

Úvod do problematiky

Každoročně je v České republice prováděn vysoký počet amputací. Amputace horní končetiny je nejčastěji způsobená traumatickým zraněním. Ztráta horní končetiny je pro pacienta velkým zásahem do života. Vede nejen k fyzickým omezením, ale je to především zásah velmi stresující. Následky amputací pomáhají zmírňovat náhrady horní končetiny. Protéza může částečně nahrazovat funkci chybějící končetiny a především napomáhá socializaci pacienta. Pro pacienty jsou nabízeny tři základní typy protéz.

Kosmetické protézy, plnící estetickou funkci, pacientům přináší dokonalý vzhled. Jsou často k nerozeznání od zdravé lidské ruky. Zcela však postrádají schopnost úchopu a funkční úlohu dokáží plnit jen ve formě jednoduchého podpírání.

Tahové protézy již přinášejí možnost manipulace s

předměty. Jsou ovládány pomocí pohybů částí těla. Pro

spoustu pacientů je obtížné naučit se ji používat. Tahové

protézy obvykle neplní estetickou úlohu.

Posledním typem jsou bionické protézy schopné přirozeného úchopu. Protézy imitují tvar i pohyby ruky a lze je považovat za estetické. Poháněny jsou aktuátory a řízeny procesorem na základě nervových impulzů z pažy pacienta. Problémem jsou nároky kladené na stav pažy. Cena těchto protéz je velmi vysoká a pro řadu pacientů jsou tak nepřístupné.



Bionická protéza [www.wired.co.uk]

Analýza problému a cíl práce

Cílem práce je konstrukce a výroba prototypu nové protézy zahrnující v sobě výhody zmíněných typů náhrad horní končetiny. Hlavním kritériem konstrukce je finančně nenáročná výrobitelnost zajišťující dostupnost všem pacientům. Čistě mechanická protéza schopná úchopu s přirozenou kinematikou pohybu prstů a jednoduchým ovládáním poskytne pacientům nejen funkční úlohu v podobě manipulace s drobnými předměty do hmotnosti 2 kg, ale především také úlohu estetickou. Tu zajistí kosmetická rukavice. Pacientům tak bude k dispozici kosmetická protéza schopná přirozeného a stabilního úchopu.

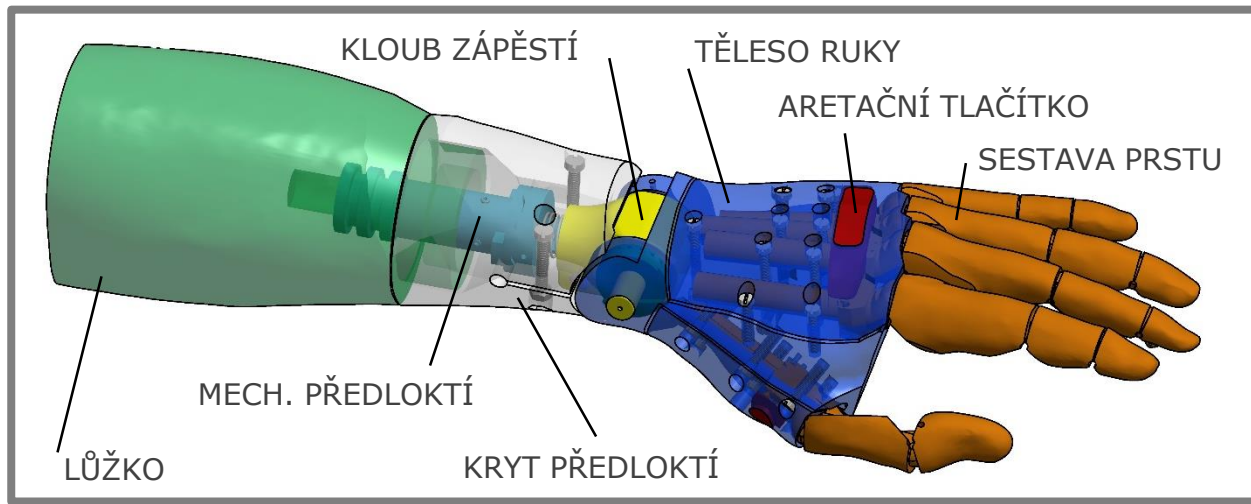
Tato konstrukce by měla zaplnit prázdné místo na trhu s protézami horních končetin. Pohon bude zajištěn pomocí tažných pružin a protéza bude ovládána zachovalou rukou pacienta. Hlavní díly protézy budou řešeny ve formě stavebnicové koncepce. Těmi budou prsty s mechanismem úchopu a pohonem, kloub zápěstí, kloub předloktí a nosná část předloktí. Ostatní díly imitující tvar ruky budou pro jednotlivé pacienty vyráběny samostatně (například aditivní výrobní technologií FDM). Tím bude umožněna vysoká variabilita pro použití širokým spektrem pacientů s nízkými náklady a v krátkém čase. Samotná konstrukce je navržena tak, aby bylo možné využívat ekonomicky nenáročných technologií pro výrobu v sériích. Například odléváním či vstřikováním.



