

Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta designu a umění Ladislava Sutnara

Bakalářská práce
Vývoj ortézy / Development
of orthosis

Jan Kudrna

Vedoucí práce: doc. Ing. Václav Kubec, Ph.D.
Katedra konstruování strojů
Fakulta strojní
Západočeské univerzity v Plzni

Plzeň 2023

Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta designu a umění Ladislava Sutnara

Katedra designu

Studijní program Design
Specializace Průmyslový design

Bakalářská práce

**Vývoj ortézy / Development
of orthosis**

Jan Kudrna

Vedoucí práce: doc. Ing. Václav Kubec, Ph.D.
Katedra konstruování strojů
Fakulta strojní
Západočeské univerzity v Plzni

Plzeň 2023

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta designu a umění Ladislava Sutnara
Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jan KUDRNA**
Osobní číslo: **D20B0123P**
Studijní program: **B8208 Design**
Studijní obor: **Design, specializace Průmyslový design**
Téma práce: **Vývoj ortézy**
Zadávající katedra: **Katedra designu**

Zásady pro vypracování

Cílem práce je vytvořit na základě specifikace požadavků ortézu pro léčbu syndromu karpálního tunelu. Vlastnosti ortézy budou vycházet z doporučení pro léčbu tohoto onemocnění a umožní využití ortézy v celém průběhu léčby.

Výstup: 3D model (měřítko vplyne v průběhu realizace), plakát minimálně A2, brožura

Rozsah bakalářské práce: minimálně 3 normostrany

Umělecký konzultant: Mgr. art. Jan Korabečný

Rozsah teoretické části: **min. 3 normostrany textu**
Rozsah praktické části: **vyplyne ze zpracování BP**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- 1] ČIHÁK, Radomír. Anatomie. 2., upr. a dopl. vyd. Ilustroval Milan MED, ilustroval Ivan HELEKAL. Praha: Grada, 2004. ISBN 80-7169970-5.
- 2] GILBERTOVÁ, Sylva a Oldřich MATOUŠEK. Ergonomie: optimalizace lidské činnosti. Praha: Grada, 2002. ISBN 80-247-0226-6.

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Václav Kubec, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů

Konzultant bakalářské práce: **Mgr. art. Jan Korabečný**
Katedra designu

Datum zadání bakalářské práce: **31. května 2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **28. dubna 2023**



L.S.

MgA. Vojtěch Aubrecht v.r.
děkan

Doc. akademický malíř František Steker v.r.
vedoucí katedry

V Plzni dne 8. září 2022

Čestné prohlášení

„Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.“

V Plzni dne 28. 4. 2023

Podpis autora

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat doc. Ing. Václavu Kubcovi, Ph.D. za jeho odborné vedení a pomoc při zpracování mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Mrg. Art. Janu Korabečnému, Ing. Vítu Nováčkovi a Mgr. Simoně Bartošové za odbornou pomoc a poskytnuté rady. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině, která mě podporovala po celou dobu mého studia.

Vývoj ortézy

Abstrakt

Tato bakalářská práce je zaměřena na problematiku syndromu karpálního tunelu. Zahrnuje teoretický úvod, který obsahuje anatomické poznatky, možnosti vzniku a příznaky onemocnění a léčbu tohoto syndromu.

Hlavním cílem práce je vytvořit funkční designový prototyp ortézy pro pacienty trpícím syndromem karpálního tunelu.

Klíčová slova: Onemocnění ruky, syndrom karpálního tunelu, funkční design, ortéza

Development of orthosis

Abstract

This graduation work is focused on the problems of carpal tunnel syndrome. It includes a theoretical introduction that includes anatomical options, the possibility of the onset and symptoms of the disease, and the treatment of the syndrome.

The main objective of this work is to create a functional design prototype of an orthosis for patients suffering from carpal tunnel syndrome.

Keywords: Hand diseases, carpal tunnel syndrome, functional design, orthosis

Obsah

1. Úvod.....	11
2. Cíl práce a metodika.....	12
3. Rešerše.....	13
3.1 Lidská ruka	13
3.2 Anatomie karpálního tunelu	14
3.3 Syndrom karpálního tunelu	15
3.4 Příčina syndromu karpálního tunelu	15
3.5 Stupně postižení.....	16
3.6 Současná řešení dostupná na trhu.....	17
4. Tvorba designu	19
4.1 Poznatky k tématu z praxe.....	19
4.2 Počáteční návrh technického a designového řešení	20
4.3 Idea nastavitelné tvrdosti ortézy	21
4.4 Prvotní návrhy.....	22
4.5 Návrhy po odborné konzultaci	23
4.6 Materiál.....	24
4.7 Schéma.....	25
4.8 Výpočet materiálového namáhání.....	27
4.9 Tvorba modelu	28
5. Finální design	38
5.1 Příklady použití.....	41
6. Závěr	42
7. Seznam použitých zdrojů	44
7.1 Bibliografie.....	44
7.2 Webové zdroje	45

Seznam obrázků

Obrázek č. 1 Stavba karpálního tunelu	13
Obrázek č. 2 Látková ortéza	17
Obrázek č. 3 Látková ortéza s výztuží	18
Obrázek č. 4 Skeletová ortéza	18
Obrázek č. 5 Poskytnutý pomocný rozbor ruky	19
Obrázek č. 6 Návrh tvarového řešení	20
Obrázek č. 7 Idealizace nápadu	21
Obrázek č. 8 Návrh designu ortézy (zasouvací destička)	22
Obrázek č. 9 Návrh designu ortézy (destička přichycená šroubky)	22
Obrázek č. 10 Návrh designu ortézy (magnetické uchycení)	23
Obrázek č. 11 Schéma horní část	25
Obrázek č. 12 Schéma dolní část	25
Obrázek č. 13 Schéma spojovací destička	26
Obrázek č. 14 Prototyp (1. verze)	28
Obrázek č. 15 Prototyp (2. verze)	29
Obrázek č. 16 Prototyp (3. verze)	30
Obrázek č. 17 Rendery ortézy	31
Obrázek č. 18 3D tištěné součástky	32
Obrázek č. 19 Povrchová úprava součástek	31
Obrázek č. 20 Tvarování destiček	32
Obrázek č. 21 Uchycení magnetu	33
Obrázek č. 22 Výroba pásků	33
Obrázek č. 23 Výroba polstrovaní	34
Obrázek č. 24 Výsledný prototyp	38
Obrázek č. 25 Výsledný prototyp (přední pohled)	39
Obrázek č. 26 Výsledný prototyp (boční pohled)	40
Obrázek č. 27 Příklady používání ortézy 1	41
Obrázek č. 28 Příklady používání ortézy 2	42

1. Úvod

Syndrom karpálního tunelu je nejčastější mononeuropatií a zároveň nejčastějším onemocněním z povolání. Tento problém vzniká vlivem dlouhodobého, nadměrného a jednostranného přetěžování ruky a zápěstí, což způsobuje kompresi nervu v oblasti zápěstí.

Práce je rozdělena na dvě části - rešeršní a designovou. První část je zaměřena na anatomii, fyziologii a morfologii související s touto poruchou. Jedním z cílů teoretické části je shrnout poznatky o diagnóze syndromu karpálního tunelu a stupních poškození, a vysvětlit možné příčiny tohoto poškození.

Druhá část je věnována návrhu a testování prototypu ortézy, která by měla pomoci pacientům v každém stádiu onemocnění.

2. Cíl práce a metodika

Cílem této bakalářské práce je vytvořit funkční prototyp ortézy pro pacienty trpící syndromem karpálního tunelu. Výstupem diplomové práce je vytvoření designu ortézy a funkčního prototypu.

V teoretické části byla využita metoda sběru dat, jako například studium české a zahraniční odborné literatury a internetových zdrojů, které se týkaly dané problematiky. V praktické části bylo využito poznatků z praxe (odborné konzultace ve společnosti Prothetika a NTC). Technické řešení bylo realizováno v rámci ateliéru Průmyslový design za odborné podpory vedoucího práce a konzultanta.

3. Rešerše

3.1 Lidská ruka

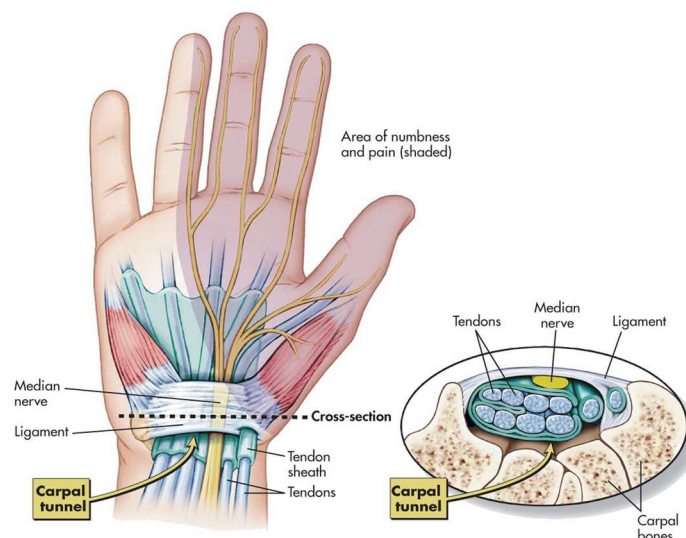
Ruka (lat. manus) je nejvzdálenější oddíl horní končetiny lidského těla, který umožňuje interakci jedince s okolím a manipulaci s předměty. Základním projevem ruky je schopnost úchopu umožněná díky palci protistojnému oproti ostatním prstům.

Ruka se skládá ze zápěstí a 5 prstů a umožňuje pohyby – otočení dlaně (palmy) ventrálním (dopředu) a dorsálním (dozadu) směrem. V základním anatomickém postavení směřují dlaně ventrálně (dopředu). Ruka je spolu s mozkem a okem nejdůležitější nástroj, díky kterému člověk vstupuje do interakce se svým okolím. Funkce ruky plní řadu funkcí, například kognitivní a zrakově prostorovou.

Většina lidí používá častěji pravou ruku a těmto lidem se říká praváci. Menšina populace používá častěji levou ruku a těmto lidem se říká leváci. Přednostní užívání levé nebo pravé ruky je jednou z dimenzí laterality.

„Lidská ruka je obdivuhodný, jedinečný a mnohostranný orgán pohybu“ (Rohen, 1991).

Obrázek č. 1 Stavba karpálního tunelu



Zdroj: The Orthopedic Institute | Published November 7, 2016

3. 2 Anatomie karpálního tunelu

Karpální tunel je kostěno-vazivová struktura (obrázek č. 1). Jeho dno a okraje tvoří zápěstní kosti, v proximální a distální řadě. Proximální řadu tvoří: os scaphoideum, os lunatum, os triquetrum a os pisiforme. Distální řadu pak os trapezium, os trapezoidem, os capitatum a os hamatum. (Čihák, 2001)

Karpální tunel je vymezený z dlaňové strany příčně probíhajícím silným vazivovým pruhem (tzv. retinaculum flexorum) a z dorzální strany zápěstními kůstkami. Vazivový pruh se anatomicky dělí na ligamentum carpi transversum a ligamentum carpi volare. Lig. carpi volare se rozpíná mezi radiálním a karpálním kostěným výběžkem, z horní strany s ním srůstá šlacha m. palmaris longus. Lig. carpi transversum se rozkládá od tuberculum ossis navicularis manus až k os pisiforme a k hamulus ossis hamati (Mrzena, 2005).

