

Karolína Zbytková



ORTÉZA NA KARPÁLNÍ TUNEL
Ortéma z 3D tisku

Obsah

Motivace	5
Cílová uživatelská skupina	7
Analytická část	8
Proces navrhování	12
Scénář - interakce uživatele	21
Finální návrh	22
Technologie	30
Seznam zdrojů	32
Seznam obrazových zdrojů	33

Motivace

Na semestrální zadání *Ortéza na syndrom karpálního tunelu* jsem se rozhodla vytvořit ergonomicky uzpůsobenou ortézu za pomoci technologie 3D tisku a 3D skenování. Nadchla mě myšlenka, že bych mohla vytvořit na základě reálných anatomických parametrů jednoduše dostupný návrh, který by se dal rozšířit na webových platformách pro 3D tisk. Ortézu by si tak teoreticky s dodatečnými úpravami mohl za relativně nízké náklady vytisknout každý, kdo vykazuje příznaky karpálního tunelu. Zároveň jsem si chtěla vyzkoušet proces zpětného modelování, který vychází ze skenování skutečných objektů (např. ruky), na kterém se dá vytvořit hrubý model v 3D grafických programech (např. *ZBrush* nebo *Nomad*), jenž je následně upraven do přesných tvarů a parametrů v CAD software (např. *Rhinoceros* nebo *Fusion 360*).

Cílová uživatelská skupina

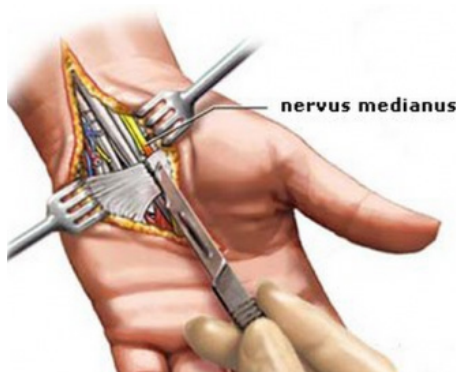
Cílová uživatelská skupina pro tento návrh je v zásadě omezena pouze jedním kritériem – vykazování příznaků syndromu karpálního tunelu, případně uživatelé, u nichž je riziko výskytu tohoto onemocnění vysoké (např. dlouhodobá práce u počítače s počítačovou myší nebo práce s nářadím). Proto není návrh vyhrazený pro konkrétní pohlaví či věk, ovšem rozhodla jsem se vynechat děti, vzhledem k tomu, že jsem u návrhu vycházela z modelu dospělé ruky a u dětí by nemusel sedět.

Analytická část

SYNDROM KARPÁLNÍHO TUNELU (SKT)

Anatomická oblast, jež propojuje předloktí s rukou zápěstními kůstkami a vazivem, se nazývá karpální tunel. Tudy prochází středový nerv (přenos senzorických informací z ruky do mozku a z mozku motorických stimulů do ruky) a devět šlach ohýbačů prstů. Jakmile v této oblasti dojde k utlačení a zhorší se zásobování krví, začne se projevovat několik symptomů (např. bolest v zápěstí, snížená citlivost prstů a jejich brnění), které dohromady vytváří syndrom karpálního tunelu. Symptomy se výrazněji projevují v noci, a proto se může obtížně usínat či docházet k častému probouzení ze spánku.

Syndrom postihuje více ženy než muže a průměrně se vyskytuje mezi 40 a 60 lety. Příčiny vzniku mohou být různé – následek zlomeniny zápěstní kosti, rozvinutí spolu s jinými onemocněními (např. diabetes) či hormonální změny (např. těhotenství, onemocnění štítné žlázy nebo užívání hormonální antikoncepce). Často jsou uváděny některé profese, které zvyšují riziko vzniku v důsledku mechanického zatěžování. Může jít např. o profese kancelářské (práce s počítačovou myší), montážní (práce s kleštěmi, šroubováky atd.) nebo dokonce hudební (hra na harfu).



karpální tunel
obr. 1

LÉČBA SYNDROMU KARPÁLNÍHO TUNELU

V prvotních fázích SKT, kdy jsou komplikace mírného rázu, či jsou pouze občasné, se doporučuje konzervativní léčba. Ta zahrnuje omezení činností, jež obtíže vyvolávají, fixace ruky do správné polohy, užívání vhodných medikamentů a provozování určitých cviků. Je-li syndrom závažný a konzervativní léčba není dostatečná, zpravidla musí pacient podstoupit operaci karpálního tunelu.

Základní prvky konzervativní léčby zahrnují:

- Nepřetěžovat horní končetinu (změnit návyky, které vyvolávají problémy)
- Ve své profesi používat ergonomicky uzpůsobené předměty (např. počítačové myši, nářadí)
- Během noci nosit ortézu, aby ruka zůstala v neutrální poloze a nedocházelo k palmární či dorzální flexi/extenzi
- Užívat chladiivé obklady a masti, krémy, gely a léky, které zmírňují bolesti, otoky a zánět
- Docházet na fyzioterapii a praktikovat cvičení, jež uvolňují svaly ruky, zápěstí a předloktí



Logitech ergonomická počítačová myš
obr. 2

EXISTUJÍCÍ ORTÉZY PRO STK

Většina ortéz fixujících oblast mezi předloktím a zápěstím sestává z tvarované dlahy na palmární straně a návleku obvykle z prodyšné a lehce elastické látky, aby se ruka příliš nepotila a nebyla otláčená.