3D model navržené konstrukce

Konstrukční návrh

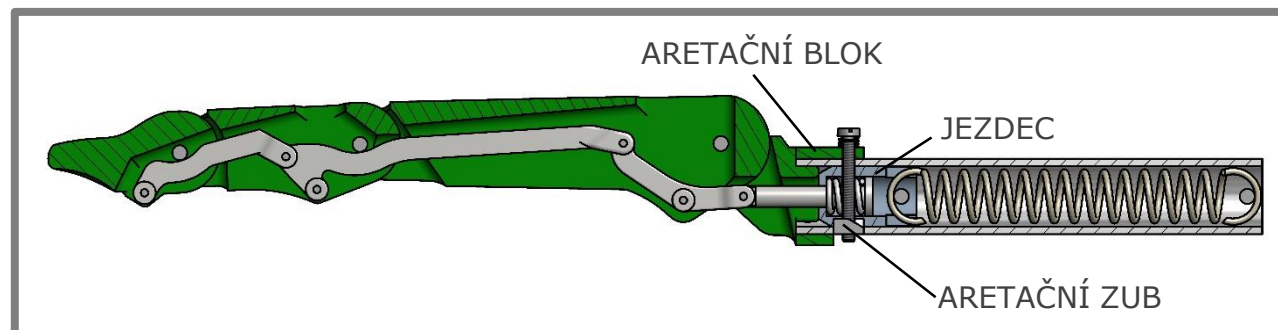
Protéza je rozdělena na hlavní konstrukční uzly. Těmi jsou sestava prstu s pohonem a aretací, kloub zápěstí a mechanismus předloktí.