Prostorem karpálního tunelu probíhají šlachy dlouhých flexorů, společnou šlachovou pochvu zde mají i flexory prstů a samostatnou šlachovou pochvu zde má dlouhý flexor palce. Významnou strukturou, která v karpálním tunelu probíhá, jsou dva nervy – medianus a ulnaris. N. medianus se nachází ulnárně od šlachy flexor carpi radialis. Nahoře je v celém svém průběhu krytý lig. carpi volare a transversum. N. ulnaris je uložen proximálně. Podbíhá ligamentum carpi volare radiálně od šlachy flexor carpi ulnaris, dále pod ním zůstávají šlachy povrchového ohýbače. Tento nerv ve svém distálnějším průběhu karpální tunel opouští. Štěrbinou mezi volárním a transverzálním vazem proniká společně s vasa ulnaria nad lig. carpi transversum. Svrchní bariérou jsou tedy dva vazy, které se v klinické praxi tak nerozlišují. Význam rozlišení je v tom, že n. medianus probíhá celým prostorem karpálního tunelu (Mrzena, 2005).

3. 3 Syndrom karpálního tunelu

Syndrom karpálního tunelu (dále jen SKT) je nejčastější mononeuropatií a zároveň nejčastější nemocí z povolání, se kterou se může lékař ve své praxi setkat. Jde o kompresivní neuropatii v oblasti zápěstí, která vzniká vlivem dlouhodobého, nadměrného a jednostranného přetěžování ruky a zápěstí, vlivem vibrací přenášených na ruce, nebo k němu vedou onemocnění, jako je diabetes mellitus či tyreopatie. Subjektivně se nejčastěji projevuje paresteziemi/dysesteziemi 1. až 4. prstu a objektivně atrofií vnější porce thenaru. Postižení se kvantifikuje pomocí elektromyografie. Středně těžký stupeň onemocnění je hranicí, která spolurozhoduje o konzervativním versus operačním postupu a tento stupeň je vyžadován k uznání nemoci z povolání (Neurol. praxi 2014; 15(5): 234–239).

3. 4 Příčina syndromu karpálního tunelu

Syndrom karpálního tunelu se vyskytuje častěji u žen než u mužů v poměru až 4:1. Vyšší výskyt je podmíněn věkem. U žen se objevuje syndrom karpálního tunelu nejčastěji ve středním věku (mezi 40. - 50. rokem) a u mužů až po 60. roce života.

SKT může být klasifikován i jako choroba z povolání, kterou se označujeme jako profesionální syndrom karpálního tunelu (dále jen PSKT). Nejčastějšími příčinami vzniku PSKT jsou repetitivní a namáhavé pohyby rukou, vibrace, snížená schopnost natrénovat určitý motorický stereotyp nebo přecvičení zafixovaného stereotypu. Dříve se PSKT typicky objevoval u profese ruční dojičky. Z dalších povolání je nutno zmínit stereotypní práci s myší počítače, dlouhotrvající práci se šroubovákem, kleštěmi, zahradními nůžkami, vibračními nástroji (motorová pila) a velmi ohroženou skupinou jsou i hudebníci (Ehler, Amber, 2002; Smrčka aj., 2007).

3. 5 Stupně postižení

Klinické projevy v pokročilejších stádiích choroby se od sebe do jisté míry liší symptomy. Rozlišujeme 3 stupně.

1. Lehký stupeň

Lehký stupeň stanovíme, jsou-li symptomy výše uvedené vybavitelné provokačními manévry, nebo objeví-li se hypersenzitivita v distribuční zóně nervi mediani po stimulaci vibracemi (Smrčka, Vybíhal, & Němec, 2007). Charakteristické jsou i noční bolesti, které pacienty budí ze spánku, pocity „těžké ruky“ nebo bolest vystřelující od zápěstí k rameni s typickým brněním v ruce a prstech známá jako brachialgia paresthetica nocturna. Ze zkušeností pacientů k odeznění bolesti a pocitu tuhosti ruky po ránu slouží její vytřepání. V lehkém stádiu není patrný otok končetiny (Ghasemi-rad, M. et al, 2014).

2. Středně těžký stupeň

Středně těžký stupeň charakterizuje snižování síly svalů thenaru vedoucí až k jeho hypotrofii. Pozorujeme pokles schopnosti vibračního cití nebo stejně jako předchozí, pozitivní provokační testy (Smrčka, Vybíhal, & Němec, 2007). Symptomy se objevují v tomto stádiu už i v průběhu dne a jsou markantnější při repetitivně prováděných činnostech ruky a zápěstí nebo při dlouhotrvajícím setrvání v jedné pozici. Náročnější je také manipulace s předměty, které často vypadávají ze slabého úchopu postižené ruky (Ghasemi-rad, M. et al, 2014).

3. Těžký stupeň

Na těžký stupeň poukazuje především atrofie jdoucí ruku v ruce se snížením bolesti, senzitivními projevy nezlepšujícími se ani po vytřepání. Patrná je také porucha dvoubodové diskriminace a nepochybné paretické příznaky (Smrčka, Vybíhal, & Němec, 2007).

3. 6 Současná řešení dostupná na trhu

Odborná veřejnost se již pokoušela najít řešení pro tuto nemoc pomocí různých druhů a modelů ortéz. V praxi můžeme identifikovat tři hlavní skupiny. První skupinu tvoří tzv. látkové ortézy, které slouží spíše jako opora než fixace. Druhou skupinu tvoří ortézy s výztuží, které používají sendvičový model. Tento typ kombinované ortézy je látková ortéza s integrovanou výztuží v podobě kovové nebo plastové vložky. Poslední skupinou jsou skeletové ortézy, které jsou výhradně moderní záležitostí.

1. Látková ortéza

Tento typ ortézy je ve formě pleteniny, která je plně přizpůsobena zápěstí a její účinek je podporován a fixován páskou. Díky stabilizujícímu účinku bandáže se omezuje pohyb zápěstí, avšak ne zcela. To umožňuje úlevu svalům předloktí a úponům šlach. Tento typ ortézy se obvykle používá v lehkých stadiích onemocnění.

Obrázek č. 2 Látková ortéza



Zdroj: internet – <https://www.sanomed.cz/karpalni-tunel>

2. Látková ortéza s výztuží

Tento druh ortézy kombinuje látkový materiál s plastovou nebo kovovou vložkou, která zajišťuje pevnost dlahy. Ortéza je obvykle fixována páskou ze suchého zipu pro nastavitelnost velikosti a její účinek je tím podporován. I přesto, že omezuje pohyb zápěstí, je komfortní při nošení. Tento model se používá zejména v pokročilých stádiích léčby.

Obrázek č. 3 Látková ortéza s výztuží



Zdroj: internet – <https://www.sanomed.cz/karpalni-tunel>

3. Ortéza se skeletem

Poslední typ ortézy kombinuje látkový materiál s plastovou nebo kovovou vložkou, která poskytuje dlaze pevnost. Ortéza je obvykle fixována pomocí suchého zipu, který umožňuje nastavení velikosti. Přestože tento druh ortézy omezuje pohyb zápěstí, je při nošení pohodlný. Využívá se především v pokročilých stádiích léčby.

Obrázek č. 4 Skeletová ortéza



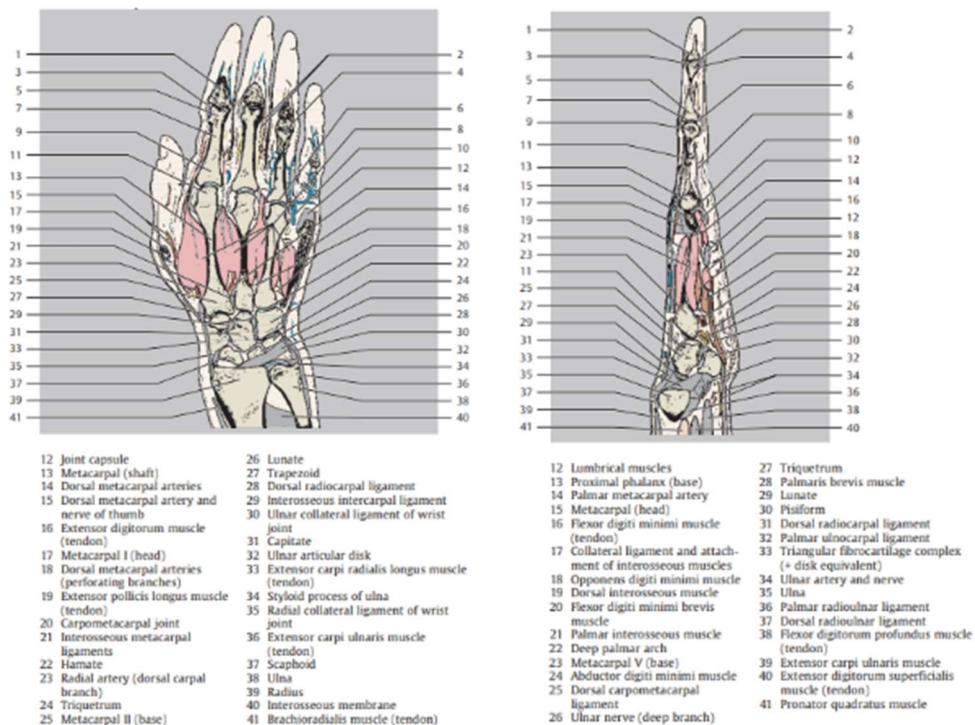
Zdroj: internet – <https://www.sanomed.cz/karpalni-tunel>

4. Tvorba designu

4.1 Poznátky k tématu z praxe

Během sběru informací pro tvorbu vlastního návrhu jsem konzultoval problematiku s několika odborníky z praxe, aby mi pomohli posoudit, zda se má idea ubírat správným směrem. Prvním z oslovených odborníků byl pan Ing. Vít Nováček, zaměstnanec výzkumného pracoviště NTC, které se zaměřuje na vývoj teoretických metod pro popis elektronické struktury pevných látek a interpretaci experimentálních elektronových spekter. Jedná se o špičkové pracoviště zaměřené na fotoemise s rozlišením úhlu otáčení a na studium a design pokročilých materiálů s novými funkcemi. Na tomto pracovišti jsem si mohl rozšířit obzory o mechanismech a fungování ruky. Dalším odborným pracovištěm, které jsem navštívil a problematiku ortézy konzultoval, byla společnost Prothetika, kde jsem navázal spojení s paní Mgr. Simonou Bartošovou, která se specializuje na výrobu a výzkum protéz a ortéz končetin.

