

Replikace tělesných částí pro výrobu protetických náhrad

Bc. Tomáš Knedla

Diplomová práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš Knedla**

Osobní číslo: **T11164**

Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**

Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Replikace tělesných částí pro výrobu protetických náhrad**

Zásady pro vypracování:

1. Teoretická studie na dané téma
2. Návrh způsobů měření a snímání končetiny
3. Modelování a úprava končetiny pomocí CAD
4. Vytvoření modelu protézy a přizpůsobení amputaci
5. Programování, verifikace v CAM programu a výroba modelu protézy

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

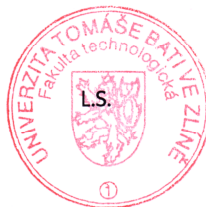
Datum zadání diplomové práce: **8. února 2013**

Termín odevzdání diplomové práce: **10. května 2013**

Ve Zlíně dne 11. února 2013



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Ve své diplomové práci se budu věnovat replikaci tělesných částí pro výrobu protetických náhrad. Cílem této práce je vytvořit vhodný řídicí kód pro řízení obráběcího zařízení, na němž se bude provádět výroba modelu protetické náhrady. V teoretické části diplomové práce se zaměřím na odvětví týkající se ortopedických protetik, metody měření končetin a problematice amputací. V teoretickém bloku se budu věnovat dále protézám horních, dolních končetin různých typů a používaným materiálům pro jejich výrobu. Teoreticky popíši také různé typy CNC frézování. V praktické části diplomové práce se budu věnovat snímání tělní části pomocí 3D skeneru. Získaná data ze skenovacího zařízení budou dle potřeby upraveny a zpracovány. Data budou zpracovány v CAD programu. Praktická část bude dále obsahovat vytvoření modelu protézy a její přizpůsobení amputaci. Dále bude obsahovat strategii obrábění s řídicím kódem pro obrábění části modelu protézy. Navržená strategie bude ověřena prostřednictvím simulace. Na závěr praktické části bude provedeno obrobení části modelu protézy.

Klíčová slova:

Protetika, protéza, protetometrie, 3D skener, CNC, frézování

ABSTRACT

In my diploma thesis I am going to pursue replication of body parts for prosthetics production. Aim of this work is to create suitable managing code for steering mechanism, which will be used for production of prosthetic model. In theoretical part of diploma thesis I will focus on orthopedic prosthetics branch, methods of limbs measuring and the issue of amputation. In theoretical block I will also pursue the issue of different types of upper and lower limbs prosthetics and materials used for their production. Theoretically I am going to describe different types of CNC millings too. In practical part of diploma thesis I am going to pursue human parts scanning by 3D scanner. Gained data from scanner will be modified and processed as needed. This information will be processed in CAD program. The practical part will include preparing of prosthetic device model and its adjustment according to amputation. It is going to include milling strategy through managing code for

model milling. Proposed strategy will be verified through simulation. In conclusion of the practical part the model prosthesis will be machine processed.

Keywords:

Prosthetics, prosthetic device, prostheticmetria, 3D scanner, CNC, milling

Chtěl bych poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph.D. za rady, poznámky a připomínky, které jsem využil při psaní diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a blízkým za podporu při tvorbě práce a studiu.

Věda nikdy nevyřeší jeden problém, aniž by vyprodukovala deset nových.

George Bernard Shaw

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| ÚVOD | 10 |
| I TEORETICKÁ ČÁST | 12 |
| 1 ORTOPEDICKÁ PROTETIKA | 13 |
| 1.1 ODVĚTVÍ ORTOPEDICKÉ PROTETIKY | 14 |
| 1.1.1 Protetická protetometrie..... | 14 |
| 1.1.2 Protetika | 14 |
| 1.1.3 Ortotika | 15 |
| 1.1.4 Epiritika | 16 |
| 1.1.5 Kalceotika | 17 |
| 1.1.6 Adjuvatika | 18 |
| 1.2 AMPUTACE KONČETIN | 18 |
| 1.2.1 Amputační pahýl | 19 |
| 1.2.2 Typy amputací – výše amputace | 20 |
| 2 METODY MĚŘENÍ – PROTETOMETRIE | 23 |
| 2.1 OPĚRNÉ BODY NA TĚLE..... | 23 |
| 2.2 ZPŮSOBY MĚŘENÍ – KLASICKÉ | 24 |
| 2.2.1 Prosté měření..... | 24 |
| 2.2.2 Plošné obkresy..... | 25 |
| 2.2.3 Plošné otisky | 26 |
| 2.2.4 Plastické poloformy | 27 |
| 2.2.5 Sádrový model..... | 27 |
| 2.3 ZPŮSOBY MĚŘENÍ – PROGRESIVNÍ 3D SKENOVÁNÍ | 28 |
| 2.3.1 Reverzní inženýrství | 28 |
| 2.3.1.1 Obecný postup reverzního inženýrství | 29 |
| 2.3.1.2 Skenování..... | 30 |
| 2.3.1.3 Zpracování bodů..... | 34 |
| 2.3.1.4 Aplikace geometrie..... | 35 |
| 3 PROTETIKA | 36 |
| 3.1 PROTÉZY DOLNÍCH KONČETIN..... | 41 |
| 3.1.1 Protézy dolních končetin – rozdělení podle výšky amputace..... | 42 |
| 3.2 PROTÉZY HORNÍCH KONČETIN..... | 44 |
| 3.2.1 Protézy horních končetin – rozdělení podle výšky amputace..... | 45 |
| 4 MATERIÁLY PROTÉZ | 49 |
| 4.1 POLYMERNÍ MATERIÁLY | 49 |
| 4.1.1 Nejčastěji používané polymerní materiály..... | 49 |
| 4.2 POLYMERNÍ KOMPOZITNÍ MATERIÁLY | 51 |
| 5 VÝROBA PROTETIK | 53 |
| 5.1 TECHNOLOGIE FRÉZOVÁNÍ..... | 53 |
| 5.1.1 Metody CNC obrábění podle počtu os | 53 |
| 5.1.1.1 2,5-osé frézování | 53 |
| 5.1.1.2 3-osé frézování..... | 54 |
| 5.1.1.3 4-osé frézování..... | 54 |
| 5.1.1.4 5-osé frézování | 55 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 5.2 | ČÍSLICOVÉ ŘÍZENÍ..... | 57 |
| 5.3 | METODY TVORBY ŘÍDICÍHO PROGRAMU | 58 |
| 5.3.1 | Ruční programování | 59 |
| 5.3.2 | Strojní programování – CAD/CAM programování..... | 59 |
| 5.3.3 | Dílenské programování..... | 60 |
| 5.3.4 | Porovnání metod programování CNC strojů | 60 |
| II | PRAKTICKÁ ČÁST..... | 62 |
| 6 | POSTUP VÝROBY PROTETIKA..... | 63 |
| 6.1 | SKENOVACÍ ZAŘÍZENÍ..... | 63 |
| 6.2 | PŘEDPOKLÁDANÝ POSTUP VÝROBY PROTETIKA | 65 |
| 6.3 | NÁVRH ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY PŘI SKENOVÁNÍ 3D KAMEROU..... | 65 |
| 6.4 | REÁLNÝ POSTUP VÝROBY PROTETIKA..... | 65 |
| 6.5 | VÝROBA ODLITKU | 66 |
| 6.5.1 | Výroba dutiny – negativ..... | 67 |
| 6.5.2 | Výroba odlitku – pozitiv | 68 |
| 6.6 | ÚPRAVA ODLITKU | 69 |
| 6.7 | SKENOVÁNÍ ODLITKU 3D SKENEREM..... | 71 |
| 7 | MODELOVÁNÍ A ÚPRAVY MODELU | 75 |
| 7.1 | ZÁKLADNÍ ZPRACOVÁNÍ NASKENOVANÝCH DAT 3D KAMEROU | 75 |
| 7.1.1 | Zpracování v programu ATOS Professional..... | 75 |
| 7.1.2 | Úpravy v programu GOM Inspect..... | 75 |
| 7.2 | MODELOVÁNÍ A ÚPRAVY MODELU V PROGRAMU CATIA..... | 77 |
| 7.2.1 | Převod naskenovaných dat na objemový model | 78 |
| 7.2.2 | Zrcadlení modelu – vytvoření levé horní končetiny..... | 83 |
| 7.2.3 | Úprava polohy prstu | 84 |
| 7.3 | MODEL LEVÉ HORNÍ KONČETINY | 84 |
| 7.4 | PROTÉZA – MODELOVÁNÍ PAHÝLOVÉHO LŮŽKA | 85 |
| 7.5 | EPITÉZA, KOSMETICKÝ PLÁŠŤ | 87 |
| 8 | VÝROBA ČÁSTI PROTÉZY LEVÉ HORNÍ KONČETINY..... | 90 |
| 8.1 | FRÉZKA AZK HWT 442..... | 90 |
| 8.2 | MATERIÁL NECURON | 91 |
| 8.3 | VOLBA ŘEZNÝCH PODMÍNEK..... | 93 |
| 8.4 | TVORBA STRATEGIE OBRÁBĚNÍ ČÁSTI PROTÉZY LEVÉ HORNÍ KONČETINY..... | 94 |
| 8.5 | OBROBENÁ ČÁST PROTÉZY LEVÉ HORNÍ KONČETINY | 101 |
| 8.5.1 | Ukázka vygenerovaného řídicího kódu | 101 |
| | ZÁVĚR | 103 |
| | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY | 105 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK..... | 107 |
| | SEZNAM OBRÁZKŮ..... | 108 |
| | SEZNAM TABULEK | 112 |
| | SEZNAM PŘÍLOH..... | 113 |

ÚVOD

Vývoj protetických náhrad začal již před 4000 let. V těchto dřívějších dobách lze považovat za protetické náhrady například jednoduché protézování bércevého pahýlu mumifikované ženy, které bylo nalezeno v oblasti dnešního Kazachstánu. Toto tělo bylo objeveno v letech 2300 let př. n. l. Používání jednoduchých protetik se dále objevovalo v období kolem roku 0. Z této doby lze poukázat na dřevěné protézy. Šlo o protézy dolních i horních končetin. Taková první protetika byla vyráběna z dostupných materiálů tehdejší doby. Jednalo se o materiály, kterými bylo dřevo, bronz a železo. Konstrukce protéz byla velmi jednoduchá. Náhrada byla tvořena z lůžka vytvarovaného podle pahýlu končetiny. Protézy byly uchyceny bronzovým opaskem. V období středověku nastávají obrovské změny v oblasti amputací končetin, ale také v protetických náhradách. Objevují se protézy horních a dolních končetin různých typů. U těchto protéz byly různé mechanismy pohybu, fixace protéz a stavitelných kloubů. Historie protéz zaznamenala nejen dělení protéz dolních a horních končetin, ale také dělení na protézy pro chudé a bohaté.

Tak jako všechny ostatní obory technického nebo lékařského zaměření se postupem doby rozvíjí, docházelo i k rozvoji protetiky. Největší rozvoj této oblasti nastal na přelomu 18. a 19. století. V českých zemích na tom má velký podíl otec a syn Božkovi, prof. Herman. Ti se zabývali konstrukcí stehenních protéz a chodidel. Na přelomu 19. a 20. století dochází ke vzniku firem zabývajících se přímo stavbou protéz. Nejznámější osobností v oboru protetik se stává na začátku 20. století Otto Bock, který zavedl modulární stavbu protéz. Modulární stavba protéz znamená, že pro pacienty s odlišnými amputacemi lze použít některé díly protéz stejné.

V polovině 20. století dochází k velkému rozkvětu strojírenského odvětví. Rozvoj je způsobem hlavně technickým pokrokem, používáním nových technologií a metod. Velkým pokrokem je využívání výpočetní techniky a s tím spojené číslicové řízení strojů. Správné aplikování číslicového řízení strojů nám umožňuje vytvářet různě tvarově a rozměrově složité výrobky, které by konvenčními metodami řízení nebyly možné vytvořit. Dalším bodem rozvoje je také výzkum, rozvoj a výroba materiálů. Mezi materiály lze vyzdvihnout například rozvoj polymerních materiálů, které nahrazují doposud používané

materiály. Důvodem jsou lepší vlastnosti, jež převyšují vlastnosti doposud používaných materiálů.

Při výběru tématu diplomové práce mě zaujal samotný název a směr, kterým by se měla tato práce odvíjet. Důvodem výběru bylo získat zajímavé poznatky z oboru protetik. Velmi zajímavou částí této práce bude snímání pomocí 3D kamery, využívané v relativně mladé oblasti reverzního inženýrství. Dalším důvodem byla také přítomnost využití numericky řízeného obrábění. Při psaní diplomové práce na toto téma bych chtěl získat zcela nové, nebo prohloubit své dosavadní poznatky o již zmíněných odvětvích. Teoretická část práce bude věnovaná ortopedickým protetikům, jejich typům, používaným materiálům, metodám odebrání mír a CNC obrábění. V praktické části se budu věnovat snímání části těla pomocí 3D kamery, zpracováním dat, modelováním, tvorbou strategie pro obrábění modelu a výrobou části protézy.

I. TEORETICKÁ ČÁST

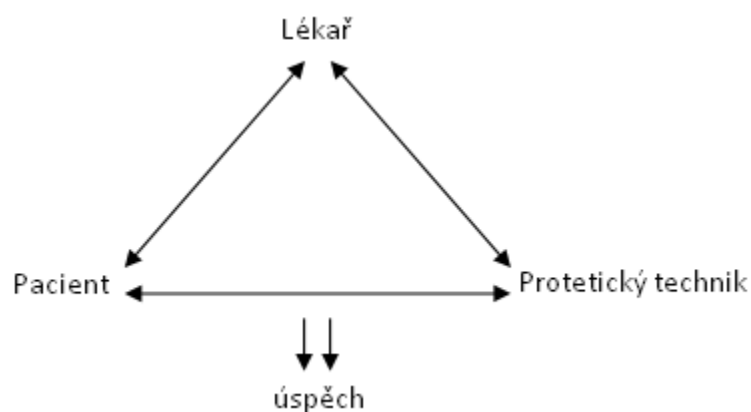
1 ORTOPEDICKÁ PROTETIKA

Ortopedická protetika je obor zabývající se umělými náhradami různých částí lidského těla. Takové mechanické pomůcky lze nazývat také protézy. Ortopedická protetika se jako obor zabývá nejen protézami chybějících částí těla, úpravou pahýlu končetin, ztracenými funkcemi částí těla, ale také koordinací pohybových funkcí částí těla. [1,3]

„Ortopedická protetika bezprostředně navazují na lékařský obor ortopedie, který se zaměřuje na prevenci a léčbu vrozených a získávaných chyb a úrazů pohybového aparátu. Z tohoto důvodu protetika dostávají přívlastek ortopedická, hranice tohoto oboru nejsou přesně vymezené: ortopedická protetika bezprostředně navazují na chirurgii a traumatologii, která v odůvodněných případech řeší vážné zdravotní postižení končetin jejich amputací.“ [1]

V oboru ortopedické protetiky dochází k silnému propojení práce lékaře ortopeda a ortopedického protetiky. Úkolem ortopeda je indikace a aplikace protetiké pomůcky. Úkolem protetikého technika na základě indikační rozvahy ortopeda je postavit samotnou protetikou náhradu. [2]

„Indikace a stavba protetiké pomůcky vyplývá z úzké návaznosti na klinický nález pacienta a jeho funkčních schopností a dále z materiálových a technických možností protetikého technika.“ [2]



Obr. 1. Tvůrčí komunikace [2]

Při výrobě protetika musí být zajištěna dokonalá komunikace mezi pacientem, lékařem a výrobcem náhrady. Takto lze dosáhnout optimálně kvalitního

výsledku při tvorbě protézy. Špatná komunikace mezi jednotlivými členy realizujícími náhradu může mít za následek nevyhovující výsledek například pro uživatele protézy. Dalším přínosem je způsob komunikace bez zbytečných, někdy i jen principiálních sporů. Komunikace na klidné úrovni bez takovýchto sporů prohlubuje důvěru pacienta k lékaři a protetikému technikovi. Bezkonfliktní jednání zvyšuje z pohledu pacienta profesní vzhled ortopeda a výrobce protézy. [2]

Velmi častá je také spolupráce protetiků s neurology a revmatology, kdy je potřeba řešit obnovu ztracených pohybových funkcí při porušení centrálního nebo periferního nervového systému. S ortopedickou protetikou souvisí také rehabilitační léčba. U pacienta s novou protetikou pomůckou při rehabilitační péči dochází k co nejdokonalejšímu, nejrychlejšímu soužití s danou pomůckou a také k obnově ztracených nebo poškozených funkcí. Kvalitní a včasná aplikace protézy napomáhá k úspěšné rehabilitaci pacienta s náhradou. [1]

1.1 Odvětví ortopedické protetiky

Ortopedická protetika se dělí na tato odvětví:

- protetická protetometrie,
- protetika,
- ortotika,
- epitetika,
- adjuvatika,
- kalceotika.

1.1.1 Protetická protetometrie

Protetická protetometrie je odvětví zabývající se měřením rozměrů potřebných pro výrobu protetických pomůcek. Toto odvětví je nezbytné pro všechny obory zabývající se protetikami. Toto odvětví bude více rozebráno v jedné z následujících kapitol zaměřených výhradně na protetometrii. [2,3]

1.1.2 Protetika

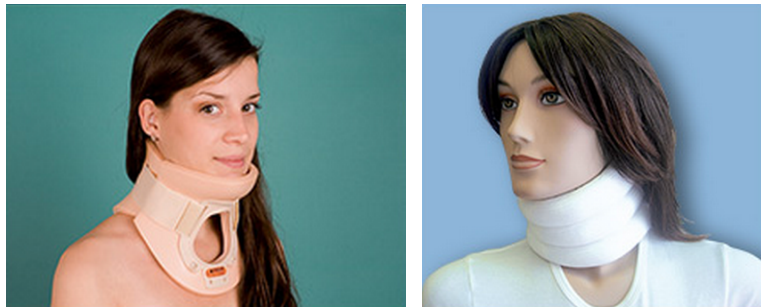
Do tohoto odvětví lze zařadit protézy.

„Protetika, ve vlastním slova smyslu je obor ortopedické protetiky, který léčí pacienty pomocí zevně aplikovaných protetických pomůcek, jež kompenzují deficit jak somatický, tak funkční.“ [2]

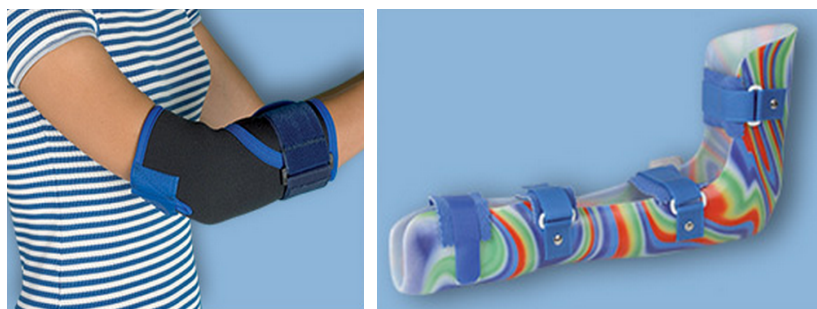
Podrobnější popis protéz bude následovat v dalších kapitolách.

1.1.3 Ortotika

Ortotika jsou prvky umístěny vně pacientovo tělo. Takovéto pomůcky kompenzují nebo ovlivňují funkční stránku poškození. Ortotika neovlivňují morfologii léčené části těla. Tyto pomůcky se používají jako nástroje, které uvádí stav pacienta do snesitelného stavu. Do ortotik lze zařadit ortézy končetin, trupové ortézy, bederní pásy, krční límce, sportovní ortézy a bandáže. [2,3]



Obr. 2. Ortotika – krční límec s dvojitým skeletem, krční límec vyplněný polystyrenovými kuličkami [12]



Obr. 3. Ortotika – neoprenová ortéza horní končetiny, polyethylenová ortéza horní končetiny [12]



Obr. 4. Ortotika – kolenní ortéza s plastovou boční výztuhou horní končetiny, polyethylenová ortéza horní končetiny [12]



Obr. 5. Ortotika – polyethylenová trupová ortéza, rámový korzet [12]

1.1.4 Epitetika

Epitetika jsou pomůcky, které jsou použity zevně vůči lidskému tělu. Tyto pomůcky kompenzují jen morfologickou stránku poškození části těla, nemají funkční úlohu. Epitetika nejsou nezbytná pro sociální život pacienta. Cílem epitetik je kosmeticky zakrýt nebo nahradit nevyvinuté, či deformované části těla. U těchto náhrad se klade nejvyšší důraz na její vzhled. Je nutné, aby přechod mezi epitetikem a jeho okolím byl co nejméně viditelný. Nečastěji vyráběné epitetika jsou nosů, prstů a uší. [2,3,13]



Obr. 6. Epitetika – sádrový model tělní části, silikonová epitéza na sádrovém modelu, barvená silikonová epitéza [13]



Obr. 7. Epitetika – epitéza ruky před barvením, po barvení [13]



Obr. 8. Epitetika – epitéza ucha [13]

1.1.5 Kalceotika

„Kalceotika je obor ortopedické protetiky, který se zabývá návrhem a stavbou individuální ortopedické obuvi. K výrobě ortopedické obuvi řadíme i výrobu individuálních ortopedických vložek.“ [2]

Použití kalceotik je nejčastější u osob postižených cukrovkou, deformací nebo onemocněním nohou. Uživateli těchto pomůcek jsou velmi často také děti. [2,3,13]



Obr. 9. Kalceotika – ortopedické vložky do bot [12]



Obr. 10. Kalceotika – ortopedická obuv [12]

1.1.6 Adjuvatika

Do této sekce pomůcek patří berle, toaletní pomůcky, zdravotnické postele a invalidní vozíky. Funkcí těchto pomůcek je, že svým vhodným tvarem a použitými materiály prospívají a zlepšují podmínky pacienta. Adjuvatika zajišťují samostatnost pacienta při běžných úkonech v domácnosti. Tyto pomůcky pomáhají integraci pacienta do běžného života. [2,3,13]



Obr. 11. Adjuvatika – aktivní mechanický vozík [15]

1.2 Amputace končetin

Amputace patří k nejstarším prováděným výkonům. Dříve kromě léčebných důvodů byly prováděny také z rituálních důvodů. Největší počet amputací byl prováděn v období válek. Množství amputací se s rostoucím používáním mikrochirurgie snižuje.

