

Interiérový multifunkční prvek Podpěry na kliky

Martin Bielik

Bakalářská práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta multimediálních komunikací

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta multimediálních komunikací
Produktový design

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Martin Bielik
Osobní číslo:	K22013
Studijní program:	B0212A310004 Multimédia a design
Specializace:	Produktový design
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Interiérový multifunkční prvek

Zásady pro vypracování

1. Název
 2. Zadání BP
 3. Prohlášení autora BP
 4. Abstrakt a klíčová slova v českém a anglickém jazyce
 5. Poděkování, popř. motto
 6. Obsah
 7. Úvod
 8. Textová a dokumentační část
 9. Závěr
 10. Seznam použité literatury
 11. Seznam použitých symbolů a zkratk
 12. Seznam obrázků
 13. Seznam tabulek
 14. Seznam příloh
-
- a) textová část v rozsahu 15 normostran
 - b) dokumentační část-(skici, nákresy, vizualizace, výsledné řešení), která je zpravidla rozsahem vůči textu 1:1
 - c) prototyp nebo funkční model nebo fyzický model v měřítku 1:1, 1:2, 1:3, 1:5, 1:10 podle charakteru projektu a konzultace s vedoucím práce
 - d) grafická prezentace v rozsahu minimálně 2,8 m²

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Jazyk zpracování: **Slovenština**

Seznam doporučené literatury:

JANOVEC, Jiří; CEJP, Jiří a STEIDL, Josef. Perspektivní materiály. Vyd. 3. přeprac. V Praze: České vysoké učení technické, 2008. ISBN 978-80-01-04167-3.

KOLESÁR, Zdeno. Nové kapitoly z dejín dizajnu. 2. doplnené a rozšírené vydanie. Bratislava: Slovenské centrum dizajnu, 2009. ISBN 978-80-970173-1-6.

KOVÁČ, Jozef. Ergonómia. Košice : Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2010. ISBN 9788055305387.

LIDWELL, William; HOLDEN, Kritina a BUTLER, Jill, *Univerzální principy designu: 125 způsobů jak zvýšit použitelnost a přitažlivost a ovlivnit vnímání designu*. Brno: Computer Press, 2011. ISBN 978-80-251-3540-2.

RAAB, Miroslav. Materiály a člověk: (netradiční úvod do současné materiálové vědy). Praha: Encyklopedický dům, 1999. ISBN 80-860-4413-0.

SALVENDY, Gavriel. Handbook of human factors and ergonomics. 4th ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2012. ISBN 978-0-470-52838-9.

SUBIC, Aleksandar. Materials in Sports Equipment 2nd Edition. Duxford : Woodhead Publishing, an imprint of Elsevier, 2019. ISBN 9780081025826.

Vedoucí bakalářské práce: **Mgr. art. Ivan Pecháček**
Produktový design

Datum zadání bakalářské práce: **1. listopadu 2024**
Termín odevzdání bakalářské práce: **23. května 2025**

L.S.

Mgr. Josef Kocourek, Ph.D.
děkan

doc. M.A. Vladimír Kovařík
vedoucí ateliéru

Ve Zlině dne 2. prosince 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení bakalářské práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – bakalářskou práci – nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá; neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že

- jsem na bakalářské práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis autora

ABSTRAKT

Práca sa zaoberá návrhom dizajnu push up barov s dôrazom na ich ergonómiu, funkčnosť a tvarové riešenie, kde sa súčasne spája statické a balančné cvičenie. Hlavným cieľom baka-lárskej práce je navrhnuť optimálne riešenie pre efektívne, bezpečné cvičenie a realizovať prototyp cvičebnej pomôcky inšpirovaný generatívnym a parametrickým designom. Práca sa zameriava nielen na samotný návrh a výrobu produktu, ale aj na hlbšiu analýzu a využitie modelovania v programe Rhinoceros. Výsledkom práce bude plne funkčný prototyp, ktorý prenesený a dostupný ako G-code bude možné tlačiť na bežných 3D tlačiarňach bez nutnosti modelovania.

Kľúčové slová: Kalistenika, homeworkout, push up bars, generatívny dizajn, 3D tlač, rhinoceros

ABSTRACT

The thesis deals with the design of push up bars with an emphasis on their ergonomics, functionality and shape design, where static and balancing exercises are combined at the same time. The main objective of the baka-lar thesis is to design an optimal solution for an efficient, safe exercise and to realize a prototype of an exercise aid inspired by generative and parametric design. The thesis focuses not only on the actual design and fabrication of the product, but also on a deeper analysis and use of modeling in Rhinoceros. The work will result in a fully functional prototype that, ported and available as G-code, can be printed on conventional 3D printers without the need for modelling.

Key words: Calisthenic, homeworkout, push up bars, generative design, 3D print, rhinoceros

POĎAKOVANIE

Chcem sa poďakovať Mgr. art. Ivanovi Pecháčkovi za jeho osobitný prístup, cenné rady, správne nasmerovanie v mojej tvorbe, celému kolektívu ROBOTA za odbornú pomoc a technické zázemie pri realizácii mojej práce.

Zároveň sa chcem poďakovať Ing. Pavlovi Stokláskovi, Ph.D za vykonanie záťažových testov, vypracovanie analýzy, Mgr. Patrikovi Jandovi za jeho odborný posudok a zhodnotenie môjho produktu.

OBSAH

1	ÚVOD	10
1.1	CIELE A ZAMERANIE PRÁCE	10
1.2	VŠEOBECNÉ UVEDENIE DO PROBLEMATIKY	11
2	CVIČENIE	12
2.1	KALISTENIKA	12
2.2	STREET WORKOUT	13
2.3	FITNESS CENTRUM.....	13
2.4	HOMEWORKOUT	14
2.4.1	Porovnanie fitness centra a homeworkout.....	15
3	ANALÝZA RIEŠENEJ PROBLEMATIKY	16
3.1	REŠERŠ SÚČASNÝCH PUSH UP BAROV	16
3.1.1	Celkový trh push up barov	17
3.1.2	Celkový vzhľad push up barov.....	18
3.2	VÝROBNÝ MATERIÁL.....	19
4	CIEĽ PRÁCE.....	21
4.1	HLAVNÝ CIEĽ PRÁCE	21
4.2	VEĎEJŠÍ CIEĽ PRÁCE	21
4.3	OBLASTI MOŽNÝCH INOVÁCIÍ	22
4.4	KONCOVÝ UŽÍVATELIA A TRH	22
5	INŠPIRÁCIA	23
5.1	GENERATÍVNY DESIGN	23
5.2	PARAMETRICKÝ DESIGN	23
5.3	ROZDIEL MEDZI GENERATÍVNÝM A PARAMETRICKÝM DESIGNOM.....	24
5.4	KRVNÝ OBEH.....	24
5.5	DIZAJNÉRI VYUŽÍVAJÚCI GENERATÍVNY A PARAMETRICKÝ DESIGN:.....	25
6	NÁVRHOVÁ ČASŤ A MODELOVANIE	29
6.1	SKICOVANIE	29
6.2	MODELOVANIE	30
6.2.1	Rhinoceros.....	30
6.2.2	Grasshoper.....	32
6.2.3	Blender	34
6.2.4	Fusion 360	35
6.3	RUČNÉ MODELOVANIE V RHINOCEROS.....	36
6.4	POSTUP MODELOVANIA	37
7	VÝROBNÉ PARAMETRE	42

7.1	3D TLAČ	42
7.1.1	Prusa slicer	43
7.2	FILAMENTY	45
7.2.1	PETG.....	46
7.2.2	TPU	48
7.3	3D TLAČ	50
7.3.1	Prusa XL.....	50
7.3.2	Prusa MK4S	51
7.3.3	Bambu Lab X1	51
8	PROTOTYPOVANIE A PRVÉ MODELY	53
9	ZÁŤAŽOVÉ SKÚŠKY	57
10	REALIZÁCIA	62
10.1	NÁKLADY.....	65
11	TESTOVANIE MADLA Z POHLADU UŽÍVATEĽA	66
12	VIZUALIZÁCIE Z VARIANT	69
13	TECHNICKÁ DOKUMENTÁCIA A ROZMERY	71
14	ZÁVER.....	73
15	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATURY A ZDROJOV	74
16	ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK	78
17	ZOZNAM OBRÁZKOV A GRAFOV	79
18	ZOZNAM TABULIEK.....	82

1 ÚVOD

K voľbe tejto témy ma priviedli viaceré faktory. Predovšetkým dlhoročný záujem o kalisteniku, fyzickú aktivitu ako aj silový tréning. Napriek jednoduchosti cvičebného náčinia však existuje množstvo dizajnových a funkčných výrobkov, ktoré sú často výsledkom masovej produkcie bez ohľadu na ergonómiu, individualizácie používateľa či estetický zážitok z produktu. Ďalším faktorom bola snaha preskúmať možnosti nových technologických a návrhových postupov, akými sú generatívny a parametrický dizajn. Tieto dizajnové postupy umožňujú vytvárať produkty, ktoré sú nielen funkčné, ale aj vizuálne inovatívne, inšpirované prírodou a prispôsobiteľné konkrétnym požiadavkám, ktoré sa môžu počas samotného tvarovania v softvéri meniť.

1.1 Ciele a zameranie práce

Práca sa zaoberá návrhom dizajnu push up barov s dôrazom na ich ergonómiu, funkčnosť a tvarové riešenie, kde sa súčasne spája statické a balančné cvičenie. Výsledkom návrhu je jedinečný kus, ktorý sa dá stále upravovať. Hlavným cieľom bakalárskej práce je návrh optimálneho riešenia pre efektívne a bezpečné cvičenie. Práca zároveň skúma správnu techniku používania týchto pomôcok a ich prínos pre tréningový proces. Jej súčasťou je aj analýza základných princípov fitness a kalisteniky, ktoré tvoria teoretický rámec pre vývoj dizajnu. Práca obsahuje poznatky nielen z oblasti funkčnosti, ale zaoberá sa aj modernými trendami v cvičení, čím prispieva k inováciám v tejto oblasti športu a športového vybavenia.

Cieľom tejto bakalárskej práce je navrhnúť a realizovať prototyp cvičebnej pomôcky inšpirovaný generatívnym a parametrickým designom. Práca sa zameriava nielen na samotný návrh a výrobu produktu, ale aj na hlbšiu analýzu a využitie modelovania v programe Rhinoceros. Výsledný produkt bude testovaný z hľadiska fyzickej záťaže a jeho efektivity pri domácom alebo vonkajšom tréningu. V závere bude vytvorená technická dokumentácia, vizuálna identita a návrh aplikácie, ktorá bude slúžiť na prezentáciu produktu alebo jeho ďalšiu personalizáciu.

1.2 Všeobecné uvedenie do problematiky

Kalistenika a cvičenie s vlastnou váhou tela sa stáva čoraz populárnejšou formou tréningu a cvičenia, ktoré podporuje komplexný rozvoj tela. Nevyžaduje nákladné vybavenie, umožňuje realizovať tréning v akomkoľvek prostredí. Tento druh cvičenia je využívaný nielen v domácich podmienkach, ale aj v kalistenických parkoch a fitness centrách. V tejto súvislosti zohrávajú push up bary kľúčovú úlohu. Používanie push up barov počas cvičenia je veľmi variabilné, rozširuje možnosti umiestnenia rúk do rôznych uhlov, polôh, umožňuje rôzne rozpätie rúk a tým precíznejšie a náročnejšie prevedenie cvikov. Zároveň cvičenie s push up barmi znižuje zaťaženie zápästia v porovnaní so zaťažením zápästia pri klasických klikoch, kde sa tento problém môže objaviť pri veľmi intenzívnom cvičení bez prestávok a oddychu.

Design týchto pomôcok by mal preto zohľadňovať nielen funkčnosť a bezpečnosť, ale aj variabilitu pohybu, ergonómiu rukovätí a materiálové riešenie. Push up bary by mali byť prenosné, stabilné, príjemné na dotyk a vizuálne atraktívne. Správne prispôbené pomôcky na cvičenie zároveň prispievajú k vyváženému rozvoju svalovej sily a flexibility, čím sa znižuje pravdepodobnosť vzniku bolestivých stavov a úrazov a zároveň sa urýchľuje regenerácia po náročných tréningoch. Práve týmto aspektom sa bude venovať táto práca.

2 CVIČENIE

V nasledujúcej kapitole rozoberiem aké druhy a formy cvičenia sú, čo je to kalistenika a streetworkout a rozdiel medzi nimi, čo je to fitness centrum a homeworkout a aké sú ich výhody a nevýhody.

2.1 Kalistenika

Je staršia disciplína, ktorá využíva hmotnosť vlastného tela ako odpor a je zameraná hlavne na precvičovanie vlastného tela pomocou základných pohybov ako kliky, zhyby, dipy, drepy, planky a podobne. Cieľom je rozvíjať silu, stabilitu, kontrolu nad telom, flexibilitu a vytrvalosť. Ide viac o technické a funkčné cvičenia bez zbytočných pohybov navyše.

Vďaka tomu si nevyžaduje špeciálne vybavenie, je ideálna pre širokú verejnosť, čo z nej robí efektívny prostriedok na podporu zdravého životného štýlu. Cvičenie je možné vykonávať kdekoľvek. Doma, vonku, v špecializovaných parkoch, ale aj vo fitness centrách. Taktiež je vhodná pre všetky vekové kategórie, keďže je šetrná k telu a ľahko prispôsobiteľná jednotlivcovi, pretože človek cvičí len podľa svojich schopností a nemá možnosť sa preťažiť. Nevýhodou sú však opakujúce sa cvičenia, ktoré môžu cvičenca po čase prestať baviť. Ďalším nedostatkom je nepriama alebo veľmi malá záťaž pre rast niektorých svalových partií.¹



Obrázok 1. Pull ups²

¹ YERAI, 9 Calisthenics Benefits: Why Calisthenics Are So Good for Your Health. 2024

² PALIVODA, Arsenii. Athlete doing pull-ups. 2019

2.2 Street workout

Moderná forma pokračovania kalisteniky. Tréning je viac zameraný na akrobaciou, freestyle a vystupovanie. Okrem základných cvičení sa tu často robia aj statické pózy napr. planche, front lever alebo dynamické triky ako 360° na hrazde, muscle-upy so saltom atď. Trénuje sa na vonkajších ihriskách a v mestskom prostredí. Najčastejšie v parkoch, či na verejných športových ihriskách. Ide o špecifickú variantu kalisteniky, ktorá využíva existujúce mestské inštalácie, ako sú hrazdy, lavičky alebo múry a je preto prístupná širokej verejnosti bez nutnosti drahého vybavenia, či členstva v posilňovni.

Nevýhodou tohto cvičenia môžu byť konkrétne akrobatické prvky a dynamické triky, ktoré kladú vysoké nároky na techniku cvičenia, čo môže viesť k nepredvídateľným úrazom. Zároveň pokročilé cviky vyžadujú čas, trpezlivosť a často asistenciu skúsenejšieho trénera alebo partnera. Preto sa stáva, že ak cvičenec nevidí viditeľný progres za krátky čas, tak ho cvičenie prestane motivovať. Ďalšou nevýhodou je pomerne malá dostupnosť vhodného priestoru, pretože nie všade sú k dispozícii hrazdy, či kvalitne vybudované workoutové ihriská.³



Obrázok 2. Human flag⁴

2.3 Fitness centrum

Komplexné zariadenie určené na telesný tréning a zlepšovanie celkovej fyzickej kondície. Vo fitness centrách nájdeme rôzne možnosti na cvičenie. Posilňovne vybavené modernými strojmi, cez kardio zóny s bežeckými pásmi, eliptickými trenažérmi a spinningovými

³ YERAI, *9 Calisthenics Benefits: Why Calisthenics Are So Good for Your Health*. 2024

⁴ STEVED_NP3, *Fit Muscular man performing calisthenics fitness workout*. 2019

bicyklami. Posilňovacie lavičky, veže a stroje určené na dvíhanie ťažkých váh až po priestory určené pre skupinové cvičenia či individuálne tréningové programy. Význam fitness centier spočíva v možnosti využitia moderného náradia na cvičenie.



Obrázok 3. Fitness⁵

2.4 Homeworkout

Domáce cvičenie predstavuje metódu cvičenia v domácom prostredí bez potreby návštevy posilňovne alebo iného priestoru určeného na cvičenie. Využíva sa pritom vlastná telesná hmotnosť, prípadne minimálne vybavenie alebo improvizované pomôcky. Často je tento druh cvičenia podporovaný online videami, či mobilnými aplikáciami. Jeho význam spočíva predovšetkým v prístupnosti a časovej flexibilitě – umožňuje cvičiť kedykoľvek a kdekoľvek.

Homeworkout, sa stal v posledných rokoch veľmi populárnym, najmä v dôsledku pandemických obmedzení. Každý si môže vytvoriť vlastné tréningové prostredie a tréningový plán podľa svojich možností, schopností a potrieb, bez časového tlaku či nutnosti dochádzania do zariadení.

⁵ LOUW, *Still life shot of exercise equipment in a gym*. 2021

2.4.1 Porovnanie fitness centra a homeworkout

Hlavnou výhodou fitness centra je širšia škála profesionálneho vybavenia, ako sú rôzne posilňovacie a kardio stroje, medzi ktoré sa radia činky, trenažéry, veže a iné pomôcky, čo umožňuje rozmanité a efektívne tréningy zamerané na rôzne svalové partie. Mnohé centrá poskytujú služby certifikovaných trénerov, ktorí môžu pomôcť so správnou technikou cvičenia, vytvorením tréningového plánu a naplánovaním jedálničky pre chudnutie alebo naberania svalovej hmoty, poprípade udržiavanie kalorického deficitu.

Zároveň fitness centrum môže pomôcť ako motivačné prostredie, pretože prítomnosť ďalších cvičencov môže zvýšiť motiváciu a podporiť pravidelnosť v tréningu. Najväčšou nevýhodou sú poplatky a ceny za členstvá vo fitness centrách. Ďalšou nevýhodou je nájsť si čas na cvičenie. Už iba samotná cesta do centra a späť, ako aj čakanie na voľné stroje počas špičky, môže predĺžiť celkový čas, ktorý chce záujemca venovať hlavne cvičeniu. Zároveň tak, ako pre niekoho môže byť motivujúce chodiť do fitness centra plného ľudí, tak niektorí sa môžu cítiť nekomfortne pred ostatnými, čo môže ovplyvniť ich výkon a pohodu.

Veľká výhoda domáceho cvičenia je to, že cvičenie doma umožňuje tréning v akomkoľvek čase, či už ráno, v priebehu dňa alebo večer, bez nutnosti cestovania. K najväčším výhodám patrí úspora nákladov. Začiatočník nepotrebuje žiadne vybavenie, poprípade stačí investícia do základného vybavenia, ktoré môže po čase dokupovať. Z dlhodobého hľadiska sú náklady menšie, ako platenie členstva vo fitness centre. Domáce prostredie zároveň poskytuje väčšie súkromie, čo môže byť výhodné pre tých, ktorí sa necítia komfortne, keď cvičia pred inými. Nevýhodou cvičenia v domácom prostredí môže byť obmedzenie priestorom, ktorý často neumožňuje nákup a umiestnenie rôznorodého fitness vybavenia ako cvičiace veže a stroje, čo môže obmedziť variabilitu tréningov. Zároveň, závažným problémom môže byť aj cvičenie na strojoch bez prítomnosti trénera, ktorý by cvičenca zacvičil ako správne daný cvik na stroji cvičiť, pretože bez správnej techniky cvičenia hrozí vysoké riziko zranenia, čo môže viesť až k trvalým následkom. Domáce prostredie môže prinášať rôzne rozptýlenia, ako sú rodinní príslušníci, domáce práce alebo elektronika, čo môže narušiť sústredenie sa na tréning, pretože z psychologického hľadiska sa človek už v domácom prostredí uvoľní a telo a mozog je pripravené na oddych. Preto je dobré mať jednu miestnosť, určenú priamo na cvičenie, kde sa môže cvičenec psychicky pripraviť a namotivovať.

3 ANALÝZA RIEŠENEJ PROBLEMATIKY

V nasledujúcej kapitole rozoberiem push up bary, ako náčinie na cvičenie, ich aktuálny stav na trhu, aké sú druhy, často používané tvary a materiály pri výrobe. Aké sú ich výhody, nevýhody a možnosti ich inovácie.

3.1 Rešerš súčasných push up barov

Rešerš trhu a prehľad aktuálnych push up barov bol nevyhnutnou súčasťou návrhového procesu. Umožnilo mi to pozrieť si aktuálne trendy, nájsť silné a slabé stránky existujúcich produktov a vyhnúť sa stávajúcim chybám. Na trhu sa nachádza široké spektrum týchto pomôcok od jednoduchých plastových modelov, cez robustné kovové konštrukcie, až po precízne vyrobené “dizajnové” kúsky. Z funkčného hľadiska sa dizajn zameriava prevažne na tri základné potreby, ktorými sú stabilita, úchop a nosnosť.

Tvar úchopovej časti je zvyčajne valcovitý, s penovým alebo gumeným potiahom, bez presnejšie anatomického tvarovania pre rozloženie prstov pri opore.

