

UNIVERZITA PARDUBICE

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2017

Pavel Čapek

Univerzita Pardubice

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Návrh a konstrukce mechatronické končetiny

Pavel Čapek

Bakalářská práce

2017

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Pavel Čapek**
Osobní číslo: **I12109**
Studijní program: **B2646 Informační technologie**
Studijní obor: **Informační technologie**
Název tématu: **Návrh a konstrukce mechatronické končetiny**
Zadávací katedra: **Katedra informačních technologií**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Práce pokrývá komplementární potřeby aplikovaného vývoje na katedře informačních technologií. Náplní práce je příprava a úprava 3D modelu končetiny určeného pro vlastní výrobu. Kromě konstrukce sestavy podle předlohy jsou kladeny zvýšené požadavky na vlastní vývoj v oblasti pohyblivých součástí.

V rámci práce budou představeny technické a ekonomické stránky výroby vymodelovaných konstrukcí. Okrajově se práce bude zabývat technologickými omezeními a pevnostní analýzou. Vlastní práce bude klást důraz na vytvoření 3D modelu pro možnou výrobu. Pro řízení možného fyzického modelu bude využito mikrokontrolérů Arduino a krokových motorků, nebo servomotorů. Model musí být navržený tak, aby byl schopen provádět pohyby zaměnitelné s těmi lidskými.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

VODA, Z. Průvodce světem Arduina. Bučovice: Martin Stříž, 2015. ISBN 978-80-87106-90-7

BARTONÍČEK, J. Základy anatomie pohybového aparátu. 1. vyd. Praha: Maxdorf, 2004. 256 s. ISBN 80-7345-017-8

OPATRÍLOVÁ, D. Grafomotorika a psaní u žáků s tělesným postižením [online]. 1 vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2014 [cit. 2017-08-12]. Elportál. Dostupné z: <<http://is.muni.cz/elportal/?id=1173211>>. ISBN 978-80-210-6769-1. ISSN 1802-128X

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Josef Brožek

Katedra informačních technologií

Datum zadání bakalářské práce:

31. října 2016

Termín odevzdání bakalářské práce:

12. května 2017



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
děkan

L.S.

prof. Ing. Antonín Kavička, Ph.D.
pověřený vedením katedry

V Pardubicích dne 31. března 2017

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 8. 11. 2017

Pavel Čapek

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Josefu Brožkovi za námět pro bakalářskou práci, pomoc při zpracování bakalářské práce, za ochotu, vstřícný přístup a za cenné rady.

ANOTACE

Cílem bakalářské práce je vytvoření 3D modelu mechatronické končetiny s důrazem na jednoduchost a možnou výrobu s přiměřenými náklady, funkčnost a zvládnutí základních typů úchopů lidské ruky. 3D modelová sestava bude tvořena z dílů a podsestav vytvořených v nástroji Autodesk Inventor Professional 2015 – Studentské verzi. Dalším tématem dané práce je přehled a popis využití přesného 3D modelování, použití různých typů kloubů, pohonných systémů a možnost řízení pomocí prototypových systémů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Autodesk Inventor, mechatronika, 3D, model, ruka, servomotor, Arduino

TITLE

Design and implementation of mechatronic hand

ANNOTATION

The goal of this bachelor thesis is the creation of the mechatronic limb 3D model with the simplicity on spotlight and possible production with appropriate cost as well a functionality and mastering the basic grasps of the human hand. The 3D model will be made from parts and subassemblies created in the Autodesk Inventor Professional-student version tool. The other topic of this work is overview and use of accurate 3D modeling, usage of different kinds of joints and drive systems as well as possibility to drive with prototype systems.

KEYWORDS

Autodesk Inventor, mechatronics, 3D, model, hand, servo motor, Arduino

OBSAH

Seznam ilustrací.....	9
Seznam tabulek.....	10
Seznam zkratek a značek.....	11
Úvod.....	12
1 Použité technologie.....	13
1.1 Nástroje pro technické 3D modelování.....	13
1.1.1 Systémy od společnosti AUTODESK.....	14
1.1.2 SolidWorks.....	17
1.2 Využití přesného 3D modelování.....	18
1.3 Pohyby a úchopy lidské ruky.....	19
1.3.1 Dlaňové úchopy.....	19
1.3.2 Prstové úchopy.....	20
2 Použitý HW.....	23
2.1 Servomotory.....	23
2.1.1 Parametry servomotorů.....	24
2.2 Krokové motory.....	24
2.3 Aktuátory.....	25
2.4 Senzory ohybu.....	25
2.5 Prototypový systém Arduino.....	27
2.5.1 Seznámení s Arduinem.....	27
2.5.2 Oficiální desky Arduino.....	28
2.5.3 Instalace Arduino IDE.....	30
2.5.4 Programovací jazyk.....	31
2.5.5 Řízení Arduina.....	32
2.5.6 Uplatnění v praxi.....	32
3 Praktické řešení.....	34

3.1	Popis mechatronické končetiny.....	34
3.2	Využití a možnost dalšího zpracování	35
3.2.1	Náhrada lidské ruky	35
3.2.2	Použití jako exoskelet	36
3.3	Popis práce v Autodesk Inventoru	37
3.4	Popis sestavy a jednotlivých dílů	40
3.5	Typ použitých pohonů.....	44
3.6	Propojení pohonů	45
4	Prototypové řešení a testování	47
	Závěr	50
	Použitá literatura a internetové zdroje	51
	Přílohy.....	55

Seznam ilustrací

Obrázek 1 – Logo Autodesk	14
Obrázek 2 – Užití Inventoru	15
Obrázek 3 – Užití AutoCAD Electrical	15
Obrázek 4 – Užití AutoCAD Mechanical.....	16
Obrázek 5 – Užití AutoCAD	16
Obrázek 6 – Užití ReCAP Pro.	17
Obrázek 7 – Logo SolidWorks	17
Obrázek 8 – Produkty SolidWorks	18
Obrázek 9 – Úchopy	22
Obrázek 10 – Popis servomotoru.....	24
Obrázek 11 – Krokový motor	25
Obrázek 12 – Schéma flex pásku.....	26
Obrázek 13 – Flex Sensor 2,2"	27
Obrázek 14 – Volba roviny.....	37
Obrázek 15 – Spoj.....	38
Obrázek 16 – Pevnostní analýza	39
Obrázek 17 – Extrémní zatížení.....	39
Obrázek 18 – Sestava.....	40
Obrázek 19 – Profil 12*12.....	41
Obrázek 20 – Paže	42
Obrázek 21 – Součást prostředníku	42
Obrázek 22 – Drátový model.....	43
Obrázek 23 – Tribuna	43
Obrázek 24 – Most.....	44
Obrázek 25 – Servomotor	44
Obrázek 26 – Posuvný mechanismus	45
Obrázek 27 – Prototyp ruky.....	47
Obrázek 28 – Drážka	48
Obrázek 29 – Spodní strana prstu	48
Obrázek 30 – Celek prototypu	48
Obrázek 31 – Propojení elektronických členů	49
Obrázek 32 – Rukavice.....	49

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Úchopy.....	19
Tabulka 2 – Servomotory	23
Tabulka 3 – Parametry navrhnutého servomotoru.....	44
Tabulka 4 – Parametry navrhnutého posuvného mechanismu	45

Seznam zkratk a značek

HW	Hardware
3D	Trojrozměrný prostor (Three-dimensional space)
2D	Dvojrzměrný prostor (Two-dimensional space)
IDE	Integrated Development Environment
CNC	Číslicové řízení (Computer Numeric Control)
IT	Informační Technologie (Information Tecnology)
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci (Iternational Organization for Standarization)
CAD	Počítačové projektování (Computer Aided Design)
PC	Osobní počítač (Personal Computer)
Pro	Professional
Corp.	Korporace (Corporation)
CAM	Počítačem podporovaná výroba (Computer aided manufacturing)
IPT	Formát souboru CAD systému (Inventor part)
IAM	Formát souboru CAD systému (Inventor assembly)
INO	Formát souboru se zdrojovým kódem pro Arduino
PLC	Programovatelný logický automat (Programmable Logic Controller)
servo	Servomotor
flex	Flexibilní
ARM	Architektura procesorů (Advanced RISC Machine)
PCI	Počítačová sběrnice (Peripheral Component Interconnect)
OS	Operační systém (Operating System)
COM	Hardwarové rozhraní (COMmunicaton port)
WiFi	Bezdrátový přenos dat dle standardů IEE 802.11
SDK	Soubor nástrojů pro vývoj softwaru (Software Development Kit)
s. r. o.	Společnost s ručením omezeným
AA	Typ monočlánkové baterie
CD	Optické médium pro ukládání dat (Compact Disc)
Cloud	Virtuální sdružené internetové úložiště

ÚVOD

Tématem bakalářské práce je tvorba 3D modelu mechatronické končetiny v podobě lidské horní končetiny. Jde o sestavu pravé horní části ruky, kromě zápěstí, zkonstruovanou pomocí 3D modelování. Horní část ruky je definována od zápěstí ke konečným prstům. 3D modelování působí v mnoha technologických odvětvích. Díky 3D modelování lze snadno a rychle navrhovat nástroje, či celé stroje pro další zpracování a vlastní výrobu, nebo pro použití v IT simulátorech a virtuálních hrách. Při vhodném výběru softwarového nástroje pro 3D modelování je možné urychlit vlastní výrobu daného 3D modelu konverzí formátu 3D modelu do dat použitelných pro CNC obráběcí stroje, 3D tiskárny, simulační systémy nebo aplikace pro vývoj softwarových her. Na vývoj her je kladen stále větší důraz pro reálné zpracování a funkční reálnou fyziku.

Cílem bakalářské práce je vytvoření 3D modelu mechatronické končetiny s důrazem na vyrobiteľnost s přiměřenými náklady, funkčnost a zvládnutí základních typů úchopů lidské ruky. Mechatronická končetina by měla být schopna základních typů úchopů lidské ruky a měla by se co nejvíce podobat vzhledem i funkčními pohyby prstů. Při podání ruky by měl mít testující člověk pocit, že svírá opravdovou ruku. Námět pro tuto práci je reakcí na článek Pardubického deníku viz [7].

V teoretické části je postupně zpracován přehled základních úchopů lidské ruky, popis aplikace Autodesk Inventor a dalších nástrojů pro technologické 3D modelování. Dále jsou mimo jiné popsány možné pohonné systémy pro zprovoznění případného fyzického modelu mechatronické končetiny a shrnutí kladů a záporů jednotlivých pohonů.

Praktická část se zabývá návrhem a konstrukcí 3D modelu v nástroji Autodesk Inventor. Celková sestava je složena pouze z dílů a podsestav navržených v tomtéž nástroji. Veškeré díly byly vytvořeny podle norem ISO a v metrické soustavě. Konstrukce jednotlivých dílů byla tvořena s nároky na přesné zpracování a s přesností na setiny milimetru. Při navrhování rozměrů se vycházelo z rozměrů lidské ruky.

Obrázky a tabulky bez odkazu jsou vlastní autorskou prací. Písmo v textu psané kurzívou vyznačuje doslovné pojmenování.

1 POUŽITÉ TECHNOLOGIE

Kapitola čerpá z [19]. Pro vytvoření různých 3D modelů je možné použít více možností. Záleží na záměru použití vytvářeného modelu. Rozhodující argument volby nástroje pro tvorbu 3D modelu je přesnost zpracování a následná výroba modelu nebo jeho další začlenění do jiné aplikace.

Modely používané v odlišných aplikacích, například používané pro animaci a zpracování ve filmu, nepoužívají přesné metrické souřadnicové systémy. V těchto nástrojích pro 3D tvorbu či multimediální tvorbu je souřadnicový systém nahrazen kotvícími body, sítí kotvících bodů a měřítkem. Pomocí takto tvořených 3D návrhů lze snadno a rychle pomocí přetažení kotvícího bodu změnit tvar navrhovaného 3D modelu. Vytvořený model lze mapovat, tím je možné natáhnout na vytvořenou síť grafiku. Většina takto tvořených modelů je určena k přímé deformaci animací, proto postrádají objemový parametr a jsou tvořeny pouze skořepinou. Animace skořepiny je pro počítač výkonově méně náročná. Výsledné renderování spotřebuje méně procesorového času.

Modely pro vlastní výrobu, například pro obrábění či 3D tisk, musí mít pevně dané rozměry. Důležitými parametry jsou kóty, osy, roviny a objemový parametr. V nákresu musí být základní kóty s vazbou vůči osám. Z nákresů se dále tvoří objemová tělesa. Části bez vazeb jsou hodnoceny jako flexibilní. Při návrhu volíme materiál, ze kterého bude výsledný model vyráběn. Volbou materiálu jsou definovány vlastnosti modelu. Takto vytvořený 3D model dále převádíme do různých formátů pro CNC stroje, formáty pro 3D tisk nebo promítnutím modelu do 2D technických výkresů. Nástroje pro strojírenskou a technickou tvorbu 3D modelů vychází z technického kreslení. Nástroje pro tuto tvorbu se nazývají systémy CAD. Systémy CAD se dále dělí do mnoha odvětví a na každé technické odvětví je vyvíjen speciální systém CAD.

Pro konstrukci mechatronické končetiny s přesnými rozměry dílů a dalším požadavkem na možnou výrobu, byl zvolen technický nástroj ze systémů CAD Autodesk Inventor. Pro 3D konstruování sestav, po nastudování vlastností, byl vybrán jako nejvhodnější.

1.1 Nástroje pro technické 3D modelování

Kapitola čerpá z [4], [22], [24], [26]. Pro technický návrh modelů a sestav, ze kterých jsou dále vytvářeny součásti a stroje, se používají systémy CAD. Tyto systémy vychází

z vektorového kreslení. Kreslicí systémy CAD jsou primárně určeny pro konstruování a kreslení technických výkresů. Tyto systémy primárně rozdělujeme podle kreslení ve 2D ploše nebo 3D prostoru. Ve většině systémů je možno vytvářet 2D i 3D avšak s omezenými možnostmi pro tvorbu v některé z těchto dimenzí. Dále se systémy rozdělují do technologických odvětví a jednotlivých oborů, ve kterých působí a mají své uplatnění.

Na trhu lze nalézt několik konkurenčních firem, které vytváří mezi sebou podobné produkty. Je na uživateli vybrat si společnost, jež poskytuje software CAD, jaký systém pro určité technologické odvětví potřebuje, jak s ním bude zacházet, a jaký konečný produkt v daném systému lze navrhnout, vytvořit dokumentaci a vyrobit. Mimo jiné je dalším faktorem pro výběr správného CAD systému podpora kreslicích formátů a přenositelnost mezi dalšími systémy, zpětná kompatibilita a časová podpora dané verze.

1.1.1 Systémy od společnosti AUTODESK



Obrázek 1 – Logo Autodesk¹

Společnost Autodesk, jejíž logo je zobrazeno na obrázku 1, vyvinula v roce 1982 vektorový kreslicí systém pro technické kreslení AutoCAD. Postupně společnost Autodesk začleňovala do vývoje možnost vizualizace v prostoru. Tím se AutoCAD dostal do podvědomí společnosti a společnost vyhoupl na světovou špičku mezi CAD systémy. Společnost vytváří CAD systémy pro zákazníky z odvětví výroby, architektury, stavebnictví, médií a zábavního průmyslu.

