení výhradně jednoho typu myoelektrické protézy ruky, kterou vyrábí Ottobock.

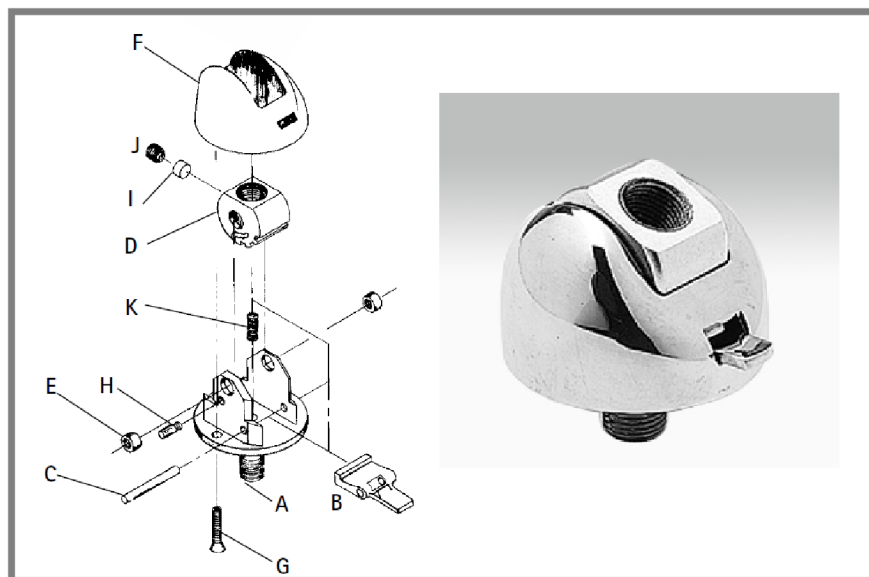
Výhodou je velký počet nastavitelných poloh a možnost kombinace s motorem.



Obr. 17 Protéza zápěstí Ottobock 10V38

1.9.2 Sierra Wrist Flex Unit

Na čepu této kloubní náhrady rotuje válcový segment s drážkami, celé zařízení je zakrytováno. Protéza skýtá aretaci ve třech flexních pozicích 0° , 25° nebo 50° . Ovládání aretace je zajištěno páčkou se západkou, která je pružinou tlačena do výřezu ve válcovém segmentu. Výhodou je možnost připojení velké řady terminálních pomůcek s patričným adaptérem [16].



Obr. 18 Protéza zápěstí Sierra Wrist Flex Unit

1.9.3 Flex Wrist

1.9.3

Popis je uveden v rozboru patentu.

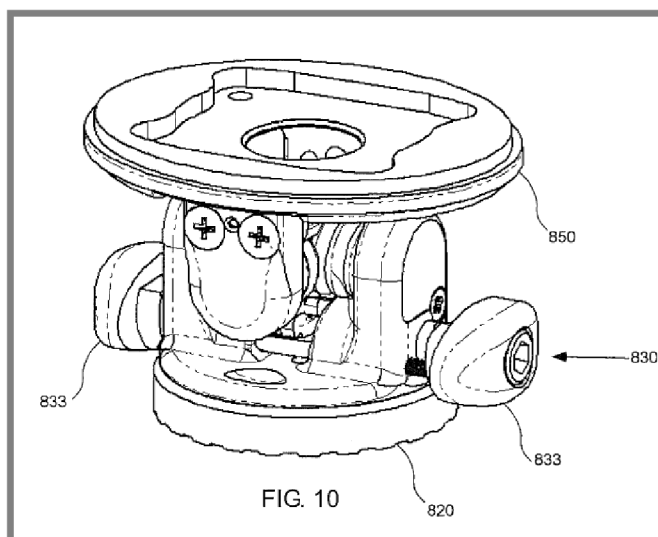


Obr. 19 Protéza zápěstí Flex Wrist

1.9.4 Multi-Flex Wrist

1.9.4

Popis je uveden v rozboru patentu.



Obr. 20 Protéza zápěstí Multi-Flex Wrist

1.9.5 MyoWrist 2Act 10V40

1.9.5

Umělé zápěstí 2Act bylo vyvinuto speciálně pro protézy Otto Bock System Electric Hands s adaptérem typu šroub za účelem dosažení co nejmenší možné výšky celého protetického celku. Flexe a extenze je možná v pěti uzamykatelných pozicích od -40° do $+40^\circ$ s 20° kroky. Rotace je zajištěna pasivně nebo elektrickým motorem [7].



Obr. 21 Protéza zápěstí Ottobock 2Act

1.10 Shrnutí zjištěných poznatků

Z provedené rešerše a rozboru současného stavu poznání vyplývá následující:

Většina komerčně dostupných protéz zápěstí s možností flexe/extenze užívá pro aretaci buď třecí mechanismus nebo tvarové spojení. Tvarové spojení se používá pro aplikace s větším zatížením. K ovládání aretace slouží stlačitelné prvky jako páky nebo tlačítka.

Počet nastavitelných poloh protéz zápěstí a úhlový rozsah poloh vykazuje značné rozdíly v závislosti na výrobcu i na modelu. Minimální počet stavitelných poloh by neměl být menší než tři. Vhodná je možnost nastavit zápěstí do pravého úhlu ve smyslu flexe, jelikož tato poloha umožňuje vykonávat protézou ruky úkony denní potřeby.

Terminální jednotky, tedy koncové nástroje, myoelektrické a bionické protézy rukou, se připojují k protézám zápěstí pomocí adaptérů (závity, destičky). Případně jsou protézy zápěstí zabudovány do kompaktní konstrukce.

2 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍLE PRÁCE

Protéza zápěstí umožňující pohyb ve smyslu flexe/extenze a aretaci zvyšuje funkčnost protézy ruky. Díky nastavení různých úhlů s možností aretace mohou pacienti po amputaci horních končetin vykonávat činnosti denní potřeby s mnohem menšími potížemi.

