

# Interiérové svítidlo

Richard Štětka

---

Bakalářská práce  
2021



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta multimediálních komunikací

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta multimediálních komunikací  
Produktový design

Akademický rok: 2020/2021

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Richard Štětka**  
Osobní číslo: **K18021**  
Studijní program: **B8206 Výtvarná umění**  
Studijní obor: **Multimédia a design – Produktový design**  
Forma studia: **Prezenční**  
Téma práce: **Interiérové svítidlo**

### Zásady pro vypracování

Rešerše inspiračních zdrojů a studium odborné literatury vztahující se k vybranému tématu práce.  
Vlastní analýza poznatků pro následnou práci s tématem.  
Rozpracování různých variant a návrhů produktu.  
Postup realizace zvolené varianty řešení.

- a) teoretická část v rozsahu 25-30 normostran textu
- b) 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
- c) grafická prezentace v rozsahu minimálně 2,8 m<sup>2</sup>

Rozsah bakalářské práce: **viz Zásady pro vypracování**  
Rozsah příloh: **viz Zásady pro vypracování**  
Forma zpracování bakalářské práce: **Tištěná/elektronická**

**Seznam doporučené literatury:**

KULA, Daniel, Elodie TERNAUX a Quentin HIRSINGER. Materiology: průvodce světem materiálů a technologií pro architektky a designéry. Praha: Happy Materials, c2012. ISBN 9788026005384.  
HABEL, Jiří. Světlo a osvětlování. Praha: FCC Public, 2013. ISBN 9788086534213.  
FIELL, Charlotte a Peter FIELL, ed. 1000 lights. Köln: Taschen, c2013, 639 s. ISBN 9783836546768.  
FIELL, Charlotte a Peter FIELL, ed. Design pro 21. století. [Praha]: Slovart, c2004. Ikony. ISBN 8072096192.  
HABEL, Jiří. Světelná technika a osvětlování. Praha: FCC Public, 1995. ISBN 8090198503.  
Michl, J. Tak nám prý forma sleduje funkci. Praha : VŠUP, 2003. ISBN 8090192827.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. M.A. Vladimír Kovařík**  
Produktový design

Datum zadání bakalářské práce: **1. prosince 2020**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **21. května 2021**



L.S.

---

**doc. Mgr. Irena Armutidisová**  
děkanka

---

**doc. M.A. Vladimír Kovařík**  
vedoucí ateliéru

Ve Zlíně dne 1. prosince 2020

## PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ / DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- bakalářská/diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou/diplomovou 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 UTB 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/diplomovou 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/diplomové 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/diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské/diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji 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/diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně dne: 11.3.2021

Jméno a příjmení studenta: RICHARD ŠTĚTKA

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce pojednává o generativním designu a jeho využití při tvorbě interiérového svítidla.

Teoretická část se nejdříve zaměřuje na generativní design. Popisuje problematiku, způsoby generování, dostupný software a uvádí příklady z mnoha odvětví, ve kterých se používá. Dále obsahuje úsek o osvětlování a poslední oddíl shrnuje mé inspirační zdroje, ze kterých vycházím.

Praktická část popisuje celý proces navrhování od prvotní skici přes modelování až po finální výrobu prototypu. Obsahuje také část o zkouškách použitých materiálů a jejich vlastnostech následovaných popisem výroby.

Klíčová slova: generativní design, topologická optimalizace, 3D tisk, interiérové svítidlo

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis is about Generative design and its use in the creation of interior lighting.

The theoretical part focuses on generative design. It describes the issues, methods of generation, available software and gives examples from many industries in which it is used. Furthermore, the section on lighting and the last section summarizes my sources of inspiration from which I draw.

The practical part describes the entire design process from the initial sketches through modeling to the final production of the prototype. It also contains part of the tests of the materials used and their properties followed by a description of the production.

Keywords: generative design, topological optimization, 3D print, interior lightning

Rád bych poděkoval těm, kteří mě na mé studentské cestě i v tvorbě pomáhají. Všem osobám z ateliéru produktového designu, zejména pedagogickým pracovníkům MgA. Ivanu Pecháčkovi a MgA. Vladimíru Kovaříkovi, za cenné rady při tvorbě nejen bakalářské práce, ale i všech semestrálních projektů.

Velmi si vážím vaší pomoci a podpory.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY</b> .....	<b>12</b>
1.1    TECHNOLOGIE .....	12
1.2    NÁKLADY.....	12
<b>2 GENERATIVNÍ DESIGN</b> .....	<b>13</b>
2.1    GENERATIVNÍ PROCES .....	13
2.2    ZPŮSOBY GENEROVÁNÍ .....	14
2.2.1    Kresba .....	14
2.2.2    Práce s plochou .....	15
2.2.3    Konturování.....	18
2.2.4    Grafy .....	19
2.2.5    Voroného diagram.....	19
2.2.6    Topologická optimalizace .....	20
2.3    UŽÍVANÉ VÝROBNÍ PROCESY .....	20
2.3.1    Řezání.....	21
2.3.2    Obrábění .....	21
2.3.3    Formování .....	21
2.3.4    Odlévání .....	22
2.3.5    Tisk.....	22
2.4    POZNATKY Z PŘÍRODY .....	22
2.4.1    Lekniny .....	23
2.4.2    Netopýři.....	23
2.4.3    Havýšovité .....	24
2.4.4    Kosti .....	24
2.4.5    Houby.....	25
2.5    PŘÍKLADY UPLATNĚNÍ GENERATIVNÍHO DESIGNU .....	26
2.5.1    Průmysl .....	26
2.5.2    Architektura.....	27
2.5.3    Design .....	29
2.5.4    Umění.....	31
2.6    SHRNUTÍ.....	32
<b>3 OSVĚTLOVÁNÍ</b> .....	<b>33</b>
3.1    DĚLENÍ PODLE SMĚRU SVÍCENÍ.....	33
<b>4 INSPIRACE</b> .....	<b>34</b>
4.1    MOTÝLI.....	34
4.1.1    Greta Oto .....	36
4.1.2    Synathedon Myopaeformis .....	36
4.1.3    Amozonský anděl.....	36

4.1.4	Cithaerias Pireta .....	37
4.2	OSOBNOSTI.....	37
4.2.1	Otto Piene.....	37
4.2.2	James Turrell.....	38
4.2.3	Zaha Hadid .....	39
4.3	SVÍTIDLA.....	39
4.3.1	Kyklos .....	39
4.3.2	Naturoscopie .....	40
4.3.3	Cone .....	40
4.3.4	Muul .....	41
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>43</b>
<b>5</b>	<b>ANALÝZA .....</b>	<b>44</b>
5.1	VÝZKUM .....	44
5.2	SOFTWAREVÉ ZKOUŠKY .....	44
5.2.1	Rhinoceros.....	45
5.2.2	Blender .....	45
5.2.3	Fusion 360.....	46
5.3	ZKOUŠKY 3D TISKU .....	48
5.3.1	FDM tisk .....	48
5.3.1.1	Filament ABS.....	48
5.3.1.2	Filament PLA.....	48
5.3.1.3	Filament PETG.....	49
5.3.1.4	Tiskové pláty .....	49
5.3.2	SLA tisk .....	50
5.4	ZKOUŠKY PLEXISKEL.....	50
5.5	ELEKTRONIKA .....	52
5.3	KLOUB .....	52
<b>6</b>	<b>PROCES NAVRHOVÁNÍ.....</b>	<b>53</b>
6.1	SKICOVÁNÍ .....	53
6.2	MODELOVÁNÍ.....	53
6.3	PŘÍPRAVA DO TISKU .....	54
6.	PROTOTYPOVÁNÍ.....	55
<b>7</b>	<b>VARIANTNÍ ŘEŠENÍ.....</b>	<b>56</b>
7.1	NEPOUŽITÉ VARIANTY.....	56
7.2	FINÁLNÍ VARIANTA .....	57
<b>8</b>	<b>VÝROBA.....</b>	<b>61</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>64</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>65</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>66</b>



<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>67</b>
-----------------------------	-----------

## ÚVOD

Během studia na tchajwanské univerzitě NTUT jsem v jednom z ateliérů uviděl 3D tištěnou strukturu, která mě uchvátila jak svým tvarem, tak i způsobem, jakým byla vyrobena. Po dotázání se učitele jsem dostal informace a vysvětlení, o co se vlastně jedná. Šlo o generovaný model za pomoci programu Rhinoceros a jeho modulu Grasshopper. Dále mi vysvětloval, že k vytvoření této organické skladby je využita Voroneho struktura. Postupně jsem si zjišťoval nové podrobnosti a dostal se do fáze, kdy jsem se rozhodl na onom generování postavit svou závěrečnou práci.

Hlavním cílem mé bakalářské práce je využít všech nabytých poznatků k tvorbě interiérového svítidla. Využít optimalizaci ke snížení potřebného materiálu a nákladů s využitím vhodné výrobní metody s co největší úsporou nákladů a potřebného času k výrobě.

Další významnou metou je ucelení pohledu na tak široce obsáhlé téma, kterým generativní design je. Popsat celý proces od prvotního navrhování až po samotnou výrobu vzniklých návrhů. V tomto výzkumu mi můj autorský projekt svítidla posloužil jako médium k odzkoušení a porozumění zkoumanému tématu.

Pro mě jako designera je důležitá i obrazová stránka věci pro lepší představivost, proto jsem se snažil text proložit co nejvíce obrazovou přílohou, aby čtenář vždy popisované téma lépe pochopil.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Náplní mé práce je propojení topologické optimalizace, takzvaného generativního designu se stále více se rozvíjejícím a využívanějším 3D tiskem. Ten představuje v mé práci stěžejní způsob výroby pro generované části, které jsou složitých tvarů a pro běžnou produkci složitě vyrobitelné. Stálo by to nemalé finanční náklady a vznikalo by velké množství odpadního materiálu. Samotné generování má funkci v navrhování co nejvíce zjednodužit objekt pouze do základního tvaru se zachováním, pokud možno, nejvyšší možné pevnosti a odolnosti konstrukce. Optimalizace také navrhne objekt tak, aby bylo použito co nejméně materiálu, tím sníží váhu jednotlivých komponentů a z velké míry ovlivní i celkové náklady.