McDavid ortéza
obr. 3

2018McDEU®



Mueller ortéza
obr. 5



PROTETIKA ortéza
obr. 4



PANOP ortéza
obr. 6

NÁVRHY ORTÉZ PRO RŮZNÉ APLIKACE (INSPIRACE)

Vzhledem k plánovanému užití 3D tisku jsem hledala inspiraci v různých návrzích vytištěných ortéz, které disponovaly zajímavými vzory a tvary.



obr. 7



obr. 8



obr. 9



obr. 10

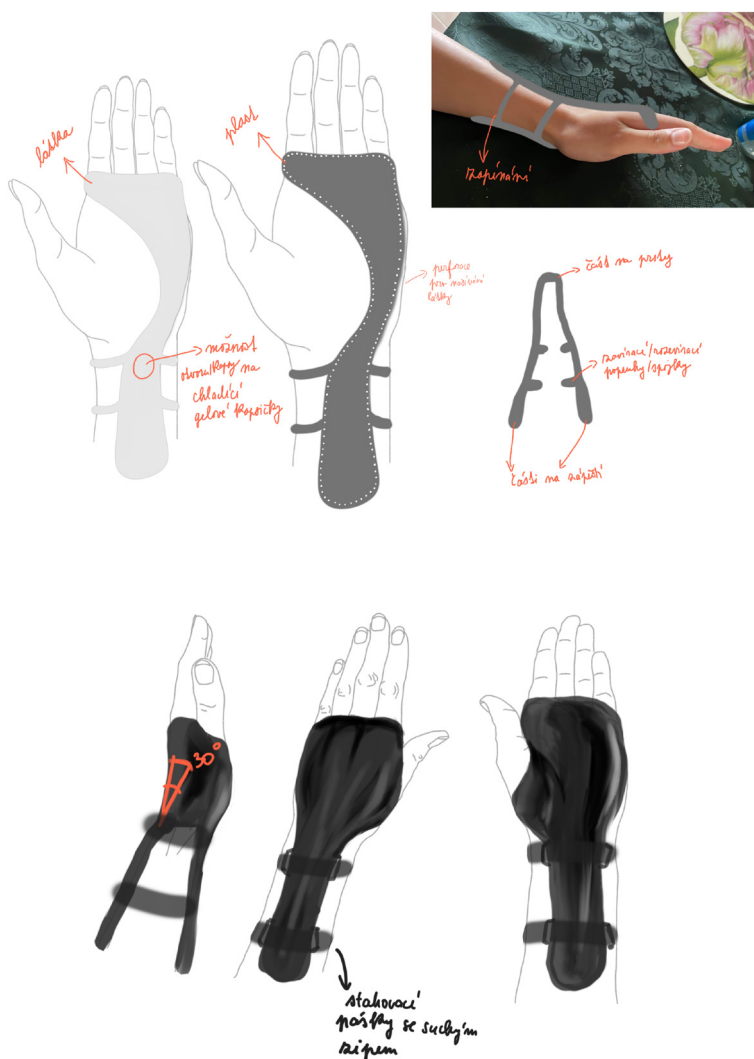
Proces navrhování

KRITÉRIA

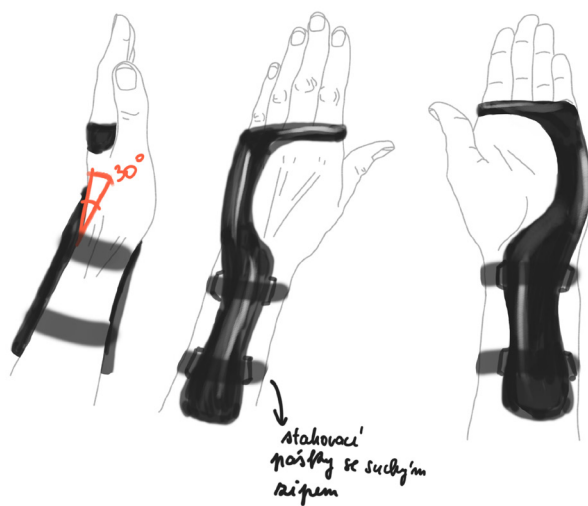
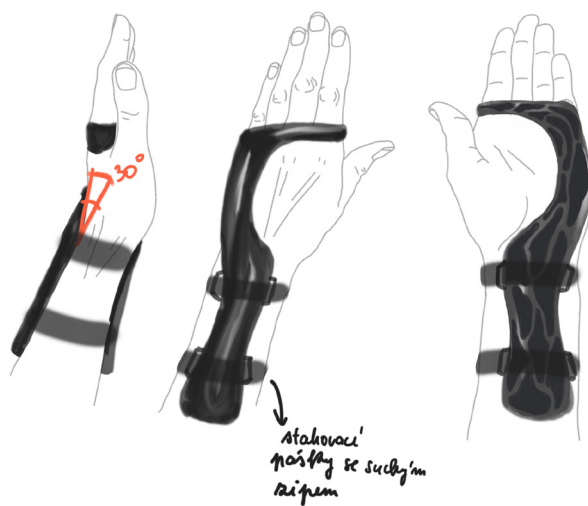
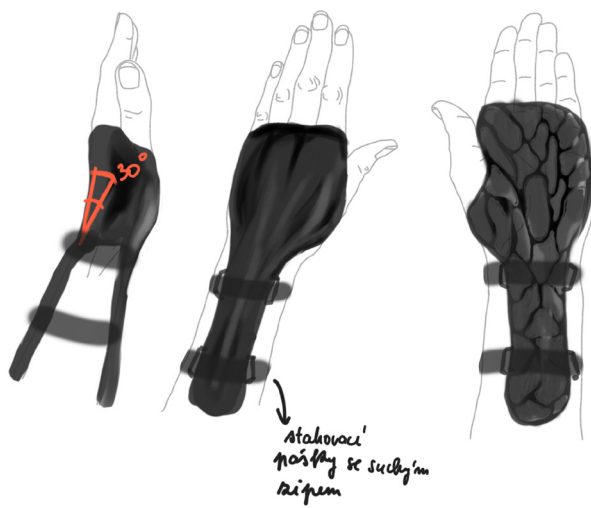
Ještě než jsem začala navrhovat, potřebovala jsem si stanovit základní kritéria, která musí design ortézy splňovat. Proto jsem zkontaktovala několik studentů medicíny a praktikujícího ortotika-protetika, aby mi poskytli relevantní informace. Na základě jejich zpětné vazby jsem došla k následujícím bodům:

- Ortéza bude určená na noční nošení během spánku, proto nevadí, když bude pohyb ruky omezený a nebude uživateli umožněno vykonávat určité činnosti (např. psaní, vaření, aktivita na mobilu atd.)
- Ortéza musí fixovat ruku tak, aby zůstala v neutrální poloze, tedy aby nedocházelo k palmární/dorzální flexi a extenzi, proto je nutné použít nějaký pevný materiál
- Hlavní fixující (pevná) část musí být v oblasti zápěstí na straně dlaně, není nutné, aby byla vedena z obou stran
- Lze uvažovat o umístění chladících polštářků např. do nějaké kapsy či otvoru, které ulevují od bolesti
- Uživatel by se měl s ortézou cítit komfortně, proto ho nesmí příliš tlačit, neměl by se v ní potit a musí docházet k příjemnému kontaktu mezi pevnou částí a kůží, aby se uživatel neporanil
- Ortéza by měla být opatřena nějakým variabilně utahovacím mechanismem, aby se uživateli přes noc nevyvlékla, který by neměl být příliš tenký, aby se uživateli nezařezával do kůže

V prvotních návrzích a prototypech jsem ještě neměla všechna stanovená kritéria, proto jsem počítala s ortézou vedenou z obou stran ruky. Počítala jsem buď s fixační částí, která by vedla okolo prstů a dále směrem k zápěstí, kolem celé dlaně s otvorem na palec, nebo dvěma částmi kolem palce směrem k dlani a částečně za zápěstím. Zároveň jsem se snažila aplikovat i nějaké vzory jednak z estetického důvodu, jednak z praktického, aby byl model prodyšný a ruka se nepotila. Tyto návrhy se ale nakonec ukázaly jako zbytečně komplikované a pravděpodobně i uživatelsky nekomfortní.