Model protézy s barevně rozlišenými konstrukčními uzly

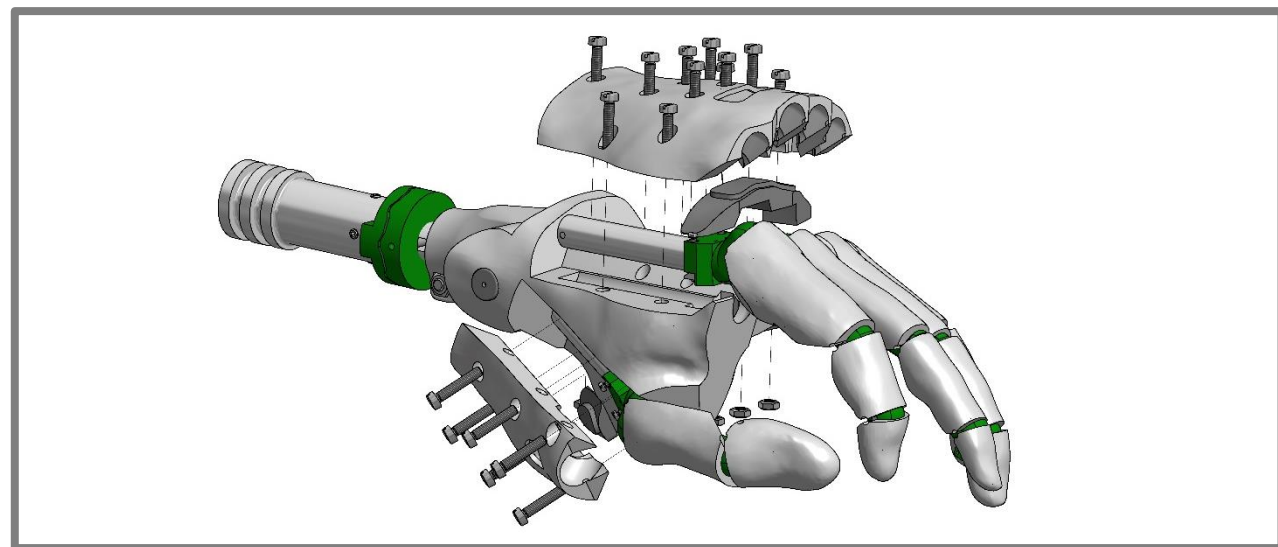
Pro zajištění přirozené kinematiky pohybu prstů je využit mechanismus pasivního úchopu. Všechny prsty jsou poháněny tažnými pružinami. Ty samovolně uvedou prst z extenze do flexe. Do extenze jsou prsty uváděny pacientem.

Aretace prstu je zajištěna aretačním blokem nasunutým na pouzdře tažné pružiny. Blokem jsou vedeny dva šrouby upevněné k aretačnímu zubu. Hlavy šroubů jsou odtlačované pružinami, tak je aretační zub přitlačován k jezdcí s drážkou. K uvolnění z aretace dochází při vyvození síly na hlavy šroubů a odsunutí aretačního zubu z drážky.



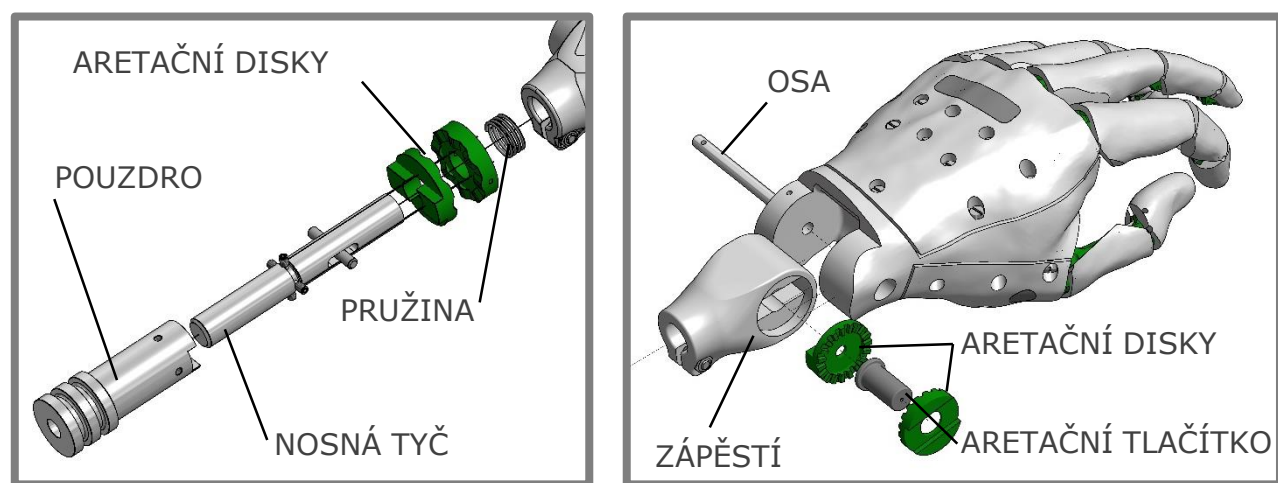
Sestava prstu s pohonem a aretací

Prsty jsou uloženy v tělese ruky. To je složeno ze tří částí. Ty v sobě mají tvarové dutiny, do kterých jsou sestavy prstů s pohonem vkládány a zajištěny sevřením. V horním dílu je nad jednotlivými aretačními bloky prstů vytvořena šachta s tlačítkem. Tlačítko svou spodní částí dosedá na hlavy šroubů aretačních mechanismů. Tak je možné uvolnit z extenze všechny prsty zároveň. Zpět do extenze jsou prsty uváděny samostatně, protože sestavy prstů spolu nejsou svázané. Pro palec je vytvořeno samostatné tlačítko.