### 1.1 Technologie

Samotné technologie hrají celkově v designu velkou roli. Můžeme navrhovat sebe lepší věci, ale pokud je nezvládneme vyrobit, nespátří výsledné produkty nikdy světlo světa. Stejně tak je tomu i s materiály a jejich použitím. Tím se dostáváme k prvnímu problému, na který je stále potřeba myslet, a to je vyrobitelnost. Protože generované a optimalizované výrobky jsou většinou složité, musíme vždy dbát na způsob, kterým budou vznikat. Můžou nám navýšit kladné vlastnosti produktu, ale jen za předpokladu snadné vyrobitelnosti a užití vhodného materiálu.

### 1.2 Náklady

Samotná spotřeba materiálu v dnešní době neúměrně roste, ekologické dopady konzumní společnosti jsou znát všude kolem nás. Suroviny pro výrobu nejsou nevyčerpatelné, a proto se mnoho výrobců snaží přicházet na to, jak za použití co nejméně materiálu a prostředků omezit celkové náklady na výrobu a následně snížit i výdaje provozní.

Stále jsme ale na začátku a máme co objevovat s vidinou toho, že naše možnosti jsou neomezené.

## 2 GENERATIVNÍ DESIGN

V posledních letech se výpočetní technika změnila takovým způsobem, že nám dnes umožňuje věci, které jsme si ještě před pár lety ani nedokázali představit. Jsou to například inovativní hledání nových forem tvarů, revoluce ve výrobě i designu. Všechny tyto způsoby jsou častokrát označovány jako generativní, parametrický nebo algoritmický design. Ty nám otevírají nové cesty navrhování porušením předvídatelných vztahů mezi formou a prostředím ve prospěch generované složitosti.

Sám generativní design nemá jednotné a přesné vysvětlení pojmu. O co se vlastně jedná? Celkově lze popsat generativní design jako metodu navrhování, která je založená na určitých pravidlech nebo algoritmech, které pokud neustále upravujeme, získáváme pokaždé nové formy výstupu. Ať už se jedná o tělesa, grafy, struktury atd.

V dnešní době popularita generativních prostředků, a s tím i možných způsobů, které lidé mohou využít k ulehčení práce, roste. Generativní design přestal být doménou pouze architektů a stal se nástrojem, který pronikl do všech odvětví a nyní začíná převládat. To vše především proto, že už jsme se s ním v průběhu let naučili pracovat a nebojíme se experimentovat a objevovat nové dynamické a fascinující formy mezi námi.

### 2.1 Generativní proces

Generativní design zásadně změnil proces navrhování. Designer dnes už není vykonavatelem celého výstupu, ale stal se organizátorem vyhodnocovacího programu počítače. A tohle je hlavní podstata všeho generování.

Veškerý proces hledání formy je vlastně ve své podstatě nekonečný. Celý cyklus začíná prvotním nápadem, kdy si designer musí rozmyslet. Musí si stanovit, co chce navrhovat a ucelit si základní parametry. Těmi jsou rozměry, budoucí materiálové řešení, výroba anebo celkové limity konstrukce. Dále je na pořadí zvolení vhodného algoritmu pro generaci. Zaleží na tom, v jakém softwaru pracujeme. Někdy, například kvůli výrobě, možnost volby ani nemáme. Následuje vytvoření zdrojového kódu, který už za nás vytvoří umělá inteligence za pomoci algoritmu a dodaných dat. Počítač pak vyhodnotí vzniklý kód a na jeho základě vygeneruje výstup. Pokud nám návrh výstupu nevyhovuje, jednoduše můžeme upravit data, nebo změnit algoritmus a celý proces opakovat. Tím se dostáváme do iterativní operace, která se spoléhá na výměnu zpětné vazby mezi designerem a softwarem.

Jakmile jsme spokojeni s digitálním výstupem, musíme vždy pamatovat na materiálovou a výrobní zkoušku. Fyzické výstupy jsou v tomto případě nutnost, abychom dosáhli nejlepší možné varianty. Avšak pokud zkouška nevyjde, dostáváme se zpět na začátek a po upravení parametrů generativní proces opakujeme.

## 2.2 Způsoby generování

Během počáteční rešerše jsem narazil na spoustu generativních procesů, o kterých by mnohé ani nenapadlo uvažovat jako o možnosti generování. Je nutno také podotknout, že u většiny dnešních návrhů se využívá počítačových softwarů kvůli rychlosti generování nespočtu výstupů a rychlé odezvě na změnu dat. V následujících podkapitolách popíšu ty nejvýznamnější procesy.

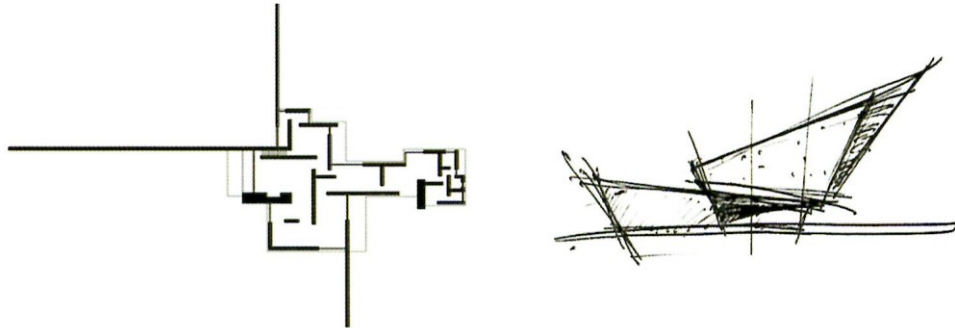
### 2.2.1 Kresba

Jako nejjednodušší způsob generování můžeme považovat obyčejnou návrhářskou kresbu. Všichni designéři, počínaje grafiky a architektky konče, své nápady nejprve vrství a postupně upravují na papíře. Črty slouží jako zprostředkovatel k ucelení nápadů, zdrojů a k rozmyšlení nad prostorem. Celý návrhářský proces lze považovat za počáteční formu generativního designu.

Tradiční kresba je aditivní proces, ve kterém je komplexnost docílena přidáváním a překrýváním nezávislých výrazových znaků na papír, mezi kterými nemohou být řízeny žádné asociativní vztahy. Vnitřní konzistence kresby není garantována médiem, ale je svěřena designerovi. Tudíž výkres není chytrým médiem, ale spíše kódem založeným na standardech a konvencích. [1, s.16]

Aditivní logika tradiční kresby s sebou nese dva hlavní limity. Prvním je samotná kresba, která se liší od kognitivních mechanismů, které vynechávají kreativní proces. Ten pracuje na principu vytváření vzájemných vztahů namísto jednoduchého přidání informací. Druhým limitem je, že akt kreslení vylučuje fyzicky relevantní aspekty, které v reálném světě řídí generování všech forem. Příkladem může být obyčejná gravitace, kterou kresba do sebe neumí přenést.

Jako příklad je možné uvést kresbu nalevo od Miese Van de Roheho. Ta je nárysem, zatímco skica napravo je rychlý náčrt, nicméně obě jsou ontologicky pouze znaky na papíře.

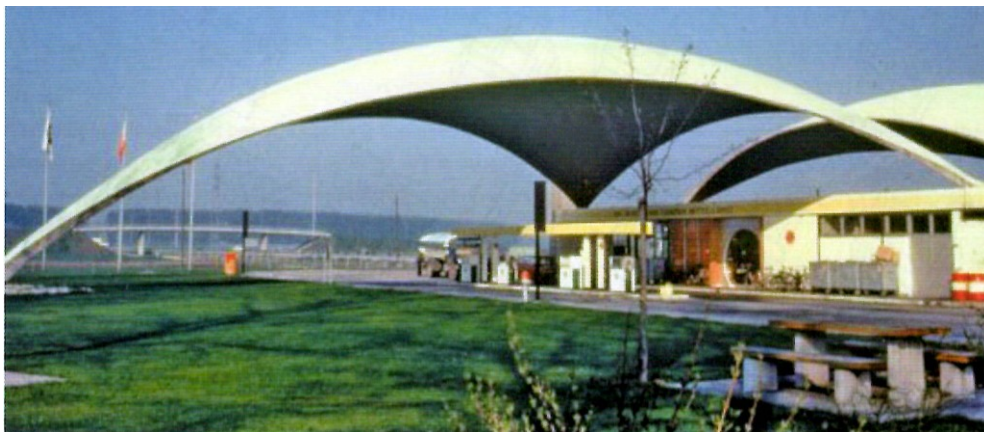


*Obr. 1: Kresba - nalevo MiesVan de Rohe*

Dalším výborným příkladem je i malba Akt sestupující ze schodů z roku 1912 od Marcela Duchampa.

### **2.2.2 Práce s plochou**

Při práci s plochou se nám otevírá nespočet možností, jak ji přetvářet, množit a deformovat. Vytvářet nové struktury můžeme už za pomoci jedné plochy, kterou je možno ohýbat, tím ji přetransformovat do prostoru a dát jí nový tvar.



*Obr. 2: Práce s plochou ohyb*

Jednoduchým vrstvením ploch různých průřezů a tloušťek se dá také dosáhnout nespočtu originálních tvarů. Tento způsob je užívaný velmi často a není k němu potřeba dokonale ovládat modelovací program.



*Obr. 3: Driftwood pavilon 2009*

Rozvinutí plochy je způsob, který si lze jednoduše představit na vystřižované vložce z překládaného papíru. Po odstříhnutí určitých částí a následném rozložení nám vznikne pravidelný opakující se tvar. Za pomoci softwaru na PC dosáhneme podstatně složitějších struktur, které už se mnohdy vymykají naším schopnostem vyrobitelnosti. Často používaným způsobem je pouhé prořezání plošného materiálu. Ten pak získá nové vlastnosti a lze jej jednoduše ohýbat nebo natahovat.



