

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní – Ústav přístrojové a řídicí techniky



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**3D TISKNUTELNÁ
ROBOTICKÁ RUKA**

3D PRINTABLE ROBOTIC HAND

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně s použitím literárních zdrojů a informací, které cituji a uvádím v seznamu použité literatury a zdrojů.

Datum:

Podpis

Poděkování

Chtěl bych poděkovat panu doc. Ing. Martinu Novákovi, Ph.D. za odborné vedení, trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování bakalářské práce věnoval.

Zadání práce

Tuto stránka bude nahrazena oficiálním zadání práce

Anotační list

Jméno autora:	Ondřej Šulc
Název BP:	3D tisknutelná robotická ruka
Anglický název:	3D printable robotic hand
Rok:	2017
Obor:	Teoretický základ strojního inženýrství
Ústav:	Ústav přístrojové a řídicí techniky
Vedoucí práce:	doc. Ing. Martin Novák, Ph.D.
Bibliografické údaje:	Počet stran 31 Počet obrázků 38 Počet tabulek 3
Klíčová slova:	robotická ruka, 3D tisk, servomotor, Arduino
Keywords:	robotic hand, 3D print, servo, humanoid, mechatronic, Arduino, Inmoov, Hackberry, Open Source

Anotace Tato bakalářská práce se zabývá problematikou návrhu robotické ruky. Zpracovává rešerši možného provedení a popisuje několik podobných projektů. V práci je postupně proveden návrh jednotlivých prstů, dlaně a předloktí. Závěrem je potom připojení k Arduino a ověření funkčnosti pohybů.

Abstract This thesis focuses on designing a robotic hand. Possible solutions are being described along with several similar projects. This work also describes the design of individual components like fingers, palm and forearm. Finally, the CAD model has been exported to .stl and 3D-printed. The plastic components have been assembled and revived using servo motors and Arduino Mega microcontroller.

Obsah

1	Úvod	6
2	Rešerše	7
2.1	InMoov	7
2.2	Schunk SVH	9
2.3	Biomimetická antropomorfní robotická ruka	10
2.4	HACKberry	11
3	Cíle práce	12
4	Postup návrhu	12
4.1	Prototyp prstu	12
4.1.1	Spojení článků	13
4.1.2	Pohyb prstu	14
4.1.3	Design článků	14
4.2	Jednotlivé prsty	16
4.3	Dlaň	18
4.4	Předloktí	19
4.5	Konečný model	20
4.6	Tisk a sestavení	21
4.7	Elektronické připojení	24
4.7.1	Arduino	25
5	Závěr	27
	Seznam použité literatury a zdrojů	28
	Seznam použitého SW	31
	Seznam příloh	31

1 Úvod

Myšlenka vytvořit robotickou ruku podobnou té lidské není nic nového. V posledním desetiletí můžeme najít četné pokusy, ať už méně, či více úspěšné. Vývoj takovýchto projektů dříve znamenal velkou finanční investici, kterou si mohli dovolit jen velké podniky a prestižní univerzity. V posledních letech se ale podobné projekty stávají čím dál dostupnější a to především díky rozvoji 3D tisku, který umožňuje vytvářet prototypy velmi rychle a s nízkými náklady.

Z těchto důvodů jsem se rozhodl využít této příležitosti a řešit návrh robotické ruky. Hlavní cíl této práce je mechanický návrh a celkový design robotické ruky. Ruka bude vyrobena na 3D tiskárně a vzhled by měl připomínat lidskou ruku. Závěrem potom bude ruku sestavit, připojit elektronicky s využitím Arduina a naprogramovat jednoduché pohyby.

Veškerá dokumentace bude přiložena u práce a bude dostupná komukoliv. Tyto soubory pak mohou být použité pro pokračování ve vývoji. Výsledek této práce může být tedy použit například jako část většího bionického robota nebo i jako protetická pomůcka.

2 Rešerše

V následující části jsou ve stručnosti popsány čtyři vybrané projekty, které se podobným tématem zabývají.

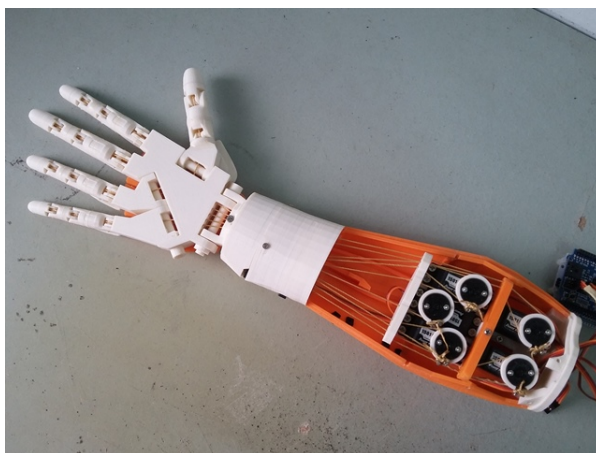
2.1 InMoov

Inmoov je celosvětový open source projekt lidského robota. Je sestaven převážně z plastových dílů, které je možné vytisknout na 3D tiskárně. Celý robot je ovládán pomocí mikrokontrolerů a řízený prostřednictvím Arduina.



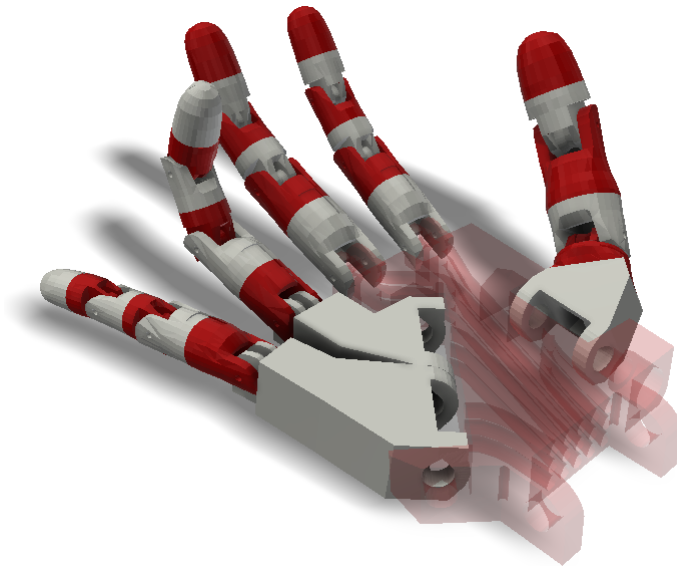
Obr. 1: InMoov robot^[1]

Byl založen francouzským sochařem a designérem Gaelem Langevinem v lednu 2012. Projekt, který odstartoval pouze jako protetická ruka, se rychle rozvíjel za pomoci lidí z celého světa. Během pár let byl na světě celý robot, kterého si může doma za pomoci 3D tiskárny sestavit kdokoliv.



Obr. 2: InMoov dlaň a předloktí^[2]

V současnosti je robot téměř kompletní. Na zádech má zabudovaný tablet, který slouží jako jeho mozek. Na místě očí jsou dvě kamery, uši slouží jako reproduktory a celá hlava i oči jsou pohyblivé. Obě ruce mají pět stupňů volnosti. Prsty jsou vybaveny tlakovými senzory, které rozpoznají sílu stisku. Na každý prst připadá jeden servomotor. Celkem se tedy jedná o pětici servomotorů, které jsou umístěny v předloktí (obr. 2). Od každého z nich je natažen vlasec k příslušnému prstu. Jakmile se servo otočí, zatáhne za vlasec a prst se pokrčí.



Obr. 3: InMoov - Detail dlaně^[3]

Na obrázku výše jsou barevně odlišeny jednotlivé součásti, z kterých je dlaň sestavena. Články prstů jsou vždy rozděleny na dvě části a to hned z několika důvodů. Jednak je možné části rychleji vytisknout, dále pak rozdělení posledního článku umožňuje protažení vlasce prstem a následné zakrytí. Takovéto řešení, které využívá provázků, či vlasců jako ovládání prstů, je nejvíce používáno především v amatérských projektech. Převážně kvůli dostupnosti servomotorů a ceně celého provedení. Nejde však pouze o cenu, velkou roli hraje také fakt, že vlasec má stejnou funkci jako šlacha ve skutečném prstu. Pokud se tedy snažíme napodobit lidskou ruku, toto určitě není špatná cesta.