Podľa dostupných zdrojov a analýzy online trhov (Decathlon, Sportisimo, Intersport...) možno existujúce produkty rozdeliť do niekoľkých kategórií:

- statické push up bary s jednoduchou a pevnou konštrukciou,
- rotujúce push up bary s kruhovou základňou umožňujúce rotáciu do 360° počas cviku,
- skladacie a prenosné modely navrhnuté s dôrazom na mobilitu a úsporu miesta,
- doska na klikovanie s otvormi, do ktorých sa umiestni madlo a podľa farebných značiek sa môžu cvičiť rôzne cviky.⁶



Obrázok 4. Statické push up bary⁷

⁶ MATHESON, *Best Push Up Bars For Strong Upper Body Muscle: Reviews & Buying Guide*. 2025

⁷ SPORTISIMO S. R. O. PUSHUPBAR. 2019

Obrázok 5. Rotačné push up bary⁸Obrázok 6. Doska na klikovanie⁹

3.1.1 Celkový trh push up barov

U týchto výrobkov výrobcovia často popisujú, že produkt má zvýšený rozsah pohybu, protišmykové nožičky, komfortný ergonomický grip, ľahkú konštrukciu a rýchlu zložiteľnosť.

⁸ SPORTISIMO S. R. O. PUSH TWISTER

⁹ TESAŘOVÁ, Multifunkčná doska na kliky. 2024

Ergonómia madiel je vyrobená univerzálne. Dokonale ergonomické madlo by muselo byť vyrobené na zákazku, čo pre daný druh cvičení nie je potrebné, pretože cvičenec potrebuje hlavne pevný úchop, aby sa mu dobre cvičilo a nespôsobil si zranenie.

To isté sa týka aj použitia materiálov a ich hmotnosti. Záleží na náročnosti jednotlivých cvikov. Pokiaľ sú to klasické kliky a cvičenec iba mení ruky podľa typu cviku, tak plast, ako materiál použitý na jeho výrobu je dostačujúci. Ak cvičenec začína s cvikmi, ktoré patria do kalisteniky, tak je potrebné, aby náradie malo pevnejšiu konštrukciu. Toto náradie sa väčšinou nedá skladať, ale je bezpečnejšie.

Pri bežne dostupných push up baroch medzi hlavné nedostatky patrí:

- používanie nekvalitných plastov vedúcich k deformáciám,
- použitie lacnej peny na gripe madla, ktorá sa časom deformuje,
- slabá konštrukcia,
- uvoľňovanie madla pri manipulácii,
- slabé protišmykové podložky, ktoré sa zvliekajú z koncov madla,
- nedostatočná stabilita pri dynamických cvikoch.

Tieto nedostatky otvárajú priestor pre dizajnové a technické inovácie, ktoré môžu byť realizované prostredníctvom nových technológií a prístupov.¹⁰

3.1.2 Celkový vzhľad push up barov

Hlavným nedostatkom je vizuálna podoba, ktorá sa medzi výrobkami ľahko stratí. Estetika súčasných push up barov sa často pohybuje v rámci funkčného minimalizmu. Väčšina modelov využíva jednoduché geometrické tvary, priame alebo mierne zaoblené trubice, plastové spojky a pogumované konce. Farby sú prevažne neutrálne (čierna, sivá, zelená), prípadne doplnené o farebné detaily v oblasti rukovätí (červená, zelená, modrá).

¹⁰ DAY, *The Best Push Up Bars for Home Gyms we've Tested*

Obrázok 7. GB Statické push up bary¹¹

3.2 Výrobný materiál

Medzi najčastejšie materiály pri výrobe push up barov patria:

Plast (ABS, PP, PVC), ktorý sa používa najmä v nižšej cenovej kategórii. Jeho výhodou je malá hmotnosť, čím sa stáva ideálnym materiálom na výrobu, má nízku cenu a je vhodný na prepravu. Nevýhodou môže byť nižšia pevnosť, možná deformácia pri zaťažení a menšia odolnosť voči opotrebovaniu. Z osobnej skúsenosti plastové madlá by som nezaradil do kategórie nevhodného produktu. Aj po viacročnom pomerne pravidelnom používaní push up barov, madlá, aj keď pôsobia opotrebované, splňajú svoj účel.

Kov (oceľ, hliník, nerezová oceľ) sa používa najmä v prémiových modeloch. Oceľ poskytuje vysokú pevnosť a stabilitu, no zvyšuje hmotnosť, čo však v prípade cvičenia kalisteniky je obrovská výhoda oproti plastovým madlám, pretože sa udržiava lepšia stabilita a istota pri cvičení. Preto na push up bradlách a paraletách sa môže cvičiť viac druhov cvikov ako na push up baroch. Paralety a bradlá sú odporúčané na cviky, ktoré sú zamerané na kalisteniku.

¹¹ GYMTEAM, *Adaptér na kluky*

Pena a guma (EVA, TPR) sa používa ako doplnkový materiál na záslepky na koncoch madiel a ako protišmyková podložka na zabránenie zrania počas cvičenia a taktiež aj na niektorých madlách ako protišmykový grip pre držanie, aby sa nešmýkali ruky. EVA pena je ľahká a mäkká, no menej odolná voči oderu a po čase sa začne deformovať.¹²

¹² SUBIC, Aleksandar. *Materials in Sports Equipment 2nd Edition*. 2019.

4 CIEĽ PRÁCE

V tejto kapitole popíšem, aké boli stanovené ciele pri tvorbe bakalárskej práce.

4.1 Hlavný cieľ práce

Hlavným cieľom je návrh a realizácia tvarovo výrazných, funkčných a inovatívnych push up barov s využitím princípov generatívneho a parametrického dizajnu. Inovativnosť vychádza z dlhoročnej skúsenosti cvičenia s push up barmi, pri ktorom sa cviky dajú sťažiť tým, že pri hlbokom, správne prevedenom kliku musí cvičenec vedieť správne udržať balans. Cieľom práce je prototypovať madlo, ktoré bude optimalizované z hľadiska estetiky, ergonómie, výrobných možností a materiálovej efektívnosti.

Záverečným výstupom bude digitálny 3D model, fyzický prototyp vyrobený pomocou 3D tlače, technická dokumentácia a návrh aplikácie pre interakciu s produktom. Využitie nového spôsobu marketingu a predaja, s možnosťou zakúpiť si na stránke STL súbor a daný produkt si vytlačiť z pohodlia domova, pričom sa otvára možnosť vlastnej tvarovej a farebnej modelácie a úpravy samotného produktu podľa vlastných potrieb.

4.2 Vedľajší cieľ práce

Medzi vedľajšie ciele práce patria:

- zmapovanie súčasného trhu push up barov a identifikácia medzier vo funkcionalite, ergonómii, inovativnosti a designe,
- preskúmanie možností tvorby generatívneho a parametrického dizajnu v kontexte so športovými pomôckami,
- zlepšenie sa v modelovaní v programe Rhinoceros, Pluggine grasshoper a Blendri
- overenie možností 3D tlače ako výrobnéj technológie pre testovanie prototypu,
- návrh vizuálnej identity produktu a jeho možné rozšírenie do digitálneho prostredia prostredníctvom aplikácie.
- záťažové a ergonomické testovanie produktu na základe simulačných alebo praktických skúšok.

Tieto ciele podporujú hlavný cieľ tým, že zabezpečujú komplexné spracovanie témy po stránke technickej, dizajnovej aj užívateľskej.

4.3 Oblasť možných inovácií

Na základe predchádzajúcej analýzy boli identifikované tieto oblasti s vysokým potenciálom pre inováciu:

Tvarová inovácia: Využitie organických alebo generatívnych štruktúr, ktoré kombinujú funkčnosť s estetikou.

Materiálová efektívnosť: Optimalizácia hmotnosti pri zachovaní pevnosti vďaka organickej štruktúre.

Personalizácia: Využitie parametrického a generatívneho modelovania na úpravu tvaru podľa telesných proporcií užívateľa.

Vizuálna identita: Prepojenie produktu s moderným a jedinečným vzhľadom, ktorý reflektuje technologické a funkčné hodnoty.

4.4 Koncoví užívatelia a trh

Cieľovú skupinu tvoria:

- jednotlivci cvičiaci doma alebo vo vonkajšom prostredí (homeworkout, street workout),
- fitness nadšenci a prívrženci kalisteniky,
- profesionálni športovci hľadajúci špecializované vybavenie,
- rehabilitačné centrá a fyzioterapeuti,
- dizajnové štúdiá
- startupy zamerané na dizajn a športové pomôcky.

5 INŠPIRÁCIA

V nasledujúcej kapitole rozoberiem, čo je to generatívny a parametrický design, princípy ich fungovania, aké je ich využitie v dizajne, aké existujú spôsoby generovania, a ktorí dizajnéri ho používajú vo svojej tvorbe.

5.1 Generatívny design

Generatívny dizajn je metóda navrhovania založená na určitých pravidlách a algoritmoch, ktoré sa dajú v softvéri neustále upravovať a optimalizovať, čím sa dajú získať stále nové formy výstupu, pretože proces hľadania formy je nekonečný. Algoritmus na základe definovaných pravidiel dokáže pripraviť veľké množstvo variantov generovaných a hodnotených automaticky. Ponúka hľadanie najefektívnejších riešení na základe viacerých kritérií. Generatívne prístupy okrem uplatnenia v architektúre a priemyselnom dizajne sa využíva aj vo vizuálnom umení či hudbe.¹³



Obrázok 8. Aplikácia generatívneho designu¹⁴

5.2 Parametrický design

Parametrický dizajn je navrhovanie v softvéri pomocou ovládania skriptovania (Grasshopper, Dynamo), kde dizajnér priamo upravuje parametre, čo umožňuje flexibilné

¹³ MCCLINTOCK, *A Beginner's Guide to Generative Design*. 2023

¹⁴ MCCLINTOCK, *A Beginner's Guide to Generative Design*. 2023

a rýchle prispôsobenie dizajnu. Obmedzenie je v tom, že sa automaticky negenerujú ďalšie modely, pretože model má priamo určené rozmery.



Obrázok 9. Al Bahr Towers¹⁵

5.3 Rozdiel medzi generatívnym a parametrickým designom

Generatívny dizajn je populárny v priemyselnom dizajne a strojárstve (napr. optimalizované lietadlové komponenty, 3D-tlačené implantáty), kde sa môžu vygenerovať tisíce tvarových alternatív a vybrať najlepší pomer hmotnosti a pevnosti.

Parametrický dizajn sa často využíva pri projektoch, kde sa menia rozmery, uhly a veľkosti modulov. Vzťahy medzi týmito parametrami sa menia prostredníctvom rovníc alebo skriptov a pri zmene ľubovoľného parametra sa geometria automaticky aktualizuje.

5.4 Krvný obeh

Inšpiráciu som nečerpal z celého krvného obehu, ale len z viditeľných žíl, ktoré sa pri cvičení objavajú na zápästí a predlaktí. Pri cvičení sa svaly sa napumpujú, žily sa zväčšia a sú viditeľné pod kožou – tzv. vaskularita. Tento efekt je zaujímavý nielen z hľadiska estetiky,

¹⁵ AEDAS, *Al Bahr Towers*

ale aj preto, že ukazuje, ako sa cievy prispôsobujú zvýšenému prietoku krvi. Práve túto jednoduchú, viditeľnú sieť žíl som použil ako inšpiráciu pre navrhovanie tenkých, štruktúrovaných prvkov, ktoré sú pevné, ale aj vizuálne zaujímavé.



Obrázok 10. Fotografia žíl na zápästí a predlaktí¹⁶

5.5 Dizajnéri využívajúci generatívny a parametrický design:

Janne Kyttanen - fínsky priekopník 3D tlače, zakladateľ štúdia Freedom of Creation (2000), ktorý aplikoval algoritmické prístupy a biomimetiku pri dizajne svetiel, sedadiel i textílií, pričom jeho „Sofa So Good“ ilustruje, ako generatívne štruktúry môžu viesť k ultralight a pevnej 3D-tlačenej pohovke.

¹⁶ USMANOV, *Fist and vein blood vessels*. 2015



Obrázok 11 'avoid' chandelier in chrome finish¹⁷

Ross Lovegrove - britský dizajnér, známy pre svoj "fat-free" prístup a organické tvary, využíva parametricitu na tvorbu produktov od reproduktorov Muon po koncepčné jachty SuperBiomorphic, kde web-like netifikačné štruktúry prepájajú estetiku a funkciu.

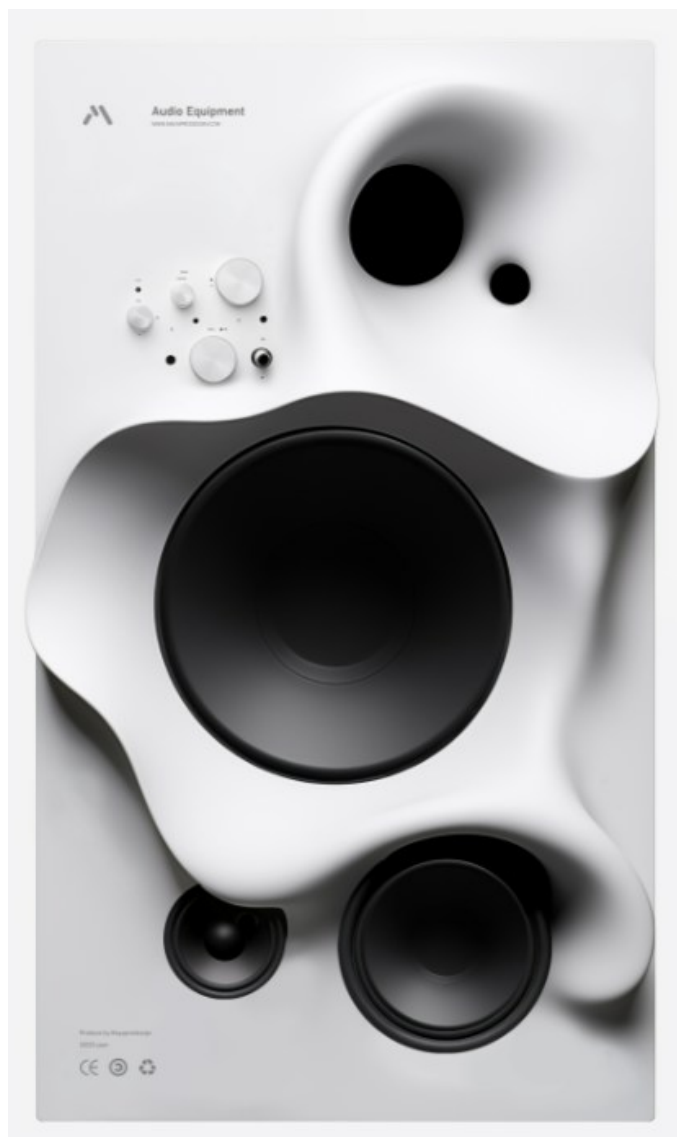


Obrázok 12. Yamagiwa Andromeda¹⁸

¹⁷ HARRIS, 'avoid' chandelier in chrome finish. 2016

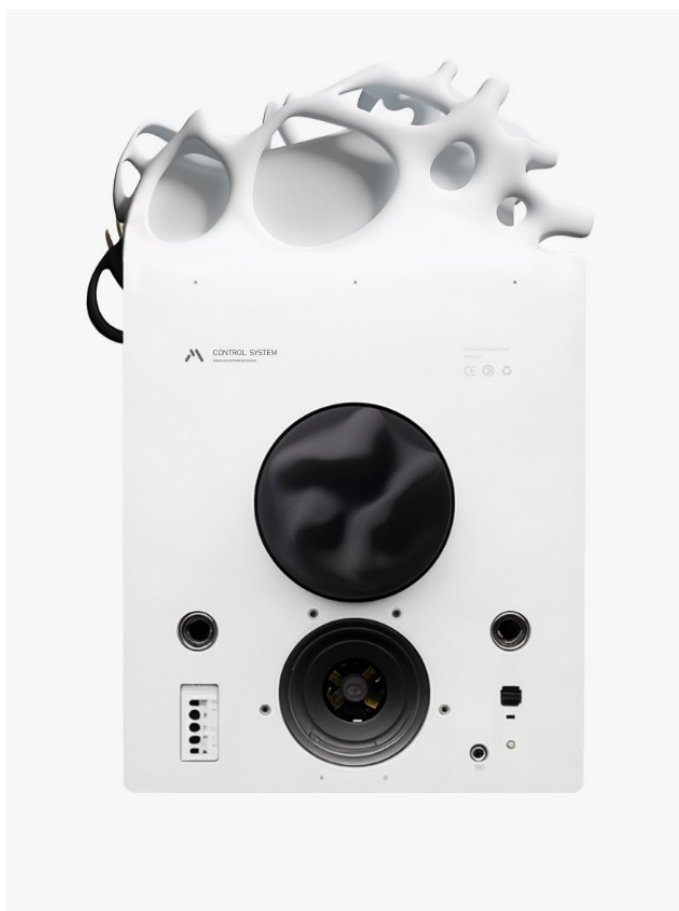
¹⁸ LOVEGROVE, Yamagiwa Andromeda. 2023

Maya Prohkova - ruská industrial dizajnérka so sídlom v Paríži, kombinuje generatívne algoritmy a ergonomické štúdie pri navrhovaní spotrebnej elektroniky a nábytku. Je držiteľkou viacerých ocenení IF a Red Dot Concept Design (napr. “Rotate and Fly” , či “Nest Pro Set”), pričom jej portfólio presahuje 300 konceptov, z ktorých vyše 100 získalo medzinárodné ceny.



Obrázok 13. Audio systém¹⁹

¹⁹ PROHKOVA, *Audio equipment*. 2024



Obrázok 14. Audio systém²⁰

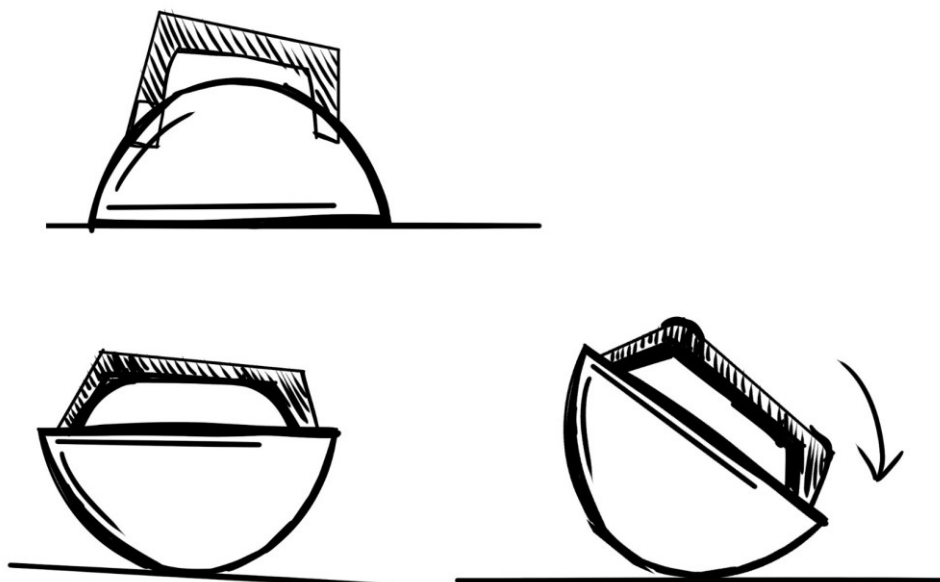
²⁰ PROHKOVA, *Audio equipment*. 2024

6 NÁVRHOVÁ ČASŤ A MODELOVANIE

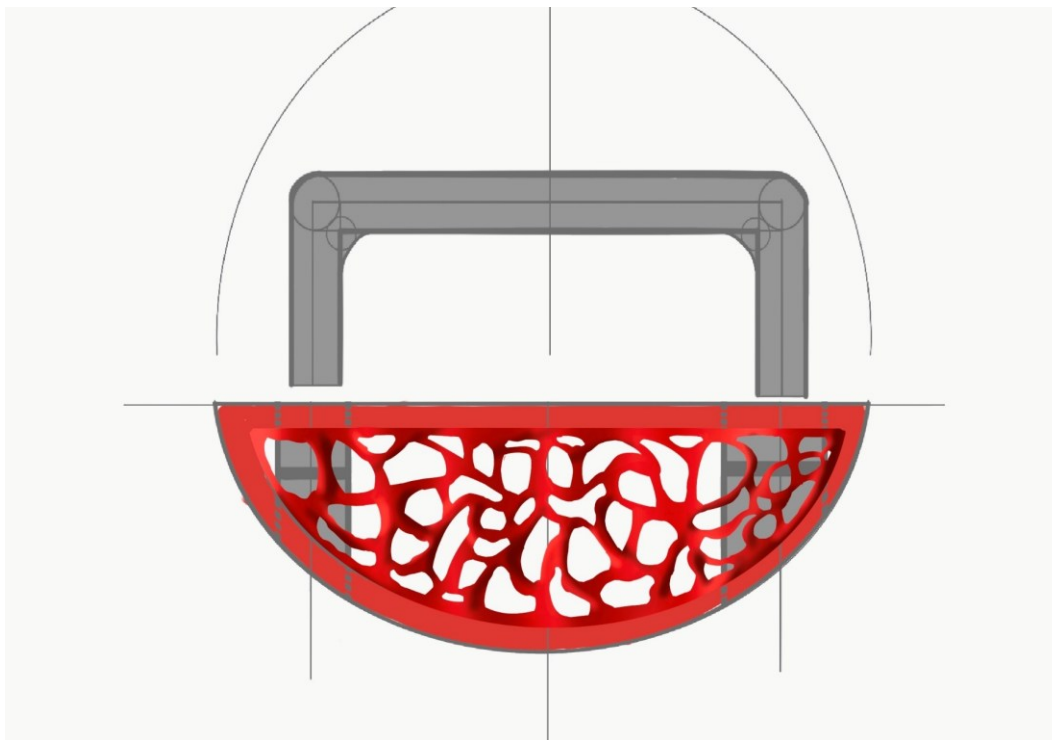
V tejto kapitole popisujem celkový postup tvorby a navrhovania.