první skici
obr. 11-12



první skici
obr. 12-14

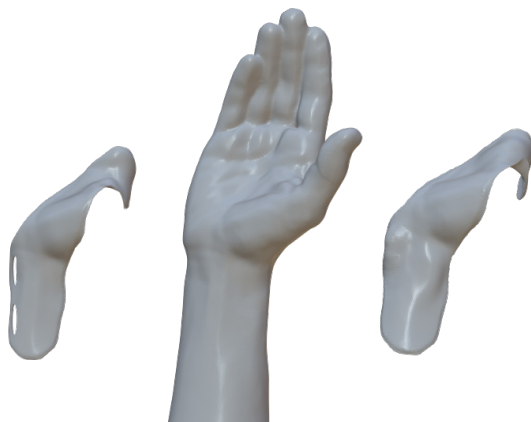


první 3D modely
obr. 15



první prototypy z 3D tisku
obr. 16

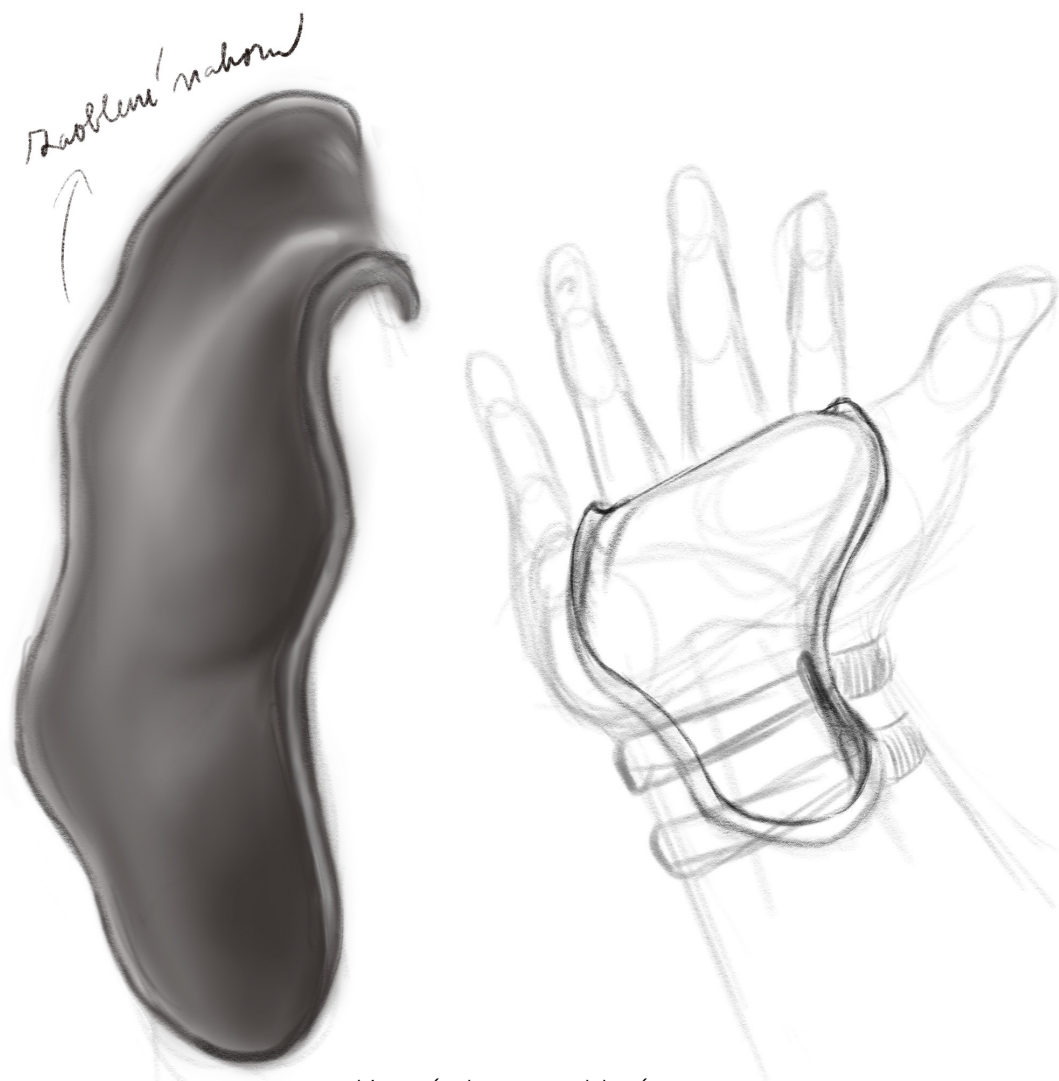
V další fázi jsem se rozhodla pracovat pouze s fixační částí vedenou podél dlaně a částečně za zápěstím s mírným obloukem kolem palce, který zajistí, že se ruka nebude ohýbat, i když bude pevná část pouze na jedné straně ruky. Na základě 3D naskenované ruky jsem vytvořila hrubý prvotní 3D model kopírující anatomické křivky ruky. Tištěný prototyp spolu s pásky s oboustranným suchým zipem na utažení dokázal, že tento princip je dostačující a funguje – ruka byla zafixovaná.



obr. 17-19

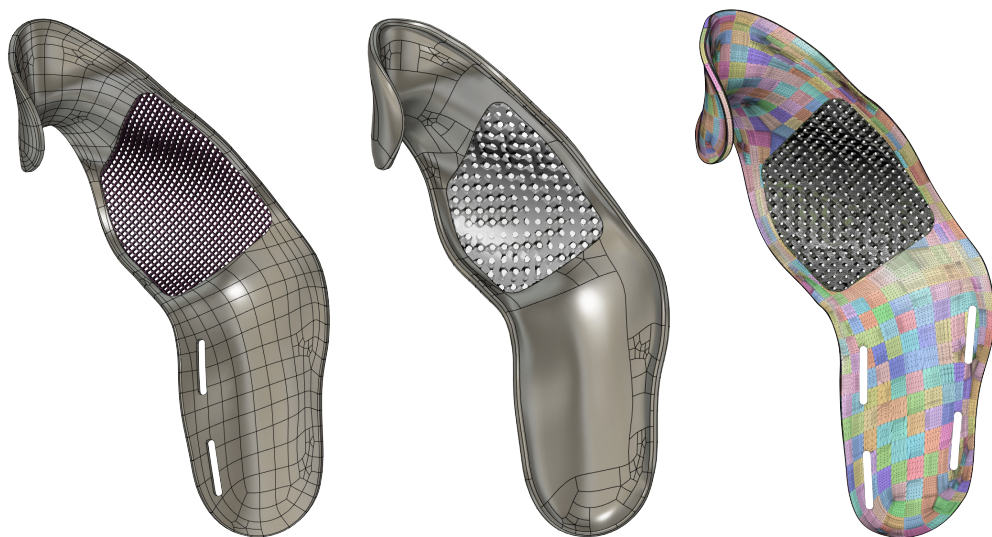
Možnost zakomponovat chladicí polštářky jsem nakonec zavrhlá, kvůli zpětné vazbě od ortotika-protetika – na mou ortézu by byly pravděpodobně příliš malé, tudíž by se během noci velmi rychle ohřály o tělo uživatele, tím pádem by byly zbytečné.