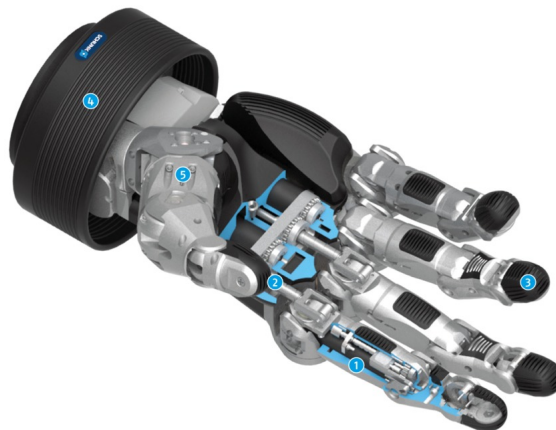
2.2 Schunk SVH

Německý výrobce upínací techniky SCHUNK přišel na trh v roce 2015 s pětiprstou uchopovací robotickou rukou navrženou pro uplatnění v servisní robotice. Ruka byla po prototypovém vývoji zařazena do standardního programu pro mobilní uchopovací systémy. [4]



Obr. 4: Schunk SVH^[5]

Firma nabízí provedení ve dvou verzích, jak levou tak i pravou ruku. Velikostí, tvarem i funkčností se velmi podobá lidské ruce. Pohyby ruky jsou zajištěny použitím celkem devíti pohonů pro pět prstů. Elastické plochy na vnitřní straně článků poskytují bezpečné a šetrné uchopení předmětů.

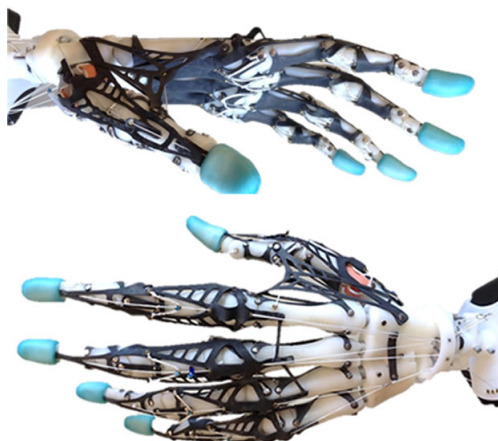


Obr. 5: Schunk SVH - částečný řez^[5]

Veškerá elektronika a řídicí technika je umístěna v zápěstí. Ovládání ruky se uskutečňuje přes CAN-Bus nebo Profibus^[5] Ruku lze přes rozhraní adaptovat na běžné průmyslové i lehké roboty. Pro použití v mobilních aplikacích je dodávka energie zajištěna bateriemi s napětím 24 voltů.

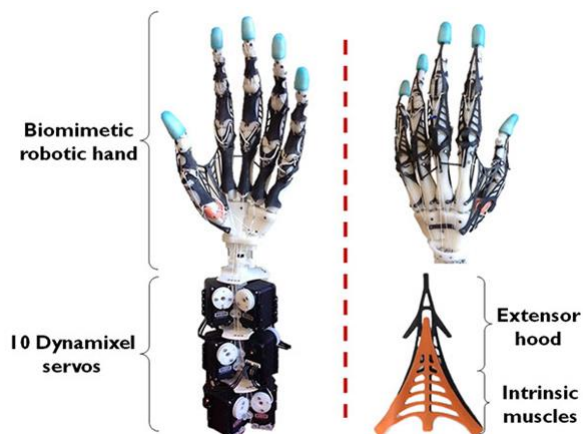
2.3 Biomimetická antropomorfní robotická ruka

Zhe Xu a Emanuel Todorov z Washingtonské univerzity v Seattlu postavili v roce 2016 doposud kinematicky nejpřesnější biomimetickou antropomorfní robotickou ruku. Je sestavena z 3D tisknutelných kostí, které byly pořízeny naskenováním lidské ruky.



Obr. 6: Biomimetická antropomorfní robotická ruka^[6]

Cílem bylo co nejpřesněji napodobit pohyby lidské ruky a toho bylo dosaženo vytvořením umělých kloubů. Kostí jsou k sobě spojeny pomocí velmi specifického plastického materiálu, který vytváří napětí mezi prsty a napomáhá velmi realistickému pohybu.



Obr. 7: Biomimetická ruka se serv^[6]

Pohyb obstarává deset servomotorů, které jsou umístěny pod rukou. Od nich jsou nataženy umělé šlachy. Ke každému prstu jsou připojena dvě serva. Každé z nich tahá za jinou část prstu, což zajišťuje vysokou kontrolu nad celkovým pohybem.

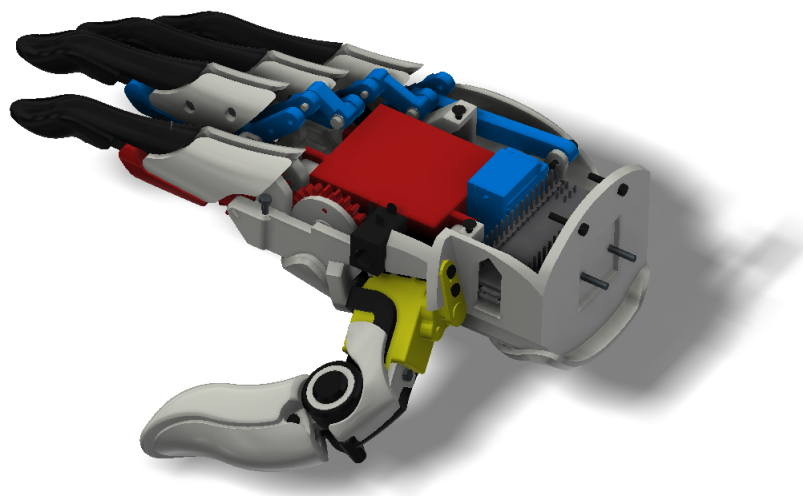
2.4 HACKberry

Hackberry je již pátý prototyp 3D tisknutelné bionické ruky vytvořený japonskou firmou Exiii. Je určena pro použití jako protetická ruka pro tělesně postižené. Veškerá elektronika je umístěna v dlani a je napájena baterií, která vydrží v provozu až 12^[7] hodin. Vysoká výdrž baterie je dosažena použitím pouze tří motorů pro pohyb všech prstů. Díky rozvoji 3D tisku je tato ruka cenově mnohem přijatelnější oproti tradičním protézám.



Obr. 8: Hackberry^[8]

Ruka je ovládána uživatelem protézy senzorem umístěným na konci jejich končetiny. Senzor snímá svalové stahy, signál je odeslán do mobilní aplikace, která poté řídí samotné pohyby prstů. Jednotlivé servomotory v ruce jsou znázorněny na obr. 9. Ukazováček je poháněn přes ozubené kolečko červeným motorem. Palec je řízen žlutým servem, modře je pak označen pohon, ovládající zbylé tři prsty.