6.1 Skicovanie

Pre mňa osobne mi skicovanie poslúžilo viac ako vizuálna myšlienková mapa. Tým, že inšpirácia pre produkt pochádza z generatívneho a parametrického designu, tak detailné a presné skicovanie bolo nereálne. Preto hlavnou návrhovou a vizualizačnou časťou bolo 3D modelovanie.



Obrázok 15. Prvé skicovanie (zdroj: vlastný)



Obrázok 16. Skicovanie (zdroj: vlastný)

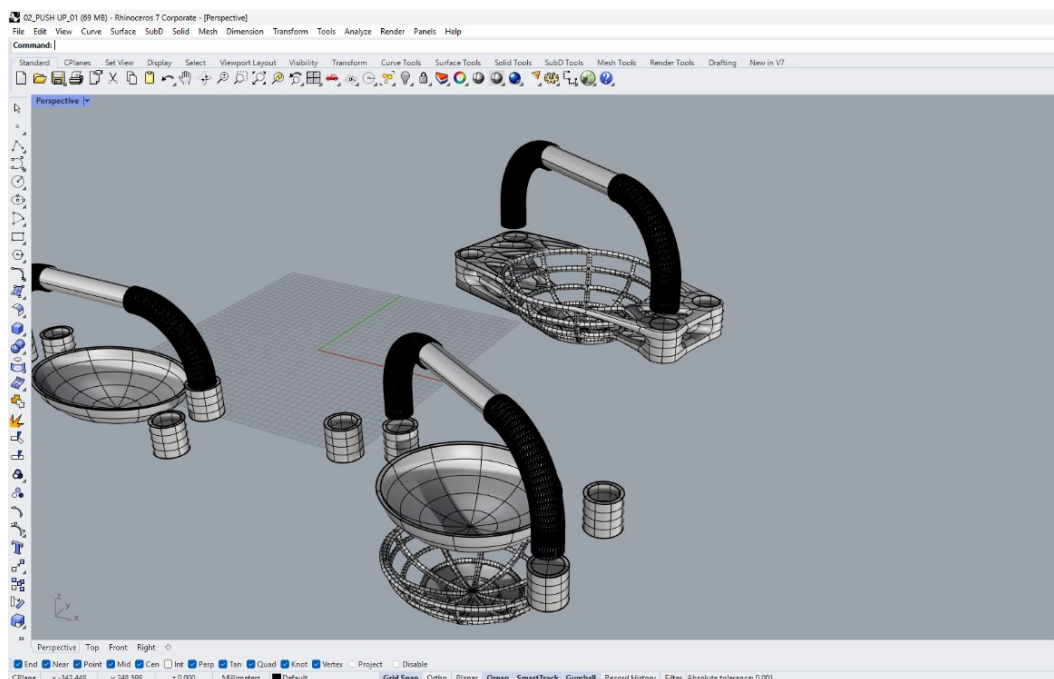
6.2 Modelovanie

Ďalším postupom v návrhovej časti bolo vyhľadanie programov, ktoré dokážu pracovať s generatívnym a parametrickým designom. Medzi tieto programy sa radia Rhinoceros a jeho podprogram Grasshoper, Blender a Fusion 360.

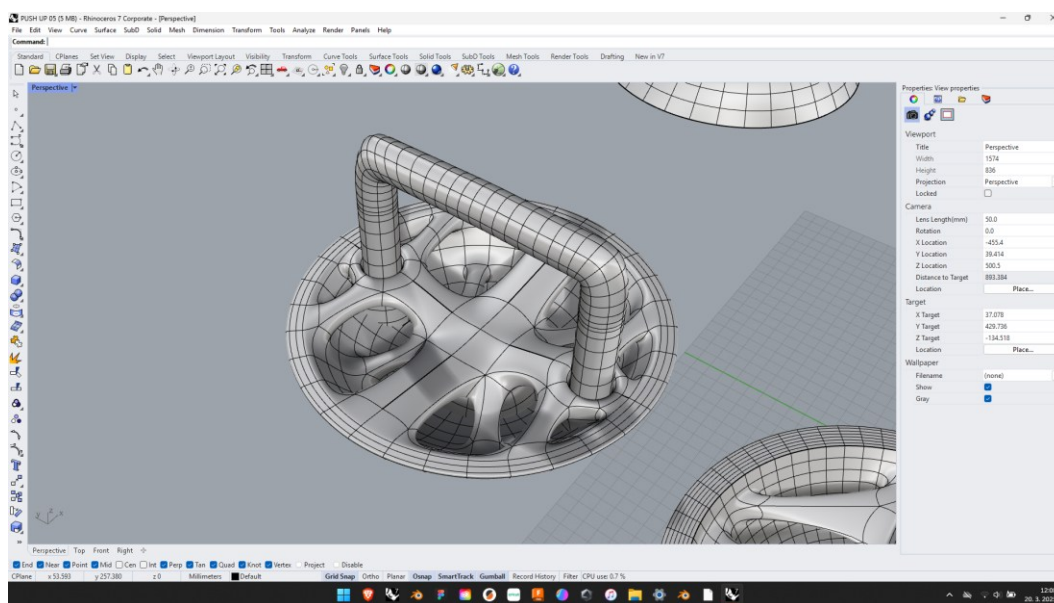
6.2.1 Rhinoceros

Rhinoceros bol mojim prvým programom, ktorý som zvolil pre modelovanie. Tento program je známy svojou NURBS modelovacou technológiou, ktorá umožňuje presnú prácu s krivkami a plochami, ktorá umožňuje detailné návrhy dielov určených pre 3D tlač, či CNC obrábanie, na rozdiel od polygonálnych modelovacích systémov ako Blender. Rhinoceros je často používaný pre prípravu modelov na 3D tlač, vďaka podpore STL/OBJ a možnosti kontroly topológie a odstraňovania chýb pred tlačou. Rhinoceros podporuje import a export viac než 30 formátov, čo z neho robí univerzálny nástroj pre integráciu v rôznych pracovných postupoch.

V priemyselnom dizajne sa Rhinoceros používa na koncepty výrobkov vrátane spotrebnej elektroniky, nábytku či športových potrieb. Rhinoceros neobsahuje priamo funkciu generatívneho modelovania, ale dá sa vytvoriť parametrické modelovanie v zásuvnom pluggine Grasshoper



Obrázok 17. Zobrazenie modelovania v Rhine (zdroj: vlastný)

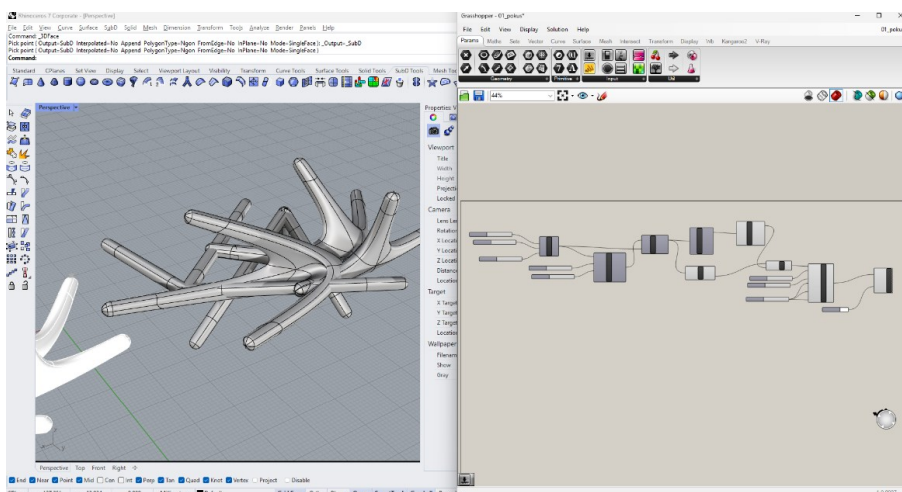


Obrázok 18. Modelovanie v Rhine (zdroj: vlastný)

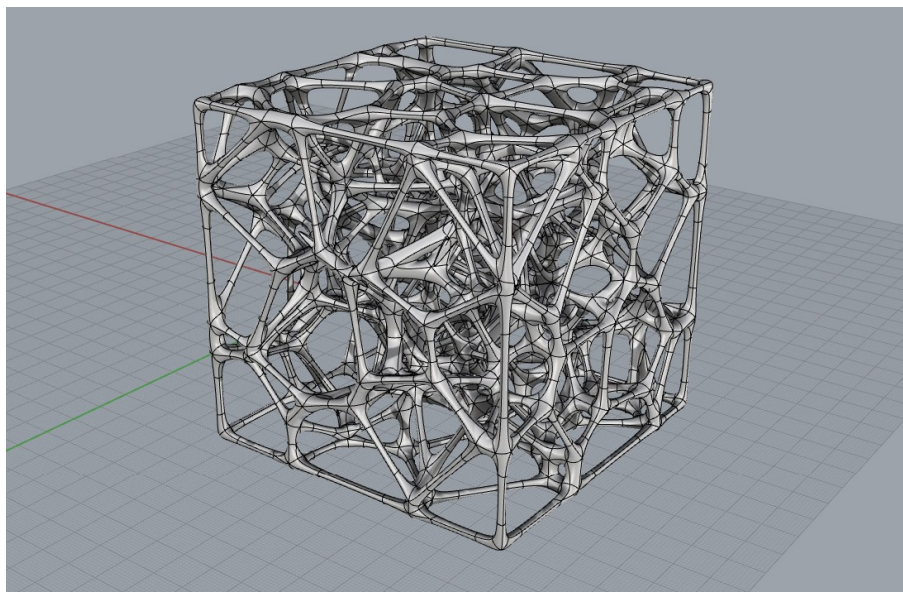
6.2.2 Grasshopper

Grasshopper je plugin rozšíření pre tvorbu modelovania pomocou skriptovania, ktoré umožňuje parametrické a generatívne navrhovanie. Namiesto písania príkazov sa modelovací proces skladá z prepojovania grafických “komponentov” na plátne, pričom každý komponent reprezentuje určitú funkciu alebo operáciu. Parametrické prepojenia umožňujú meniť základné vstupy (slider, čísla alebo geometriu) a okamžite sledovať dopad na celý model.

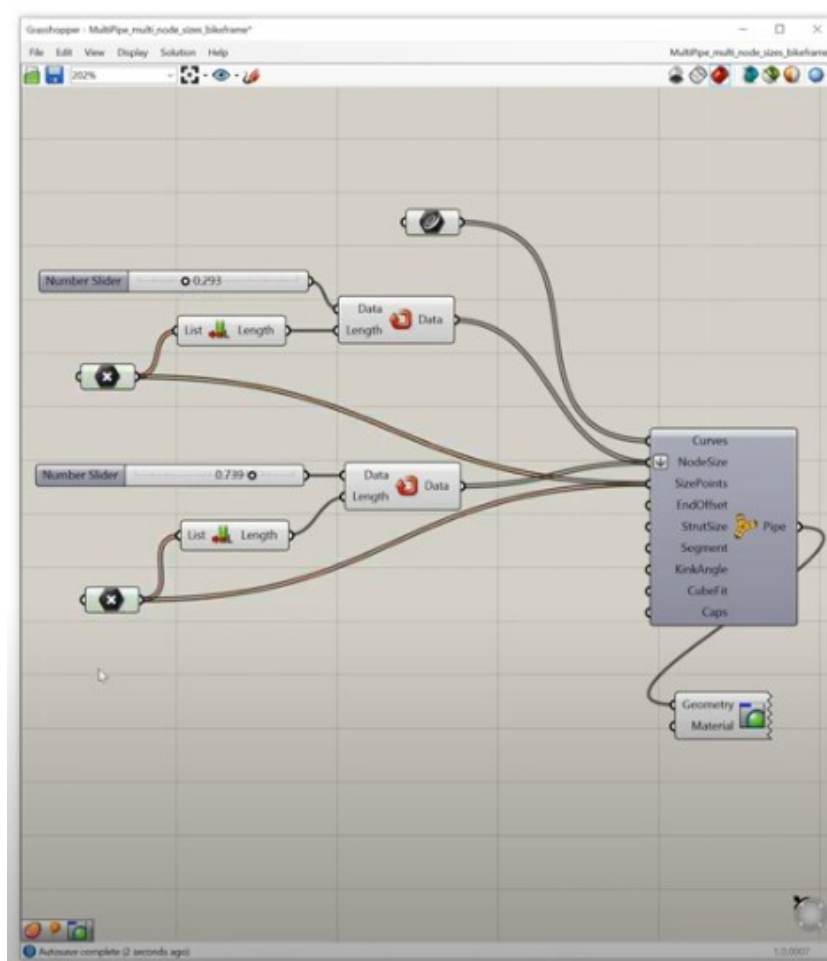
Pracuje sa v ňom pomocou scriptov, ktoré sa musia definovať bodmi, ktoré tvoria samotnú plochu. Výhodou je, že v Rhino viewport sa automaticky zobrazuje, v akom stave sa model nachádza a dajú sa na ňom sledovať úpravy.



Obrázok 19. Zobrazenie modelovania v Grasshoper (zdroj: vlastný)



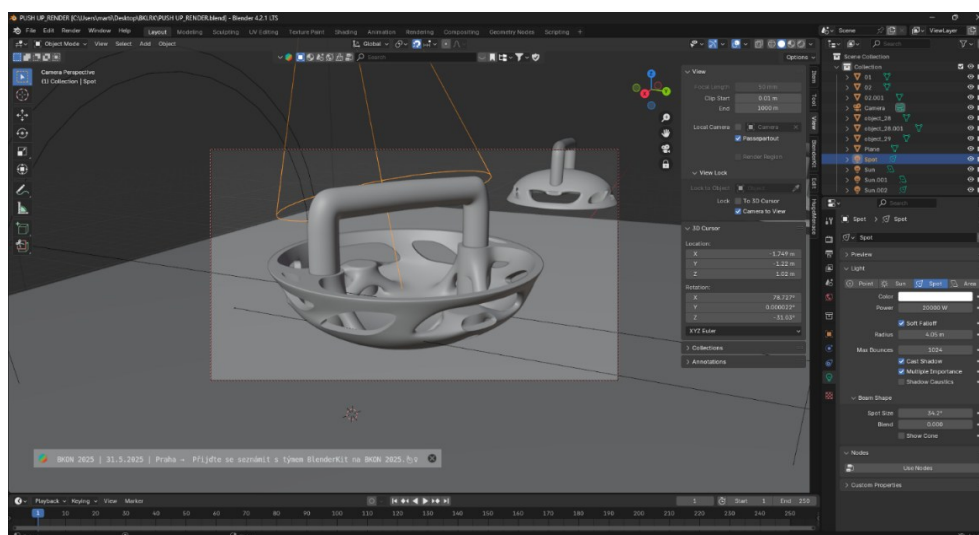
Obrázok 20. Modelácia pomocou Grasshoper (zdroj: vlastný)



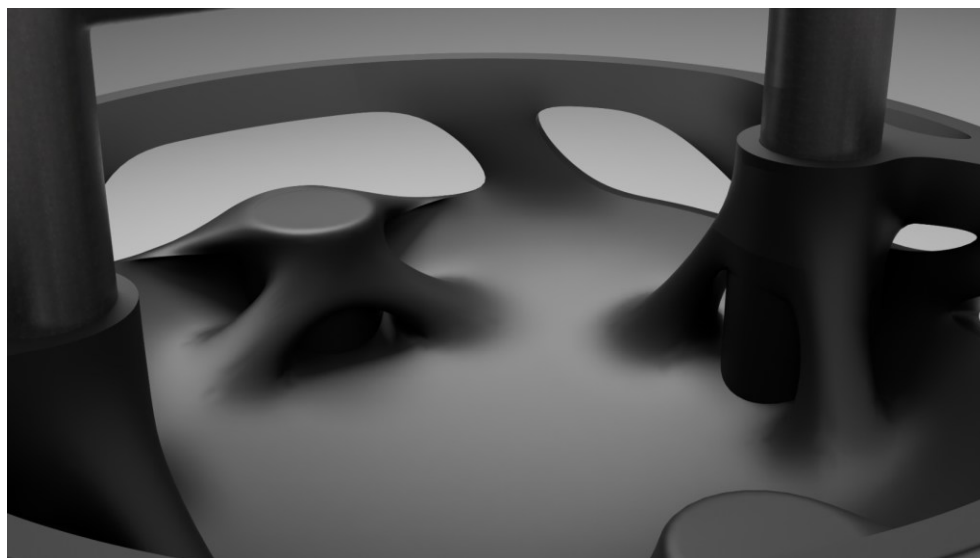
Obrázok 21. Skriptovanie v Grasshoper (zdroj: vlastný)

6.2.3 Blender

Blender je bezplatný, open-source nástroj pre 3D modelovanie, animáciu, simulácie, textúrovanie, rendering a postprodukciiu, ktorý podporuje množstvo formátov. Stal sa neodmysliteľnou súčasťou pre finálne úpravy 3D modelov a ich vizualizácii. Oproti Rhinu má Blender lepšie možnosti renderingu a to vďaka rôznym možnostiam nastaveniam svetla, dynamických úprav pohľadov kamery a výberu render engine. Jeho najväčšia výhoda je, že program je možné upravovať podľa seba a komunita vytvára rôzne pluginy. Blenderkit obsahuje celú knižnicu detailných materiálov, ktoré sa dajú použiť pri vizualizáciách.



Obrázok 22. Zobrazenie renderingu v Blendri (zdroj: vlastný)

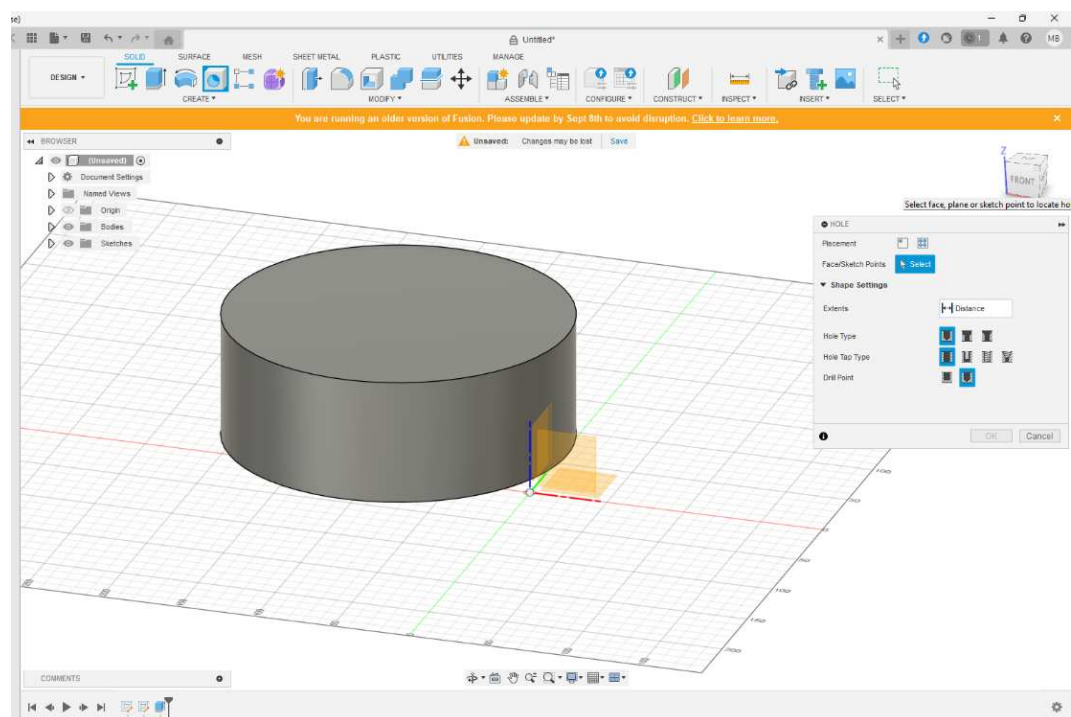


Obrázok 23. Render v Blendri (zdroj: vlastný)

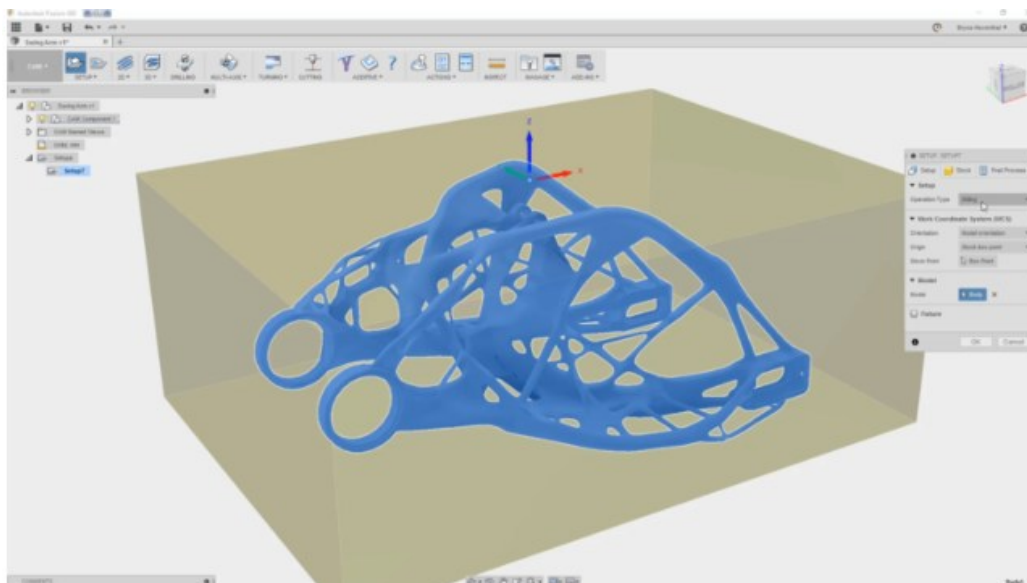
6.2.4 Fusion 360

Fusion 360 je jeden z programov balíku Autodesk. Fusion 360 umožňuje parametrické aj priame modelovanie, výpočtové analýzy, simulácie, generatívny dizajn, tvorbu výstupov pre CNC aj 3D tlač, predstavuje nástroj, ktorý dokáže efektívne spojiť dizajn, inžinierstvo a výrobu.