Amputace v širším slova smyslu je lékařský zákrok, při kterém dochází k oddělení dané části těla od organismu. Jde o oddělení části těla, které při

normálním stavu vyčnívají z těla ven. Amputace může být dvojího typu. Může být provedeno amputování celé končetiny nebo pouze její části. Při amputaci dochází k přerušení kontinuity kosti. [1,2,3]

K tomuto zákroku dochází při následujících situacích:

- „Trauma – tato dříve častá indikace amputace je nyní naštěstí často vytlačována možnostmi mikrochirurgie a cévní chirurgie. V dnešní době zůstává prakticky jedinou absolutní indikací k amputaci ireverzibilní ischemie z traumatické či jiné etiologie.
- Infekt – tyto výkony zůstávají vyhrazeny pro dlouhodobé lokální procesy či naopak pro nezvládnutelnou akutní sepsi způsobenou lokálním infektem. V této indikaci se jedná o život zachraňující operaci.
- Nekróza – včetně nekrózy způsobené fyzikálními vlivy, tj. popáleninami, kdy je nutné o výši amputace rozhodnout až po demarkaci nekróz.
- Tumory – nejčastěji u pokročilých či recidivujících maligních afekcí.
- Afunkce – resp. bránění ve zlepšení funkce, kdy se může jednat o vrozené vady, následky traumatu i operací. Tato indikace je často hraniční.
- Stav kožního krytu anebo defekt měkkých tkání – v dnešní době se tato indikace stává okrajovou vzhledem k možnostem mikrochirurgie a plastické chirurgie (muskulokutární laloky).“ [2]

1.2.1 Amputační pahýl

„Amputační pahýl se hodnotí podle délky, pohyblivosti a nosnosti.“ [3]

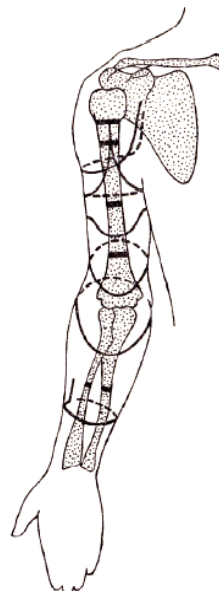
U amputačního pahýlu se hodnotí:

- délka – podélný rozměr od štěrbině posledního zachovaného kloubu k vrcholu pahýlu, delší pahýl – větší výkon, lépe obepnutelný protézou, delší páka (stačí menší síla k pohybu protézy).
- pohyblivost – se skládá z rozsahu a síly, který vykonává pohyb.
- nosnost – zatížitelnost – možnost zatěžovat, bezbolestně a beze škod, pahýl.

1.2.2 Typy amputací – výše amputace

Typy amputací lze dělit podle amputace:

- horní končetiny,



Obr. 12. Hlavní typy amputačních pahýlů na horní končetině [3]

- dolní končetiny,



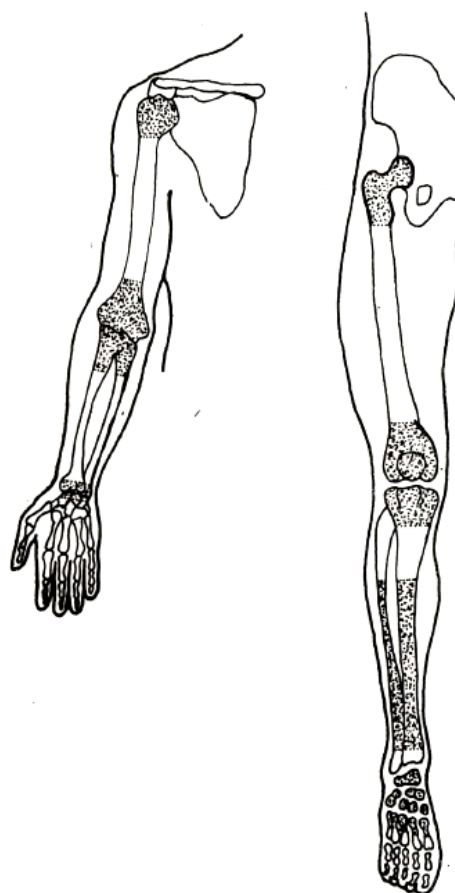
Obr. 13. Hlavní typy amputačních pahýlů na dolní končetině [3]

- ostatní části těla – amputace nosu, ucha a částí tváře.

Při volbě výše amputace hraje roli několik faktorů:

- „Kožní kryt – v dnešní době jej lze řešit pomocí laloků, tkáňových expandérů a štěpů ve spolupráci s plastickými chirurgy.
- Svaly – tyto tvoří měkkotkáňový obal skeletu, musíme dbát na zachování vitálních svalů, o čemž se pooperačně přesvědčíme podle zásad 4 C (z anglického contractility, color, capillary bleeding, consistency). Skelet musí být přerušen v takové výši, aby byl zachován dostatečný kryt měkkých tkání a naopak.
- Nervová tkáň – specifickou zůstává otázka řešení stavů na neurologickém podkladu – např. neurotrofických defektů.
- Cévní zásobení – patřilo k historicky nejčastější indikaci – jednak v důsledku arteriálního (akutní či chronická ischemie na různém podkladu) či venózního postižení (chronická žilní insuficience) nebo kombinace obou.
- Možnost optimálního protetického vybavení – je vhodné předem délku pahýlu konzultovat s protetikem, jinak obecně platí pro chůzi, že čím delší pahýl, tím nižší energetické nároky při chůzi.“ [2]

Dříve byla vytvořena amputační schémata, podle kterých se řídili chirurgové při amputačních zákrocích. V dnešní době se výše amputace provádí, tak aby byla pacientovi zachována co nejdelší část pahýlu. [2]



Obr. 14. Nevhodné umístění amputací [1]

2 METODY MĚŘENÍ – PROTETOMETRIE

Protetometrie je jedním z oborů ortopedické protetiky. Základním požadavkem pro výrobu protetické pomůcky je měření pahýlu končetin a chybějící části. Měrné podklady je možné získat jedním nebo kombinací více způsobů. [2,3]

„Měrné podklady získáváme na nahém těle, zpravidla v poloze, ve které bude pomůcka používána, při zachování principů „vertikální stavby“.“ [2]

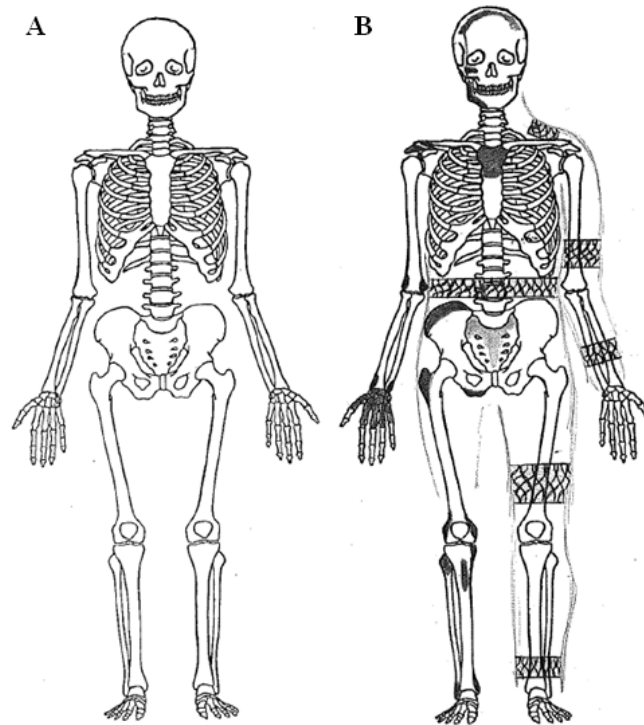
Současně se zvažují možnosti využití kontaktních ploch, tzn. opěrné body a závěsné plochy, k funkční interakci mezi pacientem a protetickou pomůckou. [3]

2.1 Opěrné body na těle

Všechny protetické náhrady musí být upevněny k tělu nebo musí docházet ke styku pahýlu s protézou. Taková místa se nazývají opěrné body. Protéza správným umístěním na pahýlu získává své stálé, pevné postavení, nedochází k posouvání a ani k působení tlaku protézy na pahýl. Uložením protetika na opěrné body lze dosáhnout odlehčení například pahýlu, který je zahrnut do protézy pod místem opření. Nejvhodnější opěrné body na těle jsou většinou ty, kde je malá vzdálenost mezi povrchem těla a kostí s minimem podkožního tuku. Opěrné body by se neměly nacházet v místech, v nichž jsou orgány, nervy a cévy. Opěrné body nesmí měnit svou polohu a tvar při pohybu. [3]

„Pod tlakem opírajících se ortopedické pomůcky podléhá opěrný bod určitým změnám. Kůže v místě tlaku zrudne, je lehce bolestivá a vytvoří se mírný edém pro prosáknutí hlavně podkožního vaziva. Později edém vymizí, podkožní vazivo zjizvenatí (otlačí se), kůže se pigmentuje a nemocný přestává mít obtíže.“ [3]

Nevhodně opřená náhrada neplní svou správnou funkci a obtěžuje samotného uživatele. Působením tlaku na nevhodná místa obtěžuje uživatele protézy a může dále poškodit pacienta. [3]



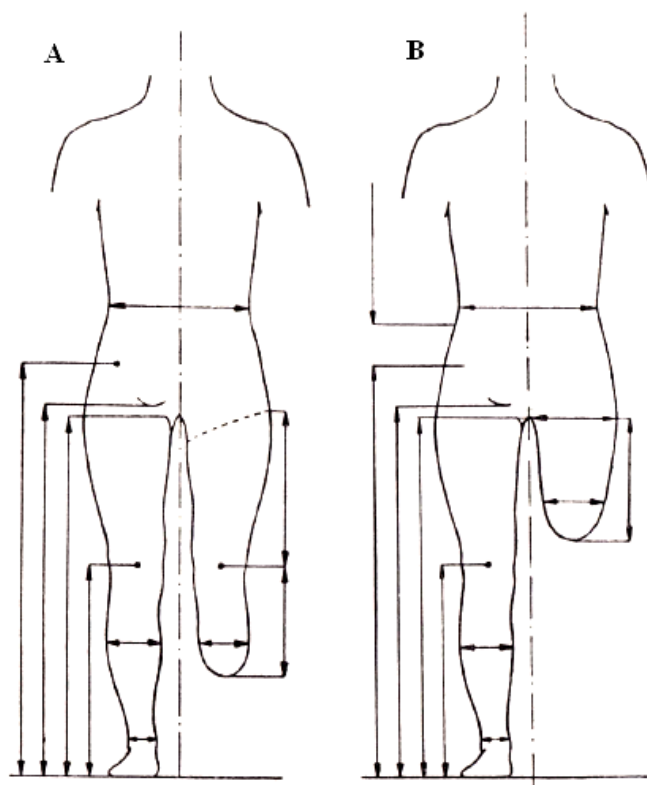
A – vertikální stavba, B – opěrné (šrafované oblasti) a tlakové (černé oblasti) body

Obr. 15. Opěrné body na těle [2]

2.2 Způsoby měření – klasické

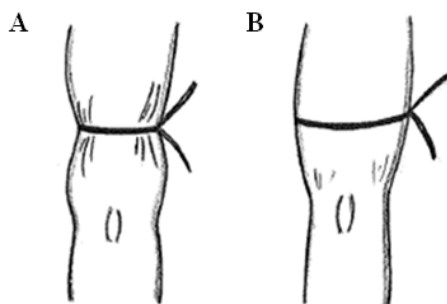
2.2.1 Prosté měření

Pro metodu prostého měření se nejběžněji používá krejčovský metr. Lze pro tento způsob měření použít také ocelový metr. Prostým měřením se zjišťují míry v podélné ose měřené části – míry délkové. Další zjistitelnou mírou při použití této metody jsou míry průměrové a obvodové. Všechny takto zjištěné míry mají svou pozici na proměřované části těla. Aplikace měřicích pomůcek nesmí deformovat tvar měřené části těla. [2,3]



A – bércevní amputační pahýl, B – stehenní amputační pahýl

Obr. 16. Prosté měření délky amputačního pahýlu [3]



A – špatně, pásková míra je příliš utažena, B – správně, pásková míra je volně uložena a kopíruje tvar měkké tkáně

Obr. 17. Prosté měření – měření délky končetiny páskovou mírou [2]

2.2.2 Plošné obkresy

Plošné obkresy se provádí na klasický papír dostatečného formátu. Pacient leží na papíře a potřebná část těla je obkreslována na papír. Základní podmínkou „nejpřesnějšího“ obkresu je vedení tužky kolmo k papíru, správným vedením

tužky vůči papíru vznikají minimální odchylky v obkresu části těla. Obkresy lze provádět i ve vertikální poloze pacienta, papír musí být napnut v rámu nebo na podložce. [2,3]



Obr. 18. Plošný obkres ruky [2]

2.2.3 Plošné otisky

Pomocí metody otisků se zjišťují statické tlakové poměry v ploše chodidla. Pro otisky je potřeba například otiskovacího pantografu. Při této metodě lze použít tiskárenskou čerň, která se rozetře například na chodidle. Otisk natřeného chodidla se provede na sklo nebo na papír.

Z řad složitějších přístrojů se používají pro otiskování přístroje fungující na optickém principu, které jsou doplněny fotoaparátem pro získání trvalé dokumentace. K zjišťování dynamického zatížení plosky chodidla se používají přístroje, u nichž se zatížení vyhodnocuje pomocí počítače. [2,3]



Obr. 19. Obtisk plosky nohy [2]

2.2.4 Plastické poloformy

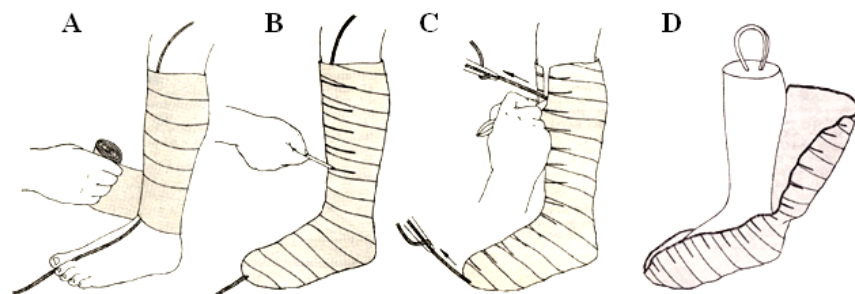
Tato metoda odebírání měrných podkladů pro protetika se používá nejčastěji pro horní nebo dolní končetiny. Pro tyto poloformy se používají speciální otiskovací materiály nebo hustá sádrová kaše. Před provedením otisku se zkoumaná část natírá vazelinou nebo jiným mastným médiem, aby bylo možné zaschlý sádrový otisk s minimálním poškozením sejmout. [2,3]



Obr. 20. Sádrová poloforma chodidla [3]

2.2.5 Sádrový model

Pro výrobu sádrového modelu se využívají sádrová obinadla. Obinadlem je příslušná část těla obtočena. Po ztvrdnutí se sádrová krusta rozstříhne a sejme z těla. Výsledkem je negativní tvar partie těla. Negativ se poté vyplňuje a vzniká sádrový pozitiv části těla. Při výrobě odlitku je nutné, aby byla sádrovaná část těla v poloze, ve které bude pomůcka nošena. [2,3]



A – obtáčení obinadlem, B – značení negativu, C – rozřezání negativu,
D – sádrový pozitiv

Obr. 21. Sádrový model zhotovený sádrovacím obinadlem [3]

Při výrobě odlišků platí:

„Trup musí být vzpřímen. Nesmí být vyvolána bederní hyperlordóza, nesmí být zvětšena hrudní kyfóza ani naopak. Horní končetina musí být v lehké abdukci a semiflexi v lokti, s nataženými prsty a abdukovaným palcem; dolní končetina v extenzi v kyčli a koleně, v lehké abdukci v kyčli a v 90stupňové flexi v hlezenném kloubu.“ [3]

2.3 Způsoby měření – progresivní 3D skenování

Progresivní metodou zjišťování měrných podkladů pro výrobu protéz je používání 3D skenovacích kamer. 3D skenovací kamery lze zařadit do oblasti reverzního inženýrství.

2.3.1 Reverzní inženýrství

Inženýrství lze rozdělit na dvě odlišné větve – inženýrství forwardní a reverzní. Inženýrství forwardní je klasický postup, u něhož je výstupem hmotný výrobek, vyrobený na základě technické dokumentace. Reverzní inženýrství lze nazvat jako zpětný postup výroby. Základem pro reverzní inženýrství je hotový výrobek. Reverzní inženýrství je možné nazvat jako proces získávání dat ze skenovaných 3D bodů hotového výrobku. Naskenované 3D body výrobku jsou upravovány a přepracovány do CAD modelu.

Reverzní inženýrství je v současné době intenzivně využívaná metoda získávání dat hlavně v průmyslovém odvětví. V některých případech nastávají situace, kdy je velmi složité navrhnout designérský prvek vyrobený z hlíny, sádry, dřeva přenést do CAD modelu.

Metoda reverzního inženýrství umožňuje rychle získat potřebná elektronická data pro výrobu součástí a tím také zkrátit dodací lhůty produktů na trh. [5,18]

Důvody použití reverzního inženýrství:

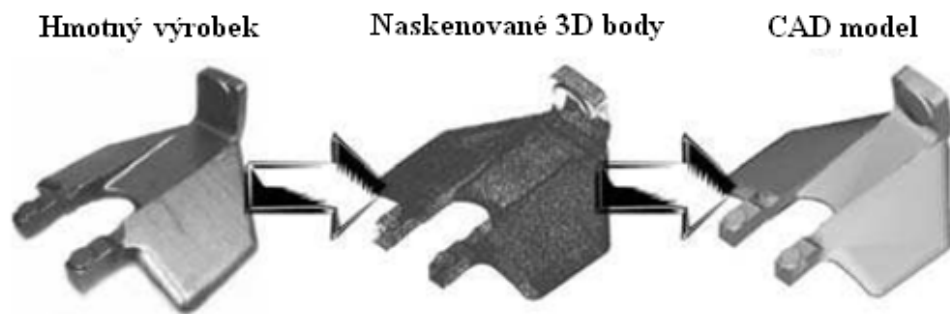
- původní výrobce součástí neexistuje, je potřeba vyrábět součásti,
- vytvoření dokumentace pro renovaci nebo výrobu součástí,
- přepracování zastaralé součásti,
- ztracená výkresová dokumentace,

- výkresová dokumentace neexistuje,
- porovnání s navrhnutým CAD modelem,
- získání dat pro výrobu zubních, chirurgických, ortopedických protetik.

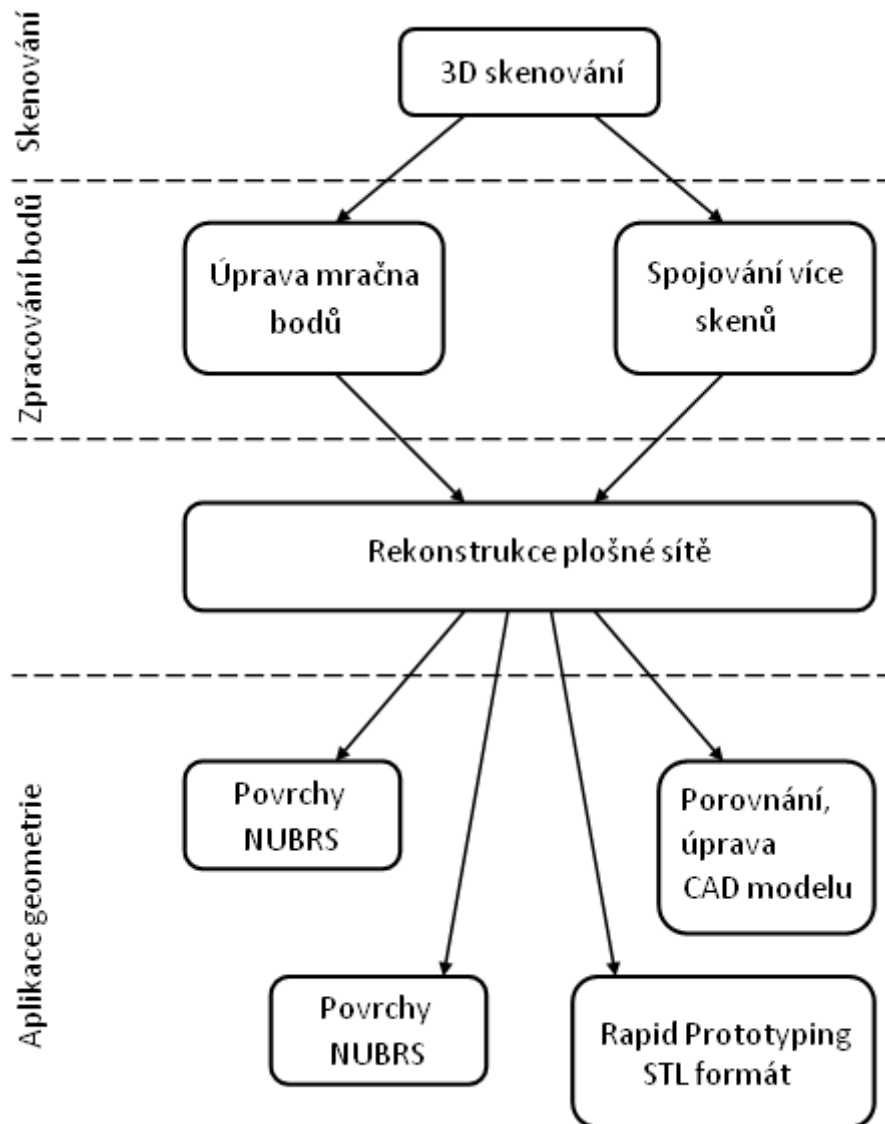
Zmíněné příklady využití reverzního inženýrství jsou pouze vybrané příklady z široké škály použití. [5]

2.3.1.1 Obecný postup reverzního inženýrství

Obecný postup reverzního inženýrství je složen ze tří kroků. Těmito kroky jsou skenování hmotného výrobku, zpracování bodů a aplikace geometrie (CAD model). [5,18]



Obr. 22. Princip reverzního inženýrství [5]



Obr. 23. Obecný postup reverzního inženýrství [5]

2.3.1.2 Skenování

Skenování hmotného předmětu je prvním krokem v reverzním inženýrství. Pro úspěšné skenování je potřeba:

- výběr vhodného skenovacího zařízení,
- příprava skenovaného předmětu,
- správnost skenování.