K většině svým produktům vyvíjí i verze pro mobilní platformy a studentské verze. Díky možnosti vizualizace výsledných výkresů a modelů na mobilních platformách mají designéři větší potenciál ukázat a následně prosadit, či prodat své výrobky. Studentské verze slouží pro výuku tvůrců, aby se mohli stát profesionálními designéry. Tato licence je poskytována na dobu 3 let užívání. Ve studentských verzích je překážkou několik omezení, i ve verzích s označením *Professional* jsou některé funkce či celé moduly zakázány. Klasické, mobilní i studentské verze poskytují cloudové úložiště a veřejnou knihovnu, a tak každý kdo chce, může vytvářet a sdílet své myšlenky s celým světem.

Společnost Autodesk poskytuje v rámci jedné licence balíky sdružující CAD systémy určitého zaměření. Jedná se o tři sady. První sada obsahuje aplikace pro architekturu

¹ Obrázek 1 je dostupný z [4].

a stavebnictví. Druhá sada obsahuje aplikace pro strojírenství a výrobu. Třetí sada obsahuje aplikace pro mediální a zábavní průmysl. Dále je blíže popsána sada pro strojírenství a výrobu a z ní jsou vybrány aplikace pro možné využití v této práci nebo rozšíření této práce.

Inventor Professional

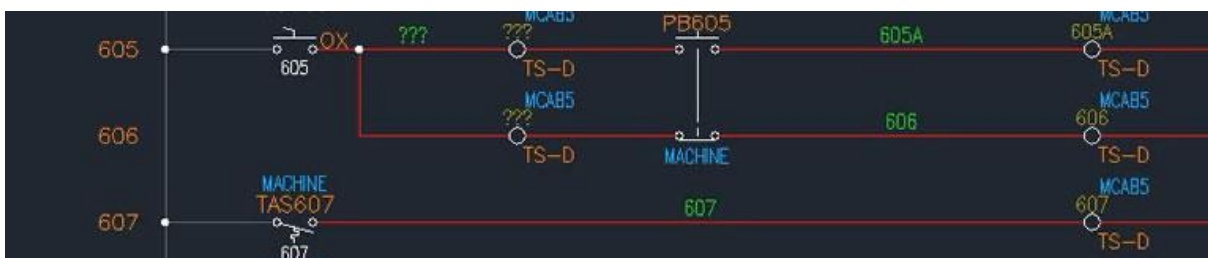
Inventor Professional je software 3D CAD pro strojírenské navrhování. Poskytuje přístup k profesionálním nástrojům, které umožňují strojírenské navrhování a 3D CAD. Dále obsahuje výkonné nástroje pro simulaci a tvorbu nástrojů a směrované systémy. Tvorba v tomto nástroji je zobrazena na obrázku 2. Je poskytován pro platformu Windows.



Obrázek 2 – Užití Inventoru²

AutoCAD Electrical

AutoCAD Electrical je nástroj určený pro přímé navrhování a dokumentaci elektrických řídicích systémů. Poskytuje rozsáhlé knihovny symbolů, výkazy s rozpiskami a navrhování plošných spojů. Díky automatizaci běžných úkolů navrhování je zajištěna lepší produktivita kreslení. Formáty poskytují asociativní propojení 2D elektrických dat s 3D návrhy. Tvorba v tomto nástroji je zobrazena na obrázku 3. Je poskytován pro platformu Windows.



Obrázek 3 – Užití AutoCAD Electrical³

² Obrázek 2 je dostupný z [24].

³ Obrázek 3 je dostupný z [24].

AutoCAD Mechanical

AutoCAD Mechanical je nástroj pro strojírenské navrhování a tvorbu výkresové dokumentace. Poskytuje automatizaci 2D CAD strojírenských a navrhovacích úloh. Obsahuje knihovnu normalizovaných součástí a nástrojů. Vytváří dokumentaci 3D návrhů pomocí účelně navržených nástrojů pro tvorbu 2D strojírenské dokumentace. Tvorba v tomto nástroji je zobrazena na obrázku 4. Je poskytován pro platformu Windows.



Obrázek 4 – Užití AutoCAD Mechanical⁴

AutoCAD

AutoCAD je všestranný software pro navrhování a dokumentaci. Umožňuje vytváření CAD návrhů a následnou tvorbu dokumentace s možností detailování výkresů, propojení pracovních postupů v PC, cloudu a mobilních zařízeních. Tvorba v tomto nástroji je zobrazena na obrázku 5. Je poskytován pro platformu Windows a Mac.



Obrázek 5 – Užití AutoCAD⁵

ReCAP Pro

ReCAP Pro působí jako aplikace a přidružené služby pro zachycení reality a 3D skenování. Využívá se například pro zpracování fotografických dat z bezpilotních letounů a dronů, k měření, skenování a následného vytvoření 3D modelu ze skenerových dat. Tvorba v tomto nástroji je zobrazena na obrázku 6. Je poskytován pro platformu Windows.

⁴ Obrázek 4 je dostupný z [24].

⁵ Obrázek 5 je dostupný z [24].



Obrázek 6 – Užití ReCAP Pro.⁶

1.1.2 SolidWorks



Obrázek 7 – Logo SolidWorks⁷

Tak jako Autodesk, společnost Dassault Systemes SolidWorks Corp., vlastní logo zobrazené na obrázku 4, nabízí kompletní 3D systémy umožňující vytvářet, simulovat, publikovat a spravovat data. Společnost SolidWoks Corporation byla založena v roce 1993 a v roce 1997 byla zakoupena společností Dassault Systemes S. A.

Produkty Dassault Systemes SolidWorks Corp. vypadají jako přímí konkurenti společnosti Autodesk. Podobají se stejnými technologickými řešeními, řazením do oblastí použití, balíčky, i pracovními postupy.

Z nabytých pracovních zkušeností je zřejmé, že práce v systémech SolidWorks je jednodušší a značně rychlejší než v systémech společnosti Autodesk, ale na úkor kvality návrhu. Kvalitou návrhu je myšleno 3D zobrazení, méně možností ve výběru materiálů, povrchových úprav a v neposlední řadě přesnosti. Ze získané šestileté praxe s CAD systémy je možné porovnat výukovou sestavu kleští. Výuková sestava kleští se skládá z dvou ramen a jednoho čepu. V Autodesk Inventoru trvá vytvoření všech tří součástí s přesnými rozměry, volbou materiálu a následným sestavením sestavy přibližně 12 minut. Tutéž danou sestavu lze v Produktu SolidWorks 3D CAD vytvořit za 7 minut. Firmy využívající 3D CAD systémy volí SolidWorks především kvůli efektivitě práce. Pokud někdo vyžaduje vysokou kvalitu zpracování i výsledného 3D renderu, volí většinou systémy od společnosti Autodesk.

Hlavními produkty Dassault Systemes SolidWorks Corp. jsou *3D CAD* pro 3D konstruování, *Vizualizace* pro efektivní renderování, *Simulace* vytvořené 3D návrhy vystaví provozním podmínkám, *Správa produktových dat*, *CAM* sloučí navrhované a výrobní

⁶ Obrázek 6 je dostupný z [24].

⁷ Obrázek 7 je dostupný z [26].

procesy do jednoho systému, *Technická komunikace*, *Návrhy elektrických systémů* a další nástroje spojující tyto aplikace. Použití vybraných produktů je zobrazeno na obrázku 8.



Obrázek 8 – Produkty SolidWorks⁸

1.2 Využití přesného 3D modelování

Kapitola čerpá z [19]. Přesné technické modelování bylo dosud využíváno v oboru IT hlavně v podobě simulací, tedy k výzkumné metodě, která nahrazuje zkoumaný dynamický systém jeho simulátorem. Se simulátorem se dále experimentuje za účelem získat informace o původním zkoumaném dynamickém systému. Na simulační systémy je kladen zvláštní důraz pro přesnost, každá odchylka v modelu může způsobit chybu v simulaci a špatný výpočet průběhu simulace.

Postupem času se zjišťuje, že i obyčejný uživatel chce virtuální realitu zažít co nejpřesvědčivěji. Na to už nestačí umělecké ztvárnění 3D modelů a je kladen důraz na přesné modelování s přesnými rozměry a přesnou reálnou funkcí a fyzikou. Celá takto postavená hra se dá nazvat simulátorem reality.

Na to reagují hlavně tvůrci herních *enginů*. Implementují do svých systémů funkce z CAD systémů a možnost použití modelů vytvořených v technických CAD systémech. Dnes je již standardem využívání modelů vytvořených v Autodesk Inventoru herním *enginem* Unity. Formáty IPT a IAM obsahují veškeré potřebné atributy pro konverzi a použití v *enginu* Unity. Fyzika, simulace a funkční proces je již programován v Unity. Sestavy s vazbami a omezeními jsou též exportovatelné, ale doporučuje se meze, omezení a vazby programovat přímo v herním *enginu*. Doporučení je v praxi pravidlem. Toto doporučení se v praxi dodržuje z důvodů orientace programátora, správné funkce fyziky a méně náročným výpočtům.

Samostatné odvětví technologické výroby je tímto spojováno s oborem IT. Spojení s oborem IT je i ve vývoji výrobních procesů, jako je například 3D tisk, CNC obrábění s využitím PLC a další automatizované výrobní procesy.

⁸ Obrázek 8 je dostupný z [22].

1.3 Pohyby a úchopy lidské ruky

Kapitola čerpá z [2], [3], [8], [10], [11], [23]. Lidská ruka je schopna mnoha rozličných pohybů a úchopů. Každý jedinec je unikátní a každý jednotlivý úchop je jiný. Každý člověk má vývojem dané reflexní pohyby pro úchopy různě tvarovaných předmětů. Stejně tvarovaný předmět každý náhodný jedinec uchopí podobně. Podobné typy úchopů se nazývají základní typy úchopů. Žádná dostupná literatura však neuvádí přímé a typizované názvy základních typů úchopů.

Názvy a rozdělení typů úchopů se nejčastěji dělí podle již provedených studií a podle jmen autorů. Dostupný zdroj uvádí například tato rozdělení zformované v tabulce 1.

úchopy podle Pfeifera (1993)	úchopy podle Langmeiera (1983)	úchopy podle Svobodové (1997)
<ul style="list-style-type: none">• pinzetový• nehtový• klíčový• tužkový• klešťový• cigaretový• válcový• dlaňový	<ul style="list-style-type: none">• pasivní dlaňový (ulnární)• aktivní dlaňový• nůžkový• klešťový spodní• klešťový svrchní	Dlaňové: <ul style="list-style-type: none">• ulnární• radiální• válcový – rukojeťový Prstové: <ul style="list-style-type: none">• prstový• špetka• štipka• klíčový• nehtový• cigaretový• tužkový

Tabulka 1 – Úchopy⁹

1.3.1 Dlaňové úchopy

Dlaňové úchopy se řadí do hrubé motoriky a jejich ovládnutí patří do přirozených reflexů.

Plný stisk

Při plném stisku poloha všech článků ruky vychází ze dvou přirozených stavů. Prvním přirozeným stavem je stav klidu. Ze stavu ruky v klidu nelze spolehlivě zjistit poloha článků ruky. Druhým přirozeným stavem je plný stisk. V plném stisku je určeno maximální sevření, jedná se tedy o pohyb. Tento typ pohybu ruky je základním kamenem pro jakýkoliv typ úchopu. Využívá se například při úderu ruky, kdy je potřeba složitou soustavu ruky scelit

⁹ Tabulka 1 je dostupná z [20].

a zpevnit. Do akce se zapojují všechny svaly k sevření částí prstů a dlaně. Sevření vzniká akcí všech svalů pro sevření z klidového stavu ruky. Před plným stiskem jsou prsty na ruce ve výchozí přirozené poloze a uvolněné, tedy ve stavu klidu. Plný stisk je znázorněn na obrázku 9a.

Válcový

První úchop hrubé motoriky je sevření válcového předmětu. Válcový úchop vychází ze sevření všech prstů protilehlých palci. Palec u zdravého člověka míří proti dvěma nejbližším prstům, mezi prostředník a ukazovák a směřuje do spoje druhého a třetího článku prstů. Do stisku se zapojují všechny prsty vektorovou silou proti dlani. Samotná dlaň se nesvírá, pouze kopíruje tvar drženého předmětu. Z tohoto typu úchopu můžeme dále definovat další úchopy, jako je například úchop s palcovým zámkem. Válcovým úchopem je ruka schopna držet například násadu od koštěte nebo láhev od piva. Válcovým úchopem s palcovým zámkem ruka může držet láhev s šumivým vínem, palcový zámek zamezuje uvolnění špuntů z láhve. Válcový úchop, s násadou od koštěte, je zobrazen na obrázku 9b.

Kulový dlaňový

Kulový dlaňový úchop vychází z plného stisku, kopíruje svírající kulový předmět. Palec míří proti prostředníku. Ruka tento typ úchopu využívá například při otevírání dveří, které nemají kování s klikou ale s koulí nebo při držení jablka. Kulový dlaňový úchop je znázorněn na obrázku 9c, kde ruka svírá jablko.

Silový

Silový úchop vychází z válcového úchopu, palec je v ose s drženým předmětem. Palec držený předmět svírá, nebo zabraňuje vyklouznutí ze sevření. Síla palce působí proti síle ostatních prstů. Držený předmět je tak lépe kontrolován. Dobře viditelný palec v ose s drženým předmětem je na obrázku 9d.

1.3.2 Prstové úchopy

Prstové úchopy patří do jemné motoriky. Zvládnutí daných pohybů a úchopů je více náročné.

Klešťový

Do pohybu a následného sevření jsou zapojeny pouze dva prsty, palec a kterýkoliv prst v opozici k němu. Nejčastěji používaný je ukazovák. Člověk využívá klešťový úchop

při sbírání menších předmětů a jejich následnému zkoumání. Tímto úchopem je viditelná plocha daného předmětu největší. Na obrázku 9e je znázorněno držení pecky avokáda klešťovým úchopem.