Problém s nepříjemným kontaktem mezi 3D tiskem a kůží jsem původně chtěla řešit potažením látkou na vnitřní straně ortézy. Přišla jsem ale na lepší a jednodušší řešení – okrajové části ortézy (tedy ty, které jdou do styku s rukou) jsem opatřila tenkými nalepovacími pěnovými páskami. Další iterace 3D tištěné části se týkaly okrajů ortézy. Přišla jsem po několika testování, že je lepší okraje mírně zahnout směrem vzhůru od styku s kůží.



skica návrhu se zaoblením
obr. 20

Poslední fází bylo řešení prodyšnosti. Abych zajistila pevnou fixaci ruky, rozhodla jsem se prodyšné části umístit pouze do střední části dlaně. Z počátku jsem přemýšlela nad nějakým zajímavým a netradičním vzorem (podobně jako u prvotních návrhů), ale nakonec jsem šla cestou zkoušení parametricky vygenerovaného vzoru ze software Fusion 360 pomocí funkce *volumetric lattice*. Pracovala jsem s několika variantami šířek otvorů a nakonec jsem po několika tiscích došla k šířce cca 1 mm. Bohužel se u několika 3D tištěných prototypů projevila velmi nízká úroveň detailu, komplikace během tisku a model nepůsobil příliš čistě. Proto jsem u finální verze vytvořila vlastní vzor, který je do jisté míry podobný předchozím verzím. Jde o jednoduché kruhy, které mají od středu k okrajům pravidelně menší průměr (od 2.5 mm až po 1 mm). Tato varianta se ukázala pro tisk jako mnohem schůdnější a výsledek byl mnohem čistší s vyšší úrovní detailu.



vzory výplně z Fusion 360
obr. 21-22



srovnání výplní na 3D tištěných prototypech
obr. 23-25

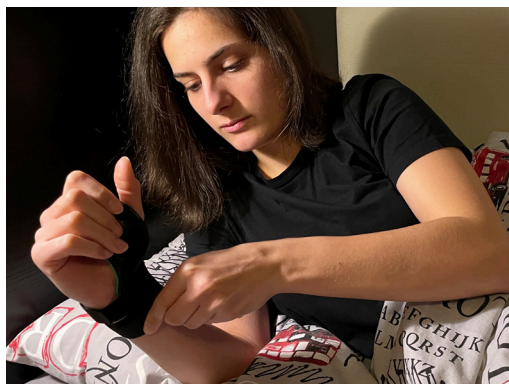
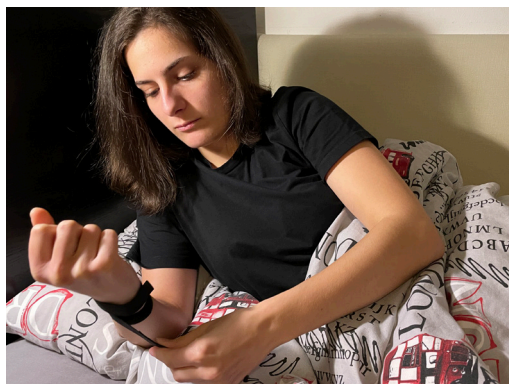


srovnání 3D tištěných prototypů
obr. 26

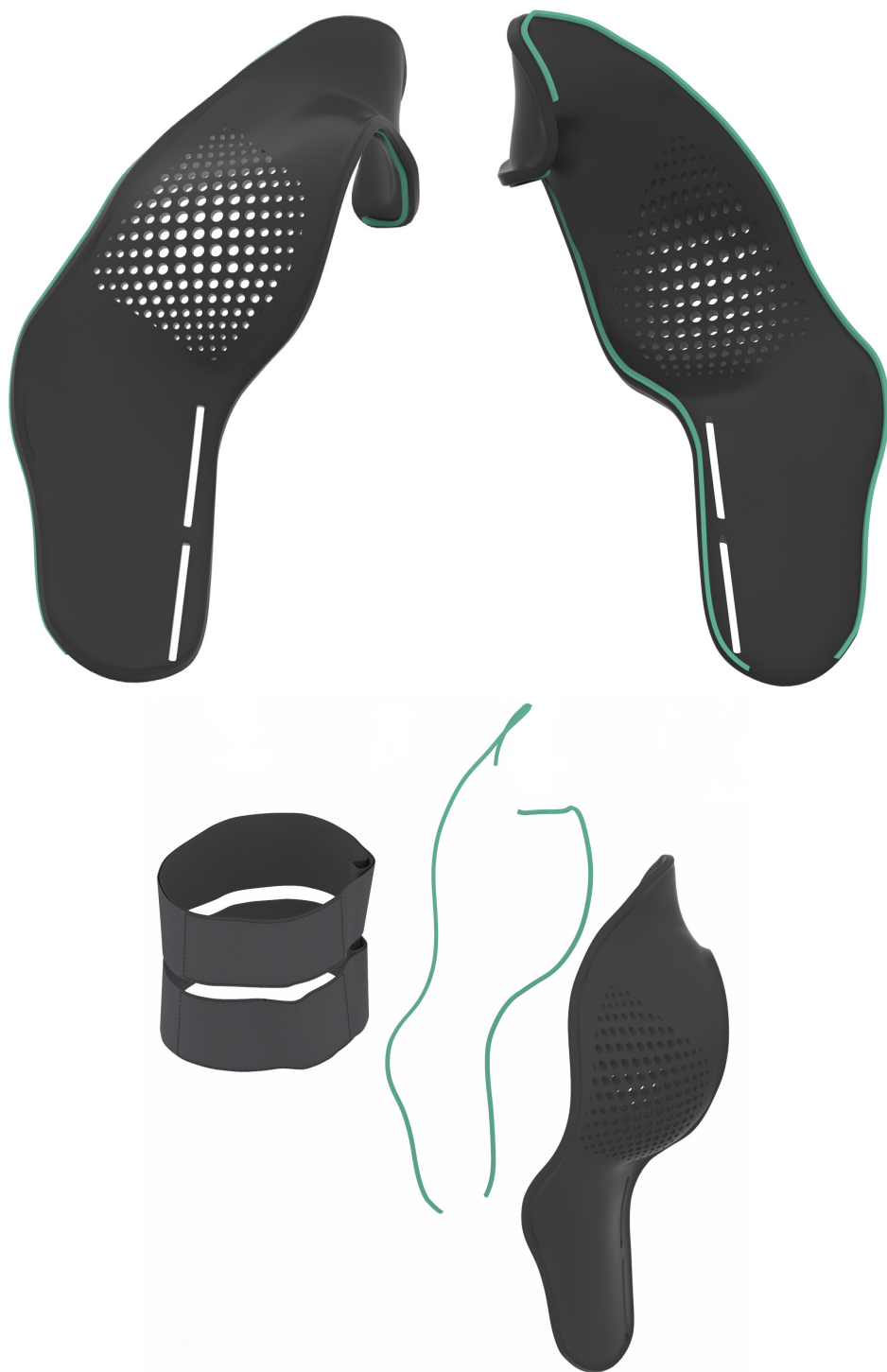
Pro utahování jsem zvolila dva pásy z hladké pruženky opatřené plyšem a suchým zipem o tloušťce 25 mm. Rozhodovala jsem se mezi umístěním dvou otvorů buď na jedné nebo obou stranách ortézy, přičemž jsem vyhodnotila jednu stranu se dvěma otvory jako dostačující.