Po splnění těchto úkonů by mělo být výsledkem mračno nebo mračna bodů, která mají tvar skenované části předmětu. Skenovací zařízení může být určeno pouze pro tvorbu 3D skenů nebo může být součástí CNC obráběcího centra. [5]

Volba typu skenovacího zařízení se odvíjí od výsledků, které jsou požadovány. Požadavky rozhodující o volbě skenovacího zařízení jsou:

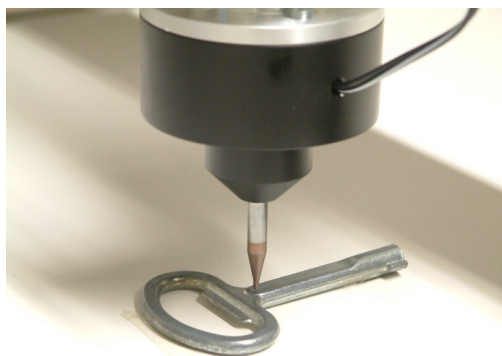
- snímatelný objem,
- přesnost a rychlost snímání,
- kvalita procesu (automatizace),
- přenosnost zařízení,
- pracnost zpracování získaných údajů. [18]

Skenovací zařízení lze rozdělit do dvou skupin podle metody snímání:

- kontaktní metoda snímání,
- bezkontaktní metoda snímání.

2.3.1.2.1 Kontaktní metoda snímání

Kontaktní metoda snímání využívá pro měření kontaktní sondy. Tato sonda automaticky kopíruje tvar předmětu. Sonda je upnutá do CNC řízené hlavy. Sonda je přitlačována k předmětu konstantním tlakem. Z tohoto vyplývá, že kontaktní metoda snímání není vhodná pro předměty, které by mohly být působením sondy deformovány. Dotykové skenery jsou řešeny například jako 3D skenovací stolové zařízení. Přesnost kontaktní metody je v rozsahu 0,01 – 0,02 mm. Kontaktní metoda je pomalá a je nevhodná pro skenování rozměrných předmětů. [5,18]



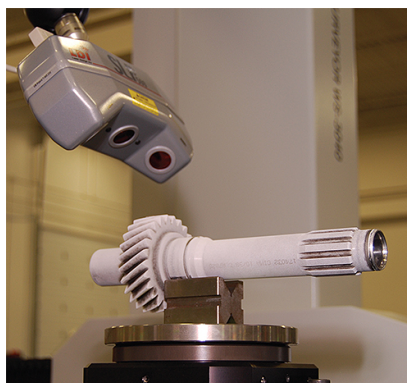
Obr. 24. Kontaktní metoda snímání [19]

2.3.1.2.2 Bezkontaktní metoda snímání

Při bezkontaktní metodě snímání nedochází ke styku měřidla s předmětem. Bezkontaktní skenovací zařízení pracují na laserovém nebo optickém principu. Takovéto přístroje jsou rychlejší při snímání než kontaktní zařízení. Bezkontaktní skenovací zařízení vytvářejí hustší síť skenovaných bodů.

Bezkontaktní metody snímání máme tohoto typu:

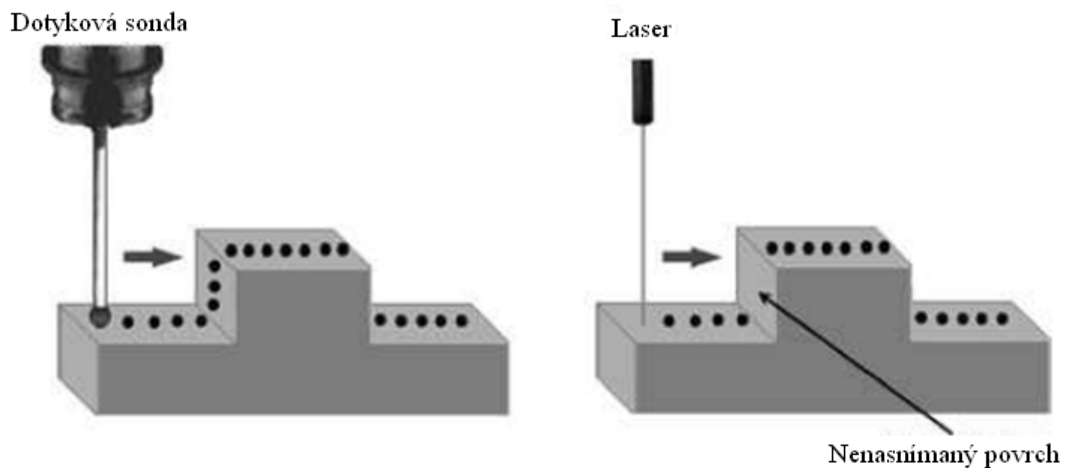
- optické,
- laserové,
- MRI – magneticko-rezonanční, CT – počítačová tomografie,
- destruktivní,
- ultrazvukové. [5,18]



Obr. 25. Bezkontaktní metoda snímání [20]

Tab. 1. Porovnání 3D skenovacích zařízení [18]

| Kategorie | Určení | Výhody | Nevýhody | Využití |
|---------------------|---|--|---|--|
| dotykové | vnější, větší méně komplikované plochy, bez rozměrově malých prvků | nízká cena | náročnost procesu, nízká rychlost, malá přesnost | design, jednoduché aplikace, malá frekvence používání |
| optické | vnější plochy, větší otvory, textury, velké objekty, omezeně i rozměrově malé prvky | rychlost procesu, velký pracovní prostor, automatizace procesu | vyšší cena, nižší přesnost | design, vývoj, souřadnicové měření, MKP analýzy, vysoká frekvence používání |
| laserové | vnější plochy, otvory, komplikované plochy | vysoká přesnost, kvalita výstupu, velký pracovní prostor | vysoká cena | design, vývoj, měření, MKP analýzy, kontrola kvality, vysoká frekvence používání |
| CT, MRI | vnější a vnitřní geometrie, i velké objekty | automatizace, kvalita výstupu, velké rozměry součástí, příznivý poměr kvalita/rychlost | vysoké náklady, speciální požadavky na pracoviště | design, vývoj, měření, analýzy, kontrola kvality, vysoká frekvence používání |
| destruktivní | vnější i vnitřní geometrie, rozměrově malé až středně velké objekty | vysoká přesnost, kvalita výstupu | destruktivní metoda, nízká rychlost, malá pracovní plocha, vyšší provozní náklady | design, vývoj, měření, analýzy, kontrola kvality, středně vysoká frekvence používání |
| ultrazvukové | vnější i vnitřní geometrie, tvarově jednodušší objekty | nízká cena, jednoduchá obsluha | nízká kvalita, malá přesnost | design, animace, grafika apod. |



Obr. 26. Problematika snímání ploch u bezkontaktních zařízení [5]

U bezkontaktních metod snímání může docházet k nezaznamenání výškového rozdílu mezi plochami, které jsou rovnoběžné s osou snímacího paprsku. Dalším problémem při skenování pomocí bezkontaktního skeneru je odraz snímacího paprsku od lesklé plochy. Lesklé plochy je nutné pokrýt vrstvou zmatňujícího materiálu (prášek, barva). [5]

2.3.1.3 Zpracování bodů

Druhým krokem je zpracování naskenovaných bodů. Tento krok zahrnuje importování bodů, které jsou výstupem skenování předmětu, ale také redukci nasnímaných bodů. Redukce bodů se provádí pomocí předem nadefinovaného filtru, obsaženém v softwaru. Pro správné zpracování bodů je nutné, aby uživatel zvolil vhodný filtr na odfiltrování. Jak již bylo řečeno, skenovací zařízení jsou hlavně omezena svým skenovacím záběrem. V případě snímání rozměrných předmětů je nutné skenování provádět postupně z více různých záběrů skeneru na předmět. Při postupném skenování dochází ke změně vzájemné polohy skeneru a objektu skenování. Při použití tohoto postupného skenování částí rozměrného předmětu je nutné získané skeny (body) spojit v jeden celek, který bude mít odpovídající tvar snímaného objektu. Vhodně naplánovaným postupným skenováním lze zjednodušit a zrychlit fázi spojování skenů. Výstupem zpracování bodů je mrak bodů ve vhodném formátu pro tvorbu ploch a následně modelu. [5]

2.3.1.4 Aplikace geometrie

Stejným způsobem jako při použití technologie Rapid Prototyping dochází ke snížení časů pro získání fyzického prototypu, tak stejným způsobem pomáhá metoda reverzního inženýrství získat relativně rychle CAD model z hmotného předmětu.

Generování CAD modelu z mračna bodů je provedeno pomocí algoritmů. Vygenerované plochy odpovídají naskenovaným bodům v 3D prostoru. Postup při aplikaci geometrie se odvíjí od následného použití CAD modelu. V případě využití takovýchto CAD dat pro řízení víceosého číslicově řízeného centra je vhodné, aby geometrie byla v ISO-G-code datovém tvaru. Výstupem této fáze může být geometrický model ve formátech IGES, VDA, STL, DXF, OBJ, VRML, ISO G-kód a dalších. Vhodným tvarem dat lze zkrátit proces výroby součástí. Reverzní inženýrství může být použito také pro kontrolu výroby (porovnání vyráběných dílů), výroby lidských kloubů a umělých náhrad těla na míru. [5]

3 PROTETIKA

Protetika je obor ortopedické protetiky, jak již bylo zmíněno v jedné z předchozích kapitol. Protetika lze nazývat také jako protézy. Protéza pacientovi nahrazuje odstraněnou část těla kosmeticky, ale i funkčně. Protézy jsou vyráběny podle potřeb pacienta. V současné době platí, že protéza se přizpůsobuje pacientovi. [1,2,3]

„Protéza a pacient tvoří funkční jednotku, stav označujeme jako „biomechanický celek“.“ [2]

Protéza se správnou funkčností musí být vyrobena ze správných součástí a tyto součásti musí být správně zpracovány. Funkční protéza musí vyhovovat pacientovi z hlediska fyzikálního, profesního, sportovního. Nelze vynechat předpoklady psychické a mentální. [1,2,3]

Dělení protéz podle ovládní:

- **Kosmetické**

Kosmetické protézy jsou druhy protéz, jejichž hlavní funkcí je kosmetické krytí ztracené části těla pacienta. Tento typ protéz nemá funkční charakter. Tyto protézy se používají hlavně u protéz horních končetin. Kosmetické protézy lze zařadit do ortopedického oboru epitetika.

- **Pasivně ovládané**

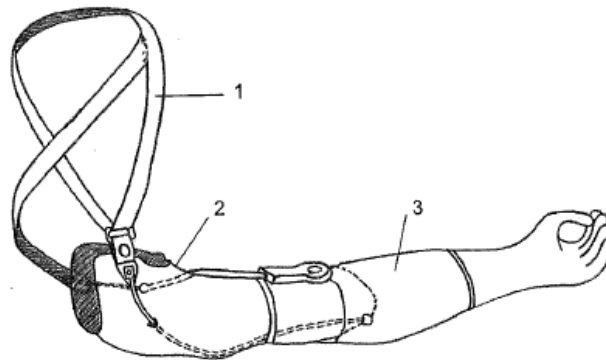
Pasivně ovládané protézy obsahují v kloubech zámky. U protéz s tímto typem ovládní lze provést nastavení částí náhrady do libovolné polohy. Například u protézy PVC dlaně lze nastavit prsty do určité polohy pro úchop předmětu. U pažní protézy lze nastavit loket do 90% flexe (zavěšení předmětu na předloktí).

- **Aktivně ovládané**

Tento typ protéz je ovládn přídavným zařízením. Pomocí přídavného zařízení může uživatel protézy pohybovat jednotlivými částmi náhrady. Do aktivně ovládných protéz lze zařadit tahové protézy a protézy s mimotělním zdrojem pohybu.

Tahové protézy – silově ovládné pacientem.

Mimotělní zdroj pohybu – elektrické protézy, myoelektrické protézy (bioelektrické), pneumatické protézy, hydraulické protézy. [2,4,15]



1 – závěs paže s aktivním ovládním pohybu v loketním kloubu vertikálním tahem, 2 – závěsné zařízení protézy, 3 – myoelektrická jednotka periferie s elektricky ovládanou funkcí ruky

Obr. 27. Hybridní protéza horní končetiny [2]

Dělení protéz podle techniky stavby:

- **Exoskeletové protézy**

U exoskeletových protéz je zajištěna nosná funkce a vnější tvar protézy tvarem stavebních dílů. Tento typ protéz má klasické uspořádání. Exoskeletové protézy se vyrábějí nejčastěji ze dřeva a polymerních materiálů. [2]



Obr. 28. Exoskeletová protéza chodidla [15]

- **Endoskeletové protézy (tubulární)**

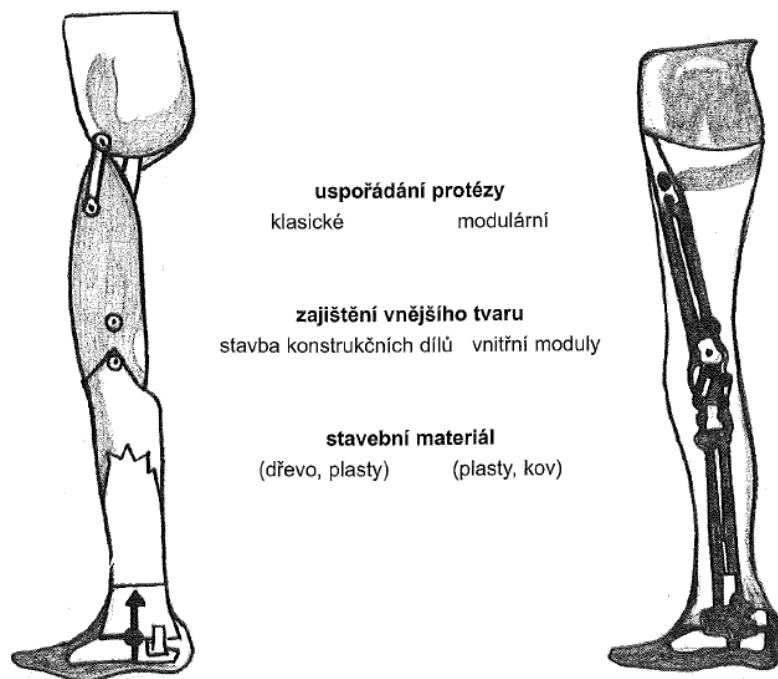
U tubulárních protéz zajišťuje nosnou funkci stavební modul. Vnější tvar a vzhled protézy je dán kosmetickým krytem. Uspořádání tubulárních protéz je modulární. Pro výrobu nosných prvků se používají kovové materiály. Kosmetické části těchto protéz jsou vyráběny z polymerních materiálů. [2]



Obr. 29. Endoskeletová protéza chodidla [13]



Obr. 30. Endoskeletová protéza chodidla Trés [16]

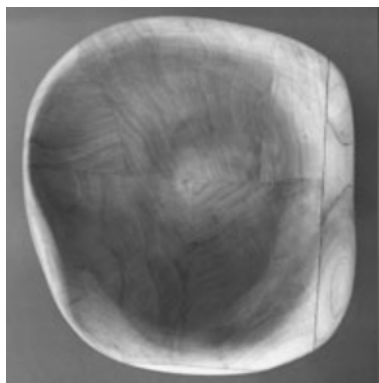


Obr. 31. Exoskeletová protéza x endoskeletová modulární protéza [2]

Všechny protézy jsou složeny ze dvou základních součástí. Těmito základními součástmi jsou pahýlové lůžko a periferie protézy. Pahýlové lůžko pokrývá povrch amputačního pahýlu a určuje komfortnost protézy.

Druhy pahýlových lůžek:

- Závěsné pahýlové lůžko – tento typ pahýlového lůžka je formován do přibližného tvaru amputačního pahýlu, výhodou je snadná aplikace, nevýhodou je přítomnost přídavného fixačního mechanismu a horší ovladatelnost protézy přes pahýlové lůžko.
- Pahýlové lůžko semikontaktní – je potřeba opět přídavného závěsného mechanismu, lepší kontakt povrchu amputačního pahýlu a lůžka, větší kontaktní plochy mají za následek snadnější ovládání protézy přes pahýlové lůžko.
- Pahýlové lůžko plně kontaktní – oproti předchozím typům není potřeba přídavného závěsného mechanismu, dokonalé vytvarování vnitřního povrchu lůžka má za následek plný kontakt mezi lůžkem a amputačním pahýlem, současně se používají podtlakové ventily vytvářející podtlak. [2,3]
- Speciální silikonová, polymerní lůžka, polymerní gely – jsou uloženy na amputačním pahýlu díky svým elastickým vlastnostem, lůžko protézy je formováno podle tvaru speciálního lůžka ze silikonu nebo polymeru, výhodou je subjektivní zvýšení komfortu, nevýhodou je špatná prostupnost tekutin lůžkem a vyšší nároky na údržbu lůžka, pro zvýšení komfortu při nošení protézy se aplikují polymerní gely. [2,3,16]



Obr. 32. Pahýlové lůžko – horní pohled do lůžka [14]



Obr. 33. Pahýlové lůžko – řez pahýlovým lůžkem [14]



Obr. 34. Polymerní návleky na pahýlová lůžka [16]

Celkovou kvalitu a komfortnost pahýlového lůžka ovlivňuje tvar a objem lůžka, nikoliv použitý materiál pro výrobu lůžka. [14]

Periferie protéz

Další částí protézy je periferie. Periferie protézy určuje mechanické vlastnosti protézy. Periferie protézy spojuje pahýlové lůžko s koncovým prvkem protézy (ruka, chodidlo). Typ periferie protézy se odvíjí od techniky stavby protézy a od toho jakou část těla protéza nahrazuje. Skladba protézy, uspořádání součástí a uložení protézy vůči tělu určuje statické a dynamické vlastnosti pomůcky. [2,3]

„Prostorovým uspořádáním protézy a způsobem její stavby je možno optimalizovat výsledný funkční efekt protézy v souladu s dynamikou života pacienta.“ [2]

3.1 Protézy dolních končetin

Protéza dolní končetiny je složena z několika částí:

- pahýlové lůžko,
- periferie protézy dolní končetiny (propojení mezi pahýlovým lůžkem a koncovým prvkem – chodidlem), kloubové prvky,
- koncový prvek.

Koncový prvek protézy dolních končetin – protetické chodidlo

Protetické chodidlo je většinou koncovým prvkem při amputaci dolní končetiny. Chodidlo je důležité ze statického i dynamického hlediska. Stavba, geometrie a uložení do celkové stavby protézy se významně podílí při poloze pacienta ve stoje i v sedu. Protetická chodidla lze rozdělit na statická (pevná) a dynamická (pohyblivá).

Pro pevná chodidla se využívá kombinace materiálů s odlišnou pružností. Nejčastěji dochází ke kombinaci tvrdého dřeva a pružných plastů. Pružnější materiál je umisťován do polohy paty.

Pohyblivá chodidla umožňují dle použitého materiálu různě zpracovat a využít přijatou energii. Nejčastěji používanými materiály pro stavbu těchto chodidel jsou kompozitní materiály. Dynamické chodidlo může způsobovat uživateli subjektivní pocit nestability náhrady. Z tohoto důvodu se aplikace dynamického chodidla doporučuje fyzicky aktivním uživatelům protézy. [2]



Obr. 35. Chodidlová protéza Greissinger [15]



Obr. 36. Chodidlová protéza TruStep [16]

3.1.1 Protézy dolních končetin – rozdělení podle výšky amputace

Protézy nožní

Protézy nožní se aplikují v případech ztráty části nebo celého chodidla. Protézování se provádí pomocí sandálové protézy nebo štítové protézy. Použití sandálové protézy lze využít v případě odstranění části chodidla. Štítovou protézu je možné použít pouze v případě ztráty celého chodidla. Nožní protézy se prolínají s ortopedickým oborem epitetika zajímavícím se o kosmetický vzhled. [2,13]



Obr. 37. Epitetická protéza nožní [17]

Protézy bércevé

Bércevé protéza je složena z pahýlového lůžka, periferie protézy a chodidlové protézy. Je možná varianta bércevé protézy, u níž je periferie protézy a chodidlo z jednoho kusu materiálu. Použití jednotlivých dílů pro stavbu bércevé protézy je dáno funkčními schopnostmi pacienta. [3,12]



Obr. 38. Bércová protéza – standardní [12]

Protézy stehenní

Stehenní protéza je složena z pahýlového lůžka, periferie a chodidla. Dále protéza většinou obsahuje také kolenní kloub. Použití dílů je přizpůsobeno dle funkčních schopností pacienta. [12]



Obr. 39. Stehenní protéza – standardní [12]

Protézy pro exartikulaci kyčle

Tento typ protézy se skládá ze speciálního pahýlového lůžka, skeletu periferie a chodidla. Pomocí speciálního pahýlového lůžka je protéza připojena k pánvi pacienta. Tato protéza obsahuje speciální kyčelní a kolenní kloub. Použití dílů se odvíjí dle funkčních schopností uživatele. [3,12,15]



Obr. 40. Protéza pro exartikulaci v kyčelním kloubu se systémem Helix3D [15]

3.2 Protézy horních končetin

Protéza horní končetiny je složena z několika částí:

- pahýlové lůžko,
- periferie protézy horní končetiny (propojení mezi pahýlovým lůžkem a koncovým prvkem – rukou), kloubové prvky,
- koncový prvek.