Špetkový

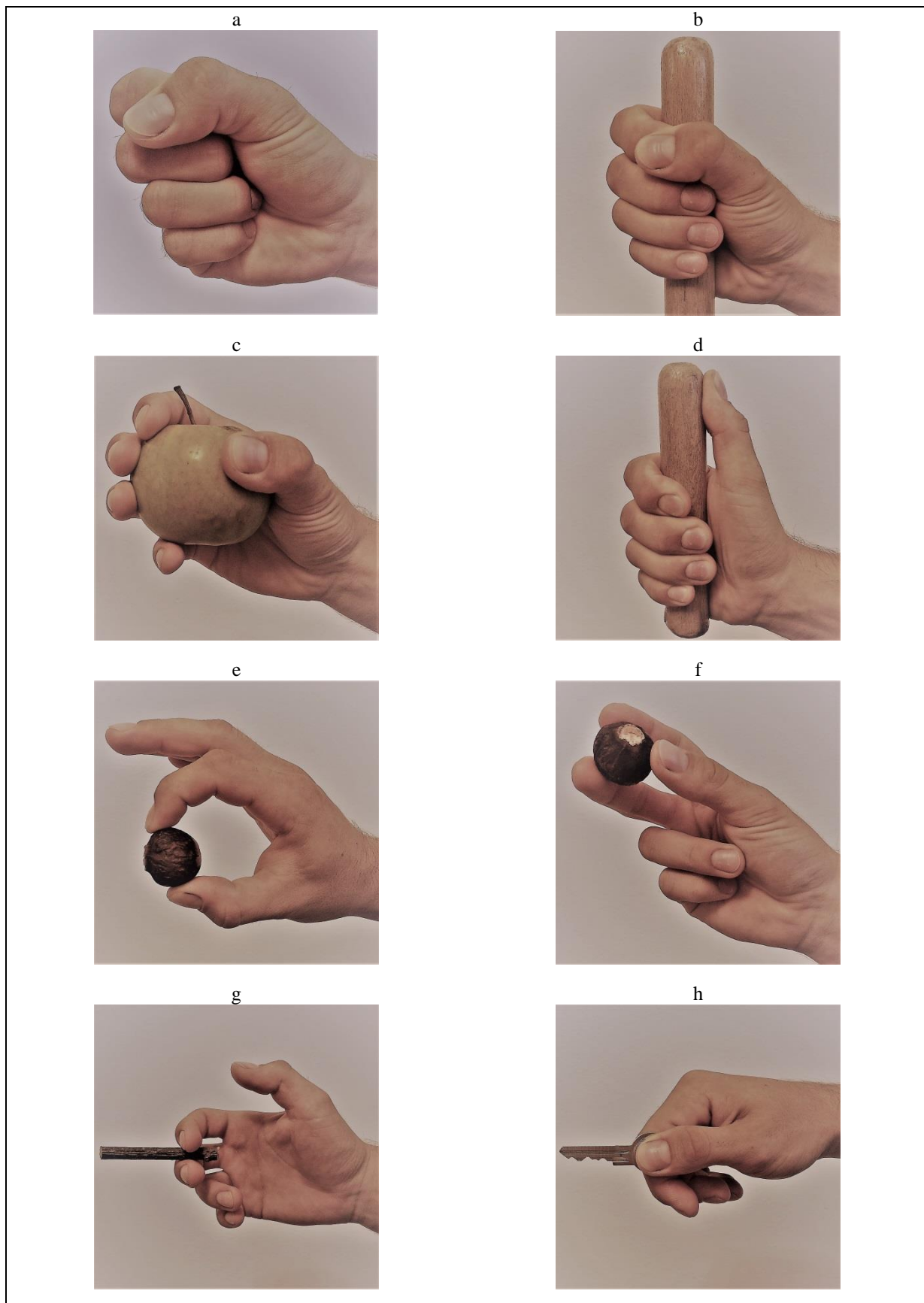
Do špetkového úchopu se zapojují 3 prsty, palec, ukazovák a prostředník. Pohyb vychází z horní meze pro napřímení prstů. Postupným svíráním ukazováku a prostředníku proti palci je možné držet předmět koncečky těchto prstů. Špetkový úchop se využívá k držení menších předmětů nebo sypkých směsí malého zrna. Držení předmětu tímto úchopem je pevnější než držení klešťovým úchopem. Špetkový úchop pecky avokáda je vidět na obrázku 9f.

Cigaretový

Cigaretový úchop zapojuje do akce dva prsty, nejčastěji ukazovák a prostředník. Tímto postupným svíráním akčních prstů dochází k sevření předmětu mezi tyto prsty. Lidská ruka je tohoto úchopu schopná i v poloze rozprostřené ruky dlaní k rovině. Využívá se při držení předmětu válcového nebo plochého tvaru o maximální velikosti rovné dráze rozevření sousedních prstů, kromě palce. Držení výseku z větvičky o velikosti cigarety je zobrazeno na obrázku 9g.

Klíčový

Palec svírá daný předmět proti boční viditelné straně ukazováku, ostatní prsty mohou být stažené nebo se do akce nezapojují. Klíčový úchop se využívá při držení předmětu plochého tvaru o maximální velikosti rovné dráze rozevření palce a druhého článku ukazováčku. Tímto úchopem, jak název napovídá, nejčastěji ruka svírá klíč. Držení klíče je zobrazeno na obrázku 9h.



Obrázek 9 – Úchopy

2 POUŽITÝ HW

Návrh mechatronické končetiny zahrnuje návrh použitých pohonů, elektroniky a akčních členů pro řízení. Dále jsou popsány vhodné komponenty a systémy použitelné pro mechatronickou ruku.

2.1 Servomotory

Kapitola čerpá z [6], [21]. Servomotor je takový motor, jehož konstrukce dovoluje přesné natočení svého rotoru a dokáže po dlouhou dobu pod přímým elektrickým zatížením uchovat polohu rotoru do svého maximálního konstrukčního zatížení a je omezený stupněm natočení rotoru.

Servomotor je spojení několika elektrických a mechanických zařízení v jedno. Podle oblasti využití mohou být servomotory s různým druhem elektromechanického ovládání. Nejčastěji využívanými servomotory jsou elektrické v kombinaci s mechanickou převodovkou. Další servomotory jsou hydraulické, termoelektrické, pneumatické nebo radiálně posuvné.

Vlastní skupinou jsou typizované elektrické servomotory pro použití v robotice a modelářství. Tyto servomotory se rozdělují podle typizovaných rozměrů.

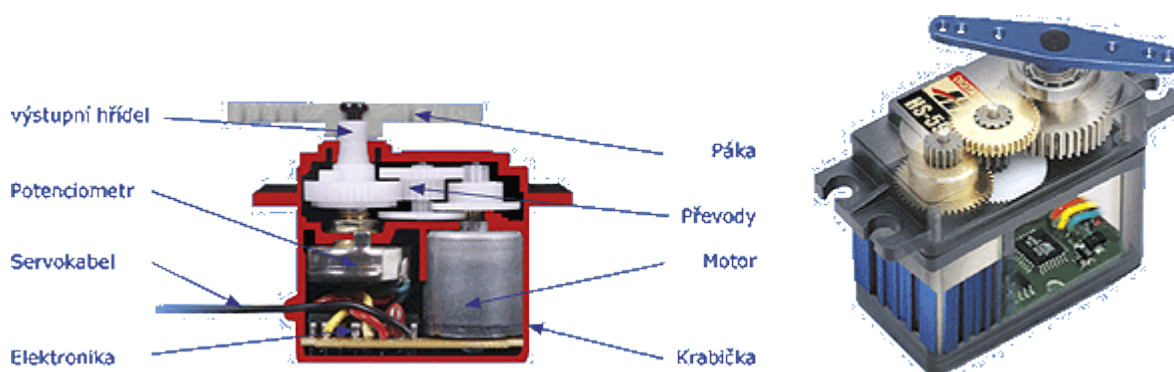
typ servomotoru	délka * šířka * výška (mm)	úzký profil (mm)	nízký profil (mm)
Ultra Micro (Pico)	17*7 *22		
Sub Micro (Nano)	23*11*25	8	
Micro	29*13*30	11	25
Mini	35*15*36		25
Standard	40*20*36		25
Maxi	60*30*50		26

Tabulka 2 – Servomotory¹⁰

Dalším atributem pro servomotor je typ vstupního pulzu pro řízení. Mohou být analogové nebo digitální.

Tyto servomotory jsou složeny z obalu s úchyty pro montáž, řídicí elektroniky, senzorem úhlu natočení rotoru motoru, převodů s ložisky a hnací osy s tisícíhranem. Typ tisícíhranu je dán výrobcem. Na tisícíhran je nejčastěji připojen pákový mechanismus s táhlem. Servomotor a jeho popis je zobrazen na obrázku 10.

¹⁰ Tabulka 2 je dostupná z [6].



Obrázek 10 – Popis servomotoru¹¹

2.1.1 Parametry servomotorů

Akční rádius udává rozsah natočení hnací osy.

Rychlost udává čas potřebný pro otočení hnací osy o daný úhel. Daná rychlost se udává v závislosti na napětí.

$$\text{rychlost} = \frac{\text{sekunda}}{\text{akční rádius}}$$

Točivý moment je síla udávaná v kilogramech na délku jednoho centimetru nebo jedné unce na délku palce. Daný krouticí moment je udán v závislosti na napětí ve V . Jednotkami krouticího momentu jsou $Kg.cm$ a $oz.in$.

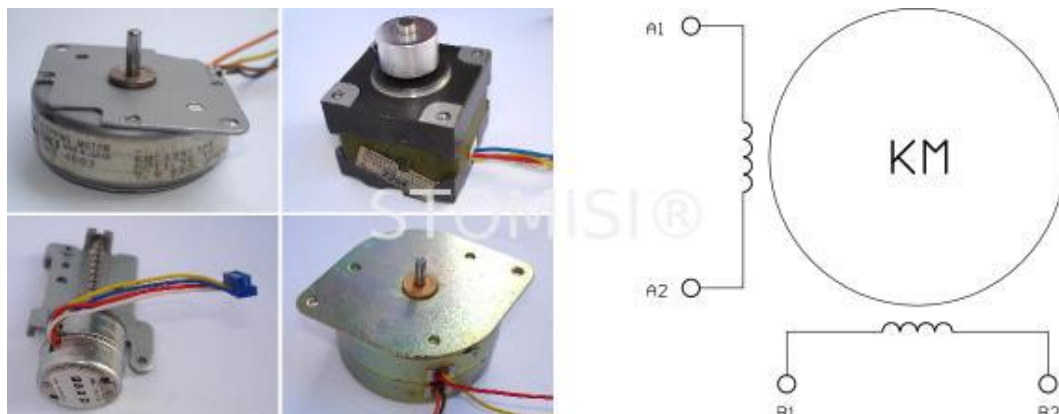
2.2 Krokové motory

Kapitola čerpá z [32]. Krokový motor je typ servomotoru bez omezení úhlu natočení. Samotný krokový motor se skládá pouze z motoru a možného senzoru kontroly úhlu natočení. Ovládání motoru je nejčastěji tvořeno ze dvou vinutí. Takovému typu krokového motoru se říká bipolární. Bipolární krokový motor s nákresem vinutí je zobrazen na obrázku 11. Cívky vinutí působí silami proti sobě. Uvolněním buzení jedné cívky působí na kotvu síla z jednoho směru a je tak možné natáčení rotoru, dokud nezačne působit síla druhé vybuzené cívky. Místo úhlu natočení, je udávaný krok. Krok je nejmenší možný posuv úhlu natočení podél hnací osy o n° .

Typy krokových motorů se liší počtem cívek, ovládacích vodičů vinutí, zapojením, typem kontroly jednoho kroku a způsobem vybuzení vinutí. Ovládací vodiče jsou zapojeny do ovládacích prvků. Pro ovládání a vybuzení bipolárního krokového motoru je zapotřebí

¹¹ Obrázek 10 je dostupný z [21].

H-můstek. Ke krokovému motoru se dále připojují mechanická zařízení podle potřebného použití, například převodovky, šroubové posuny nebo páky.



Obrázek 11 – Krokový motor¹²

2.3 Aktuátory

Kapitola čerpá z [15], [23], [27]. Obecná definice tvrdí, že aktuátor je zařízení přeměňující energii v pohyb. Odborná literatura věnující se aktuátorům, definuje aktuátor jako funkční prvek spojující informační proces s technickým procesem. V elektrotechnice se může říct, že aktuátor je zařízení měnící řídicí signál na mechanický pohyb.

Z definic vyplývá, že aktuátory dále musíme dělit podle užití jejich funkčních členů a typu mechanického pohybu. V této práci je použito dvou elektromechanických aktuátorů. Elektromechanický aktuátor je zařízení ovládané elektrickým signálem. Elektrický signál ovládá elektromotor, k němuž je připojeno zařízení pro převod pohybu.

První aktuátor je v podobě servomotoru, jenž mění řídicí signál na otočný pohyb. Servomotor byl popsán v kapitole 2.1. Druhý použitý aktuátor je lineární aktuátor. Využívá spojení krokového motoru s mechanickým šroubovým převodem pro pohyb jezdce po celé délce závitu. Krokový motor byl popsán v kapitole 2.2. Dohromady tento celek je zařízení přeměňující řídicí signál a energii na lineární pohyb. Konkrétní aktuátor navržený pro mechatronickou končetinu je zobrazen na obrázku 25.

2.4 Senzory ohybu

Kapitola čerpá z [9]. Senzory ohybu neboli flex senzory či flexibilní pásky udávají odporovou hodnotu. Základní hodnota odporu se udává v napnutém stavu. Při jejich

¹² Obrázek 11 je dostupný z [32].

deformaci ohybem se jejich základní odpor mění. Princip flex senzoru je totožný jako princip tenzometru. Někdy se jim také říká ohebné potenciometry.

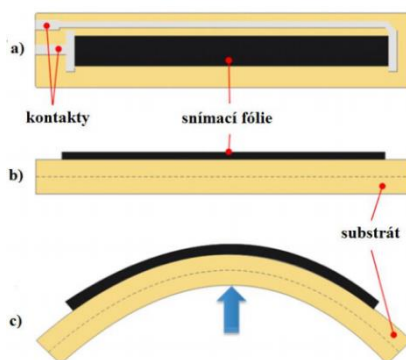
Senzory ohybu se skládají z několika vodivých a polovodivých vrstev různých materiálů. Podle použitých materiálů, způsobu jejich vrstvení a umístění na podkladové vrstvě flex pásku se určují jeho základní elektrické vlastnosti. Podkladová vrstva čili substrát může být vyroben z polyesteru, skleněných vláken nebo polyamidu. Použitý substrát udává flexibilitu snímače. Vodivé vrstvy jsou nejčastěji tvořeny materiály na bázi uhlíku.

Základní hodnota odporu flex pásku je přímo úměrná jeho délce. Odpor se mění v závislosti na ohybu lineárně. Dalšími vlastnostmi flex senzorů jsou rozsah odporu v závislosti na maximálním ohybu, opakovatelnosti, době zotavení, odezvě, spotřeba energie a funkčnímu teplotnímu rozsahu. Důležitými parametry pro výběr konkrétního flex pásku je délka a cena.

Obrázek 12 znázorňuje:

- a) pohled shora na flex pásek
- b) boční pohled
- c) boční pohled na pásek v ohybu

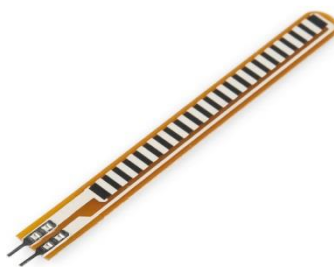
Deformací snímací fólie dochází ke změně elektrického odporu.