Scénář – interakce uživatele

Ortému si před spaním uživatel nasadí na palmární stranu ruky a oba pásy si utáhne podle pohodlí a zároveň tak, aby byla ruka v nehybné a zafixované pozici. Po probuzení si ortému sundá.



Finální návrh



obr. 33-35



obr. 36-38



obr. 39-42



obr. 43-46

TESTOVÁNÍ

Abych ověřila svůj finální návrh, nechala jsem ortézu otestovat. Testování se původně mělo zúčastnit více osob různého věku. Bohužel jsem v krátké časovém úseku sehnala pouze tři testující mužského pohlaví, ve věku 23, 28 a 40 let. Testující měli za úkol nosit ortézu po dobu 5 nocí a po poslední noci vyplnit krátký dotazník.

Ortéza mi na ruce dobře padla

1 2 3 4 5

Vůbec nesouhlasím ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Zcela souhlasím

Ortéza byla pohodlná na nošení

1 2 3 4 5

Vůbec nesouhlasím ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Zcela souhlasím

Plastové části ortézy mě netlačily

1 2 3 4 5

Vůbec nesouhlasím ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Zcela souhlasím

Ortéza šla snadnou zapnout/utáhnout

1 2 3 4 5

Vůbec nesouhlasím ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Zcela souhlasím

Moje ruka byla dobře zafixovaná (nehýbala se)

1 2 3 4 5

Vůbec nesouhlasím ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Zcela souhlasím

obr. 47

Ruka se mi nepotíla

	1	2	3	4	5	
Vůbec nesouhlasím	☐	☐	☐	☐	☐	Zcela souhlasím

S ortézou mi šlo usnout

	1	2	3	4	5	
Vůbec nesouhlasím	☐	☐	☐	☐	☐	Zcela souhlasím

Ortéza se během nošení poškodila (ano - napsat kde/ne)

Vaše odpověď _____

Líbí se mi vzhled ortézy

	1	2	3	4	5	
Vůbec nesouhlasím	☐	☐	☐	☐	☐	Zcela souhlasím

Vlastní komentář (pozitiva/negativa/doporučení)

Vaše odpověď _____

obr. 48

VÝSLEDKY DOTAZNÍKU

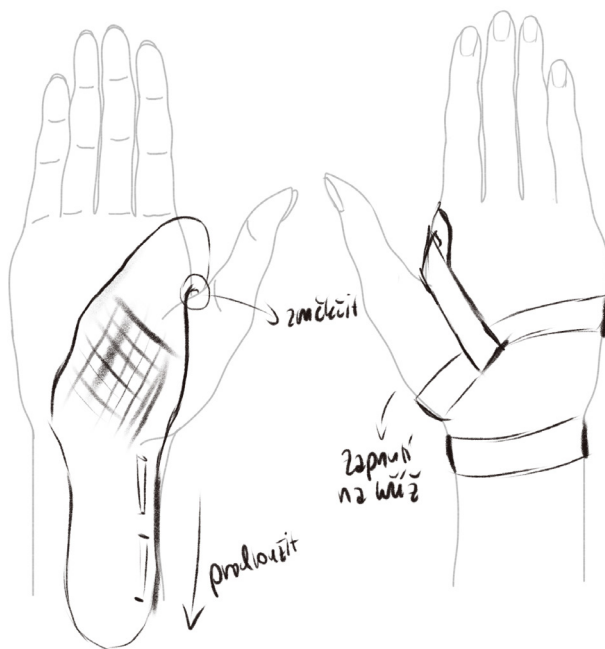
Všichni testující souhlasili v tom, že jim byla ortéza pohodlná na nošení, šla snadnou zapnout/utáhnout, během noci se nepoškodila, líbil se jim její vzhled, ruka se jim nepotila a byla dobře zafixovaná.