Koncový prvek protézy horních končetin – protetická ruka

Protetická ruka je většinou koncovým prvkem protézy horní končetiny. Protetické ruce mohou být kosmetického (bez funkčního pohybu), pasivního (nastavení prstů do úchopu) a aktivního typu (mechanické ovládání, elektrické apod.).



Obr. 41. Tahová protéza – systémová jednotahová ruka [15]



Obr. 42. Elektrická ruka Michelangelo [15]



Obr. 43. Elektrická ruka DMC (řízená svalovými signály) [15]

3.2.1 Protézy horních končetin – rozdělení podle výšky amputace

Protézy ruční

Ruční protézy se aplikují v případech ztráty části či celých prstů, jednoho nebo i více prstů. V některých případech je nutná amputace ruky v oblasti dlaně. Protézování rukou se provádí v případech, pokud je odstraněna podstatná část ruky. Protézování rukou se provádí z důvodu funkčního a kosmetického. Hlavní důvod aplikace protézy ruky je kosmetický. Funkčnost náhrady je vedlejší. I přesto ruční protéza umožňuje sevření předmětů. Ruční protéza se skládá z pahýlového lůžka, přizpůsobeného například pahýlu dlaně a prstů. Na takovou sestavu se dále aplikuje kosmetická rukavice, nebo je protéza pokryta barvenou silikonovou hmotou. Silikonová krycí vrstva protézy se pigmentuje podle pacientovy druhé zdravé ruky nebo předloktí. Tato silikonová vrstva má kožní strukturu a nehty. Odvětví protéz rukou se silně prolíná s oborem ortopedické protetiky epitetika. [3, 13]



Obr. 44. Epitetická protéza prstu [13]



Obr. 45. Epitetická protéza ruky, dokončovací matová úprava [13]



Obr. 46. Epitetická protéza ruky, aplikovaná na pacientovi [13]

Protézy předloketní

Předloketní protéza se skládá z pahýlového lůžka, předloketní protézy, koncového prvku. Koncovým prvkem může být kosmetická ruka, mechanická ruka nebo pracovní nástavec. [3]



Obr. 47. Předloketní protéza [12]



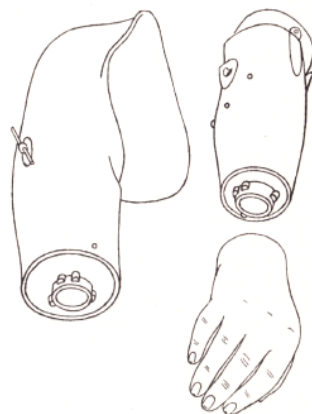
Obr. 48. Předloketní protéza s kosmetickou rukou [3]

Protézy pažní

Protéza pažní se skládá z pahýlového lůžka pro ramenní kloub, periferie protézy a koncového prvku. Koncovým prvkem může opět být kosmetická ruka, mechanická ruka nebo pracovní nástavec. Je možné i uspořádání bez samostatné ruky, pak je protéza tvořena pahýlovým lůžkem a periferií protézy s rukou. [3]



Obr. 49. Pažní protéza s ovládacím mechanismem [12]



Obr. 50. Pažní protéza – rozložená na základní díly [3]

4 MATERIÁLY PROTÉZ

Pro výrobu protéz se využívá velké množství materiálů. Materiály pro výrobu protéz lze rozdělit podle typu protézy. Jak již bylo zmíněno, lze protézy rozdělit na exoskeletové a endoskeletové. Pro každý typ těchto protéz se používají různé materiály v závislosti na jejich funkci.

Základní materiály používané pro výrobu protéz jsou kovy, nekovové materiály, organické materiály, anorganické nekovové materiály a polovodičové materiály.

Mezi nejpoužívanější materiály v oblasti protetiky v současnosti patří polymerní materiály a kompozitní materiály. [6,16]

4.1 Polymerní materiály

4.1.1 Nejčastěji používané polymerní materiály

Mezi nejfrekventovanější materiály v oblasti protetiky jsou:

- PE – polyetylen

Polyetylen je kopolymerem ethenu s α -olefiny. Polyetylen tvoří širokou paletu produktů s různými zpracovatelskými a uživatelskými vlastnostmi. Je nejznámější termoplast, velmi odolný vůči vnějším vlivům. Nejznámější dva druhy PE jsou HDPE (high density polyethylene) a LDPE (low density polyethylene). HDPE je využíváno pro výrobu pevnějších výrobků (přepravy, ochranné přilby). LDPE je používáno na výrobu měkčích výrobků (odpadové sáčky).

- EVA – etylenvinylacetát

EVA je kopolymer ethylenu a vinylacetátu. EVA je průsvitný až průhledný materiál. Tento materiál má vysokou pevnost. S rostoucím množstvím vinylacetátu roste průtažnost, rázová houževnatost a odolnost proti vytváření trhlin. Naopak s větším množstvím vinylacetátu klesá tvrdost a tvarová stálost. Tento kopolymer se používá například pro výrobu fólií, obalovin a ohebných hadic. V protetice se využívá pro výrobu podrážkových materiálů.

- PET – polyethylentereftalát

Nejvýznamnější polyester současnosti je polyester kyseliny tereftalátové a etylenglykolu. PET se využívá pro výrobu vláken, fólií a lahví. Vlákna z PET jsou nemačková, mají malou navlhavost a stálé při zahřívání na vzduchu na rozdíl od vláken z jiných materiálů. V lékařském odvětví se používají jako cévní náhražky.

- PP – polypropylen

Polypropylen je významným a mnohostranně používaným materiálem. PP má elektroizolační vlastnosti a chemickou odolnost. Má dostatečnou tvrdost a pevnost. Tento materiál dobře odolává vroucí vodě. PP je křehký při teplotě kolem 0°C. Další použití materiálu PP je jako obalový materiál v potravinářství.

- PMMA – polymethylmetakrylát

Vyrábí se polymerací (blokovou nebo suspenzní) esterů kyseliny methakrylátové. Je znám také jako plexisklo nebo akrylátové sklo. PMMA je čirý a bezbarvý i při větších tloušťkách. Je velmi výborně průhledný a barvitelný. Má velmi dobrou odolnost proti povětrnostním podmínkám. Polymethylmetakrylát má výbornou tvarovou paměť a vysokou propustnost světla. Tento materiál má dobré mechanické a elektroizolační vlastnosti. Dále také odolává vodě a některým kyselinám. Nevýhodou PMMA je nízká povrchová tvrdost. PMMA se používá jako náhrada skleněných výrobků. Je často používán v zubní protetice.

- PS – polystyren standardní

Základní složka styren se polymeruje všemi polymeračními mechanismy. Většinou se pro výrobu standardního polystyrenu využívá blokové nebo suspenzní polymerace. PS má velmi dobré elektroizolační vlastnosti. Působením světla žloutne. Odolává vodě, alkoholům a minerálním olejům. PS je tvrdý a křehký. Používá se v průmyslu spotřebním, obalovém, potravinářském a hračkářském. Dále se používá na nátěrové hmoty.

- PVC – polyvinylchlorid

Vyrábí se polymerací vinylchloridu. PVC lze rozdělit na tvrdé PVC a měkčené PVC. Je jeden z nejpoužívanějších plastů. Měkčené PVC se používá například pro výrobu rukavic a koženky. Z tvrdého PVC se vyrábí okenní rámy a trubky.

Polyvinylchlorid není rozpustný ve vodě, olejích, koncentrovaných kyselinách a zásadách. [6,16]

4.2 Polymerní kompozitní materiály

Kompozitní materiál je složen ze dvou a více látek s rozdílnými vlastnostmi. Spojením těchto materiálů vznikají výrobky s novými vlastnostmi.

Polymerní kompozitní materiály jsou složeny z výtuzných vláken a matrice. Matrice může být z termosetu nebo termoplastu. Pevnost a tuhost kompozitu se odvíjí v určité míře od pevnosti a tuhosti vláken. Použitý typ vláken a jejich orientace ve výrobku silně ovlivňuje mechanické chování kompozitu. Nejpoužívanějšími vlákny pro výrobu kompozitu jsou vlákna skleněná, aramidová, uhlíková a přírodní. [kompozit]

„U vyztužených plastů se v mnoha případech požaduje cílené vyztužení ve směru namáhání, takže výsledkem je – na rozdíl od kovů nebo nevyztužených plastů – *anizotropní materiál*, tj. materiál vykazující v různých směrech rozdílné vlastnosti.“ [7]

„Vstříkované plasty vyztužené krátkými vlákny se často řadí mezi vyztužené plasty, protože technologie zpracování, která je obdobná jako u nevyztužených plastů, pouze omezeně ovlivňuje požadovanou anizotropii. Avšak 90 % všech vyztužených plastů se skládá ze směsi dlouhých skleněných vláken a polyesterových nebo vinylesterových pryskyřic. Z aplikačního hlediska je většina vyztužených plastů uspořádána vrstevnatě a je nazývána lamináty.“ [7]

Vybrané výhody laminátů:

- vysoká pružnost při deformaci,
- vysoká pružnost a tuhost, kterou lze přizpůsobit směru a typu zatížení,
- přizpůsobivost tvaru,
- odolnost vůči dynamickému namáhání,
- nízká teplotní roztažnost,
- vysoká odolnost proti stárnutí a korozi,

- velké množství kombinací matrice a vláken = složení materiálu na míru.

Vybrané výhody laminátů:

- neexistuje standardní kompozit (velké množství materiálových složení),
- nesnadné odvození chování kompozitu,
- nízká mez pevnosti v tahu v kolmém směru na vlákna,
- nižší odolnosti proti působení vlhkosti za tepla,
- specifické vlastnosti materiálu a způsoby zpracování,
- lokální poškození (náraz), obtížné rozpoznání a opravení než například u hliníkových konstrukcí. [7]

5 VÝROBA PROTETIK

Pro výrobu protetik lze využít řadu různých metod. Jednou z řady použitelných metod je CNC obrábění frézování. Obecně CNC řízení je vhodné pro výrobu tvarově složitějších rozměrově přesnějších výrobků. Pomocí číslicově řízených obráběcích strojů lze vyrábět konstrukční funkční prvky protéz. Dále je možné vyrábět modely nebo dutiny, nahrazovaných části těla, pro výrobu protetik. Metodu číslicového řízení lze aplikovat vhodně ve spojitosti s 3D skenovacími zařízeními.

5.1 Technologie frézování

Frézování je jedna z třískových obráběcích metod. Při technologii frézování dochází k úběru materiálu břity otáčejícího se nástroje. Posuv vykonává obrobek nejčastěji v kolmém směru na osu nástroje. Pohyb obrobku může být přímočarý, otáčivý nebo obecný po prostorové křivce. V současné době jsou u frézovacích strojů (obráběcí centra) pohyby vykonávány plynule měnitelné ve všech směrech.

Frézování lze rozdělit z technologického hlediska na dvě skupiny:

- frézování válcové (frézování obvodem)
 - obrábění zuby na obvodu frézy,
- frézování čelní (frézování čelem)
 - obrábění zuby na obvodu i na čele.

Dalšími metodami je například frézování okružní nebo planetové. [9,11]

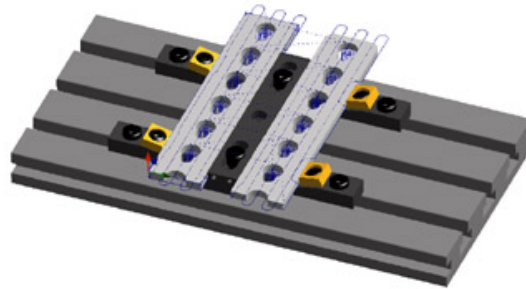
5.1.1 Metody CNC obrábění podle počtu os

Metody CNC frézování lze rozdělit podle počtu řízených os na několik typů.

5.1.1.1 2,5-osé frézování

2,5-osé neboli 2,5D obrábění představuje obrábění tvarů vytvořených ve 2D. Trojrozměrnost takto vytvořených tvarů je realizována výškovým pohybem nástroje v ose Z. 2,5D frézování umožňuje současný pohyb pouze v osách X a Y. Pohyb v ose Z nelze provádět současně s pohyby v osách X a Y. Tento způsob frézování se používá při výrobě strojních dílců prizmatického tvaru nebo

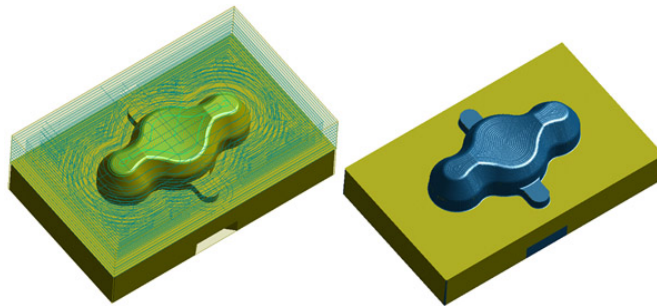
opracování odlitků. Nejčastější operace jsou kapsování, kontury, drážkování a vrtání.



Obr. 51. 2,5-osé frézování [21]

5.1.1.2 3-osé frézování

3-osé frézovací zařízení obsahuje základní osy X, Y a Z. Tato metoda umožňuje současný pohyb ve všech 3 osách. [21]



Obr. 52. 3-osé frézování [21]

5.1.1.3 4-osé frézování

4-osé frézování lze rozdělit:

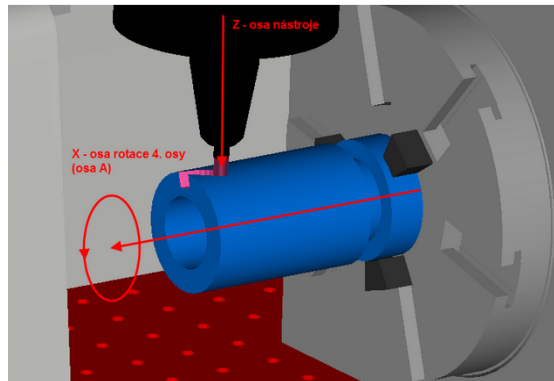
- 4-osé frézování polohováním,
- 4-osé frézování kontinuální.

4-osé frézování polohováním

Jde o frézování, při němž je využita 4 osa. Čtvrtá osa je definována jako rotační osa například děličky. Čtvrtá osa se využívá pouze pro natáčení výrobku uchyceného v děličce. Obrobek se natáčí do požadované polohy. Po nastavení se zafixuje a následně probíhá například 3-osé frézování. [22]

4-osé frézování kontinuální

Tento typ stroje je možné ovládat ve 4 osách. Jedna osa je rotační. Při použití tohoto způsobu řízení lze ovládat všechny 4 osy souvisle. [22]



Obr. 53. 4-osé frézování kontinuální [22]

5.1.1.4 5-osé frézování

5-osé frézování lze rozdělit:

- 5-osé frézování polohováním,
- 5-osé frézování kontinuální.

5-osé frézování polohováním

Při metodě 5-osého frézování polohováním se využívá základních 3 os. Základní osy jsou jako u klasického 3-osého frézování X, Y, Z. Tuto metodu lze nazvat také 3+2-osé obrábění. Zařízení obsahuje 3 lineární osy a 2 rotační osy. Tato metoda neumožňuje současný pohyb lineárních os společně s osami rotačními.

Rozdělení os:

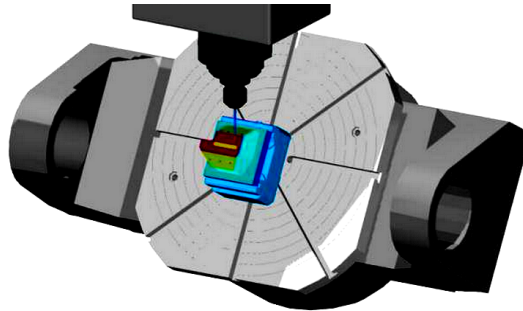
- 3 lineární osy X, Y, Z,
- 2 rotační osy – umístěny většinou kolem jedné z hlavních os.



Obr. 54. Rozdělení os [22]

Hlavní výhodou této metody je obrábění více ploch na jedno upnutí. Tato výhoda má za následek snížení nebo odstranění času potřebného pro upnutí do nové

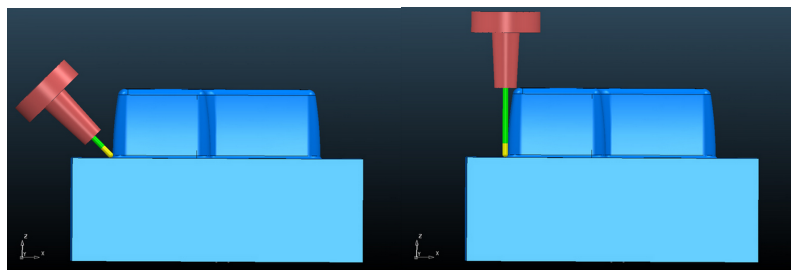
polohy a snížení vzniklých chyb upínáním. V souvislosti s použitím této metody je možné používat kratších nástrojů, což má za následek vyšší tuhost stroje, lepší rozměrovou a povrchovou kvalitu. [22]



Obr. 55. 5-osé frézování polohováním [22]

5-osé frézování kontinuální

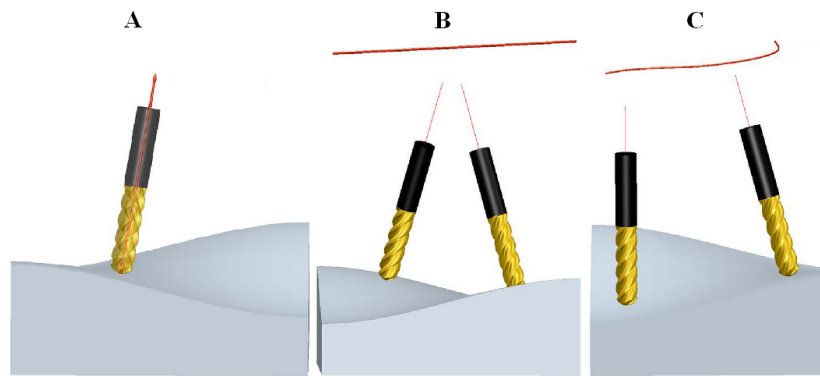
Princip kontinuálního 5-osého frézování spočívá v možnosti současného pohybu v lineárních a rotačních osách. Stroj má lineární osy X, Y, Z a rotační A, B, C. Tato metoda umožňuje vyrábět obecné tvary, aniž by došlo ke změně upnutí. Vyklonění nástroje lze docílit použitím kratších nástrojů. Použitím kratších nástrojů je možné dosáhnout lepší kvality povrchu.



Obr. 56. Využití kratších nástrojů [22]

Při kontinuálním 5-osém frézování je třeba programování trajektorií obrábění CAM systém. Moderní CAM systémy umožňují různé nastavení osy nástroje:

- pevné nastavení odklonu nástroje,
- řízení nástroje podle normály plochy,
- řízení osy nástroje podle uživatelských prvků (přímka, bod, křivka). [22]



A – řízení podle normály, B – řízení podle přímky, C – řízení podle křivky

Obr. 57. 5-osé frézování – realizace náklonu nástroje [22]

5.2 Číslicové řízení

„Číslicově řízené výrobní stroje (CNC) jsou charakteristické tím, že ovládání pracovních funkcí stroje je prováděno řídicím systémem pomocí vytvořeného programu. Informace o požadovaných činnostech jsou zapsány v programu pomocí alfanumerických znaků. Vlastní program je dán posloupností oddělených skupin znaků, které se nazývají bloky nebo věty. Program je určen pro řízení silových prvků stroje a zaručuje, aby proběhla požadovaná výroba součásti.“ [8]

Stroje, které jdou jednoduše přizpůsobit odlišné výrobě, lze nazývat jako „pružné“.

Program, podle něhož vykonává stroj náležité úkony, se nazývá řídicí program.

Řídicí program obsahuje 3 typy informací:

- geometrické informace
 - udávají rozměry obrobku a stanovují trajektorii dráhy.
- technologické informace
 - udávají technologii obrábění, řezné podmínky (otáčky, řezná rychlost, rychlost posuvu, hloubka, třísky).
- pomocné informace
 - povely pro pomocné funkce (zapnutí chladicí kapaliny, směr otáček vřetene atd.).

Pro zajištění CNC řízení je nutné, aby zařízení obsahovalo:

- počítač (průmyslový počítač s nahaným řídicím systémem)
 - součást stroje,
 - složen z pohledu obsluhy monitorem a ovládacím panelem; ovládací panel slouží pro ruční obsluhu a seřizování stroje,
 - možnost vytvářet řídicí program přímo programováním na stroji,
 - řídicí program lze vytvořit mimo stroj, do řídicího systému se nahrává.
 - řídicí obvody
 - provádí převod na silnoproudé elektrické signály, kterými se ovládají zařízení stroje (motory vřeten, posuvů).
 - interpolátor
 - řeší dráhu nástroje nebo obrobku, jenž je daná geometrií výrobku,
 - provádí výpočet délkových a rádiusových korekcí, počítá ekvidistantu od požadovaného obrysu,
 - zabezpečuje geometrickou přesnost výrobku.
 - porovnávací obvod
 - lze nazvat zpětnou vazbou,
 - porovnává hodnoty dosažených jednotlivými prvky stroje s hodnotami v řídicím programu, na základě zjištěných diferencí dochází ke korekcím dráhy do okamžiku, než je dosažena hodnota z řídicího programu, stroj musí být vybaven odměřovacím systémem.
 - řídicí panel
 - dělí se na několik částí: vstup dat, ovládání stroje, volba režimu stroje, aktivace paměti, aktivace testů, obrazovka, přenosný panel.
- [8,9]

5.3 Metody tvorby řídicího programu

Řídicí program pro CNC zařízení lze vytvořit několika způsoby.