Program Fusion 360 sa z tohto hľadiska zdal ako ideálna voľba, pretože pomocou AI dokáže vypočítat', koľko materiálu je potrebného pre samotnú výrobu tak, aby výrobok konštrukčne vydržal záťaž, ale rozhodol som sa ho nepoužiť.



Obrázok 24. Zobrazenie modelovania vo Fusion 360 (zdroj: vlastný)

Obrázok 25. Generovanie vo Fusion 360²¹

6.3 Ručné modelovanie v Rhinoceros

Pre výber manuálneho, náročnejšieho modelovania namiesto úplného spoliehania sa na skriptovanie a algoritmické generovanie mám viacero dôvodov, ktoré úzko súvisia s charakterom práce a s potrebou maximálnej kontroly nad finálnym tvarom.

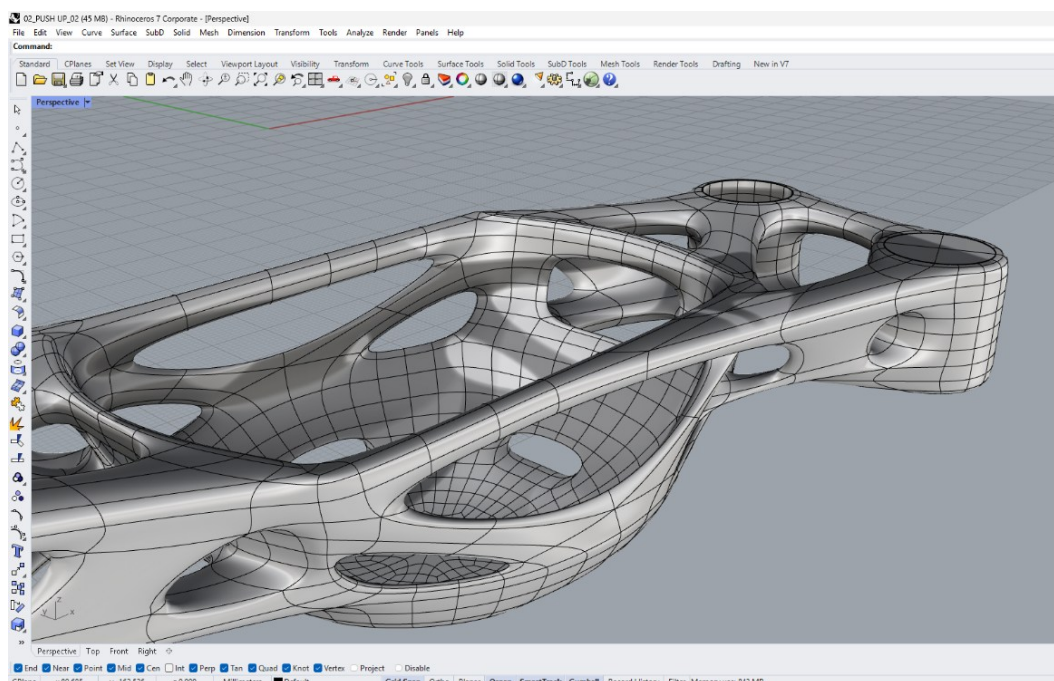
Fusion 360 ponúka integrované generatívne nástroje, ktoré dokážu automaticky vypočítať optimálnu geometriu na základe zadaných kritérií. Výsledný model už prakticky nie je možné ďalej editovať, či jemne doladovať podľa daných preferencií. Považujem za dôležité, aby každý detail, od zaoblenia hrán až po umiestnenie úchytovej somy, som vedel upravovať, aby som tým vyjadril môj osobný vklad. Automatizované generovanie by takmer vo všetkých fázach vytvorilo konečný tvar a ponechalo by finálny vizual skôr ako „dielo AI“ než autorské riešenie.

Blender ako open-source platforma vyniká v oblasti vizualizácie a renderingu, avšak pri práci na prototypoch push-up barov, kde je kritická presnosť na úrovni milimetrov, jeho práca s NURBS krivkami a presným umiestnením bodov nie je dostatočne spoľahlivá. Blender skôr exceluje pri voľne tvarovaných povrchoch a umeleckých projektoch než v technickom detailnom modelovaní potrebnom na výrobu funkčného prototypu.

²¹ COHEE, *Fusion 360 generative design*. 2018

Pri experimentovaní s Grasshopperom – najmä s 3D Voronoi delením ako kreatívnym špecifikom parametrických techník, som narazil na problém príliš náhodných a nerovnomerných spojov. Aby prototyp zvládol skutočné zaťaženie, potreboval by omnoho konzistentnejšiu štruktúru a zároveň jednoduchšiu topológiu, ktorá by sa dala bezproblémovo exportovať na 3D tlač. Zložitosť generovaného Voronoi modelu by navyše výrazne sťažila prípravu podpôr (supports) a mohla by viesť k technickým komplikáciám pri samotnej tlači.

Z týchto dôvodov som sa rozhodol pre tradičné, ručné modelovanie priamo v Rhino prostredí (bez parametrických skriptov), ktoré poskytlo plnú kontrolu nad geometriou, možnosť okamžite korigovať detaily a udržiavať konzistentnú, výrobnú a tlačovo prijateľnú štruktúru. Táto prístupná, hoci časovo náročnejšia cesta umožnila spojiť presnosť technického návrhu s osobným štýlom a zabezpečiť, že finálny prototyp presne zodpovedá mojim požiadavkám.



Obrázok 26. Detail modelu v rhine (zdroj: vlastný)

6.4 Postup modelovania

Doteraz som v Rhinoceros pracoval výlučne s NURBS povrchmi a booleovskými operáciami, no vzhľadom na požiadavky tejto úlohy som musel siahnuť aj po SubD modelovaní – predovšetkým cez nástroj Bridge.

Kým NURBS modelovanie stavia na presných matematických krivkách a umožňuje veľmi detailnú kontrolu plôch, SubD (Subdivision Surface) pristupuje k tvaru cez polygonálnu sieť, ktorú hladko zaoblí na organické tvary pomocou opakovaných subdivízií. To mi dovolilo rýchlejšie vytvárať robustné spoje a zároveň udržať variabilitu tvaru potrebnú pre estetiku a pevnosť držadla.

Na základný tvar U-úchytu som vytvoril presné profily NURBS kriviek podľa finálnych rozmerov, ktoré by zodpovedali reálnym šablónam pre 3D tlač. Na tieto krivky som aplikoval príkaz pipe kde som definoval presnú hrúbku a zaoblenie, tým som vytvoril technicky presný U-úchyt.

Prechod na SubD pre spojovacie prvky:

Na koncoch profilu som v SubD režime pridal valcové segmenty Cylinder, z ktorých som odstránil vrchné plochy a pomocou offsetu stien zväčšil hrúbku o 4 mm. Spodnú časť som vyplnil 10 mm hrubou stenou, aby vznikla dostatočne pevná zasúvacia časť.

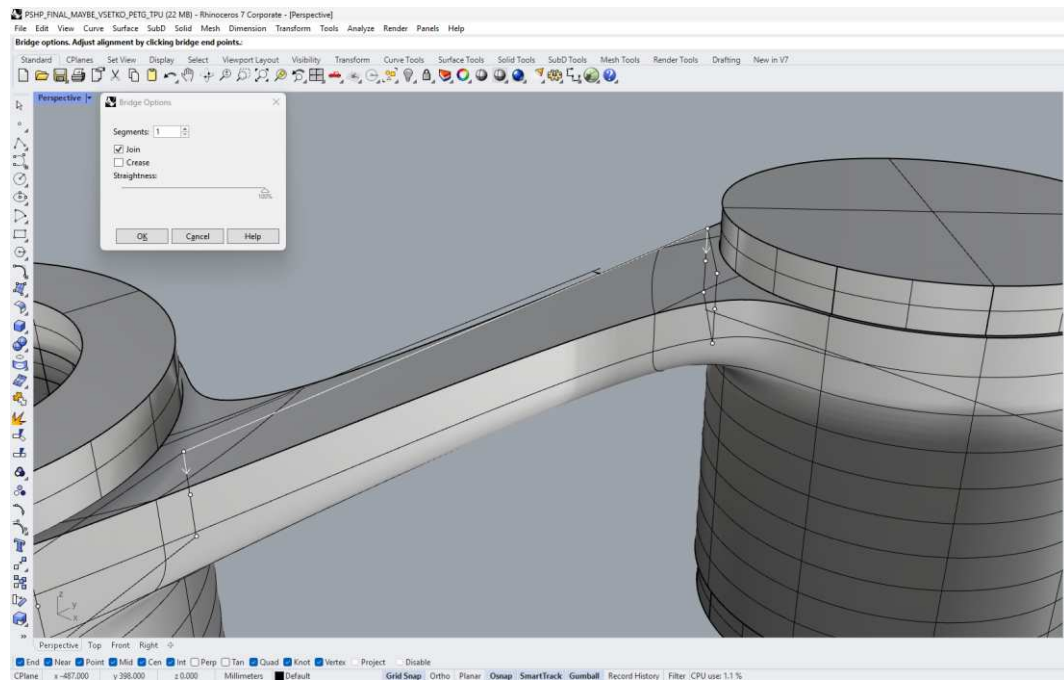
Do stredu som vložil ďalší SubD valec, odstránil jeho vnútro a pridal offset 4 mm, čím som definoval hlavný tvar, okolo ktorého boli vsuvky na U-úchyt s gripom.

Na všetky vytvorené SubD bloky som aplikoval polygonálnu sieť, ktorú som ešte upravil podľa potreby – pridával som edge loops, korigoval som hĺbku a pridal crease na zachovanie ostrých hrán tam, kde bolo treba.

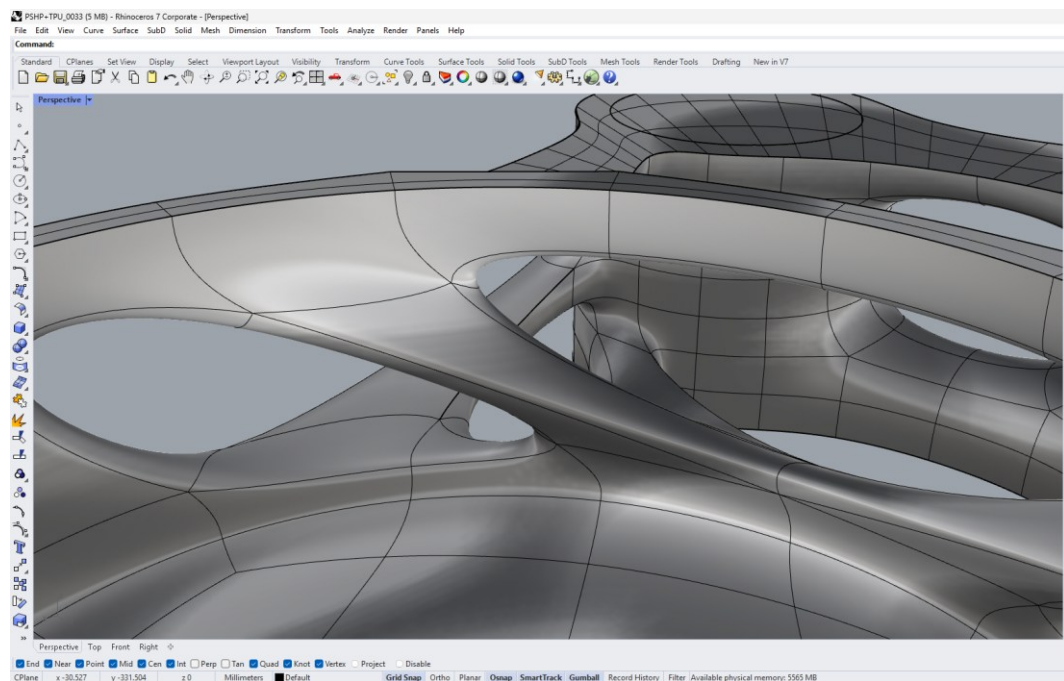
Pomocou príkazu Bridge som spájal jednotlivé sieťové okrajové reťazce, čím vznikli silné, plynulé prechody so subtlínou organickou estetikou. Výsledkom boli spoje dostatočne robustné pre reálnu záťaž, no zároveň vizuálne pripomínali inšpiráciu z ciev a krvného obehu.

Na dokončenie som na koncoch madla vyextrudoval krivky do NURBS plôch, ktoré som následne zarovnal a vyplnil, aby zapadli presne na miesto úchytovej a tým som vytvoril protišmykové podložky. Spodnú časť som doplnil guľou ktorú som rozdelil na 2 segmenty: jednu časť som vypustil a druhú som dotvaroval do presnej balančnej časti. Ktorú som navrhol na 3D tlač z flexibilného TPU.

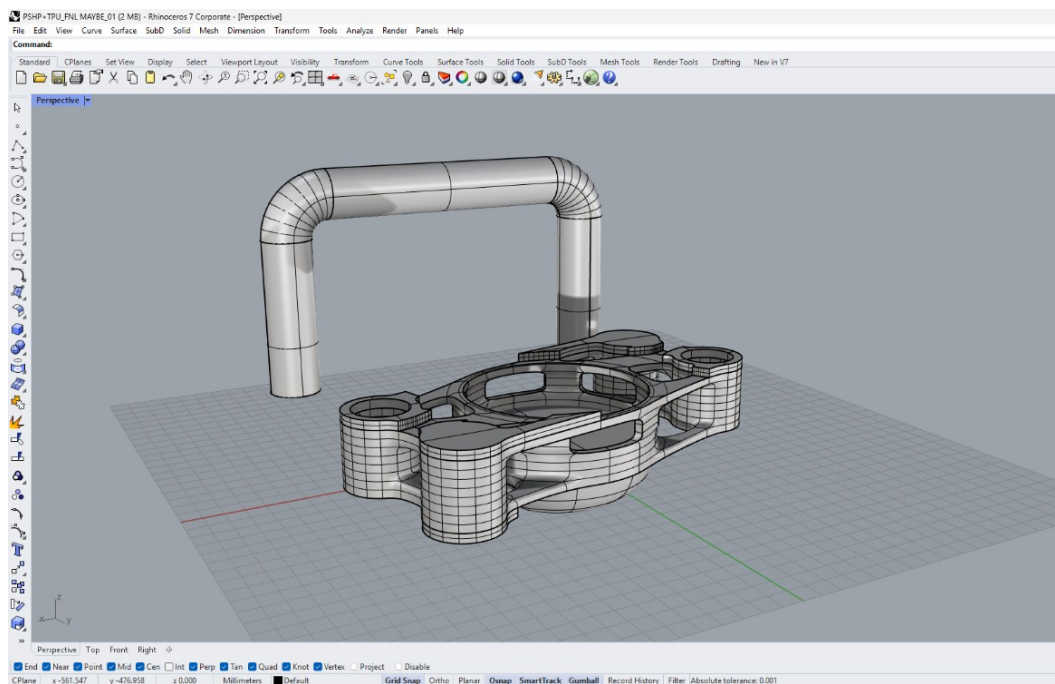
Výsledkom je plne manuálne modelovaný prototyp U-úchytu a madla, ktorý kombinuje presnosť NURBS základov s flexibilitou a organikou SubD spojov cez Bridge. Celý model som exportoval do formátu STL a pripravil na slicing v PrusaSliceri, odkiaľ ide priamo na tlačiareň. Tento prístup mi umožnil dosiahnuť optimálnu rovnováhu medzi technickou presnosťou a estetickou slobodou.



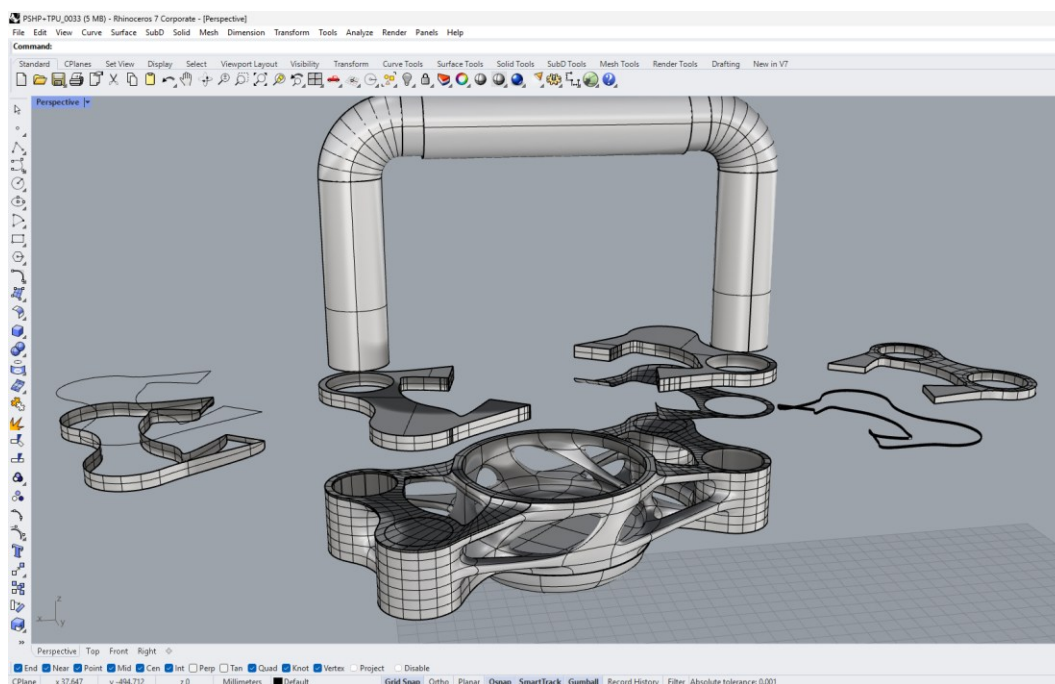
Obrázok 27. Funkcia Bridge v rhine (zdroj: vlastný)



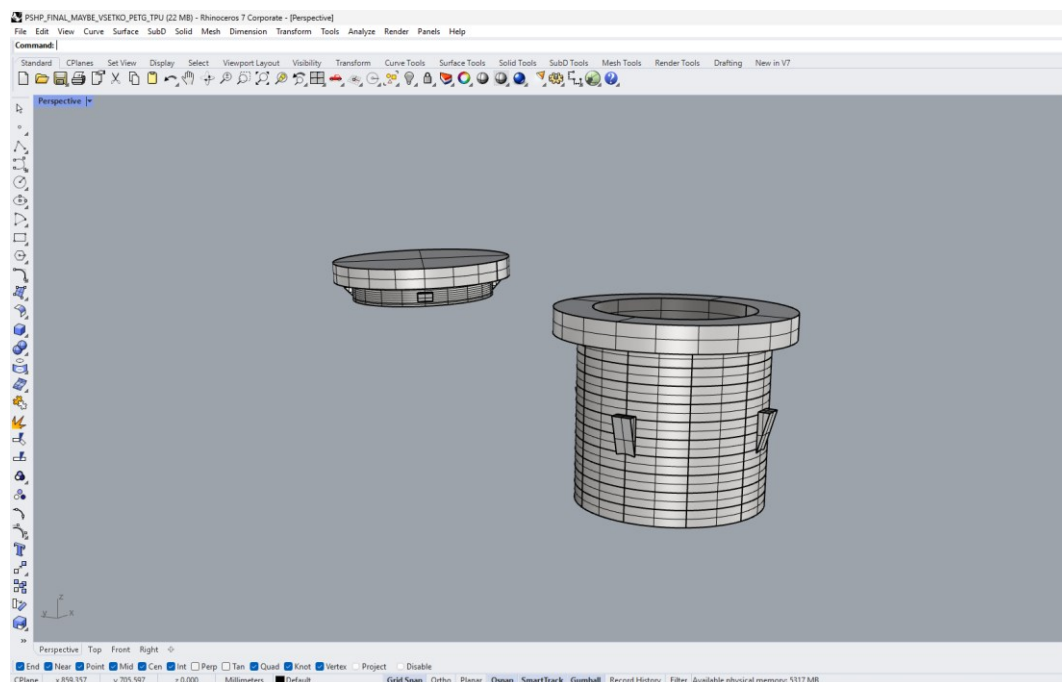
Obrázok 28. Detail na bridge modelovanie (zdroj: vlastný)