*Obr. 4: Muzeum Enzo Ferrari Modena*

Pracovat se dá také s rozkladem plochy a povrchu těles. Každé těleso lze rozložit z prostoru do plošné sítě za pomoci geometrických tvarů. Vzniklá síť se dá upravovat k vytváření různých konstrukcí. Pod rozklad plochy můžeme do jisté míry zařadit také mozaikování,

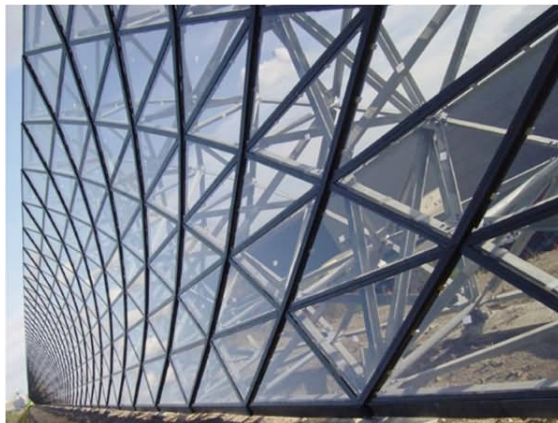


využívající skoro totožného způsobu rozkladu plochy, jen v opačném pořadí. Skladbou různých ploch vedle sebe vzniká těleso nebo jiný plošný povrch. Do této skupiny spadá také radiální aproximace využívaná v architektuře.



*Obr. 5: Tančící dům Praha*

Triangulace je proces, při kterém se různé plošné povrchy dají vyskládat z trojúhelníků. Často se s triangulací setkáváme v architektuře u zastřešení, protože rozdělením do trojúhelníků roste i samotná pevnost konstrukce. Dobrým příkladem je i exportování 3D designu do souboru STL. Během exportu se náš model přetvoří do objektu složeného z trojúhelníkových částí, jejichž počet se odvíjí od námi zvoleného způsobu transformace a složitosti objektu. Organický design bude tvořen mnohonásobně více trojúhelníky, na rozdíl od jednoduchého hranatého tělesa.



*Obr. 6: Akustická bariéra Oosterhuis a Lénárd*

### 2.2.3 Konturování

Konturování je úzce spjato s přetvářením ploch. Když plošný materiál položíme na bok, vznikne nám pomyslná linka, pokud takto řadíme vedle sebe více ploch s různým seřezáním hran, začne nám vznikat objekt. Ten v nás za určitých předpokladů započne vytvářet dojem uceleného tvaru, přestože mezi jednotlivými částmi jsou mezery. Například jednotlivé řezy můžou mít jinou výšku, nebo se na uskupení ploch díváme z různých úhlů a ty se překrývají. Tohoto způsobu se využívá při tvorbě maket, forem, nábytku atd. Specificky u nábytku nám stačí do sebe zaklesnout pomocí výřezů plochy, které mají určitý na sebe navazující tvar. Tomuto způsobu se říká zámková sestava.



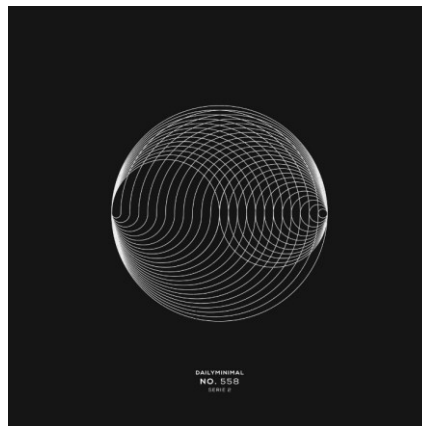
*Obr. 7: Kostra trupu lodi*

Dále také může vznikat pocit celistvého organického tvaru u architektury. Například v případě, kdy je hranatý skelet budovy protnut plochami s organickým obvodem, nebo nahromaděním určitých těles, které dohromady tvoří povrch.



*Obr. 8: Bytový dům Oceán, Taipei Taiwan*

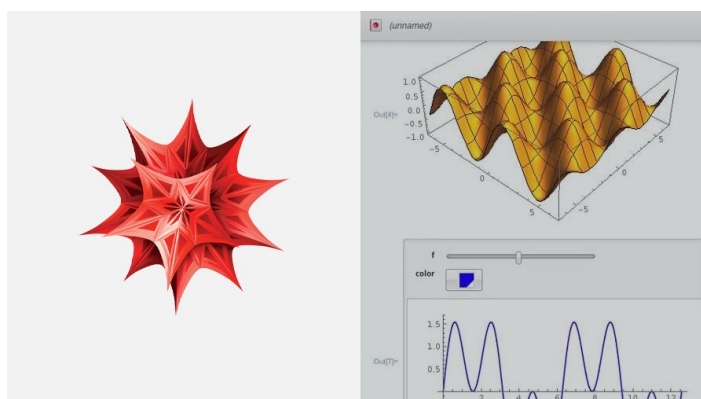
Opačným způsobem je tvoření ony 3D iluze pouze za použití linek, tahu, nebo ploch v 2D prostoru. Stačí opakovat jeden tvar a ten začne tvořit iluzi prostoru, či vytvoří určitou strukturu. Tohle je příklad generativního procesu, k jehož vytvoření nám stačí pouze v algoritmech programu zadat hodnoty tak, aby se určitý objekt například točil okolo určitého bodu s posunutím každé jednotlivé části určitý počet stupňů.



Obr. 9: 3D iluze

#### 2.2.4 Grafy

Jednoduché grafy, ať už jsou generované v programu Microsoft Excel, nebo ve složitějším programu na tvorbu 3D grafů zvaném Mathematica, jsou výborným příkladem. Vidáme je všichni v hojné míře a jedná se pouze o grafické znázornění číselných hodnot. Vždy potřebujeme minimálně dvě hodnoty, podle nichž se vygeneruje spojnicový, sloupcový, nebo jakýkoliv další graf.

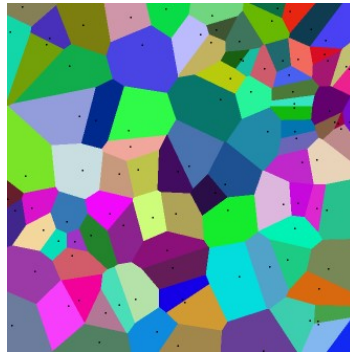


Obr. 10: Mathematica 12, grafy

#### 2.2.5 Voroného diagram

Voronoiův diagram pracuje na principu rozdělení roviny body na konvexní polygony. Rozptýl bodů je čistě náhodný. Každý jednotlivý polygon obklopuje pouze jeden bod, který

je vždy nejbližší svému generujícímu bodu v daném polygonu. Tento diagram má nespočet využití od biologie po pekařství.



*Obr. 11: Voroného diagram*

### 2.2.6 Topologická optimalizace

K navrhování výrobků touto metodou je nejprve nutné stanovit si cíle a to, jaká jsou omezení, například prostor, kde nechci, aby umělá inteligence zasahovala, nebo výřezy na šrouby. Mezi další parametry, které je nutné ustanovit, patří požadavek na bezpečnost, budoucí materiál a hlavně způsob výroby. Pak dostane slovo umělá inteligence. Ta vyhodnotí naše požadavky a vygeneruje určité množství výstupů, ze kterých vybere ty, o nichž usoudí, že jsou nejvhodnější pro naše použití. Na nás je si vybrat nejlepší výstup, ten nejprve otestovat a následně použít. Celý proces topologické optimalizace popisují v podkapitole 5.3.3 Fusion 360.



*Obr. 12: Příklad topologické optimalizace*

## 2.3 Užívané výrobní procesy

U výrobního procesu vždy nejprve záleží na materiálu, jelikož co materiál, to jiné vlastnosti a nároky na obráběcí stroj. Také musíme dbát na finální použití výrobku a tomu uzpůsobit

například směr, ve kterém ho budeme obrábět. Další omezení přichází s rozměry. Ne vždy se podaří vyrobit požadovaný tvar v kuse.

Máme 5 základních skupin podle druhu práce s materiálem:

### 2.3.1 Řezání

Dvoudimenzionální řezání je asi nejčastější metoda k obrábění plochého materiálu. Řezací hlava se může pohybovat ve dvou osách s důrazem na pracovní prostor. Technologie jako laserové řezání nebo obrábění elektrickým výbojem jsou založeny na použití tepelné energie k řezání za pomoci rozpouštění materiálu nebo jeho spálení. Pro každý materiál se musí užít specifický výkon a rychlost.

Erozní řezání pracuje na odebírání určité části materiálu, díky čemuž ho rozdělí na části. Patří sem vodní paprsek, který díky abrazivu rozpuštěnému ve vodě odebírá materiál. Dalšími užívanými technikami jsou děrování, výsek, řezání skla, jež je samostatným specifickým dělením. Nebo klasický řez kotoučovou nebo pásovou pilou.

### 2.3.2 Obrábění

Obrábění je subtraktivní metoda, která vytváří objekty za pomoci odebírání materiálu. Při této technologii se užívá různých metod, jako jsou chemické, termální nebo mechanické způsoby odebírání.

Nejvíce se však využívá obrábění mechanické za pomoci programovatelného CNC stroje, který se pohybuje ve třech rovinách. Obráběcí hlava materiál buď odvrtává, nebo odbrušuje. CNC můžeme nastavit třemi různými způsoby, aby si hlava odebírala materiál ve 2D rovině, následně 2.5D, kdy se pohybuje ve vrstvách a 3D rovině s úplným vyhlazením povrchu. Je nutno dodat, že u každého způsobu je třeba použít odlišný vrták.

U řezání polystyrenu a jemu podobných materiálů jako je PU se využívá k řezání žhavý drát. Ten v místě řezu polystyren roztaví.

Novinkou je obrábění za pomoci robotického ramene, kdy se pomocí něj materiál přikládá k obráběcímu médiu.

### 2.3.3 Formování

Za působení mechanické síly se materiál natlačí do formy, čímž vzniká požadovaný tvar. Některé materiály se musí nejprve nahřát, aby mohly být formovány, například plasty. Tato metoda je rychlá a vyžaduje přesnou formu.