5.3.1 Ruční programování

Tato metoda programování spočívá v ručním zadávání údajů pro řízení stroje. Na začátku každého programu je před první větou zadat znak %. Dále pak za tímto znakem je uvedeno číslo programu. Toto platí pro většinu řídicích systémů. Před znakem % lze uvádět údaje, které jsou informativní například pro obsluhu. Ruční programování je možné provádět dvěma způsoby, tj. absolutním, přírůstkovým programováním nebo jejich kombinací. [8,9,10]

5.3.2 Strojní programování – CAD/CAM programování

Strojní programování lze nazvat také jako CAD/CAM programování. „CAD/CAM systémy realizují vyšší stupeň počítačové podpory než klasické (ruční) CNC programování. Výkres vytvořený v systému CAD se kopíruje pro další práci v modulu CAM. Programátorské rutinní vědomosti (funkce G, M, popis dráhy, možnosti cyklů atd.) není třeba uvádět. Vygenerují se automatizovaně pomocí zadávaných příkazů z převzaté kontury CAD ve 2D výkresu nebo z modelu 3D.“ [8]

Při tomto způsobu programování je potřeba hlubší znalosti pro obsluhu CAM modulu a CAD modulu. V případě CAD/CAM programování, programátor vytvoří většinou více strategií, z nichž je pak vybrána ta nejvhodnější varianta.

Modul CAM se orientuje na následující problematiku:

- strategii obrábění
 - postup pro zhotovení výrobku,
 - pořadí úkonů (hrubování, hlazení, závity, rastrování, ofsetování).
- volba nástroje
 - tvar, rozměry, bod výměny nástroje,
 - řezné podmínky vztažené pro nástroj a na obrobek pro danou strategii obrábění.
- podmínky obrábění
 - strategie obrábění daného operačního úseku (na jeden nástroj),
 - poloha obrábění ke kontuře,

- způsob obrábění,
- chlazení, mazání místa řezání,
- další podmínky.
- vytvoření programu, simulace programu, odhalení vzniklých chyb, dodatečné upravení programu.
- výběr vhodného postprocesoru (překladače) pro používaný řídicí systém CNC stroje.
- automatizované vyhotovení programu CNC v modulu CAM zapsaného v blocích v ISO kódu, přenos programu na CNC stroj.
- nahrávání programu do stroje, možnost úpravy programu na stroji. [8]

5.3.3 Dílenské programování

Dílenské programování lze popsat jako vytváření řídicího programu přímo na CNC stroji obsluhou. Princip programování je shodný s programováním na programátorském pracovišti. Programování se provádí podle klasických zásad programování strategie. Pro tento způsob programování je potřeba výkonnějšího zařízení, na kterém se provádí tvorba programu. Při dílenském programování je možné využít grafického zobrazení. Pomocí simulátoru je možno vidět pohyby stroje například po jednotlivých blocích. [8]

Dílenské programování je označováno také jako WOP, SOP nebo SFP.

5.3.4 Porovnání metod programování CNC strojů

Ruční programování

- Výhody: vhodnost pro jednoduché operace (vrtání, řezání závitů).
- Nevýhody: vyšší úroveň znalosti G-kódu, znalost geometrie a matematiky pro výpočet drah nástroje.

Strojní programování

- Výhody: vytváření složitých tvarů, generování programu pro různé typy strojů.

- Nevýhody: vyšší cena, vyšší znalost při práci v programu, nelze použít zpětnovazebního programování optimalizovaného pro SFP.

Dílenské programování

- Výhody: jednoduché ovládání pro zkušenou obsluhu, jednoduchá tvorba part programu, možnost zpětnovazebního programování optimalizovaného pro SFP.
- Nevýhody: program pouze pro určitý stroj, nelze programovat složité součásti (zakázáno).

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 POSTUP VÝROBY PROTETIKA

Praktická část diplomové práce byla zaměřena na výrobu protetik pro levé horní končetiny. Přesněji se jednalo o výrobu předloketní protézy. V této části práce bude simulována absence levé horní končetiny na osobě bez jakékoliv amputace. Jako předloha pro výrobu protézy bude použita funkční zdravá pravá horní končetina.

6.1 Skenovací zařízení

Skenování probíhalo na zařízení ATOS II Triple Scan. ATOS Triple Scan je optický mobilní 3D skener. Tento typ skeneru je vhodný pro široký rozsah použití. Skenovací zařízení tohoto typu má největší využití v oblastech CAD, CAM a FEM. Zařízení má vysokou výkonnost, širokou flexibilitu měřených objemů těles a velké rozlišení. Skenovací zařízení umožňuje přesnou a efektivní kontrolu kvality výroby. Dále je možné tímto zařízením snímat poškozené součásti a následně je v CAD programu rekonstruovat. Skener značky ATOS může být doplněn o rotační stůl nebo může být použit v kombinaci s počítačem řízeným průmyslovým robotem.



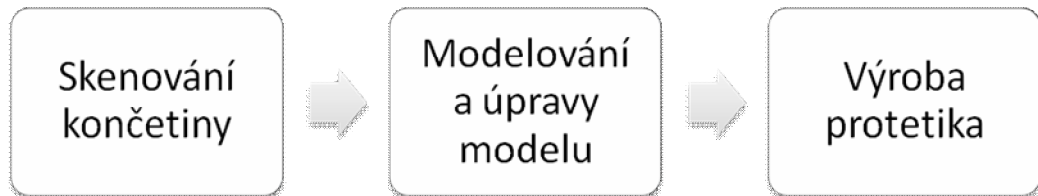
Obr. 58. Atos II Triple Scan – skenovací kamera

Tab. 2. Technické parametry systému ATOS II, III

| | | ATOS II 400 | ATOS III 400 |
|---|----------|---|-----------------------------------|
| | | ATOS II SO | ATOS III SO |
| Typy systému | | číslo na konci názvu systému označuje pozici kamery (přibližná vzdálenosti mezi kamerami) stojan SO pro velmi malé oblasti měření (SO = Small Objects, malé objekty) | |
| Měřicí objemy pro pozice kamery 400 | | 170 x 130 x 130 mm až 1500 x 1130 x 1130 mm | |
| Měřicí objemy pro pozice kamery SO | | 38 x 29 x 15 mm až 320 x 240 x 240 mm | |
| Počet naskenovaných bodů dle rozlišení kamery | | cca. 5 000 000 (2448 x 2050 bodů) | cca. 8 100 000 (3296 x 2472 bodů) |
| Vzdálenost mezi naměřenými body | ATOS 400 | 0,07 – 0,62 mm | 0,05 – 0,45 mm |
| | ATOS SO | 14,70 – 123,93 μm | 11,58 – 95,46 μm |
| Přenos obrazu a ovládacích signálů | | přes gigabitové datové spojení s max. 2 ethernetovými rozhraními | |
| Světlo projektoru | | umělé modré optické záření, 400 – 500 nm (střední riziko při pohledu do světelného zdroje podle standardu DIN EN 62741, vydání z března 2009) | |
| Okolní podmínky | | + 5 °C až + 40 °C (bez kondenzace) | |
| Rozsah napětí (typicky) | | 90 – 240 V, 50 – 60 Hz | |
| Spotřeba | | typicky 130 W, max. 300 W | |
| PFC (Power Factor Correction) | | $\geq 95 \%$ | |
| Max. délka kabelu mezi senzorem a PC, laptopem | | 30 m | |
| Rozměry | | cca. 570 x 262 x 340 mm (šířka x výška x délka) | |

6.2 Předpokládaný postup výroby protetiky

Předpokládaný postup výroby protetiky se skládal ze tří kroků, jimiž byly skenování horní končetiny, úprava modelu v CAD programu a výroba protetiky.



Obr. 59. Předpokládaný postup výroby protetiky

6.3 Návrh řešení problematiky při skenování 3D kamerou

Při prvotním skenování nastal zásadní problém s tuhostí skenovaného předmětu – horní končetiny. Ta byla opřena loketním kloubem o pracovní stůl. Předloktí s rukou bylo v poloze vzpřímené.

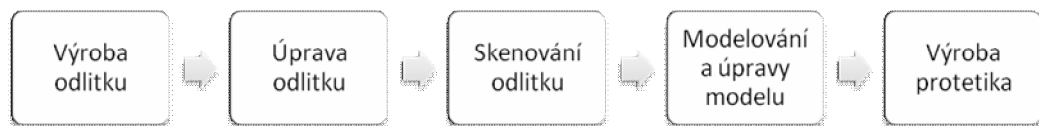
Při snaze o minimální chvění končetiny bylo provedeno skenování. Systém skenovacího zařízení zobrazil velmi řídké a nekvalitní mračno bodů skenované ruky. S takto nekvalitním snímkem nešlo dále pracovat.

Dalším způsobem, jak snímat horní končetinu, bylo její přiložení na průhlednou skleněnou plotnu. Skenovací zařízení při snímání přes skleněnou přičku zobrazilo opět nekvalitní mračno bodů, s nímž nešlo dále pracovat.

Pro kvalitní skenovací snímek bylo potřeba tuhého tělesa. Řešení tohoto problému vyústilo k vyrobení odlitku ruky. Pro tvorbu odlitku, který bude nejlépe kopírovat horní končetinu, bylo použito vhodné směsi používané pro přesné odlévání částí těla.

6.4 Reálný postup výroby protetiky

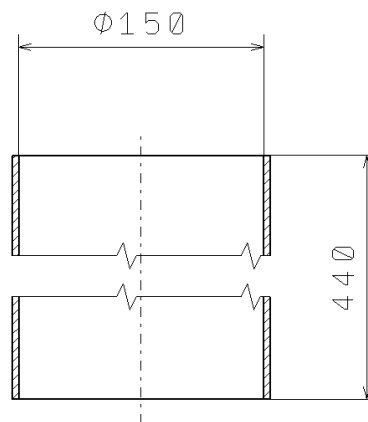
Reálný postup výroby protetiky se skládal z řady kroků, jimiž byly výroba odlitku, oprava odlitku od drobných vad, skenování odlitku, úprava modelu v programech GOM Inspect, CATIA a závěrečná výroba protetiky.



Obr. 60. Reálný postup výroby protetiky

6.5 Výroba odlitku

Pro výrobu dutiny formy horní končetiny bylo použito speciálního formovacího želatinového prášku Proformage-GUM. Pro výrobu odlitku bylo použito sádrovitého prášku imitujícího umělý kámen Proformage-STONE. Dále byla použita PVC trubka, která vytvářela rám formy. Vhodná volba průměru PVC trubky pomohla k úspoře formovacího želatinového prášku GUM. Volba průměru PVC trubky byla závislá na šířce horní končetiny v oblasti prstů, kdy prsty byly mírně odtaženy od sebe. V tomto místě byla šířka ruky přibližně 130 mm. Vnitřní průměr trubky byl zvolen 150 mm. Výška trubky byla zvolena tak, aby pojala horní končetinu cca. 5 cm pod loketní kloub.



Obr. 61. Rám formy – PVC trubka – rozměry

Utěsnění spodního konce trubky bylo provedeno několika vrstvami fólie z polyethylenu a lepicí páskou.



Obr. 62. Rám formy – PVC trubka – utěsnění dna

Výpočet objemů

- Objem rámu formy

Objem rámu formy je roven množství formovací želatinové hmoty. Zaplnění rámu bylo do výšky 400 mm. Objem rámu formy do výšky 400 mm byl přibližně 7 litrů.

- Objem horní končetiny po předloktí

Objem horní končetiny po předloktí byl zjištěn ponořením předloktí do nádoby zaplněné vodou známého objemu. Po vytažení předloktí v nádobě nastal úbytek vody, který odpovídal objemu ponořené části končetiny. Předloktí mělo objem přibližně 1,2 litru.

Tab. 3. Prášková směs na výrobu odlitku horní končetiny

| | Hmotnost prášku [kg] | Mísicí poměr | Množství vody [l] |
|-----------------------|-------------------------|--------------|----------------------|
| Formovací prášek GUM | 2 | 1:3,5 | 7 |
| Odlévací prášek STONE | 4 | 3,3:1 | 1,2 |

6.5.1 Výroba dutiny – negativ

Výroba formovací hmoty byla provedena smícháním vody a formovacího prášku GUM. Směs vody a prášku se míchala 40 sekund. Získala fialovou barvu. Tato

želatinová hmota byla následně nalita do rámu formy. Poté byla do zaplněného rámu formy ponořena horní končetina. Tuhnutí formovací želatinové hmoty se projevovalo změnou barvy (fialová → bílá) od předloktí směrem k rámu formy. Doba ponoření předloktí v zaplněném rámu formy byla 5,5 minuty. Po uplynutí tohoto času mohlo dojít k vyjímání končetiny z formy.

Vyjmutí horní končetiny proběhlo mírnými pohyby předloktí a prstů. Celé předloktí bylo následně vytaženo, aniž by došlo k poškození vytvořeného tvaru.



Obr. 63. Dutina formy po vytažení předloktí

6.5.2 Výroba odlitku – pozitiv

Výroba odlévací hmoty byla provedena smícháním vody a odlévacího prášku STONE. Po dosažení vhodné kašovité konzistence byla pomalu nalita do dutiny formy, tak aby nevznikly vzduchové kapsy ve spodní části dutiny. Směs tuhla 10 minut.



Obr. 64. Vyplnění dutiny formy

Po vytvrnutí trvajícím 12 hodin byl rám formy zbaven spodního krytu z folie a lepicí pásky. Po celé délce rámu (trubky) byla vyřezána průchozí drážka přes stěnu rámu, která umožnila rozevření rámu formy. Formovací hmota byla vysunuta z rámu. Byly provedeny dva podélné řezy formovací hmotou. Poté bylo možné vyjmout odlitek horní končetiny z formovací hmoty. Při vyjímání odlitku došlo k ulomení jednoho prstu.

Dva podélné řezy formovací želatinovou hmotou minimálně narušily soudržnost formovací hmoty.



Obr. 65. Vyjmutí odlitku z dutiny formy

6.6 Úprava odlitku

Vlivem vzniku hrudek ve formovací želatinové směsi a přítomnosti ochlupení na předloktí vznikly na odlitku lokální výstupky a nerovnosti. Tyto nedostatky byly odstraněny. Zmíněné vady na odlitku byly odstraněny pomocí brusného papíru a modelářské brusky.



Obr. 66. Odlitek horní končetiny – před úpravou



Obr. 67. Odlitek horní končetiny – po úpravě

6.7 Skenování odlitku 3D skenerem

Na skenovacím zařízení ATOS bylo provedeno skenování vyrobeného odlitku ruky. Na odlitek bylo umístěno několik referenčních bodů. Tyto referenční body slouží k napojení nového snímku na předcházející snímek. Pro napojení je třeba,

aby v záběru snímacího zařízení byly minimálně tři původní referenční body a jeden nový, který nebyl zaměřen v předchozím snímku.

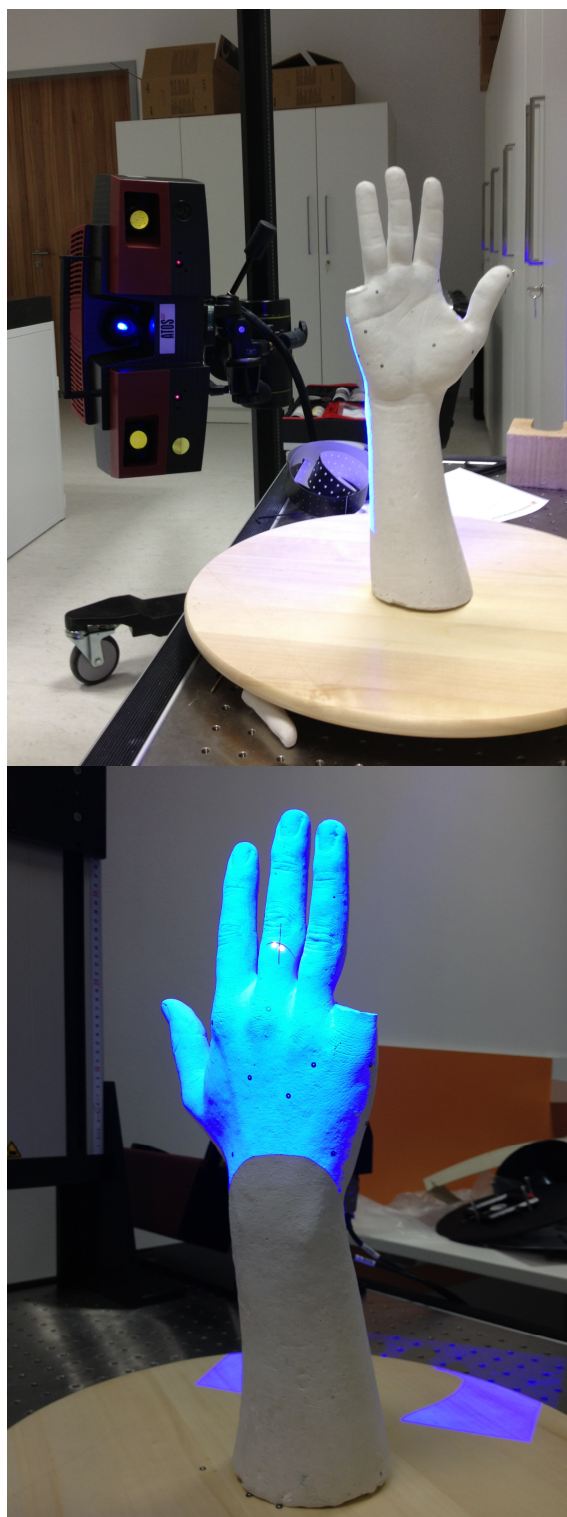


Obr. 68. Referenční body na odlitku

Odlitek byl umístěn na otočný přípravek. Skenování bylo zahájeno skenováním oblastí dlaně a části prstů. Po každém snímku byl otočný přípravek pootočen. Jednotlivé snímky na sebe navazovaly pomocí referenčních bodů.

Po naskenování oblasti dlaně s částí prstů byla skenovací kamera zaměřena na oblast zápěstí a předloktí. Skenování opět probíhalo s pootočením otočného přípravku po každém snímku. V této části odlitku nebyly umístěny referenční body. Napojení mezi snímky probíhalo pomaleji. Software napojoval jednotlivé snímky porovnáváním objemů nového a předchozího snímku.

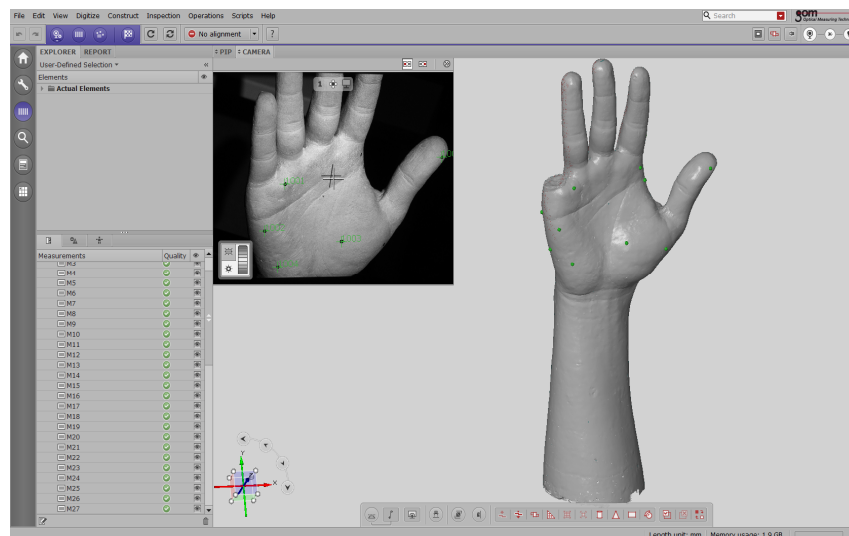
Po naskenování zápěstí a předloktí byla skenovací kamera přesunuta tak, aby snímala prsty na ruce. Na odlitek ruky byl přidán ulomený prst. Opět probíhalo skenování s pootáčením otočného přípravku. Navazování snímků probíhalo opět pomocí nalepených referenčních bodů.



Obr. 69. Skenování 3D skenerem



Obr. 70. Skenování 3D skenerem, přidání ulomeného prstu

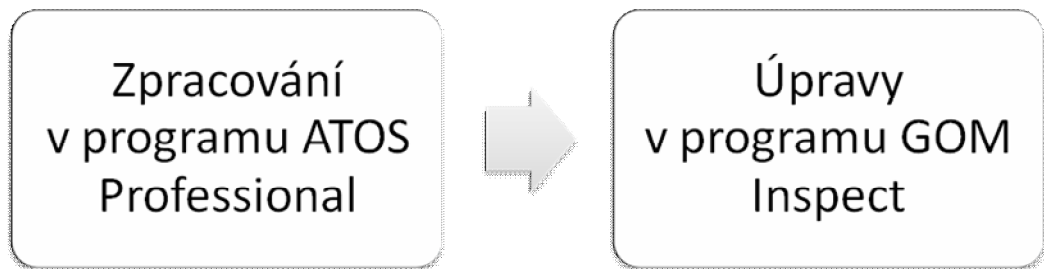


Obr. 71. Prostředí programu ATOS Professional

7 MODELOVÁNÍ A ÚPRAVY MODELU

7.1 Základní zpracování naskenovaných dat 3D kamerou

Pro základní zpracování naskenovaných dat 3D kamerou bylo použito programu příslušejícího 3D skenovací kameře ATOS. Další program, který byl použit pro úpravy vad modelu, byl program GOM Inspect V7.5 SR1.



