



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

NÁVRH MECHANISMU PRO ZAJIŠTĚNÍ PRONACE A SUPINACE PROTÉZY HORNÍ KONČETINY

DESIGN OF MECHANISM FOR PRONATION AND SUPINATION OF THE UPPER LIMB
PROSTHESES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

DAVID REBENDA

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): David Rebenda

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:

Návrh mechanismu pro zajištění pronace a supinace protézy horní končetiny

v anglickém jazyce:

Design of mechanism for pronation and supination of the upper limb prostheses

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je konstrukční návrh mechanismu, který zajišťuje pronaci a supinaci protézy horní končetiny. Součástí řešení je ověření funkce mechanismu na reálném prototypu, konstrukce aretace a uložení.

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, 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.fime.vutbr.cz/BP_DP/Zasady_VSKP_2014.pdf

Šablona práce: http://dokumenty.uk.fime.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: doc. 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

ABSTRAKT

Cílem této práce je návrh mechanismu pro zajištění pronace a supinace protézy horní končetiny a jeho následná realizace v podobě funkčního vzorku. Práce ve své teoretické části shrnuje základní typy amputací předloktí horní končetiny a jejich vliv na omezení rotace předloktí. Dále popisuje základní rozdělení protéz horní končetiny a typů pohonů. Konstrukční návrh včetně kompletní výkresové dokumentace je zpracován v programech Autodesk Inventor Professional 2013 a Rhinoceros 5.0 SR8. Prototyp bude vyroben z duralu a plastu ABS.

KLÍČOVÁ SLOVA

amputace, protéza horní končetiny, pronace, supinace, Inventor, Rhinoceros

ABSTRACT

The goal of of this work is to propose a mechanism for pronation and supination of the upper limb prosthesis and its subsequent implementation of functional prototype. The teoretical part summarizes the basic types of forearm amputation and the effect of restricting rotation of the forearm. It also describes the basic distribution of upper limb prostheses and drive types. Construction design includ complete technical documentation is made in Autodesk Inventor Professional 2013 and Rhinoceros 5.0 SR8. The prototype is made of aluminium and ABS plastic.

KEY WORDS

amputation, upper limb prosthesis, pronation, supiantion, Inventor, Rhinoceros

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

REBENDA, D. *Návrh mechanismu pro zajištění pronace a supinace protézy horní končetiny*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 39 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. David Paloušek, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci Návrh mechanismu pro zajištění pronace a supinace protézy horní končetiny vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. David Palouška Ph.D. a v seznamu zdrojů jsem uvedl všechny použité literární a odborné zdroje.

.....
Datum

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mojí bakalářské práce doc. Ing. Davidu Palouškovi, Ph.D. za odborné vedení, připomínky, technickou podporu a trpělivost. Také bych rád poděkoval rodině a přátelům za podporu nejen při řešení bakalářské práce ale i v průběhu celého studia.

OBSAH

1 ÚVOD	19
2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	20
2.1 Amputace	20
2.2 Úrovně amputací na předloktí horní končetiny	20
2.2.1 Exartikulace zápěstí	20
2.2.2 Transradiální amputace	20
2.2.3. Exartikulace v lokti	20
2.3 Pronace a supinace	21
2.3.1 Pronace	21
2.3.2 Supinace	21
2.4 Protéza horní končetiny	22
2.4.1 Požadavky na protézu	22
2.4.2 Pahýlové lůžko	22
2.4.3 Vlastní náhrada	23
2.4.4 Terminální pomůcka	23
2.4.5 Osseointegrace	24
2.5 Rozdělení protéz ruky dle mechanické funkčnosti	25
2.5.1 Myoelektrické protézy	25
2.5.2 Tahové protézy	26
2.5.3 Kosmetické protézy	26
2.5.4 Hybridní protéz	27
2.6 Typy pohonů protéz	27
2.6.1 Elektromotory	27
2.6.2 Piezoelektrické motory	27
2.6.3 Pneumatické umělé svaly	28
3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE	29
4 NÁVRH KONSTRUKČNÍCH ŘEŠENÍ	30
4.1 První varianta	30
4.2 Druhá varianta	31
4.3 Třetí varianta	31
4.4 Výběr varianty	32

5 VÝSLEDNÉ KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	33
5.1 Lůžko	33
5.2 Spodní díl	35
5.3 Víčko	35
5.4 Šoupátko	35
5.5 Tyč	35
5.6 Princip mechanismu	35
6 DISKUZE	37
7 ZÁVĚR	38
8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	39
9 SEZNAM OBRÁZKŮ	41
10 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMOLŮ	42
11 SEZNAM PŘÍLOH	43

1 ÚVOD

Při amputaci horní končetiny dochází k zásadním změnám v psychice a životním stylu člověka. Ačkoli medicína v posledních několika dekadách významně pokročila v oblasti záchrany lidských končetin, stále existuje mnoho případů, kdy je amputace jediným možným řešením. Protéza by měla dopomoci pacientům k náhradě funkčnosti ztracené končetiny a k co možná nejsnadnějšímu návratu k běžnému životu. Na protézy horních končetin jsou kladeny velké požadavky z hlediska funkčnosti, komfortu používání a v neposlední řadě také vzhledu.

V oblasti protetiky dochází v posledních desetiletích k velkému progresu zejména díky rozvoji biomechaniky, vzniku nových, zejména kompozitních, materiálů, apod. Tyto objevy umožňují vznik a vývoj stále dokonalejších protéz, které jsou schopny téměř dokonale nahradit funkce ztracené končetiny. Výzkumy v oblasti protetiky ukazují, že během několika následujících let bude možné pomocí protéz zprostředkovat i pocitové vjemy z doteku různých materiálů.

Pronace a supinace, jakožto pohyby zajišťující rotace předloktí, patří k základním pohybům horní končetiny. Napomáhají zejména k nastavení ruky do pracovní polohy a při manipulaci končetiny s předměty. Z těchto důvodů je velmi důležité, díky protézám horních končetin, tyto pohyby u amputované končetiny pokud možno v co největším rozsahu obnovit.

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

2.1 Amputace

Amputace znamená odstranění části nebo i celé končetiny lidského těla včetně krytu měkkých tkání s přerušením skeletu a to buď v důsledku úrazu, nebo chirurgicky. Účelem amputace jsou nejčastěji eliminace onemocnění nebo odstranění funkčního postižení [1].

Nejčastějšími příčinami amputace jsou [2]:

- traumata
- oběhové poruchy
- zánětlivá onemocnění
- gangrény
- nádory
- vrozené vývojové vady

2.2 Úrovně amputací na předloktí horní končetiny

2.2.1 Exartikulace zápěstí

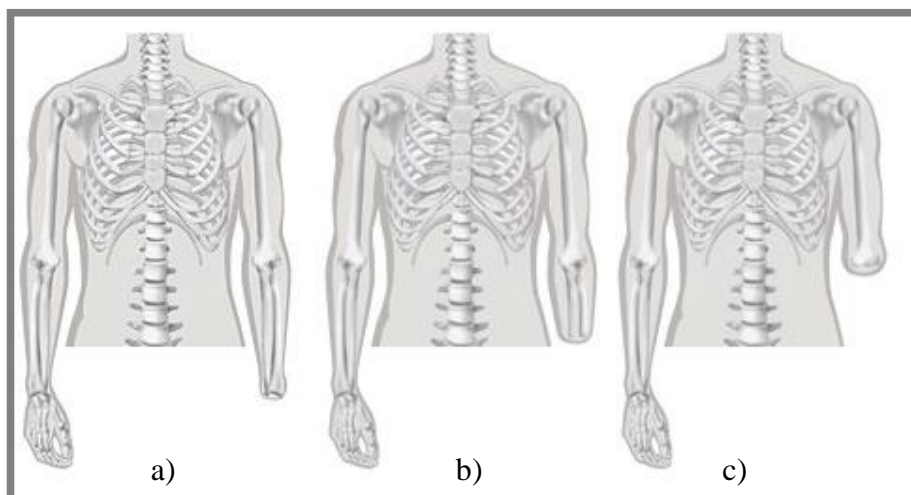
Amputace ruky mezi ulnou, radiem a proximální řadou karpálních kůstek. Zanechaný amputační pahýl umožňuje konání pronace i supinace předloktí. Poskytuje též dlouhou páku, která usnadňuje zvedání koncové pomůcky. Tento typ amputace není příliš častý vzhledem k problematice protézování [2],[3].

2.2.2 Transradiální amputace

Při transradiální amputaci dochází k přerušení ulny a radia. Důležité je zachování co nejdelšího pahýlu, který poskytne silné rameno páky a maximální pronaci a supinaci. Zachování aktivní rotace předloktí snižuje potřebu rotace zápěstí protézy. U dlouhého pahýlu nejsou pronace a supinace příliš omezeny, naopak u krátkého a velmi krátkého pahýlu dochází ke značnému omezení rotace předloktí. Pokud je pahýl příliš krátký, nedá se funkčně využít. Krátký pahýl rovněž poskytuje malé rameno pro ovládání protézy [3].