Vymezené cíle práce:

- Zjistit současný stav poznání v oblasti protéz zápěstí formou rešerše, a to i patentové
- Vytvořit konstrukční návrh protézy zápěstí, umožňující flexi/extenzi a aretaci, který se vymezuje vůči dosud registrovaným patentům
- Vyrobit funkční prototyp protézy zápěstí

Konstrukční návrh protézy splňující požadavky zadání by měl obsáhnout a řešit následující dílčí problémy:

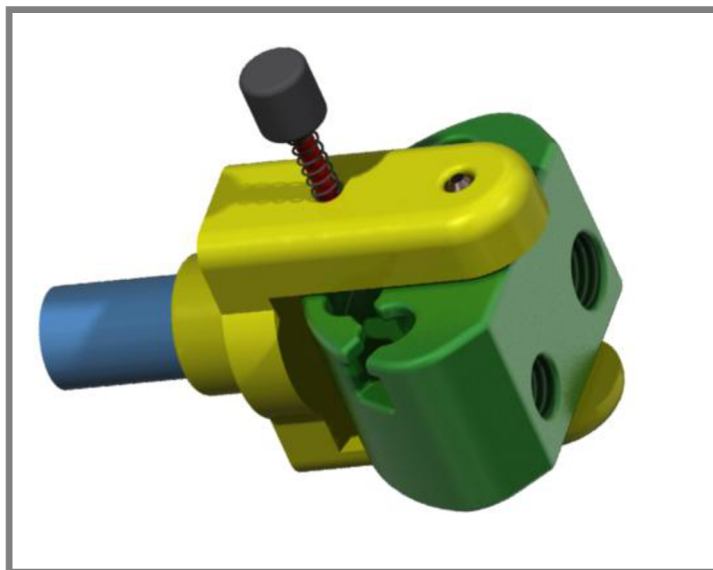
- Typ mechanismu zajišťující aretaci a jeho jednoduchost
- Počet nastavitelných poloh
- Velikost mechanismu zápěstí (omezena kosmetickou rukavičkou) a jeho hmotnost
- Způsob uložení mechanismu v protéze ruky
- Způsob napojení mechanismu zápěstí na náhradu předloktí
- Účelovost a možnost dalšího využití
- Dimenzování jednotlivých prvků mechanismu a technologie výroby

Jako náhrada předloktí je uvažována trubka, uchycená do lůžka na residuu končetiny. Délka trubky a tím maximální velikost pro protézu zápěstí a umělou ruku není zadána.

3 NÁVRH KONSTRUKČNÍCH ŘEŠENÍ

3.1 Varianta I

První varianta konstrukčního řešení je navržena tak, aby bylo možné k protéze zápěstí připojit koncové nástroje s adaptérem typu šroub M12×1,5, který evropští výrobci protéz horních končetin využívají i ve svých výrobcích [5] [6] [7]. Jako druhý adaptér byl zvolen M10×1,5.



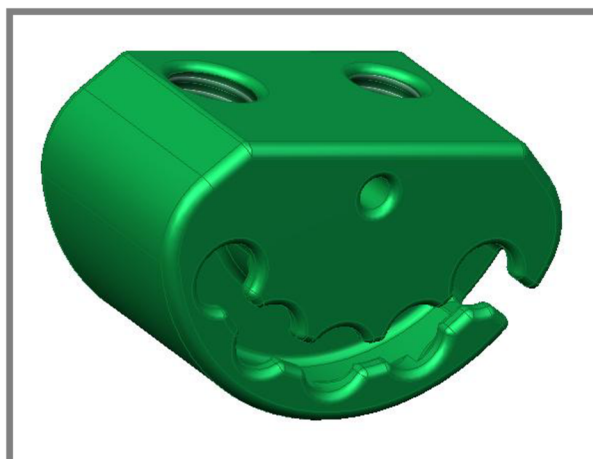
Obr. 22 Vizualizace varianty I

3.1.1 Návrh aretačního mechanismu

Aretace jednotlivých poloh zápěstí je zajištěna válcovým aretačním čepem, který dosedá do výřezů ve válcovém segmentu.

Aretační část na válcovém segmentu je složena z:

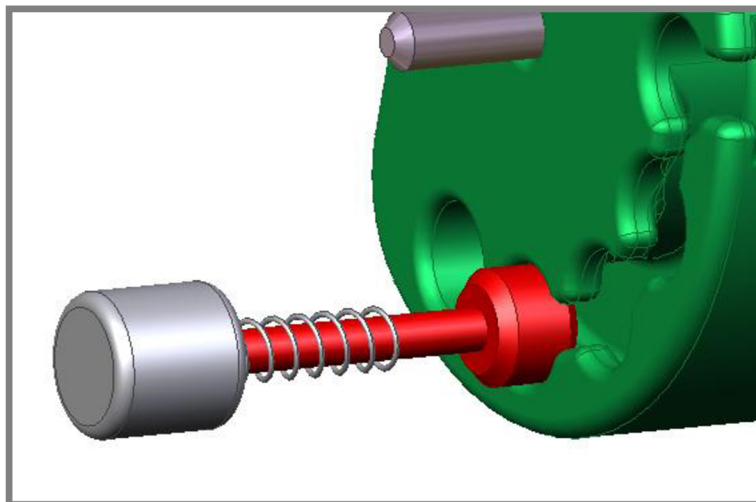
- kruhových otvorů pro hlavu aretačního čepu (5 poloh nastavení)
- větší drážky pro hlavu čepu
- menší drážky umožňující průchod krčku čepu