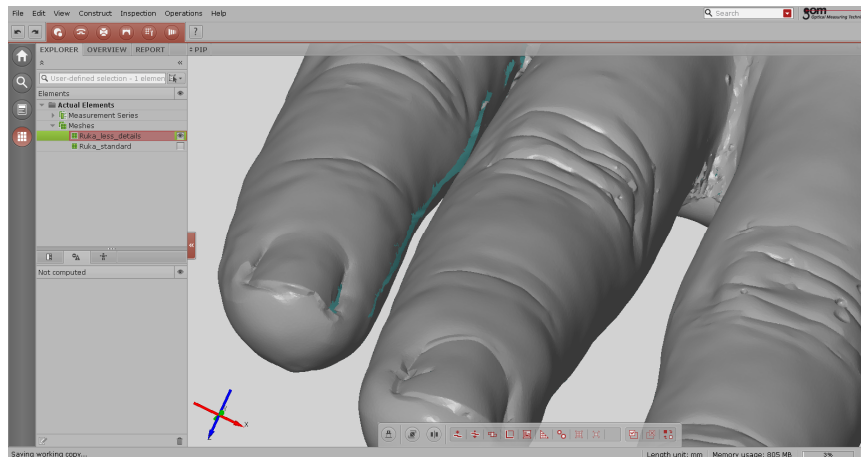
Obr. 72. Základní zpracování naskenovaných dat 3D kamerou

7.1.1 Zpracování v programu ATOS Professional

Po naskenování odlitku bylo provedeno síťování modelu v softwaru používaném skenovací kamerou ATOS Professional. Tímto programem byly vytvořeny dvě varianty sítě. Pro další práci byla vybrána síť nižší kvality, která dostatečně vyhovovala dalšímu zpracování.

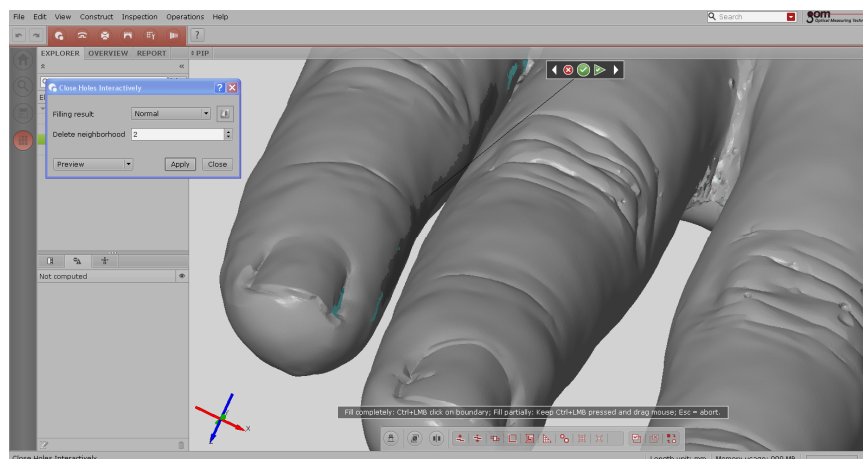
7.1.2 Úpravy v programu GOM Inspect

Další úpravy modelu probíhaly v programu GOM Inspect. Jednalo se o úpravy děr na síti modelu. Modro-zelený pás na prstu ukazuje, že toto místo nebylo nasnímáno skenovacím zařízením, je bráno jako díra. Tuto část ruky nemohlo skenovací zařízení zaměřit kvůli malému prostoru mezi prsty.

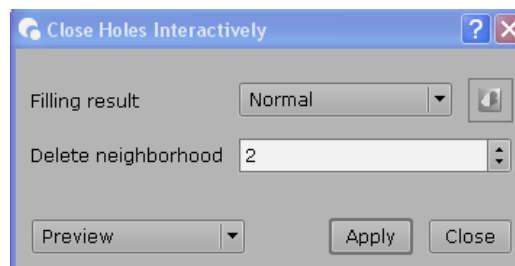


Obr. 73. Nenaskenovaná část prstu

Místo mezi prsty bylo opraveno nástrojem z panelu „Mesh Editing“. Pomocí funkce „Close Holes Interactively“ bylo provedeno opravení (doplnění) nenaskenované plochy. Při spuštění této funkce bylo provedeno označení chybějící plochy. Tím došlo ke zázornění budoucí plochy.

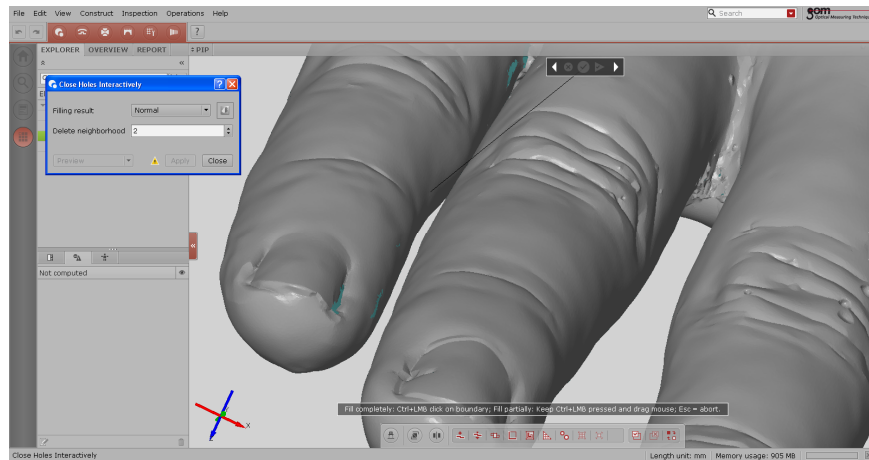


Obr. 74. Označení v místě vady v programu GOM Inspect



Obr. 75. Close Holes Interactively

U parametru Filing reset byl ponechán „Normal“. Další parametr „Delete neighborhood“ jsme zadali 2. Čím byla vyšší hodnota tohoto parametru, tím se zvětšoval rozsah zásahu přes navazující plochu.



Obr. 76. Opravená plocha v programu GOM Inspect

Dále na modelu v programu GOM Inspect byla provedena řada oprav. Jednalo se o opravu důlků a nerovností na povrchu ruky. Tyto opravy probíhaly podobným způsobem. Tato operace byla časově náročná. Výsledkem důkladných oprav v programu GOM Inspect byl model končetiny bez vad v podobě malých děr. S takto upraveným modelem byla jednodušší práce v programu CATIA.

7.2 Modelování a úpravy modelu v programu CATIA

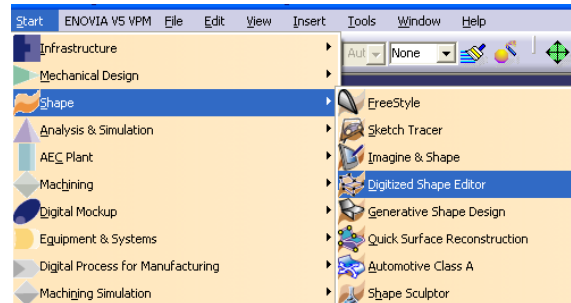
Další zpracování modelu bylo provedeno v programu CATIA V5R18.



Obr. 77. Modelování a úpravy v programu CATIA

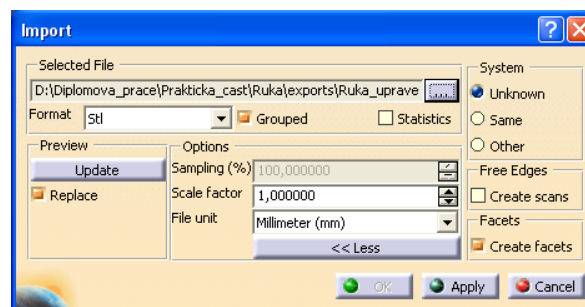
7.2.1 Převod naskenovaných dat na objemový model

V programu CATIA bylo prováděno převedení naskenované končetiny na objemový model. V programu CATIA V5R18, v modulu „Shape“ – „Digitized Shape Editor“ bylo provedeno importování modelu ve formátu „.stl“.



Obr. 78. Výběr modulu „Shape“ – „Digitized Shape Editor“

V prostředí modulu přes panel „Cloud Import“ příkazem „Import“ bylo provedeno vložení modelu ruky ve zmíněném formátu „.stl“.

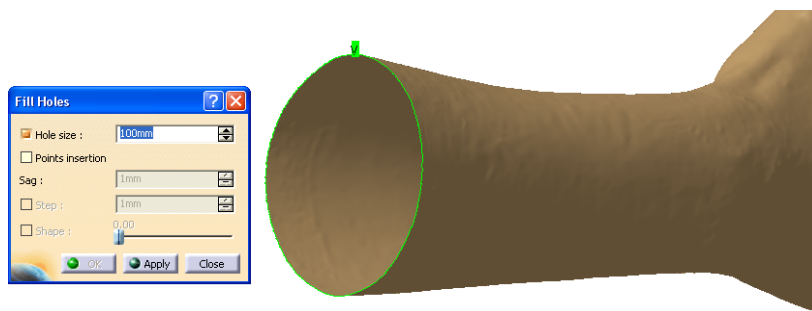


Obr. 79. „Import“ – vložení modelu ve formátu „.stl“



Obr. 80. Vložený model – plošný model ze souboru „.stl“

V panelu „Mesh“ bylo využito příkazu „Fill Holes“, který umožňuje odhalit a opravit díry v naskenovaném povrchu. Veškeré malé díry byly opraveny již v programu GOM Inspect. Pomocí příkazu „Fill Holes“ bylo provedeno opravení velké díry v místě předloktí.

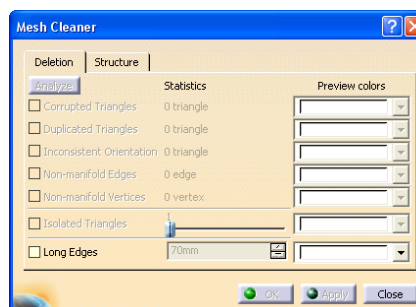


Obr. 81. „Fill Holes“ – opravení díry v předloktí



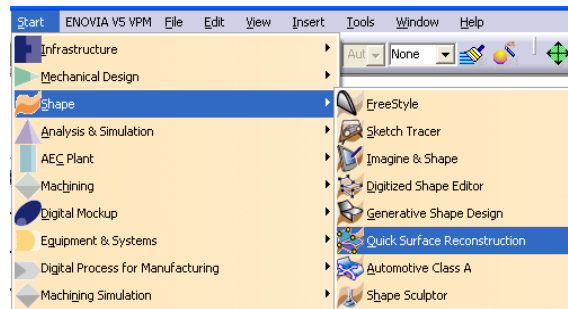
Obr. 82. Horní končetina po použití příkazu „Fill Holes“

Dalším použitým nástrojem pro opravení modelu byl v panelu „Mesh“ příkaz „Mesh Cleaner“. Tento příkaz provedl analýzu importované sítě. Analýza ukázala nulový počet chyb importované sítě.



Obr. 83. „Mesh Cleaner“ – oprava chyb importovaného modelu

Dalším krokem bylo vytvoření povrchu modelu. Tato operace byla provedena v modulu „Shape“ – „Quick Surface Reconstruction“.



Obr. 84. Výběr modulu „Shape“ – Quick Surface Reconstruction“

V modulu „Shape“ – „Quick Surface Reconstruction“ byl z panelu „Surface Creation“ vybrán nástroj „Automatic Surface“. Tento nástroj vytvoří plošný model. V tomto nástroji bylo potřeba zadat několik parametrů, jimiž byly „Mean surface deviation“, „Surface detail“ a „Target ratio“.



Obr. 85. „Automatic Surface“ – vytvoření plochy modelu

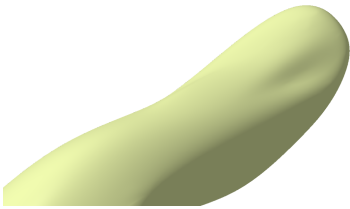

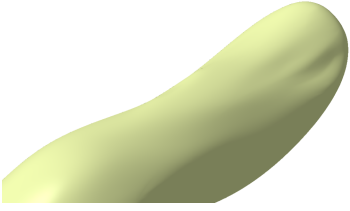
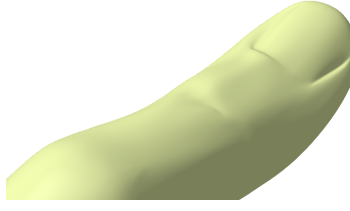

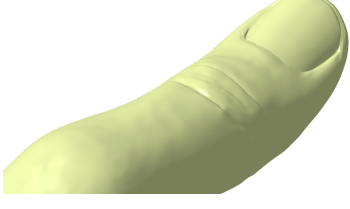
Parametr „Mean surface deviation“ určoval hodnotu odchylky nově vytvořené plochy od té původní, která byla vytvořena na importovaném modelu. S klesající hodnotou tohoto parametru byla plocha detailněji vypracována v závislosti na ploše již importovaného modelu. Nižší hodnota „Mean surface deviation“ způsobovala prodloužení výpočtu sítě.

Parametr „Surface detail“ udával počet elementů původní sítě, podle nichž byla vytvářena nová síť. V tomto parametru lze zjistit maximální možnou hodnotu pro daný model. Zadáním maximální hodnoty došlo k výraznému prodloužení výpočtu sítě.

Poslední parametr „Target ratio“ udával poměr mezi body původní importované sítě a odchylkou nově vytvářeného povrchu. Vyšší hodnota tohoto parametru byla vhodnější.

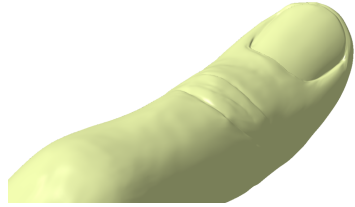
Nastavení jednotlivých parametrů a provádění výpočtů bylo časově náročné.

Tab. 4. Porovnání ploch s odlišnými parametry

| Parametry | Zadané hodnoty | Výsledné povrchy |
|------------------------|----------------|--|
| Mean surface deviation | 0,75 mm |  |
| Surface detail | 500 | |
| Target ratio | 50 | |
| Mean surface deviation | 0,75 mm |  |
| Surface detail | 1692200 | |
| Target ratio | 50 | |
| Mean surface deviation | 0,5 mm |  |
| Surface detail | 500 | |
| Target ratio | 90 | |
| Mean surface deviation | 0,5 mm |  |
| Surface detail | 1692200 | |
| Target ratio | 90 | |
| Mean surface deviation | 0,25 mm |  |
| Surface detail | 500 | |
| Target ratio | 100 | |
| Mean surface deviation | 0,25 mm |  |
| Surface detail | 1692200 | |
| Target ratio | 100 | |

Pro další zpracování modelu byla vybrána následující varianta.

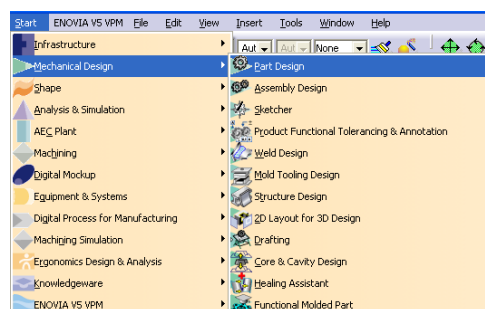
Tab. 5. Parametry vybrané varianty pro další zpracování modelu

| Parametry | Zadané hodnoty | Výsledné povrchy |
|------------------------|----------------|--|
| Mean surface deviation | 0,25 mm |  |
| Surface detail | 1692200 | |
| Target ratio | 100 | |



Obr. 86. Vybraná varianta plošného modelu horní končetiny

Dalším krokem ke zpracování modelu horní končetiny bylo vyplnění uzavřené plochy v modulu „Mechanical Design“ – „Part Design“.



Obr. 87. Výběr modulu „Mechanical Design“ – „Part Design“

V panelu „Surface-Based Features“ bylo použito nástroje „Close Surface“. Použitím tohoto nástroje bylo dosaženo vytvoření 3D objemového modelu ohraničeného plošných modelem.



Obr. 88. Objemový model – pravá horní končetiny

Pro další práci a úpravy modelu je potřeba upravit polohu souřadného. Souřadný systém byl přesunut v modulu „Mechanical Design“ – „Part Design“ pomocí nástrojů „Translation“ a „Rotation“ v panelu „Transformation Features“.

7.2.2 Zrcadlení modelu – vytvoření levé horní končetiny

Zrcadlení modelu bylo dalším krokem. Tato úprava byla provedena opět v modulu „Mechanical Design“ – „Part Design“. Pro zrcadlení byl použit nástroj „Symmetry“ v panelu „Transformation Features“. Touto operací byla získána levá horní končetina.

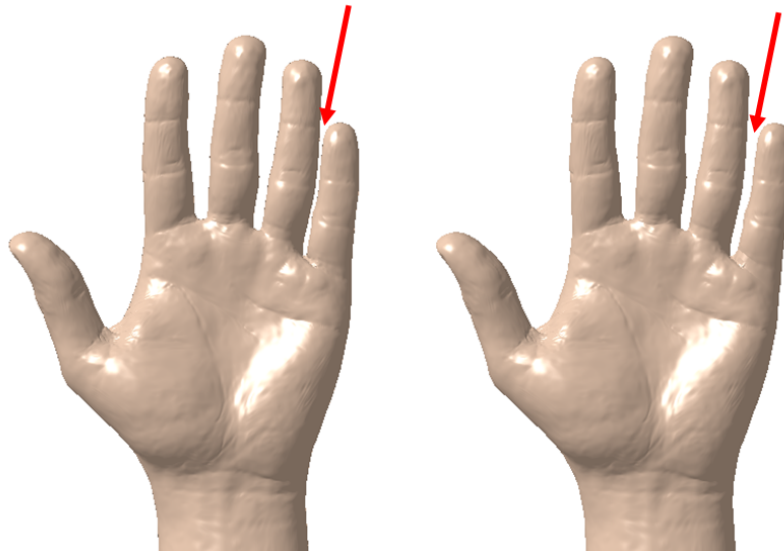


Obr. 89. Horní končetina – levá – zrcadlená

7.2.3 Úprava polohy prstu

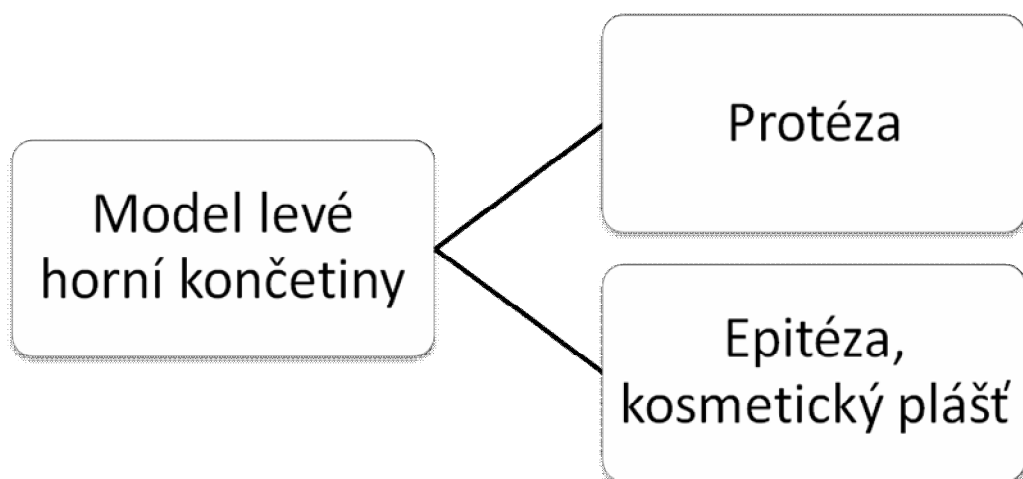
Na modelu levé ruky bylo provedeno posunutí malíčku od prsteníčku. Původní vzdálenost mezi těmito dvěma prsty byla příliš malá na to, aby se do tohoto prostoru dostal frézovací nástroj použitý při výrobě protézy metodou frézování.

Posunutí prstu bylo provedeno v modulu „Shape“ – „Digitized Shape Editor“.



Obr. 90. Levá horní končetina – model ruky před a po posunutí malíčku

7.3 Model levé horní končetiny



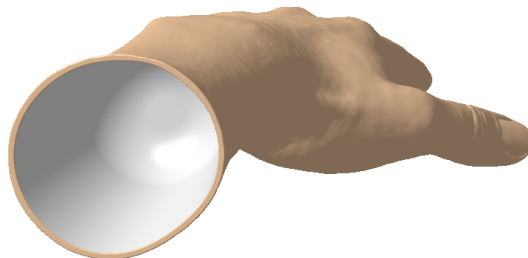
Obr. 91. Model levé horní končetiny – možnosti využití stávajícího modelu pro výrobu protetik

7.4 Protéza – modelování pahýlového lůžka

Jak již bylo zmíněno v jedné z předchozích kapitol v teoretickém bloku, tak pro uložení protézy na lidském těle slouží pahýlové lůžko. Na amputační pahýl se nasazuje speciální návlek a poté se nasazuje protéza.

Tvar pahýlu v našem případě nebylo možné určit podle skutečnosti, poněvadž figurant neprodělal amputaci. Proto bylo provedeno vytvoření lůžka obecného tvaru. V případě skutečné aplikace protézy by bylo pahýlové lůžko vymodelováno dle tvaru pahýlu končetiny.