### 2.3.4 Odlévání

Do předem vyrobené formy se odlévají nejčastěji roztavené kovy. Vznikne odlitek, který se musí dále začišťovat, aby se dosáhlo dokonalosti. Odlévat lze také beton, vosk, který se využívá při tvoření forem, nebo porcelán.

### 2.3.5 Tisk

Aditivní výroba pracuje na principu přidávání materiálu vrstvy po vrstvě. Před samotným tiskem je nutno nejprve předmět vymodelovat ve virtuálním prostředí. Konvertovat ho za pomoci slicovacího programu do takzvaného G-kódu zapsaného přesně podle typu tiskárny a vytisknout.

První nejběžnější metodou je FDM tisk, kdy se roztápí tiskový filament a nanáší se po tenkých vrstvách na plochu a tím vzniká objekt.

Druhou metodou je tisk SLS, využívající laseru k spékání částic plastu, kovu, keramiky nebo skla na postupně vznikající výrobek. Tyto částice jsou nanášeny v tenkých vrstvách válcem.

Třetí metoda je SLA tisk, u kterého se UV světlem vytvrzuje po tenkých vrstvách na světlo citlivá pryskyřice na vrstvu po vrstvě pohybující se podložce.

Prozatím však stále tyto technologie pracují v omezeném prostoru, který v mnoha případech není větší, jak krychle o straně padesát centimetrů. Proto je jejich použití limitované. Opakem je však FDM tisk betonu, který dosahujeme už dnes rozměrů malého domu.

## 2.4 Poznatky z přírody

Příroda je pro nás zatím stále plně neprobádanou studnicí vědění, ze které můžeme čerpat. Je plná chytrých modelů a udržitelného chování. Po staletí se vyvíjela, aby čelila problémům na poli ochrany, aerodynamiky, kamufláže, síly atd. Skrývá se v ní velký potenciál aplikací těchto řešení do designu a tady je nutno podotknout, že si ji našim počínáním ničíme a nevážíme si toho, co nám může nabídnout. Nejde ani tak o uplatnění, jako spíše o formu nabývání poznatků, všechno je v přírodě už vyřešeno, nám jen stačí zkoumat jakým způsobem. Následné uplatnění už pro naši společnost není problém.

Všechny zvolené příklady jsou uváděny s návazností na generativní design.



### 2.4.1 Lekníný

Victoria amazonica je největším vodním leknínem na planetě. Její listy jsou obřích rozměrů a díky své stavbě unesou i sedícího člověka. Po stranách jsou vertikálně zahnuté, aby se navzájem nepřekrývaly a vytvořily si ochranu proti vlnám. Růst této výjimečné rostliny je enormní celý půl čtvereční metr za den. Na spodní straně listů se nachází tuhá žebra, která jsou dutá a absorbují vzduch. Díky tomu se listy takových rozměrů mohou vznášet na hladině. Celá síť je ještě vyztužena menšími příčně uspořádanými žebry, která dodávají listu celistvost a pevnost. Tato žebra mají vždy přesné a ucelené uspořádání. Kdyby tomu tak nebylo, list by se potopil pod hladinu.

Konstrukci leknínu využil Vincent Callebaut u svého plovoucího habitatu pro více než padesát tisíc lidí.



*Obr. 13: Plovoucí město*

### 2.4.2 Netopýři

Netopýři jsou jediní savci, kteří umí létat. Jejich horní končetiny se přeměnily v křídla a kosti na prstech se jim protáhly za účelem vyztužení plochy křídla. Všechny kosti na křídlech mají přesné uspořádání a jsou usazeny mezi dvouvrstvou kůže. V téže mezeře ještě vedou nervy a cévy, které taky během letu slouží jako opora a výztuž. Stejně jako u leknínů, tvoří vždy originální, ale ucelenou síť, aby v žádném bodě nedošlo k oslabení. Netopýr tak dosáhne

vysoké tuhosti křídel a díky tomu se zvýšila efektivita letu za využití malého množství energie.



*Obr. 14: Netopýří dron, Aidan Zukowski*

### 2.4.3 Havýšovítí

Havýšovítí jsou poddruh ryb, který má speciálně tvarované tělo, jež je poskládáno z šestiúhelníkových zkostnatělých plátů. Při prvním pohledu vypadají nemotorně, ale tvar trupu a přesné pohyby pěti ploutví jim umožňují plout i v rozbouřené vodě. Jsou totiž uzpůsobeni optimálně pro prostředí, ve kterém žijí. Mají výbornou hydrodynamiku těla podpořenou pevnou skladbou z již zmiňovaných šestiúhelníků, které vytváří malé víry okolo boků.

Tvar trupu ryby využil Mercedes Benz u tvorby aerodynamického konceptu svého automobilu.



*Obr. 15: Mercedes Bionic*

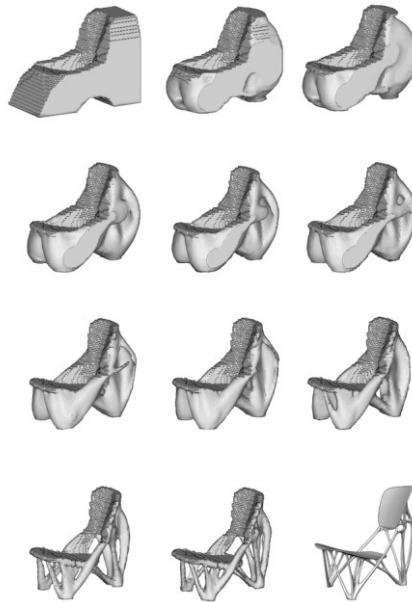
### 2.4.4 Kosti

Vědci odhadují, že síla kostí je šestinásobně pevnější než síla oceli. Kostra přitom váží pouhé čtyři až pět kilogramů, což je zlomek ocelové konstrukce. Je tomu proto, že kosti jsou



tvořeny hmotou, která má v sobě přesně uspořádané dutinky. Celá síť takzvaných kostních buněk výborně odolává tlaku a zátěži.

Tohoto principu zjednodušení využil Claus Mattheck, když vytvořil svou generovanou židli.



*Obr. 16: Generovaná židle, Claus Mattheck*

#### 2.4.5 Houby

Existuje speciální poddruh mnohobuněčných hub, který žije ve vodě. Tyto houby jsou zajímavé svými tvary a uchycením na povrchu kamenů a korýšů. Všechny však mají jednu podobnost, krajkový povrch, skrze který protéká voda a přináší houbám živiny. Tělo druhu *Euplectella aspergillum* je tvořeno zahnutým trubicovým trupem tvořeným z oxidu křemičitého. Celá schránka houby je tvořena z prutů, které se obtáčí po třech osách a na místech průtnutí srůstají. Znovu se zde také setkáváme s tvarem šestiúhelníku.

Princip konstrukce se využívá v architektuře, například u Londýnské Swiss Re budovy.



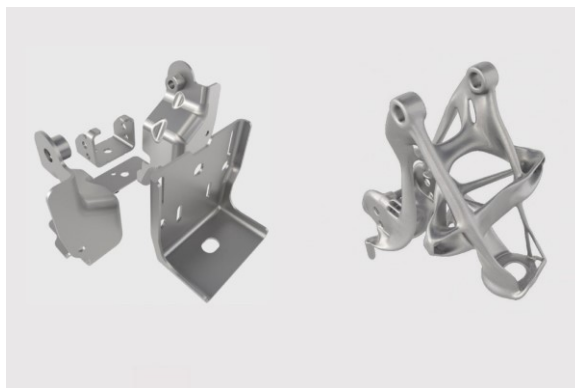
*Obr. 17: Swiss Re, Londýn*

## 2.5 Příklady uplatnění generativního designu

V následujících podkapitolách uvádím příklady generování napříč spektrem použitelnosti. Principů a uplatnění je tolik, že vždy z každého odvětví vybírám jen ty nejzásadnější, nejzajímavější, nebo takové příklady, které se váží k mé práci.

### 2.5.1 Průmysl

Americká automobilka General Motors se zaměřila na výrobu dílů do svých aut. Jako cíl si zvolila snížení váhy a zredukování počtu dílů svých aut. Celý projekt se dle vedení začíná vyplácet, jelikož u prvního plně používaného dílu se jim podařilo konsolidací osmi částí snížit váhu o 40 % a zvýšit pevnost o 20 %. To vše při celkovém snížení nákladů na jednotlivou výrobu částí a následné smontování.



*Obr. 18: Původní nalevo, generovaný díl napravo*

Indický start-up Social Hardware se zase snaží pomoci lidem, kteří přišli o končetinu. Konstrukteři navrhli protézu, díky které se lidé z indického venkova nemusí bát, že by ji zničili. Je odlehčená, pevná a dá se jednoduše čistit pod tekoucí vodou. Výrazné plus je, že se díky softwaru přizpůsobí každému pacientovi zvlášť a výroba netrvá spoustu času.



*Obr. 19: Protetická končetina*

Japonská firma zoptimalizovala kryt řídicí jednotky motoru a uzpůsobila formu pro snadné odlévání. Celkový návrh krytu je vytvořen tak, aby pokud možno co nejúčinněji odváděl teplo od elektroniky, a to za použití zlomku množství materiálu, než u běžného krytu jednotky.



*Obr. 20: Postup optimalizace*

### 2.5.2 Architektura

V roce 2010 Michael Hansmeyer vytvořil architektonické sloupy, na kterých zkoumal, jak proces opakovaného dělení může vytvořit spletité struktury architektury. Výsledkem je

proces, který dokáže automaticky vytvořit nekonečné obměny sloupů za pouhé malé změny dat.



*Obr. 21: Generovaný sloup, Michael Hansmeyer*

Německé architektonické studio Herzog de Meuron navrhlo bytový dům Terrace Beirut. Celá výšková budova je navržena jako vertikální město. Tenké platformy jsou položeny asymetricky na sebe a prosklené stěny otevírají úchvatné výhledy. Každý ze 132 bytů je jedinečný a díky prosklení budovy i neuvěřitelně vzdušný s fantastickými výhledy.