Obrázek 12 – Schéma flex pásku¹³

Předním výrobcem flex pásků je společnost SpectaSymbol. Konkrétně jejich produkt Flex Sensor se vyrábí v několika velikostech. Typizované velikosti jsou 2,2“ a 4,5“. Flex Sensor 2,2“ je zobrazen na obrázku 13.

¹³ Obrázek je dostupný z [9].



Obrázek 13 – Flex Sensor 2,2¹⁴

2.5 Prototypový systém Arduino

Kapitola čerpá z [1], [14], [16], [18], [25], [28], [29], [30], [31]. Arduino splňuje požadavky pro řízení výše popsaných akčních členů. Je vhodným kandidátem pro řízení navržené mechatronické ruky.

2.5.1 Seznámení s Arduinem

Celý projekt Arduino je Open Source. Vznikl jako jednoduchý vývojový set v roce 2005. Jedná se o hardwarovou modulární platformu určenou pro širokou škálu použití. Primárním použitím je vytváření prototypů elektronických zařízení. Do dnešního dne bylo od začátku vývoje vytvořeno mnoho typů základních desek Arduina s různým systémovým zaměřením a hardwarovým rozložením. Oficiální základní desky Arduina mají svá jména. Každá základní deska je propojitelná s dalšími hardwarovými rozšířeními, jako jsou senzory nebo pro některé typy Arduina rozšiřující desky. Rozšiřujícím deskám se říká shiieldy. Většina základních desek lze propojit i navzájem a vytvořit tak multiprocesorový systém. Jelikož je Arduino ve světě nejpobulárnější vývojová platforma, vzniklo mnoho klonů těchto desek.

Shiieldy jsou rozšiřující desky základních desek Arduina. Základní desky jsou osazeny piny pro připojení shiieldů. Většina shiieldů je zaměřena na danou specifikaci. Existují i prázdné shiieldy, které obsahují pájivé, nebo nepájivé pole pro ryze vlastní vývoj. Typické shiieldy jsou komunikační, servomotorové nebo s displayem.

Klony Arduina jsou většinou levnější variantou oficiální distribuce. Často s lepším zpracováním a jinými vlastnostmi. U klonů je třeba si dát pozor na kompatibilitu s oficiálními deskami a shiieldy.

¹⁴ Obrázek 13 je dostupný z [9].

Pomocí Arduina se většinou vytváří autonomní systémy nebo vestavěný systém sloužící pro jednu konkrétní činnost. Je tak možnost vytvořit počítač, který je plně zabudován do zařízení, jenž ovládá. Arduino se obvykle sestavuje a programuje pro jeden konkrétní účel. Je tak předpoklad rozložení hardwaru, počet senzorů a jiné. Díky tomuto předpokladu je ovlivněna cena vývoje i finálního řešení, kterým může být plnohodnotný vestavěný systém.

2.5.2 Oficiální desky Arduino

Většina desek Arduina je osazena procesorem od firmy Atmel. Dále se na deskách nachází komponenty pro komunikaci mezi vstupy a výstupy s procesorem a zpracováním informací. U větších desek je samozřejmostí i převodník rozhraní USB. Nejnovější typy jsou osazeny 32-bitovými procesory typu ARM a nejvýkonnější model je osazen procesorem značky Intel. Většina desek je pro řízení opatřena tlačítkem nebo piny pro reset. Reset způsobí zastavení, vynulování a opětovného spuštění nahraného programu v paměti. Při resetu se vynulují i systémové hodiny.

Arduino Mini

Arduino Mini je nejmenší oficiální verze Arduina, která pro své malé rozměry nemá ani USB převodník. Deska je osazena procesorem ATmega328 s dostatečným taktem 16MHz. Oblast použití je díky malým rozměrům vhodná všude, kde je zapotřebí největší úspora místa, například dálkové ovladače, chytré vypínače a podobně.

Arduino Nano

Arduino Nano je velmi podobný modul jako Arduino Mini. Obsahuje USB převodník. Podporuje rozšiřující shieldy. Po Arduinu UNO je, díky možnosti shieldů, druhý nejvyužívanější.

Arduino Micro

Arduino Micro je vývojová deska osazena čipem ATmega32u4 s převodníkem USB. Tento modul díky použitému čipu může sloužit jako základ pro různé ovládací prvky. Snadno si můžeme vytvořit klávesnici nebo herní ovladače bez dodatečného přeprogramování převodníku pro využití tlačítkových adres.

LilyPad Arduino

LilyPad Arduino je verze uzpůsobená pro nošení na textilu. Díky této desce lze snadno vytvořit chytré oblečení. Například lze vytvořit ekvalizér na tričku nebo směrová světla na motorkářské bundě. Existuje více verzí této desky. Verze se liší použitým čipem.

Arduino Fio

Arduino Fio využívá sníženého napětí z 5V na 3,3V. Díky sníženému napětí má zvýšenou kompatibilitu pro bezdrátové a mobilní moduly. Nejčastější spojení s touto deskou je s modulem XBee.

Arduino UNO

Arduino UNO se odvíjí od první verze. Uno je nejpoužívanější deska. Existuje několik modifikací této desky. Jednotlivé modifikace se liší výbavou. Oficiální verze je založená na vyjímatelném čipu ATmega328.

Arduino Leonardo

Arduio Leonardo je rozvržením stejný modul jako UNO, liší se však použitým čipem ATmega32u4.

Arduino Yún

Yún navazuje na řadu Uno. Zvláštností této desky je použití dvou čipů a softwarového mostu mezi použitými čipy Atheros AR9331 a čipem ATmega32u4. Užitím tohoto spojení vznikla velmi výkonná deska schopná běhu odlehčeného linuxu Linino. Další rozšíření je ethernet port pro připojení k síti. Zpracovaná data může za běhu odesílat na webový server.

Arduino Mega2560

Arduino Mega2560 vzniklo prodloužením desky typu Uno. Vznikl tak prostor pro výkonnější čipy a více použitelných vstupních a výstupních pinů. Využití všude tam, kde Uno nestačí.

Arduino Due

Arduino Due je pokračovatel řady Mega. Deska je osazena výkonným 32-bitovým čipem *Atmel SAM3X8E 84MHz*. Na této desce již může být spuštěn plnohodnotný operační systém. Deska je osazena přídatným USB portem pro připojení vstupně-výstupních zařízení.

Arduino Esplora

Arduino Esplora je speciální deska primárně určená pro vývoj herních ovladačů.

Arduino Robot

Arduino Robot je navrženo pro vývoj jednoduchých robotů. Zajímavostí je vestavěný digitální kompas.

Arduino Intel Galileo

Arduino Intel Galileo je první deska, která vznikla ve spolupráci se společností Intel s čipem Intel Quad SoC X1000 32-bit 400MHz. Vznikl komplexní výkonný systém. Zajímavostí je přítomnost mini-PCI Express slotu pro rozšiřující karty.

Arduino Tre

Tre je stále ve vývoji. Mělo by se jednat o oficiálně nejvýkonnější Arduino. Postupem času se informace o této desce rozchází. Tato deska má být přímým konkurentem Raspberry.

Macchina M2

Celý článek o Macchina M2 je dostupný z [28].

2.5.3 Instalace Arduino IDE

IDE je integrované vývojové prostředí obsahující potřebné softwarové vybavení pro komunikaci a programování Arduina. Nejvýraznějším prvkem IDE je vývojové prostředí pro Wiring.

Instalace pro OS Windows

Na oficiální internetové stránce <https://www.Arduino.cc/> nalezneme požadovaný instalační balíček. Po rozbalení je plně funkční.

Instalace Pro OS Linux

U většiny nejnovějších verzí stačí nainstalovat balíček Arduino. Následující postup je ověřený na Ubuntu.

1. otevřít terminál
2. zapsat příkaz

```
sudo apt-get install Arduino
```

3. vyčkat na potvrzení a potvrdit
4. po instalaci balíčku je většinou potřeba přiřadit oprávnění pro práci s porty

```
sudo usermod -a -G dialout username
```

5. Pro spuštění stačí napsat do terminálu

```
Arduino
```

2.5.4 Programovací jazyk

Programování Arduina je v jazyce C a C++. IDE Arduina využívá nadstavbu jazyka C++ knihovnu Wiring. Wiring je často označován jako samostatný programovací jazyk. Dalo by se říct, že je to rozhraní upravující způsob zápisu kódu jazyka C++ pro jednodušší programování Arduina. IDE obsahuje praktické a funkční příklady využití knihoven ve Wiring. Díky praktickým příkladům je osvojení psaní programu pro Arduino jednodušší.

Ukázka kódu Wiring

```
void setup() {  
  // nastavení digitálního pinu výstup  
  // pin 13 je na většině desek Arduina připojen na LED diodu  
  pinMode(13, OUTPUT);  
}  
void loop() {  
  digitalWrite(13, HIGH); //zapne LED diodu  
  delay(1000); //počká jednu sekundu  
  digitalWrite(13, LOW); //vypne LDE diodu  
  delay(1000); //počká jednu sekundu  
}
```

[28]

Ukázka kódu v C

```
#include <avr/io.h > //definice registrů DDRB, PORTB a pinů PBn  
  
#define F_CPU 16.0E6 //pro potřeby časování je třeba nastavit  
  //frekvenci procesoru  
#include <util/delay.h > //práce s časováním - funkce _delay_ms  
  
// _delay_ms lze volat s maximální hodnotou 262.14 / F_CPU v MHZ, proto  
vytvoříme funkci, která bude čekat celou vteřinu  
  
void _delay_s (const unsigned char sec){  
  unsigned char i = 0 ; // v C ++ by mohla být definice ve for cyklu  
  
  for (i = 0 ; i < sec*10; i ++){  
    _delay_ms(100);  
  }  
}  
  
int main (void) {
```



```

DDR_B |= (1 << PB5); //nastaví bit5 na portu B (pin 13) na výstup

while (1 ) {
PORTB |= (1 << PB5); //nastaví bit5 na portu B na 1 (zapne LED)
_delay_s (1 ); //počká jednu vteřinu

PORTB &= ~ (1 << PB5); //nastaví bit5 na portu B na 0 (vypne LED)
_delay_s (1 ); //počká jednu vteřinu
}
return 1 ;
}

```

[28]

2.5.5 Řízení Arduina

Řízení Arduina závisí na použitém modulu nebo rozšiřujícím shieldu. Každý modul obsahuje rozhraní pro programování a řízení. Programování a řízení může být pouze pomocí pinových vstupů a výstupů, na které je nutno přidat převodník pro programování. Převodník závisí na typu vstupů a výstupů. Tyto typy mohou být analogové nebo digitální. To se týká hlavně nejmenších typů Arduina.

Nejjednodušší rozhraní je užití COM portů. Arduino připojené pomocí USB vytváří virtuální sériové rozhraní pro komunikaci. Je tak možno vytvořit program, který bude Arduino vysílat nebo přijímat data pomocí sériového rozhraní. Větším modulům lze přidat rozhraní pro řízení nahraného programu v Arduino v reálném čase.

Nejčastěji využívaným rozhraním pro vzdálené řízení je ethernet a wifi. Arduino se v síti může jevit dvěma způsoby, jako server nebo jako klient. Na Arduino může být umístěn web, musí se počítat s omezeným výkonem. Je tak možné ovládat systém v reálném čase pomocí webového rozhraní. Ovládat lze pouze předem naprogramované možnosti.

Pro získání dat a řízení můžeme využít řešení třetích stran, jako jsou:

- Plotly,
- Phant,
- IFTT,
- Thingspeak,
- IBM Bluemix,
- Amazon Web Services s podporou SDK pro Arduino Yún.

2.5.6 Uplatnění v praxi

Arduino nemusí zůstat pouze u prototypů. Některé verze a shieldy jsou určeny pro finální řešení. Finální řešení může vzniknout i z pájivého prototypového shieldu. Celé

finální řešení můžeme instalovat do oficiálních krabiček. Krabičky se liší použitým typem a velikostí rozšiřující desky.

Příklady praktického využití:

- chytré oblečení
- chytrá domácnost
- meteostanice
- zavlažovací a růstové systémy pro rostliny, krmné systémy
- záznamová zařízení
- webserver
- multimediální servery
- směrovací zařízení
- řízení motoru automobilů
- sledování a výčet hodnot automobilů

Arduino se stále rozvíjí a oblast využití se zvětšuje. Modulární systém zajišťuje přesné zaměření použití bez zbytečného hardwaru navíc. Psaní programů ve Wiring je lehce osvojitelné. Díky sadě digitálních i analogových vstupů a výstupů je kompatibilita téměř bez hranic.

3 PRAKTICKÉ ŘEŠENÍ

Praktické řešení pokrývá kompletní vývoj 3D modelu mechatronické ruky, sestavení a testování prototypu. Po ekonomické stránce návrh vychází z materiálů vybrané firmy ze zdroje [12].

3.1 Popis mechatronické končetiny

Mechatronická končetina je široký pojem. Pro upřesnění, tato práce klade důraz na podobnost mechatronické končetiny se skutečnou lidskou horní částí ruky. Model a výsledná zkonstruovaná sestava v 3D CAD Autodesk Inventoru obsahuje pohyblivé části napodobující tvar a možnosti pohybu lidské ruky. Podobnost přesného vzhledu je omezená kvůli podmínce práce. Podmínkou této práce je vyrobitelnost s přiměřenými náklady. S touto podmínkou jsem musel počítat po celou dobu návrhu jednotlivých komponent navržených rovněž v 3D CAD systému a konstrukci sestavy. Stejně tak s technologickými omezeními výroby, jako je například potřebný prostor pro vrtání určitého úhlu či možné osy pro frézování.

Návrh sestavy byl inspirován předlohou poskytnutou vedoucím práce. Předloha z článku Pardubického deníku [7] se jevila na velmi nízké úrovni, systémově nefunkční a úchopu neschopná. Tak vznikl námět na tuto práci.

Před návrhem samotné mechatronické končetiny byla provedena analýza CAD systémů a výběr vhodného nástroje. Popis vybraných CAD systémů je začleněn v teoretické části. Požadavek na konstrukci sestavy omezil využití více CAD systémů a byl vybrán vhodný nástroj od společnosti Autodesk Inventor Professional. Jelikož již mám praxi s verzí 2015, zvolil jsem konečný nástroj v této verzi Inventor Professional 2015 student edition.

Návrh jednotlivých částí vychází z jedné pevné dlaně a opozičnímu umístění palce. Realizace dlaně jako samostatných kůstek byla zamítnuta z důvodu náročnosti spojů a potřebě několikanásobně většího počtu funkčních prvků a prodražení možné výroby. Přesto je možný kulový úchop, jelikož je do návrhu dlaně začleněno rozdělení do dvou částí. Každá část obsahuje dva prsty v opozičním umístění vůči palci. Dlaň je tak tvořena čtyřmi základními prvky. Do dlaně jsou vsazeny opoziční prsty palce. Palec je upevněn tak, aby vznikla pravá ruka. Jednotlivé prsty jsou tvořeny z článků funkčním pohybem napodobující první, druhý a třetí článek prstu lidské ruky.