Obr. 9: Hackberry - Rozložení motorů

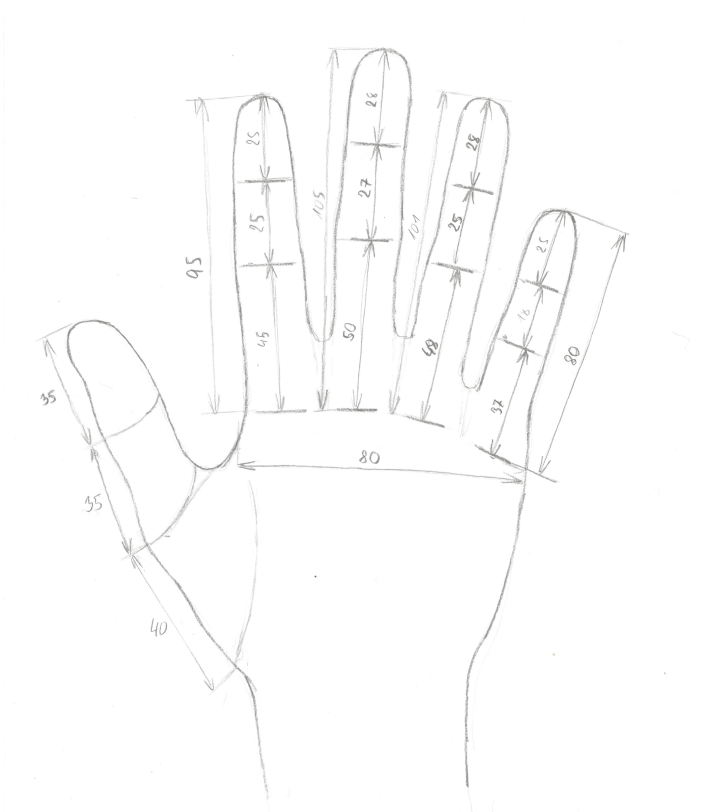
3 Cíle práce

Na základě prostudování možných provedení lidské robotické ruky, jsem zvolil následující řešení. Celý model ruky budu vytvářet v CAD programu Autodesk Inventor. Jednotlivé části budou vytištěny na 3D tiskárně. Pohyb prstů bude zajištěn pomocí servomotorů, ovšem na místo často používaných vlasců nebo provázků, jsem zvolil ocelová lanka, která budou tahat za jednotlivé prsty. Ocelové lanko, by díky svojí tuhosti, mělo zajistit plynulejší pohyb prstů. Lanko povedou skrz prsty a dlaň do předloktí, kde budou umístěné servomotory. Závěrem potom bude připojení ruky elektronicky k Arduinu a ověření funkčnosti celé ruky.

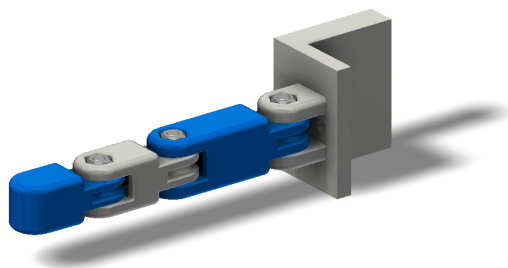
4 Postup návrhu

4.1 Prototyp prstu

První krok celého návrhu bylo vytvořit jeden prst. Vytisknout prototyp a odzkoušet funkčnost pohybu. Začal jsem tedy s tvarově zjednodušeným modelem, kde jsem se soustředil především na velikost jednotlivých článků a na jejich spojení. Rozměry prstu jsem volil na základě svojí vlastní ruky. Skica z které jsem vycházel je vidět na obr. 10.



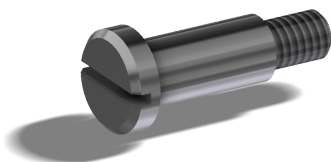
Obr. 10: Okótovaná skica ruky



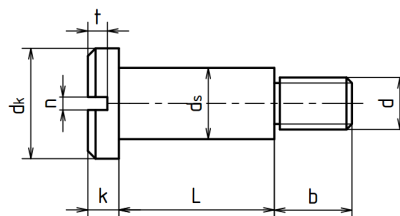
Obr. 11: Prvotní návrh prstu

4.1.1 Spojení článků

Spojení článků bylo možné vyřešit různými způsoby. Je možné použít kolíky, nýty nebo šrouby. Zvolil jsem nakonec využít šroubové spoje, které zajistí možnost případného rozebrání. Vybral jsem osazené šrouby s plochou hlavou s drážkou dle normy DIN 923 velikosti M4, které budou z druhé strany zajištěny maticí M4 dle normy DIN 934.



Obr. 12: 3D model šroubu

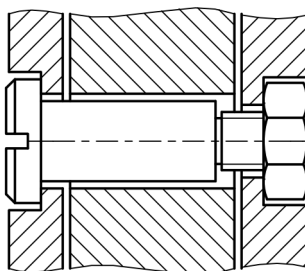


Obr. 13: DIN 923

rozměr	L	b	d_k (max.)	d_s (h9)	k	n	t (min.)
[mm]	12	6	8,5	5,5	2,4	1	1,2

Tab. 1: M4x12 DIN 923 ^[9]

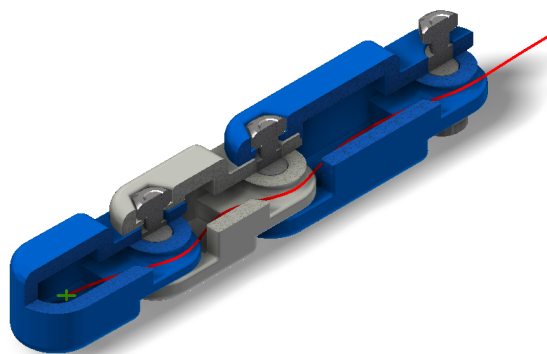
Plochá hlava s drážkou je vhodná pro toto použití z důvodu malé tloušťky. Také ji bude snadné zaspustit do materiálu, tak aby splývala s povrchem článků. Osazená část šroubu obstará jemný ohyb prstů s minimálním třením. Matice na druhé straně je také zapuštěna ze stejných důvodů jako u hlavy šroubu. Výsledný řez spoje je možné vidět na obr. 14.



Obr. 14: Detail spojení

4.1.2 Pohyb prstu

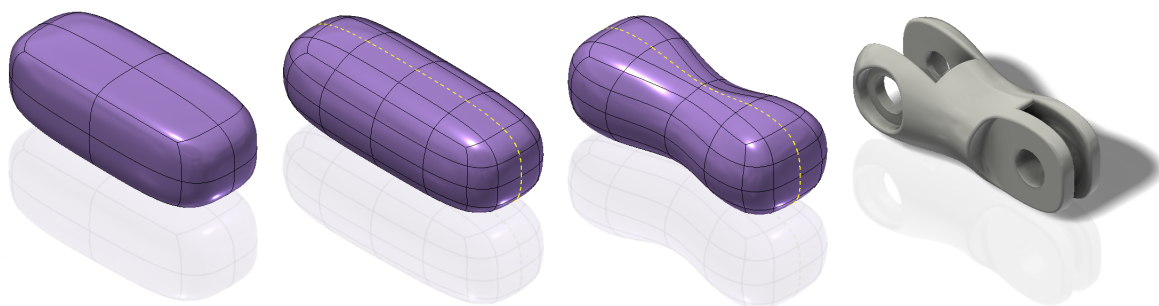
Dále bylo nutné vyřešit způsob vedení ocelového lanka, které bude celým prstem pohybovat. Zvolil jsem elegantní řešení, kde lanko vede skrz celý prst a je vidět pouze částečně v kloubech. Články jsem tedy udělal duté a v kloubech je drážka kudy bude lanko procházet. Toto provedení je zobrazeno na obr. 15, kde červená čára reprezentuje již zmíněné ocelové lanko.



Obr. 15: Vizualizace protažení lanka prstem

4.1.3 Design článků

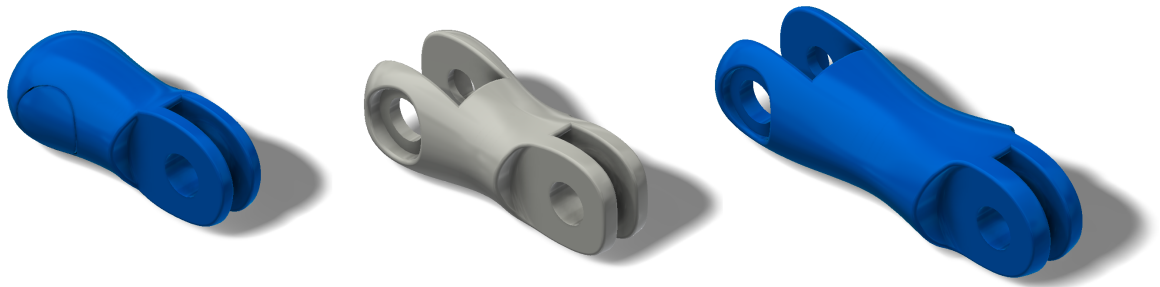
Po navržení funkčnosti jsem se zaměřil na tvar jednotlivých článků. Cílem bylo napodobit lidskou ruku, jak funkčností, tak vzhledem. Kvůli omezeným možnostem editace předchozího modelu v programu Autodesk Inventor, bylo jednodušší začít modelovat znovu. Pro vytvoření finální podoby jsem použil funkci nazvanou Freeform, která umožňuje vytvářet objekty jakýchkoli tvarů. Proces samotného modelování je velmi intuitivní, ale pracný. Začíná se s jedním z předem daných tvarů. Mezi ně patří koule, kvádr, válec nebo anuloid. Tyto tvary jsou tvořeny sítí bodů, se kterými je možno následně pohybovat všemi směry. Celý proces jsem se pokusil znázornit na obr. 16.