Obrázek č. 5 Poskytnutý pomocný rozbor ruky

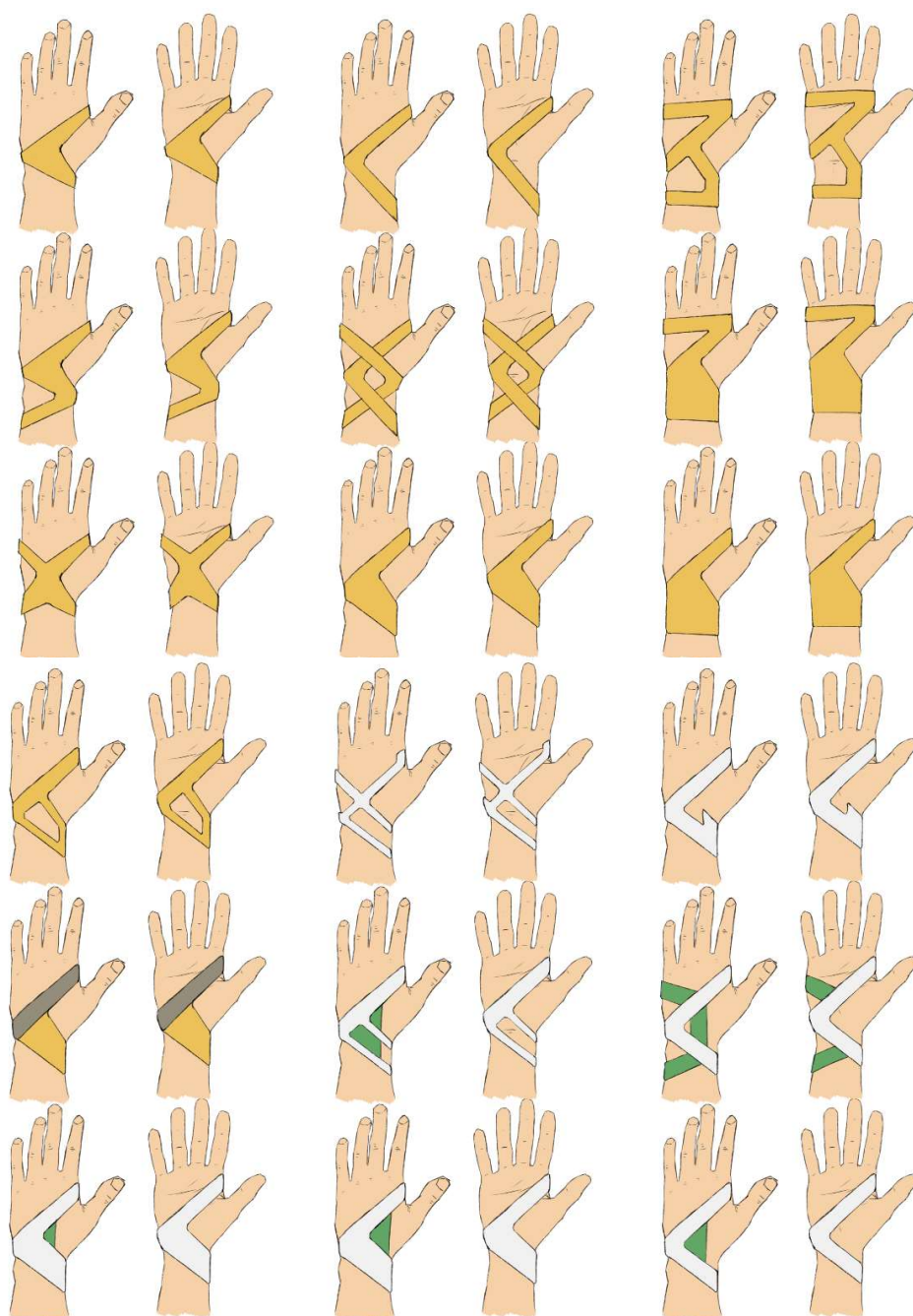


Zdroj: Pocket Atlas of Sectional Anatomy

4. 2 Počáteční návrh technického a designového řešení

V první fázi jsem se zaměřil na tvar, který by jasně definoval ortézu. Při testování možných variantních konstrukčních řešení tvarů daného návrhu, se řada jevila velice designově zajímavé, bylo však zjištěno, že nejsou technicky proveditelné s ohledem na principy fungování zápěstí ruky. Tato fáze vedla k odhalení podmínek, které je nezbytné zahrnout pro správnou funkci a tvar ortézy.

Obrázek č. 6 Návrh tvarového řešení



4. 3 Idea nastavitelné tvrdosti ortézy

Kromě designového řešení se bylo nutné vypořádat s technickým řešením tuhosti použitých součástí, které ovlivňují případnou hybnost ortézy. Jednalo se o implementaci pevné výměnné destičky (plátu), která by umožňovala individuální přizpůsobení ortézy potřebám pacienta a jeho konkrétnímu stupni postižení. V návrhu jsem pracoval se 3 typy, které jsem barevně odlišil. **Zelená destička** by poskytovala jen lehkou podporu zápěstí, zatímco **žlutá destička** by byla pevnější a poskytovala by větší oporu. **Červená destička** by pak zcela znehybnila ruku. Pro technické řešení návrhu bylo důležité, aby výměna destiček byla snadná a rychlá, a aby pacientovi umožnila komfortnímu přizpůsobení aktuálním potřebám.

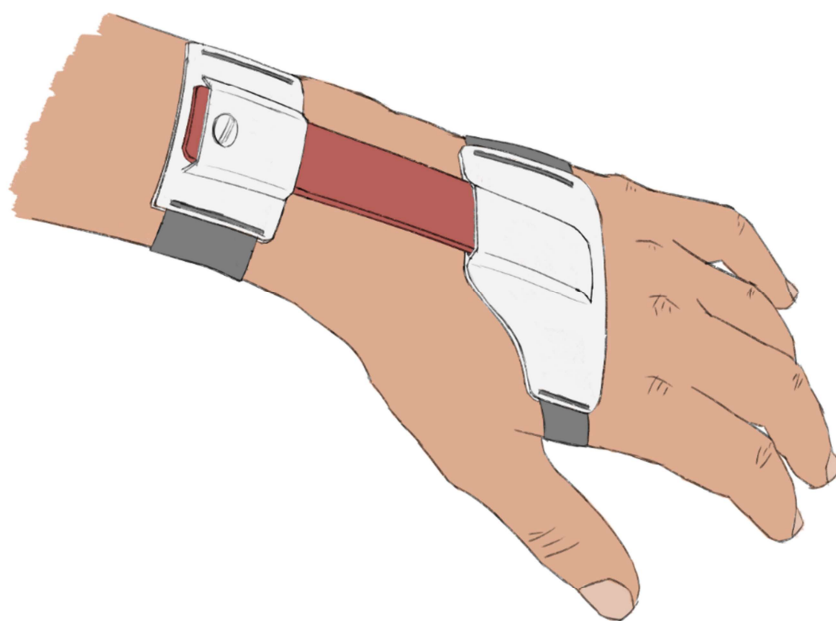
Obrázek č. 7 Idealizace nápadu



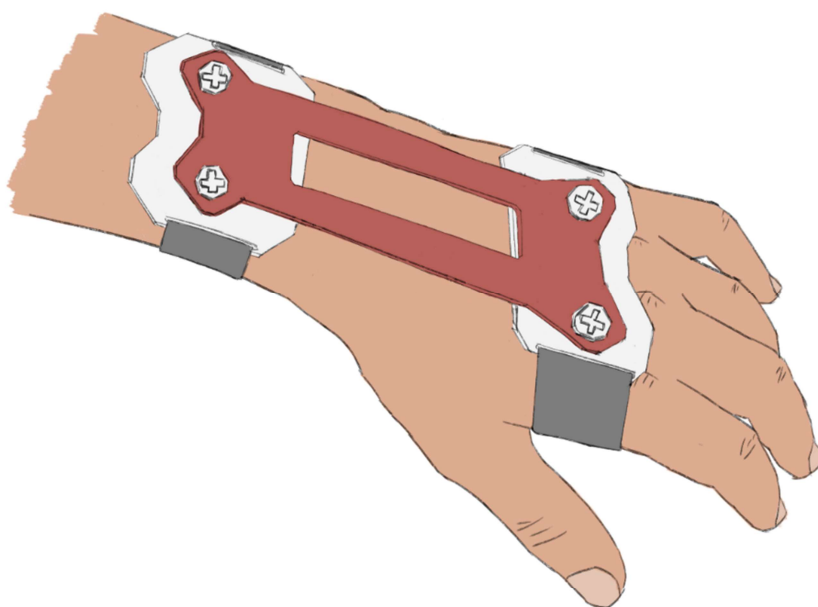
4. 4 Prvotní návrhy

Navržená ortéza se skládá ze dvou pevných částí a spojovací destičky. Propojení mezi destičkou a pevnými částmi je zajištěno pomocí šroubů, které udržují části pevně spojené. Tyto pevné části jsou následně upevněny k ruce pomocí látkových popruhů s nastavitelnou délkou.

Obrázek č. 8 Návrh designu ortézy (zasouvací destička)



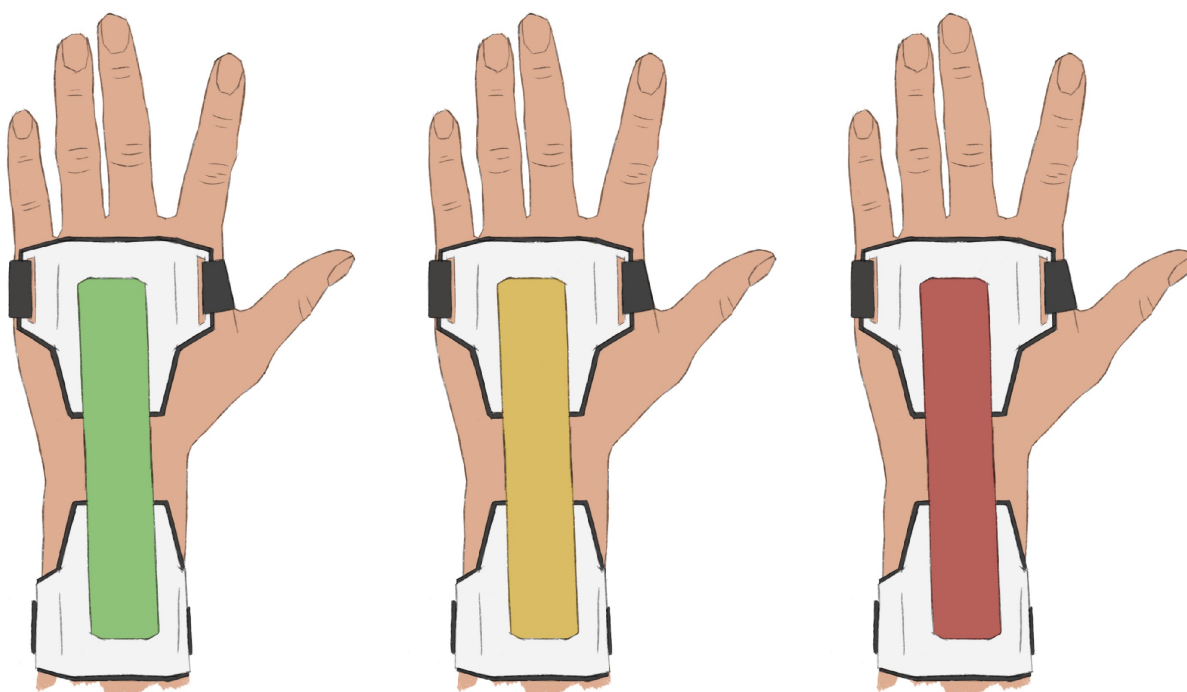
Obrázek č. 9 Návrh designu ortézy (destička přichycená šroubky)



4. 5 Návrhy po odborné konzultaci

Během konzultace s Mgr. Simonou Bartošovou jsem získal informace, které jsem potřeboval zahrnout do svého návrhu ortézy. Jedním z nich bylo, že ruka by měla být polohována pod úhlem 45 stupňů, což by minimalizovalo tlak na karpální tunel od ostatních cév. Materiál, který bude použit, by měl být přiléhavý, zároveň měkký, aby nedráždil kůži. Takovýmto materiálem může být např. lékařská pěna. Také jsme zvažovali nápad použití magnetického spojení místo šroubků, abychom minimalizovali mechanické zásahy do ortézy (např. instalace a mechanické utahování šroubů). Tento nápad se jevil jako technicky nejefektivnější a byl dále rozpracováván.