Analýzou možných materiálů byl vybrán jako základní a cenově dostupný materiál hliník, který se snadno opracovává. Navržené součásti jsou možné vyrobit opracováním hliníkových profilů.

Pohonné systémy byly navrženy tak, aby nemuselo být využito více jak tří typů pohonných systémů. Každý jednotlivý pohon a jiný typ pohonu je značnou finanční zátěží pro výrobu a další programátorské zpracování. Ve výsledné sestavě jsou použity pouze dva typy pohonů, servomotor pro otáčivý pohyb palce a krokové motory pro akční stažení dalších pohyblivých součástí sestavy.

Pro akční stažení byl použit táhlový mechanismus podobný šlachovému mechanismu prstů lidské ruky. Pro větší efektivitu stažení byla navržena trajektorie vedení táhel skrz jednotlivé články prstů a ruky. U prstů jsou táhla vedena vnitřním prostorem a na základě toho nepřekáží k úchopu předmětu, jako je to u lidské ruky, kde šlacha je vedena úponky na spodní straně prstů. Dalším aspektem tohoto návrhu je větší páka pro stažení dalšího článku prstu. Při stažení prstu je výsunem konce článku napínáno táhlo pro vratný pohyb. Při uvolnění vnitřního táhla napnuté táhlo z vrchní strany ruky vrací prsty do výchozí natažené polohy. Pro napínání táhel akčního stažení jsou použity krokové motorčky s pojezdovým mechanismem. Na pojezdový mechanismus je připojené táhlo. Napínání vratných táhel je prováděno vratnými pružinami.

3.2 Využití a možnost dalšího zpracování

Sestava mechatronické ruky je zpracována jako návrh s možností dalšího vývoje. Dále je popsáno možné využití navrženého řešení.

3.2.1 Náhrada lidské ruky

Konečná sestava byla vytvořena vzhledem k zadání s nejbližšími dráhami ovládacích prvků k funkčním dílům sestavy. V tomto stavu se jedná o demonstrativní model a není tudíž určen pro přímou náhradu lidské končetiny. Změnou dispozic ovládacích prvků a prodloužením drah k funkčním prvkům, lze vytvořit prvek pro umístění mechatronické ruky k jinému prvku, například k pahýlu lidské ruky, a zachování funkcí všech částí ruky. Změnou drah ovládacích prvků, může být postižena původní hodnota posunu táhla pro jednotlivé funkční prvky sestavy. Tato změna může být řešena v ovládacím programu změnou atributů pro rozsah ovládacích prvků.

Sestava je vytvořena ze základních profilů a tudíž je možné na dané plochy připevnit další díly tvarující sestavu do podoby skutečné lidské ruky. Na každý článek prstu a další části ruky lze připevnit součást pro přiblížení se tvaru skutečné lidské ruky. Součásti, které mají být připevněné na vytvořenou sestavu, lze vytvořit 3D modelováním a různým technologickým postupem výroby s volbou materiálu. Nejpravděpodobnějším postupem je 3D tisk z plastu nebo odléváním gummy. Gumové prvky mohou sloužit pro zvýšení adheze mezi uchopovaným předmětem a mechatronickou rukou. Tím se může zdokonalit úchop a zabránit vyklouznutí uchopeného předmětu.

Trajektorie táhel je primárně řešena vnitřním prostorem článků prstů. Táhla nezasahují do prostoru pro úchop předmětu. Po zakrytí trajektorií pro táhla je možné zalít prsty do pružné hmoty formující prsty se zachováním funkčnosti ohybu.

Pro náhradu lidské ruky je vždy důležité znát konkrétní lidský zůstatek ruky a podle toho zvolit možnost přichycení mechatronické ruky. Další postup je volba umístění ovládacích prvků a až následně konečný návrh a sestavení.

3.2.2 Použití jako exoskelet

Exoskeletem se rozumí ovládání modelu jeho reálnou předlohou. Jeho definice vychází ze simulace.

Exoskelet prvního typu je takový dynamický systém, jenž je fyzicky nezávislý na reálném dynamickém systému, který ovládá daný model. [17]

Exoskelet druhého typu je takový dynamický systém, jenž přímo fyzicky působí a podporuje reálný dynamický systém, tím je provedena oboustranná podpora těchto systémů, avšak základní pokyn pro akci vždy vychází z reálného dynamického systému. [17]

Podle tvaru původní předlohy je předpoklad, že byla myšlena jako exoskelet druhého typu. Tato domněnka však nebyla potvrzena ale ani vyvrácena. Předloha byla vyhodnocena z obou pohledů definic exoskeletu jako nefunkční.

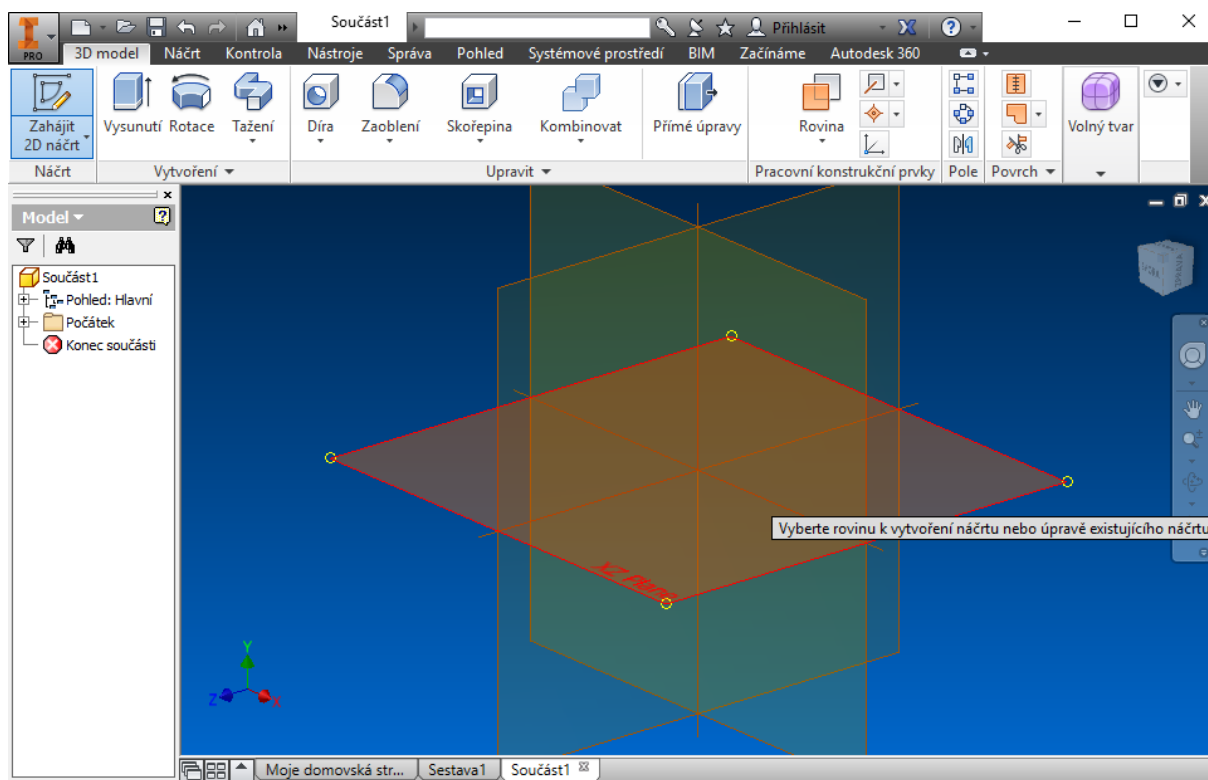
Vytvořenou mechatronickou končetinu lze použít pouze jako fyzicky nezávislý model ovládaný reálnou lidskou rukou nebo jiným způsobem ovládání, tedy jako exoskelet prvního typu. Díky promyšlené koncepci vedení táhel se lze inspirovat pro vytvoření exoskeletu druhého typu.

3.3 Popis práce v Autodesk Inventoru

Autodesk Inventor, jak již bylo řečeno, je program pro technické 3D modelování. Veškerá práce v tomto programu je založená na technickém kreslení. Pro práci v tomto prostředí je nutná znalost technického kreslení. Samotná pravidla technického kreslení nebudou popsána. Dále jsou popsána základní pravidla pro tvorbu dílů a sestav.

Základní uživatelské prostředí programu je založeno na pásu karet s názvy funkcí. Modernímu uživatelskému prostředí se říká *user friendly*. Toto prostředí je základním zobrazením od verze programu 2010. Práce začíná vytvořením nového prvku s možností určení norem a soustavy jednotek.

Pro začátek kreslení je nutné zvolit rovinu v 3D prostoru, a tím určit základní osy vytvářeného prvku. Z pravidla platí, když není rozhodnuto jinak, začíná se na rovině [x, z]. To znamená pohled shora na vytvářenou součást. Volba roviny je zobrazena na obrázku 14. Prostor umožňuje usnadnění v podobě přichycení k rastru. Pokud je přichycení k rastru nežádoucí, musí se zprvu nakreslit osy s pevnou vazbou k počátku.



Obrázek 14 – Volba roviny

Pro kreslení je možné použít několik základních funkcí a tvarů. Pro přechod od 2D výkresu ke 3D modelu je nutné ukončit práci na výkresu. Výkres, jenž slouží

k vytvoření tvaru, musí obsahovat alespoň jednu správně okótovanou, uzavřenou smyčku se správnými vazbami. Ostatní tvary nakreslené ve výkresu, ze kterých nebude vytvořen tvar, budou zanedbány, avšak ve výkresu zachovány.

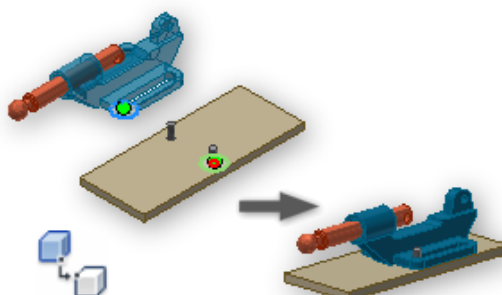
Po vytvoření tvaru některou z funkcí pro 3D modelování je možné vytvářet další výkresy na plochy vytvořeného prvku nebo jinak určené roviny. Jednou z možností může být vytvoření 3D náčrtu. 3D náčrt využívá všech tří prostorových os [x, y, z]. Funkce pro další práci na již vytvořeném tvaru většinou vychází z náčrtů.

Pro tvorbu sestavy je zapotřebí vytvořit nový projekt typu sestava. Do sestavy se vkládají prvky pomocí funkce *Vložit prvek*. Prvky se k sobě vážou vazbami. Do vazeb je možné vložit stupeň volnosti. Dále se prvky mohou spojovat funkcí *Spoj*. Její použití je upřesněno na obrázku 15.

Spoj

Použije vztahy určující umístění komponenty a její pohyb.

Příkaz *Spoj* zcela definuje rozsah pohybu, umístění a chování komponenty. Všechny typy spojů kromě pevných lze animovat.



Obrázek 15 – Spoj

Pohyb svázaných komponent je řízen použitou vazbou. Pro správný výpočet a zabránění kolidujícím stavům je nutné používat sady dotyku. Sada dotyku zamezuje protnutí dvou k sobě svázaných komponent. Tato sada dotyku musí být zapnuta na každé svázané komponentě zvlášť.

Do sestav lze dosadit již vytvořenou sestavu a umístit ji do nové sestavy jako komponent. Těmto sestavám se říká podsestavy. Podsestav je u navrženého modelu mechatronické končetiny využito pro pohony.

V sestavách lze vytvářet nové komponenty a přímo umísťovat do sestav. Stávající komponenty se mohou izolovat a dále se může pracovat na vývoji dané komponenty.

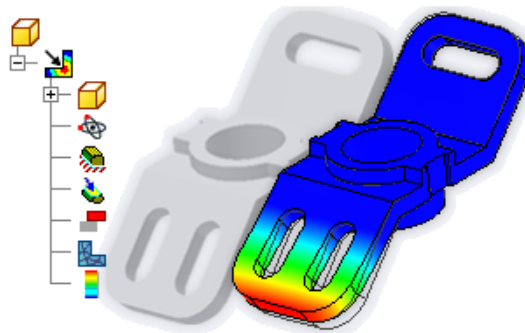
Tato práce na komponentách již umístěných v sestavě má jisté výhody. Hlavní výhody jsou viditelnost umístění a pochopení významu komponenty v sestavě. Tyto výhody napomáhají představivosti pro další vývoj.

Simulace a Pevnostní analýza jsou nástroje pro zkoumání jevů chování vytvořených prvků. Tyto dva nástroje slouží ke konečnému testování navrženého celku. Sestava byla testována na držení předmětu o váze 1kg. Užití *Pevnostní analýzy* je vysvětleno na obrázku 16. Na obrázku 17 je znázorněno extrémní zatížení prostředníku navržené sestavy.

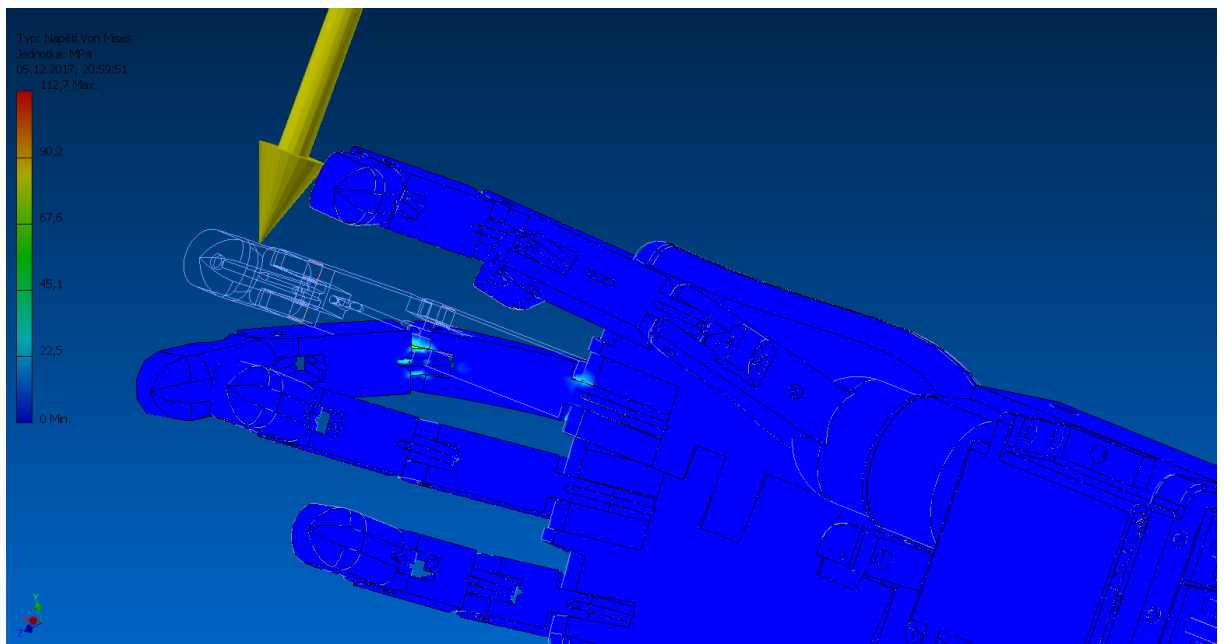
Začít pevnostní analýzu

Aktivuje prostředí pro parametrické studie, aby bylo možné zjistit vliv geometrických proměnných na návrh.