*Obr. 22: Bytový dům Terrace Beirut*

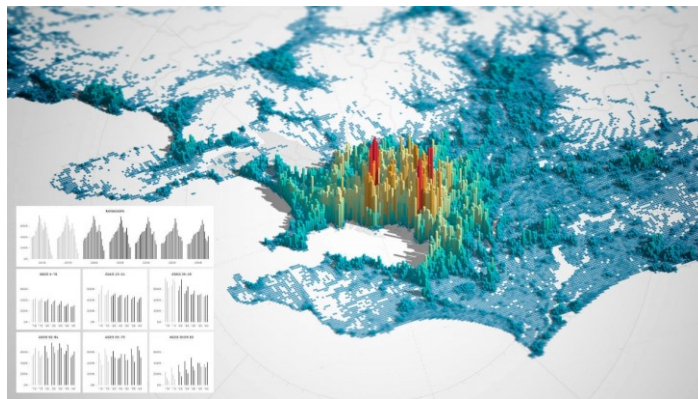
Sagrada Familia, vrcholné dílo Antoniho Gaudiho, začala vznikat už před více jak sto lety a bez použití softwaru.



*Obr. 23: Interier Sagrada Familia*

### 2.5.3 Design

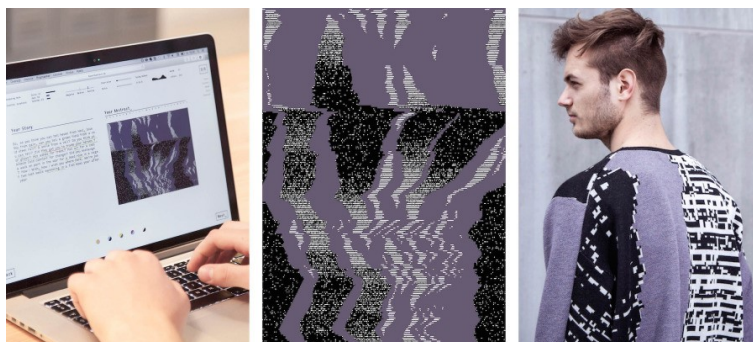
Planck je webový prohlížeč utvořený pro zobrazování vizualizací velkých geografických objemů dat. Celá webová aplikace dosahuje jak analytického užitku, tak i vizuálního zážitku. Jejím autorem je designer Takram.



*Obr. 24: Plank web*



Abstract\_ je bakalářský projekt studentů univerzity designu v dánském Koldingu. Práce pracuje s přenesením zákaznickova osobního příběhu za pomoci kódu na oděv. To vše se děje nasnímáním obličeje zákazníka během toho, co vypráví příběh a následujícím přenesení videa do grafického kódu, který je vytištěn na látku.



Obr. 25: *Abstract\_fashion*

Takzvané procedurální modelování se využívá i v herním průmyslu ke generování prostředí videoher. K vytvoření jedinečného prostředí se nemusí modelovat každý dům nebo strom ručně a samostatně. Stačí vymodelovat pouze jeho součásti a naprogramovat algoritmus, který vytvoří nespočet jedinečných variací z jednoho modelu.



Obr. 26: *Generované domy*

### 2.5.4 Umění

Nike Strike Series FA16 je série krátkých filmů představujících za pomoci 3D renderování sílu a preciznost světových atletů a hráčů fotbalu. Tvůrci je nasnímali při jejich aktivitách a nasbíraná data jako rychlost a pohyb byla renderována v provedení postav hráčů.



*Obr. 27: Nike strike series FA 16*

Instalace Collide transformuje nahraná pohybová data do abstraktních digitálních grafik a zvuku. Celkový prostor vytváří neuvěřitelnou surrealistickou atmosféru a vždy je jedinečný.



*Obr. 28: Fotky z instalace Collide*

Mark Stocka využil jednoduchého mísení barev a reflektuje proudy a víry v oceánech s jejich nepříliš pochopeným účinkem na globální oteplování.



*Obr. 29: Obraz Gyre*

## 2.6 Shrnutí

Generativní navrhování v nesporné míře šetří čas a podporuje inovace. Než člověk stihne vytvořit jeden návrh, umělá inteligence jich zvládne vygenerovat celou řadu. Zároveň jsou prověřené a vyberou se jen ty vrcholné. Podporuje také kreativitu, počítač odvádí rutinní úkoly a designer se může soustředit na objevování nových řešení. Šetří peníze jak ve výrobě, kdy odvede simulace a předejde nečekaným změnám, tak i ve spotřebovaném materiálu.



### 3 OSVĚTLOVÁNÍ

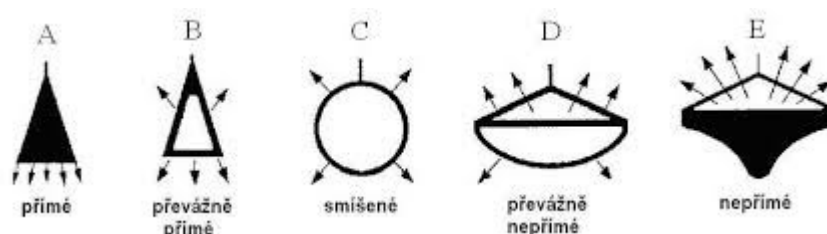
Nikde není experimentátorský a hravý duch designu patrný tolik jako v oblasti svítidel. Je zde zcela očividný návrat k dekoracím. Většina designérů opouští technicky pokročilé architektonické tvary, které dominovaly koncem 20. století a místo toho volí romantičtější a nenáročné přístupy. Například svítidlo Wednesday z roku 2002 od Torda Boontjeho, které sestává z perforované květinové girlandy z tenkého kovu leptaného kyselinou, jež je zavěšena okolo holé žárovky, se stalo velmi vlivným výrobkem a ukázalo, jak může veskrze jednoduchá představa působit impozantně. Boontjeho svítidlo má také tu výhodu, že je lze vyrobit s velice malými náklady, takže zákazníci mají šanci zakoupit si opravdu levný designérský artikl.

Nejvýznačnějším technickým pokrokem v oblasti svítidel je rychlé prototypování, technologie, která umožňuje „tisk“ trojrozměrných umělohmotných objektů. V této oblasti vévodí belgická společnost Materialise, která najímá designéry, aby vytvářeli stínítka za použití tohoto postupu. Tak vzniká stále rostoucí řada vzrušujících výrobků. [2, s.190]

#### 3.1 Dělení podle směru svícení

Svítidla slouží k regulaci světelného toku dle potřeb jednotlivého prostoru, a to za pomoci stínidel, které tvoří celek se zdrojem světla. Zabraňují oslnění a chrání zdroj před vlivy okolí.

Nejužívanější skupinou jsou přímá svítidla, která vyzařují minimálně 90 % světelného toku do prostoru pod světlem. Hodí se do vysokých a tmavých prostor. Na ně navazují polopřímá, jež vyzařují pouze 40-90 % do spodního prostoru. Smíšená vydávají už pouze 40-60 % svého světelného toku do spodního prostoru. Polonepřímá směřují svůj svit směrem do horního prostoru, kam vypouští 40-90 % světla a nepřímá, která vyzařují více než 90 % do horního prostoru, díky čemuž nevytváří stíny.



Obr. 30: Rozdělení svítidel podle rozložení světelného toku

## 4 INSPIRACE

Před samotným započítím navrhování jsem se snažil co nejvíce si utřídit informace a hledal jsem vhodnou inspiraci pro mé generativní svítidlo. Inspiraci jsem se snažil nacházet obzvláště v knihách, ale po čase jsem byl nucen použít i internet. Design se v dnešní době totiž vyvíjí tak rychle, že studovat pouze knihy nestačí. Tím nechci říct, že by knihy nebyly přínosné, ale úspěšný designer by se, dle mého názoru, měl poučit a inspirovat jak v minulosti, tak mít i dobrý přehled o současné tvorbě a trendech. Inspirativní podněty jsem čerpal především pro stínidla i pro samotnou konstrukci a světelnou hru.

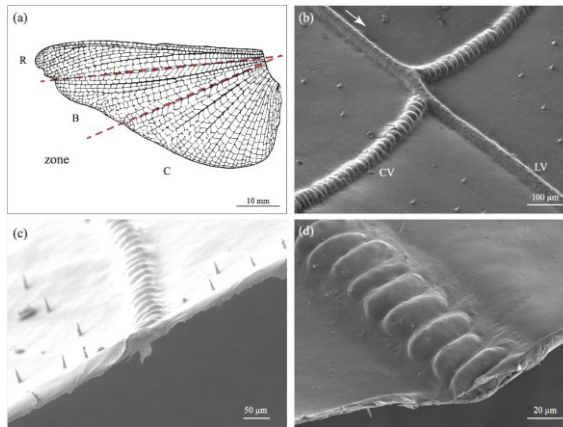
### 4.1 Motýli

Během svého hledání inspirace pro mé svítidlo jsem se co nejvíce snažil vycházet z přírodních zdrojů a poznatků. Již v zimním semestru jsem díky hodinám angličtiny narazil na oblast biomimikry neboli také biomimetiky. Jedná se o zkoumání zajímavých konstrukčních řešení živých organismů v přírodě a snaží se přetvářením, nebo napodobením využít získané znalosti k vývoji nových vynálezů, technických řešení a zlepšení již stávajících produktů.

V oblasti generování a přírodní optimalizace se najde nespočet příkladů (viz. Kapitola 2 sekce příklady). Soustředil jsem se zejména na poznatky v oboru světla a svým tvarem i vlastnostmi mne zaujala právě křídla hmyzu.

Křídla létajícího hmyzu jsou vystavena mechanickým silám a deformacím po miliony cyklů. Jakékoliv sebemenší vady mohou mít za následek snížení letového výkonu. Proto jsou křídla vyztužena žilkováním, které poskytuje optimální mechanické řešení s vysokou houževnatostí s co nejnižší hmotností. Síť podélných a vertikálních žil rozděluje plochu

křídla na menší sektory a tím předchází vzniku a šíření prasklin. Každé křídlo je originál, protože žilkování se tvoří přesně podle tvaru, ohybu a namáhání.