Obr. 16: Proces modelování funkcí Freeform

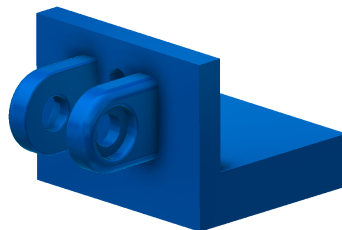
Jakmile jsem byl spokojen s konečným tvarem, zbývalo upravit konce článků, tak aby

do sebe jednotlivé části zapadaly. Potom jsem vytvořil díry pro spojení šrouby a drážku na lanko. Finální podoba článků je vidět na obr. 17.



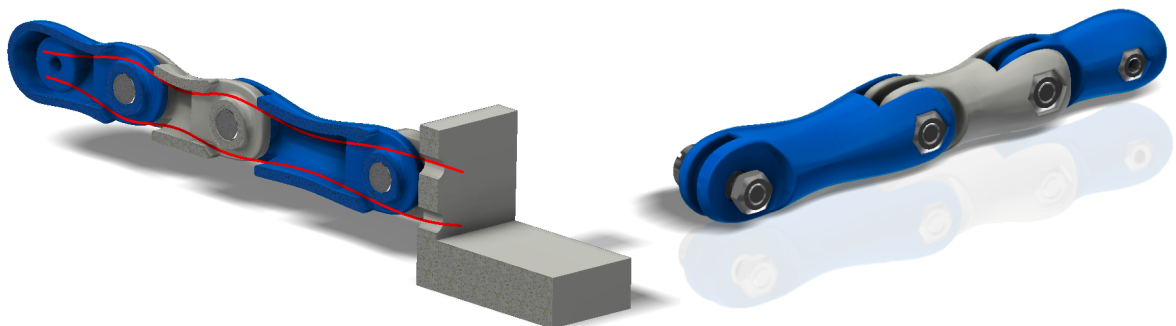
Obr. 17: Jednotlivé články

Nakonec jsem udělal velmi jednoduchý stojan pro celý prst (obr. 18), který představuje připojení k dlani. Jsou v něm dvě díry pro protažení lanek, každé po jedné straně prstu.



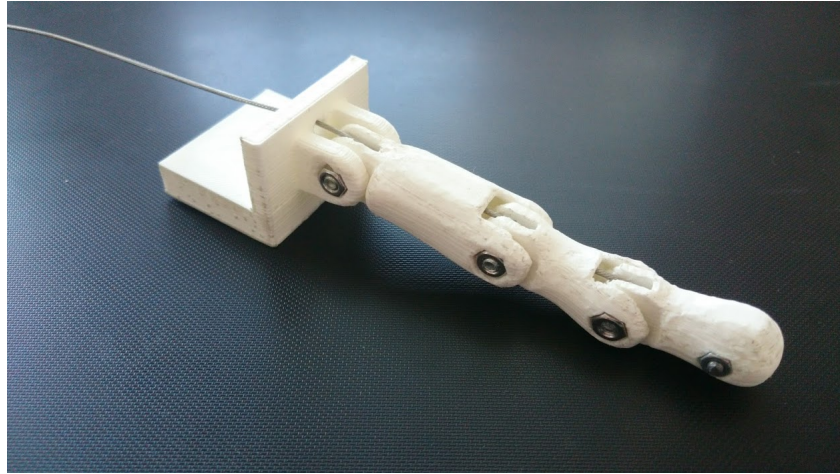
Obr. 18: Stojan

Model prvního prototypu byl hotov a zbývalo jen exportovat jednotlivé díly do formátu s příponou .stl, který se používá pro 3D tisk.



Obr. 19: Finální sestava prototypu

Vytisknuté díly jsem očistil od přebytečného materiálu a následně sestavil (obr. 20). Použil jsem ocelové lanko průměru 1,2 mm, které má běžné využití na jízdním kole jako lanko řadicí. Následně jsem ho protáhnul prstem a zajistil ho v posledním článku šroubkem velikosti M3 s podložkou.

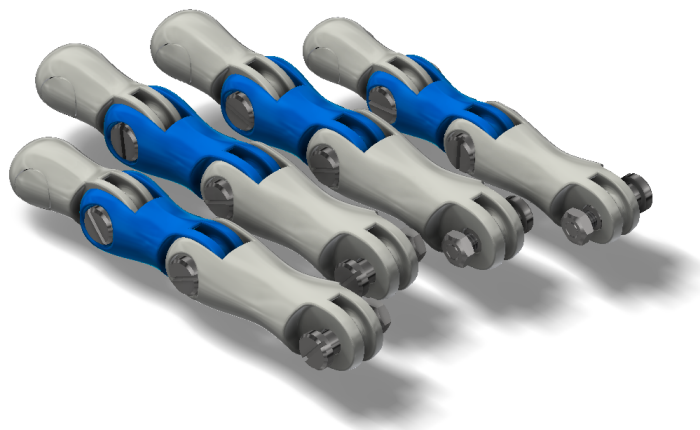


Obr. 20: Sestavený prototyp prstu

Na základě prototypu jsem zjistil, že pro požadovaný pohyb bude dostatečné pouze jedno lanko vedené vrchní částí prstu. Rozhodl jsem se drážku na obou stranách ponechat, aby bylo možné použít na místo ocelového lanka případně i vlasec nebo provázek, který by bylo nutné vést po obou stranách.

4.2 Jednotlivé prsty

První prototyp, reprezentující ukazováček, byl úspěšný a bylo na čase vytvořit zbylé prsty. Jelikož jsou ukazováček, prostředníček a prsteníček rozměrově velmi podobné, stačilo prst dvakrát zkopírovat. Pouze u prostředníčku jsem upravil prostřední článek tak, aby byl delší. Malíček jsem vytvořil zmenšením jednoho z prstů na 90% původní velikosti. Jednotlivé prsty jsem rozmístil v sestavě nejprve jen přibližně (obr. 21).



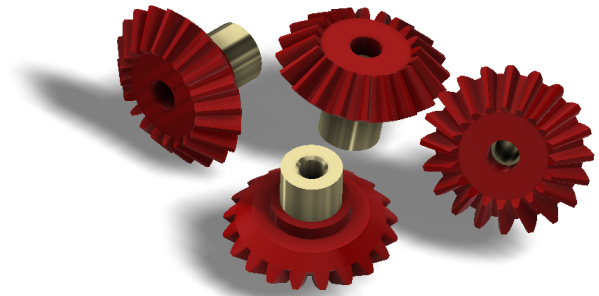
Obr. 21: Prsty

Zbývalo vytvořit palec, který je od ostatních prstů velmi odlišný. Aby bylo dosaženo pohybu podobnému tomu lidskému, bylo zapotřebí navrhnout palec tak, aby měl alespoň

dva stupně volnosti. Toho by bylo možné dosáhnout použitím dvou lanek. Jedno by ovládalo naklonění palce, druhé by celý palec pokrčilo. Byla by možná i další řešení. Já měl však k dispozici plastová ozubená kolečka (obr. 23) a malé servo (obr. 22), které by se mohlo vejít do dlaně. Rozhodl jsem se je tedy využít. Přesné použití bude popsáno později.