Obr. 23 Válcový segment varianty I

3.1.2 Popis ovládání aretace

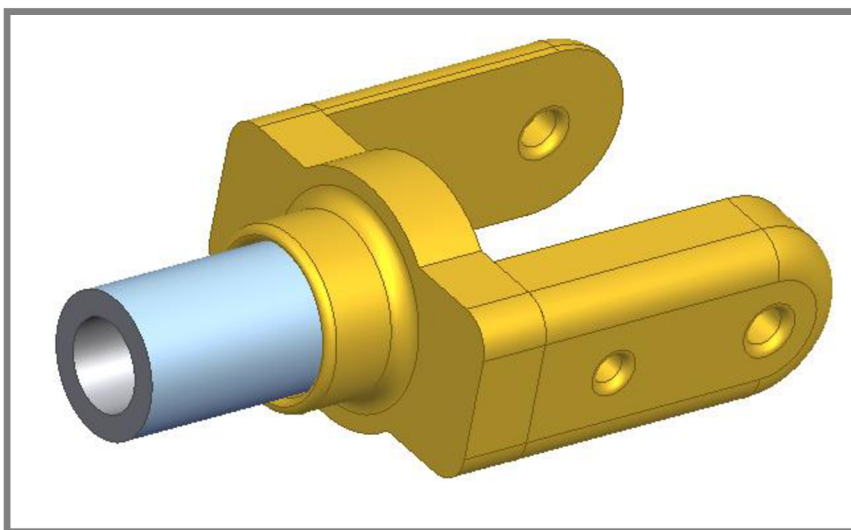
Zmačknutím tlačítka je posunut aretační čep tak, aby se jeho rozšířená část mohla pohybovat ve velké drážce válcového segmentu (odemčeno). Po nastavení patřičné polohy je uvolněn tlak na tlačítko, tlačná pružina, dosud zdeformovaná, posune tlačítko a s ním i aretační čep zpět (směrem od segmentu) a rozšířená část čepu vyplní otvor v segmentu a zahloubení v nepohyblivé části (zamčeno).



Obr. 24 Kontakt aretačních členů - zamknuto

3.1.3 Návrh spojení s horní končetinou

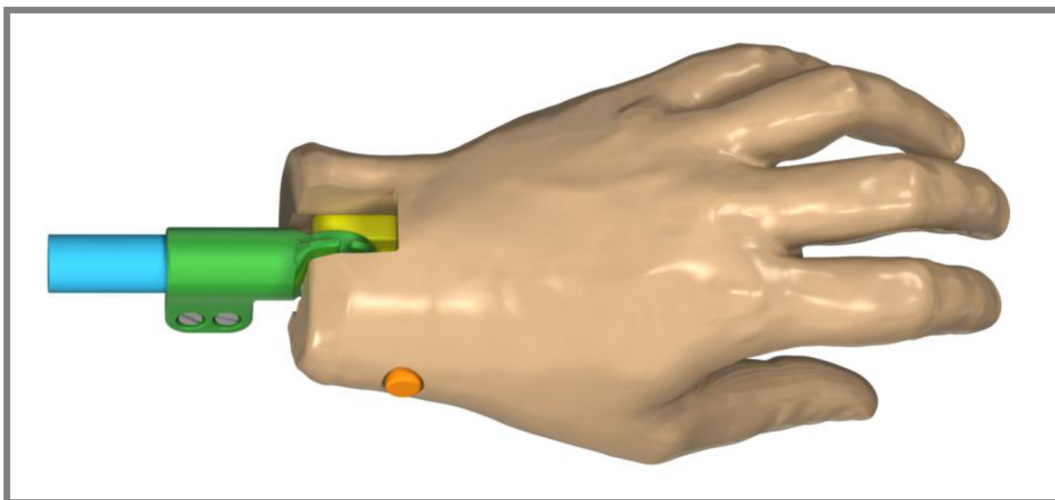
K pevnému spojení navrhovaného mechanismu k trubce je zvolen lepený spoj.



Obr. 25 Spojení základní desky a předloketní trubky

3.2 Varianta II

Varianta II využívá tvarového styku. Západka na aretační páce dosedá do mezery mezi zuby na válcovém segmentu. Při navrhování bylo uvažováno potažení umělé ruky kosmetickou rukavičkou přinášející specifické požadavky. Jedinou částí mechanismu zápěstí, která by narušovala povrch ruky, může být pouze tlačítko pro ovládání aretace. Toto tlačítko musí dostatečně přesahovat povrch ruky, aby ho bylo možné přes kosmetickou rukavičku jednoduše stisknout, ale zároveň nesmí příliš vyčnívat, aby nevytvářelo nepřirozený tvar ruky. Varianta II nepočítá s možným připojením adaptérů koncových nástrojů. Díly protézy zápěstí jsou vloženy a lepeny na umělou ruku.



Obr. 26 Vizualizace varianty I

3.3 Zhodnocení návrhů

Klady varianty I:

- Univerzálnost díky použití závitu pro adaptéry koncových nástrojů
- Snadná montáž

Zápory varianty I:

- Navržený aretační mechanismus vyžaduje větší prostor a celek tak přesahuje rozměry ruky dospělého muže
- Připojení na náhradu předloktí lepeným spojem bez možnosti nastavení
- Komplikovaná výroba otočného válcového segmentu

Klady varianty II:

- Jednoduchý mechanismus
- Snadno vyrobitelné součástky
- Připojení na náhradu předloktí s možností nastavení
- Snadná montáž

- Jednoduchými úpravami je možná optimalizace pro různé velikosti rukou a pro různé požadavky na polohovatelnost

Zápory varianty II:

- Není možné připojit terminální pomůcky pomocí adaptérů

Po porovnání obou návrhů s požadavky a zadáním bakalářské práce byla vybrána jako optimální varianta II. Tento návrh řešení bude dále zpracován v konstrukční části práce.