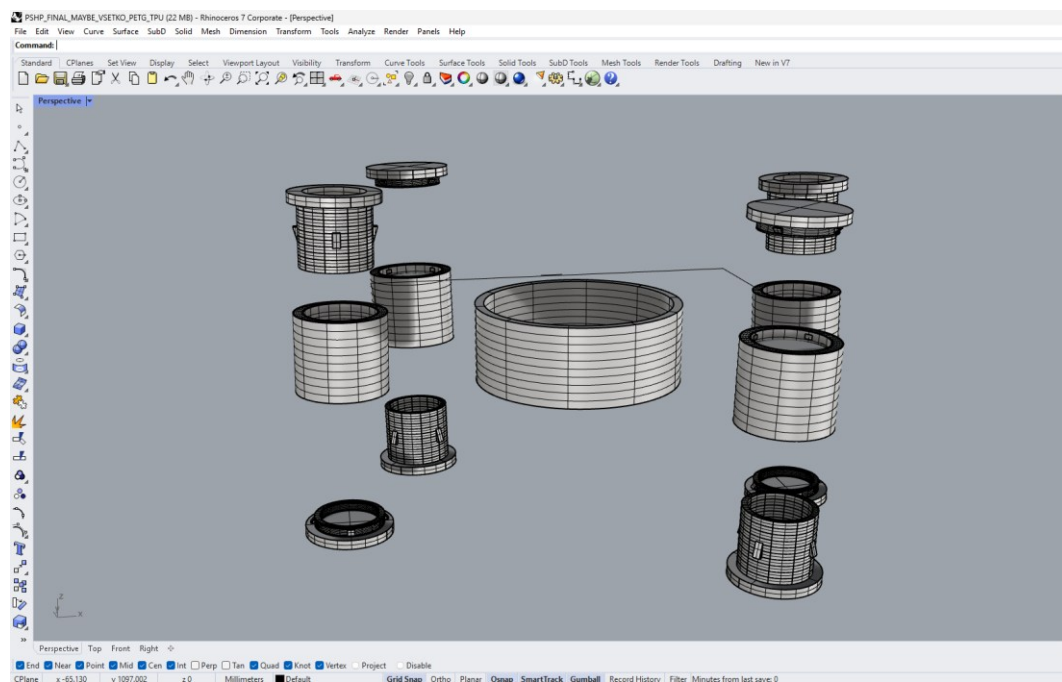
Obrázok 29. Model v Rhinoceros (zdroj: vlastný)



Obrázok 30. Tvarová modelácia TPU častí (zdroj vlastný)



Obrázok 31. Modelácia TPU častí (zdroj: vlastný)



Obrázok 32. Model pred použitím bridge funkcie (zdroj: vlastný)

7 VÝROBNÉ PARAMETRE

V tejto kapitole sa budem venovať samotnému prototypovaniu modelov a ich výrobe. Zaoberám sa zvoleným postupom pri slicovaní, výberom filamentov na výrobu, druhom a výberom tlače.

7.1 3D tlač

V rámci výroby a prototypovania produktu mojej bakalárskej práce som zvolil 3D tlač z FDM.

FDM prináša relatívne nízke vstupné náklady a jednoduchú prevádzku, vďaka čomu je najrozšírenejšou metódou 3D tlače v dielňach aj malovýrobe.

V kreatívnom centre ROBOTA som mal našťastie k dispozícii deväť FDM tlačiarň značiek Prusa a BambuLab, ktoré pracujú nepretržite 24/7, čo zabezpečilo vysokú dostupnosť a rýchlu výrobu prototypov.

Pri zvažovaní alternatív som preskúmal SLA (stereolitografiu), ktorá ponúka vynikajúcu detailnosť a hladký povrch súčiastok. Avšak bežné fotopolymérne živice sú vo všeobecnosti viac krehké a menej vhodné pre aplikácie vyžadujúce mechanickú odolnosť a nosnosť. Resiny určené pre “tough” aplikácie sú pevnejšie, no ich cena a nutnosť dodatočného UV vytvrdzovania zvyšovali časovú a finančnú náročnosť projektu.²²

Technológia SLS (Selective Laser Sintering), často označovaná ako prášková tlač, by poskytla plne husté a mechanicky robustné diely bez potreby dodatočných podpôr alebo povrchových úprav. Avšak obstarávacia cena a prevádzkové náklady na priemyselné SLS zariadenia výrazne presiahli možnosti rozpočtu univerzitnej dielne. Navyše, prístup k takémuto zariadeniu vyžaduje špeciálne prostredie pre manipuláciu s polymérnym práškom, čo ďalej zvyšuje náklady na inštaláciu a prevádzku.²³

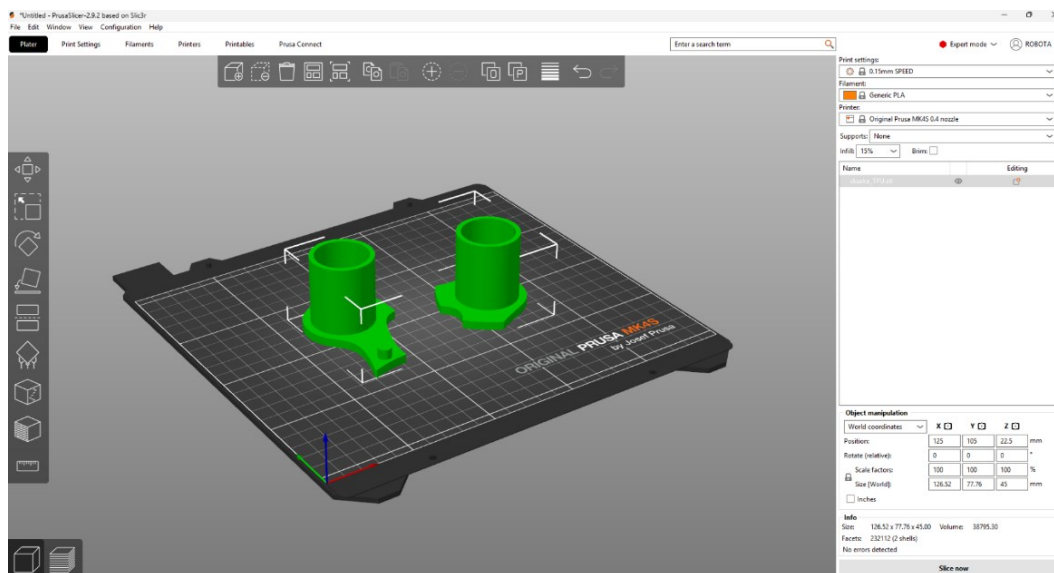
Z toho dôvodu som zvolil FDM tlač, lebo aktuálne najviac vyhovovala tvorbe mojej práce a spĺňala kritériá, čo som si stanovil.

²² *Guide to Stereolithography (SLA) 3D Printing.*

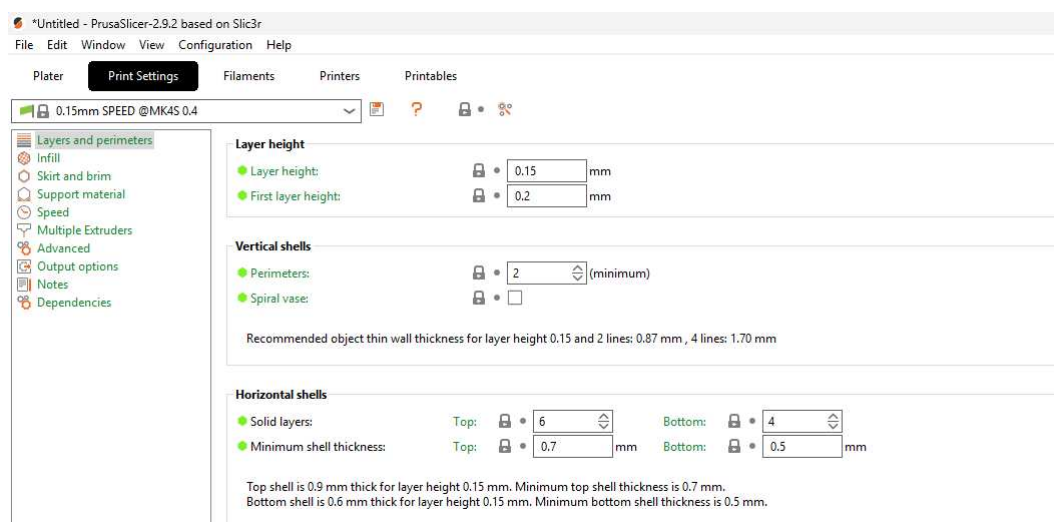
²³ *Guide to Selective Laser Sintering (SLS) 3D Printing.*

7.1.1 Prusa slicer

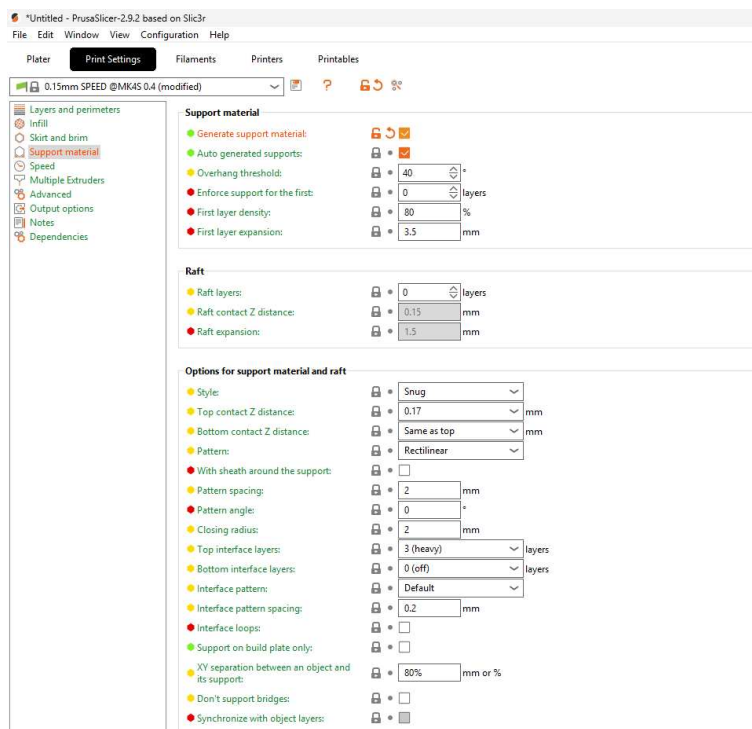
Pre prípravu dát na 3D tlač som zvolil Prusa slicer. Je to bezplatný open-source softvér určený na prípravu 3D modelov pre tlač tzv. „slicer“ vyvinutý spoločnosťou Prusa Research. Je navrhnutý predovšetkým pre FDM/3D tlačiarne, no podporuje aj SLA typy tlačiarní.



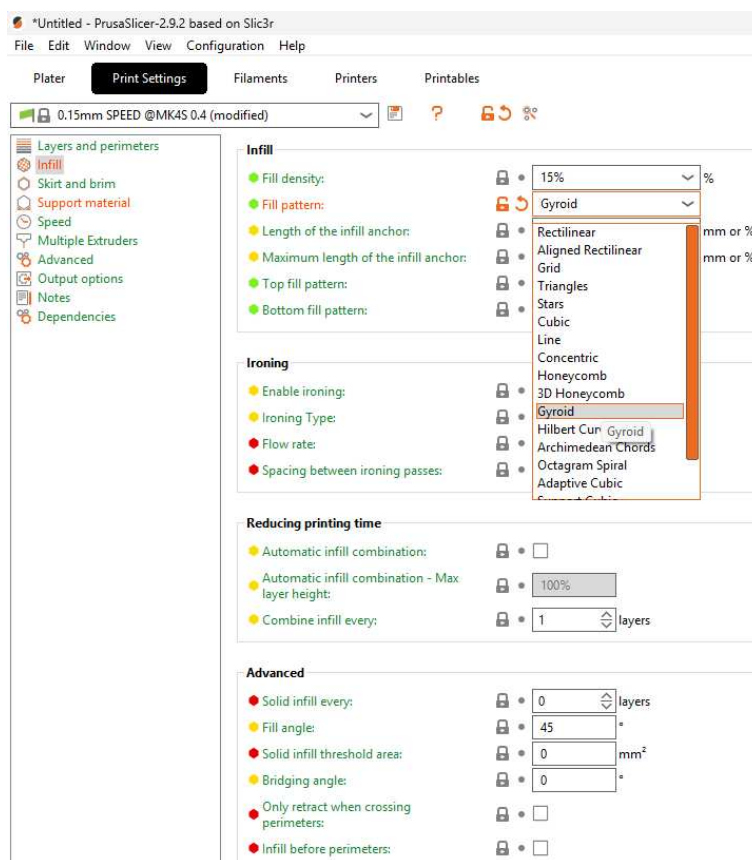
Obrázok 33. Prusa slicer (zdroj: vlastný)



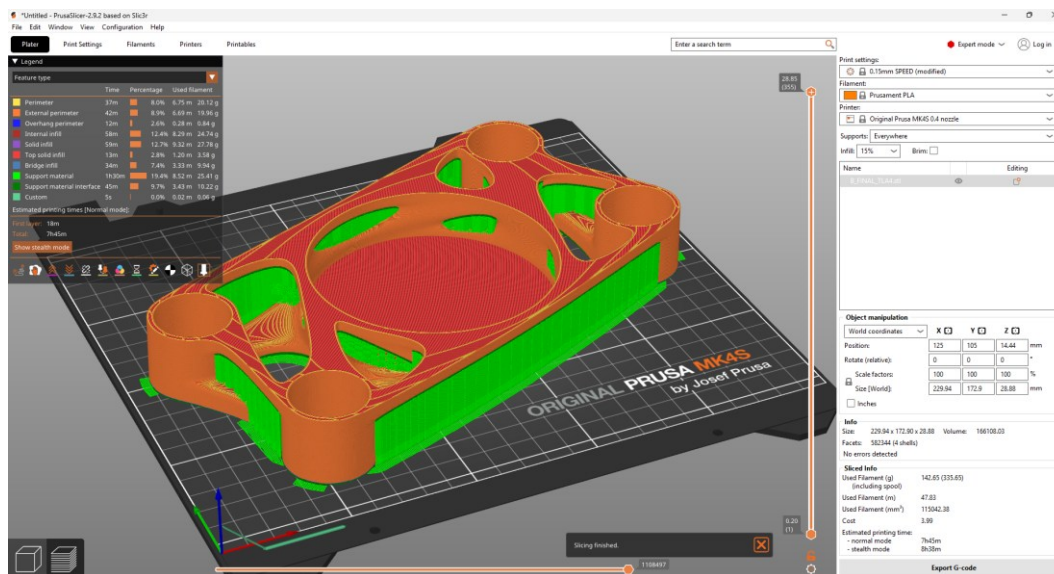
Obrázok 34. Nastavenie vrstiev a perimetrov (zdroj: vlastný)



Obrázok 35. Nastavenie supportov (zdroj: vlastný)



Obrázok 36. Nastavenie výplne (zdroj: vlastný)



Obrázok 37. Pripravené dáta na tlač v Prusa slicer (zdroj: vlastný)

7.2 Filamenty

V rámci realizácie mojej bakalárskej práce som považoval za nevyhnutné dôkladne preskúmať vlastnosti a špecifikácie dostupných filamentov. Správna voľba tlačového materiálu je kľúčovým faktorom, ktorý významne ovplyvňuje pevnosť, pružnosť, trvácnosť, ako aj celkový vzhľad a kvalitu finálneho výtlačku.

Zvažoval som viacero štandardne využívaných filamentov, medzi ktoré patria najmä PLA, ABS a mnohé ďalšie. Každý z týchto materiálov má svoje výhody aj obmedzenia z hľadiska mechanických vlastností, zložitosti tlače, teplotnej odolnosti či ekologických aspektov. Po konzultáciách s kolegami z kreatívnej dielne ROBOTÁ, ktorí disponujú rozsiahlejšími skúsenosťami v oblasti 3D tlače s FDM technológiou, som sa aj na základe ich odporúčaní rozhodol pre kombináciu dvoch materiálov PETG a TPU.

Tento výber bol kompromisom medzi požiadavkami na funkčnosť, dostupnosť materiálu, kvalitu tlače a výrobné možnosti, ktoré mi poskytovalo technologické vybavenie dielne.

7.2.1 PETG

PETG je modifikovaný termoplast, ktorý kombinuje vysokú pevnosť a odolnosť voči nárazom s vynikajúcou tlačiteľnosťou a nízkou zrážanlivosťou, čo z neho robí jeden z najuniverzálnejších materiálov pre FDM tlač.

Okrem mechanickej odolnosti vyniká miernou pružnosťou a chemickou stabilitou. Oproti PLA vyžaduje mierne vyššiu teplotu tlačovej hlavy medzi 220–250 °C a podložku vyhrievanú na úroveň 70–80 °C, čím sa minimalizuje deformácia prvých vrstiev. Pre zlepšenie priľnutia prvej vrstvy som aplikoval tenkú vrstvu lepiaceho spreju na podložku.

Z mechanického hľadiska PETG ponúka lepšiu pevnosť v ťahu, čo znamená vyššiu odolnosť proti prasknutiu než PLA a lepšiu pružnosť než ABS, čo z neho robí vhodný materiál na výrobu konštrukčných prvkov ako je hlavné telo madla.²⁴



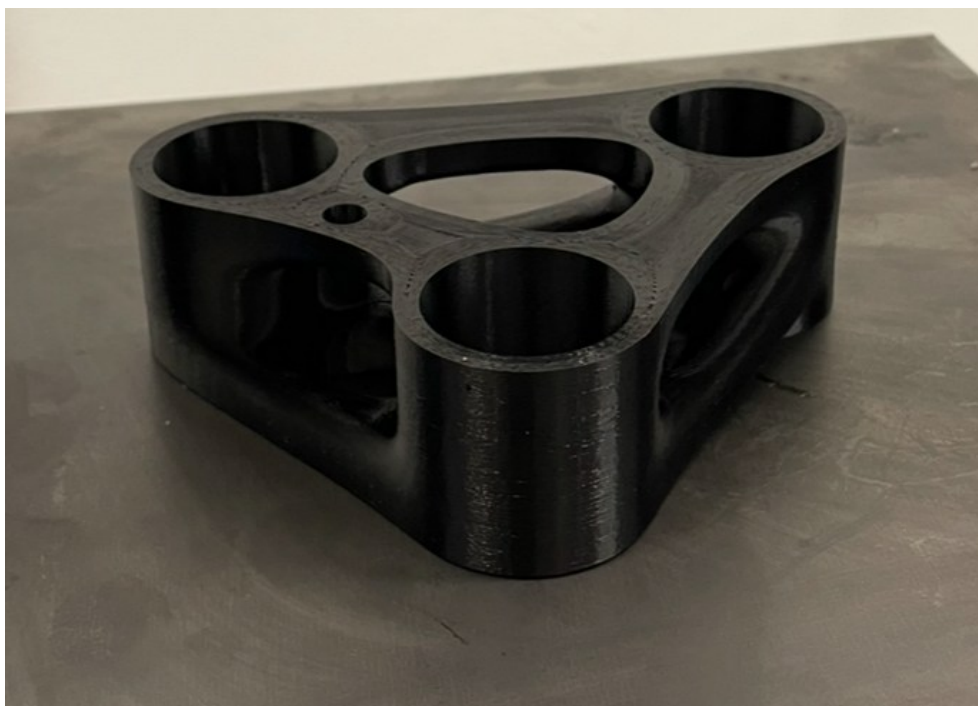
Obrázok 38. Čierny PETG filament²⁵

²⁴ PET-G filamenty.

²⁵ Majkl3D-Filaments PETG 1.75mm 1kg | Černá.



Obrázok 39. Tlač PET-G modelu (zdroj: vlastný)



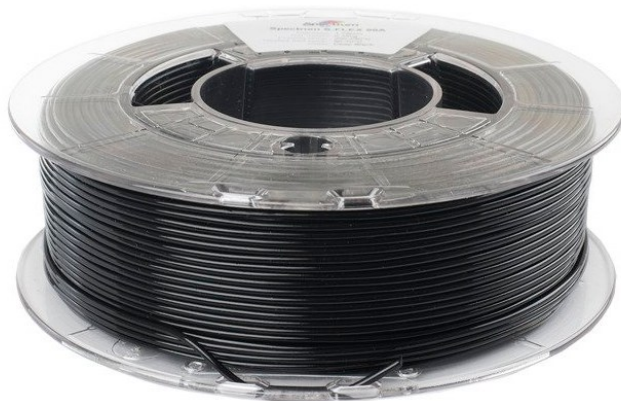
Obrázok 40. PET-G model (zdroj: vlastný)

7.2.2 TPU

TPU je elastický filament, ktorý poskytuje jedinečnú kombináciu flexibility, pevnosti a odolnosti, vďaka čomu sa používa pri výrobe gumovým vlastnostiam podobných dielov pomocou 3D tlače.