U komponent je možné použít okrajové podmínky a pak zkoumat výsledné strukturální chování.



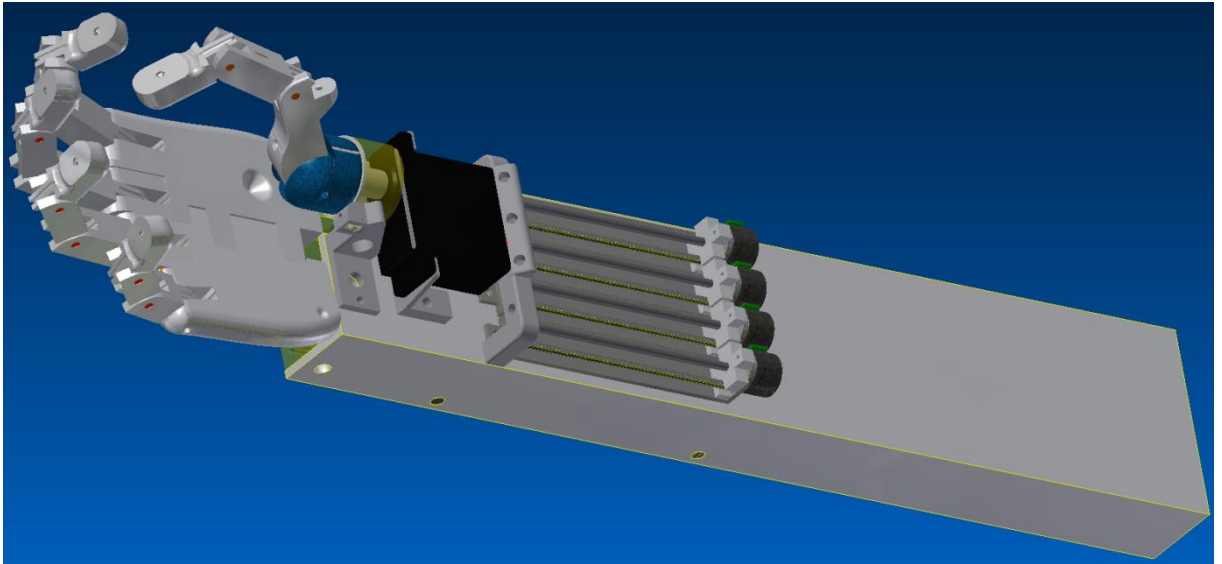
Obrázek 16 – Pevnostní analýza



Obrázek 17 – Extrémní zatížení

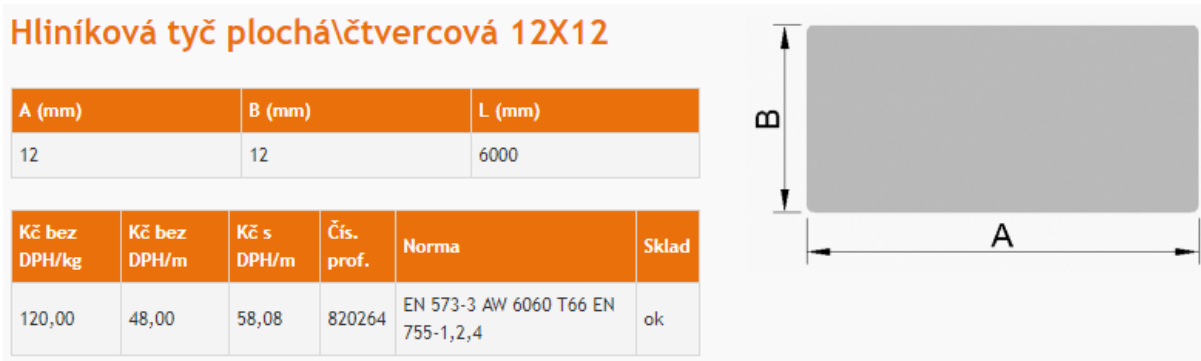
3.4 Popis sestavy a jednotlivých dílů

Navržená sestava se skládá z 27 dílů a 10 podsestav. Jedna podsestava byla vytvořena pro nutnost změny trajektorie táhla. Ostatní podsestavy jsou vytvořeny jako pohony. Sestavy pohonů jsou rozměry a uchycením inspirovány skutečnými aktuátory. Tyto sestavy obsahují pouze nutné díly pro znázornění pohonu. Dále budou popsány vybrané součásti. Navržená mechatronická končetina je znázorněna na obrázku 17.



Obrázek 18 – Sestava

V sestavě mechatronické končetiny není zahrnut spojovací materiál, kromě čepů a šroubu dlaně. Ruka je navržena pro výrobu z hliníkových profilů. Dále uváděné atributy rozměrů jsou v milimetrech. Všechny prsty, kromě spojovacího materiálu a prvního článku palce, jsou navrženy pro výrobu z hliníkového hranolu o rozměrech $12*12*x$, kde x je délka všech prstů včetně připočteného prořezu a úbytku materiálu dílenským zpracováním. Na první článek palce je potřeba plného profilu o rozměrech $12*28*55$. Na obrázku 17 je nabídka společnosti A+A Pardubice spol. s.r.o., internetového obchodu ehlinik.cz. [12]

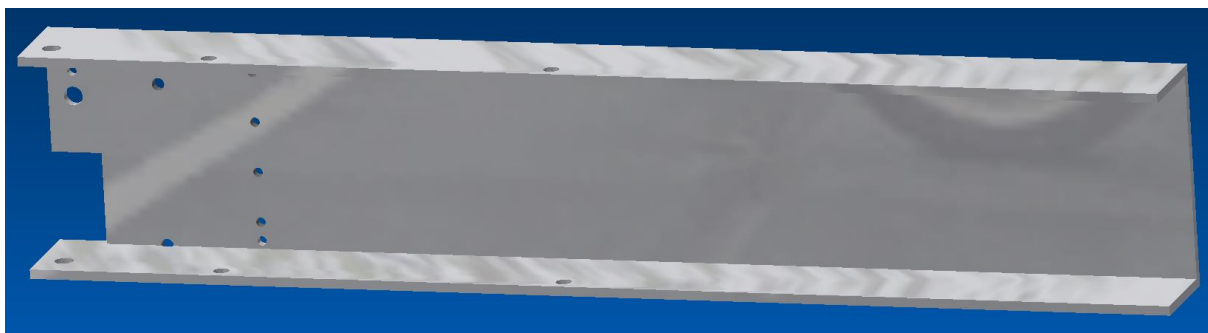


Obrázek 19 – Profil 12*12¹⁵

Primárním dílem sestavy mechatronické končetiny je velká dlaň, pojmenovaná v sestavě *dlanVelka*, na níž je pro výrobu zapotřebí profil o rozměrech 16*90*55. Dalším dílem je malá dlaň, pojmenovaná v sestavě *dlanMala*, o minimálních rozměrech 16*85*52 hliníkového profilu pro výrobu. Z rozměrů komponent lze vybrat hliníkový profil a následně spočítat cenu materiálu pro výrobu. Po opracování do podoby navržené dlaně lze dodatečně odvrtat materiál pro snížení hmotnosti dlaně. Odvrtání materiálu nesmí poškodit pevnost a funkční prvky. Tyto dva díly jsou spojeny středovým šroubem. Dlaně mj. obsahují soustavu kanálků pro trajektorii táhel a vyfrézované drážky pro ukotvení prstů. Finanční zatížení závisí na použité technologii pro výrobu a ceně práce vybrané firmy. Předpoklad pro výrobu studentem ve škole je za cenu materiálu a energií.

Mezi dlaní a profilem pro připevnění akčních členů je blok *pultikProPalec*. Na něm je umístěn palec. Otočný člen palce nazván *pataPalce* je vložen do *pultikProPalec* přes kluzké ložisko *kluzkeLozisko*. Pata je zajištěna šroubem do závitu v tisícíhranu servomotoru. Servomotor je tvořen podsestavou nazvanou *Servo*. K *pultikProPalec* je přes spojovací materiál připojena *paze* pro ukotvení pohonů a řídicí elektroniky. *pultikProPalec* je možný vyrobit z plného profilu o rozměru 65*60. *pataPalce* je určená pro výrobu z válcového profilu o rozměrech 45*26Ø. *paze* je z jednoho profilu nebo formovaného plechu o tloušťce 3. Šíře *paze* je odvozená od výšky pohonů a prostoru pro vratné pružiny. Délka závisí na rozměrech, množství pohonů a instalovaném řídicím systému s napájením. V navržené sestavě nese rozměry 32*366*71. Umístění komponent na paži je dáno vazbou na otvory v paži. Tyto otvory slouží pro připevnění spojovacím materiálem. Paže je zobrazena na obrázku 20.

¹⁵ Obrázek 19 je dostupný z [12].



Obrázek 20 – Paže

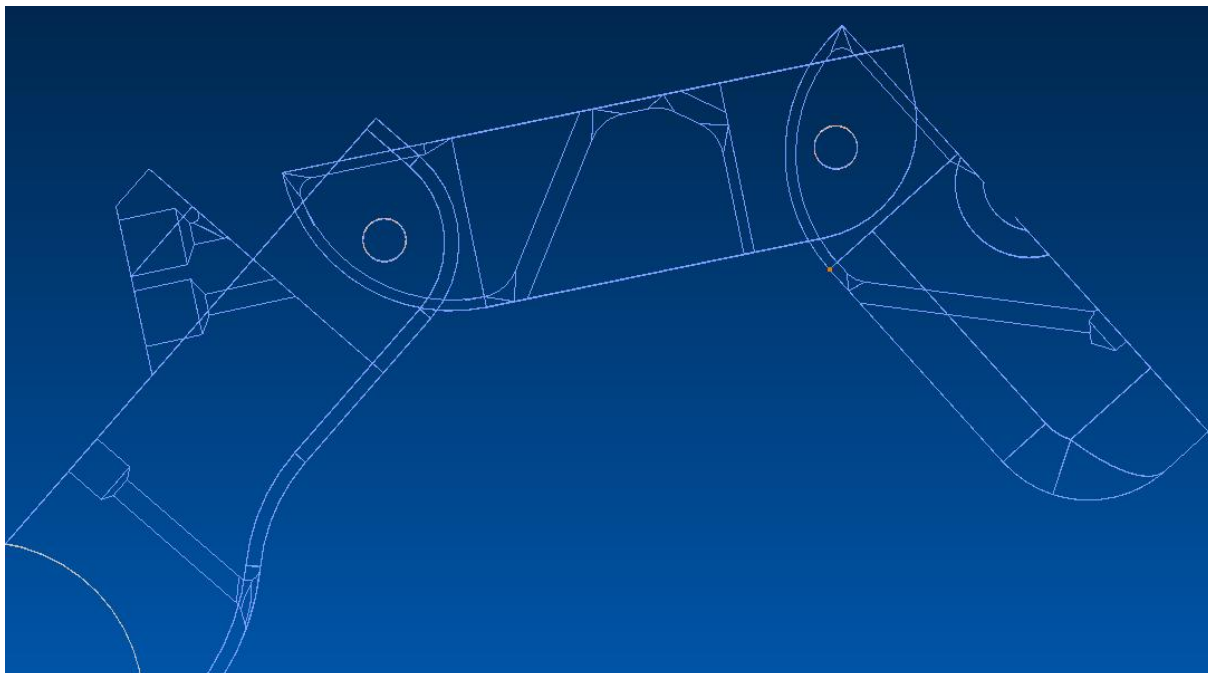
Každý prst je sestaven z 3 článků vytvořených z materiálu popsaného výše. Pro akční stažení prstů byl navržen táhlový mechanismus spojující všechny články jednoho prstu, kromě palce. Palec je složitý mechanismus se třemi akčními táhly. Princip fungování stažení palce je podobný jako u ostatních prstů. Nejdelší článek prstu je první článek prostředníku. Vybraný nejdelší článek prstu v zobrazení se skrytými hranami lze pozorovat na obrázku 21.



Obrázek 21 – Součást prostředníku

Součástí táhlového mechanismu je soustava kanálků o průměru 1,5 pro táhlo o maximálním průměru 1,3. Princip fungování mechanismu je popsán v kapitole 3.6. Kanálky jsou do každého článku vrtány a frézovány pod jinými úhly a s jinými vzdálenostmi frézování. Pro správné určení trajektorie těchto kanálků je třeba znát délku určitého článku prstu. Podle této délky se určí parametry vrtání. U příliš krátkých článků je pouze jedno vrtání. Tento způsob je popsán v kapitole 4. Pro zjednodušení výroby je soustava ukazováku

použita i pro prsteník. V návrhu jsou prsteník a ukazovák totožnými prsty. Trajektorii táhel je možno pozorovat na drátovém modelu na obrázku 22.



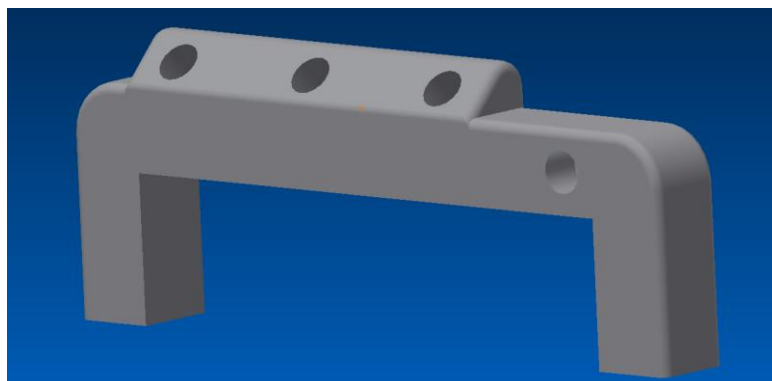
Obrázek 22 – Drátový model

Pro složitější trajektorii některých táhel byla navržena dvě řešení. Pro akční stažení dlaně byla navržena podsestava umístěná na paži spojená spojovacím materiálem k *pultikProPalec*. Tato sestava s názvem *tribunaSestava* eliminuje tření a možné poškození táhla v závislosti na prudké změně směru trajektorie táhla. *tribunaSestava* je vyobrazena na obrázku 23.



Obrázek 23 – Tribuna

Druhé řešení spočívá v návrhu bovdenového vedení táhla. Pro tento návrh byla do dílů, které jsou spojeny akčním táhlem, zakomponována ústí pro tato vedení. Pro vedení táhel na spodní straně paže byla vytvořena součást *most*. Tato součást upravuje pozici táhel proti spojení táhel s pohony. Vyobrazení součásti je na obrázku 24.