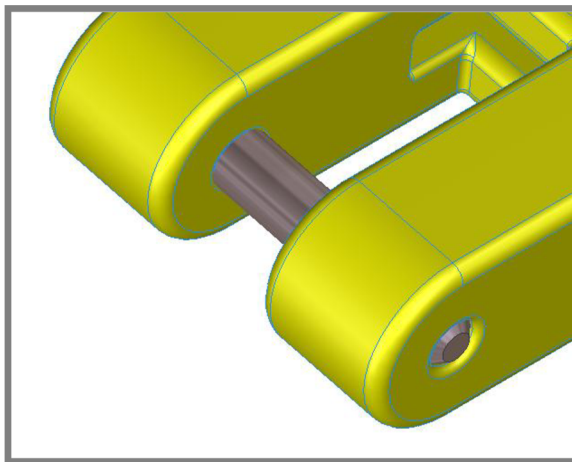
4 VÝSLEDNÉ KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Zde je rozpracován návrh konstrukční varianty II protézy zápěstí.

4.1 Popis konstrukce

4.1.1 Zajištění flexe a extenze

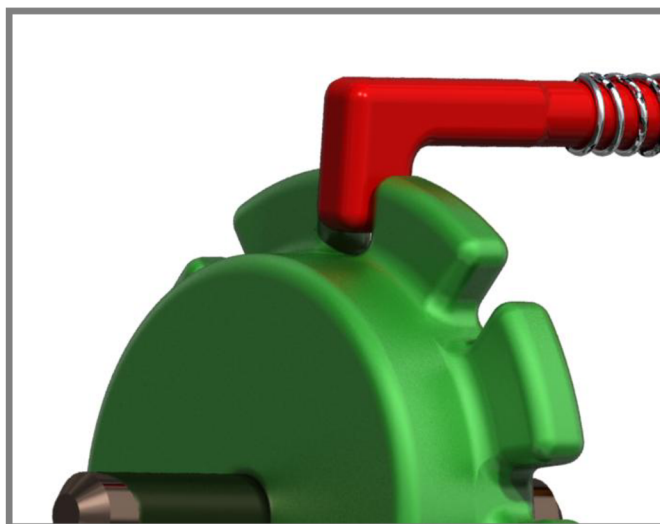
Osový čep procházející válcovým segmentem a vidlicovým dílem zajišťuje rotaci ve směru flexe a extenze.



Obr. 27 Uložení osového čepu

4.1.2 Návrh aretačního mechanismu

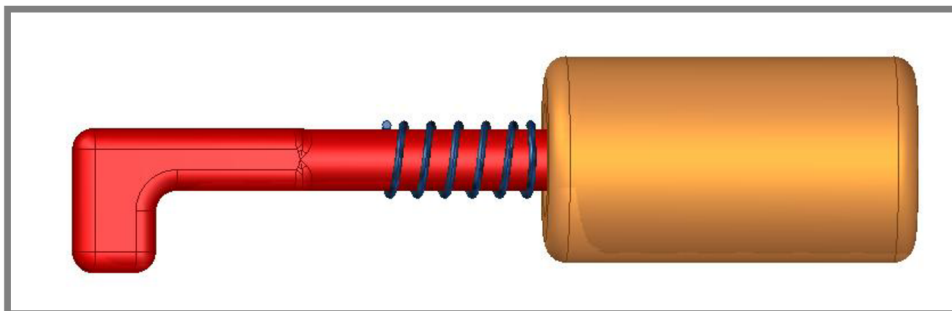
Nejdůležitějšími díly při aretaci a polohování jsou dvě části mechanismu: aretační páka se západkou a válcový segment s drážkami a zuby. Drážky na segmentu mají takovou velikost a tvar, aby do nich mohla být zasunuta západka aretační páky, v tom případě je mechanismus uzamčen. Pro odemknutí mechanismu je nutno západku vysunout mimo drážku a zuby.



Obr. 28 Kontakt aretačních prvků

4.1.3 Aretační páka

Část aretační páky má obdélníkový průřez a její obvodové plochy líčují s plochami čtvercového otvoru a zahloubení ve vidlicové části, tím se zajistí pohyb páky pouze v axiálním směru. Pokud by nebylo zabráněno rotaci kolem podélné osy páky, mechanismus aretace by byl nefunkční. Konec části s obdélníkovým průřezem tvoří západka.



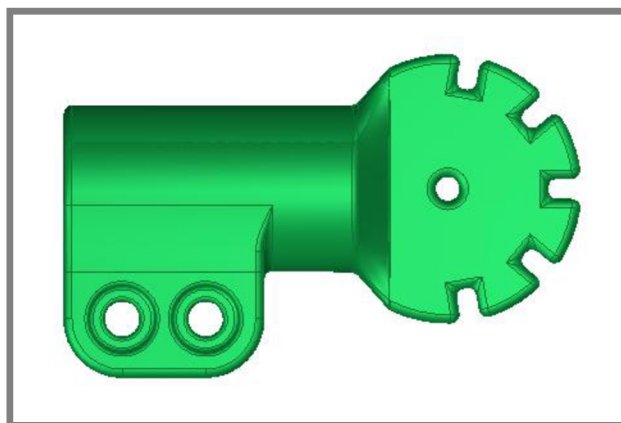
Obr. 27 Aretační páka s pružinou a tlačítkem

Na válcové části páky je nasazena tlačná pružina a přilepeno tlačítko. Tlačná pružina na aretační páce slouží k posouvání páky do polohy zamčeno. Pokud je mechanismus zamknut, působí pružina proti samovolnému odemknutí.

4.1.4 Válcový segment, rozsah poloh

Aretační část válcového segmentu se skládá z válcového prvku, na kterém jsou umístěny zuby a drážky. Počet drážek a vzájemná úhlová vzdálenost určuje počet poloh, ve kterých může být mechanismus aretován, a rozsah pohybu.

V tomto případě je zvolen počet drážek 5 s rozestupem 40° , maximální úhel natočení tak činí 80° pro flexi i extenzi. Při nastavení do prostřední drážky se dosáhne neutrální polohy bez natočení.