2.2.3. Exartikulace v lokti

Amputace provedená v kloubním pouzdře mezi humerem a ulnou. V porovnání s dlouhým pažním pahýlem má výhodu ve skeletárním zavěšení, které umožňuje pevnější držení objímky protézy. Objímka tak lépe přenáší rotační pohyby paže na protézu. Zachování celé délky humeru omezuje použití náhrady loketního kloubu. Ta musí být umístěna pod pahýlovým lůžkem a zvyšuje celkovou délku končetiny. Celkový vzhled je tedy pro amputovaného méně přijatelný [3].



Obr. 1 a) exartikulace v zápěstí, b) transradiální amputace, c) exartikulace v lokti [4]

2.3 Pronace a supinace

2.3

2.3.1 Pronace

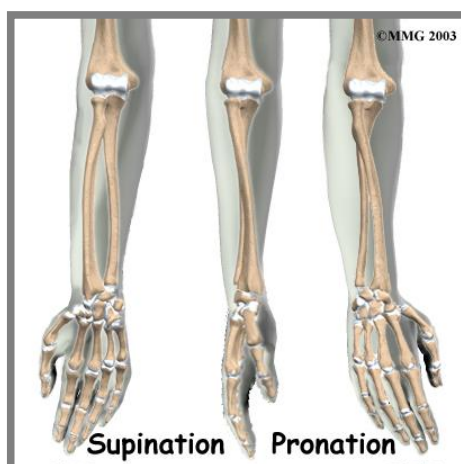
Pohyb předloktí, při kterém se kost vřetenní obtáčí kolem kosti loketní. Při plné pronaci jsou obě kosti překříženy v podobě písmene X. Rozsah pronace je závislý na spoluúčasti dalších kloubů a lopatky. Při zapojení pouze loketní a vřetenní kosti je rozsah přibližně 150°, při spoluúčasti zmíněných kloubů až 360°. Pronace je spíše úvodní a svojí povahou statická aktivita, která napomáhá nastavit ruku do pracovní polohy [5].

2.3.1

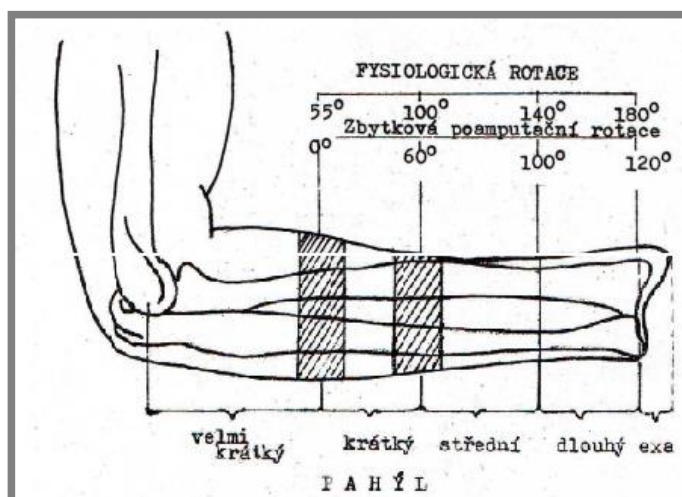
2.3.2 Supinace

Při supinaci se kost vřetenní navrácí do paralelního postavení s kostí loketní. Supinace staví horní končetinu do pozice optimální pro manipulaci s objekty. Dlaň je otočena vzhůru [5].

2.3.2



Obr. 2 Schemá pronace a supinace horní končetiny [6]



Obr. 3 Závislost zbytkové poamputační rotace na délce pažy [3]

2.4 Protéza horní končetiny

Protézou se v obecném slova smyslu myslí umělá náhrada části těla, která by v ideálním případě měla nahradit funkce ztracené části těla.

Části protézy horní končetiny jsou závislé na úrovni amputace. Základ však tvoří pažíkové lůžko, vlastní náhrada a terminální část.

2.4.1 Požadavky na protézu

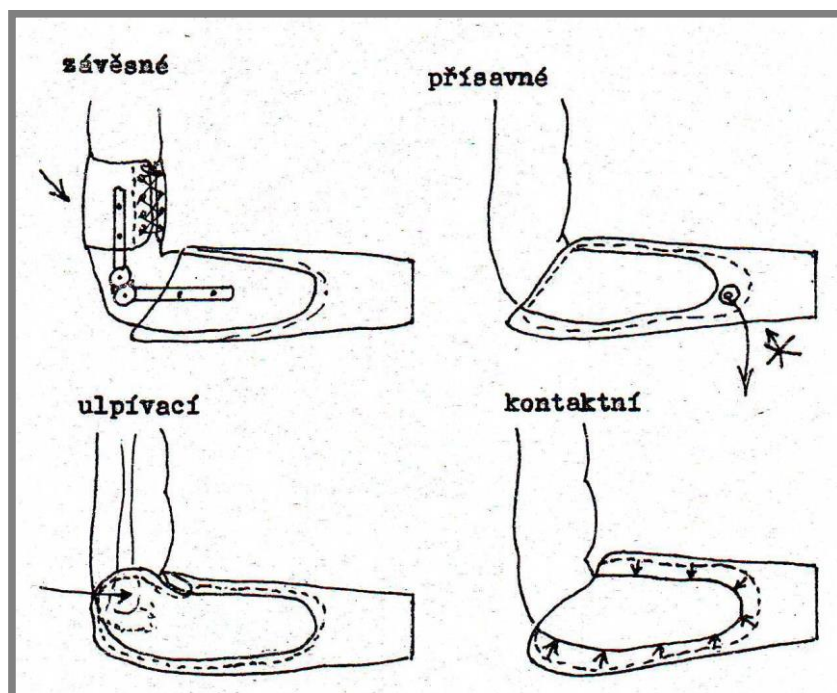
- **komfort** - souvisí s provedením a tvarem pažíkového lůžka. Lůžko musí poskytovat dostatečnou oporu, stabilitu a přenos sil z lůžka na protézu
- **funkčnost** - správná volba částí protézy umožní nahradit ztracené funkce končetiny
- **vzhled** - rozumí se tvarové a materiálové provedení. Je snaha o to, aby se protéza svým vzhledem co nejvíce přiblížila zachované končetině
- **cena** - úměrná technickému provedení [2]

2.4.2 Pažíkové lůžko

Pažíkové lůžko umožňuje zachycení protézy na tělo nositele. Tvarování pažíkového lůžka je nesmírně důležité, neboť zajišťuje správné ukotvení protézy na paží. Z tohoto důvodu se lůžko vyrábí individuálně podle potřeb nositele. Správné ukotvení protézy zabraňuje nevyžádané rotaci a prokluzu protézy [7].

Lůžko může být na paží přichyceno závěsným, přísavným, ulpívajícím či kontaktním způsobem. Závěsné zařízení se využívá hlavně u předloketních protéz.

Přísavný způsob využívá malé dutiny pod vrcholem pahýlu, ve kterém je jednocestný ventil. Ten při zatlačení pahýlu do lůžka vypustí přítomný vzduch. Díky vzniklému podtlaku se na sebe pahýl a lůžko přisají. Při kontaktním upevnění se využije přesného vytvarování lůžka podle pahýlu. Lůžko je přizpůsobeno skupinám svalů, jejichž napětí udržuje lůžko na místě [3].



Obr. 4 Typy pahýlových lůžek [3]

2.4.3 Vlastní náhrada

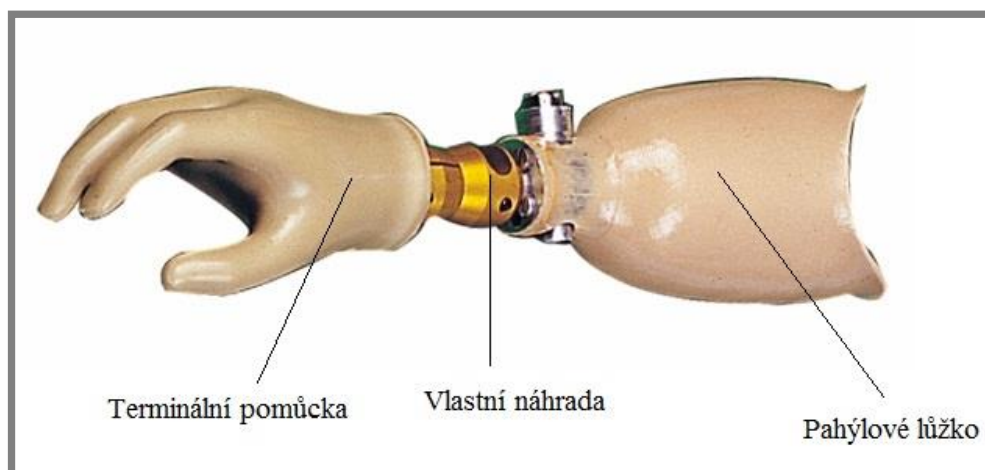
2.4.3

Vlastní náhrada navazuje na pahýlové lůžko a pokračuje terminální částí. Obsahuje umělé klouby, mechanismy zajišťující rotace a zařízení k jejich ovládnutí [3].

2.4.4 Terminální pomůcka

2.4.4

Terminální pomůcka zakončuje protézu a svým tvarem a pohybem provádí určitou funkci. Nejčastěji se jedná o mechanickou ruku nebo pracovní nástavec. Mohou být pasivní, nastavitelné pomocí zdravé ruky či pasivně nebo aktivně ovládané. Aktivně lze pomůcku ovládat pomocí pohybů částí těla, které jsou přenášeny pomocí lanek na terminální pomůcku [3].