Obrázek 24 – Most

3.5 Typ použitých pohonů

Pro vytvořenou sestavu mechatronické končetiny jsou navrženy dostupné pohonné systémy. Konkrétně je to standardní modelářský servomotor se zvýšeným tahem a kovovými převody, který je zobrazen na obrázku 25. Servomotor udává akční rádius otočení palce. Síla otáčení palce přímo závisí na síle tahu použitého servomotoru. Dále je navrženo pro táhla použít dostupné krokové motory s posuvným mechanismem. Tento typ pohonu udává délku dráhy pro možné posunutí táhla. Vybraný posuvný mechanismus je zobrazen na obrázku 26.

Tabulka 3 – Parametry navrhnutého servomotoru

typ servomotoru	délka * šířka * výška (mm)	šíře upevnění (mm)	točivý moment	Tisícíhran
standard	40*20*42	54,5	13.5Kg*cm/15Kg*cm (6 .0V/7 .0V)	25 zubů



Obrázek 25 – Servomotor¹⁶

¹⁶ Obrázek 25 je dostupný z [5].

Tabulka 4 – Parametry navrhnutého posuvného mechanismu

typ motoru	délka * šířka * výška (mm)	délka šroubu (mm)	krok (°)	posun kroku (mm)
krokový	105*15*20	90	18	0,5



Obrázek 26 – Posuvný mechanismus¹⁷

3.6 Propojení pohonů

Všechny pohyblivé součásti musí být propojeny se svými pohony. Z návrhu dvou typů pohonných systémů je využito dvou typů propojení. Čím více pohonů na soustavě, tím lépe řízený pohyb. Čím více pohonů, tím složitější řízení pohonů, více drah pro táhla a větší nárok na místo pro uložení pohonů. Vždy se mezi těmito dogmaty musí nalézt kompromis.

Pro servopohon byl zvolen, dnes mezi výrobci modelářských servomotorů nejpoužívanější, tisícíhran s 25 zuby. Servopohon ovládá otáčení palce v opozici proti pevné dlaní. Teoretické omezení otáčení je parametrem použitého servomotoru. Předpokládá se akční rádius až 190°. Funkční akční rádius je 0 ° proti vrchnímu hřbetu ruky a pozici pevné dlaně až 120°. Palec je umístěn na otočné patě. Pata obsahuje vnitřní tisícíhran pro spojení servomotoru a šroub pro její zajištění na tisícíhranu servomotoru. Pata je přes kluzké ložisko zasazena do pultíku pro palec. Pultík pro palec je spojen s pevnou dlaní a prvkem pro připevnění pohonů. Do paty je palec vsazen přes zajišťovací kolík prvního článku palce. Články palce jsou dále ovládány druhým typem použitého pohonu.

Posuvné mechanismy ovládají všechny ostatní pohyblivé součásti sestavy mechatronické končetiny. Na posuvný mechanismus je připojené táhlo o průměru 0,5-1,3 mm. Tyto táhla jsou vedeny kanálky a drážkami o průměru 1,5 mm. Některé dráhy nejsou vedeny přímo a bylo potřeba navrhnout bovdenové propojení. Ústí bovdenového propojení má průměr 4 mm a vsunutí má stejnou hloubku.

¹⁷ Obrázek 26 je dostupný z [13].

Jedno ovládací táhlo je vedeno z posuvného pohonu přes bovdenové propojení do prvku měnícího směr vedení táhla. Následně je táhlo připevněno k pohyblivé malé dlani, které ovládá přivírání dlaně.

Ze sedmi posuvných pohonů vedou táhla pro ovládání prstů. Pro každý jednotlivý prst na dlani je zvoleno jedno akční táhlo propojené s jedním posuvným pohonem. Jeden prst je tak ovládán dvěma táhly. Druhé táhlo slouží pro návrat prstu do původní polohy a působí silou proti akčnímu táhlu.

Palec vyžaduje jemnější motoriku. Pro pohyb palce jsou zvoleny tři táhla a jedna vratná pružina. První táhlo palce přitahuje první článek palce k dlani. Druhé a třetí táhlo se stará o pohyb druhého a třetího článku palce. Všechny tři táhla ovládající palec jsou akční, spojené s posuvnými mechanismy. Díky dvěma akčním táhlům působících proti sobě, je zajištěna lepší kontrola pohybu článků palce. Celkem je palec ovládán servomotorem pro otáčení, táhlem a vratnou pružinou prvního článku palce a dvěma táhly ovládajícími zbytek článků. Palec je nejsložitější soustava součástí pro ovládání.

Články prstů jsou svázané speciálně navrženým vnitřním kanálkem pro akční táhlo. Spodní článek kloubového spoje je vždy použit jako základna a horní článek jako ovládaná páka. Tímto mechanismem jsou svázané všechny články prstů mimo prvního článku palce. Tento mechanismus zajišťuje plynulý pohyb od posledního článku po článek zasazený v dlani, jemuž dělá základnu samotná dlaň.

4 PROTOTYPOVÉ ŘEŠENÍ A TESTOVÁNÍ

Jak již bylo řečeno, pro zvládnutí problému návržení mechatronické ruky byl pro účely testování vytvořen prototyp z dostupných materiálů. Prototyp vychází z rozměrů lidské ruky, avšak není přesných rozměrů jako je to u navržené sestavy v Autodesk Inventoru.

Prototyp, jenž je vyfotografován na obrázku 27, je vyrobený ze dřeva, čepy prstů nahradily šrouby a byly rozhýbány prsty kromě palce. Palec je složitý mechanismus a rozhýbání na prototypu je pro studenta ekonomicky nerealizovatelné.



Obrázek 27 – Prototyp ruky

Pro demonstraci správnosti řešení návrhu vedení akčních táhel prstů v navržené sestavě byl tento způsob použit i v případě modelu. Články prstů jsou svázány táhlem o průměru 0,5 mm. Táhllo je průmyslový nylon. Nylon zajišťuje dobré vlastnosti v tahu a nízké tření v důsledku napínání a ohýbání v dané trajektorii pro akční táhla. Každý článek prstů obsahuje kanálek pro vedení akčního táhla. U kratších článků prstů je trajektorie vedena přímo od páky na spodní straně článku k základně. U delších článků prstů je pro efektivnější vedení táhla zvolen způsob dvou děr. Jedno vrtání díry je od páky do horní strany článku prstu, druhé vrtání díry je vedeno z vrchní strany článku prstu do základny pro páku dalšího článku prstu. Mezi ústím děr na horní straně článku prstu je vyfrézována drážka pro vnitřní vedení táhla, tak jako je to u navržené sestavy. Na obrázku 28 je vyfotografována vrchní strana prstu s viditelnou drážkou a táhlem. Viditelný mechanismus táhla jako páky je viditelný na obrázku 29. Princip a detailnější popis byl již popsán v kapitole 3.4. Vratné táhlo s vratnou pružinou je u prototypu nahrazeno textilní plochou gumou.



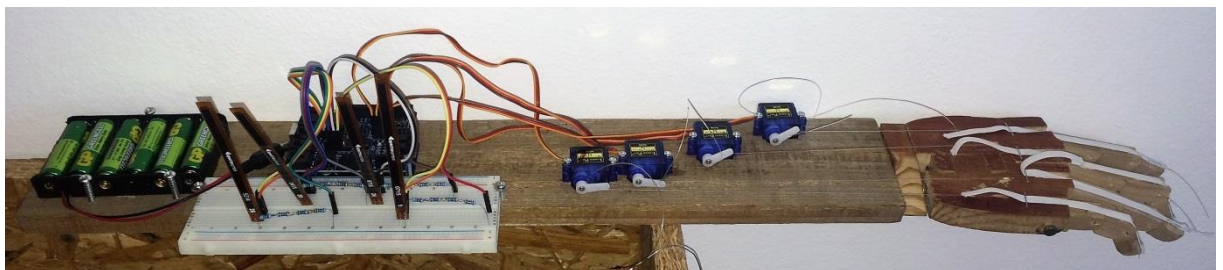
Obrázek 28 – Drážka



Obrázek 29 – Spodní strana prstu

Jako pohonné systémy byly zvoleny servomotory s pákovým mechanismem. Konkrétně jsou využity čtyři servomotory typu *micro servo 9g*. Z testování vyplývá, že pohon *micro servo 9g* se stal nevyhovující kvůli nízkému tahu, ale tyto servomotory byly jediné dostupné. Servomotory jsou viditelné na obrázku 30.

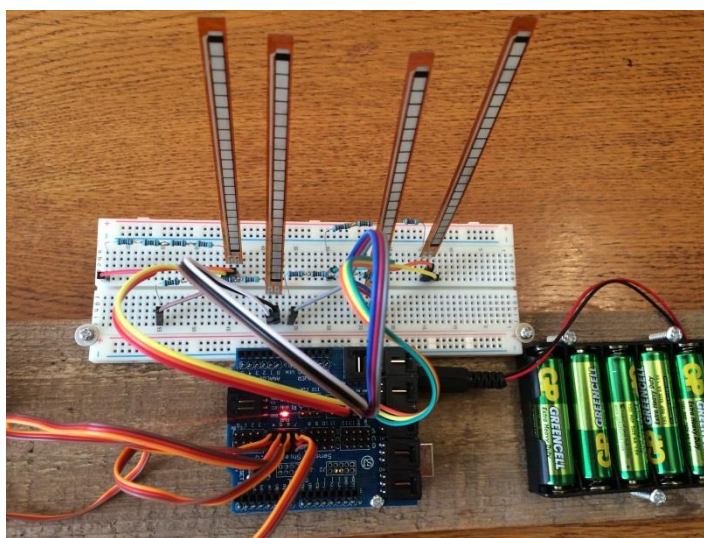
Ruka je připevněna k prknu představující předloktí. Na toto prkno jsou připevněny ovládací prvky, řídicí elektronika, baterie a pohony propojené s táhly. Dohromady prototyp tvoří samostatnou funkční sestavu viz obrázek 30.



Obrázek 30 – Celek prototypu

Jako řídicí elektronika byla vybrána vývojová deska Arduino UNO rozšířená o sensorový shield. Sensorový shield pro Arduino UNO umožňuje pohodlné připojení až čtrnácti 3 pinových servomotorů a až šesti 3 pinových analogových sensorů. Pro prototyp jsou užity 4 servomotory a 4 analogové senzory.

Pro přímé ovládání úhlu natočení servomotoru jsou použity flex senzory. Senzory jsou připojené do analogových vstupů Arduina. Použité senzory jsou typu *Flex Sensor 4,5*“ od společnosti SpectraSymbol. Jejich naměřený základní odpor je $7,1k\Omega$. Pro připojení k Arduinu jako analogový vstup musí být zapojený jako podíl odporů. Byla napájena soustava tří $1k\Omega$ odporů a jednoho $4,1k\Omega$ odporu v sérii pro vyrovnání základního odporu flex senzoru. Na obrázku 26 je vidět základní zapojení flex senzoru do Arduina. $10k\Omega$ odpor značně zkresloval mapu rozsahu pro řízení servomotoru, proto byl změřen skutečný základní odpor flex pásku a následně nahrazen $10k\Omega$ odpor soustavou odporů o hodnotě $7,1k\Omega$. Testováno v nepájivém poli viz obrázek 31.



Obrázek 31 – Propojení elektronických členů

Arduino je napájeno blokem šesti baterií typu AA. Tento blok byl upřednostněn před menší samostatnou 9V baterií, z důvodu vyřízení servomotorů připojených přímo na výstupy Arduina. Zdrojový kód řídicího programu je obsahem přílohy 1.

Za účelem testování ovládání byla sestrojena rukavice s flex senzory. Umístění flex pásků na rukavici bylo inspirováno z [9]. Funkční rukavice je zapojena do řídicí elektroniky. Byla testována na prototypu. Vývoj rukavice je na obrázku 32.



Obrázek 32 – Rukavice

ZÁVĚR

Byl proveden rozbor dostupných produktů pro parametrické 3D modelování a následně vybrán vhodný nástroj pro návrh a konstrukci. Pro tento účel byl vybrán Autodesk Inventor Pro v studentské verzi. Po analýze rozměrů lidské ruky byly vybrány parametry pro návrh součástí použitých ke konstrukci. Ke splnění funkční části byly nastudovány a v teoretické části rozebrány základní pohyby a úchopy lidské ruky. Pro zlepšení návrhu byl sestaven dřevěný prototyp ruky ovládaný rukavicí se senzory ohybu. Prototyp byl cenným pomocníkem při návrhu.

Komponenty byly navrhovány, vzhledem k zadání, s důrazem na jednoduchost a funkčnost. Při návrhu pohonů jsem našel řešení splňující podmínky zadání bakalářské práce. Pohony byly navrženy podle reálných předloh. Všechny ostatní součásti a technologická řešení jsou výhradně vlastní autorskou prací.

Po návrhu samotných komponent byla vytvořena konstrukce pomocí nástroje Autodesk Inventor tvorba sestav. Ve zkonstruované sestavě byly doladěny funkční celky.

Studentská verze vybraného nástroje má bohužel mnoho omezení. Kvůli omezením nejsou v sestavě vymodelovány táhla a bovdenová vedení a s tím související vratné pružiny. Po připojení táhel lze navrhnout parametry vratných pružin. V kombinaci s posuvným mechanismem je v návrhu počítáno s tažnou vratnou pružinou. Maximální pracovní délka pružiny vychází z použitých pohonů. U posuvných mechanismů je počítáno s maximální pracovní délkou 80 mm.

Navržená mechatronická ruka splňuje všechny atributy zadání bakalářské práce. Mechatronická ruka je navržena tak, aby byla schopna všech úchopů a pohybů rozebranych v teoretické části bakalářské práce.

Celkový model je určen k dalšímu zpracování. Jsou možná další vylepšení a úpravy podle přímého využití mechatronické ruky.

POUŽITÁ LITERATURA A INTERNETOVÉ ZDROJE

- [1] Arduino. *Arduino.cc* [online]. Arduino, 2017 [cit. 2017-04-02]. Dostupné z : <<https://www.Arduino.cc>>
- [2] BARTONÍČEK, J. *Základy anatomie pohybového aparátu*. 1 . vyd..Praha: Maxdorf, 2004. 256 s . ISBN 80-7345-017-8
- [3] BERANOVÁ, Hana. *Jemná motorika ruky u vybraných neurologických symptomů*. Olomouc, 2011. Dostupné také z : <<http://theses.cz/id/13ofph/>>. Bakalářská práce (Bc.). Univerzita Palackého v Olomouci. Vedoucí práce Mgr. Martina Šlachtová.
- [4] Company: About Autodesk. *Autodesk.cz* [online]. San Rafael: Autodesk, 2017 [cit. 2017-08-12]. Dostupné z : <<https://www.autodesk.cz/company?referrer=%2Fcompany>>
- [5] DFRobot 270 Degree 15KG Metal Geared Standard Servo - Black. In: *DX: dealextrême*[online]. DX Wholesale Website, 2017 [cit. 2017-12-04]. Dostupné z: <<http://www.dx.com/p/dfrobot-270-degree-15kg-metal-g geared-standard-servo-black-409557#.Wh1ftEriaUI>>
- [6] DOLEŽAL, Lukas. Servo. *RC modely aut* [online]. 2014 [cit. 2017-08-12]. Dostupné z : <<http://www.rcauta.net/forum/topic24768-servo.html>>
- [7] DUBSKÝ, Lukáš. Na univerzitě chtějí vytvořit protézu, která dokáže nahradit ztracenou ruku: Pardubice - Rehabilitační pomůcka je jen dílčím cílem vědeckého týmu. *Deník.cz: Pardubický deník* [online]. VLTAVA LABE MEDIA, 2016 [cit. 2017-08-12]. Dostupné z : <http://pardubicky.denik.cz/zpravy_region/na-univerzite-chteji-vytvorit-protezu-ktera-dokaze-nahradit-ztracenou-ruku-20160811.html>
- [8] DYLEVSKÝ, I. *Obecná kineziologie*. 1 . vyd.. Praha: Grada Publishing, 2007. 192 s . ISBN 978-80-247-1649-7
- [9] FINDEJSOVÁ, Anna. *Rukavice se senzory ohybu* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017 [cit. 2017-12-04]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/68153>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav biomedicínského inženýrství. Vedoucí práce Oto Janoušek.