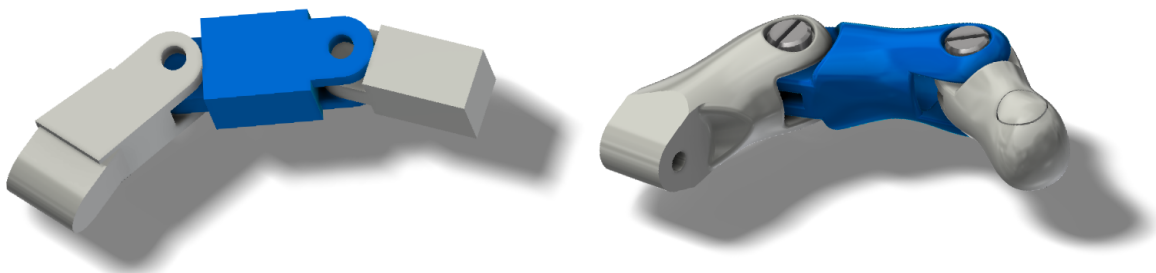


Obr. 22: Servo ES08MAII



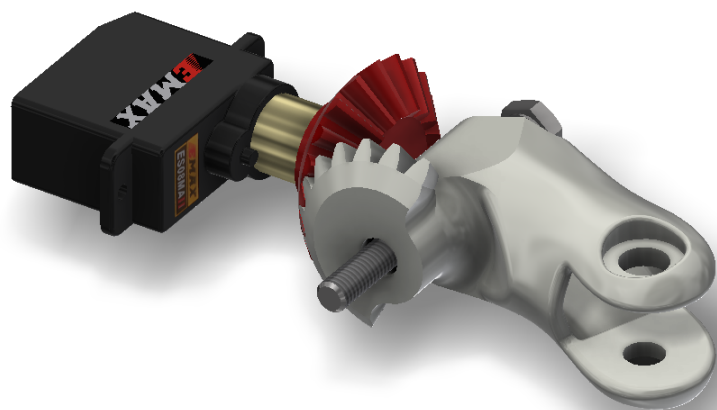
Obr. 23: Ozubená kolečka

Nejprve jsem vytvořil zjednodušený model palce podobně jako u prvního prototypu prstu. Jakmile jsem vyřešil přibližné rozměry článků a polohu jednotlivých kloubů, vymodeloval jsem celý prst (obr. 24).



Obr. 24: Tvorba modelu palce

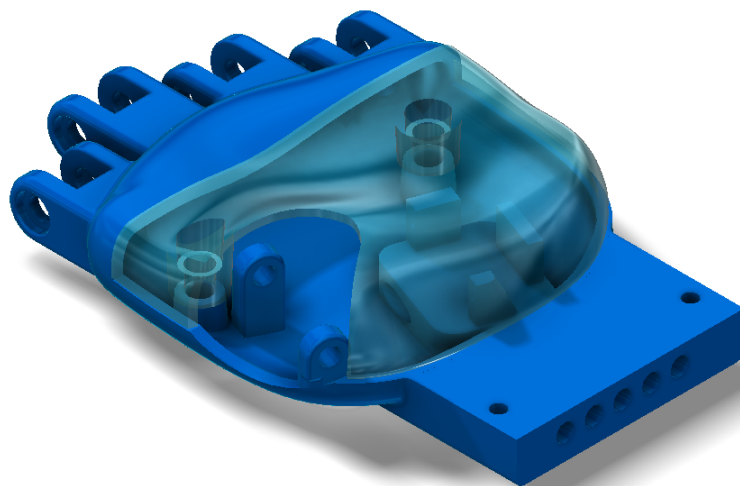
Jak již bylo zmíněno, rozhodl jsem se pro pohyb v jednom směru využít kuželové soukolí. Servo bude zakryté v rozebíratelné dlaní. Bude otáčet ozubeným kolečkem a protizabírající kolo bude umístěno na malé hřídeli spolu s celým prstem. Ozubená kolečka a servo jsem nejprve vymodeloval jako samostatné součásti. Velikost jednotlivých zubů je dostatečně velká pro 3D tisk, proto jsem spojil jedno z kol s posledním článkem palce. Výsledné spojení (obr. 25) servomotoru, ozubeného kola a palce jsem měl připravené. Jejich umístění bylo řešeno až při návrhu dlaně.



Obr. 25: Ozubené soukolí

4.3 Dlaň

Při návrhu dlaně jsem opět dbal na rozebíratelnost. Je proto tvořena ze dvou částí. Spodní část tvoří většinu dlaně a jsou k ní přichyceny všechny prsty. Vrchní kryt slouží čistě jako zakrytí elektroniky a natažených lanek. Je spojen se spodní částí pomocí dvou šroubů, které jsou použity i na uchycení prstů.



Obr. 26: Pohled na dlaň

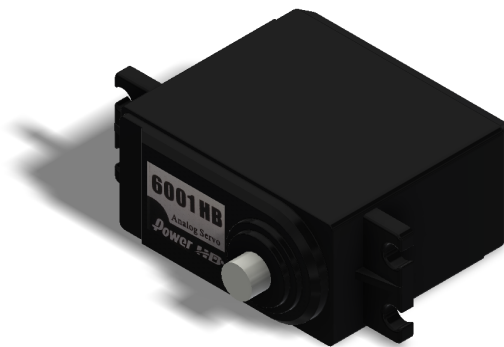
V dlani jsou připravené díry, kudy vedou ocelová lanka k jednotlivým prstům. Malé servo je také připevněno k spodní části dlaně, bližší detail spojení je na obr. 27. Jako spoj jsou použity samořezné šrouby M2x8.



Obr. 27: Detail upevnění serva

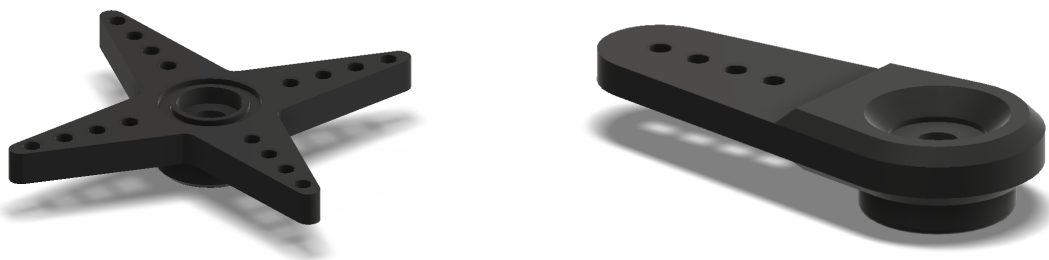
4.4 Předloktí

Poslední část návrhu bylo vytvořit část předloktí, kde bude umístěno pět servomotorů a elektronika. Nejprve jsem vytvořil model serva (obr. 28) použité pro pohyb prstů. Jedná se o typ s označením 6001HB.



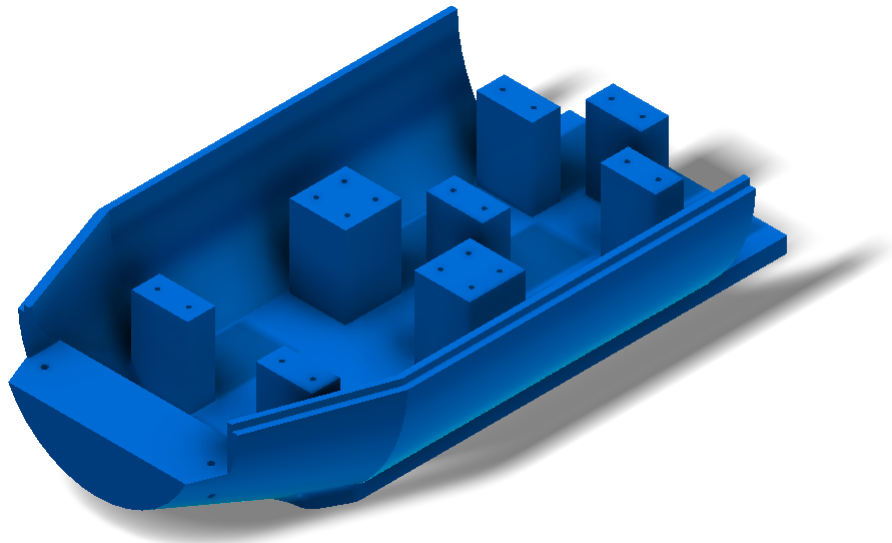
Obr. 28: Servomotor 6001HB

Pětici serv jsem poté rozmístil, tak aby bylo možné každé servo připevnit k předloktí. Zároveň musel kolem zůstat dostatek místa na otáčení koncovek, které jsou užitečné pro tahání lanka (obr. 29). Tyto části je možné nasadit na servomotor přes tisícíhran a následně se pojistí šroubem. Zvolil jsem koncovku zobrazenou na pravé straně, jelikož má větší rameno při otáčení.