Obr. 28 Válcový segment

Druhá, dutá, část válcového segmentu slouží k připojení na náhradu předloktí. Společně s dvěma šrouby a maticemi, které jsou do tělesa zapuštěny, tvoří tato část objímku.

4.1.5 Popis ovládání aretace

Výchozí stav je zamknutý mechanismus. Zamáčknutím tlačítka je stlačena pružina a aretační páka posunuta. Aretační západka se tak nachází mimo zuby válcového segmentu, tím je mechanismus odemknut. Při stálém stisku tlačítka se nastaví požadovaná poloha. Po nastavení polohy a následném uvolnění tlaku na tlačítko, vrací stlačená pružina aretační páku se západkou zpět do drážky ve válcovém segmentu. Pokud nastavená poloha neumožňuje zamknutí, při prvním překrytí západky a drážky se tak stane samo působením pružiny.



Obr. 29 Schéma postupu aretace

4.2 Výroba prototypu protézy

4.2.1 Použité materiály

Pro výrobu vidlicové části, válcového segmentu a tlačítka byla využita technologie rapid prototyping za použití **ABS plastu**.

Aretační páka a osový čep jsou vyrobeny z **ocele**.

4.2.2 Postup výroby dílů

Díly z ABS plastu byly vytištěny na tiskárně Dimension uPrint, a bylo je třeba před montáží upravit. Výrazné nerovnosti byly hrubě odstraněny, poté byla na povrch nanášena vrstva akrylového tmelu ve spreji. Tmel ve spreji zaplní nerovnosti vzniklé vrstvením ABS plastu. Po třech cyklech aplikace tmelu a vysychání byl povrch dílů zbroušen a funkční rozměry upraveny do požadovaných hodnot. Předtíštěné díry pro umístění čepů a šroubů byly vyvrtány na předepsané průměry.

Osový čep byl ušitřihnut z ocelového drátu o průměru 4 mm.

Z ocelového plechu tloušťky 3 mm byl vytvořen polotovar aretační páky, který byl dále obroben a obroušen do požadovaných rozměrů.

4.2.3 Montáž prototypu

Vidlicová část byla nasunuta na válcový segment, tak aby lícovaly vyvrtané otvory pro umístění osového čepu. Do otvorů ve vidlicové části byl čep přilepen silikonem

z tavné pistole. Vidlicová část, s připojeným válcovým segmentem a osovým čepem, byla vložena do výřezu umělé ruky a přilepena sekundovým lepidlem. Aretační páka byla otvorem na jedné straně ruky zasunuta do funkční polohy vzhledem k válcovému segmentu. Na válcový konec páky byla nasunuta tlačná pružina a přilepeno tlačítko tak, aby byla zajištěna správná poloha tlačítka vůči povrchu umělé ruky. Protéza zápěstí s připevněnou rukou byla umístěna na náhradu předloktí – trubku – pomocí duté části válcového segmentu – objímky. Pro pevné uložení na trubce byla objímka stažena dvěma šrouby.

5 DISKUZE

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout konstrukční řešení protézy zápěstí umožňující rotaci ve smyslu flexe a extenze s možností aretace a tento návrh dále realizovat vytvořením funkčního prototypu.

Konstrukční řešení bylo vypracováno po důkladné analýze především zahraničního trhu a rešerši patentů. Vybrané modely předních výrobců a nejdůležitější patenty jsou uvedeny v teoretické části této práce.

Optimální konstrukce protézy zápěstí byla navržena s aretací v podobě tvarového styku drážky a západky. Tvarový styk byl zvolen z důvodu spolehlivosti i při větším zatížení. Aretační mechanismus je ovládaný stiskem tlačítka a umožňuje nastavení a uzamknutí v pěti různých polohách. Mechanismus se vkládá do umělé ruky a po montáži všech dílů je nerozebíratelně spojen s rukou lepenými spoji. Spojení mechanismu s náhradou předloktí je zajištěno objímkou a dvěma šrouby.

Velikost protézy zápěstí je dimenzována pro ruku dospělého muže.

Pět aretačních poloh v celkovém rozsahu 160° odpovídá přibližně rozsahu pohybu zdravého zápěstí [2], což protézu činí z tohoto hlediska dostatečně funkční k reálnému uplatnění.

Díly pro prototyp byly vyrobeny z ABS plastu technologií rapid prototyping. Dva díly byly vyrobeny z ocelových polotovarů klasickým obráběním. Výroba dílů z plastu byla zvolena kvůli jednoduchému spojení mezi 3D návrhem a hotovými díly. Pro návrh konstrukce byl využit program Autodesk Inventor Professional 2012 a výkresová dokumentace byla zpracována s pomocí programu AutoCAD Mechanical 2012. Pro reálně uplatnitelnou protézu by musely být díly podílející se na aretaci vyrobeny z lehkého ale pevného kovu, aby byla zaručena dostatečná bezpečnost i při vysokém zatížení.

Výhodou zpracovaného konstrukčního řešení je jednoduchý mechanismus, snadná montáž, rychlé upevnění v umělé ruce, napojení na předloketní náhradu stavitelnou objímkou a v neposlední řadě také kompaktní rozměr protézy.

Nevýhodou zpracovaného konstrukčního řešení je pevné spojení protézy zápěstí s umělou rukou, které neumožňuje demontáž např. za účelem údržby nebo výměny vadného dílu.

Výsledné konstrukční řešení této práce přichází s novým typem tvarového styku aretačních prvků, který není součástí žádného prodávaného celku ani není součástí dosud registrovaných patentů. V tomto směru může být tato bakalářská práce chápána jako přínos pro protetiku horních končetin.

6 ZÁVĚR

Byl vytvořen konstrukční návrh polohovatelného kloubu protézy horní končetiny, který přichází s inovativním řešením nastavení polohy a aretace.

K ověření funkčnosti návrhu byl udělán prototyp, jehož komponenty byly vytvořeny technologií rapid prototyping, případně obráběním.