Obrázek č. 10 Návrh designu ortézy (magnetické uchycení)



4. 6 Materiál

Při rozhodování, který materiál použít, jsem se konzultoval se svým vedoucím práce, doc. Ing. Václavem Kubcem, Ph.D. Prozkoumali jsme různé mechanismy a možnosti materiálů, s ohledem na jejich vliv na funkčnost i cenu výsledného produktu.

1. Hlavní kostra

Pro výrobu hlavní kostry by byl použit pružný plast vytvořený z 3D tisku. Tento materiál by umožnil ortéze lepší přizpůsobení se ruce a zároveň by jí umožnil přilnout jí po celé ploše.

2. Uchycení dílů

Pro spojení hlavní kostry a pomocné destičky byl použit neodymový magnet. Tento magnet má tu výhodu, že je menších rozměrů a zároveň dostatečně silný, aby udržel součástky pevně spojené.

3. Pomocná destička

Pro výrobu jednotlivých destiček byly použity různé druhy pružných plastů z 3D tisku. Variace plastů byly vybrány pro názornou ukázkou odolnosti při konstrukčním řešení ortézy.

4. Nastavitelné pásy

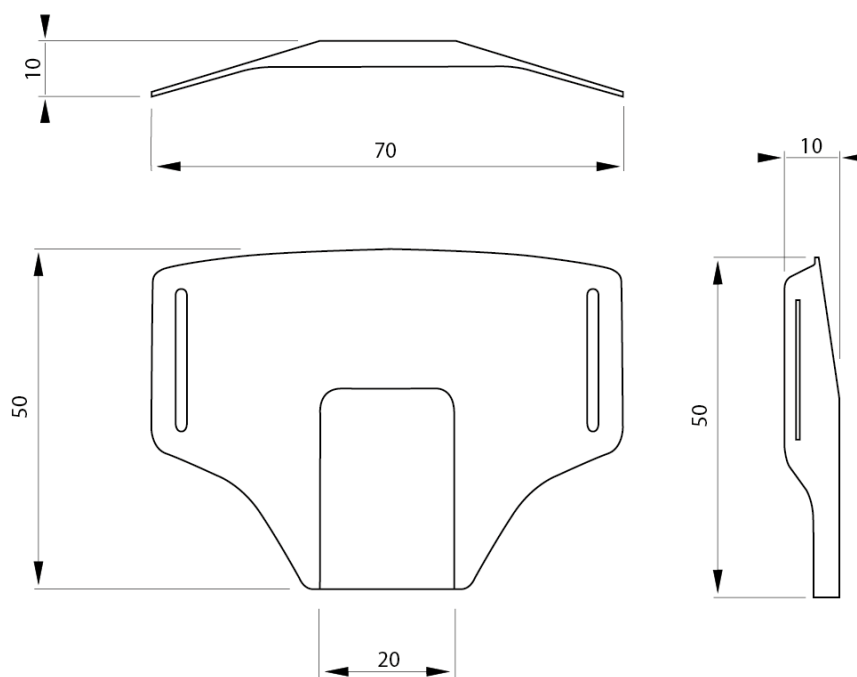
Pro výrobu nastavitelných pásek byl použit nízko profilový pásek ze suchého zipu. Tento druh pásku má tu výhodu, že zip lze uchytit po celé jeho délce, takže není nutné vytvářet jednotlivé oblasti pro uchycení. Uživatel si tak může pásek přizpůsobit dle svých potřeb a upnout ho tam, kde je to nejvhodnější.

5. Polstrování

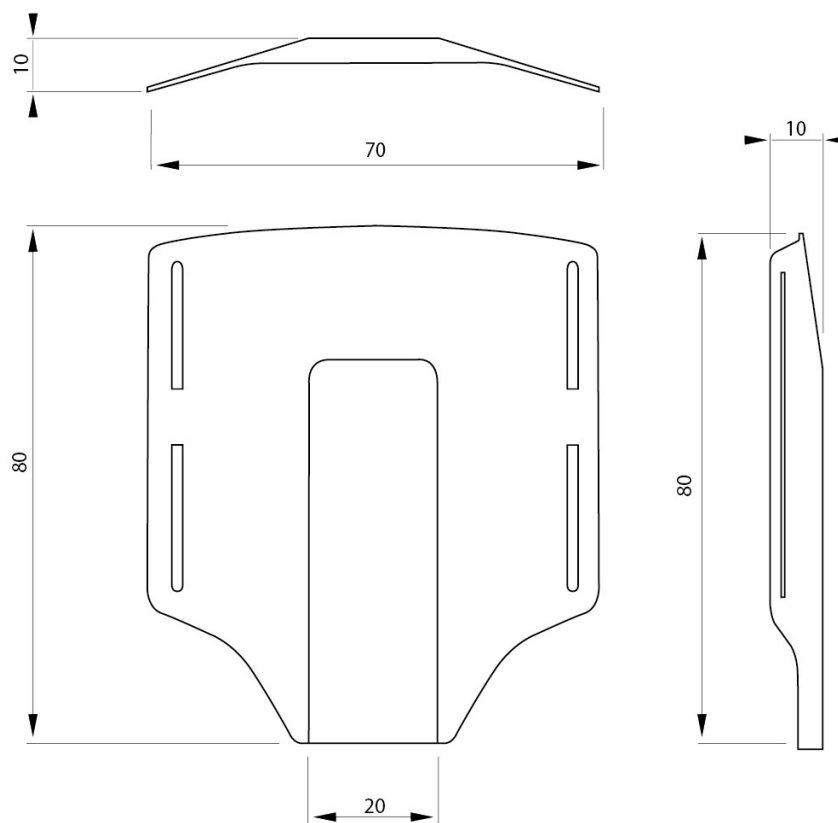
Pro polstrování ortézy byla použita neoprenová pěna. Tento materiál má tu výhodu, že lépe přilne k ruce uživatele a zároveň je prodyšný, což minimalizuje nadměrné pocení ruky.

4. 7 Schéma

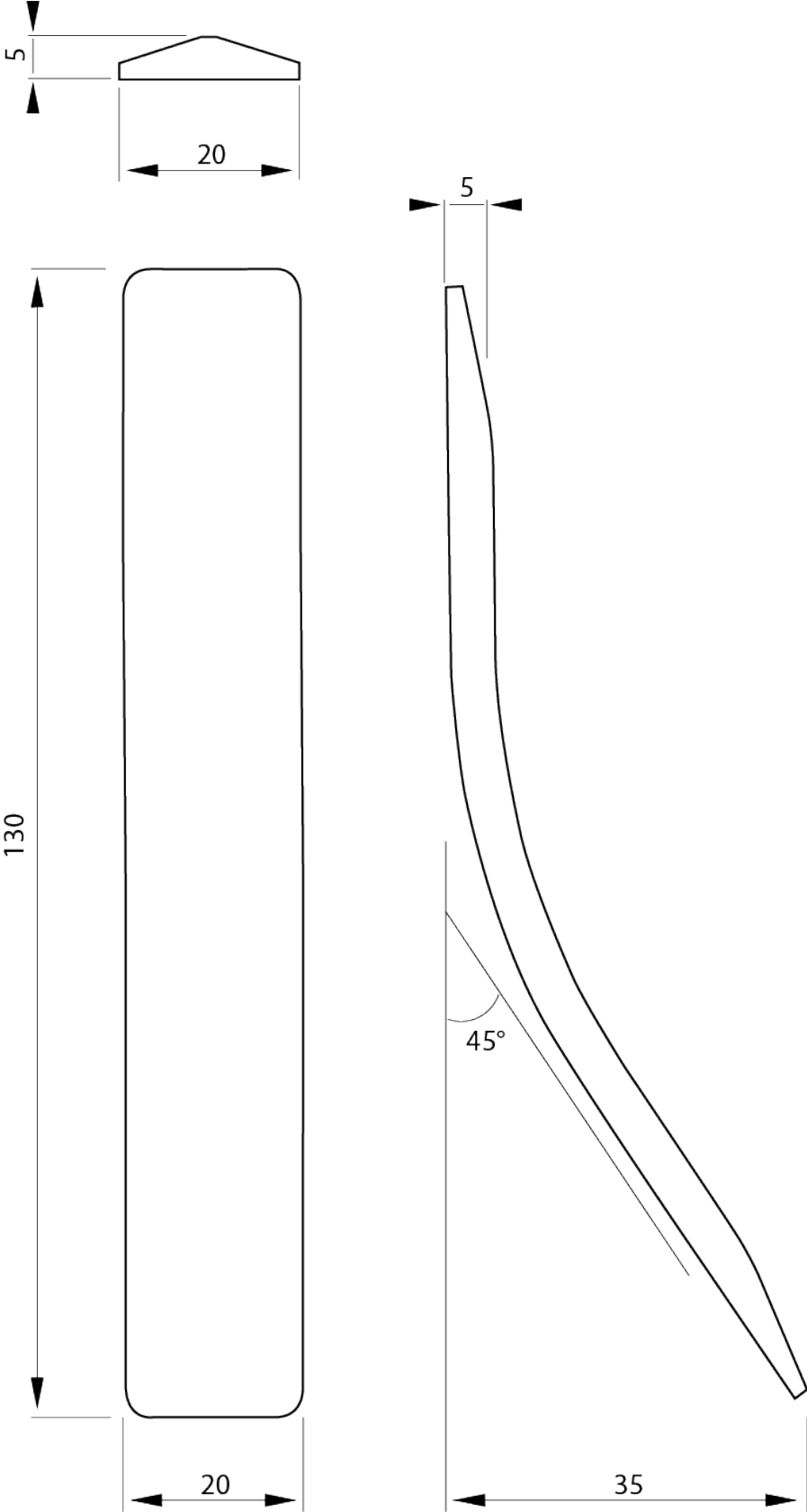
Obrázek č. 11 Schéma horní část



Obrázek č. 12 Schéma dolní část



Obrázek č. 13 Schéma spojovací destičky



4. 8 Výpočet materiálového namáhání

Pro určení potřebné tuhosti materiálu pro výrobu výměnné části ortézy jsem prováděl výpočet namáhané části. Vzhledem k tomu, že je výměnná destička nejvíce namáhána na ohyb, spočítali jsme ji jako zjednodušený obdélníkový vetknutý nosník, který je zatížen silou na konci.

tloušťka (H)	6 mm
šířka (B)	20 mm
délka (L)	130 mm
Síla (F)	6 kg (60 N)

Kvadratické moment průřezu:
$$J_o = \frac{1}{12} \times B \times H^3 = \frac{1}{12} \times 20 \times 6^3 = 360 \text{ mm}^4$$

Modul odporu v pohybu:
$$W_o = \frac{1}{6} \times B \times H^2 = \frac{1}{6} \times 20 \times 6^2 = 120 \text{ mm}^3$$

Výpočet maximálního napětí a průhybu byl proveden pro destičku ortézy. Pro tento účel byl použit referenční materiál - plast s názvem Innovatefil, který se obvykle používá na výrobu stavebních přileb. Tento materiál byl zvolen, protože by z něj mohla být vytvořena nejpevnější destička.