*Obr. 31: Morfologie zadních křídel motýla*

Celá řada tropických motýlů využívá plochy mezi žilkováním k maskování. Způsob je jednoduchý. Větší plochy mezi žilami jsou z průhledné blány, přes které jde vidět povrch, na kterém daný motýl sedí. Tím rozdělují velká motýlí křídla na menší celky a matou predátory. Za letu propouští světlo a jisté druhy se stávají skoro neviditelnými.

Spojením těchto dvou vlastností jsem se inspiroval u stínidla mého svítidla a využil topologické optimalizace k vytvoření pevné vzdušné konstrukce a tvaru samotného křídla.

Pro svou práci jsem si vybral čtyři lišící se druhy motýlů.

#### 4.1.1 Greta Oto

Prvním vybraným druhem je Greta Oto. Jeho jedinečná průhledná křídla jsou schopna unést až čtyřicetinasobek své vlastní váhy. Materiál, ze kterého je křídlo tvořeno, má nízkou absorpci světla, které se skoro nerozptýlí a projde křídly, aniž by se odrazilo.



*Obr. 32: Greta Oto*

#### 4.1.2 Synathedon Myopaeformis

Další druh je motýl patřící mezi můry. Synathedon Myopaeformis, takzvaný motýl s průhlednými křídly a červeným opaskem. Má podlouhlá křídla z velké části roztřepená a protkaná silnými žilami.

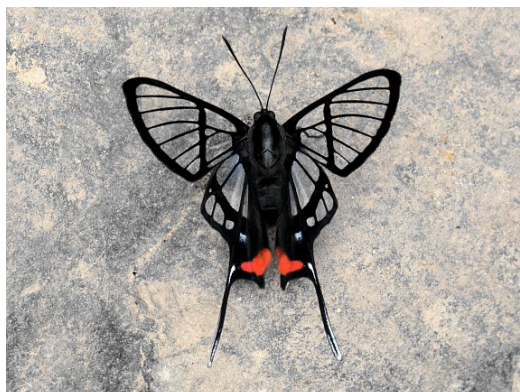


*Obr. 33: Synantheson Myopaeformis*

#### 4.1.3 Amazonský anděl

Následuje tropický druh zvaný Amazonský anděl, který připomíná vlaštovku s průhlednými křídly ohraničenými výrazným černým žilkováním. Všichni jedinci tohoto druhu mají stejný

základní vzorec struktury křídel, ty se liší pouze rozsahem průhledných ploch. Létají výhradně na slunci a po okrajích vodních ploch, aby nebyli spatřeni svými soky.



*Obr. 34: Amazonský anděl*

#### 4.1.4 Cithaerias Pireta

Posledním motýlem je Cithaerias pireta, mající taktéž průhledná křídla. Tentokrátě však díky naprosto tenkým žilkám a absenci šupin skoro úplně průsvitná. Tato průhlednost umožňuje bez ohledu na pozadí, na kterém se nachází vidět skrze křídla.



*Obr. 35: Cithaerias Pireta*

## 4.2 Osobnosti

Mou práci také ovlivnily významné osobnosti z novodobých dějin umění, ať už se jedná o představitele kinetického, světelného nebo architektonického umění.

### 4.2.1 Otto Piene

Otto Piene je představitelem kinetického světelného umění z Německa. Byl členem významné skupiny Zero a stal se průkopníkem světelné instalace. Nejprve pracoval se světlem v pohybu, postupně se ale dostával do fáze, kdy světelné odrazy pouze působily,

jako by byly v pohybu díky optickým iluzím. Jeho nejvýznamnějším dílem je Světelný balet z roku 1961.

*„Prvky nemyslím jen klasické řecké prvky: oheň, voda, vzduch a země. Mám na mysli také lidské prvky akce, reakce, zapojení, účasti.“*

*Otto Piene [5]*



*Obr. 36: Světelný Balet*

#### 4.2.2 James Turrell

James Turrell je americký umělec zabývající se světlem a land artem. Ve svých instalacích se zaměřuje na působení světla a barvy v prostoru na pozorovatele. Zásadním dílem v jeho tvorbě je Roden kráter. Vyhaslou sopku přetransformoval v komplex tunelů a pro něj známých takzvaných observatoří, kdy návštěvníkům umožňuje pozorovat působení změn denního světla na prostor. Opakem jsou pohledy na krásu vesmírných jevů v noci.



*Obr. 37: Vykreslení díla Jamese Turrella pro Guggenheimovo muzeum*

### 4.2.3 Zaha Hadid

Během svého mládí Zaha poznala pestrou škálu kultur, dostalo se jí rozmanitého vzdělání na mnoho školách na světě. Zásadní pro ni bylo absolvování matematických studií na univerzitě v Bejrútu a získání diplomu na Architectural Association. Po studiích získala práci u Malevičově atelieru Office of Metropolitan Architecture.

Svou tvorbou se vymykala okolí a značně přetvářela zaběhlá pravidla architektonického prostoru. Její architektura se stala organickou, za zmínku stojí například stěny připomínající roztékající se hmotu a popírající gravitační zákony. Založila architektonické studio Zaha Hadid Architects, které úspěšně funguje do dnes i po její smrti.



*Obr. 38: Návrh koncertního sálu, Zaha Hadid Architects*

## 4.3 Svítidla

Na trhu je nepřeberné množství závěsných svítidel nejrůznějších forem, způsobů uplatnění, ale hlavně se liší použitými materiály.

### 4.3.1 Kyklos

Jedná se o sadu svítidel společnosti Linea light. Jsou tvořena takzvaným orbitálním pouzdem tloušťky pouhých dvou centimetrů. Působí elegantním dojmem a nepřímým způsobem nasvěčují prostor. Základním materiálem k výrobě světel je polyuretanová pěna,



do které je zabudován topLED zdroj svícení. Prstence visí na tenkých skoro neviditelných drátcích. Rodina Kyklos se chlubí oceněním Red Dot Award 2015.



*Obr. 39: Kyklos\_P2*

#### 4.3.2 Naturoscopie

Svítilno Naturoscopie pochází od francouzského interiérového designéra Duchaufour-Lawrence. Autor se snaží, aby svítidlo pracovalo s vjemy, se kterými se setkáváme v přírodě. Je vyrobeno z kombinace soudobých materiálů, jako jsou difuzní plexisklo, skelná vlákna, zrcadla opatřená o nástrík měkkých barev a laku. Vzniklé stínidlo je nasvětlováno LED bílým světlem.



*Obr. 40: Svítidlo Naturoscopie*

#### 4.3.3 Cone

Řada svítidel Cone je vyrobena z vláknitého kompozitu Nitona, specifického díky svým vlastnostem. Z plošného materiálu po prořezání laserem a následném vytáhnutí vznikne trojrozměrné stínidlo. O světelný zdroj se stará LED koule s efektem stmívání, která po prosvícení stínícího objektu vytváří v místnosti hru světla se stínem. Svítidlo je dostupné ve



třech velikostech 44, 38 a 36 cm a barvách odstínů šedé. Za celým projektem stojí němečtí designéři Sabrina Guschlbauer a Wiebke Westrich-Keil.



*Obr. 41: Svítidlo Cone*

#### 4.3.4 Muul

Nejvýznamnějším zdrojem inspirace bylo svítidlo Muul, které navrhnul Changheon Lee.

Světlo Muul není ani tak o samotném světle, ale spíše o jeho účincích. Podívejte se na tento vzor, vypadá přirozeně povědomě, ale také je neuvěřitelně uklidňující. Muul využívá schopnost vody ohýbat světlo a vytváří jakoby leptanou síť krásných světelných vzorů, které se kývají a mění s vlnami vody. Když zapnete Muul, budete okamžitě obecenstvem těchto krásných odrazů, jak tančí kolem Muulova prázdného plátna, vytvořených z malého bazénu zavěšeného přímo pod samotným plátnem. Bazén drží vodu (která je jemně míchána elektromagnetickou koulí a vytváří vlnění), zatímco světla kolem jejího okraje svítí dolů na vodu, což způsobuje, že na bílém povrchu nad ní se třpytí odrazy.

Neuvěřitelná je schopnost Muulu nebýt světlem, ale spíše jevem způsobeným tímto osvětlením. Není navrženo tak, aby váš pokoj byl světlejší, ale spíše aby byl krásnější a vytvořil neustále se měnící atmosféru, která je neklidná, ale zároveň relaxační! [3]



*Obr. 42: Svítidlo Muul*

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 ANALÝZA

### 5.1 Výzkum

Na počátku práce jsem si nejprve udělal obsáhlou rešerši generativních způsobů a k nim i vhodných materiálů. Stejně tak tomu bylo i u dostupného softwaru a zdroje světla. Dle poznatků jsem selektoval vždy ty nejlepší možné materiálové a softwarové varianty. Poté jsem se zaměřil na zkoušky materiálu a danou softwarovou problematiku.

Ještě před samotným započítím navrhování jsem hledal vhodnou cílovou skupinu lidí, pro kterou své svítidlo budu navrhovat. Nakonec jsem produkt cílil na mladé spotřebitele ve věku mezi 15 a 30 lety. V této skupině jsem se zaměřil především na studenty. Tato skupina se v posledních letech vyznačuje tím, že hledá originalitu, aby se jakýmkoliv způsobem odlišovala od zbytku společnosti. Tyto aspekty jsem adaptoval do mých návrhů svítidla.

Dalším důležitým bodem bylo, jaký druh svícení z hlediska způsobu použití chci navrhovat. Na základě zvolené cílové skupiny jsem se rozhodl dělat ambientní svítidlo za použití RGB LED světelného zdroje. Trend barevného svícení v prostoru stále přetrvává a technologie už svou cenou nepředstavují velkou překážku.

Vždy jsem zohledňoval své možnosti a vyrobitelnost jednotlivých částí. Důležitým aspektem se stala taky cena použitého materiálu.