Pre tlač TPU sa odporúča teplota extrudera medzi 190 °C a 220 °C. Ohrievaná tlačová podložka by mala byť nastavená na približne 30–60 °C pre optimálne priľnutie prvej vrstvy bez deformácií. Na rozdiel od PET - G som nepoužíval lepiaci sprej, ale lepiacu pásku, ktorou som oblepil celú podložku. Páska znižuje riziko silného priľnutia a tým aj poškodenia výtlaku pri odoberaní z podložky.

TPU som využil najmä na tvorbu protišmykových a funkčne pružných častí madla. Vzhľadom na jeho správanie pri tlači bolo nutné priebežne kontrolovať trysku, pretože dochádzalo k jej upchávaniu alebo chybám pri podávaní materiálu, čo viedlo k niekoľkým neúspešným pokusom.²⁶



Obrázok 41. TPU filament²⁷

²⁶ TPU.

²⁷ Spectrum filament S-Flex 90A 1.75mm 250g | Černá - Deep Black



Obrázok 42. Skúška tlače z TPU (zdroj: vlastný)



Obrázok 43. Tlač TPU modelov od značky Bambulab (vľavo) a Spektrum (pravo)
(zdroj: vlastný)

7.3 3D tlač

3D tlač z FDM je najrozšírenejší druh tlače, preto existuje aj veľa značiek, ktoré vyrábajú tento druh tlačiarní. Medzi najrozšírenejšie patria Prusa, Bambulab, Ender, Anycubic a mnohé ďalšie.

Pri mojej práci som využíval tieto 3D tlačiarne:

7.3.1 Prusa XL

Prusa XL je veľkoplošná FDM tlačiareň, ktorá disponuje objemom tlače $360 \times 360 \times 360$ mm a zároveň disponuje modulárnou konštrukciou umožňujúcou výmenu až piatich nezávislých nástrojových hláv, čo dokáže umožniť prácu s viacerými materiálmi, kde hlavný model je napríklad z PETG a podpery sú z PLA, čo dovoľuje jednoduchšie a rýchlejšie odstránenie podpier. Preto je ideálna na tlač väčších dielov, výrobu viacfarebných či multimateriálových modelov.²⁸



Obrázok 44. Prusa XL²⁹

²⁸ Prusa XL.

²⁹ Prusa XL.

7.3.2 Prusa MK4S

Oproti ostatným hobby tlačiarňam, Prusa MK4S je ideálna pre tlač pokročilejších a presných modelov a dielov, kde je potrebná vysoká spoľahlivosť, konzistentná kvalita tlače a flexibilita pri práci s rôznymi materiálmi.³⁰



31

Obrázok 45. Prusa MK4S.

7.3.3 Bambu Lab X1

Bambu Lab X1 je tlačiareň navrhnutá pre vysokorýchlostné a presné tlače. Model X1 Carbon pridáva zosilnené chladenie a tvrdenú trysku, čo rozširuje kompatibilitu o náročnejšie filamenty ako PET, TPU a kompozitov s uhlíkovými či sklenenými vláknami. Jej najväčšou výhodou oproti Prusa tlačiarňam je rýchlosť tlače a možnosť pridania AMS modulu, ktorý umožňuje súčasné použitie až piatich rôznych filamentov pre využitie viacfarebných

³⁰ Prusa MK4S.

³¹ Prusa MK4S.

a multimateriálových projektov. Tlač viacerých filamentov zvládne aj Prusa XL, ale tlač môže byť niekedy problematická v dôsledku upchávania extruderov.³²



Obrázok 46. Bambu Lab X1 Series.³³

³² *Bambu Lab X1 Series*

³³ *Bambu Lab X1 Series.*

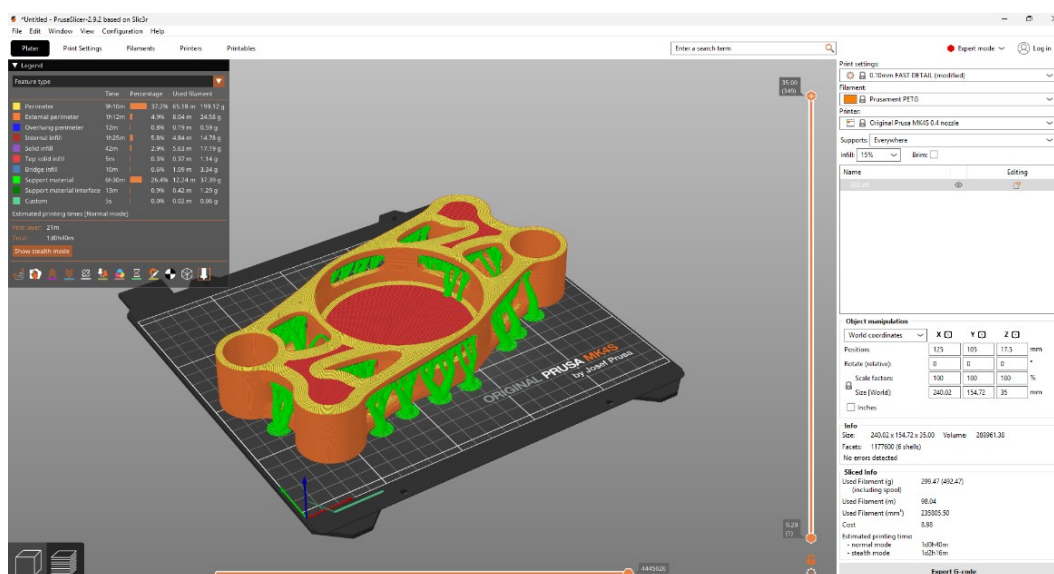
8 PROTOTYPOVANIE A PRVÉ MODELY

Do pracovného prostredia sliceru som nainportoval exportovaný STL súbor s mojím modelom. Následne som vykonal finálne zmeny mierky priamo v 3D Viewporte, aby rozmery zodpovedali požiadavkám na funkčnosť a výrobnú presnosť. Pri tejto úprave som dbal na rešpektovanie tolerancií tlačiarne,

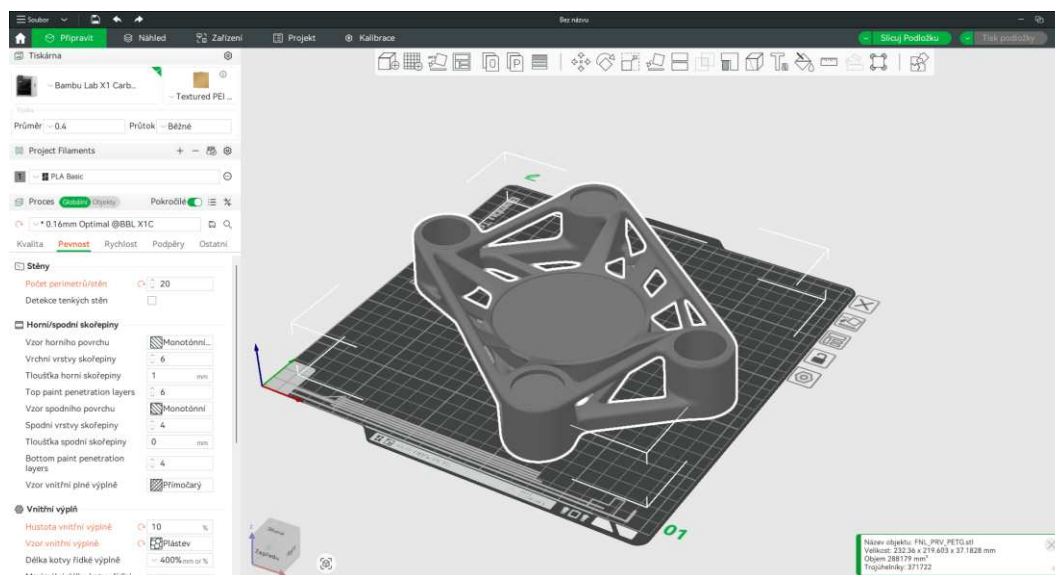
Pre optimálny pomer hmotnosti a pevnosti som namiesto už dopredu nastaveného štvorcového (grid) vzoru zvolil hexagonálne (honeycomb) vyplnenie, ktoré má vyššiu štrukturálnu účinnosť pri zachovaní nízkej spotreby materiálu. Počet perimetrov (vonkajších stien) som nastavil tak, aby zodpovedal približne 20 % celkovej hrúbky modelu. Tento kompromis umožňuje dostatočné spevnenie konštrukcie bez potreby plnej (100 %) výplne.

Pre dosiahnutie súvislej vonkajšej plochy bez viditeľných prechodov medzi vrstvami som pôvodne nastavil režim ukončovania vrstiev (seam position) na náhodný („random“) ale bolo mi odporučené aby som si ho tam sám dokreslil a vedel tak skryť do vnútra modelu. Týmto spôsobom sa zabráňuje vzniku zvislej ševnej línie a povrch modelu pôsobí hladšie a rovnomernejšie.

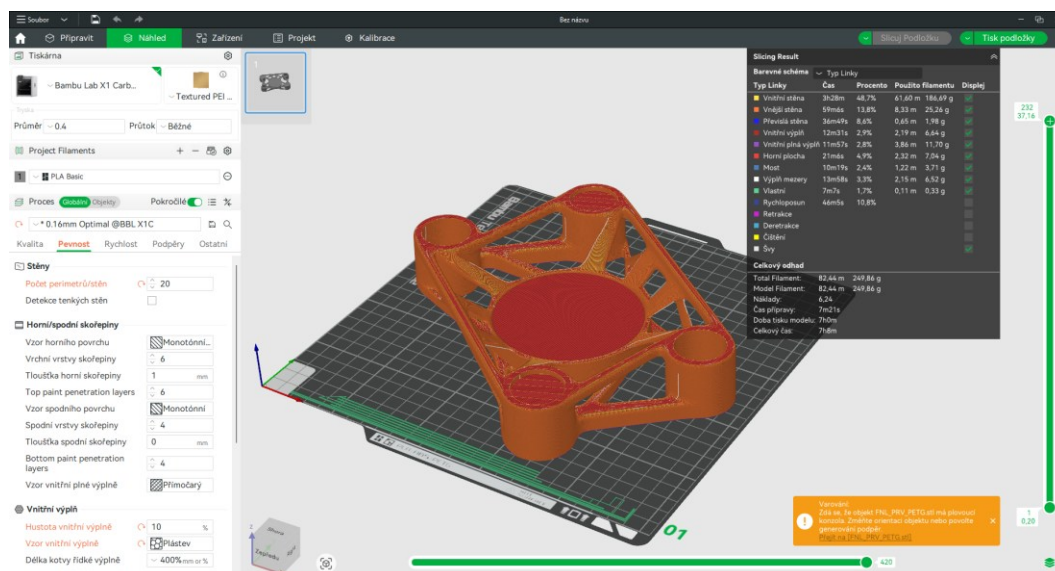
Pre podporné štruktúry som použil režim Snug Supports, ktorý generuje podporné prvky s minimálnym kontaktom ku geometrii, čím sa šetrí materiál a zároveň zabezpečí dostatočná stabilita previsových častí. Tento typ podpôr tiež uľahčuje finálnu demontáž, pretože sú navrhnuté tak, aby pri odstraňovaní nezanechávali výrazné stopy na modelovanej ploche.



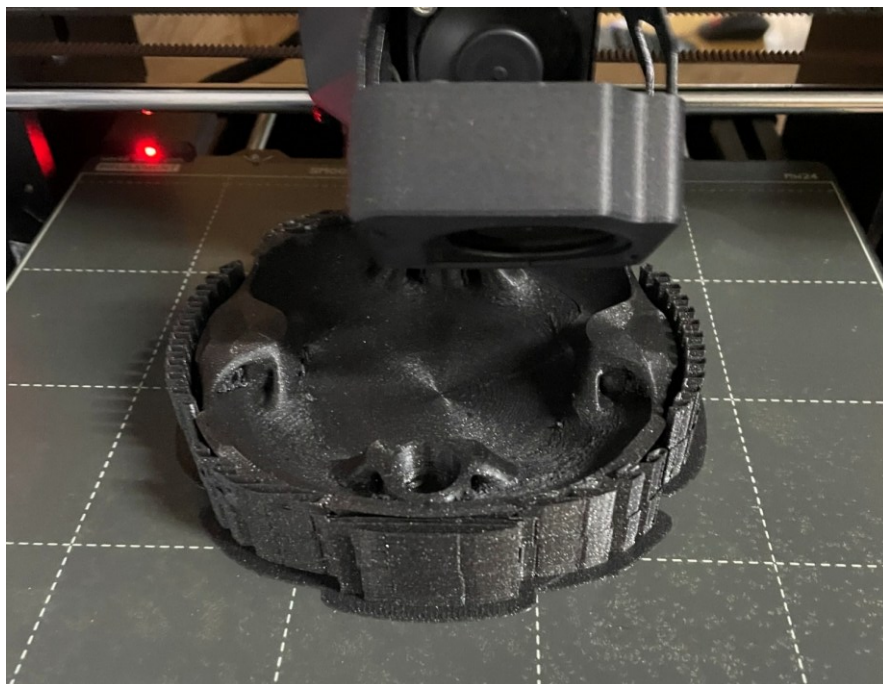
Obrázok 47. Zobrazenie dát pre tlač jedného z finálnych prototypov (zdroj: vlastný)



Obrázok 48. Slicovanie v Bambu studio (zdroj: vlastný)



Obrázok 49. Pripravené dáta na tlač v Bambu studio (zdroj: vlastný)



Obrázok 50. Tlač prvého modelu (zdroj: vlastný)



Obrázok 51. Fotografia prvé modelu (zdroj: vlastný)



Obrázok 52. Fotografia druhého modelu (zdroj: vlastný)



Obrázok 53. Zobrazenie supportov z PETG a PLA na Prusa XL (zdroj: vlastný)

9 ZÁTAŽOVÉ SKÚŠKY

Odborný posudok k záťažovej skúške vypracoval Ing. Pavel Stoklásek, Ph.D., s ktorým som záťažové skúšky realizoval:

Testování jednotlivých dílů bylo provedeno na univerzálním elektromechanickém zkušebním stroji LabTest 6.50 po jeho předchozí kalibraci. Zkoušky probíhaly za standardních laboratorních podmínek (teplota 22 °C, relativní vlhkost 45 %). Standardní samosvorné čelisti trhacího stroje byly pro účely testování nahrazeny tlačnými deskami, které lépe odpovídají předpokládanému způsobu zatěžování v provozu.

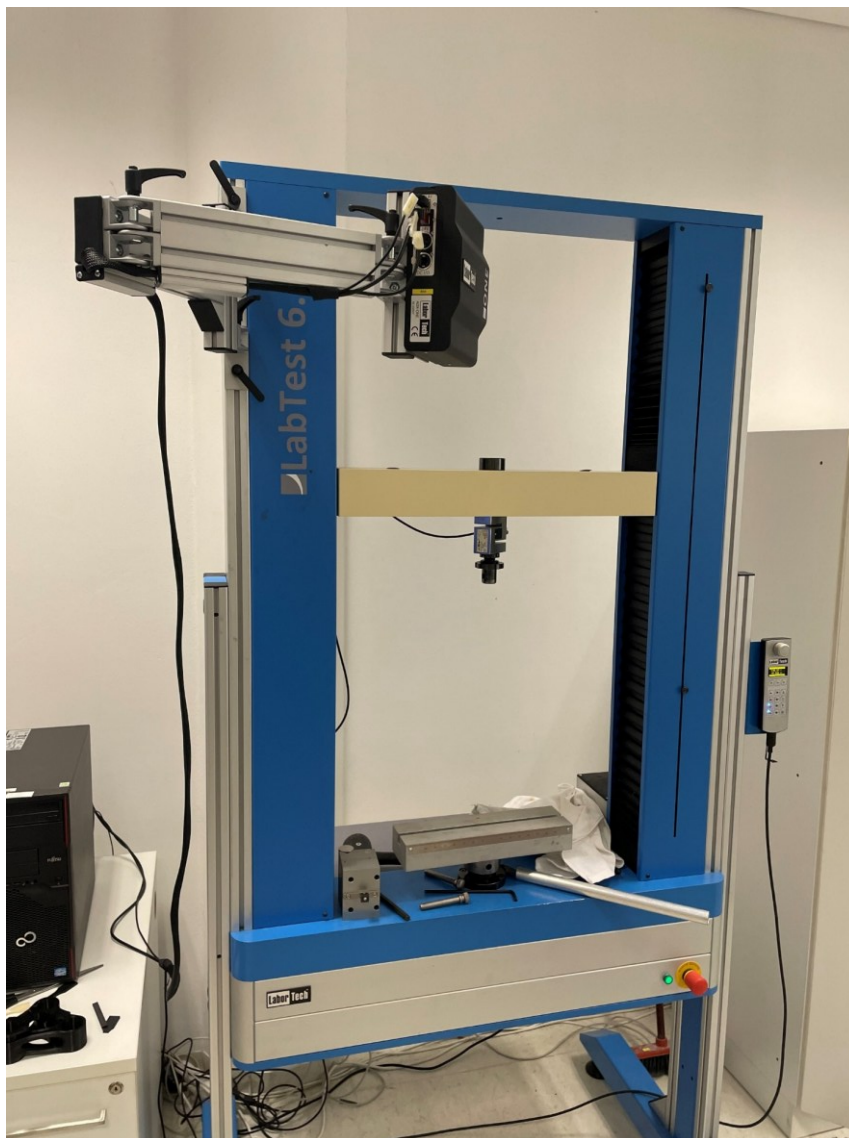
Černý díl určený k uchycení madla byl testován na tlak a bez známek porušení odolal maximálnímu měřitelnému zatížení 50 kN (50 000 N), což odpovídá limitu použitého siloměru. Výsledek svědčí o vysoké pevnosti a tuhosti konstrukce, správné volbě materiálu i vhodně nastavených parametrech 3D tisku. Stejného výsledku bylo dosaženo i při vložené tlumicí vložce z materiálu TPU, která při zatížení cca 2 500 N vykazala dočasnou deformaci (po odlehčení zatížení se vložka bez známek poškození dokázala vrátit do původního tvaru).

Originální zelené madlo zakoupené v obchodě bylo následně testováno na ohyb, aby simulovalo běžné zatížení způsobené tlakem lidské dlaně. Tato konstrukce odolala zatížení přibližně 1 850 N, což odpovídá maximální síle, kterou může uživatel na madlo vyvinout. Ve srovnávací tlakové zkoušce byl dále testován díl, do kterého se madlo zasunuje – při zatížení 560 N došlo k jeho destrukci, což značí jeho nižší pevnostní rezervu a naznačuje maximální zatížení, se kterým výrobce pravděpodobně počítal.

Hlavní tělo součásti (červený díl) bylo rovněž testováno na tlak. Konstrukce odolala zatížení 1 975 N, při kterém došlo k prasknutí v oblasti kupole křehkým lomem – na odlehčených a zeslabených místech. Navzdory poškození byla následně provedena i zkouška v obrácené poloze, která simulovala alternativní způsob využití tohoto prvku. Při tomto typu zatěžování konstrukce odolala síle 10 500 N, což odpovídá zátěži přibližně 1 070 kg. To je výrazně vyšší hodnota než u srovnatelného dílu zakoupeného v obchodě.