Modul pružnosti (E)	90 000 MPa
Mez kluzu v tahu (Re)	80 MPa
Mez pevnosti v tahu (Rm)	130 MPa

Maximální napětí:
$$\sigma = \frac{F \times L}{W_o} = \frac{60 \times 130}{120} = 65 \text{ MPa}$$

Bezpečnost k mezi kluzu:
$$s = \frac{R_e}{\sigma} = \frac{80}{65} = 1,23$$

Průhyb:
$$w = \frac{F \times L^3}{3 \times E \times J_o} = \frac{60 \times 130^3}{3 \times 90000 \times 360} = 1,35 \text{ mm}$$

Jelikož určení meze pevnosti u plastových materiálů je poměrně složité, byl výpočet proveden pouze pro nejtvrďší variantu, pro kterou bylo možné získat všechny potřebné informace.

Pro dosažení vyšší tuhosti zbylých destiček by bylo možné dále pracovat s příčným průřezem (plný versus dutý průřez, případně částečně vyplněný). Toto by bylo řešeno experimentálně na míru každému uživateli.

4. 9 Tvorba modelu

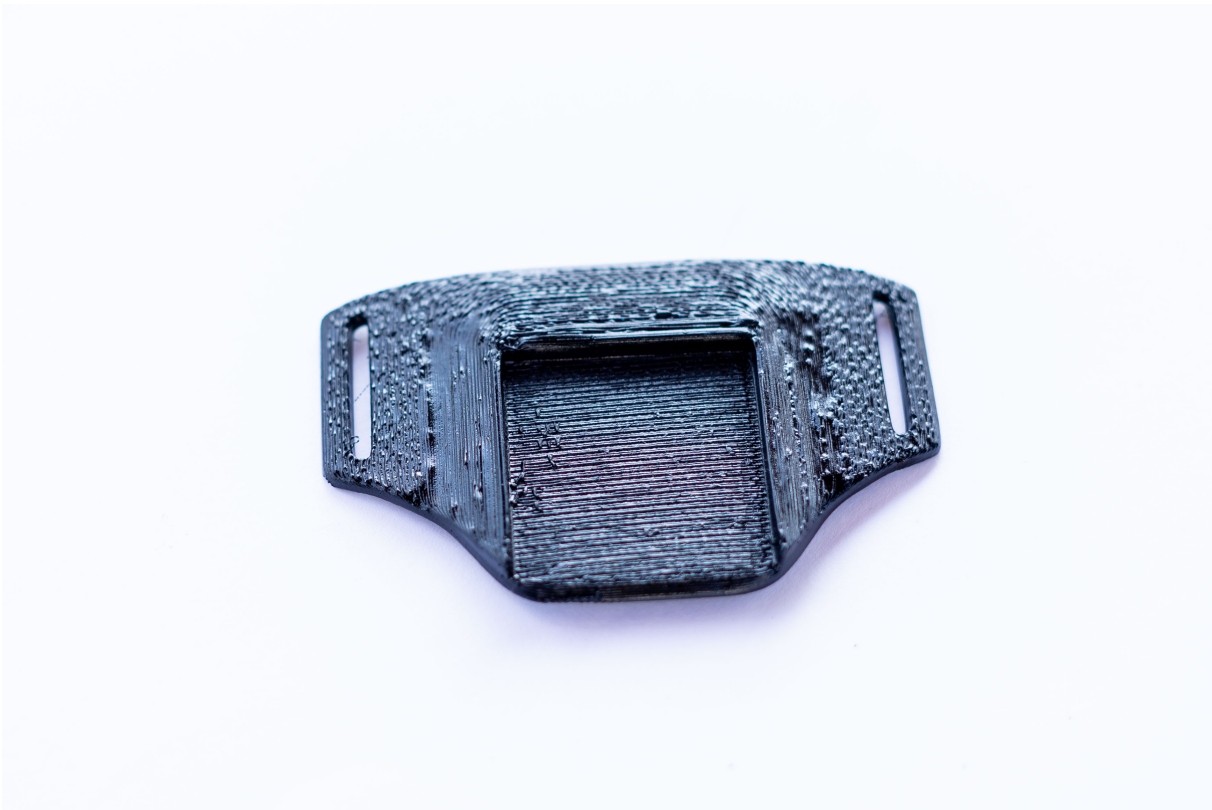
Při vývoji ortézy s přesným přiléháním ke končetině jsem musel vytvořit několik prototypových modelů, abych určil správný poměr velikostí stran a úhlu naklonění ortézy. Tyto prototypy mi umožnily získat zpětnou vazbu a uplatnit poznatky při tvorbě výsledného modelu.

1. Prototypy

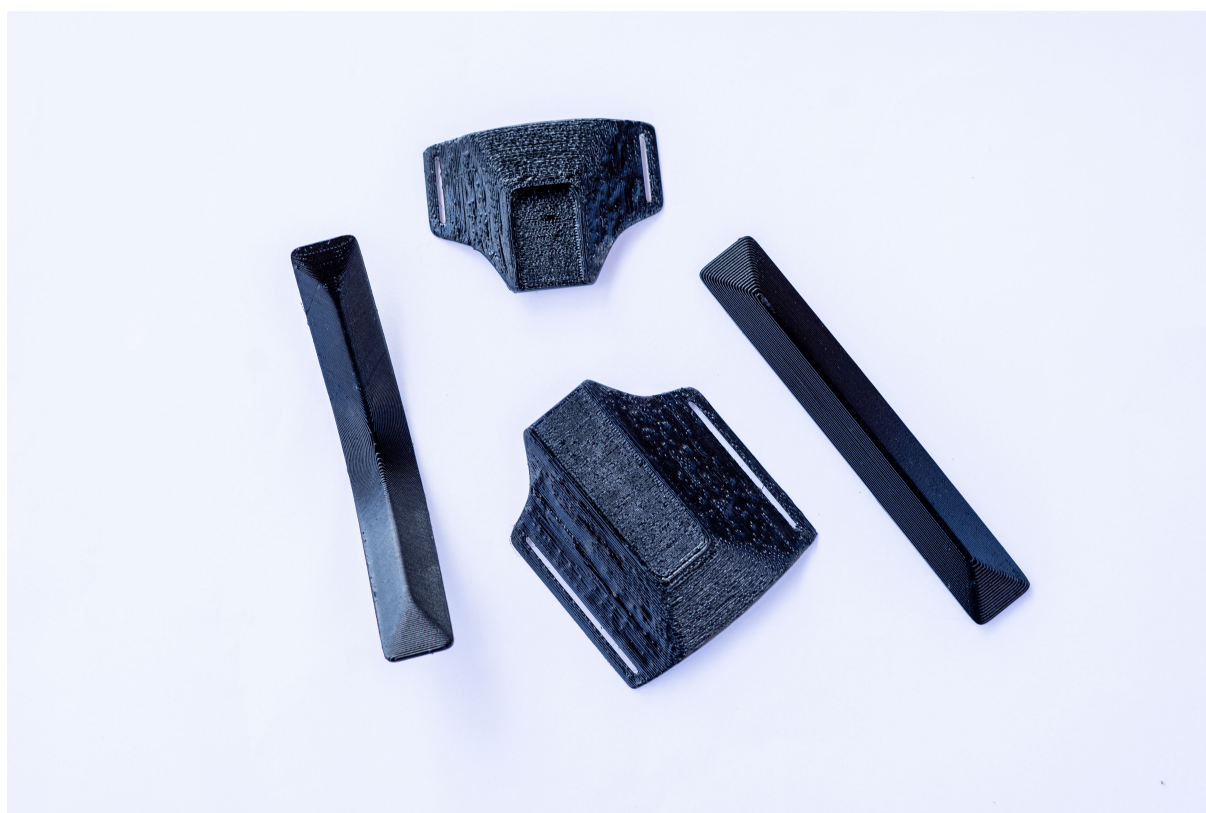
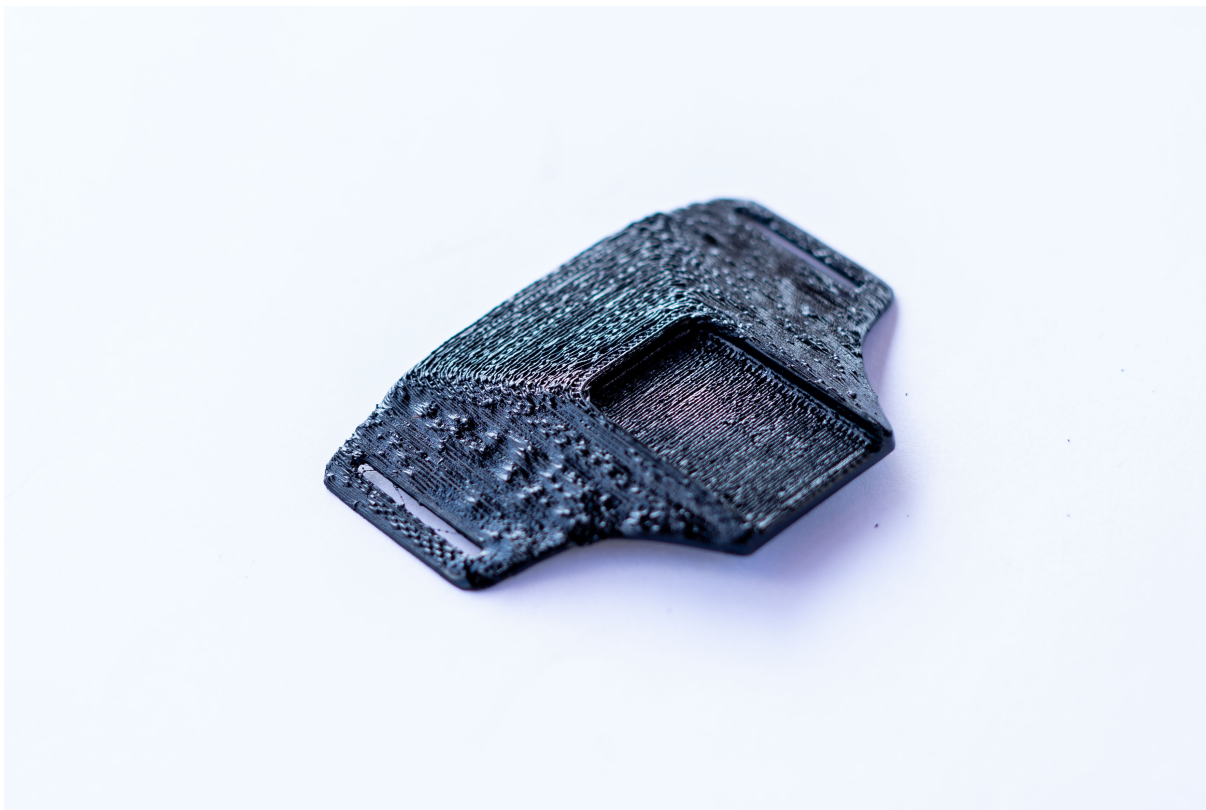
Obrázek č. 14 Prototyp (1. verze)



Obrázek č. 15 Prototyp (2. verze)