Obr. 29: Možné vrchní části serva

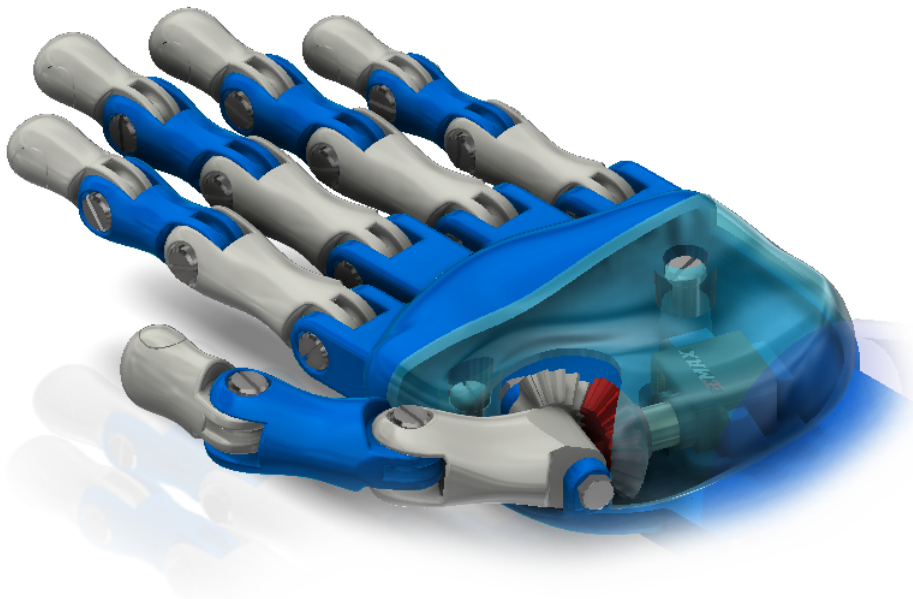
S vyřešením prostoru mezi servy bylo jasné dané, jak musí být předloktí velké, aby se dovnitř všechno vešlo. Výsledný model předloktí je na obr. 30. Připojení dlaně a přichycení serv je vyřešeno pomocí samořezných šroubů.



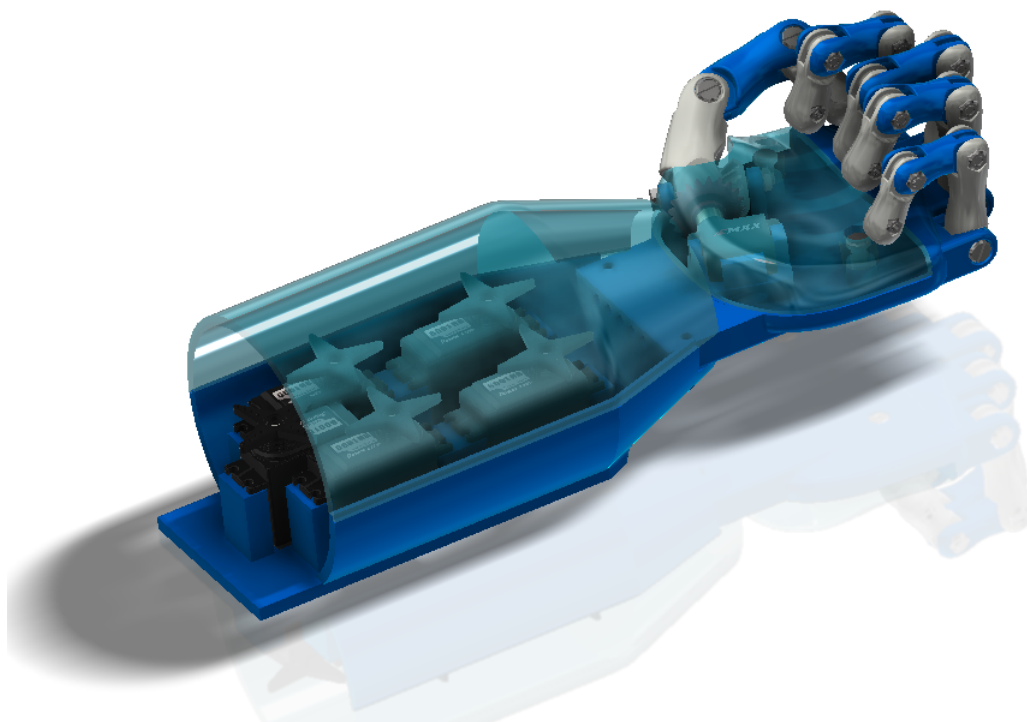
Obr. 30: Celé předloktí

4.5 Konečný model

Na závěr jsem všechny součásti složil v jedné sestavě. Detail dlaně je na obr. 31 a model celé ruky pak na obr. 33.



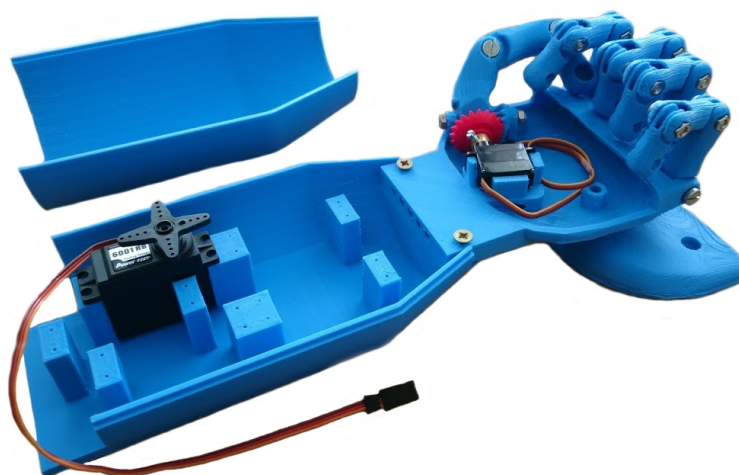
Obr. 31: Dlaň



Obr. 32: Finální sestava

4.6 Tisk a sestavení

Po dokončení modelu byly součásti exportovány a vytištěny na 3D tiskárně. Všechny tisknuté díly jsou v tab. 2. Ruka s předloktím se celkem skládá ze 17 částí, které bylo potřeba očistit od přebytečného materiálu, jež vznikl nepřesnostmi tisku. Průměry děr jsem zpřesnil vrtákem na požadované rozměry a dosedací plochy jsem zarovnal pilníkem. Následně jsem sestavil celou ruku dohromady (obr. 33) s použitím spojovacího materiálu uvedeného v tab. 3.



Obr. 33

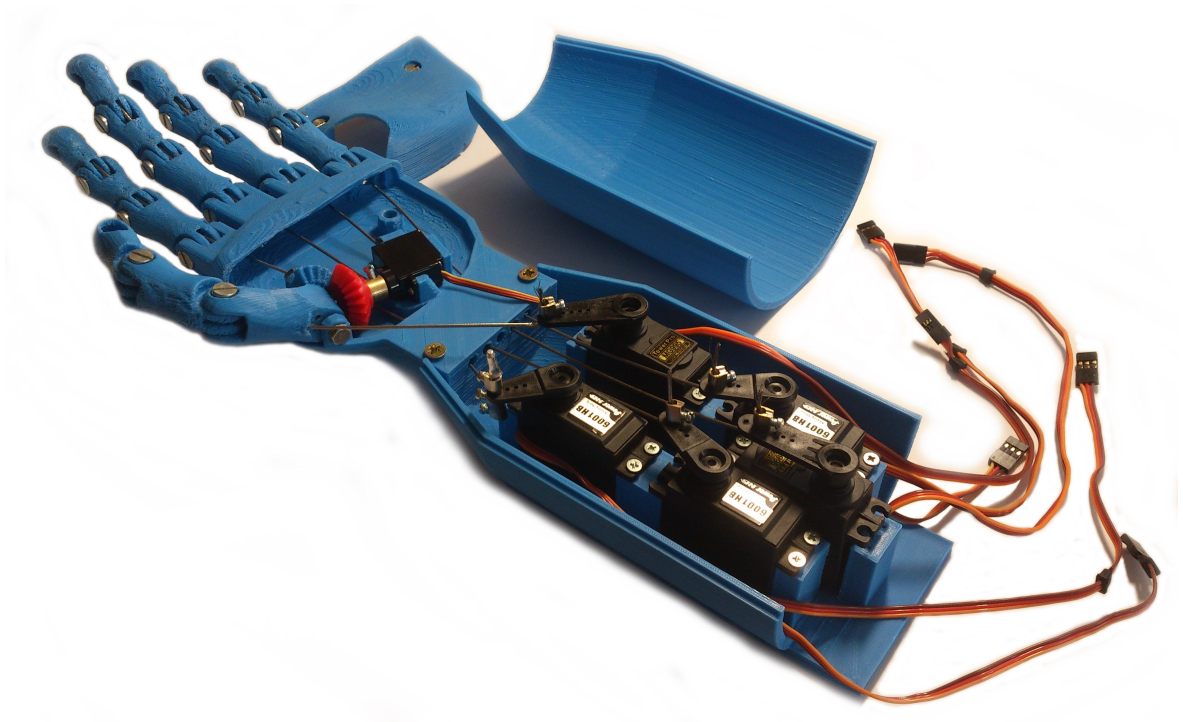
Položka	Název	Množství
1	prvni_clanek_3x.stl	3
2	druhy_clanek_2x.stl	2
3	druhy_clanek_delsi_1x.stl	1
4	trethi_clanek_3x.stl	3
5	krytka_3x.stl	3
6	malicek_prvni_clanek_1x.stl	1
7	malicek_druhy_clanek_1x.stl	1
8	malicek_treti_clanek_1x.stl	1
9	malicek_krytka_1x.stl	1
10	palec_prvni_clanek_1x.stl	1
11	palec_druhy_clanek_1x.stl	1
12	palec_treti_clanek_1x.stl	1
13	palec_krytka_1x.stl	1
14	dlan.stl	1
15	dlan_vrchni_cast.stl	1
16	predlokti_spodni_cast.stl	1
17	predlokti_vrchni_cast.stl	1