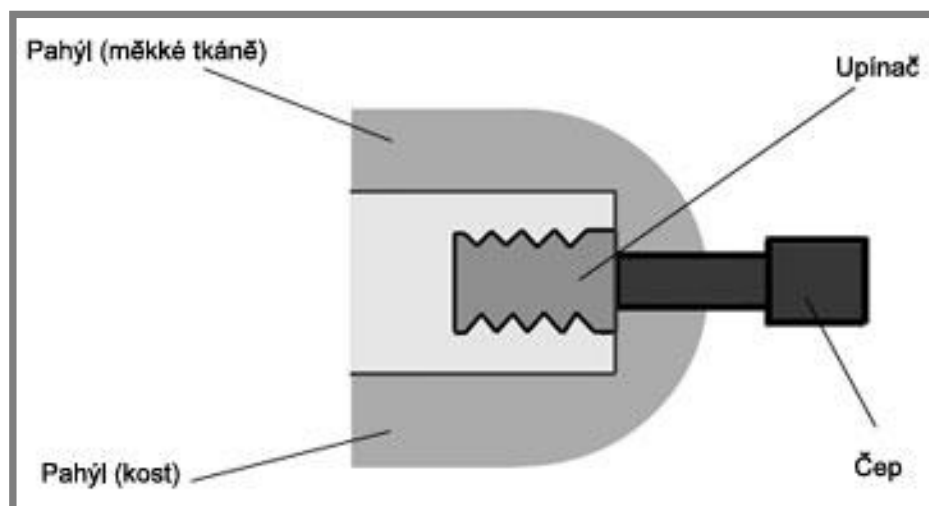
Obr. 5 Části protézy horní končetiny [8]

2.4.5 Osseointegrace

Alternativou k pahýlovému lůžku tvoří v posledních letech osseointegrace. Jedná o techniku, kdy je protéza upevněna přímo ke kosti. Dochází tak k eliminaci mnoha problémů spojených s klasickým uspořádáním protézy.

Do kosti je chirurgicky vpraven titanový implantát tzv. upínač. K upínači se připevní čep, který poté slouží jako spojovací díl. Protéza má pak na svém proximálním konci speciální zámek, který slouží ke spojení s integrovaným čepem.

Výhody spočívají v pevném a stabilním upevnění protézy k pahýlu, zjednodušeném připojení i odpojení protézy, menším výskytu otlaků i bolestivých pocitů v pahýlu a méně četném provádění úprav protézy [9].



Obr. 6 Schéma osseointegrace [9]

2.5 Rozdělení protéz ruky dle mechanické funkčnosti

2.5

Podle mechanické funkčnosti dělíme protézy horní končetiny do čtyř kategorií na myoelektrické, tahové, kosmetické a hybridní.

2.5.1 Myoelektrické protézy

2.5.1

Myoelektrické protézy jsou umělé ruce poháněné motorem popř. soustavou motorů. Motory jsou poháněny z akumulátorů umístěných v protéze. Protéza zajišťuje jednoduchý úchop, případně i rotaci zápěstí. Nejnovější bionické protézy umožňují i ovládání každého prstu zvlášť a přibližují tak funkci protézy více zdravé ruce. Protéza se ovládá pomocí myoelektrických signálů, které vznikají při kontrakci svalů. Signály jsou snímány pomocí senzorů umístěných na kůži pažy [10].

Myoelektrické protézy mají oproti ostatním typům protéz značné výhody, mezi největší z nich patří [11]:

- lepší kosmetický efekt než tahové protézy
- ovládání nezávislé na pohybech ostatních částí těla
- kvalitnější úchop
- svalové stahy zabraňují atrofii svalstva

Mají však také svoje nevýhody. Patří k nim zejména [11]:

- vysoká hmotnost a pořizovací cena
- obtížnost naučit se ovládání
- závislost na zdroji energie



Obr. 7 Myoelektrická protéza bebionic3 [12]

2.5.2 Tahové protézy

Protéza se ovládá pomocí pohybů částí těla, ke kterým jsou připevněny konce lanek. Nejčastěji se jedná o rameno, hrud' či nadloketní část horní končetiny. Tyto pohyby jsou pak pomocí lanek přenášeny na funkční část protézy.

V závislosti na úrovni amputace jsou protézy vybaveny jedním až třemi lanky. Jedno vždy slouží k ovládní úchopu, další zajišťují pohyby ruky [10].

Mezi výhody tohoto typu protéz patří [11]:

- nízká hmotnost
- nízká pořizovací cena
- malá poruchovost
- snadné osvojení si principu ovládní
- vhodné pro náročnější prostředí

Nevýhody tohoto typu protéz jsou [11]:

- ovládací lanka a závěsná zařízení mohou způsobovat nervová poškození
- náročnost samostatného nasazování protézy
- ovládní závislé na pohybech částí těla
- tahové zařízení omezuje rozsah pohybu a funkční prostor na prostor přímo před tělem uživatele od úrovně pasu k úrovni úst



Obr. 8 Tahová protéza

2.5.3 Kosmetické protézy

Jedná se o nejjednodušší typ pasivních protéz. Kosmetické protézy jsou vhodné zejména pro pacienty, kteří upřednostňují vzhled před funkčností. Funkčnost je omezena pouze na jednoduché přidržování, tlačení či opírání o předměty [10].

Jsou zhotoveny z kovových endoskeletálních dílů, které jsou pokryty molitanem a kosmetickým návlekem vyrobeným nejčastěji ze silikonu nebo PVC. Návleky se dále opatřují akrylovými nehty a syntetickými lidskými chlupy [7].

Výhodami kosmetických protéz jsou [10]:

- stejně těžké nebo lehčí než přirozená končetina
- výborný kosmetický vzhled

- minimální údržba

Naopak největší nevýhodou tohoto typu je neumožnění aktivního úchopu.



Obr. 9 Kosmetická protéza [13]

2.5.4 Hybridní protéz

Jedná se o náhrady horní končetiny, které jsou řízeny pomocí tahového zařízení a zároveň i zevně. Díky spojení obou pohonů má postižený největší možnosti k dosažení optimálního funkčního výsledku. Nejčastěji je realizována tahovým mechanismem pro ovládání terminální pomůcky a elektricky ovládanými klouby. Tento typ protézy je vhodný pro pacienty s nedostatečnou silou nebo rozsahem pohybu [2].

2.5.4

2.6 Typy pohonů protéz

Nejběžnějšími typy aktivního pohonu u protéz horních končetin jsou elektromotory, piezoelektrické motory a pneumatické umělé svaly.

2.6

2.6.1 Elektromotory

Elektromotory patří k nejvíce využívaným pohonům. Nejvyspělejší elektrické motory mají samostatné vinutí, které jim poskytuje značné výhody oproti klasickým s vinutím na železném jádru. Permanentní magnet je umístěn v dutině uvnitř rotoru. Dutina musí být dostatečně velká, aby magnet mohl vyvodit potřebnou magnetickou indukci. Vnější obvod motoru tvoří tenký plášť těsně umístěn okolo vinutí [10].

2.6.1

2.6.2 Piezoelektrické motory

Piezoelektrické motory se využívají hlavně z důvodů velké hustoty výkonu, kompaktních rozměrů a tvarové adaptibility. Velkou nevýhodou těchto motorů je však závislost provozních parametrů jako je optimální pracovní frekvence a optimální součinitel mechanického tření na teplotě.

2.6.2

Princip lze vysvětlit na lineární variantě. Pohyblivá část motoru se pohybuje po vlnící se statorové tyči. Stator je tvořen pružným měděným pásem, k jehož spodní straně jsou přilepeny piezoelektrické destičky. Zde dochází k přeměně elektrické energie na mechanickou. Vznikají kmity a po postupně vlně se vlivem tření pohybuje běžec [14].



Obr. 10 Piezoelektrický motor [15]

2.6.3 Pneumatické umělé svaly

Pneumatické umělé svaly se vyznačují vysokým poměrem síly a výkonu k hmotnosti a objemu. Tažná síla na jednotku plochy průřezu je až $300\text{N}/\text{cm}^2$ oproti $40\text{N}/\text{cm}^2$ u živočišného svalu. Jejich vlastnosti a chování jsou srovnatelné s lidskými svaly, což umožňuje jejich vzájemné propojení. Dosud vyvinuté regulátory navíc umožňují přesný a plynulý chod mezi krajními polohami a jsou schopny regulace polohy s přesností lepší než 1% z rozsahu pohybu. Výhodami jsou též nízká pořizovací cena, minimální údržba, vysoká spolehlivost a bezpečnost. Nevýhodou je, že jsou schopny vyvinout aktivní sílu pouze při kontrakci [16].



Obr. 11 Pneumatický umělý sval [17]

3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

Cílem práce je konstrukční návrh mechanismu, který zajišťuje pronaci a supinaci protézy horní končetiny. Konstrukce samotného mechanismu by měla být pokud možno co nejjednodušší s ohledem na co nejnižší pořizovací cenu a snadnou výrobu. Vzhledem k malým rozměrům mechanismu je také nutné zajistit dostatečnou tuhost a odolnost mechanismu.