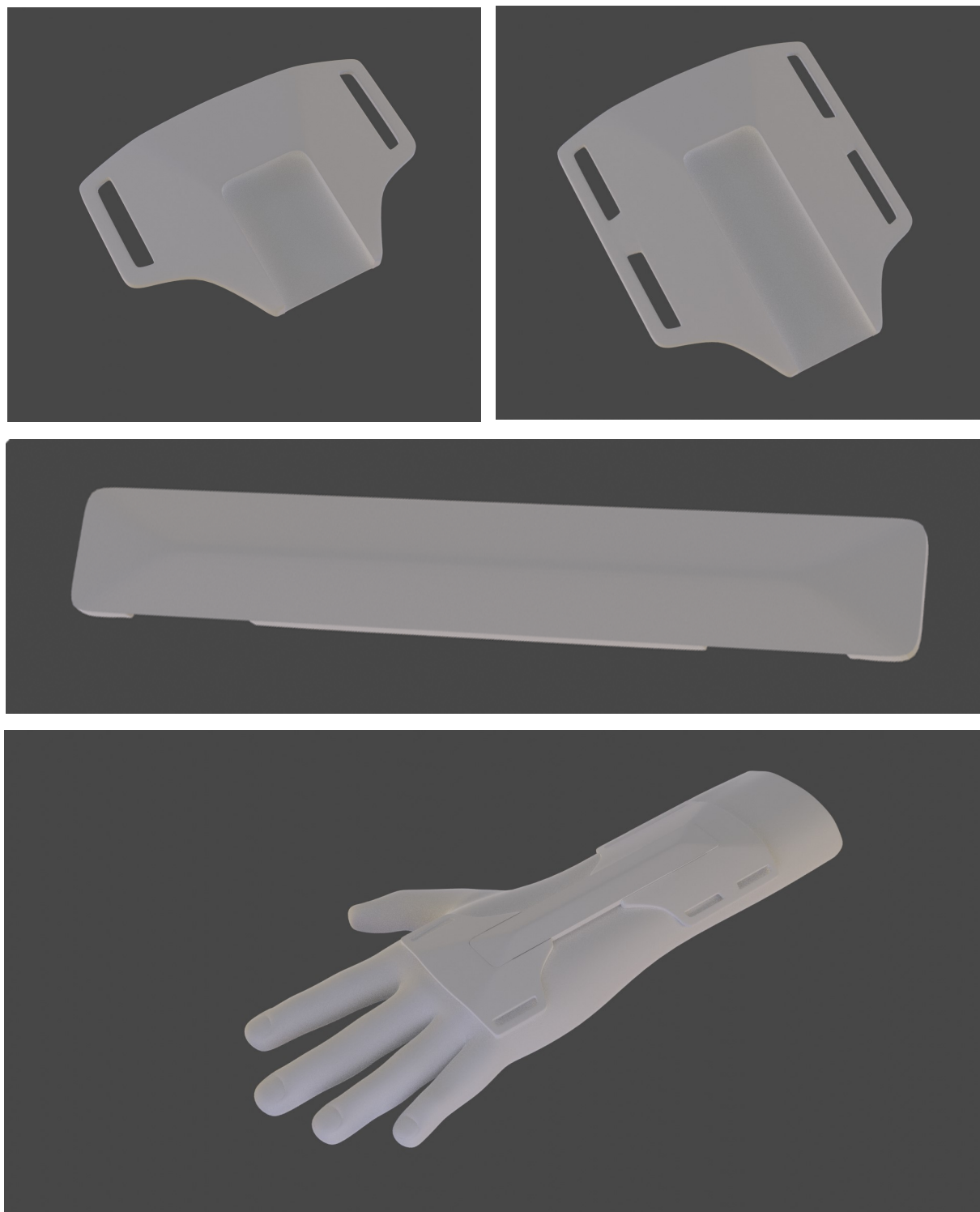
Obrázek č. 16 Prototyp (3. verze)



2. 3D výsledný model

Vytvořený 3D model ortézy, který zahrnuje skelet ortézy a spojovací destičku, sloužil jako klíčový soubor pro tisk všech potřebných součástí ortézy.

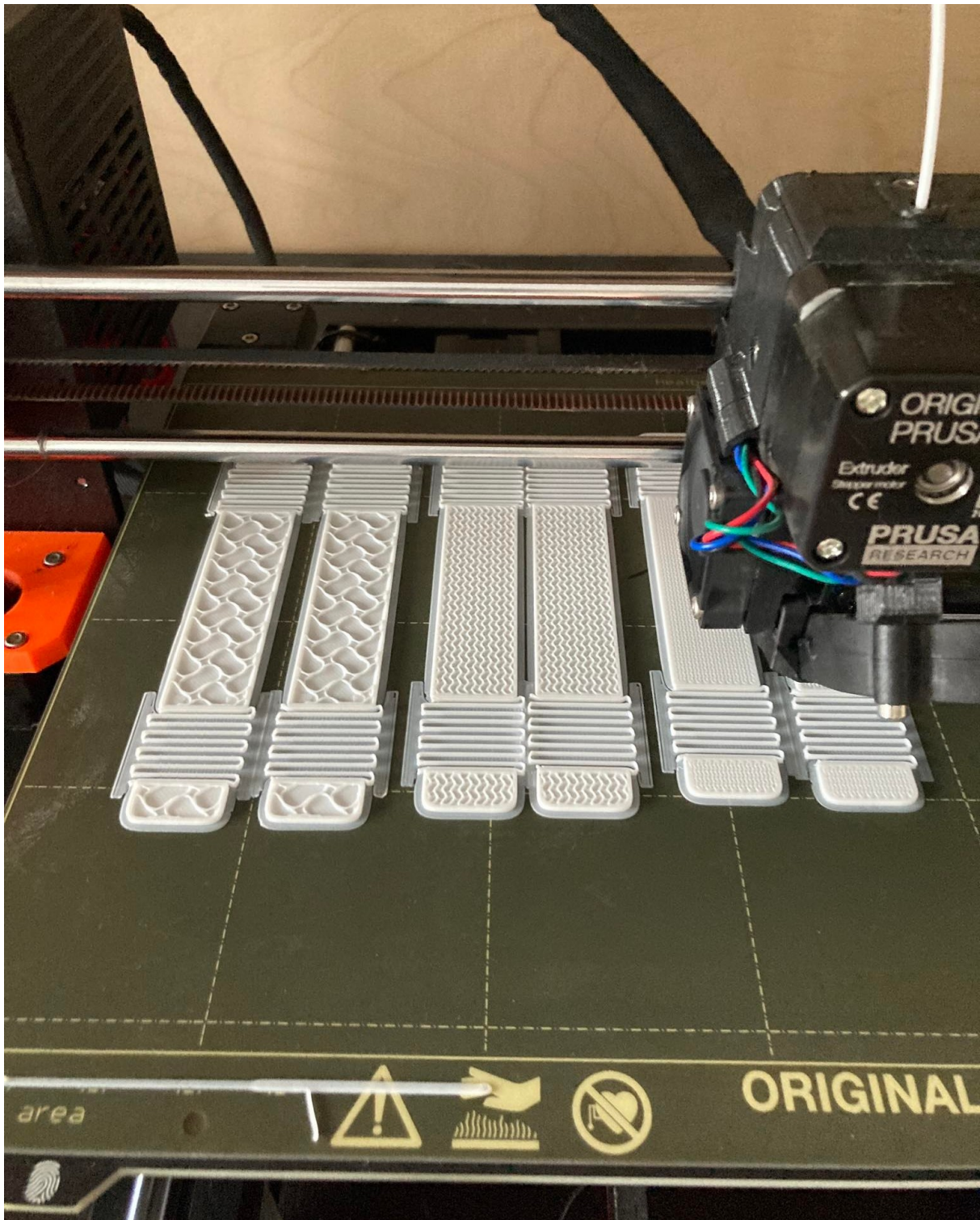
Obrázek č. 17 Rendery ortézy



3. 3D tisk

Pro výrobu modelu byla použita metoda 3D tisku, která je nejméně nákladnou metodou výroby. Po dokončení tisku byl model povrchově upraven.

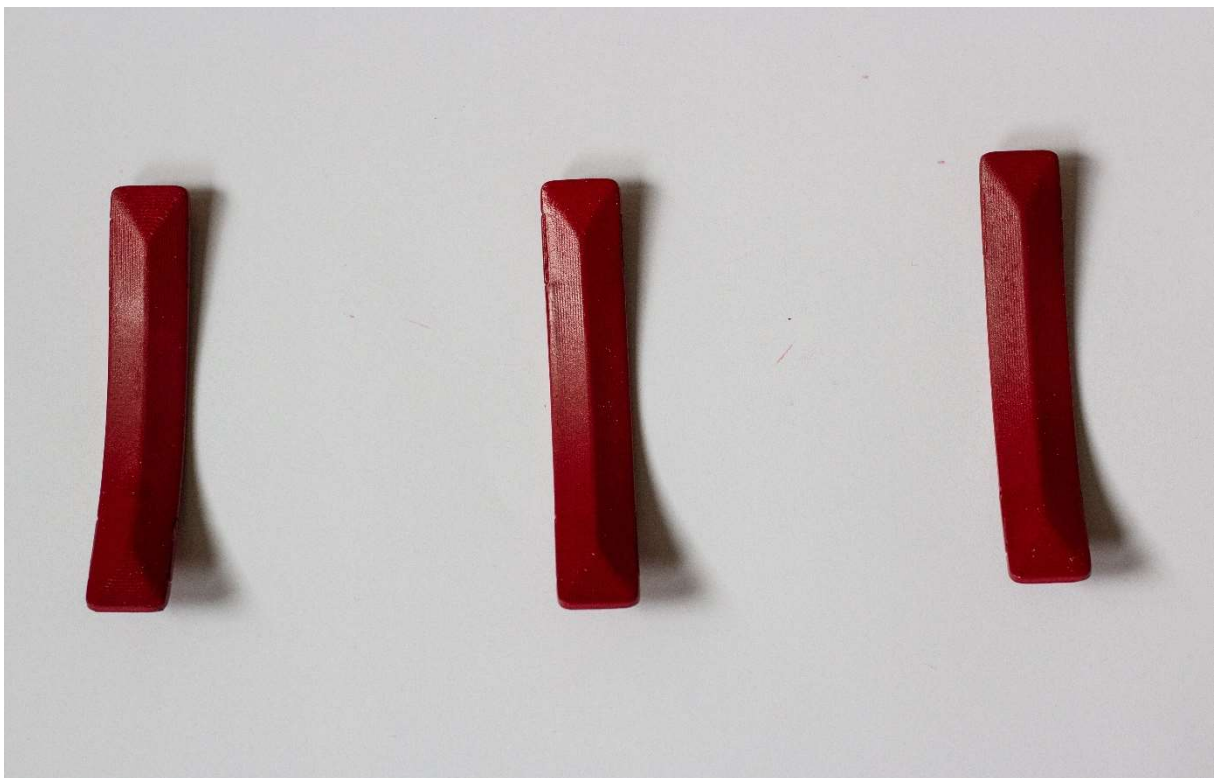
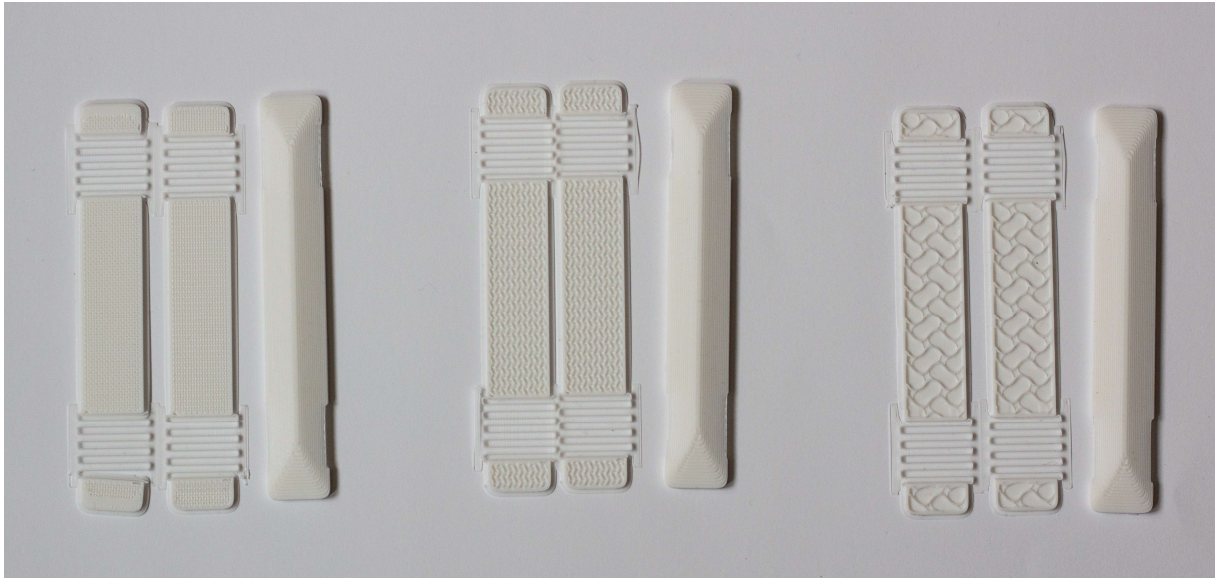
Obrázek č. 18 3D tištěné součástky