Tab. 2: Kusovník tisknutých součástí

Položka	Název	Norma	Zakoupeno	Množství
1	LÍCOVANÝ ŠROUB M4x12	DIN 923	[9]	8
2	LÍCOVANÝ ŠROUB M4x10	DIN 923	[9]	3
3	LÍCOVANÝ ŠROUB M4x8	DIN 923	[9]	5
4	ŠROUB S ŠESTIHRANNOU HLAVOU M4x40	ISO 4017		1
5	ŠESTIHRANNÁ MATICE M4	DIN 924	[9]	17
6	ŠESTIHRANNÁ MATICE M3	DIN 924	[13]	5
7	ŠROUB M3x10		[13]	5
8	VELKOPLOŠNÁ PODLOŽKA M3		[13]	5
9	SAMOŘEZNÝ ŠROUB (male servo)		[13]	2
10	SAMOŘEZNÝ ŠROUB (dlan-predlokti)		[13]	2
11	SAMOŘEZNÝ ŠROUB (serva)		[13]	20
12	OCELOVÉ LANKO 2000 x 1,2 mm			1
13	SERVOMOTOR 6001HB			5
14	SERVOMOTOR ES08MAII			1

Tab. 3: Kusovník kupovaných součástí

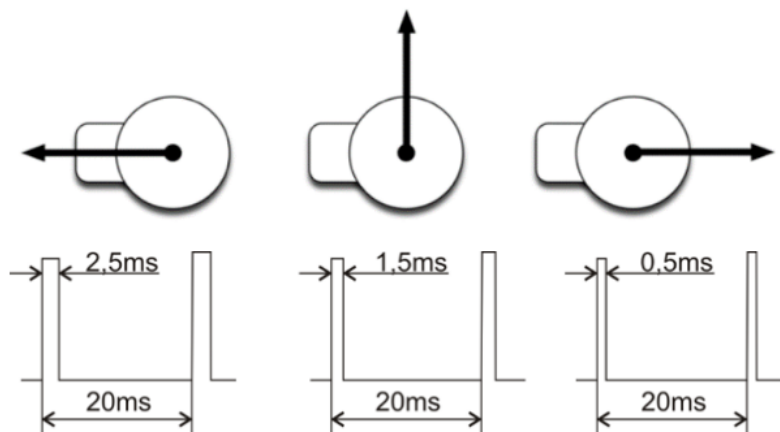
Následně jsem umístil servomotory na příslušná místa a připevnil je pomocí samořezných šroubů. Ocelové lanko jsem nastříhal na cca. 30mm dlouhé kusy a natáhnul je od každého prstu k příslušnému servu.



Obr. 34: Dokončený model

4.7 Elektronické připojení

Servomotory umožňují nastavení do určité polohy a následné držení v této poloze. Nelze s nimi otáčet dokola, ale většinou poskytují otočení v rozsahu 0 až 180°. Tento úhel se nastavuje zasláním impulzu o určité délce, ta se pohybuje od 0,5ms do 2,5ms. Přičemž 0,5ms odpovídá natočení 0° a 2,5ms potom 180°. Signály v tomto intervalu pak odpovídají příslušnému natočení, např. při signálu o délce 1,5ms se servo natočí do polohy 90°. Jednotlivé impulzy se posílají pravidelně každých 20ms.^[10]



Obr. 35: Natočení serva při daném signálu ^[10]

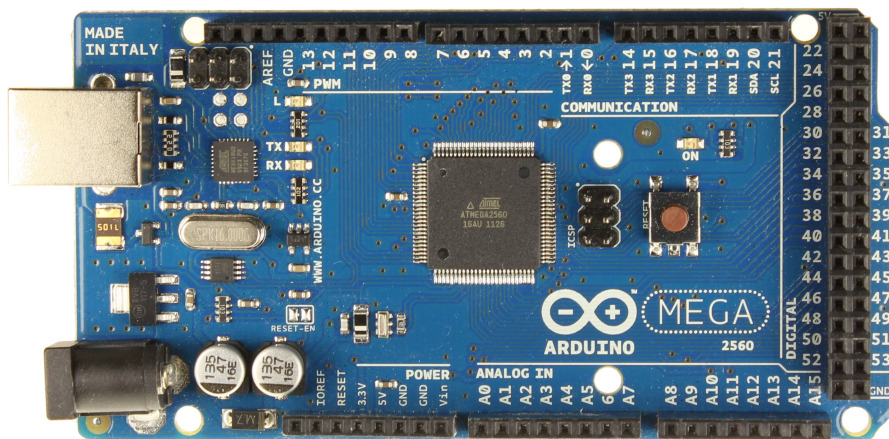
Jednotlivé servomotory bylo potřeba nastavit do správné polohy. Použil jsem servo tester (obr. 36), který se připojuje na zdroj napětí 4,8 až 6V. Připojí se vždy na jedno servo. Poté lze nastavovat polohu servomotoru od minimální do maximální polohy otáčením kolečka. Tímto způsobem jsem vyzkoušel, zda jsou všechna serva funkční a jestli se prsty pohybují, tak jak by měly.



Obr. 36: Servo tester^[11]

4.7.1 Arduino

Pro pohyb všech prstů najednou jsem použil Arduino. Jedná se o otevřenou elektronickou platformu, založenou na jednoduchém softwaru i hardwaru. Pro své potřeby jsem použil Arduino Mega (obr. 37). Jedná se o jeden z několika typů počítačových desek, které jsou vyráběny firmou Arduino. Na tyto desky je možné připojit různé vstupní signály (např. snímač vzdálenosti, snímač osvětlení nebo jen jednoduché tlačítko). Deska pak na základě vstupu může ovládat různé výstupy (natočení serva, rozsvícení LED diody, atd.).



Obr. 37: Arduino Mega^[12]

Aby takováto deska vůbec fungovala, je jí potřeba nejprve naprogramovat. K tomu se používá software Arduino IDE (obr. 38), který je zdarma ke stažení na stránce *arduino.cc*. Deska se připojí k PC s použitím USB kabelu, přes který se do desky nahraje daný program. Napájení desky je zajištěno buď přes zmíněný USB kabel nebo z externího zdroje.



Obr. 38: Arduino software

Výsledný kód použitý pro ovládání jednotlivých servomotorů je zobrazen níže. Je použito několik základních funkcí. Na začátku je `include <Servo.>` což nahraje knihovnu pro řízení servomotorů. Dále pak `Servo servo1` vytvoří objekt `servo1` pro ovládání serva. Následně je vytvořena proměnná pro uložení pozice serva pomocí `float pos = 0`. Poté `servo1.attach(11)` přiřadí k objektu `servo1` výstup č. 11. Pro řízení proměnné `pos` je použit `for` cyklus, který nejdřív jde od 0° do 180° po jednom stupni a v každém kroku je přiřazena poloha k servu použitím `servo1.write(pos)`. Mezi každým krokem je nastavena prodleva 10ms použitím `delay(10)`. Servo se tedy pohybuje od 0° do 180° s krokem 1° a každý krok trvá 10ms. Následně se spustí druhý `for` cyklus, kde je použit stejný princip jako u prvního. Tentokrát se proměnná pohybuje od 180° zpět do 0° .