### 5.2 Softwarové zkoušky

Dostupných programů, které se zabývají, nebo obsahují modul využitelný ke tvorbě generativního designu, nebo jakékoliv optimalizace, je v dnešní době na trhu plno. Od grafických programů, přes matematické, až po 3D programy. Proto není jednoduché zvolit si ten správný. Každý software nabízí jiné možnosti a především pracuje na jiném principu vytváření výstupu.

Bylo tedy nutné jednotlivé 3D programy projít, zaměřit se na jejich funkce, způsob generování a především náročnost, kterou vykazují na hardware počítače. Po celkové analýze mi vplynuly tři pro mě nejoptimálnější a stejně tak i nejpoužívanější programy. V následujících podkapitolách přiblížím detailněji proces a způsob generace v jednotlivých programech.

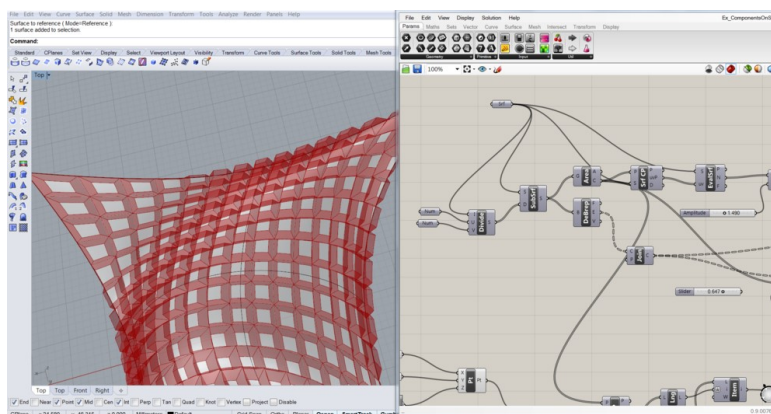
### 5.2.1 Rhinoceros

Rhinoceros je prvním ze zvolených programů, abychom však mohli využít jeho schopností na poli generování, musíme použít zásuvný modul Grasshopper. Pomocí něj tvoříme definice, které formují výsledný objekt. Jednotlivé modulátory, jak se říká elementům definice, přetahujeme do pracovního prostoru, kde s nimi postupně manipulujeme. Funkce modulátorů jsou rozličné a než jsem jako naprostý začátečník vždy přišel na to, který modul a jak správně použít, jsem ztratil notnou dávku nervů.

Po pár dnech práce a tutoriálech na Youtube jsem s programem začal komunikovat ve správném pořadí. Nejprve se musí vytvořit výchozí struktura, nebo plocha. Dále výchozí body definice, ke kterým připojujeme určité body, nebo plochy modelu. Na pracovním plátně začneme tvořit postupným propojováním a úpravou funkcí rozvětřující se síť komponent definice. Všechny prvky se dají upravovat donekonečna a tím přetvářet vzhled výstupu.

Avšak celý proces zabírá velké množství času a ani po delší době jsem nedosahoval použitelných výsledků. Proto jsem od tohoto způsobu generování upustil.

Rhino je dostupné pro studenty v plné verzi za jednorázový poplatek 5 929 Kč, součástí programu je i předinstalovaný modul Grasshopper.



Obr. 43: Prostředí programu Rhinoceros a Grasshopper

### 5.2.2 Blender

Volně dostupný open-source program Blender 3D, do kterého je nutno si nainstalovat rozšiřující modul By-Gen, byl mou druhou volbou. By-Gen pomocí kterého se nám zpřístupní funkce generativní úpravy objektů, nabízí různé možnosti přetváření objektu. Já

jsem využíval výhradně organických struktur. Nevýhodou však je, že vždy pracuje pouze s tělesem jako takovým. Úprava určitých ploch s sebou nesla vždy problémy v napojení.

Blender je program ve spojitosti s generováním hodně náročný na hardwarové požadavky. Po každé větší změně dat mi program zahltil počítač a přestal odpovídat. Jediným východiskem bylo program ukončit, nejlépe restartovat celý notebook a začínat od začátku. Nepomohl ani přechod na můj výkonnější stolní počítač a program jsem vyloučil.



*Obr. 44: Výstup z programu Blender*

### 5.2.3 Fusion 360

Autodesk nabízí celou řadu modelovacích programů, z čehož Fusion 360 je již od začátku uzpůsobený topologické optimalizaci namodelovaných produktů.

Project Dreamcatcher od AutoDesk Research je generativní návrhový systém, který využívá přírodní algoritmy k vytváření optimalizovaných návrhových řešení v reálném čase.

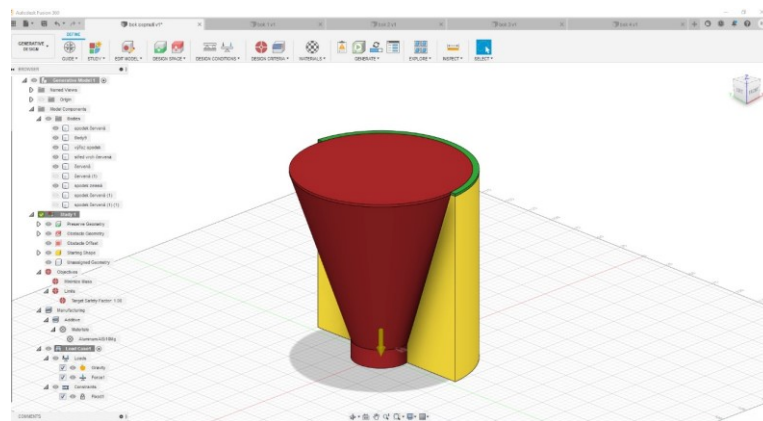
Tradiční metody návrhu často používají další materiály ke zvýšení pevnosti konstrukcí. Tyto materiály mohou být v konečném návrhu často cizí a zbytečné. Návrháře lze také omezit tvarem tradičních stavebních materiálů, jako jsou cihly. Nové technologie AI však vytvářejí příležitost prozkoumat různé možnosti designu pro tradiční materiály a vzory.

Systém Dreamcatcher umožňuje uživatelům generovat tisíce generativních návrhových řešení, která splňují různá omezení. Návrháři mohou zadat konkrétní cíle návrhu, včetně funkčních požadavků, typu materiálu, výrobní metody, výkonnostních kritérií a omezení nákladů. AI poté používá různé algoritmy k prohledávání velkého počtu generovaných návrhů, aby vyhovely požadavkům na návrh. První algoritmus je založen na adaptivních redundantních sítích vytvořených slizovou formou a druhý algoritmus je založen na

mikroskopické mřížkové struktury růstu kostí savců. Výsledné alternativy návrhu spolu s údaji o výkonu každého řešení jsou poté uvedeny v kontextu celého prostoru návrhového řešení. Návrháři jsou schopni vyhodnotit generovaná řešení v reálném čase, kdykoli se vrátit k definici problému a upravit cíle a omezení tak, aby generovaly nové výsledky, které odpovídají rafinované definici úspěchu. Jakmile je vybrán vhodný návrh, návrhář je schopen odeslat návrh do výrobních nástrojů nebo exportovat výslednou geometrii pro použití v jiných softwarových nástrojích. [4]

Práce s programem Fusion je mnohem intuitivnější než s předešlými programy. Stačilo mi projít si jednoduchý tutoriál obsažený v programu, který mě seznámil se všemi funkcemi.

Generativní proces je zde rozdělen do několika etap. Nejprve je potřeba vymodelovat výchozí tělesa pro optimalizaci. Dále znovu ve formě těles doplnit fyzická omezení, kde si nepřejeme, aby program generoval, například díry na šrouby, v mém případě prostor na světelný zdroj. Další fází je ustanovení všech sil a zatížení, které budou vyvíjeny na objekt. Následuje zformování cílů, jestli chce snížit náklady nebo minimalizovat masu výrobku. Posledním krokem před generací je volba budoucího způsobu výroby a materiálu. Jakmile vyplníme všechny tyto požadavky, program vše vyhodnotí a vygeneruje výstup.



*Obr. 45: Vstupní model připravený na optimalizaci*

Postup generace probíhá na serverech Autodesku, tudíž transformace zabere více času a závisí i na rychlosti internetového připojení. Tím však odpadá nutnost vysokých požadavků na hardware.

Program se mi osvědčil i přes problémy způsobené chybou ověření účtů. Následným zmrazením prací jsem si pomocí něj vygeneroval výstupy, které jsem ještě následně upravoval.

## 5.3 Zkoušky 3D tisku

V rámci prací na své bakalářské práci jsem si pořídil FDM 3D tiskárnu Prusa i3 MK3S+. Jelikož to je má první 3D tiskárna z počátku jsem se zdráhal jakýchkoliv vlastních zásahů do tiskárny. Posléze jsem však přišel na to, že jinak než experimentováním se s tiskárnou nenaučím. A tím odstartoval celý proces zkoušek.

Principy jednotlivých tiskáren jsem popsal již v dřívější kapitole 2.3.5 Tisk, tudíž nyní popisují pouze jednotlivé zkoušky.

### 5.3.1 FDM tisk

#### 5.3.1.1 *Filament ABS*

ABS se tiskne snad ze všeho nejhůře. Je potřeba mnoho zkušeností s tímto materiálem, protože při chladnutí podléhá velkému smrštění. U mých výtisků se mi zatím nepodařilo dosáhnout rovné spodní plochy. Vždy se mi některý z rohů zkroučí. Proto ho při výrobě prototypu nepoužívám.

#### 5.3.1.2 *Filament PLA*

Filamentů PLA je velké množství a jsou nejsnazším materiálem k tisku. Jejich tiskové teploty se pohybují mezi 190 - 230 °C, což jsou nejnižší hodnoty u filamentů.