4. Povrchová úprava

Po vytisknutí jsem prováděl lehkou povrchovou úpravu součástek. Nejprve broušení a poté nanášení barvy.

Obrázek č. 19 Povrchová úprava součástek



5. Ohýbání destiček

Destičky byly nahřívány a následně tvarovány v předpřipravené formě aby získali potřebný úhel. Následné tvarování bylo zvoleno především z důvodu lepší struktury výsledného dílu. Výrobky 3D tisku tohoto typu mají nejmenší pevnost ve směru kladení jednotlivých vrstev. Tato vlastnost by mohla způsobit nedostatečnou pevnost výrobku, a proto bylo zvoleno využití dodatečného tvarování, kterým bylo docíleno vyšší pevnosti součástky.

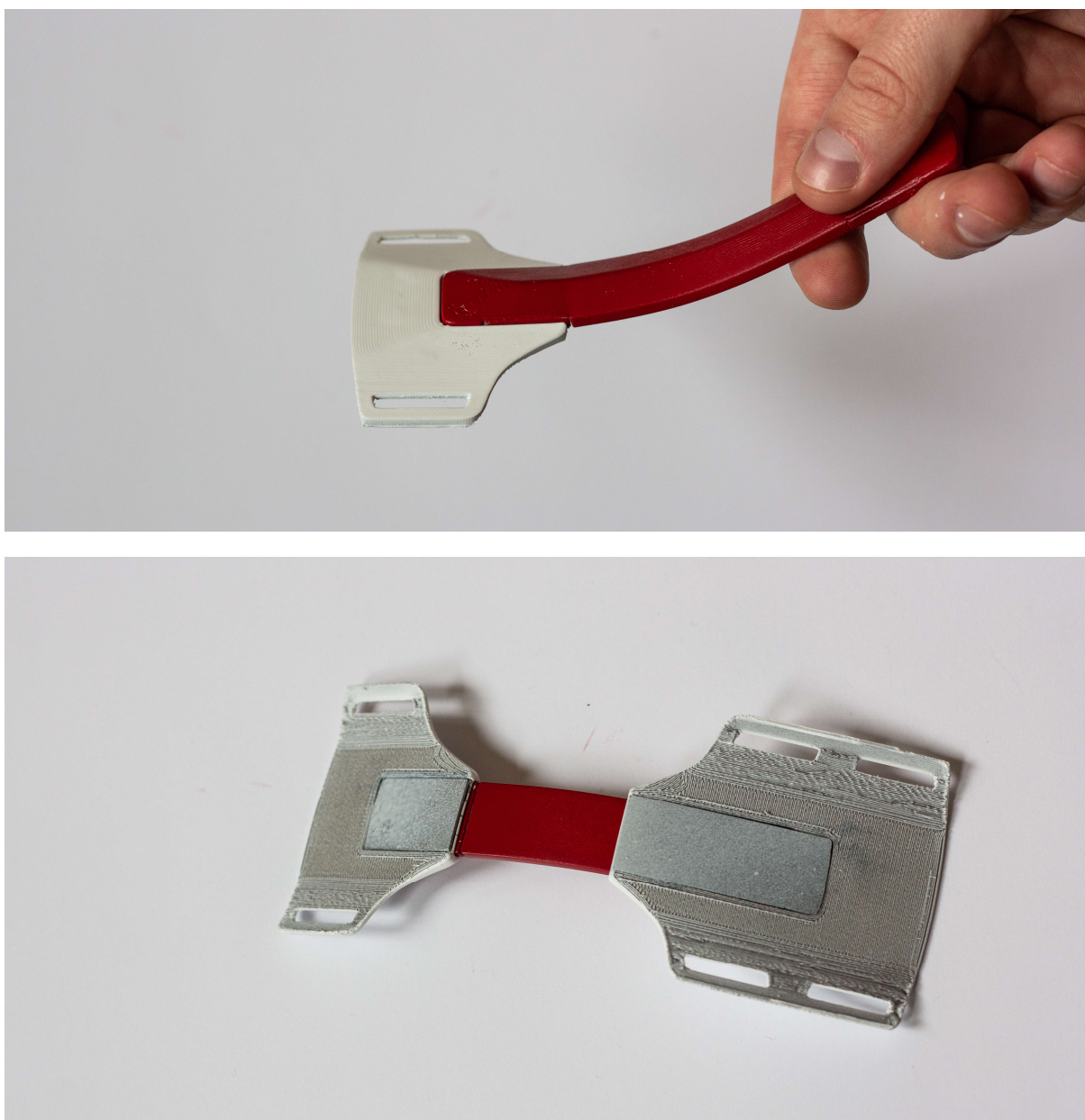
Obrázek č. 20 Tvarování destiček



6. Magnetické přichycení

Pro správné upevnění magnetu do mechanismu byly v modelu destiček vytvořeny drážky, do kterých byl magnet umístěn a následně upevněn. Do hlavního skeletu ortézy byly také vytvořeny drážky, do kterých by mohl být umístěn železný plíšek jako protipól magnetu. Tento mechanismus umožňuje magnetu udržet součástky spojené, i když jsou vystaveny mírnému namáhání.

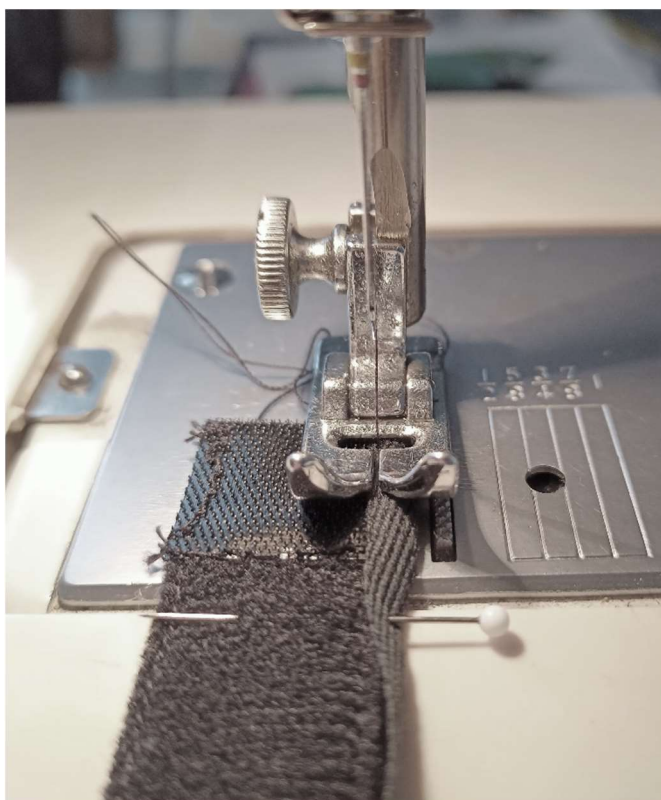
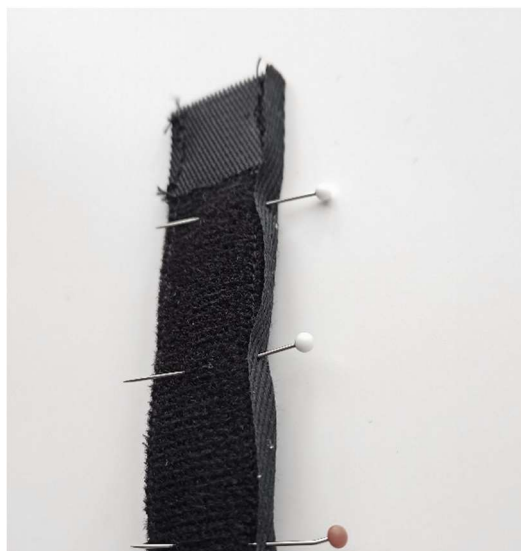
Obrázek č. 21 Uchycení magnetu



7. Nastavitelné pásky

Pro dosažení snadné manipulace pro obě ruce a přizpůsobivost velikosti ruky jsem vytvořil nastavitelné pásky s oboustranným uchycením.