Podle jednoho testujícího mu ortéza dobře nepadla a měl problém s oblastí u palce, kde ho ortéza tlačila, proto navrhl, ať oblast změkčím a upravím (tvarově nebo přidáním dalšího měkkého materiálu). Zároveň ho tlačila oblast u zápěstí, kvůli tomu se mu špatně s ortézou usínalo. Poslední noc se mu také vyvlékl spodní pásek, takže dolní část ortézy nebyla zcela přichycená. Druhý testující měl problém pouze s plastovými částmi, které ho trochu tlačily. Třetí testující žádné problémy nezaznamenal.

ZMĚNY DO BUDOUCNOSTI

Model, jež prezentuji nepovažuji za zcela finální. Myslím si, že bych měla dále zkoušet jiné materiálové možnosti (např. kombinaci s flexibilním filamentem) a variabilní tloušťky v určitých částech ortézy, abych redukovala otlačení. Dále bych pravděpodobně ještě tvarově upravila a změkčila oblast u palce a také ji prodloužila, případně změnila systém zapínání, aby nedocházelo k vyvlečení ruky z ortézy. Spodní část ortézy bych asi také trochu prodloužila, aby nehrozilo vyvlečení pásky. Zároveň bych se snažila testovat různé velikosti a pokusila se sehnat i ženy na testování, abych zjistila, zda je nutné nějak tvar ergonomicky optimalizovat.

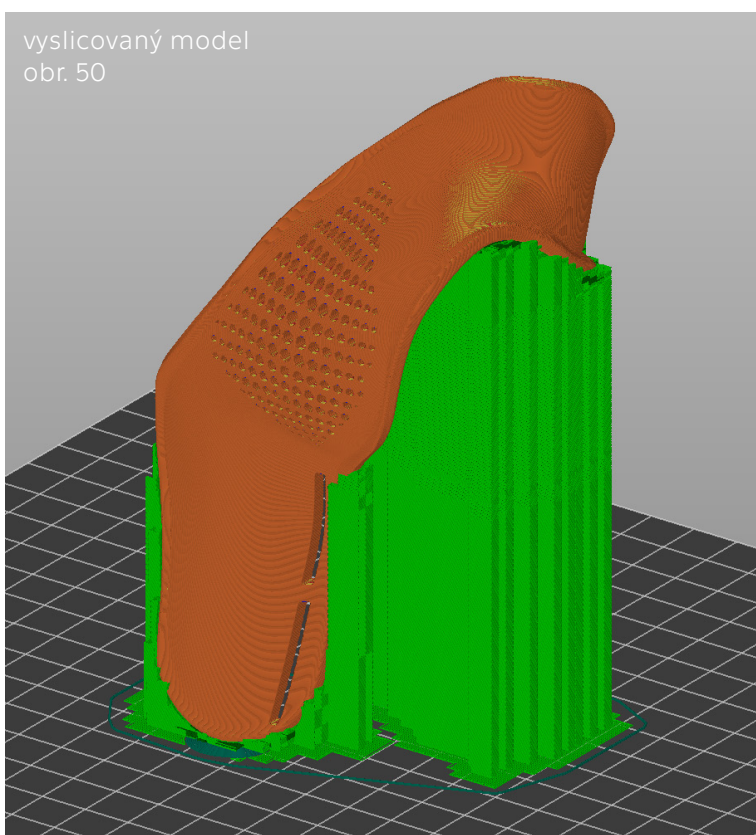
Zároveň jsem si vědoma, že ortéza je pořád zdravotnická pomůcka a nevhodný návrh by mohl problematický stav uživatele zhoršit, a proto by měl finální návrh schválit kvalifikovaný odborník, který rozumí problematice syndromu karpálního tunelu a vyzná se v ortézách.