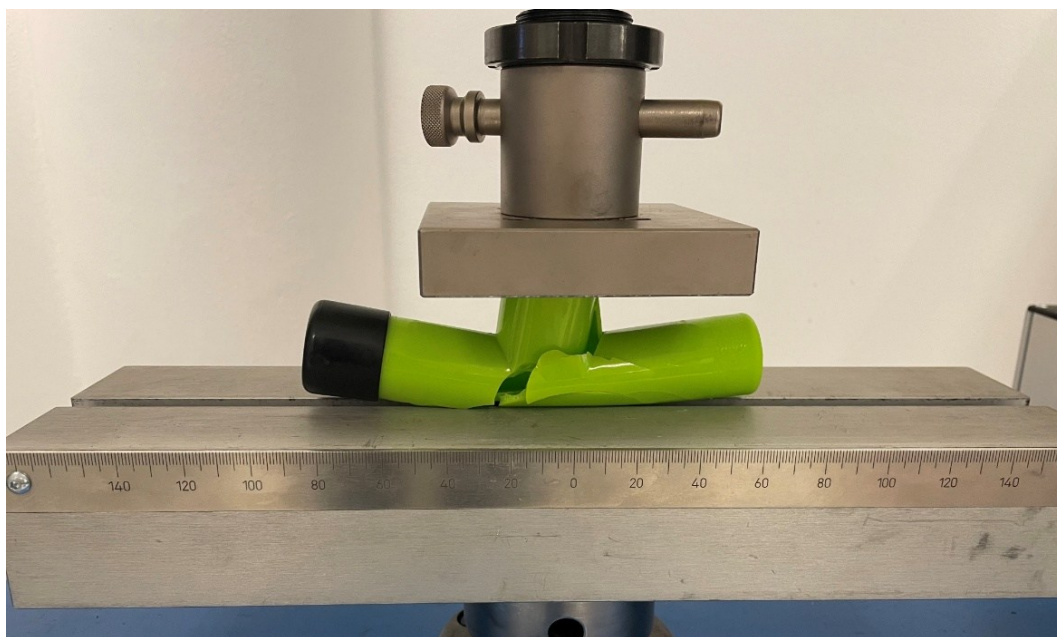
Z výsledků vyplývá, že i přes absenci hlubších znalostí v oblasti konstrukce a materiálového inženýrství student správně zvolil jak materiál PET-G, tak i parametry tisku. Výsledné díly vykazují velmi dobré mechanické vlastnosti a jejich návrh odpovídá praktickým požadavkům na použití v posilovacím zařízení. Přestože bylo zatížení hlavního těla součásti

realizováno bez připojeného madla, pouze pomocí tlačných desek, naměřené hodnoty se pohybují řádově výrazně výše než u komerčně dostupného madla.³⁴

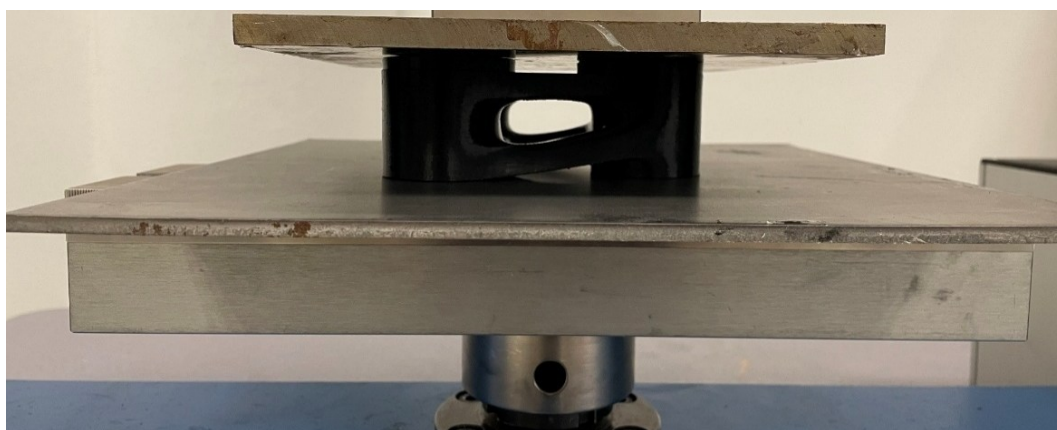


Obrázok 54. LabTest 6.50 (zdroj: vlastný)

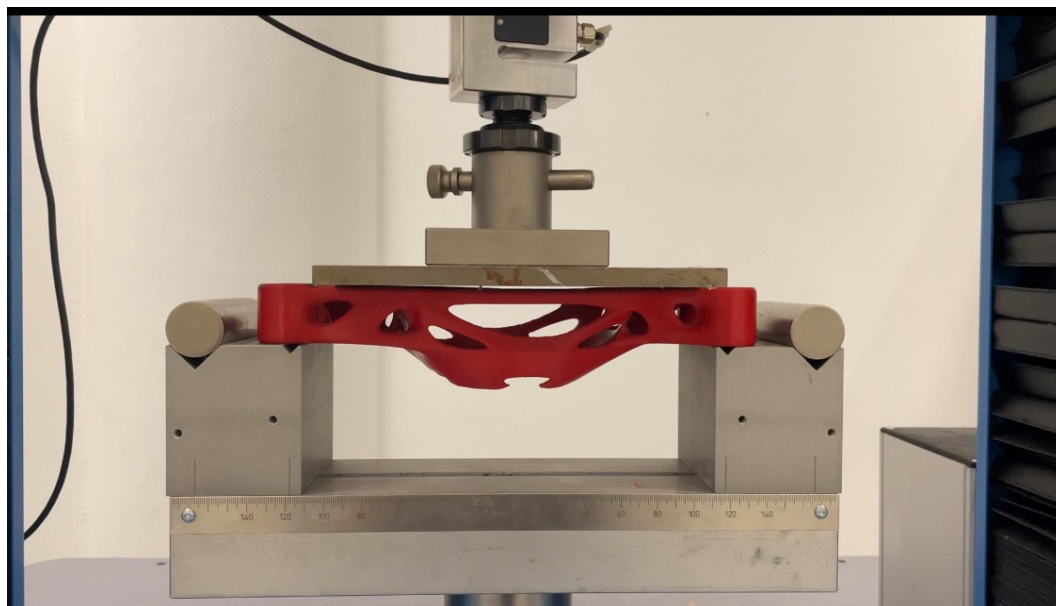
³⁴ STOKLÁSEK, Zátěžové testy. 2025



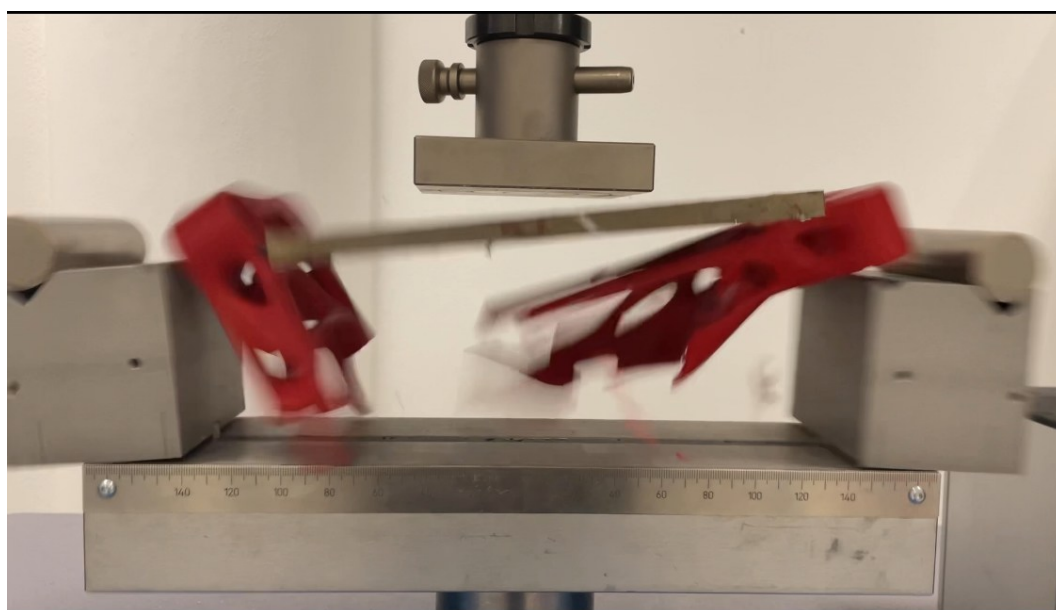
Obrázok 55. Zátaz komerčného madla (zdroj: vlastný)



Obrázok 56. Zátaz PET-G modelu (zdroj: vlastný)



Obrázok 57. Zát'až druhého modelu (zdroj: vlastný)



Obrázok 58. Prasknutie modelu po zát'aži vyše 1070 kg (zdroj: vlastný)

	Dátum	Čas	Hodnoty	Hodnoty na kg
PET-G model	06.05.25	13:31	54708,70 N	5578.73kg
PET-G + TPU	06.05.25	13:35	54704.52 N	5578.31 kg
Komerčné madlo	06.05.25	13:54	5681,24 N	579.33 kg
Prototyp	06.05.25	14:01	10759,08 N	1097.12 kg

Tabuľka 1. Hodnoty záťažových skúšok

10 REALIZÁCIA

Daný prototyp prešiel iba jednou výraznou zmenou. Ako úchop madla som nepoužil moje namodelované madlo, ale rúčku zakúpenú v obchode InSPORTline. Toto rozhodnutie vzniklo po konzultáciách s vedúcim práce na základe hygienických a technických aspektov. Plastový úchyt, vytlačený z PETG, by sa mohol pri dlhodobom zaťažení poškodiť alebo dokonca zlomiť, čo by predstavovalo riziko zranenia. Kovový úchyt spĺňal všetky účely čo mal, ale narazil som na problém pri dosadzovaní do madla. Úchyt nebol totiž ohnutý na presných 90°. Tento uhol bolo náročné presne zmerať, ale po viacerých pokusoch sa mi podarilo nájsť optimálny sklon, ktorý zabezpečuje stabilné uchytenie a zároveň umožňuje ľahké vybratie úchytu.. Zmena nastala aj pri tlači z TPU spojok. Pri vyberaní úchytu na ňom pevne držali a veľmi ľahko sa vyberali z madla. Preto som rozmer spojok dal na presný rozmer bez nulovej tolerancie a pridal ešte zámky. Týmto výsledkom vznikli spojky, ktoré pevne držali na madle, úchyt sa dal ľahko vyberať a nasúvať naspäť. Tým sa otvára možnosť tvarovej a farebnej kombinácie bez deštrukcie častí madla.

Finálny prototyp bol tlačený z čierneho PET-G a červeného TPU. Skladá sa z troch častí a to z kovového úchopu, čierneho madla a TPU častí, ktoré slúžia ako protišmykové podložky a hlavná balačná časť. Pre povrchovú úpravu som sa nerozhodol z dôvodu, že daný model vzhľadom na jeho komplexné tvary by nebolo možné rovnomerne upraviť. Mojmým zámerom bolo, aby 3D tlač vynikla vo farbe filamentu a ostali viditeľné vrstvy. Vzhľadom k tomu, že práca sa už od začiatku zaoberala FDM tlačou, v ktorej bolo ukázané, ako bude model vyzeráť, keď bude verejne dostupný na stiahnutie ako G-code, ktorý bude už nastavený na viaceré verzie tlačiarní.

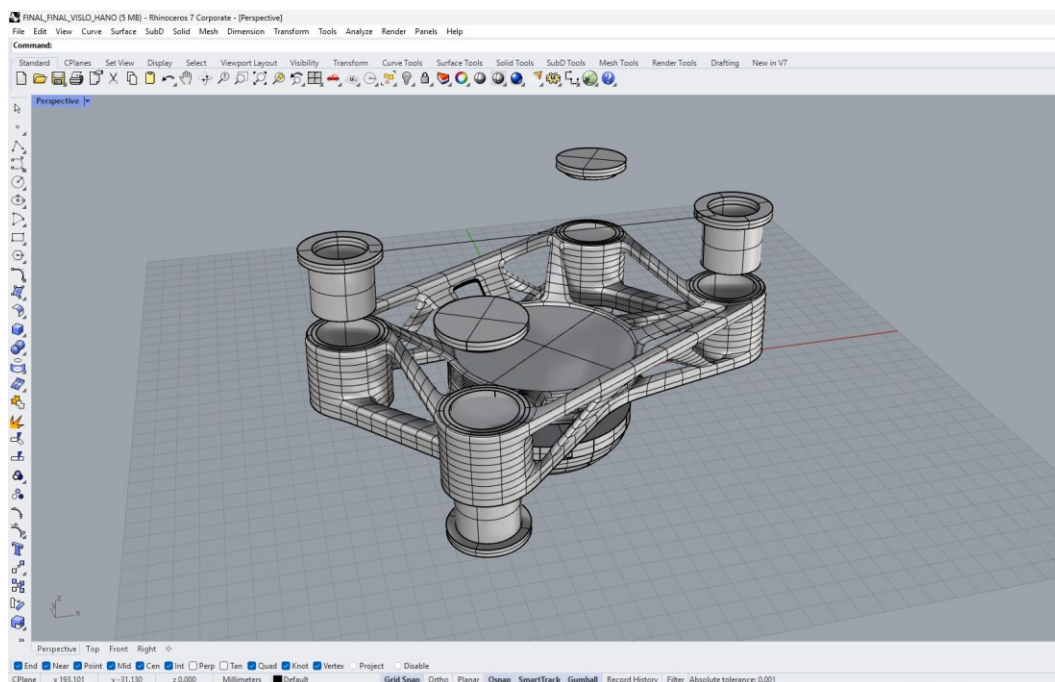
Pokiaľ ide o samotné tvarovanie madla, finálna verzia nie je presne definovaná. Počas testovania a modelovania som dospel k záveru, že základná platforma pre uchytenie kovového úchytu môže zostať nemenná, ale tvarová štruktúra madla sa môže stále tvarovať a jeho tvarové variácie môžu byť nekonečné. To umožňuje jeho využitie ako štandardizovaný produkt na komerčné účely, ale zároveň aj ako unikátny, personalizovaný kus.



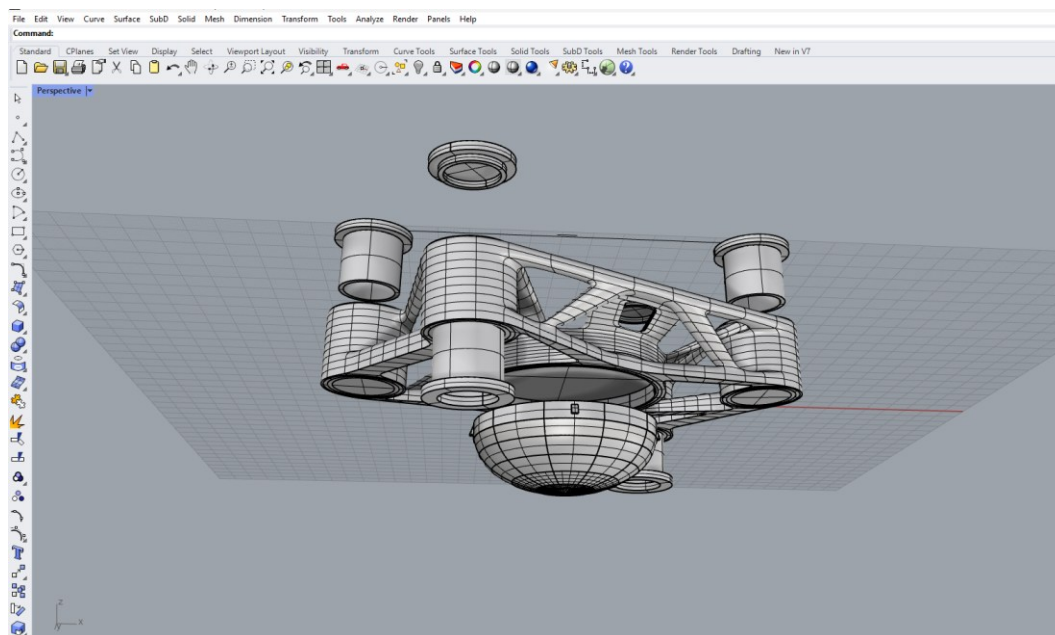
Obrázok 59. Skúška dosadenia kovového úchytu (zdroj:vlastný)



Obrázok 60. Veľkostné skúšky na kovový úchyt (zdroj: vlastný)



Obrázok 61. Tlačená verzia modelu zhora (zdroj: vlastný)



Obrázok 62. Tlačená verzia zdola (zdroj: vlastný)



Obrázok 63. Fotografia finálnějších variant (zdroj: vlastný)

10.1 Náklady

Sumár nákladov pre 3D tlačiareň Prusa MK4S, s ktorou som pracoval uvádzam v tabuľke:

Materiál		Množstvo	Cena v €
PET-G	1 kotúč	600gm	25,-
TPU	1 kotúč	200gm	8,-
Úchyt	2 kusy		10,-
Celková cena			42,-

Tabuľka 2. Celková cena za výrobu

Celková spotreba materiálu na jedno madlo z PETG sa pohybovala okolo 300gm. Čas tlače trval cca 13 h, pričom záleží na režime, v ktorom sa dá model tlačiť. U TPU časti bola spotreba materiálu približne 100gm na sedem kusov a tlač trvala necelých sedem hodín.

11 TESTOVANIE MADLA Z POHLADU UŽÍVATEĽA

Odborný posudok k testovaniu používania push up barov napísal Mgr. Patrik Janda, certifikovaný tréner v ARES GYM Žilina:

Push-up bary s kovovým úchytom a 3D tlačnou generatívnou štruktúrou predstavujú predovšetkým inovatívny prístup k fitness pomôckam. Kombinácia vysokej pevnosti, ergonomickej funkcionality a vizuálnej originality ich predurčuje pre použitie v náročných tréningových podmienkach.

Medzi silné stránky produktu patrí vysoká pevnosť a odolnosť plastového nosníka, taktiež aj kovový úchyt, ktoré zvládajú náročné tréningové zaťaženie. Jeho jednoduchým otočením si cvičiaci vie určiť druh tréningu, či už pri klasických klikoch a kalistenike alebo sťažiť si tréning o balančnú záťaž.

Malým nedostatkom kovového úchytu je, ak cvičenec nemá silný úchop, pri dlhšom cvičení sa mu môžu klzať ruky. Z dizajnového hľadiska čisté kovové úchopy vyzerajú dobre, ale z praktického hľadiska pre bezpečné cvičenie odporúčam použiť športovú izolačnú pásku alebo pri cvičení používať na ruky magnézium, či rukavice.



Obrázok 64. Testovanie madla (zdroj: vlastný)



Obrázok 65. Testovanie madla (zdroj: vlastný)



Obrázok 66. Testovanie madla (zdroj: vlastný)



Obrázok 67. Testovanie madla (zdroj: vlastný)

12 VIZUALIZÁCIE Z VARIANT



Obrázok 68. Varianta_01 (zdroj: vlastný)

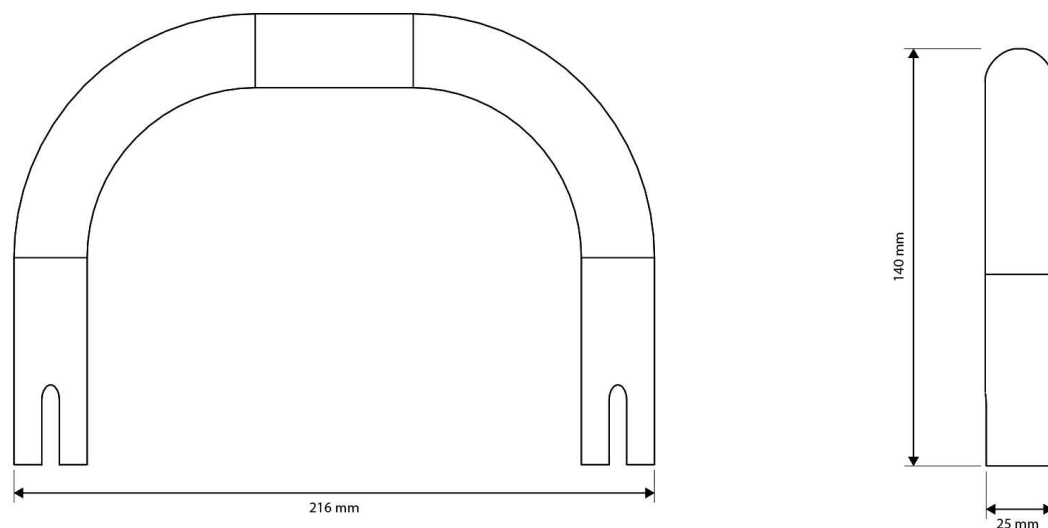


Obrázok 69. Varianta_01 (zdroj: vlastný)

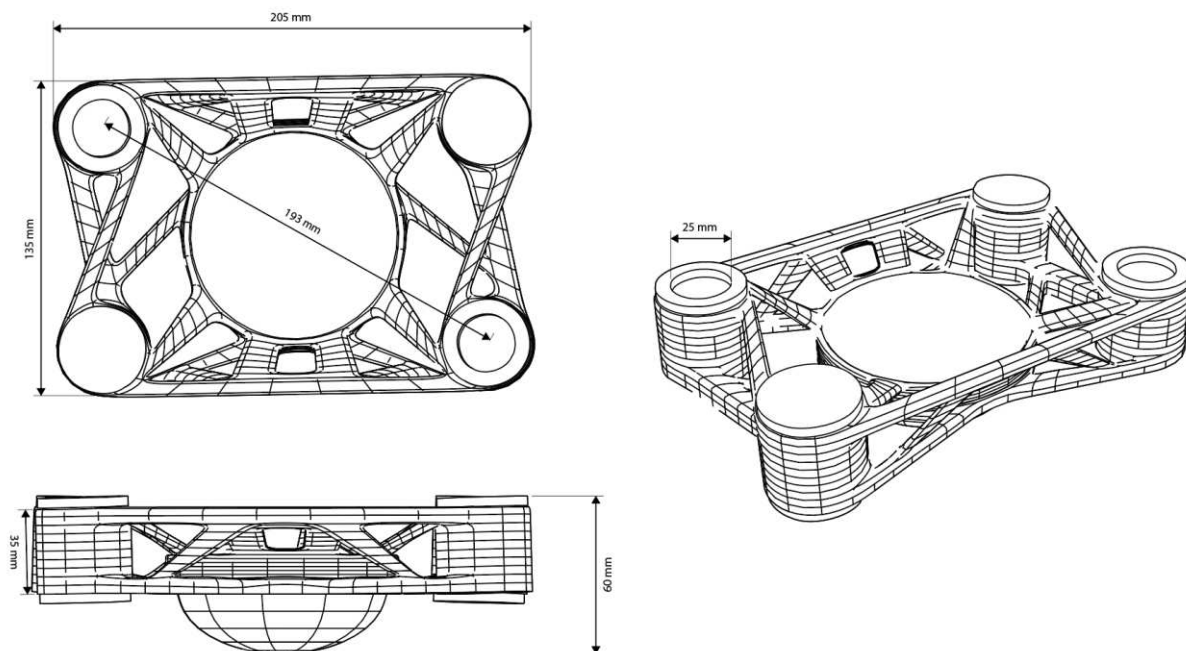


Obrázok 70. Varianta_01 rozložená na časti (zdroj: vlastný)