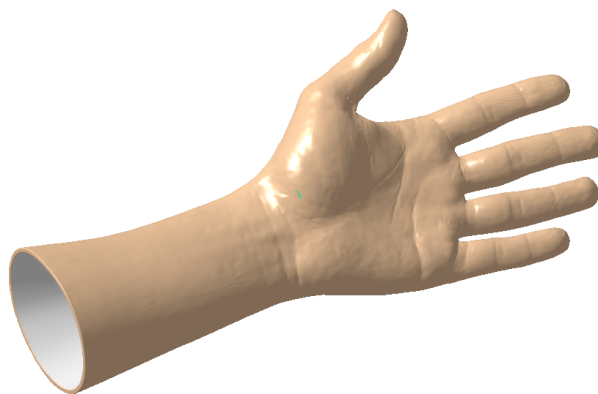
Tvorba obecného pahýlového lůžka byla prováděna v modulu „Shape“ – „Digitized Shape Editor“.



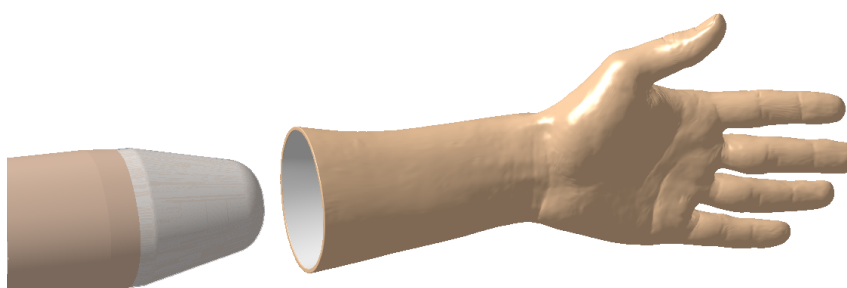
Obr. 92. Pahýlové lůžko pro uložení pahýlu s návlekm



Obr. 93. Protéza levé ruky, pohled 1



Obr. 94. Protéza levé ruky, pohled 2



Obr. 95. Ukázka aplikace protézy, silikonový návlek na pahýlu



Obr. 96. Ukázka aplikované protézy

Upnutí protézy na lidském těle by bylo možné řešit několika způsoby:

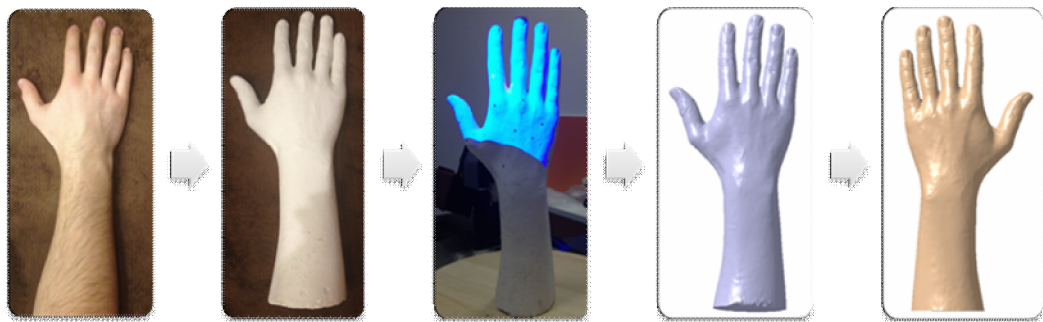
- vtahovacím systémem,
- pomocí zámku na konci návleku,
- podtlakovým systémem (pasivní systém, aktivní systém).

V případě této protézy by bylo ideální řešení upnutí pomocí podtlakového systému.

Celkový postup tvorby protézy je znázorněn na následujících dvou postupových diagramech.



Obr. 97. Finální postup tvorby protézy levé horní končetiny



Obr. 98. Finální postup tvorby protézy levé horní končetiny

7.5 Epitéza, kosmetický plášť

Mezi další využití modelu levé horní končetiny bylo použití modelu pro výrobu epitéz. Lze vytvořit různé varianty epitéz (prstů, rukou, předloktí). Další způsob využití modelu bylo využití modelu pro výrobu kosmetického pláště na pevnou protézu nebo pohyblivou funkční protézu.

V programu CATIA bylo vytvořeno několik typů silikonových epitéz. Jednotlivé epitézy se mezi sebou liší rozsahem krytí pahýlu nebo deformované horní končetiny. V případě skutečné aplikace epitézy by byl vnitřní tvar vytvořen podle tvaru poškozené (deformované) končetiny.

Tvorba epitéz byla prováděna v modulu „Shape“ – „Digitized Shape Editor“.

Epitéza nahrazující prsty:

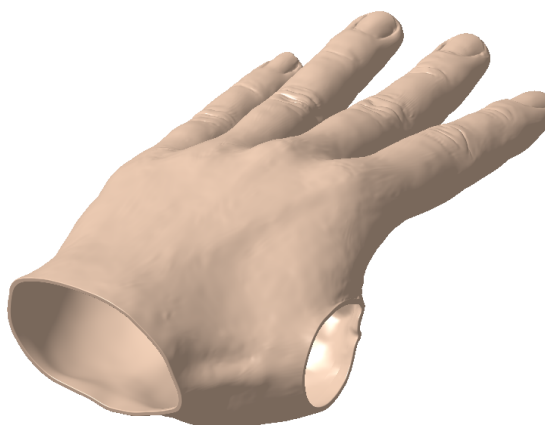
- vhodná pro pacienta s amputací nebo deformací horní končetiny v oblasti dlaně.



Obr. 99. Epitéza ruky

Epitéza nahrazující ukazovák, prostředníček, prsteníček, malíček:

- vhodná pro pacienta s chybějícími nebo deformovanými prsty v kombinaci s funkčním palcem.



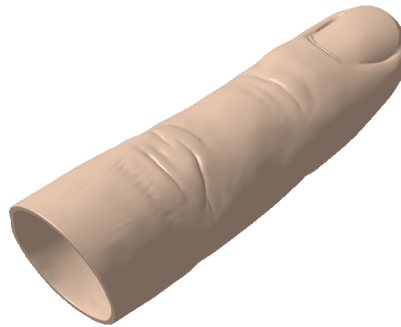
Obr. 100. Epitéza prstů, pohled 1



Obr. 101. Epitéza prstů, pohled 2

Epitéza nahrazující ukazovák:

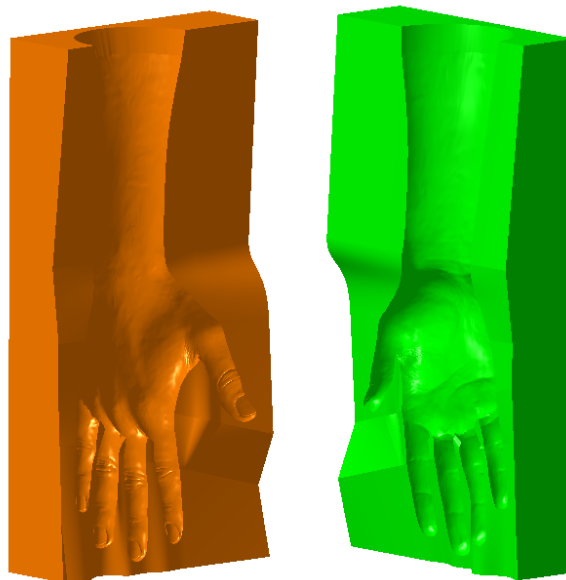
- vhodná pro pacienta s chybějícími dvěma články ukazováku.



Obr. 102. Epitéza ukazováku

Forma, model pro výrobu epitéz a kosmetických plášťů

Pro výrobu epitéz a kosmetických plášťů by bylo možné využít metodu odstředivého lití. Touto metodou by bylo možné vytvořit tenkostěnný výrobek v podobě epitéz a kosmetických plášťů. Dutina formy pro odstředivé lití byla zvětšena o 1 % (velikost smrštění materiálu). Dělicí rovina formy pro odstředivé lití je složena z řady dílčích ploch.



Obr. 103. Návrh formy pro odstředivé lití

8 VÝROBA ČÁSTI PROTÉZY LEVÉ HORNÍ KONČETINY

Výroba části protézy levé horní končetiny byla prováděna v rozsahu dle následujícího obrázku.



Obr. 104. Část protézy pro obrábění

8.1 Frézka AZK HWT 442

Výroba části protézy levé končetiny byla prováděna na modelové frézce AZK HWT 442.



Obr. 105. Frézka AZK HWT 442

Tab. 6. Parametry frézky AZK HWT 442

| | |
|--|-------------------------------------|
| Obráběcí prostor (X x Y x Z) | 400 mm x 400 mm x 200 mm |
| Velikost upínací plochy (X x Y) | 500 mm x 500 mm, 8 mm T-drážky |
| Programovatelný krok | 0,00625 mm |
| Otáčky vřetene | 2 000 – 25 000 otáček/min |
| Maximální upínací průměr nástroje | 10 mm |
| Řídicí jednotka | PC |
| Napájení | 230 V/50 Hz |
| Příkon | 2300 VA |
| Vnější rozměry (š x h x v) | 1 200 mm x 1 000 mm x 1 400 mm |
| Hmotnost | 410 kg |
| Materiály obrobku | dřevo, grafit, plasty, barevné kovy |
| Maximální hmotnost obrobku | 20 kg |

8.2 Materiál NECURON

Materiál pro zkušební obrábění jednoho prstu, pro ověření řezných podmínek, byl zvolen NECURON 770.

Tab. 7. Základní popis materiálu NECURON 770

| | |
|--|--|
| Hlavní oblasti použití | prototypové, návrhářské, kopírovací, architektonické a pracovní modely |
| Barva | šedá |
| Koeficient tepelné roztažnosti (ISO 75) | ca. $56 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ |
| Teplotní odolnost | ca. 65 °C |
| Tvrdość Shore D (ISO 868) | ca. 72 |
| Pevnost v tlaku (ISO 604) | ca. 29 N/mm ² |
| Pevnost v ohybu (ISO 178) | ca. 33 N/mm ² |
| Měrná hmotnost | ca. 0,77 g/cm ³ |
| Nástroje | pro zpracování dřeva a kovu |

Materiál pro obrábění části levé protézy horní končetiny byl zvolen NECURON 651.

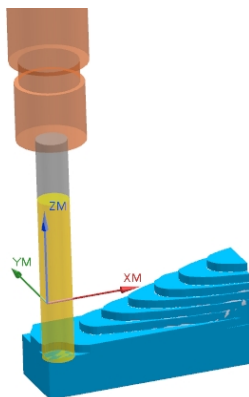
Tab. 8. Základní popis materiálu NECURON 651

| | |
|--|---|
| Hlavní oblasti použití | prototypové, návrhářské, kopírovací a pracovní modely |
| Barva | hnědá |
| Koeficient tepelné roztažnosti (ISO 75) | ca. $52 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ |
| Teplotní odolnost | ca. 70 °C |
| Tvrdost Shore D (ISO 868) | ca. 67 |
| Pevnost v tlaku (ISO 604) | ca. 26 N/mm ² |
| Pevnost v ohybu (ISO 178) | ca. 30 N/mm ² |
| Měrná hmotnost | ca. 0,70 g/cm ² |
| Nástroje | pro zpracování dřeva a kovu |

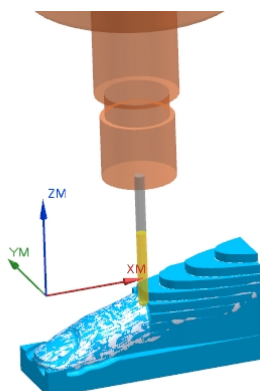
Materiály NECURON 651 a NECURON 770 neobsahují žádné halogeny, změkčovadla nebo rozpouštědla. Materiály jsou vyráběny bez přísad znečišťujících vodu. Jsou fyziologicky bez podezření.

8.3 Volba řezných podmínek

Vhodné řezné podmínky pro obrábění části protézy levé horní končetiny byly stanoveny a ověřeny zkušebním obrobením jednoho prstu protézy.



Obr. 106. Ověření řezných podmínek při zkušebním obrábění – hrubování – prostředí NX 8.0



Obr. 107. Ověření řezných podmínek při zkušebním obrábění – dokončování – prostředí NX.8.0



Obr. 108. Porovnání modelu prstu v prostředí NX 8.0 a obroběného modelu

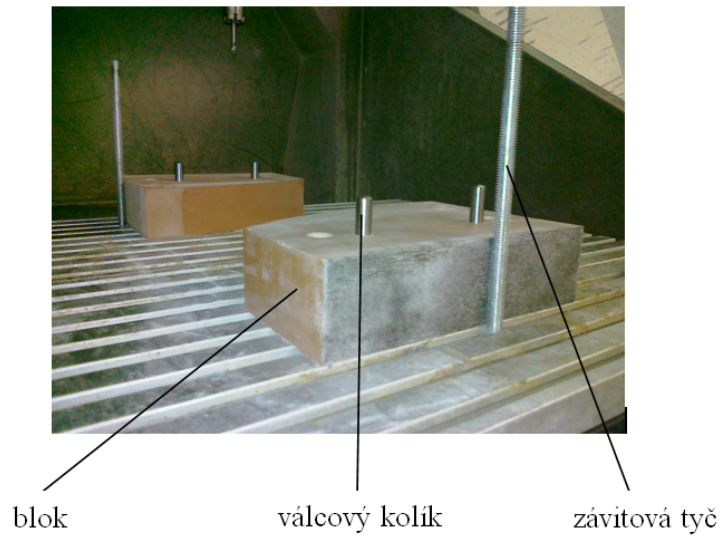
Řezné podmínky byly zvoleny následovně.

Tab. 9. Řezné podmínky pro obrábění na AZK HWT 442

| | Hrubování | Dokončování | Gravírování |
|------------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------|
| Řezná rychlost [m/min] | 314 | 169 | 188 |
| Posuv na zub [mm] | 0,125 | 0,250 | 0,166 |
| Otáčky [min^{-1}] | 10 000 | 18 000 | 15000 |
| Posuvová rychlost [mm/min] | 2500 | 2500 | 2500 |
| Hloubka řezu [mm] | 4 | - | 0,75 |
| Šířka záběru [mm] | $75\% \cdot \varnothing D$ | $8\% \cdot \varnothing D$ | - |

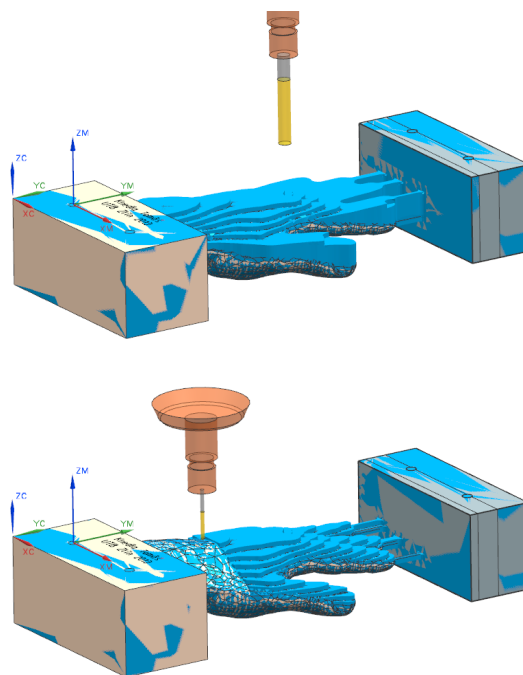
8.4 Tvorba strategie obrábění části protézy levé horní končetiny

Upnutí polotovaru bylo provedeno na bloky z materiálu NECURON, který zvýšil polohu polotovaru při obrábění. Zajištění stejné polohy polotovaru při obrábění ze strany dlaně a hřbetu v osách X a Y bylo provedeno pomocí válcových kolíků usazených v blocích z materiálu NECURON, které byly upevněny na pracovní stůl pomocí šroubů. V polotovaru z obou stran byly vyfrézovány otvory odpovídající otvorům pro kolíky v blocích. Tyto bloky zajistili také zvýšení polohy samotného polotovaru. Zvýšení polohy polotovaru bylo nutné z důvodu omezeného pracovního prostoru v ose Z (délka nástrojů).



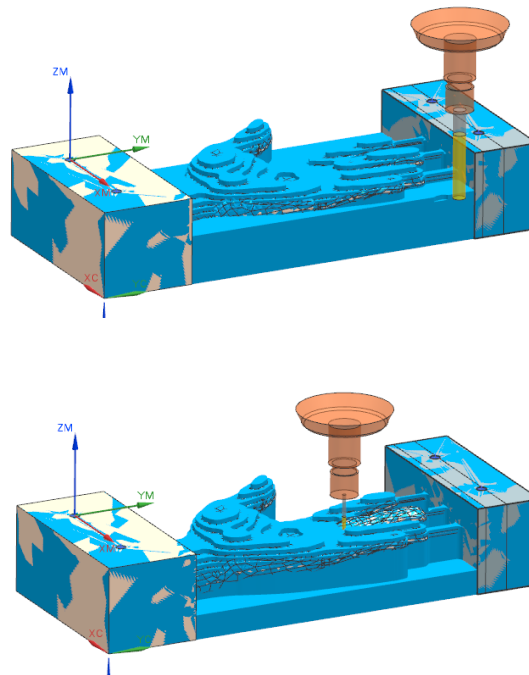
Obr. 109. Přípravek pro uložení polotovaru

Strategie obrábění byla navržena v programu NX 8.0. Strategie obrábění části modelu protézy byla rozvržena do několika operací. Základní operací bylo hrubování ze strany dlaně a následně dokončování modelu ze strany dlaně protézy. Dalším krokem bylo otočení polotovaru o 180°. Následovalo hrubování hřbetu a dokončování modelu ze strany hřbetu protetiky. Na závěr bylo provedeno vyfrézování pamětního nápisu na podstavec obrobku.



Obr. 110. Simulace obrábění – hrubování a dokončování hřbetu – prostředí

NX 8.0



Obr. 111. Simulace obrábění – hrubování a dokončování dlaně – prostředí NX 8.0



Obr. 112. Simulace obrábění – gravírování textu – prostředí NX 8.0

Tab. 10. Nástroje pro jednotlivé operace

| Operace | Typ nástroje | Název nástroje |
|-------------|----------------------------|------------------------|
| Hrubování | stopková válcová fréza | Seco 93L100 |
| Dokončování | stopková kulová fréza | Seco 971032 |
| Gravírování | stopková gravírovací fréza | Seco 29040 4577205-144 |

Tab. 11. Parametry použitých nástrojů

| | Seco93L100 | Seco 971032 | Seco 29040 4577205-144 |
|-------------------------------|------------|-------------|---------------------------|
| Průměr nástroje [mm] | 10 | 3 | 4 |
| Délka nástroje [mm] | 72 | 41 | 30 |
| Délka řezné části [mm] | 52 | 23 | 20 |
| Počet zubů | 2 | 2 | 2 |
| Úhel špičky [°] | - | - | 60 |

Pro každou operaci (hrubování, dokončování, gravírování nápisu) byl vytvořen řídicí program. Pro vygenerování řídicího kódu byl použit postprocessor příslušející modelové frézce AZK HWT 442.

Tab. 12. Vytvořené programy pro obrábění části horní končetiny

| Operace | Název operace v NX 8.0 | Název souboru s vygenerovaným řídicím kódem |
|--|------------------------|---|
| Hrubování ze strany dlaně (Cavity Mill) | HRUBOVANI_DLAN | hrubovani_dlan.anc |
| Dokončování ze strany dlaně (Contour Area) | DOKONCOVANI_DLAN | dokonceni_dlan.anc |
| Hrubování ze strany hřbetu (Cavity Mill) | HRUBOVANI_HRBET | hrubovani_hrbet.anc |
| Dokončování ze strany hřbetu (Contour Area) | DOKONCOVANI_HRBET | dokonovani_hrbet.anc |
| Gravírování nápisu (Planar Mill) | GRAVIROVANI_TEXT | gravirovani_text.anc |

- Operace Cavity Mill

Tato operace se používá pro hrubování. Do operace nebylo potřeba zadávat další upřesňující parametry (3-osá frézovací operace). Při zadávání této funkce byly definovány podpory prstů (výztuhy) a upínky polotovaru.

- Operace Contour Area

Jedná se o dokončovací operaci. Při zadávání této operace byly opět definovány podpory prstů (výztuhy) a upínky polotovaru.

- Operace Planar Text

Byla použita pro gravírování pamětního písma na obrobku. Jedná se o 2,5D operaci. Hloubka řezu byla nastavena 0,75 mm.

U operací Contour Mill a Contour Area byla nastavena aktivní kontrola kolize nástroje a držáku nástroje vzhledem k obrobku a použitým upínkám pro upnutí polotovaru.

Pro operace Contour Mill, Contour Area a Planar Text byly zvoleny nástroje podle tabulky Tab. 10, řezné podmínky podle tabulky Tab. 9.



Obr. 113. Polotovaz – upnutí č. 1



Obr. 114. Dlaňová strana po hrubování – upnutí č. 1



Obr. 115. Dlaňová strana po dokončování – upnutí č. 1



Obr. 116. Přetočení polotovaru – upnutí č. 2



Obr. 117. Hřbetová strana po hrubování – upnutí č. 2



Obr. 118. Hřbetová strana po dokončování – upnutí č. 2

Na „podstavec končetiny“ byl na závěr vyfrézován gravírovací frézou nápis. Na tento nápis byl opět vytvořen řídicí program.



Obr. 119. „Podstavec končetiny“ – nápis



Obr. 120. Nápis – detail

8.5 Obrobená část protézy levé horní končetiny

Podle již zmíněné strategie obrábění a řezných podmínek bylo provedeno obrobení části protézy levé horní končetiny.



Obr. 121. Obrobená část protézy levé horní končetiny – pohled na hřbet



Obr. 122. Obrobená část protézy levé horní končetiny – pohled na dlaň

8.5.1 Ukázka vygenerovaného řídicího kódu

Ukázka řídicího kódu pro obrábění části modelu protézy levé horní končetiny.

Ukázka řídicího kódu z programu „hrubovani_hrbet.anc“.