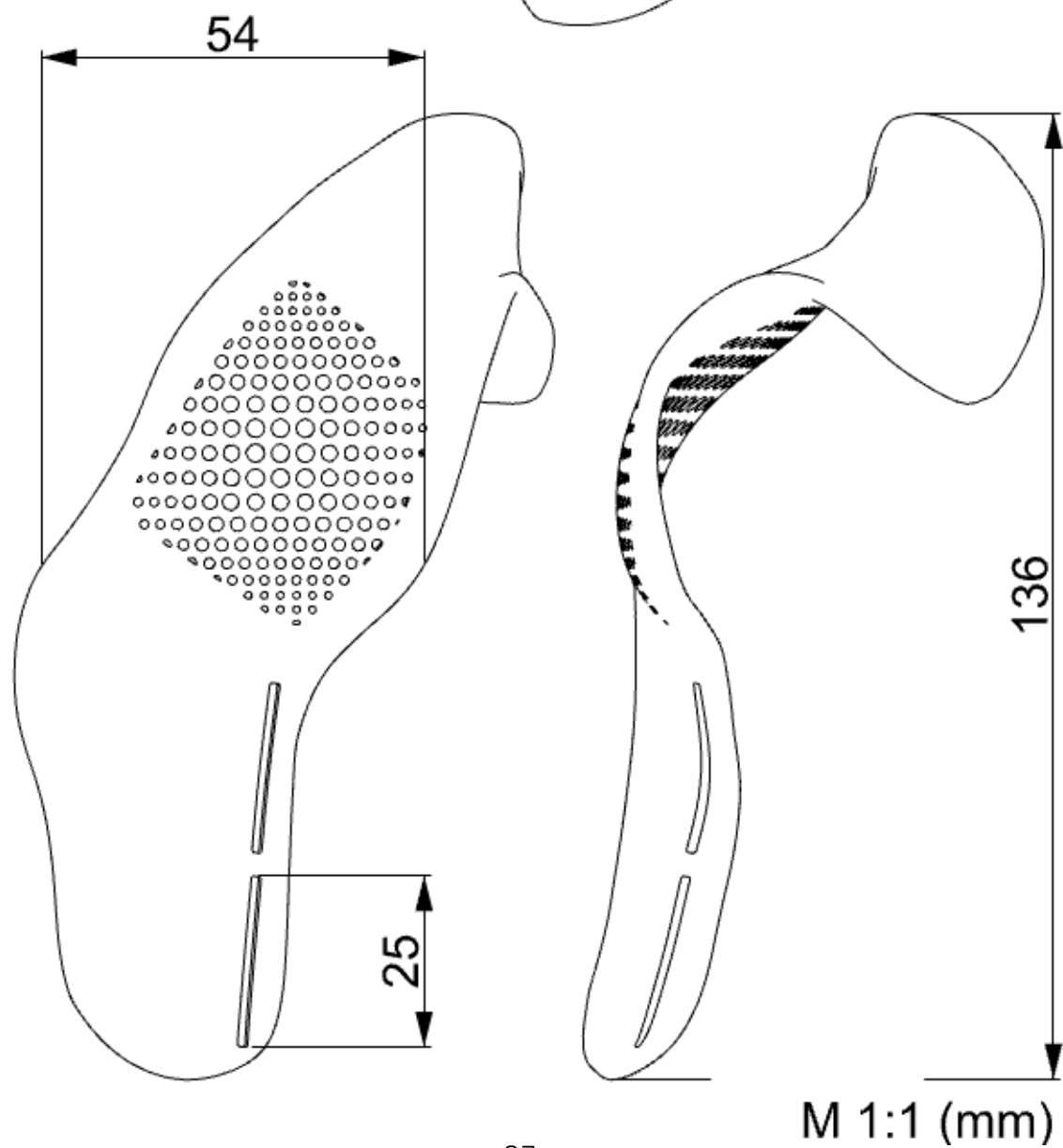
skica možných změn návrhu
obr. 49

Technologie

Dosavadní návrh je vytištěný na FDM tiskárně z černého PLA filamentu. Pro optimální výsledek jsem zvolila umístění modelu nastojato s užitím podpor a límce kvůli převisům a proto, aby model během tisku nespadol. Výplň jsem nechala na 15%, což se ukázalo jako dostatečné vzhledem k pevnosti modelu. Kvůli organickému tvaru jsem musela optimalizovat nastavení slicerového software (Prusalicer). Ze základního nastavení výšky vrstvy 0,15 mm (quality mód) jsem zvýšila počet perimetrů na 3 a u nastavení extruderu jsem změnila vzdálenost retrakcí na 1 mm, zvednutí osy Z během retrakcí o 0,3 mm, rychlost retrakcí na 60 mm/s, minimální dráhu extruderu po retrakci na 0 mm a žádné očištění po retrakci. Vyslicovaný model využívá zhruba 44 gramů filamentu a čas tisku je 6 hodin 36 minut.



TECHNICKÝ VÝKRES



Seznam zdrojů

1 - <https://www.drmax.cz/pece-o-zdravi/karpalni-tunel-priznaky-prevence-a-lecba>

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

<https://www.neurologiepropraxi.cz/pdfs/neu/2007/04/14.pdf>

Seznam obrazových zdrojů

Obr. 1 - <https://www.forbio.cz/priznaky-nemoci/karpalni-tunel.htm>

Obr. 2 - https://www.czc.cz/logitech-mx-master-3s-grafitova/346345/produkt?gclid=Cj0KCQiA__P6dBhD1ARIsAAGI7HBDTw2UW__L6pwdeLUXZmYanKyd3uPc262aw-uY2Pf9xnDrnrUeqEdAaAs5AEAlw__wcB

Obr. 3 - <https://www.florbal.com/ortezy-a-bandaze/zapesti/mcdavid-454-orteza-karpalniho-tunelu-zapesti/>

Obr. 4 - <https://www.zdravotnipotreby.com/p/orteza-zapesti-s-dlahou-a-silikonovou-pelotou-vhodne-pri-karpalnim-tunelu/>

Obr. 5 - <https://www.drmax.cz/mueller-adjust-to-fit-orteza-na-zapesti-prava>

Obr. 6 - <https://www.panop.cz/orteza-zapesti-karpal/p30.html>

Obr. 7 - <https://www.thingiverse.com/make:147134>

Obr. 8 - https://www.theregister.com/2015/03/11/wearable_tech_show_2015_intel_gets_butterflies/

Obr. 9 - <https://www.instructables.com/How-to-Design-Custom-3D-Printable-Braces-for-Arm-I/>

Obr. 11-50 - osobní archiv



Ústav Designu
ATELIER KAREL
ZS 2022/23