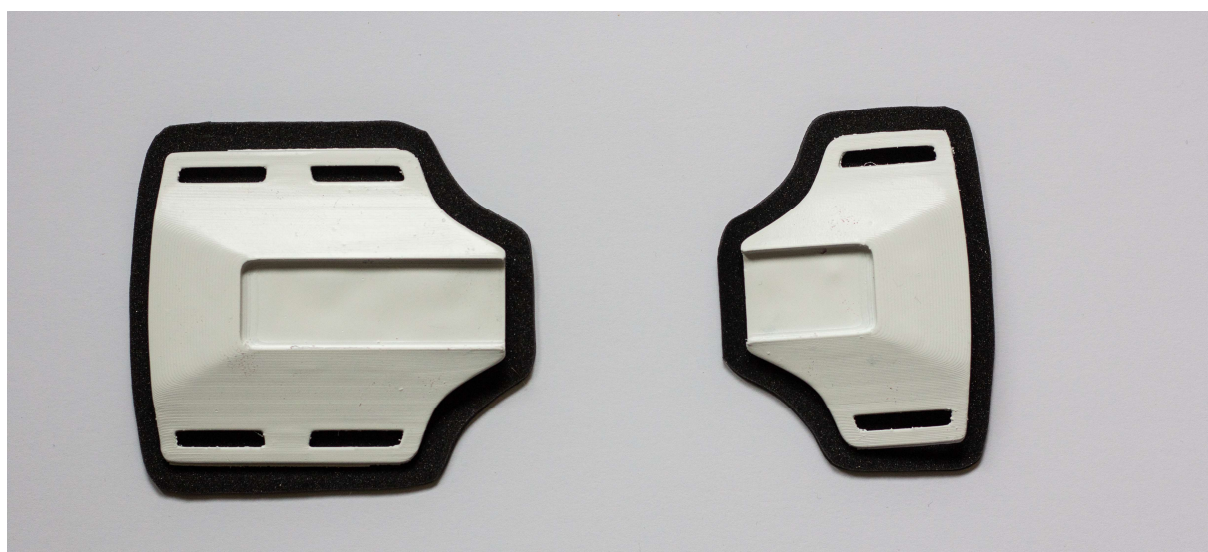
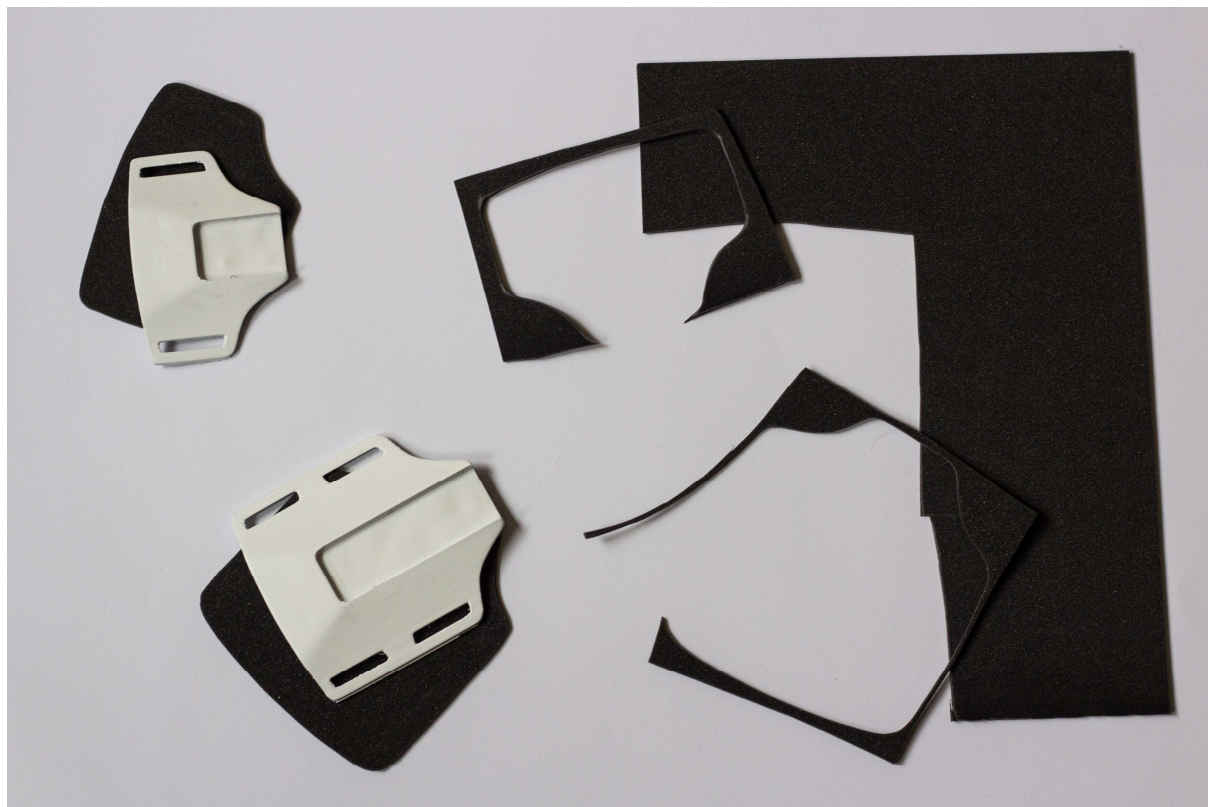
Obrázek č. 22 Výroba pásků



8. Polstrování ortézy

Skelet ortézy jsem opatřil polstrováním, které jsem nařezal na přesné rozměry. Poté jsem ho přilepil k samotnému skeletu ortézy.

Obrázek č. 23 Výroba polstrování



5. Finální design

Výsledkem této práce je funkční prototyp ortézy určený pro pacienty trpící syndromem karpálního tunelu. Hlavním cílem bylo vytvořit prototyp, který by umožňoval sériovou výrobu a zároveň by byl nastavitelný podle potřeb jednotlivých pacientů. To by vedlo ke snížení nákladů na výrobu a umožnilo by větší dostupnost této pomůcky pro pacienty. Při vývoji ortézy jsem kromě funkčnosti kladl důraz i na atraktivní design, který by měl být moderní a esteticky příjemný, zohledňující skutečnost, že se jedná o lékařskou pomůcku.

Obrázek č. 24 Výsledný prototyp



Obrázek č. 25 Výsledný prototyp (přední pohled)



Obrázek č. 26 Výsledný prototyp (boční pohled)

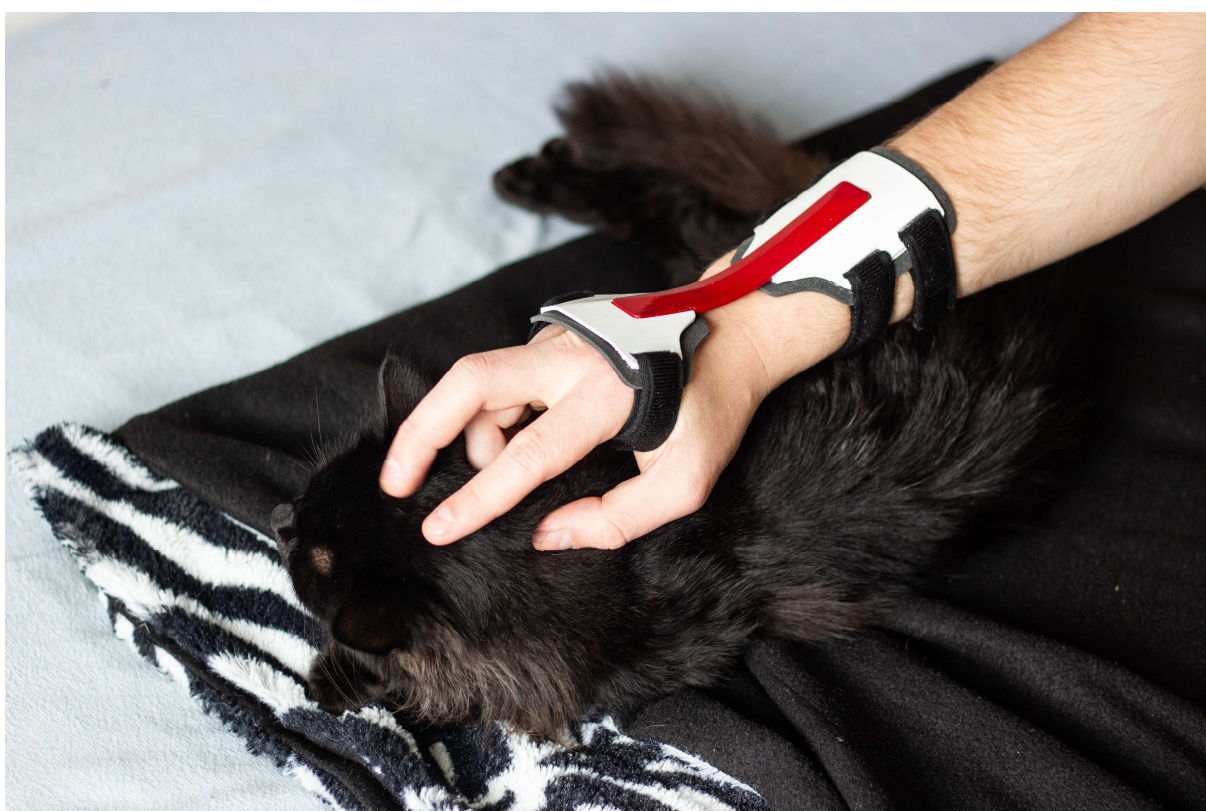


5.1 Příklady použití

Obrázek č. 27 Příklady používání ortézy 1



Obrázek č. 28 Příklady používání ortézy 2



6. Závěr

Rozvinutí vlastního projektu ortézy mě naplnilo jako designéra i jako člověka. Získal jsem nejen nové znalosti v oblasti anatomie a designu, ale také jsem viděl obrovský potenciál v oblasti zdravotnického designu. Vytvořený prototyp ortézy je přesnou simulací reálné ortézy v praxi a rád bych s ním dále pracoval, abych dokončil ortézu do plně funkční podoby. Jednou v budoucnu by třeba tento nápad mohl pomoci mnoha lidem trpícím syndromem karpálního tunelu.

7. Seznam použitých zdrojů

7.1 Bibliografie

CLARKSON, E.N.K. (1998): Invertebrate paleontology and evolution.

- Blackwell, New York (vydání 2005).

ČIHÁK, R. [2001]. Anatomie 1, 2. vydání. Praha: Grada, 2001. ISBN 80-7169-970-5

Smrčka, M., Vybíhal, V., & Němec, M., (2007). Syndrom karpálního tunelu. Neurologie pro praxi; 8(4), 243-246.

DUFEK, J. (2006). Profesionální syndrom karpálního tunelu. Neurol.pro praxi, roč. 7, č. 5/2006, pp. 254-256. ISSN - 1803-5280.

EHLER, E., AMBLER, Z. Mononeuropatie : Trendy soudobé neurologie a neurochirurgie, svazek 3. Praha: Galén, 2002. 176 s. ISBN 80-7262-125-4.

GHASEMI-RAD, M., NOSAIR, E., VEGH, A., MOHAMMADI, A., AKKAD, A., LESHA, E., ... HASAN, A. (2014). A handy review of carpal tunnel syndrome: from anatomy to diagnosis and treatment. World Journal of Radiology, 6(6), 284-300.

GILBERTOVÁ, S. ,Matoušek, O. (2002). Ergonomie :optimalizace lidské činnosti. Praha: Grada. ISBN 80-247-0226-6.

HRNČÍŘ, E. (2008). Nemoci z povolání a jejich prevence. Mladá fronta zdravotnické noviny ZDN, příloha: Lékařské listy, 8/2008. ISSN 1805-2355

LUCHETTI, R., AMADIO, P. Carpal Tunnel Syndrome. Springer, 2006. 405 s. ISBN 35-4022-387-8.

MRZENA, V. [2005]. Syndrom karpálního tunelu. In: Interní medicína pro praxi 1/2005; ISSN 1212-7299; dostupný z: <<http://internimedicina.cz/pdfs/int/2005/01/09.pdf> > [cit. 7. 12. 2022]

ROHEN, J. W., et al. Anatomia človeka : fotografický atlas systematickej a topografickej anatomie. Martin: Osveta, 1991. 468 s. ISBN 80-217-0342-3.

7. 2 Webové zdroje

Web: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4072815/pdf/WJR-6-284.pdf> [cit. 7. 12. 2022]

Web: <https://www.neurologiepropraxi.cz/magno/neu/2014/mn5.php>
[cit. 10. 12. 2022]

Web: https://www.smartmaterials3d.com/en/copy-of-innovatefil-pet-carbon-fiber#/11-colour-true_black/26-shoes_size-175mm/87-size-m_500g
[cit. 10. 2. 2023]