%

N0010 G40 G17 G90

;Nazev operace: HRUBOVANI_HRBET

;Nastroj: UTB_VALCOVA_D10

;Prumer: 10.00 mm

;Zaobleni rohu : 0.00 mm

N0020 T00 M06

N0030 G00 X129.698 Y169.794 S0 M03

N0040 G43 Z10. H00

N0050 Z-.846

N0060 G01 Z-3.846 F2500. M08

N0070 X124.698 Y169.594

N0080 G02 X120.01 Y169.5 I120. J287.

N0090 G01 X-40.

N0100 G02 X-44.698 Y169.594 I-40. J287.

N0110 G01 Y162.406

N0120 G02 X-40. Y162.5 I-40. J45.

N0130 G01 X120.

.

.

.

N5090 X.881

N5100 Y272.023

N5110 X5.881

N5120 Z-47.

N5130 G00 Z10.

N5140 M02, konec programu

ZÁVĚR

V teoretické části diplomové práce jsem se zabýval oblastí ortopedické protetiky. V jednotlivých kapitolách jsem popsal samotná ortopedická protetika, metody měření používané při výrobě protéz a problematiku amputací končetin. Dále jsem v diplomové práci provedl rozbor amputací horních a dolních končetin. V poslední části jsem se věnoval materiálům, z nichž jsou protetika vyráběna, a metodám CNC obrábění.

Praktická část diplomové práce byla zaměřena na výrobu protézy horní levé končetiny. Základem pro praktickou část bylo 3D skenování na skenovacím zařízení ATOS. Prvotní řešení bylo skenování lidské ruky figuranta. Tato metoda bohužel selhala. I přes snahu o minimální chvění končetiny i s použitím skleněné příčky jako podpory pro končetinu nebylo možné získat kvalitní 3D snímky. Vždy bylo vyhodnoceno pouze nekvalitní řídké mračno bodů, které nebylo možné dále zpracovat. Řešením tohoto problému bylo vytvoření přesného odlitku předloktí. Pro výrobu odlitku bylo použito speciálního formovacího a odlévacího prášku. Pomocí zmíněných materiálů od výrobce Proformage byla odlita pravá horní končetina po předloktí. Po vyjmutí odlitku z želatinové formovací hmoty byly prováděny úpravy povrchu odlitku. Upravený odlitek pak bylo možné skenovat. Odlitek pravé horní končetiny byl umístěn na otočný přípravek a s postupným otáčením přípravku bylo prováděno skenování končetiny. Naskenovaná data byla upravena v programu GOM. Důkladně opravená prvotní síť byla importována do programu CATIA. V prostředí tohoto programu došlo k vytvoření několika variant sítě plošného modelu končetiny. Po výběru vhodné varianty následovalo zrcadlení modelu. Zrcadlením byla získána podoba levé horní končetiny. Dalším krokem byla úprava polohy prstu (malíčku), který byl příliš blízko k sousednímu prstu. Díky malé vzdálenosti mezi těmito dvěma prsty by nemohlo dojít k obrobení této části protetika. Dále z takto upraveného modelu levé horní končetiny mohla být vyráběna protetika ve formě protézy, kosmetického pláště nebo epitéz. V programu CATIA bylo vymodelováno obecné pahýlové lůžko pro protézu levé ruky a různé varianty epitetik. Dále byla navrhována dvoudílná forma pro odstředivé lití.

Závěr diplomové práce byl zaměřen na tvorbu vhodného řídicího kódu pro obrábění části protézy. Strategie byla navrhována v programu NX 8.0. Navržená

strategie byla ověřena simulací. Následovala výroba části protézy levé končetiny. Výroba byla prováděna na frézce AZK HWT 442.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BROZMANOVÁ, Blažena. *Ortopedická protetika: Učeb. pre stred. zdrav. šk., odb. ortoped. protetik.* 1. vyd. Martin: Osveta, 1990, 478 s. ISBN 80-217-0133-1.
- [2] DUNGL, Pavel. *Ortopedie.* 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2005, 1273 s. ISBN 80-247-0550-8.
- [3] EIS, Emil a František KŘIVÁNEK. *Ortopedie a ortopedická protetika.* 3. dopl. vyd. Praha: Avicenum, 1986, 288 s.
- [4] *Ortopedická protetika horní končetiny.* 1. vyd. Brno: Ústav pro další vzdělávání středních zdravotnických pracovníků, 1973, 71 s.
- [5] RAJA, Vinesh a Kiran J FERNANDES. *Reverse engineering: an industrial perspective.* London: Springer, c2008, XVIII, 242 p. ISBN 978-184-6288-562.
- [6] MLEZIVA, Josef. *Polymery - výroba, struktura, vlastnosti a použití.* 2. přepr. vyd. Praha: Sobotáles, 2000, 537 s. ISBN 80-859-2072-7.
- [7] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály.* V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009, 351 s. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [8] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: obráběcí stroje a jejich programování.* 1. vydání. Praha: BEN - technická literatura, 2008, 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
- [9] KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění.* Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [10] ČSN ISO 6983-1. *Číslicové řízení strojů. Formát programu a definice adres. Část 1: Formát dat pro polohovací, pravouhlé a souvislé řídicí systémy.* Praha: Výzkumný ústav obráběcích strojů a obrábění Praha, 1992.
- [11] ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3.: Metody, stroje a nástroje pro obrábění.* 2. vyd. Praha: Scientia, 2005, 256 s. ISBN 8071833371.
- [12] *Ortotika-protetika.* <http://ortotika-protetika.cz/> [online]. [cit. 2012-11-28].

- [13] *Protetika Plzeň*. <http://www.protetika-plzen.cz/>. [online]. [cit. 2012-11-28].
- [14] *Ortopedická protetika* [online]. [cit. 2012-12-09]. Dostupné z: <http://www.ortotikaprotetika.cz/oldweb/Wcc07aac15b2c5.htm>
- [15] *Ottobock* [online]. [cit. 2012-12-09]. Dostupné z: <http://www.ottobock.cz>
- [16] *ORTHO-AKTIV* [online]. [cit. 2012-12-09]. Dostupné z: <http://www.protetika-ortho-aktiv.cz>
- [17] *Ortopedická protetika Frýdek-Místek* [online]. [cit. 2012-12-09]. Dostupné z: <http://www.protetikafm.cz/>
- [18] *Plánovanie reverzného inžinierstva v procese rýchleho vývoja výrobkov II*. Technická univerzita v Košiciach. [online]. [cit. 2012-12-09]. Dostupné z: <http://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/9-2006/pdf/62-64.pdf>
- [19] *CNC Technik Heiz* [online]. [cit. 2012-12-09]. Dostupné z: <http://www.cnc-step.com/>
- [20] *Design world* [online]. [cit. 2012-12-09]. Dostupné z: <http://www.designworldonline.com/3d-scanning-brings-extinct-parts-back/>
- [21] *Vectorcam* [online]. [cit. 2013-01-02]. Dostupné z: <http://www.vectorcam.com>
- [22] *Frezovani - 5 os* [online]. [cit. 2012-12-12]. Dostupné z: <http://www.frezovani-5os.cz>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

hyperlordóza – prohnutí v oblasti bederní páteře

kyfóza – vyklenutí páteře dozadu (kulatá záda)

abdukce – pohyb od těla (u ramene – upažování)

semiflexe – částečné ohnutí

extenze – natažení končetiny

CAD – Computer Aided Design – počítačová podpora projektování

CNC – Computer Numerical Control – počítačem (číslicově) řízený (stroj)

MRI – magneticko-rezonanční metoda

CT – počítačová tomografie

IGES, VDA, STL, DXF, OBJ, VRML – formáty geometrických modelů

ISO, G-kód – programovací jazyk číslicově řízených obráběcích strojů dle ISO 6983

PE – polyetylen

EVA – etylenvinylacetát

PET – polyetylentereftalát

PP – polypropylen

PMMA – polymethylmetakrylát

PS – polystyren standardní

PVC – polyvinylchlorid

CAD – Computer Aided Design – počítačová podpora projektování

CAM – Computer Aided Manufacturing – počítačová podpora výroby

WOP – Workshop Oriented Programming

SOP – Shopfloor Oriented Programming

SFP – Shop Floor Programming

NX – program pro tvorbu strategie obrábění

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|----|
| <i>Obr. 1. Tvůrčí komunikace [2]</i> | 13 |
| <i>Obr. 2. Ortotika – krční límec s dvojitým skeletem, krční límec vyplněný polystyrenovými kuličkami [12]</i> | 15 |
| <i>Obr. 3. Ortotika – neoprenová ortéza horní končetiny, polyethylenová ortéza horní končetiny [12]</i> | 15 |
| <i>Obr. 4. Ortotika – kolenní ortéza s plastovou boční výztuhou horní končetiny, polyethylenová ortéza horní končetiny [12]</i> | 16 |
| <i>Obr. 5. Ortotika – polyethylenová trupová ortéza, rámový korzet [12]</i> | 16 |
| <i>Obr. 6. Epitetika – sádrový model tělní části, silikonová epitéza na sádrovém modelu, barvená silikonová epitéza [13]</i> | 16 |
| <i>Obr. 7. Epitetika – epitéza ruky před barvením, po barvení [13]</i> | 17 |
| <i>Obr. 8. Epitetika – epitéza ucha [13]</i> | 17 |
| <i>Obr. 9. Kalceotika – ortopedické vložky do bot [12]</i> | 17 |
| <i>Obr. 10. Kalceotika – ortopedická obuv [12]</i> | 18 |
| <i>Obr. 11. Adjuvatika – aktivní mechanický vozík [15]</i> | 18 |
| <i>Obr. 12. Hlavní typy amputačních pahýlů na horní končetině [3]</i> | 20 |
| <i>Obr. 13. Hlavní typy amputačních pahýlů na dolní končetině [3]</i> | 20 |
| <i>Obr. 14. Nevhodné umístění amputací [1]</i> | 22 |
| <i>Obr. 15. Opěrné body na těle [2]</i> | 24 |
| <i>Obr. 16. Prosté měření délky amputačního pahýlu [3]</i> | 25 |
| <i>Obr. 17. Prosté měření – měření délky končetiny páskovou mírou [2]</i> | 25 |
| <i>Obr. 18. Plošný obkres ruky [2]</i> | 26 |
| <i>Obr. 19. Obtisk plošky nohy [2]</i> | 26 |
| <i>Obr. 20. Sádrová poloforma chodidla [3]</i> | 27 |
| <i>Obr. 21. Sádrový model zhotovený sádrovacím obinadlem [3]</i> | 27 |
| <i>Obr. 22. Princip reverzního inženýrství [5]</i> | 29 |
| <i>Obr. 23. Obecný postup reverzního inženýrství [5]</i> | 30 |
| <i>Obr. 24. Kontaktní metoda snímání [19]</i> | 31 |
| <i>Obr. 25. Bezkontaktní metoda snímání [20]</i> | 32 |
| <i>Obr. 26. Problematika snímání ploch u bezkontaktních zařízení [5]</i> | 34 |
| <i>Obr. 27. Hybridní protéza horní končetiny [2]</i> | 37 |
| <i>Obr. 28. Exoskeletová protéza chodidla [15]</i> | 37 |

| | |
|---|----|
| <i>Obr. 29. Endoskeletová protéza chodidla [13]</i> | 38 |
| <i>Obr. 30. Endoskeletová protéza chodidla Trés [16]</i> | 38 |
| <i>Obr. 31. Exoskeletová protéza x endoskeletová modulární protéza [2]</i> | 38 |
| <i>Obr. 32. Pahýlové lůžko – horní pohled do lůžka [14]</i> | 39 |
| <i>Obr. 33. Pahýlové lůžko – řez pahýlovým lůžkem [14]</i> | 40 |
| <i>Obr. 34. Polymerní návleky na pahýlová lůžka [16]</i> | 40 |
| <i>Obr. 35. Chodidlová protéza Greissinger [15]</i> | 41 |
| <i>Obr. 36. Chodidlová protéza TruStep [16]</i> | 42 |
| <i>Obr. 37. Epitetická protéza nožní [17]</i> | 42 |
| <i>Obr. 38. Bércová protéza – standardní [12]</i> | 43 |
| <i>Obr. 39. Stehenní protéza – standardní [12]</i> | 43 |
| <i>Obr. 40. Protéza pro exartikulaci v kyčelním kloubu se systémem Helix3D [15]</i> | 44 |
| <i>Obr. 41. Tahová protéza – systémová jednotahová ruka [15]</i> | 44 |
| <i>Obr. 42. Elektrická ruka Michelangelo [15]</i> | 45 |
| <i>Obr. 43. Elektrická ruka DMC (řízená svalovými signály) [15]</i> | 45 |
| <i>Obr. 44. Epitetická protéza prstu [13]</i> | 46 |
| <i>Obr. 45. Epitetická protéza ruky, dokončovací matová úprava [13]</i> | 46 |
| <i>Obr. 46. Epitetická protéza ruky, aplikovaná na pacientovi [13]</i> | 46 |
| <i>Obr. 47. Předloketní protéza [12]</i> | 47 |
| <i>Obr. 48. Předloketní protéza s kosmetickou rukou [3]</i> | 47 |
| <i>Obr. 49. Pažní protéza s ovládacím mechanismem [12]</i> | 47 |
| <i>Obr. 50. Pažní protéza – rozložená na základní díly [3]</i> | 48 |
| <i>Obr. 51. 2,5-osé frézování [21]</i> | 54 |
| <i>Obr. 52. 3-osé frézování [21]</i> | 54 |
| <i>Obr. 53. 4-osé frézování kontinuální [22]</i> | 55 |
| <i>Obr. 54. Rozdělení os [22]</i> | 55 |
| <i>Obr. 55. 5-osé frézování polohováním [22]</i> | 56 |
| <i>Obr. 56. Využití kratších nástrojů [22]</i> | 56 |
| <i>Obr. 57. 5-osé frézování – realizace náklonu nástroje [22]</i> | 57 |
| <i>Obr. 58. Atos II Triple Scan – skenovací kamera</i> | 63 |
| <i>Obr. 59. Předpokládaný postup výroby protetika</i> | 65 |
| <i>Obr. 60. Reálný postup výroby protetika</i> | 66 |
| <i>Obr. 61. Rám formy – PVC trubka – rozměry</i> | 66 |

| | |
|--|----|
| <i>Obr. 62. Rám formy – PVC trubka – utěsnění dna</i> | 67 |
| <i>Obr. 63. Dutina formy po vytažení předloktí</i> | 68 |
| <i>Obr. 64. Vyplnění dutiny formy</i> | 68 |
| <i>Obr. 65. Vyjmutí odlitku z dutiny formy</i> | 69 |
| <i>Obr. 66. Odlitek horní končetiny – před úpravou</i> | 70 |
| <i>Obr. 67. Odlitek horní končetiny – po úpravě</i> | 71 |
| <i>Obr. 68. Referenční body na odlitku</i> | 72 |
| <i>Obr. 69. Skenování 3D skenerem</i> | 73 |
| <i>Obr. 70. Skenování 3D skenerem, přidání ulomeného prstu</i> | 74 |
| <i>Obr. 71. Prostředí programu ATOS Professional</i> | 74 |
| <i>Obr. 72. Základní zpracování naskenovaných dat 3D kamerou</i> | 75 |
| <i>Obr. 73. Nenaskenovaná část prstu</i> | 76 |
| <i>Obr. 74. Označení v místě vady v programu GOM Inspect</i> | 76 |
| <i>Obr. 75. Close Holes Interactively</i> | 76 |
| <i>Obr. 76. Opravená plocha v programu GOM Inspect</i> | 77 |
| <i>Obr. 77. Modelování a úpravy v programu CATIA</i> | 77 |
| <i>Obr. 78. Výběr modulu „Shape“ – „Digitized Shape Editor“</i> | 78 |
| <i>Obr. 79. „Import“ – vložení modelu ve formátu „stl“</i> | 78 |
| <i>Obr. 80. Vložený model – plošný model ze souboru „stl“</i> | 78 |
| <i>Obr. 81. „Fill Holes“ – opravení díry v předloktí</i> | 79 |
| <i>Obr. 82. Horní končetina po použití příkazu „Fill Holes“</i> | 79 |
| <i>Obr. 83. „Mesh Cleaner“ – oprava chyb importovaného modelu</i> | 79 |
| <i>Obr. 84. Výběr modulu „Shape“ – Quick Surface Reconstruction“</i> | 80 |
| <i>Obr. 85. „Automatic Surface“ – vytvoření plochy modelu</i> | 80 |
| <i>Obr. 86. Vybraná varianta plošného modelu horní končetiny</i> | 82 |
| <i>Obr. 87. Výběr modulu „Mechanical Design“ – „Part Design“</i> | 82 |
| <i>Obr. 88. Objemový model – pravá horní končetiny</i> | 83 |
| <i>Obr. 89. Horní končetina – levá – zrcadlená</i> | 83 |
| <i>Obr. 90. Levá horní končetina – model ruky před a po posunutí malíčku</i> | 84 |
| <i>Obr. 91. Model levé horní končetiny – možnosti využití stávajícího modelu pro výrobu protetik</i> | 84 |
| <i>Obr. 92. Pahýlové lůžko pro uložení pahýlu s návlekem</i> | 85 |
| <i>Obr. 93. Protéza levé ruky, pohled 1</i> | 85 |
| <i>Obr. 94. Protéza levé ruky, pohled 2</i> | 86 |

| | |
|---|-----|
| <i>Obr. 95. Ukázka aplikace protézy, silikonový návlek na pahýlu</i> | 86 |
| <i>Obr. 96. Ukázka aplikované protézy</i> | 86 |
| <i>Obr. 97. Finální postup tvorby protézy levé horní končetiny</i> | 87 |
| <i>Obr. 98. Finální postup tvorby protézy levé horní končetiny</i> | 87 |
| <i>Obr. 99. Epitéza ruky</i> | 88 |
| <i>Obr. 100. Epitéza prstů, pohled 1</i> | 88 |
| <i>Obr. 101. Epitéza prstů, pohled 2</i> | 88 |
| <i>Obr. 102. Epitéza ukazováku</i> | 89 |
| <i>Obr. 103. Návrh formy pro odstředivé lití</i> | 89 |
| <i>Obr. 104. Část protézy pro obrábění</i> | 90 |
| <i>Obr. 105. Frézka AZK HWT 442</i> | 90 |
| <i>Obr. 106. Ověření řezných podmínek při zkušebním obrábění – hrubování – prostředí NX 8.0</i> | 93 |
| <i>Obr. 107. Ověření řezných podmínek při zkušebním obrábění – dokončování – prostředí NX.8.0</i> | 93 |
| <i>Obr. 108. Porovnání modelu prstu v prostředí NX 8.0 a obrobeného modelu</i> | 94 |
| <i>Obr. 109. Přípravek pro uložení polotovaru</i> | 95 |
| <i>Obr. 110. Simulace obrábění – hrubování a dokončování hřbetu – prostředí NX 8.0</i> | 95 |
| <i>Obr. 111. Simulace obrábění – hrubování a dokončování dlaně – prostředí NX 8.0</i> | 96 |
| <i>Obr. 112. Simulace obrábění – gravírování textu – prostředí NX 8.0</i> | 96 |
| <i>Obr. 113. Polotovar – upnutí č. 1</i> | 98 |
| <i>Obr. 114. Dlaňová strana po hrubování – upnutí č. 1</i> | 98 |
| <i>Obr. 115. Dlaňová strana po dokončování – upnutí č. 1</i> | 99 |
| <i>Obr. 116. Přetočení polotovaru – upnutí č. 2</i> | 99 |
| <i>Obr. 117. Hřbetová strana po hrubování – upnutí č. 2</i> | 99 |
| <i>Obr. 118. Hřbetová strana po dokončování – upnutí č. 2</i> | 100 |
| <i>Obr. 119. „Podstavec končetiny“ – nápis</i> | 100 |
| <i>Obr. 120. Nápis – detail</i> | 100 |
| <i>Obr. 121. Obrobená část protézy levé horní končetiny – pohled na hřbet</i> | 101 |
| <i>Obr. 122. Obrobená část protézy levé horní končetiny – pohled na dlaň</i> | 101 |

SEZNAM TABULEK

| | |
|---|-----------|
| <i>Tab. 1. Porovnání 3D skenovacích zařízení [18]</i> | <i>33</i> |
| <i>Tab. 2. Technické parametry systému ATOS II, III</i> | <i>64</i> |
| <i>Tab. 3. Prášková směs na výrobu odlitku horní končetiny</i> | <i>67</i> |
| <i>Tab. 4. Porovnání ploch s odlišnými parametry</i> | <i>81</i> |
| <i>Tab. 5. Parametry vybrané varianty pro další zpracování modelu.....</i> | <i>82</i> |
| <i>Tab. 6. Parametry frézky AZK HWT 442</i> | <i>91</i> |
| <i>Tab. 7. Základní popis materiálu NECURON 770.....</i> | <i>91</i> |
| <i>Tab. 8. Základní popis materiálu NECURON 651.....</i> | <i>92</i> |
| <i>Tab. 9. Řezné podmínky pro obrábění na AZK HWT 442</i> | <i>94</i> |
| <i>Tab. 10. Nástroje pro jednotlivé operace</i> | <i>96</i> |
| <i>Tab. 11. Parametry použitých nástrojů</i> | <i>97</i> |
| <i>Tab. 12. Vytvořené programy pro obrábění části horní končetiny</i> | <i>97</i> |

SEZNAM PŘÍLOH

Na DVD nosiči:

| | |
|-----------------------------|---|
| Adresář „DP“ | Diplomová práce ve formátu „pdf“. |
| Adresář „3DScan“ | „stl“ soubory skenovaného odlitku. |
| Adresář „Varianty_sitovani“ | Varianty síťování naskenovaného modelu. |
| Adresář „Modely“ | Základní model, model protézy, modely epitéz, návrh formy pro odstředivé lití, model pro obrábění části protézy levé horní končetiny. |
| Adresář „Ridici_program“ | Vygenerované programy pro obrábění části modelu protézy levé horní končetiny. |
| Adresář „Video“ | Videa zachycující průběh obrábění části protézy levé horní končetiny. |