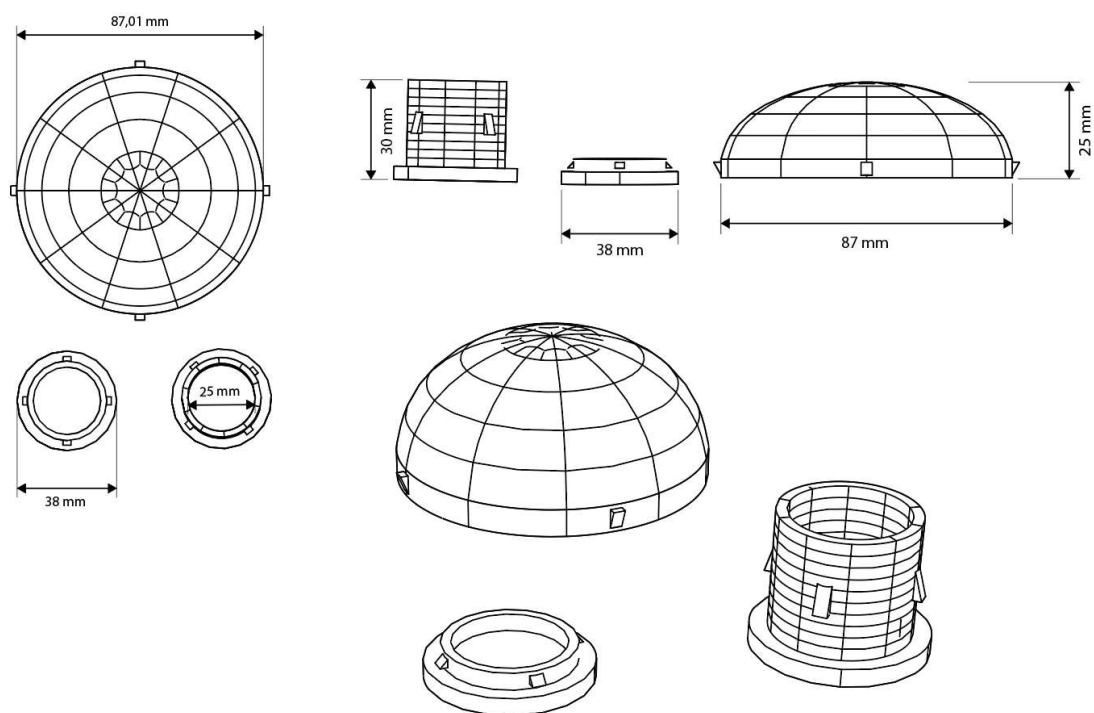
13 TECHNICKÁ DOKUMENTÁCIA A ROZMERY



Obrázok 71. Rozmery úchopu (zdroj: vlastný)



Obrázok 72. Rozmery madla (zdroj: vlastný)



Obrázok 73. Rozmery balančnej časti a protišmykových zálepok (zdroj: vlastný)

14 ZÁVER

Výsledkom mojej bakalárskej práce je prototyp push up barov s mierkou 1:1, ktoré spĺňajú mnou stanovený cieľ, ktorým bolo jednoduchú cvičebnú pomôcku upraviť na vyššiu úroveň. Prototyp spojil dve dimenzie cvičenia a to statický aspekt tradičného posilňovania svalov hrudníka, tricepsov a ramien, ktorý sa realizuje pomocou pevnej podpory pri klasických klukoch a balančná záťaž, kde mierna nestabilita push up barov zvyšuje aktiváciu stabilizačných svalových skupín, čo obohacuje tréning o prvok kinestetického vnímania.

Výsledný vzhľad push up barov bol inšpirovaný generatívnym a parametrickým dizajnom, čím som splnil cieľ aj v rámci dizajnu. Podarilo sa mi vytvoriť originálny a nenapodobiteľný autorský produkt, ktorý nebol generovaný pomocou algoritmov, ale spĺňa všetky jeho podmienky, čo umožnilo optimalizovať materiálovú spotrebu a zaťažiteľnosť. Vďaka bakalárskej práci som získal obrovské množstvo teoretických poznatkov aj praktických skúseností o generatívnom a parametrickom dizajne. Prehĺbil som si vedomosti o silovom cvičení a kalistenike a zdokonalil sa v praktických skúsenostiach v oblasti 3D modelovania (NURBS aj SubD), optimalizácie pre 3D tlač a nastavení výrobných procesov v sliceri, v obsluhu 3D tlačiarne a obstarávaní filamentov.

Celý projekt bol pre mňa veľkou výzvou, pretože vďaka generatívnemu a parametrickému designu som mohol prekročiť hranice svojich doterajších pracovných postupov, čím sa mi otvorila nová cesta v rámci tvorby.

15 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATURY A ZDROJOV

AEDAS. *Al Bahr Towers*. Online. In: . Dostupné z: <https://architizer.com/blog/practice/details/architecture-101-what-is-parametric-architecture/>. [cit. 2025-05-10].

AUTODESK INC. Online. Autodesk.com. Dostupné z: <https://www.autodesk.com/company>. [cit. 2025-05-21].

BAKALOVA, Ema. *Outdoor Fitness Architecture: The Rise of Calisthenics Parks*. Online. IN: Architizer.com. Dostupné z: <https://architizer.com/blog/inspiration/stories/outdoor-fitness-architecture-the-rise-of-calisthenics-parks/>. [cit. 2025-05-18].

Bambu Lab X1 Series. Online. In: Bambulab. Dostupné z: <https://bambulab.com/en-eu/x1>. [cit. 2025-05-20].

BAMBU LAB. Online. Bambulab.com. Dostupné z: <https://bambulab.com/en-eu/x1>. [cit. 2025-05-21].

BENCE, Sarah. *9 Calisthenics Benefits: Why Calisthenics Are So Good for Your Health*. Online. Verywellhealthcom. 2024. Dostupné z: <https://www.verywellhealth.com/calisthenics-benefits-8718013>. [cit. 2025-05-18].

BENNEY, Marnie a KISTLER, Pete. *Generative Art Guide*. Online. Aiartists.org. Dostupné z: <https://aiartists.org/generative-art-design>. [cit. 2025-05-21].

COHEE, Rob. *Fusion 360 generative design*. Online. In: AUTODESK. 2018. Dostupné z: <https://blogs.autodesk.com/inthefold/generative-design-technology-makes-commercial-debut-fusion-360-ultimate/>. [cit. 2025-05-20].

DAY, Ethan. *The Best Push Up Bars for Home Gyms we've Tested*. Online. Homefitnesslife.com. Dostupné z: <https://homefitnesslife.com/equipment/strength/best-push-up-bars/>. [cit. 2025-05-21].

Designing with Subd: Advantages and disadvantages you should know. Online. Flyingshapes.com. 2021. Dostupné z: <https://www.flyingshapes.com/designing-with-subd>. [cit. 2025-05-21].

Generative Design 101. Online. Formlabs.com. Dostupné z: <https://formlabs.com/blog/generative-design/>. [cit. 2025-05-21].

Guide to Selective Laser Sintering (SLS) 3D Printing. Online. Formlabs.com. Dostupné z: <https://formlabs.com/eu/blog/what-is-selective-laser-sintering/>. [cit. 2025-05-22].

Guide to Stereolithography (SLA) 3D Printing. Online. Formlabs.com. Dostupné z: <https://formlabs.com/eu/blog/what-is-selective-laser-sintering/>. [cit. 2025-05-22].

GYMBEAM. *Adaptér na kluky Push Up Bar - GymBeam*. Online. In: Dostupné z: <https://gymbeam.sk/adapter-na-kliky-push-up-bar-gymbeam.html#29119>. [cit. 2025-05-10].

HARRIS, James. *'avoid' chandelier in chrome finish*. Online. In: 2016. Dostupné z: <https://www.designboom.com/design/gallery-all-design-miami-basel-janne-kyttanen-3d-printing-06-18-2016/>. [cit. 2025-05-11].

JANOVEC, Jiří; CEJP, Jiří a STEIDL, Josef. *Perspektivní materiály*. Vyd. 2., přeprac. V Praze: České vysoké učení technické, 2001. ISBN 978-80-01-04167-3.

JOHNSON, Shannon. *What is calisthenics?* Online. Medicalnewstoday.com. 2020. Dostupné z: <https://www.medicalnewstoday.com/articles/calisthenics#research>. [cit. 2025-05-18].

KOLESÁR, Zdeno. *Nové kapitoly z dejín dizajnu*. 2. doplnené a rozšírené vydanie. Bratislava: Slovenské centrum dizajnu, [2009]. ISBN 978-80-970173-1-6.

LIDWELL, William; HOLDEN, Kritina a BUTLER, Jill. *Univerzální principy designu: 125 způsobů jak zvýšit použitelnost a přitažlivost a ovlivnit vnímání designu*. Brno: Computer Press, 2011. ISBN 978-80-251-3540-2.

LOUW, Kobus. *Still life shot of exercise equipment in a gym*. Online. In: Getty images. 2021. Dostupné z: <https://www.gettyimages.com/detail/photo/still-life-shot-of-exercise-equipment-in-a-gym-royalty-free-image/1320144030?searchscope=image%2Cfilm&ad-ppopup=true>. [cit. 2025-03-05].

LOVEGROVE, Ross. *Yamagiwa Andromeda*. Online. In: 2023. Dostupné z: <https://www.rosslovegrove.com/commercial/andromeda>. [cit. 2025-05-10].

LUTKEVICH, Ben. *What is generative design? Ultimate guide*. Online. Techtarget.com. 2024. Dostupné z: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/generative-design>. [cit. 2025-05-21].

Majkl3D-Filaments PETG 1.75mm 1kg | Černá. Online. In: Majkl3d.cz. Dostupné z: <https://www.majkl3d.cz/p/majkl3d-filaments-petg-1-75mm-1kg-cerna>. [cit. 2025-05-10].

MATHESON, Edward. *Best Push Up Bars For Strong Upper Body Muscle: Reviews & Buying Guide*. Online. Idealmassager.com. 2025. Dostupné z: <https://idealmassager.com/best-push-up-bars/>. [cit. 2025-05-21].

MCCLINTOCK, Cat. *A Beginner's Guide to Generative Design*. Online. In.: 2023. Dostupné z: <https://www.ptc.com/en/blogs/cad/beginner-guide-generative-design>. [cit. 2025-05-10].

MCNEEL, Robert. *Welcome to Rhino*. Online. Mcneel.com. Dostupné z: https://docs.mcneel.com/rhino/8/help/en-us/information/welcome_to_rhinoceros.htm. [cit. 2025-05-21].

PALIVODA, Arsenii. *Athlete doing pull-ups*. Online. In.: 2019. Dostupné z: <https://www.is-tockphoto.com/photo/athlete-doing-pull-ups-at-the-gym-gm1135186865-301906151>. [cit. 2025-05-10].

PET-G filamenty. Online. Materialpro3d.cz. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/petg-filamenty/>. [cit. 2025-05-22].

PROHKOVA, Maya. *Audio equipment*. Online. In.: 2024. Dostupné z: <https://mayaprodesign.com/audio-equipment>. [cit. 2025-05-10].

Prusa MK4S. Online. In: Prusa3D. Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/cs/produkt/original-prusa-mk4s-3d-printer/>. [cit. 2025-05-20].

PRUSA RESEARCH A.S. Online. Wwww.prusa3d.com. Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/cs/>. [cit. 2025-05-21].

Prusa XL. Online. In: Prusa3D. Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/cs/produkt/original-prusa-xl-2/?country=SK&cy=eur&gQT=2>. [cit. 2025-05-20].

Spectrum filament S-Flex 90A 1.75mm 250g | Černá - Deep Black. Online. In: Majkl3d.cz. Dostupné z: <https://www.majkl3d.cz/p/spectrum-filament-s-flex-90a-1-75mm-250g-cerna-deep-black#>. [cit. 2025-05-10].

SPORTISIMO S. R. O. PUSH TWISTER. Online. In.: Dostupné z: <https://www.sportisimo.sk/fitforce/pushupbar/272018/>. [cit. 2025-05-10].

SPORTISIMO S. R. O. PUSHUPBAR. Online. In.: 2019. Dostupné z: <https://www.sportisimo.sk/fitforce/pushupbar/272018/>. [cit. 2025-05-10].

STEVED_NP3. *Fit Muscular man performing calisthenics fitness workout*. Online. In: . 2019. Dostupné z: <https://www.istockphoto.com/photo/fit-man-outdoor-callisthenics-workout-gm1165075078-320445784>. [cit. 2025-05-10].

SUBIC, Aleksandar. *Materials in Sports Equipment 2nd Edition*. Woodhead Publishing, 2019. ISBN 9780081025826.

SUNEEL. *Calisthenics Parks: A Fitness Phenomenon Rooted in Community*. Online. IN: [Denfit.com](https://denfit.nl/calisthenics-parks-fitness-rooted-in-community/) Dostupné z: <https://denfit.nl/calisthenics-parks-fitness-rooted-in-community/>. [cit. 2025-05-18].

TEDESCHI, Arturo. *AAD Algorithms-aided design: parametric strategies using grasshopper*. Brienza: Le Penseur Publisher, 2014. ISBN 978-88-95315-30-0.

TESAŘOVÁ, Markéta. *Multifunkčná doska na kliky*. Online. In: . 2024. Dostupné z: <https://gymbeam.sk/blog/ako-cvicit-s-multifunkcnou-doskou-na-kliky-7-najlepsich-cvikov-na-vrch-tela/>. [cit. 2025-05-10].

The advantages of body-weight exercise. Online. Harvard Health Publishing. 2024. Dostupné z: <https://www.health.harvard.edu/exercise-and-fitness/the-advantages-of-body-weight-exercise>. [cit.2025-05-18].

TPU. Online. Materialpro3d.cz. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/tpu/>. [cit. 2025-05-22].

USMANOV, Oleg. *Fist and vein blood vessels*. Online. In: . 2015. Dostupné z: <https://www.istockphoto.com/photo/close-up-of-athletic-muscular-arm-and-torso-gm474846804-64926733>. [cit. 2025-05-10].

YERAI, ALONSO. *9 Calisthenics Benefits: Why Calisthenics Are So Good for Your Health*. Online. [Calisteniaapp.com](https://calisteniaapp.com) 2024. Dostupné z: <https://calisteniaapp.com/articles/What-is-Calisthenics>. [cit. 2025-05-21].

16 ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

%	Percento
°C	Stupeň celsia
3D	Three dimensional
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
AI	Artificial intelligence
CNC	Computer numeric control
EVA	Ethylenvinylacetát
FDM	Fuse Deposition Modeling
FFF	Fused Filament Fabrication
Kg	Kilogram
Mm	Milimeter
NURBS	Non-uniform rational basis spline
OBJ	Object
PETG	Polyethylentereftalát
PLA	Polyactic acid
PP	Polypropylén
PVC	Polyvinylchlorid
SLA	Stereolitography
SLS	Selective Laser Sintering
SUBD	subdivision modeling
TPR	Thermoplastic rubber
UV	Ultraviolet

17 ZOZNAM OBRÁZKOV A GRAFOV

Obrázok 1. Pull ups.....	12
Obrázok 2. Human flag.....	13
Obrázok 3. Fitness.....	14
Obrázok 4. Statické push up bary.....	16
Obrázok 5. Rotačné push up bary.....	17
Obrázok 6. Doska na klikovanie.....	17
Obrázok 7. GB Statické push up bary.....	19
Obrázok 8. Aplikácia generatívneho designu.....	23
Obrázok 9. Al Bahr Towers.....	24
Obrázok 10. Fotografia žíl na zápästí a predlaktí.....	25
Obrázok 11 'avoid' chandelier in chrome finish.....	26
Obrázok 12. Yamagiwa Andromeda.....	26
Obrázok 13. Audio systém.....	27
Obrázok 14. Audio systém.....	28
Obrázok 15. Prvé skicovanie (zdroj: vlastný).....	29
Obrázok 16. Skicovanie (zdroj: vlastný).....	30
Obrázok 17. Zobrazenie modelovania v Rhine (zdroj: vlastný).....	31
Obrázok 18. Modelovanie v Rhine (zdroj: vlastný).....	31
Obrázok 19. Zobrazenie modelovania v Grasshoper (zdroj: vlastný).....	32
Obrázok 20. Modelácia pomocou Grasshoper (zdroj: vlastný).....	33
Obrázok 21. Skriptovanie v Grasshoper (zdroj: vlastný).....	33
Obrázok 22. Zobrazenie renderingu v Blendri (zdroj: vlastný).....	34
Obrázok 23. Render v Blendri (zdroj: vlastný).....	34
Obrázok 24. Zobrazenie modelovania vo Fusion 360 (zdroj: vlastný).....	35
Obrázok 25. Generovanie vo Fusion 360.....	36
Obrázok 26. Detail modelu v rhine (zdroj: vlastný).....	37
Obrázok 27. Funkcia Bridge v rhine (zdroj: vlastný).....	39
Obrázok 28. Detail na bridge modelovanie (zdroj: vlastný).....	39
Obrázok 29. Model v Rhinoceros (zdroj: vlastný).....	40
Obrázok 30. Tvarová modelácia TPU častí (zdroj: vlastný).....	40
Obrázok 31. Modelácia TPU častí (zdroj: vlastný).....	41
Obrázok 32. Model pred použitím bridge funkcie (zdroj: vlastný).....	41
Obrázok 33. Prusa slicer (zdroj: vlastný).....	43
Obrázok 34. Nastavenie vrstiev a perimetrov (zdroj: vlastný).....	43

Obrázok 35. Nastavenie supportov (zdroj: vlastný).....	44
Obrázok 36. Nastavenie výplne (zdroj: vlastný).....	44
Obrázok 37. Pripravené dáta na tlač v Prusa slicer (zdroj: vlastný).....	45
Obrázok 38. Čierny PETG filament.....	46
Obrázok 39. Tlač PET-G modelu (zdroj: vlastný).....	47
Obrázok 40. PET-G model (zdroj: vlastný).....	47
Obrázok 41. TPU filament.....	48
Obrázok 42. Skúška tlače z TPU (zdroj: vlastný).....	49
Obrázok 43. Tlač TPU modelov od značky Bambulab (vľavo) a Spektrum (pravo) (zdroj: vlastný).....	49
Obrázok 44. Prusa XL.....	50
Obrázok 45. Prusa MK4S.....	51
Obrázok 46. Bambu Lab X1 Series.....	52
Obrázok 47. Zobrazenie dát pre tlač jedného z finálnějších prototypov (zdroj: vlastný)....	53
Obrázok 48. Slicovanie v Bambu studio (zdroj: vlastný).....	54
Obrázok 49. Pripravené dáta na tlač v Bambu studio (zdroj: vlastný).....	54
Obrázok 50. Tlač prvého modelu (zdroj: vlastný).....	55
Obrázok 51. Fotografia prvého modelu (zdroj: vlastný).....	55
Obrázok 52. Fotografia druhého modelu (zdroj: vlastný).....	56
Obrázok 53. Zobrazenie supportov z PETG a PLA na Prusa XL (zdroj: vlastný).....	56
Obrázok 54. LabTest 6.50 (zdroj: vlastný).....	58
Obrázok 55. Záťaž komerčného madla (zdroj: vlastný).....	59
Obrázok 56. Záťaž PET-G modelu (zdroj: vlastný).....	59
Obrázok 57. Záťaž druhého modelu (zdroj: vlastný).....	60
Obrázok 58. Prasknutie modelu po záťaži vyše 1070 kg (zdroj: vlastný).....	60
Obrázok 59. Skúška dosadenia kovového úchyty (zdroj: vlastný).....	63
Obrázok 60. Veľkostné skúšky na kovový úchyt (zdroj: vlastný).....	63
Obrázok 61. Tlačená verzia modelu zhora (zdroj: vlastný).....	64
Obrázok 62. Tlačená verzia zdola (zdroj: vlastný).....	64
Obrázok 63. Fotografia finálnějších variant (zdroj: vlastný).....	65
Obrázok 64. Testovanie madla (zdroj: vlastný).....	66
Obrázok 65. Testovanie madla (zdroj: vlastný).....	67
Obrázok 66. Testovanie madla (zdroj: vlastný).....	67
Obrázok 67. Testovanie madla (zdroj: vlastný).....	68
Obrázok 68. Varianta_01 (zdroj: vlastný).....	69

Obrázok 69. Varianta_01 (zdroj: vlastný).....	69
Obrázok 70. Varianta_01 rozložená na časti (zdroj: vlastný).....	70
Obrázok 71. Rozmery úchopu (zdroj: vlastný).....	71
Obrázok 72. Rozmery madla (zdroj: vlastný).....	71
Obrázok 73. Rozmery balančnej časti a protišmykových záslepok (zdroj: vlastný).....	72

18 ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka 1. Hodnoty záťažových skúšok.....	63
Tabuľka 2. Celková cena za výrobu.....	67