V konečném programu je řízeno pět ze šesti servomotorů. Šesté servo v dlani je vadné. Nelze ho řídit přes Arduino, ale pouze s použitím servo testeru.

```

1 #include <Servo.h>
  Servo servo1; // vytvori objekt pro ovladani serva
3 Servo servo2;
  Servo servo3;
5 Servo servo4;
  Servo servo5;
7
8 float pos = 0; // promena pro ulozeni pozice serva
9
10 void setup() {
11     servo1.attach(11); // prirazeni daneho serva k vystupu z desky
12     servo2.attach(10);
13     servo3.attach(9);
14     servo4.attach(8);
15     servo5.attach(12);
16 }
17 void loop() {
18
19     for (pos = 0; pos <= 180; pos += 1) { // promena pos jde od 0 do 180 po
20         jednom stupni
21
22         servo1.write((int)((pos/180.0)*100)); // servo se nastavi do polohy
23         promene 'pos'
24         servo2.write((int)((pos/180.0)*150));
25         servo3.write((int)((pos/180.0)*75));
26         servo4.write((int)((pos/180.0)*90));
27         servo5.write((int)((pos/180.0)*30));
28
29         delay(10); // ceka 10ms nez servo dosahne dane
30         polohy
31     }
32
33     for (pos = 180; pos >= 0; pos -= 1) { // stejny cyklus ted od 180 do 0
34
35         servo1.write((int)((pos/180.0)*110));
36         servo2.write((int)((pos/180.0)*150));
37         servo3.write((int)((pos/180.0)*75));
38         servo4.write((int)((pos/180.0)*90));
39         servo5.write((int)((pos/180.0)*30));
40         Serial.println(pos);
41
42         delay(10);
43     }
44 }

```

5 Závěr

Tato bakalářská práce měla za cíl realizovat návrh robotické ruky. Celkový návrh byl proveden na základě prostudování podobných projektů. Model ruky byl vymodelován v CAD programu Autodesk Inventor.

Navrženy byly postupně všechny tisknutelné součásti. Nejprve byl vytvořen pouze prototyp jednoho prstu, kde byla ověřena funkčnost pohybového mechanismu. Tento prototyp byl úspěšný. Dále jsem vymodeloval postupně všechny prsty, dlaň, která je tvořena ze dvou částí a nakonec i předloktí.

Všechny díly byly vyrobeny na 3D tiskárně a po sestavení celé ruky jsem naprogramoval jednoduchý pohyb ruky za pomoci Arduina.

Podle mého názoru byly všechny cíle této práce splněny, ale určitě by se dalo na projektu dále pokračovat a vylepšit některé věci a jiné naopak úplně předělat. Mezi vylepšení bych zařadil upravení vedení lanka v některých místech. Dále by bylo možné udělat pohyblivé zápěstí nebo do prstů umístit senzory snímající sílu stisku. Ruka by se dala také po menších úpravách umístit na humanoidního robota.

Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] Gael LANGEVIN – French InMoov designer. *InMoov* [online]. [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: <http://inmoov.fr>
- [2] Mechatronic Project: Hand Robot. *Blog Kejuruteraan Dan Teknologi* [online]. [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <http://shahrulnizam.com/mechatronic-project-hand-robot/>
- [3] InMoov Right Hand Solidworks Model. *Thingiverse* [online]. Brooklyn, NY 11201 [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <http://www.thingiverse.com/thing:239361/#files>
- [4] Robotická uchopovací ruka Schunk. *Svět dílny* [online]. 2015 [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <http://www.svetdilny.cz/roboticka-uchopovaci-ruka-schunk/>
- [5] SVH: The first ready for series, servo-electric 5-finger hand. *Schunk* [online]. [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <http://cz.schunk.com/fileadmin/processed/csm-IM001744.jpg>
- [6] *This Is the Most Amazing Biomimetic Anthropomorphic Robot Hand We've Ever Seen* [online]. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/medical-robots/biomimetic-anthropomorphic-robot-hand>
- [7] This gorgeous, 3D-printed robotic arm from Japan is changing how prosthetics are perceived. *Tech in Asia* [online]. [cit. 2017-05-27]. Dostupné z: <https://www.techinasia.com/exiii-hackberry-robotic-prosthetic-arm-startup>
- [8] *Hackberry* [online]. [cit. 2017-05-27]. Dostupné z: <http://exiii-hackberry.com>
- [9] Šroub s plochou hlavou s drážkou a osazením DIN 923 Ocel Pozinkované 4.8 M4X12. *FABORY* [online]. [cit. 2017-05-28]. Dostupné z: <https://www.fabory.com/cs/spojovaci-material/vruty-srouby/sroub-s-plochou-hlavou-s-drazkou-a-osazenim-din-923-ocel-pozinkovane-4-8-m4x12/p/24992040012>
- [10] Servomotor. *Arduino návody* [online]. [cit. 2017-06-03]. Dostupné z: <http://navody.arduino-shop.cz/arduino-projekty/servo-motor.html>
- [11] Servo tester. *Hongrc* [online]. [cit. 2017-06-04]. Dostupné z: <https://www.hongrc.com/products/servo-tester>
- [12] MARIAN, Popescu. Arduino Mega 2560 Pinout. In: *ELECTRO SCHEMATICS* [online]. 2014 [cit. 2017-06-04]. Dostupné z: <http://www.electroschematics.com/7963/arduino-mega-2560-pinout/>
- [13] *Jiří Forejt: ŽELEZÁŘSTVÍ NA PODBABSKÉ* [online]. [cit. 2017-06-11]. Dostupné z: <http://www.zelezarstvinapodbabske.cz>

Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků

Obrázek 1	InMoov robot ^[1]	7
Obrázek 2	InMoov dlaň a předloktí ^[2]	7
Obrázek 3	InMoov - Detail dlaně ^[3]	8
Obrázek 4	Schunk SVH ^[5]	9
Obrázek 5	Schunk SVH - částečný řez ^[5]	9
Obrázek 6	Biomimetická antropomorfní robotická ruka ^[6]	10
Obrázek 7	Biomimetická ruka se serv ^[6]	10
Obrázek 8	Hackberry ^[8]	11
Obrázek 9	Hackberry - Rozložení motorů	11
Obrázek 10	Okótovaná skica ruky	12
Obrázek 11	Prvotní návrh prstu	13
Obrázek 12	3D model šroubu	13
Obrázek 13	DIN 923	13
Obrázek 14	Detail spojení	13
Obrázek 15	Vizualizace protažení lanka prstem	14
Obrázek 16	Proces modelování funkcí Freeform	14
Obrázek 17	Jednotlivé články	15
Obrázek 18	Stojan	15
Obrázek 19	Finální sestava prototypu	15
Obrázek 20	Sestavený prototyp prstu	16
Obrázek 21	Prsty	16
Obrázek 22	Servo ES08MAII	17
Obrázek 23	Ozubená kolečka	17
Obrázek 24	Tvorba modelu palce	17
Obrázek 25	Ozubené soukolí	18
Obrázek 26	Pohled na dlaň	18
Obrázek 27	Detail upevnění serva	19
Obrázek 28	Servomotor 6001HB	19
Obrázek 29	Možné vrchní části serva	19
Obrázek 30	Celé předloktí	20
Obrázek 31	Dlaň	20
Obrázek 32	Finální sestava	21
Obrázek 33	21
Obrázek 34	Dokončený model	23
Obrázek 35	Natočení serva při daném signálu ^[10]	24

Obrázek 36	Servo tester ^[11]	24
Obrázek 37	Arduino Mega ^[12]	25
Obrázek 38	Arduino software	25

Seznam tabulek

Tabulka 1	M4x12 DIN 923 ^[9]	13
Tabulka 2	Kusovník tisknutých součástí	22
Tabulka 3	Kusovník kupovaných součástí	22

Seznam použitého SW

- Texmaker
- MiKTeX (L^AT_EX)
- Autodesk Inventor
- Paint.NET
- Arduino

Seznam příloh

Příloha 1: CD