Výsledky této bakalářské práce mají jsou aplikovatelné do reality. Konstrukční návrh by mohl být využíván pacienty s krátkými residui horních končetin, kteří využívají jako náhradu předloktí tubulární prvky.

Dalším krokem k řešení daného tématu je určení kritických míst jednotlivých komponent kloubu např. metodou konečných prvků a jejich případná eliminace. Na podobnou analýzu není v této bakalářské práci prostor, může být námětem dalšího zpracování.

SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 1 Anatomie zápěstí	14
Obr. 2 Radiokarpální kloubní spojení	15
Obr. 3 Mediokarpální kloubní spojení	15
Obr. 4,5 Flexe, extenze	16
Obr. 6 Koncové nástroje	17
Obr. 7 Myoelektrická protéza Ottobock	18
Obr. 8 Bionická protéza bebionic	18
Obr. 9 Kosmetická rukavička	19
Obr. 10 Třecí P-S protéza	20
Obr. 11 Tvarová P-S protéza	20
Obr. 12 Napojení protéz na náhradu předloktí	21
Obr. 13 Elektrický motor Standard MC Rotator	23
Obr. 14 Flex Wrist - patentová kresba	25
Obr. 15 Multi-Flex Wrist - patentová kresba	26
Obr. 16 Multifunkční protéza - patentová kresba	27
Obr. 17 Protéza zápěstí Ottobock 10V38	28
Obr. 18 Protéza zápěstí Sierra Wrist Flex Unit	28
Obr. 19 Protéza zápěstí Flex Wrist	29
Obr. 20 Protéza zápěstí Multi-Flex Wrist	29
Obr. 21 Protéza zápěstí Ottobock 2Act	29
Obr. 22 Vizualizace varianty I	32
Obr. 23 Válcový segment varianty I	32
Obr. 24 Kontakt aretačních členů - zamknuto	33
Obr. 25 Spojení základní desky a předloketní trubky	33
Obr. 26 Vizualizace varianty I	34
Obr. 27 Uložení osového čepu	36
Obr. 28 Kontakt aretačních prvků	36
Obr. 27 Aretační páka s pružinou a tlačítkem	37
Obr. 28 Válcový segment	37
Obr. 29 Schéma postupu aretace	38