Součástí řešení je i ověření funkce mechanismu na reálném prototypu, konstrukce aretace a uložení. Malé rozměry jednotlivých součástí mechanismu kladou velké nároky na přesnost výroby a kvalitu obroběných ploch. Návrh se zabývá pouze uložení mechanismu na protetickém lůžku a jeho zajištění proti pohybu v axiálním směru, bez řešení připojení dalších částí protézy jako např. umělého kloubu či terminální pomůcky.

Dílčí cíle práce:

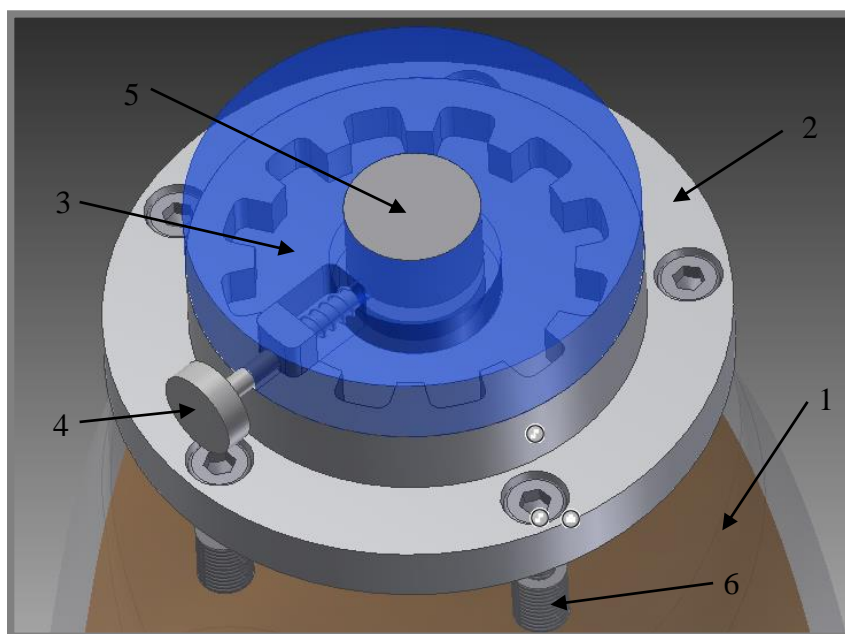
- pomocí rešerše shrnout aktuální stav poznání v dané oblasti
- vytvořit konstrukčního návrhu mechanismu a jeho následné dimenzování
- vytvořit 3D model mechanismu v CAD programu
- vypracovat kompletní výkresovou dokumentaci
- na funkčním vzorku ověřit funkčnost mechanismu
- výstupy: virtuální 3D model, průvodní zpráva, kompletní výkresová dokumentace, funkční vzorek

4 NÁVRH KONSTRUKČNÍCH ŘEŠENÍ

4.1 První varianta

Ve spodním dílu mechanismu jsou vyfrézovány drážky, do kterých svým tvarem zapadá kámen šoupátka. Při zatlačení šoupátka dojde k vyskočení kamene z drážky. Následuje ruční pootočení horního dílu přibližně o 30° a následné zaskočení tvarového prvku do vedlejší drážky. Zaskočení kamene do drážky napomáhá tlačná pružina, která je umístěna na šoupátku. Ta se při zatlačení šoupátka opírá o zadní stěnu drážky, která je vyfrézována v horním dílu. Pro lepší ovládání stisku šoupátka je na vnějším konci šoupátka opatřeno rozšířením, které plní funkci tlačítka.

Spodní díl je k lůžku připevněn pomocí pětice šroubů s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem. Kvůli lepším vlastnostem šroubového spoje není šroub zašroubovaný přímo do materiálu lůžka, ale je použito samořezných závitových vložek, které jsou zavrtány do předvrtaných děr. Osu mechanismu tvoří trubka, která je přilepena ke spodní části mechanismu a slouží jako vedení pro horní díl mechanismu, popř. další součásti protězy. Tyto součásti jsou připojeny k hornímu dílu mechanismu a společně s ním se otáčejí na tyči, čím dochází k realizaci pohybu nahrazujícího rotaci předloktí. Připojení součástí k mechanismu však již není součástí řešení této bakalářské práce.

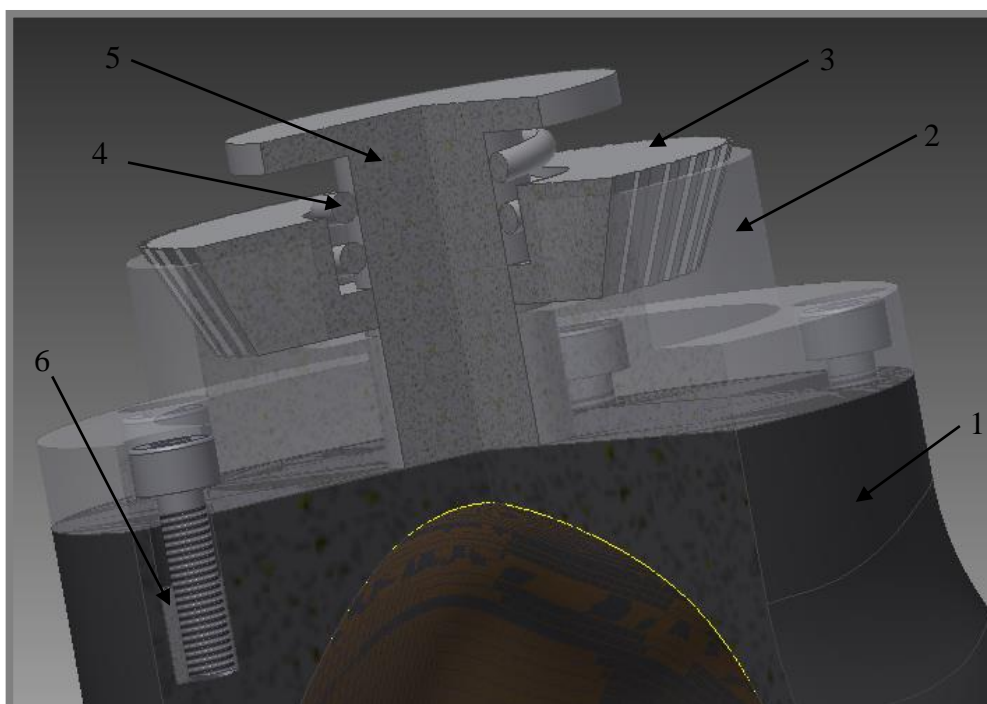


Obr. 12 První varianta řešení

1 - lůžko, 2 - spodní díl, 3 - horní díl mechanismu, 4 - šoupátko, 5 - tyč, 6 - závitová vložka

4.2 Druhá varianta

Tato varianta je založena na principu třecí spojky. Vrchní i spodní díl mechanismu jsou opatřeny drážkami, které do sebe vzájemně zapadají. Princip spočívá v zatlačení horního dílu mechanismu proti pružině, ručním pootočením o požadovaný úhel a opětovném zaskočení drážek do sebe pomocí pružiny. K připojení dolního dílu k lůžku je opět použito samořezných závitových vložek a šroubů. Osu mechanismu jako v prvním případě tvoří tyč přilepená ke spodnímu dílu. Pružina se bude opírat buď o osazení na středové tyči nebo pravděpodobněji o nějakou další součást protézy.

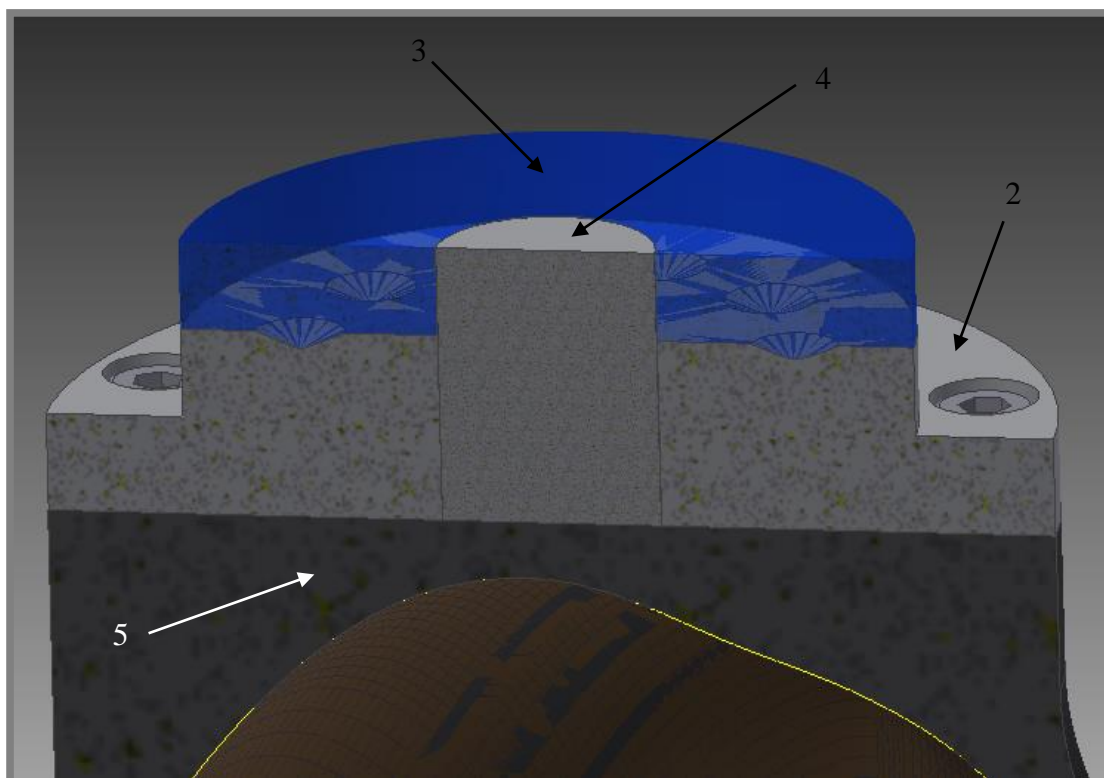


Obr. 13 Druhá varianta řešení

1 - lůžko, 2 - spodní díl, 3 - horní díl mechanismu, 4 - pružina, 5 - tyč, 6 - závitová vložka