Rozpad tělesa ruky

Kloub zápěstí umožňuje extenzi a flexi ruky. Je aretován v několika polohách. Po stisku tlačítka na boku zápěstí dochází k uvolnění z aretace. V kloubu zápěstí je šachta, ve které se axiálně pohybuje aretační disk s ozubením na čelní straně. Disk je přitlačován pružinou k druhému disku. Ten je upevněn ve vidlici, která je součástí tělesa ruky.



Rozpad mechanismu předloktí a rozpad kloubu zápěstí

Mechanismus předloktí umožňuje rotaci kolem své osy. Je tvořen pouzdem připevněným k lůžku protézy. V pouzdře je uložena nosná tyč, na kterou se nasouvá kloub zápěstí. Tyč je axiálně jištěna pomocí radiální drážky, o jejíž stěnu se opírají čtyři stavěcí šrouby umístěné v pouzdře. Aretace je řešena obdobně jako u kloubu zápěstí. Ozubené aretační disky jsou k sobě přitlačovány pružinou. K uvolnění z aretace dochází vyvinutím dostatečně velkého točivého momentu. Pro přenos točivého momentu z tyče na aretační disk je skrz tyč vedena podélná drážka. Tou prochází osa procházející napříč diskem. Díky tomu je možný axiální pohyb disku. Estetickou úlohu zajišťují tvarové díly. Těmi jsou články prstů a kryt předloktí. Tyto díly včetně tělesa ruky a lůžka byly vytvořeny na základě 3D skenu zachovalé ruky pacienta.



Výroba

Celá protéza byla vyrobena v dílnách ústavu konstruování. Články prstů byly vyráběny trojosým obráběním na CNC frézce z polyuretanu. Stejným způsobem byly vyrobeny i aretační disky a aretační bloky. Pro výrobu táhel mechanismu pasivního úchopu a aretačních zubů byla zvolena aditivní způsob výroby technologií SLM z nerezové oceli 316L. Pouzdra pro tažné pružiny, nosná tyč a pouzdro předloktí byly vyráběny konvenčním obráběním z hliníkové slitiny. Všechny tvarové díly, těleso ruky, tlačítka a kloub zápěstí byly vyrobené aditivní technologií metodou FDM z plastu ABS.



Protéza ve fázi výroby



Testování

Prototyp byl podroben testování úchopu. Byl ověřován válcový i háčkový úchop. Naměřené hodnoty síly úchopu jednotlivých prstů jsou uvedeny v tabulce. Protéza stabilně udržela předměty různých tvarů do hmotnosti 2 kg. V háčkovém úchopu byla protéza schopná udržet zátěž převyšující hmotnost 5 kg. Prototyp byl rovněž otestován pacientem, pro nějž byla protéza navržena. Z časových důvodů nebyla pro protézu vyrobena kosmetická rukavice. Pro simulaci tření kosmetické rukavice byla při testech využita gumová chirurgická rukavice.

Síly úchopu na posledním článku		
	extenze	flexe
palec	3,0 N	3,5 N
ukazovák	1,4 N	6,3 N
prostředník	1,1 N	4,7 N
prsteník	1,2 N	6,5 N
malík	1,4 N	5,5 N
součet	8,1 N	28,0 N



Testování protézy pacientem



Závěr

Navržená konstrukce splnila všechny zadané požadavky. Subjektivní názor pacienta, který protézu testoval, byl pozitivní. Vznikla tak ekonomicky nenáročná kosmetická protéza schopná přirozeného a stabilního úchopu.



Konečná podoba prototypu protézy