- [10] HADRABA, Ivan. Úchop v protetice: 1 . ČÁST. *Ortopedická Protetika* [online]. Praha: FOPTO - Federace ortopedických protetiků technických oborů, 1999 [cit. 2017-08-12]. ISSN 1212-6705. Dostupné z :
<<http://www.ortotikaprotetika.cz/oldweb/Wc8a7b70693248.htm>>
- [11] HADRABA, Ivan. Úchop v protetice: 2 . ČÁST. *Ortopedická Protetika* [online]. Praha: FOPTO - Federace ortopedických protetiků technických oborů, 1999 [cit. 2017-08-12]. ISSN 1212-6705. Dostupné z :
<<http://www.ortotikaprotetika.cz/oldweb/Wc2bfee47eea.htm>>
- [12] Hliníková tyč plochá\čtvercová 12X12. *Ehlinik.cz: Váš hliníkový obchod* [online]. Pardubice: A+A Pardubice, spol., 2017 [cit. 2017-12-06]. Dostupné z:
<https://www.ehlinik.cz/hlinikova-tyc-plochactvercova-12x12/pro-AJS0000101.html>
- [13] Hot Sale DC 4-9V Drive Stepper Motor Screw With Nut Slider 2 Phase 4 Wire Micro Sliding table fit for laser engraving Machine. In: *AliExpress* [online]. Hangzhou (Yu Hang District): Alibaba Group, 2017 [cit. 2017-12-04]. Dostupné z:
<<https://www.aliexpress.com/item/Hot-Sale-DC-4-9V-Drive-Stepper-Motor-Screw-With-Nut-Slider-2-Phase-4-Wire/32698473494.html>>
- [14] Install the Arduino Software (IDE) on on Linux. *Arduino.cc* [online]. Arduino AG, 2016 [cit. 2017-04-01]. Dostupné z : <<https://www.Arduino.cc/en/Guide/Linux/>>
- [15] JANOCHA, Hartmut. *Actuators: Basics and Applications*. Německo: Sprintger, 2004, 343 s. ISBN 3-540-61564-4.
- [16] JEŽKOVÁ, Kamila. Seznamte se s Arduino vývojovým prostředím. *Arduino.cz* [online]. 2014 [cit. 2017-04-03]. Dostupné z :
<<https://Arduino.cz/seznamte-s-Arduino-vyvojovym-prostredim/>>
- [17] KŘIVÝ, Ivan a Evžen KINDLER. *Simulace a modelování* [online]. Ostrava, 2001 [cit. 2017-12-06]. Dostupné z:
<<http://vendulka.zcu.cz/Download/Free/SkriptaKindlerMS.pdf>>. Učební texty Ostravské Univerzity. Ostravská Univerzita.
- [18] MALÝ, Martin. Ovládání Arduina v reálném čase z počítače. *Root.cz* [online]. Internet Info, 2011 [cit. 2017-04-04]. ISSN 1212-8309. Dostupné z :
<<https://www.root.cz/clanky/ovladani-Arduina-v-realnem-case-z-pocitace/>>

- [19] MINKS, Patrik. Budoucnost vytváření věcí. *CAD.cz* [online]. Brno: CCB, 2017, **17** [cit. 2017-12-06]. ISSN 1802-6168. Dostupné z: <<https://www.cad.cz/grafika-design/81-grafika-design/7944-budoucnost-vytvareni-veci.html>>
- [20] OPATŘILOVÁ, Dagmar. Grafomotorika a psaní u žáků s tělesným postižením [online]. 1 vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2014 [cit. 2017-08-12]. Elportál. Dostupné z : <<http://is.muni.cz/elportal/?id=1173211>>. ISBN 978-80-210-6769-1 . ISSN 1802-128X.
- [21] PELIKÁN, Daniel. PELIKANDANIEL.COM - Serva. *PELIKANDANIEL.COM* [online]. Pardubice [cit. 2017-08-12]. Dostupné z : <<http://www.pelikandaniel.com/?sec=page&id=22>>
- [22] Produkty SolidWorks. *Solidworks - kompletní 3D softwarové nástroje* [online]. Waltham (Massachusetts): Dassault Systèmes SolidWorks, 2014 [cit. 2017-08-12]. Dostupné z : <<http://www.solidworks.cz/produkty/>>
- [23] ROUSE, Margaret. Definition actuator. In: *TechTarget: IoT Agenda* [online]. Newton: TechTarget, 2017 [cit. 2017-12-05]. Dostupné z: <http://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/actuator>
- [24] Sada aplikací pro stojírenství a výrobu: Obsažený software. *Autodesk.cz* [online]. San Rafael: Autodesk, 2017 [cit. 2017-08-12]. Dostupné z : — <<https://www.autodesk.cz/collections/product-design-manufacturing/included-software>>
- [25] Slovník základních pojmů - v | Svět hardware. *Svethardware.cz* [online]. oXy Online, 2015 [cit. 2017-04-02]. ISSN 1213-0818. Dostupné z : <<http://www.svethardware.cz/slovník/v> >
- [26] *SOLIDWORKS* [online]. Waltham (Massachusetts): Dassault Systèmes SolidWorks, 2014 [cit. 2017-12-06]. Dostupné z: <<http://www.solidworks.cz/>>
- [27] TLACH, Michal. *Optimalizace termoelektrického lineárního aktuátoru* [online]. Brno, 2009 [cit. 2017-12-05]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=16752>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Radek Vlach.

- [28] TŮMA, Ondřej. *Arduino - programování v čistém C (++)*. Linuxsoft [online]. 2011, 1 (1), 1 [cit. 2017-04-01]. ISSN 1801-3805. Dostupné z :
<http://www.linuxsoft.cz/article.php?id_article=1877>
- [29] VODA, Zbyšek. Hack auta s Arduinem? Proč by ne.... In: *Arduino.cz* [online]. Šenov: HW Kitchen, 2017 [cit. 2017-12-04]. Dostupné z: <<https://Arduino.cz/hack-auta-s-arduinem-proc-by-ne/>>
- [30] VODA, Zbyšek. Programování webových rozhraní pro Arduino. *Arduino.cz* [online]. Šenov: HW Kitchen, 2016 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z :
<<https://Arduino.cz/programovani-webovych-rozhrani-pro-Arduino/>>
- [31] VODA, Zbyšek. *Průvodce světem Arduina*. Bučovice: Martin Stříž, 2015. ISBN 978-80-87106-90-7 .
- [32] ZAJAČIK, Michal. Jak se řídí krokové motory? In: *STOMISI: vývoj a výroba elektroniky* [online]. Kladno: Michal Zajačik, 2017 [cit. 2017-12-04]. Dostupné z:
<<http://www.stomisi.cz/jak-se-ridi-krokovye-motory>>

PŘÍLOHY

Příloha A – <i>Zdrojový kód programu MechatronickaRukaPRG.ino</i>	56
Příloha B – <i>Návrh mechatronické končetiny</i>	57
Příloha C – <i>Fyzický prototyp</i>	58
Příloha D – <i>Disk CD</i>	59

Příloha A – Zdrojový kód programu *MechatronickaRukaPRG.ino*

```
#include <Servo.h>

Servo myservo1;
Servo myservo2;
Servo myservo3;
Servo myservo4;

int pos = 0;

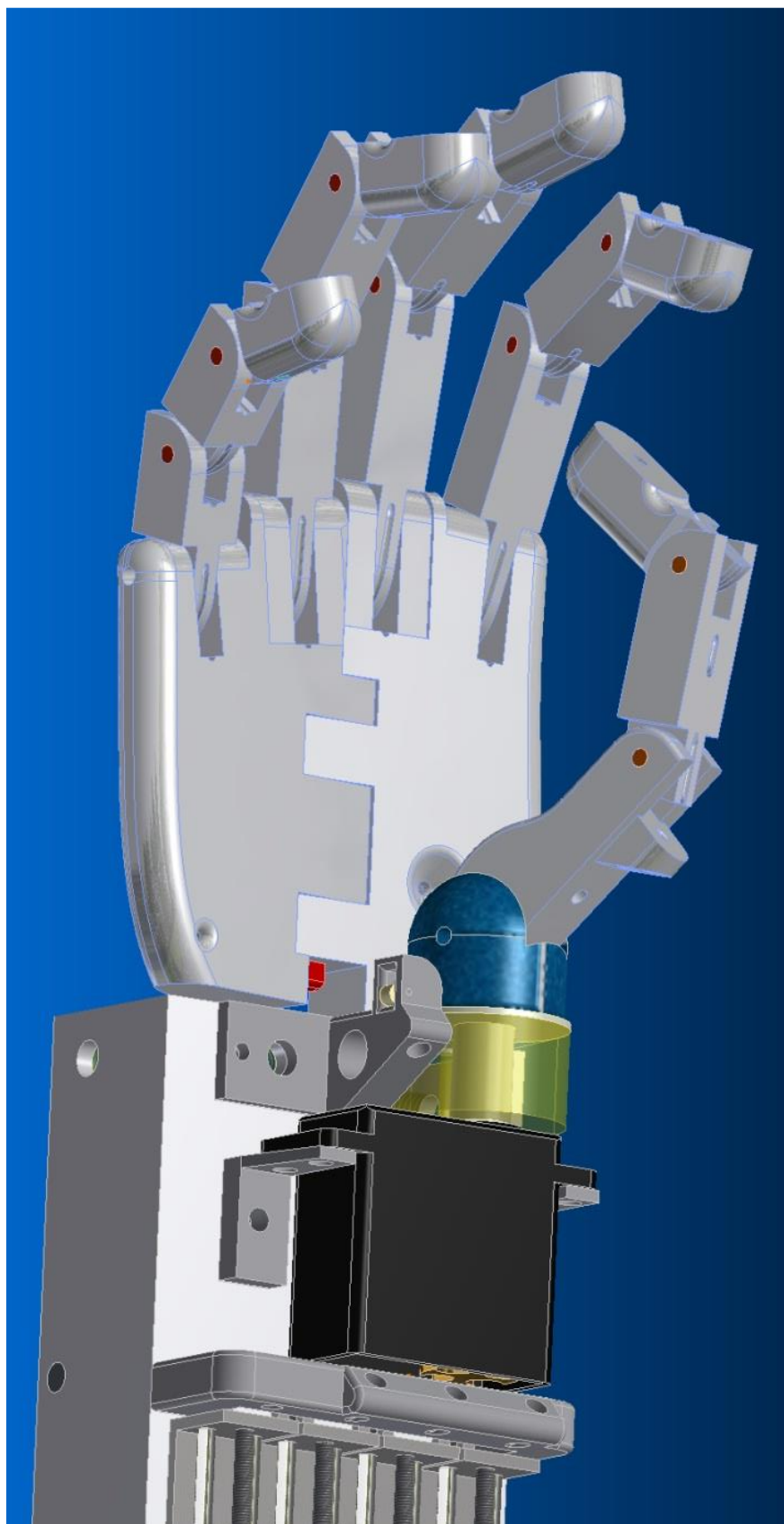
void setup() {

  myservo1.attach(4);
  myservo2.attach(5);
  myservo3.attach(6);
  myservo4.attach(7);
}

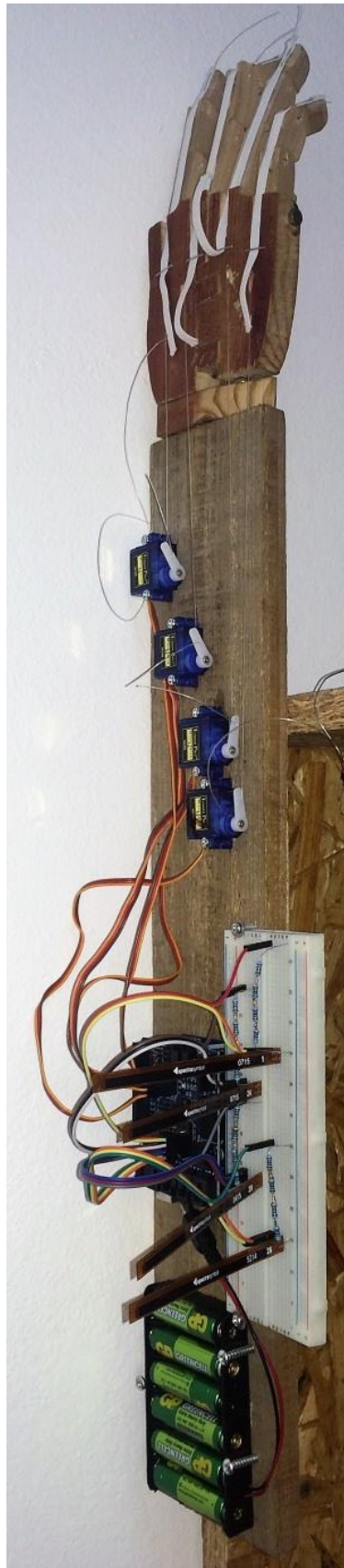
void loop() {

  int h1 = map(analogRead(0), 210, 500, 180, 0);
  int h2 = map(analogRead(1), 210, 500, 180, 0);
  int h3 = map(analogRead(2), 210, 500, 180, 0);
  int h4 = map(analogRead(3), 210, 500, 180, 0);

  myservo1.write(h1);
  myservo2.write(h2);
  myservo3.write(h3);
  myservo4.write(h4);
  delay(20);
}
```



Příloha C – *Fyzický prototyp*



Příloha D – *Disk CD*

- Vlastní text práce – CapekP_Navrh_a_konstrukce_mechatronice_končetiny.pdf
- Zdrojový kód programu pro Arduino – složka Arduino
 - Arduino obsahuje:
 - MechatronickaRukaPRG.ino
- Návrh mechatronické končetiny – složka MechRuka
 - MechRuka obsahuje:
 - Soubor konečné sestavy RukaSestava.iam
 - Soubory dílů a podsestav využitých v RukaSestava.iam
 - Ostatní soubory vytvořené pro návrh a vývoj konečné sestavy