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Velikosti protéz zápěstí

24

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

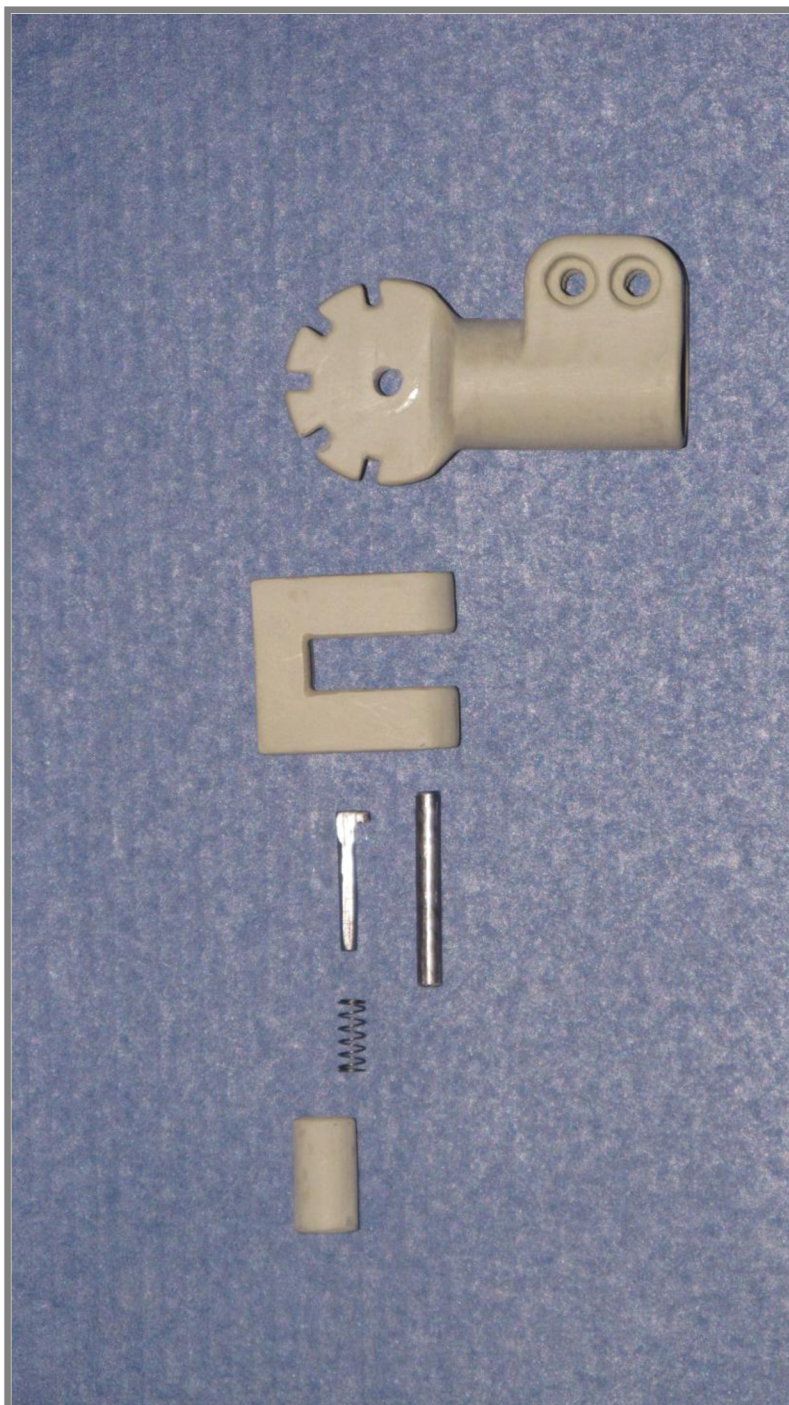
7.1 Seznam použitých zkratek a symbolů

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] LUŇÁČEK, L. – KONEČNÝ, J. – MACHÁLEK, L. *Fotografický interaktivní atlas člověka*. [online] Ver. 4.0 (cit. 2014-04-30). URL <<http://www.atlascloveka.upol.cz/cs/cs02/cs0201/cs020101.html#o22>>.
- [2] Anonymous. *Kompendium anatomie: Klouby ruky* [online]. Univerzita Karlova v Praze - Fakulta tělesné výchovy a sportu - Katedra anatomie a biomechaniky. [2010?] (cit. 2014-04-05). URL <http://biomech.ftvs.cuni.cz/pbpbk/kompendium/anatomie/hk_ruka_klouby.php>.
- [3] SMETANOVÁ, K. *Amputace v historii lidstva* [Online]. Masarykova Univerzita - Přírodovědecká fakulta - Ústav Antropologie. 2010 (cit. 2014-04-05). URL <http://is.muni.cz/th/269055/prif_b/Kristyna_Smetanova_-_Bakalarska_prace.txt>.
- [4] SMITH, D. G. – MICHAEL, J. W. – BOWKER, J. H. *Atlas of Amputations and Limb Deficiencies: Surgical, Prosthetic, and Rehabilitation Principles*. American Academy of Orthopaedic Surgeons. 3. vyd. American Academy of Orthopaedic Surgeons, 2004. 965 s. ISBN 0-89203-313-4.
- [5] *Fillauer Companies Catalog PDF*. Fillauer Companies, Inc. 572 s [online]. Ver. 012 (cit. 2014-04-19). URL <<http://fillauer.com/Supplies/>>.
- [6] *Upper limb catalouge*. RSL Steeper Group Limited. 174 s. [online]. Ver. 2014 (cit. 2014-04-25). URL <http://rslsteeper.com/uploads/files/157/upper_limb_catalogue.pdf>.
- [7] *Prosthetics Upper Limb: Catalogue*. Otto Bock HealthCare GmbH. 390 s. [online]. [2014?] (cit. 2014-04-20). URL <http://www.ottobock.com/cps/rde/xbcr/ob_com_en/646K6-GB-03-1205w.pdf>.
- [8] PAIGEROVÁ, Mgr. M. Ortopedická protetika. *Srovnání jednotlivých typů protéz horních končetin*. [online] 1999. (cit. 2014-04-10). URL <<http://www.ortotikaprotetika.cz/oldweb/Wc1dfa89a7ea17.htm>>.
- [9] *bebionic3 Product Brochure*. RSL Steeper Group Limited. 20 s. [online]. Ver. 2013 (cit. 2014-04-10). URL <http://bebionic.com/uploads/files/bebionic3_Product_Brochure_web1.pdf>.
- [10] Otto Bock ČR, s.r.o. Život s Michelangelem. *Úchopy ruky*. [online]. 2014 (cit. 2014-04-10). URL <<http://www.zivot-s-michelangelem.cz/cs/uchopy-ruky/>>.

- [11] Otto Bock ČR, s.r.o. *Kosmetické protézy horních končetin*. [online]. 2014 (cit. 2014-04-10).
URL <http://www.ottobock.cz/cps/rde/xchg/ob_cz_cs/hs.xsl/1941.html>.
- [12] *MyoWrist Transcarpal 10V38*. Otto Bock HealthCare GmbH. 52 s. [online] Ver. 2014 (cit. 2014-04-02).
URL <http://www.ottobock.com/cps/rde/xbcr/ob_com_en/ifu_647g351_myocarpal_10v38.pdf>.
- [13] *Prosthetist Instructions for the MC Wrist Rotator & Pro Wrist Controller*. Motion Control, Inc. 8 s. [online]. Ver. 2013 (cit. 2014-04-15).
URL <http://www.utaharm.com/files/?module=fileman_myfiles§ion=ajax&page=download&path=%2FROOT%2FHOME%2FWrist%20Options&filename=Prosthetist-Wrist-Instructions-Jan2013.pdf>.
- [14] Liberating Technologies, Inc. *Wrist Rotator for use with Adult Hands* [online]. [2014?]
(cit. 2014-04-15).
URL <http://www.liberatingtech.com/products/wrist/Wrist_Rotator_for_use_with_Adult_Hands.asp>.
- [15] KYBERD P. J., et al. Two-degree-of-freedom powered prosthetic wrist. *Journal of Rehabilitation Research & Development* [online]. July 2011, vol. 48, no. 6. s. 609 (cit. 2014-04-15).
URL <<http://www.rehab.research.va.gov/jour/11/486/page609.html>>.
- [16] Sierra Wrist Flex Unit. OrtoPed Inc. 2 s. [online]. 2009 (cit. 2014-04-16).
URL <http://www.ortoped.ca/pdf/Hosmer_Sierra-Wrist-Flex-Unit.pdf>.