4.3 Třetí varianta

Třetí varianta je konstrukčně nejjednodušší a má nejmenší počet součástí. Spodní část je opět připevněna pomocí závitových vložek a šroubů a osu opět tvoří trubka přilepená ke spodnímu dílu. Ve spodním dílu jsou vyobráběny zahloubení, do kterých přesně zapadají tvarové prvky na horním dílu. V tomto konkrétním případě mají prvky tvar kužele. Rotační pohyb protézy je realizována otáčením horního dílu, přičemž dochází k přeskokování tvarových prvků na horním dílu z jednoho zahloubení do druhého.



Obr. 14 Třetí varianta řešení

1 - lůžko, 2 - spodní díl, 3 - horní díl mechanismu, 4 - tyč

4.4 Výběr varianty

Třetí varianta byla zamítnuta hned zpočátku neboť by se tvarové prvky obtížně vyráběly a pravděpodobně by měly velmi krátkou životnost, jelikož by docházelo k jejich obroušování a lámání.

Druhá varianta byla ze strany vedoucího práce také zamítnuta, neboť mechanismus založený na podobném principu se na FSI již vyvíjel a navíc by jeho konstrukce byla zbytečně složitá a obtížná na výrobu jednotlivých dílů.

Z těchto důvodů padla volba na první variantu. Nejedná se sice o nejjednodušší řešení ale z variant uvedených v této kapitole je nejvhodnější. Princip mechanismu není nikterak složitý a většinu součástí při výrobě funkčního vzorku lze zakoupit nebo vyrobit v dílnách Ústavu konstruování. Výjimku tvoří šoupátko, jehož výroba bude zadána externí firmě.

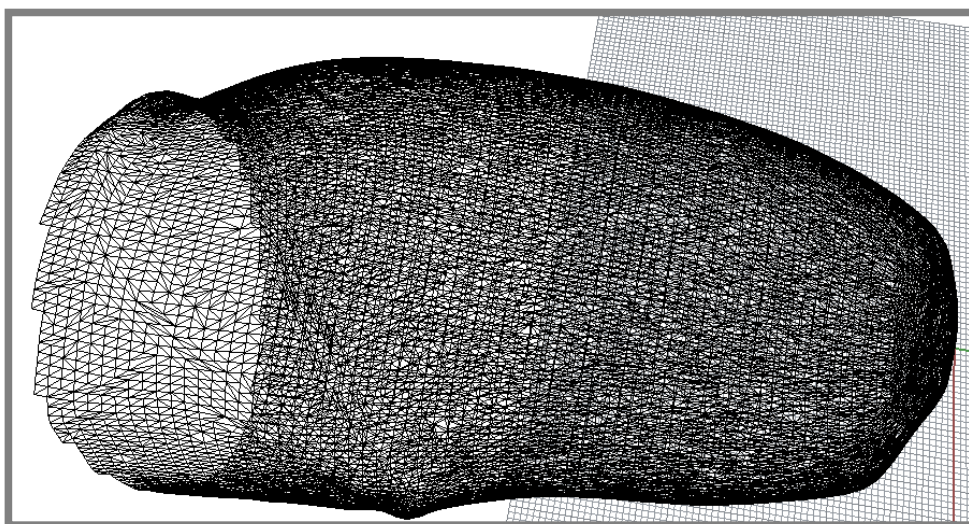
5 VÝSLEDNÉ KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

5

5.1

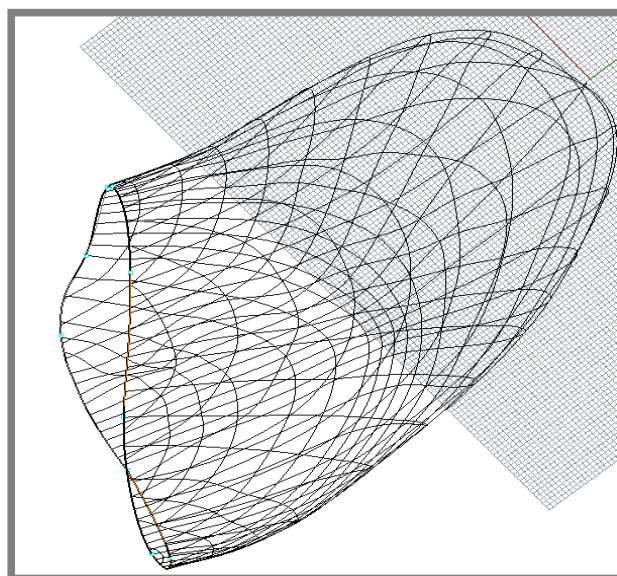
5.1 Lůžko

Pro vytvoření modelu protetického lůžka bylo použito dat reálného pahýlu amputované končetiny, které byly získány pomocí 3D skeneru. Polygonální model pahýlu byl pro další použití uložen v datovém formátu STL.



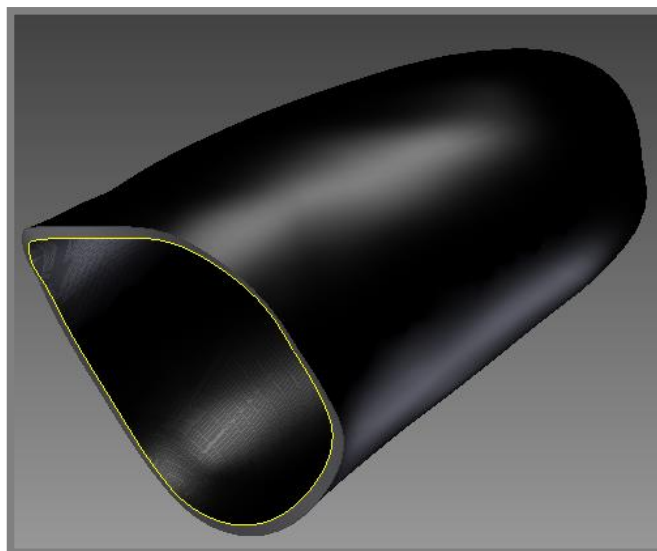
Obr. 15 Polygonální data pahýlu

Pro získání modelu lůžka bylo nejdříve potřebné převést polygonální model pahýlu na plošný. K tomu bylo využito programu Rhinoceros 5.0 SR8 se zásuvným modulem RhinoReverse. Polygonální síť byla zpracována příkazem RRLoadMesh a následně v editačním módu byl model ořezán tak, aby jej bylo možné použít jako základ pro vytvoření modelu lůžka. Následně byl pomocí příkazu RRCommit vytvořen plošný model pahýlu. Pro eliminaci chyb vzniklých při převodu bylo použito příkazu RRHeal.



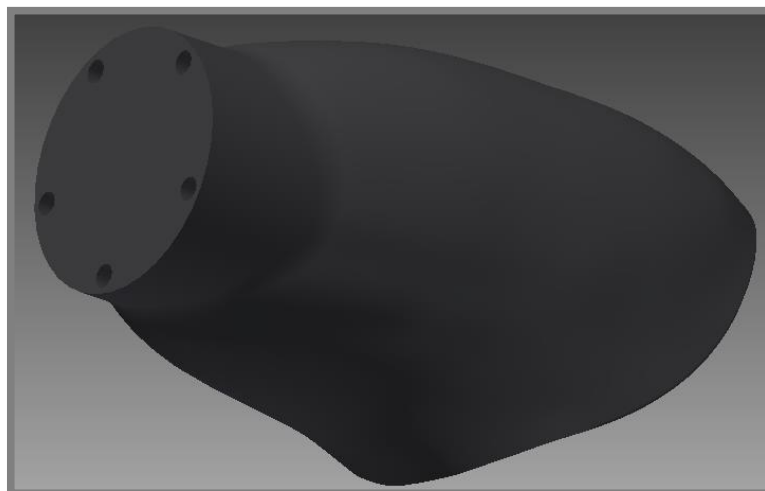
Obr. 16 Ořezaný plošný model pahýlu

Pro modelování samotného lůžka byla takto převedená data uložena do formátu IGS a pro další postup bylo použito studentské verze programu Autodesk Inventor Professional 2013. Zde byla plocha opět opravena pomocí příkazu Léčit. Z plochy bylo vytvořeno objemové těleso pomocí příkazu Zesílení/Odsazení, přičemž tloušťka stěny byla nastavena na 3mm.



Obr. 17 Objemový model pahýlu vytvořený v programu Autodesk Inventor Professional

V dalším kroku byla ve vrchní části modelu pomocí příkazu Vysunutí vytvořena rovná plocha o průměru 55mm, která bude sloužit k upnutí mechanismu k lůžku. Pro plynulejší přechod mezi oběma částmi tělesa byla styčná hrana obou částí zaoblena pomocí příkazu Zaoblení. Pro zlepšení komfortu při nošení protézy byly též pomocí příkazu Zaoblení zaoblény hrany otvoru lůžka, které by se jinak při nošení mohly nepříjemně zařezávat do kůže nositele a snižovat tak komfort při nošení. Pro připojení mechanismu k lůžku je do čelní rovné plochy lůžka předvrtána pětice děr o průměru 4,7 mm, do kterých budou zavrtány samořezné závitové vložky M3x6.



Obr. 18 Výsledný model lůžka

5.2 Spodní díl

5.2

Spodní díl mechanismu bude vyroben na 3D tiskárně z plastu ABS. Celkové rozměry jsou průměr 55mm a výška 12,5 mm. Na osazení o průměru 41mm je vyfrézováno celkem 12 drážek uspořádaných do kruhu, do kterých zapadá kámen šoupátka. Drážky jsou 3mm dlouhé, 5mm široké a 4mm vysoké. Hrany drážek jsou zaobleny. Uprostřed je vyvrtána průchzí díra o průměru 12mm, do které se zasune a zalepí duralová tyč. Díl bude k lůžku přichycen pomocí pětice šroubů s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem M3x12, proto je do součásti vyvrtána pětice průchozích děr o průměru 3,2mm a příslušná válcová zahlobení pro šrouby s válcovou hlavou. Z důvodu tenké stěny mezi zahlobením a obvodovou plochou celého dílu je materiál tvořící tuto stěnu raději odebrán.

5.3 Víčko

5.3

Víčko má průměr 41mm a je rovněž vyrobeno pomocí technologie Rapid prototyping. Uprostřed je rovněž vyvrtán průchozí otvor o průměru 12mm, díky kterému se víko nasune na středovou tyč. Ve víku je vyfrézována drážka o rozměrech 11x5x4mm (dxšxh), ve které se bude pohybovat kámen šoupátka. Hrany drážky jsou zaobleny. Z drážky dále vede díra o průměru 2mm, do které se bude zasouvat šoupátko při jeho zatlačování do krajní pozice.

5.4 Šoupátko

5.4

Šoupátko tvoří tyč o průměru 2mm, kterou rozděljuje na dvě části kámen o rozměrech 3x5x8mm. Pro lepší zaskakování kamene do drážek jsou hrany kamene zaobleny. Na jednom konci tyče je rozšíření na průměr 8mm, které plní funkci tlačítka a usnadňuje manipulaci se šoupátkem. Na druhý konec hřídele se nasune tlačná pružina, která se po zasazení šoupátka do drážky v horním dílu bude opírat o zadní stěnu drážky. Celé šoupátko je dlouhé 21mm. Šoupátko je vyrobeno z duralu.

5.5 Tyč

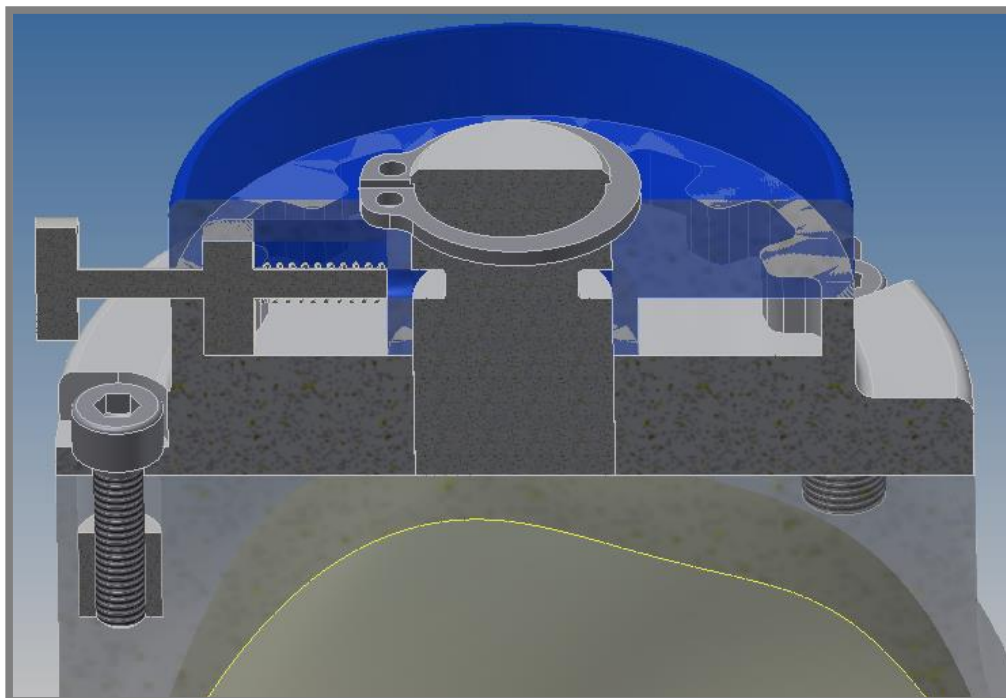
5.5

Tyč tvoří osu celého mechanismu. Je vyrobená z duralového polotovaru o průměru 12mm. Tyč je prozatím dlouhá 21,6mm ale její délka se bude měnit v závislosti na dalších součástech, které budou k mechanismu připojovány. Na tyči je osazení o průměru 8mm, do kterého se zasouvá šoupátko při zatlačení do krajní polohy a drážka pro pojistný kroužek, který brání posuvu víka v axiálním směru.

5.6 Princip mechanismu

5.6

Zatlačením tlačítka šoupátka dojde k vyskočení kamene z drážky ve spodním dílu, stlačení tlačné pružiny nasunuté na tyči šoupátka a k zasunutí tyče šoupátka do příslušné díry ve víku, potažmo do drážky na tyči. Následně je nutné víkem ručně pootočit o požadovaný úhel a pustit tlačítko. Díky tlačné pružině dojde k zaskočení kamene do drážky a tím se víko, ke kterému budou připevněny další součásti protězy, zajistí proti další rotaci.



Obr. 19 Výsledné konstrukční řešení

6 DISKUZE

Cílem práce byl konstrukční návrh mechanismu pro zajištění pronace a supinace u protézy horní končetiny. Konstrukční návrhy byly zpracovány na základě průzkumu trhu avšak s ohledem na požadavek nízké ceny a jednoduchosti výroby byly mechanismy značně zjednodušeny. Po zhodnocení konstrukčních návrhů byl jako nevhodnější varianta vybrán mechanismus popsáný v kapitole 4.1, jeho další rozpracování, detailní popis a princip fungování jsou podrobně popsány v kapitole Výsledné konstrukční řešení. Na základě modelu byly vypracovány výkres sestavy a výkresy součástí, které posloužili jako podklad pro výrobu funkčního modelu, na němž byla ověřena funkčnost navrženého řešení.

Mechanismus byl navržen s ohledem na možnou malosériovou výrobu. Součásti mechanismu by se vyráběly z hliníku, plastu či umělého dřeva. Uvedení mechanismu do výroby by však měla předcházet řada testů, které otestují výdrž, únosnost a životnost celého mechanismu. Vzhledem k minimu provedených výpočtů by rovněž bylo vhodné provést pevnostní analýzu celého modelu pomocí MKP a na jejím základě provést další dimenzování mechanismu.

Možnosti dalšího vývoje a zlepšení mechanismu vidím zejména v návrhu připojovacích prvků sloužících k připojení dalších součástí protézy k mechanismu či vytvoření kompletní protézy vytvořené na základě individuálních požadavků uživatele. Další možností pro rozvoj vidím v návrhu konstrukce skeletu, přes který bude při nošení navlečena kosmetická rukavice.

7 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce byl návrh mechanismu pro zajištění pronace a supinace u protézy horní končetiny a jeho následná realizace v podobě funkčního prototypu. Všechny cíle práce byly splněny. Byl navržen nový typ mechanismu, přičemž byl hlavní důraz kladen na jeho jednoduchost, snadnou výrobu a nízké výrobní náklady. Návrhu konstrukce předcházela analýza problému v podobě rešerše zabývající se problematikou amputací předloktí horní končetiny, rozdělením a typy protéz. Na základě těchto poznatků byly vypracovány tři konstrukční návrhy, z nichž byla s ohledem na požadavky jednoduchosti konstrukce a nízké ceny vybrána první navržená varianta, která byla následně důkladněji rozpracována až do podoby reálného modelu. Při návrhu finálního řešení bylo využito softwaru Autodesk Inventor Professional 2013, Rhinoceros 5 SR8 a polygonálních dat pahýlu získaných pomocí 3D skeneru.