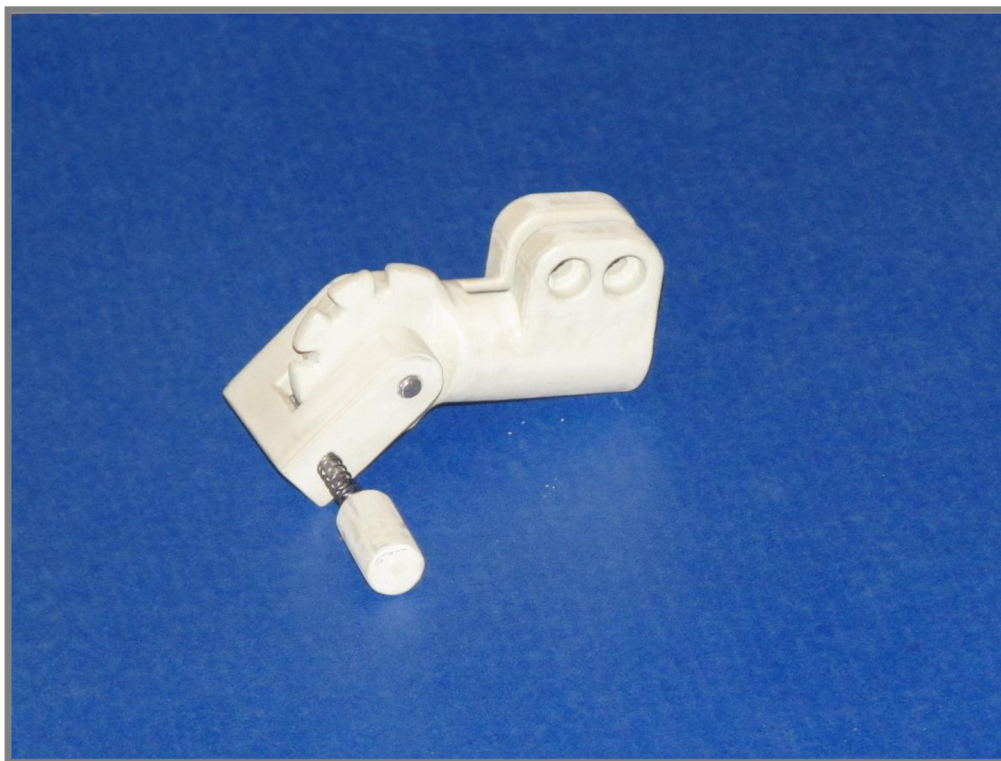
Příloha 1 Díly připravené k montáži



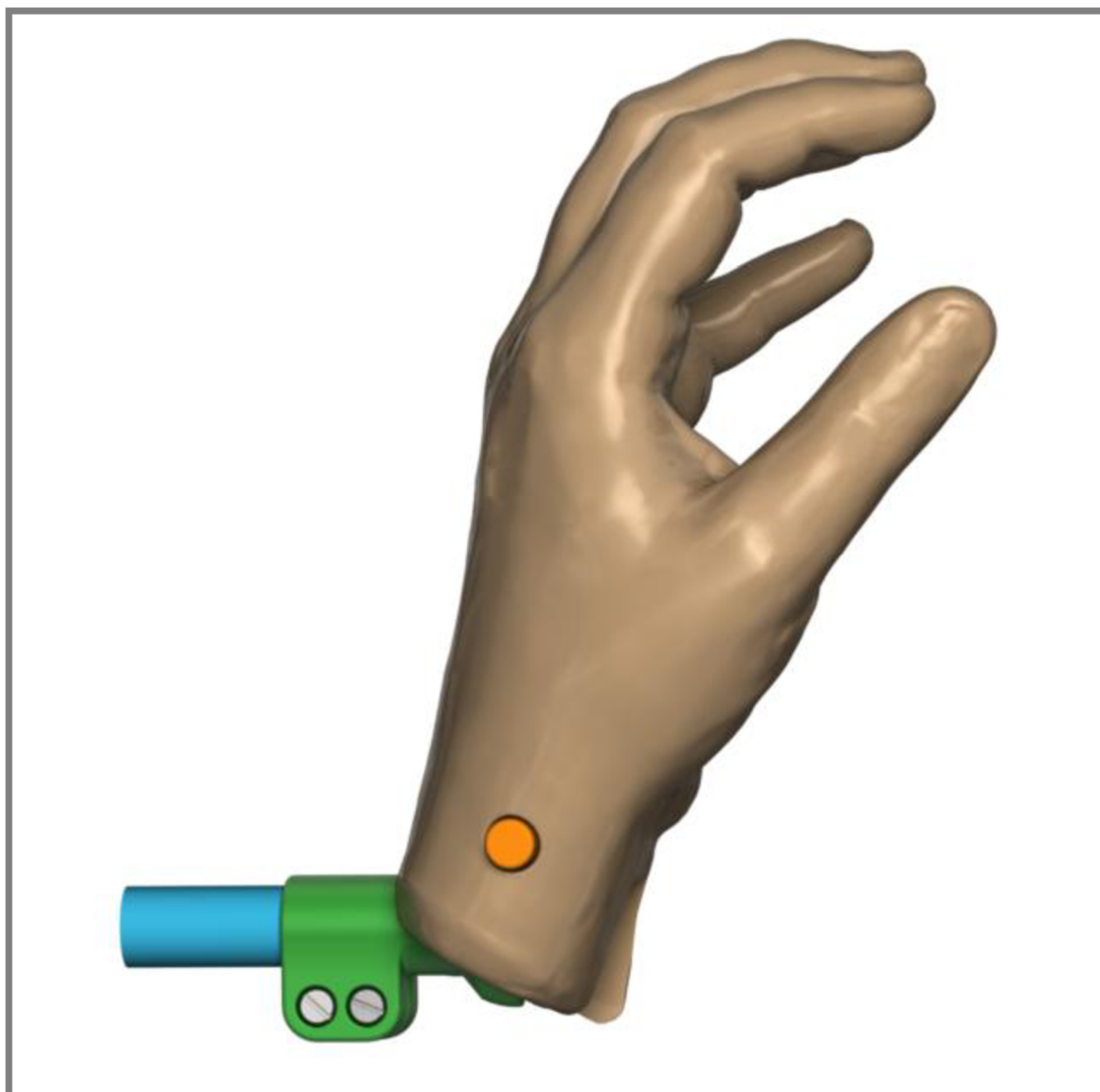
Příloha 2 Montáž osového čepu



Příloha 3 Kompletní montáž mechanismu



Příloha 4 Vizualizace konstrukčního řešení extenze



Příloha 5 Vizualizace konstrukčního řešení flexe