Při výrobě prototypu bylo využito technologie Rapid prototypingu. Lůžko, spodní díl a víčko byly vyrobeny na 3D tiskárně Dimension sst 1200es z ABS plastu. Zbylé části mechanismu – šoupátko a tyč byly vyrobeny z duralu.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] PTÁKOVÁ, Karolína. *LÉČEBNĚ-REHABILITAČNÍ PLÁN A POSTUP U AMPUTACÍ NA DOLNÍCH KONČETINÁCH*. Brno, 2008. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/176791/lf_b/BAKALARSKA_PRACE.pdf. Bakalářská práce. Masarykova univerzita. Vedoucí práce Mgr. Alena Havelková.
- [2] KRÁSOVÁ, Jana. *Vliv protézování na horních končetinách na soběstačnost v aktivitách všedního dne*. Plzeň, 2012. Dostupné z: <https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/2507/Bakalarska%20prace%20-%20Jana%20Krasova%202.pdf?sequence=1>. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce MUDr. Marie Kulakovská.
- [3] ŽIŽKOVÁ, Jolana. *AMPUTACE NA HORNÍ KONČETINĚ A MOŽNOSTI JEJICH PROTÉZOVÁNÍ*. Olomouc, 2008. Dostupné z: <http://theses.cz/id/5qnex1/57089-142931476.pdf>. Bakalářská práce. Unverzita Palackého v Olomouci. Vedoucí práce Bc. Martin Vitásek.
- [4] Amputation types. *Otto Bock HealthCare GmbH* [online]. [cit. 2014-03-09]. Dostupné z: http://ottobock-export.com/cps/rde/xchg/ottobock_export_en/hs.xsl/232.html
- [5] Klouby ruky. *Patobiomechanika a Patokinesiologie: K O M P E N D I U M* [online]. [cit. 2014-03-09]. Dostupné z: http://biomech.ftvs.cuni.cz/pbpb/kompendium/anatomie/hk_ruka_klouby.php
- [6] Ulnar Collateral Ligament Injuries. *eOrthopod* [online]. [cit. 2014-03-09]. Dostupné z: <http://www.eorthopod.com/content/ulnar-collateral-ligament-injuries>
- [7] KUSÁK, V. *Zhodnocení současného stavu v oblasti konstrukce protéz horních končetin*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 35 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Matějka.
- [8] Protézy horních končetin. *MS-PROTETIK.CZ* [online]. [2009] [cit. 2014-04-24]. Dostupné z: <http://www.ms-protetik.cz/view.php?cisloclanku=2006100001>
- [9] Technika osseointegrace: Přímé upevnění protézy ke kosti. *Ortopedická protetika*. [online]. [cit. 2014-03-09]. Dostupné z: <http://www.ortotikaprotetika.cz/oldweb/Wc4aba76e02de.htm>
- [10] LUX, M. *Experimentální biomechanická protéza ruky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 83 s. Vedoucí diplomové práce Ing. David Paloušek, Ph.D.
- [11] PAIGEROVÁ, Michaela. *Srovnání jednotlivých typů protéz horních končetin. Ortopedická protetika* [online]. 1999 [cit. 2014-03-09]. Dostupné z: <http://www.ortotikaprotetika.cz/oldweb/Wc1dfa89a7ea17.htm>

- [12] The bebionic 3 myoelectric hand product. *Bebionic* [online]. [cit. 2014-03-09]. Dostupné z: http://bebionic.com/the_hand/features
- [13] Protézy horních končetin. *ORTEA Brno* [online]. 2009 [cit. 2014-03-09]. Dostupné z: <http://www.ortea.cz/protezy-hornich-koncetin.html>
- [14] ČERNÝ, Václav. Piezoelektrické motory – regulace a řízení. *ELEKTRO* [online]. 2004, č. 1, s. 8-10 [cit. 2014-04-24]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/download/el010408.pdf>
- [15] MUDRÁK, Maroš. Piezoelektrické motory. *Posterus.sk* [online]. 21.7.2010 [cit. 2014-04-24]. Dostupné z: <http://www.posterus.sk/?p=7993>
- [16] KUTĚJOVÁ, Lenka. *Syntetický sval*. Zlín, 2008. Dostupné z: http://dspace.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/5848/kut%C4%9Bjov%C3%A1_2008_bp.pdf?sequence=1. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Ing. Roman Čermák, Ph.D.
- [17] How to make air muscles!. *Instructables* [online]. [2007] [cit. 2014-04-24]. Dostupné z: <http://www.instructables.com/id/How-to-make-air-muscles/>

9 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 a) exartikulace v zápěstí, b) transradiální amputace, c) exartikulace v lokti	13
Obr. 2 Schemá pronace a supinace horní končetiny	13
Obr. 3 Závislost zbytkové poamputační rotace na délce pahýlu	14
Obr. 4 Typy pahýlových lůžek	15
Obr. 5 Části protézy horní končetiny	16
Obr. 6 Schéma osseointegrace	16
Obr. 7 Myoelektrická protéza bebionic3	17
Obr. 8 Tahová protéza	18
Obr. 9 Kosmetická protéza	19
Obr. 10 Piezoelektrický motor	20
Obr. 11 Pneumatický umělý sval	20
Obr. 12 První varianta řešení	22
Obr. 13 Druhá varianta řešení	23
Obr. 14 Třetí varianta řešení	24
Obr. 15 Polygonální data pahýlu	25
Obr. 16 Ořezaný plošný model pahýlu	25
Obr. 17 Objemový model pahýlu vytvořený v programu Autodesk Inventor Professional	26
Obr. 18 Výsledný model lůžka	26
Obr. 19 Výsledné konstrukční řešení	28

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

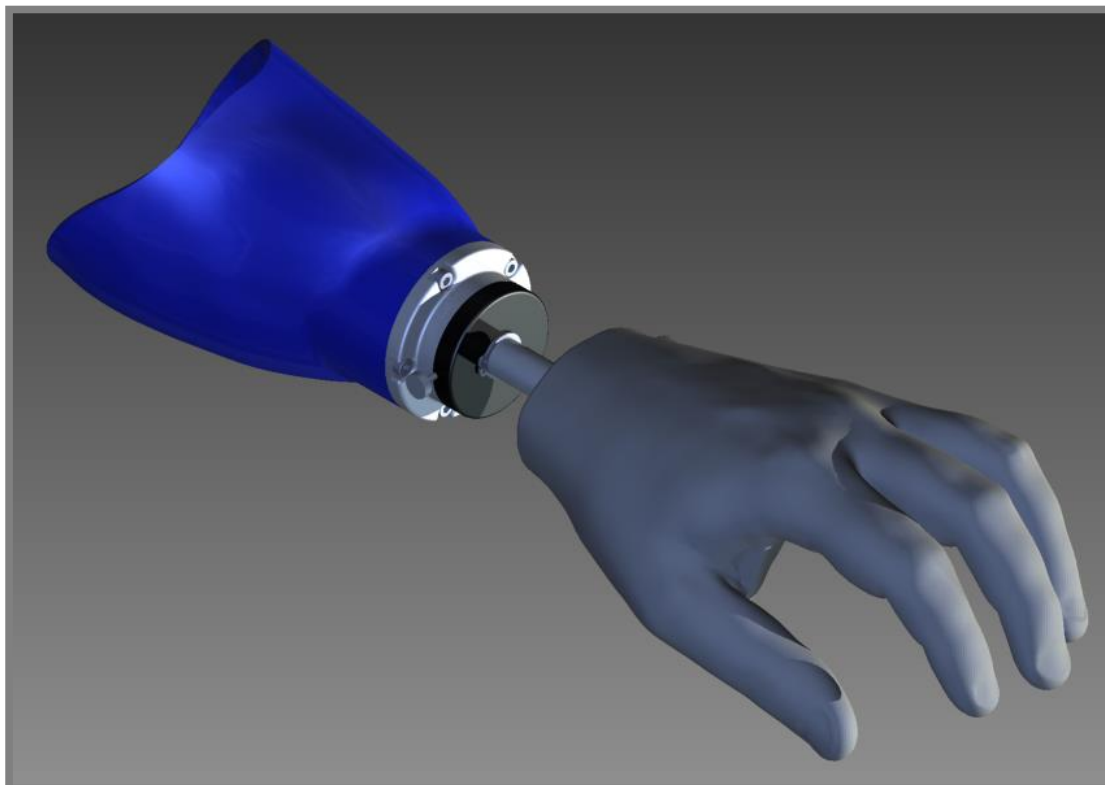
<i>ABS</i>	- Akrylonitrilbutadienstyren
<i>3D</i>	- trojrozměrný
<i>STL</i>	- Standard Tessellation Language
<i>IGS</i>	- Initial Graphics Exchange Specification
<i>MKP</i>	- Metoda konečných prvků
<i>CAD</i>	- Computer Aided Design

11 SEZNAM PŘÍLOH

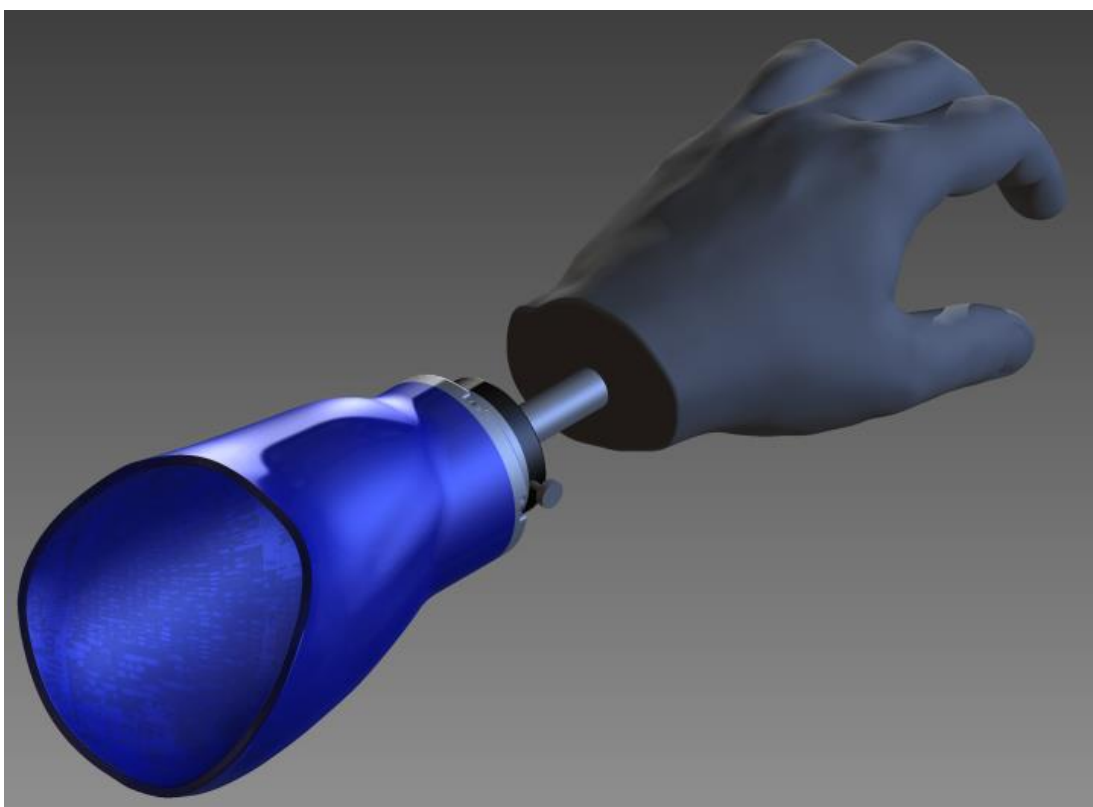
11

1. Výkres sestavy – 1-BP-1/0
2. Výkres součásti – 3-BP-1/1
3. Výkres součásti – 4-BP-1/2
4. Výkres součásti – 3-BP-1/3
5. Výkres součásti – 4-BP-1/4
6. Výkres součásti – 4-BP-1/5
7. Render – sestava – přední pohled
8. Render – sestava – zadní pohled
9. Render – spodní díl
10. Fotografie šoupátka
11. Fotografie víčka
12. Fotografie lůžka
13. Zmenšený výkres sestavy
14. CD s elektronickými daty
15. Vyrobený prototyp

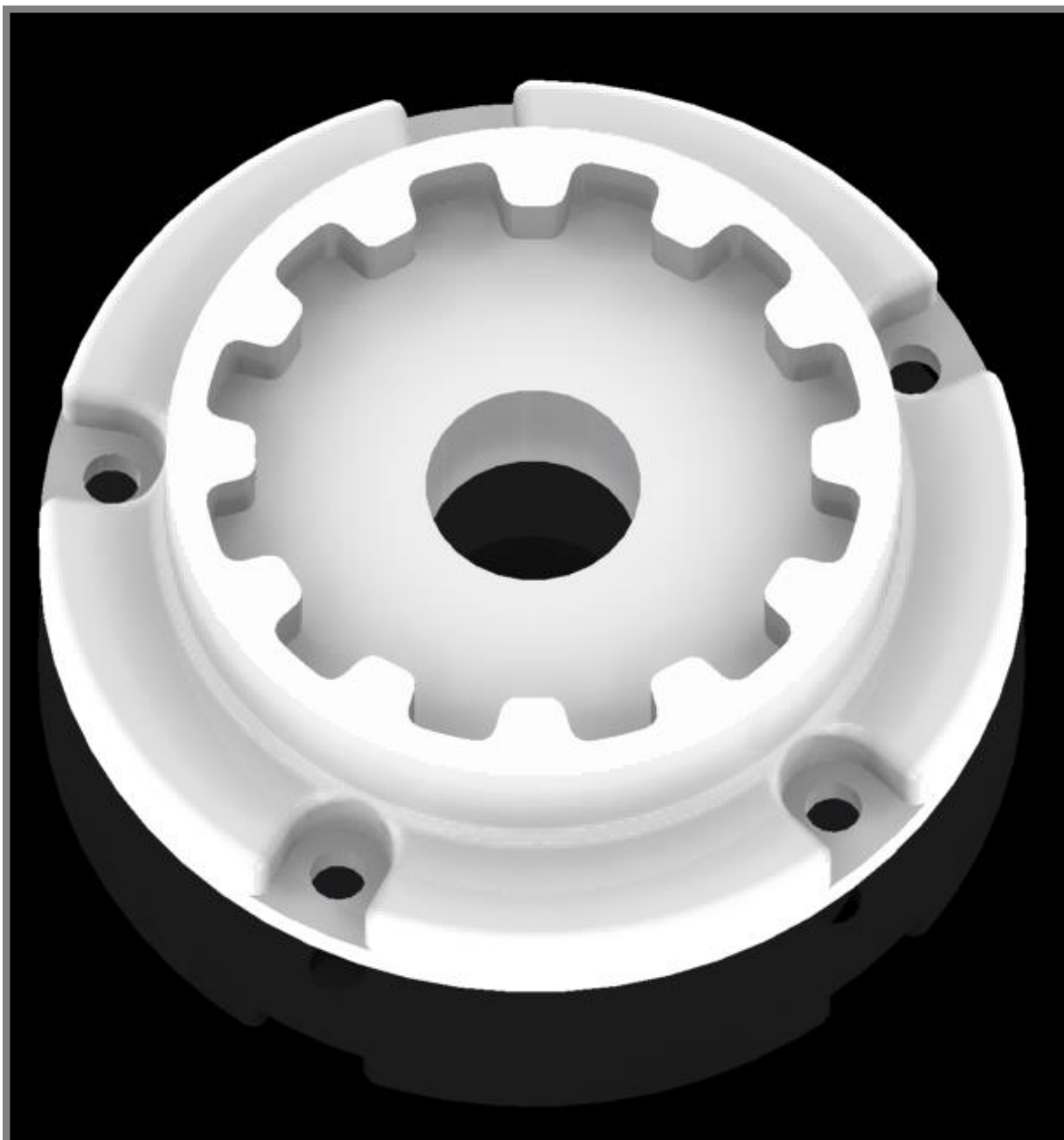
Příloha 7: Render – přední pohled



Příloha 8: Render – zadní pohled



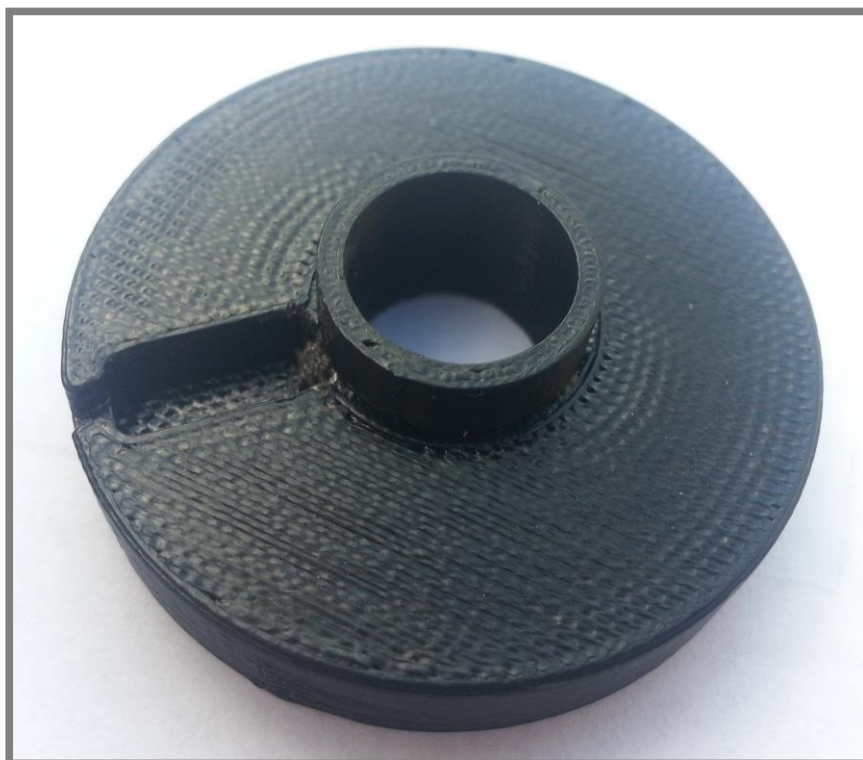
Příloha 9: Render – spodní díl



Příloha 10: Fotografie šoupátka



Příloha 11: Fotografie víčka



Příloha 12: Fotografie lůžka