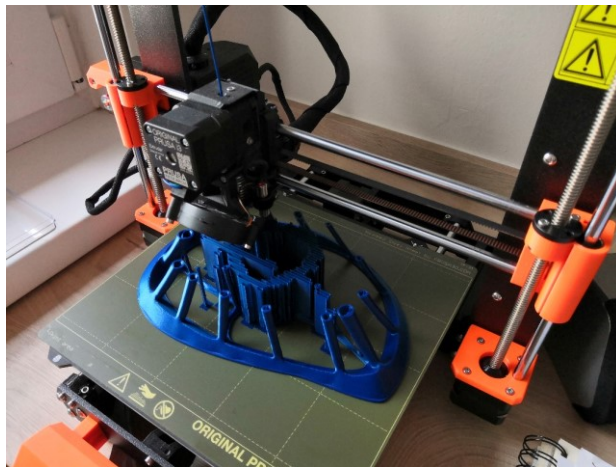
Úplně prvním filamentem, který jsem tiskl, byl Prusament PLA dodávaný k tiskárně. Tiskne se dobře, avšak jeho problémem je rychlá ztráta na kvalitě vlivem vlhkosti.

Polyterra PLA je filament obsahující nižší procento plastové složky, která je nahrazena organickým materiálem. Výtisky jsou pevné a pružné s matným povrchem. Vykazuje o třetinu nižší hmotnost než klasické PLA

Filamentum PLA si mě získalo nejlepšími vlastnostmi z mnou tištěných materiálů, už za nízkých tiskových teplot dosahuje vysoké kvality výtisků.



Podpory po vytištění modelu se při nastavení rozestupu 0.2 mm u PLA snadno odstraňují, stejně tak snadné je i lepení za pomoci lepidla na plastické modely.



Obr. 46: Testovací výtisk stínidla, materiál PLA

### 5.3.1.3 Filament PETG

Jedná se o pevný a pružný materiál, který při tisku uvolňuje nepříjemný zápach. Vlastnostmi se blíží ABS nebo ASA, méně však podléhá teplotní roztažnosti. Během tisku stringuje.

### 5.3.1.4 Tiskové pláty

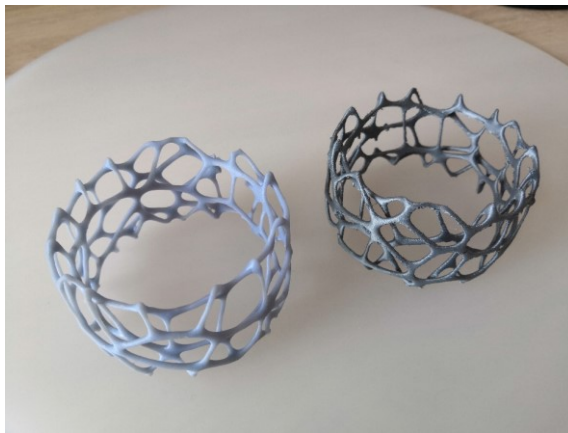
V návaznosti na zkoušky tiskových materiálů jsem narazil i na problémy s tiskovými pláty. Nejprve jsem tisknul na podložku se zrnitým práškovým PEI povrchem. Při správné kalibraci tisku se první vrstva slije a vytvoří jemně zrnitý povrch a výtisky se během chladnutí samy odlepí. Musíme však dbát na správné čištění podložky před tiskem. Jakmile podložku špatně odmastíme, může se stát, že výtisk se odlepí již během tisku. Zkušenosti s vodou se saponátem a prostředky na mytí oken mě donutily si sehnat čistý izopropylalkohol, po kterém už se výtisky neodlepily. Výraznou nevýhodou PEI podložky je tisk objektu až do kraje, kdy se mi stávalo, že se kraje odlepily, pokud kolísala teplota po obvodu tiskové plochy. Z tohoto důvodu jsem u větších tisků přešel na standardní hladkou podložku, u které výtisky po správném očištění drží. Nevýhodou je viditelnost jednotlivých tras extruderu i při správném seřízení první vrstvy.



Obr. 47: První vrstva PEI povrch nalevo, hladký povrch napravo

### 5.3.2 SLA tisk

K tisku různých částí jsem také zkusil fotonolymernou tiskárnu. Povrch jednotlivých výtisků u této metody je naprosto hladký a bez chyb. Avšak resinový výtisk je křehký a pro mé namáhané části nevhodný. Dalším omezením je i tiskový prostor, který se výrazně liší od FDM tiskáren. Kdybych tisknul určité díly na SLA tiskárně, musel bych jednotlivé části dělit a navrhovat spojky. Výsledný model by se lepil, což by znovu ovlivnilo jeho pevnost.



Obr. 48: SLA tisk nalevo, FDM vpravo

## 5.4 Zkoušky plexiskel

U plexiskel jsem si zajistil velkou škálu vzorků různých tloušťek, propustností světla a povrchových úprav. Za tmy jsem postupně pomocí vytisknuté generované struktury testoval propustnosti světla a tvorbu stínů v závislosti na vzdálenosti od stínící plochy, barvy použitého nasvícení a intenzity jasu.

Čiré plexisklo s jednou zdrsňenou stranou mělo vysokou propustnost světla. Jednotlivé stíny od generovaného stínidla se rozplývaly a tvořily pouze šmouhy. Mezi nimi šly zřetelně vidět jednotlivé diody.



*Obr. 49: Zkouška prosvitu plexiskla se zdrsňenou plochou*

Pískované plexisklo se chovalo podobným způsobem. U tohoto druhu záleželo hlavně na tloušťce a počtu pískovaných stran. Plexisklo s pouze jednou pískovanou stranou orientovanou směrem k zemi, většinu světla odrazilo do stropu.

Další v pořadí zkoušek bylo mléčné pískované plexisklo, které mělo tendenci světlo spíše pohlcovat než propouštět. Stíny byly takřka neznatelné, i když byl zdroj stínění hned u plochy.

Mléčná plexiskla si vedla o poznání lépe. Hlavním aspektem zde byla tloušťka a obsah barviva rozpuštěného v plexiskle. Nejlepších vlastností dosáhlo plexisklo tloušťky 3 mm od společnosti Plexiglass. Rozptýlí jas z LED diod a výborně propouští světlo se zachováním stínů od generovaného stínidla i s větším odstupem.



*Obr. 50: Zkouška mléčného plexiskla*

## 5.5 Elektronika

Už od počátku práce jsem byl rozhodnutý, že jako zdroj světla budu používat LED diody. Světelné zdroje LED disponují převážně klady. Vydávají více jak o polovinu méně tepelné energie než běžné žárovky, spoří elektrickou energii, mají vysokou životnost a měrný výkon. V budoucnu se počítá s úplným přechodem na LED zdroje světla.

Výchozí pro mě byly tři možnosti – LED žárovka, panel a pásek, který jsem po uvážení vyřadil, kvůli potřebnému elektrickému transformátoru. LED panel je nejsilnějším zdrojem světla, ale potřebuje napětí 24V. Tím by mi vznikal problém s narůstající kabeláží a bylo by zapotřebí dvou přívodů elektrické energie. Jeden z nich ke zdroji světla a druhý k motoru, jelikož ten je napájen 12V. U prototypu proto používám LED žárovku s patičkou GU 10 a infračerveným ovladačem, kterým se ovládá její barevnost, světelný tok a svítící režimy. Světlo tak bude napájeno 230V z běžné rozvodné sítě.

Ke spojení patice a přívodního kabelu bude použita svorkovnice. Kabel musí být veden venkem mimo kulový kloub a konstrukci, aby nedošlo k jeho ukroucení. Barva zvoleného kabelu je černá, aby nebyl tak patrný a zanikl ve zbytku černých částí svítidla. Oplétání kabelu jsem zvolil proto, aby co nejméně vrhal odlesky při pohybu.

Do budoucna počítám s ovládáním celého svítidla skrze naprogramovatelný modul Arduino. K modulu bude připojen jak plně programovatelný LED panel s šestnácti RGB diodami pro osvětlení, tak krokový motor, u kterého se dá nastavit proměnný krouživý pohyb. Stínidlo se tak nebude pohybovat stále stejným směrem ve smyčce, ale bude moci měnit jednotlivé krouživé pohyby.

## 5.6 Kloub

Prvotním nápadem k rozhybání stínidla bylo použití tří ramen jako u 3D tiskárny typu delta. Tento způsob byl však moc složitý a naprosto nevhodný pro stropní svítidlo. Druhým testovaným způsobem se stal kloubový mechanismus se značnými limity v pohybu. Výsledný kulový kloub splňuje všechny požadavky na rotaci s náklonem.

## 6 PROCES NAVRHOVÁNÍ

Můj proces navrhování dělím do čtyř na sebe navazujících etap.

### 6.1 Skicování

Skicování není zrovna mojí parketou, ale ke správnému započetí projektu to patří. Byť samotných skic nemám mnoho, tak jsou pro projekt zásadní. Lze v nich spatřit postupný vývoj svítidla od jednoduché organické konstrukce stínidla až po samotné počátky předělání ze statického na kinetické.

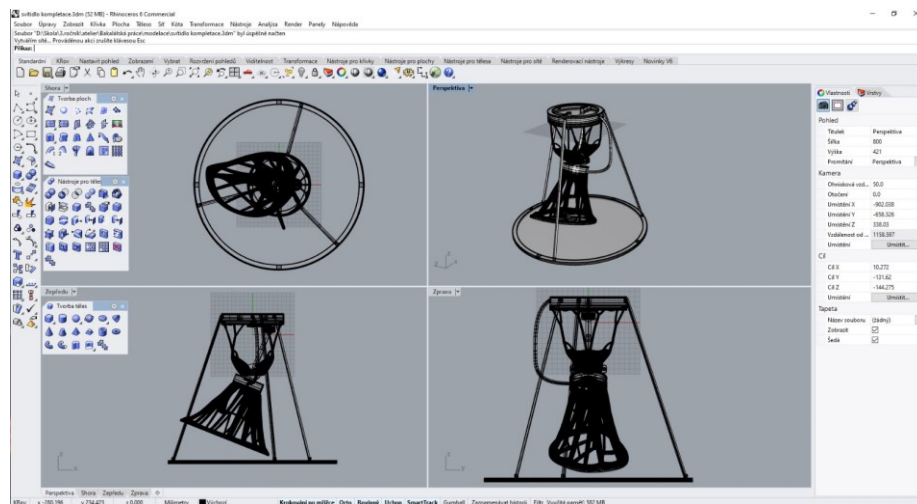


*Obr. 51: Skica svítidla s kloubem*

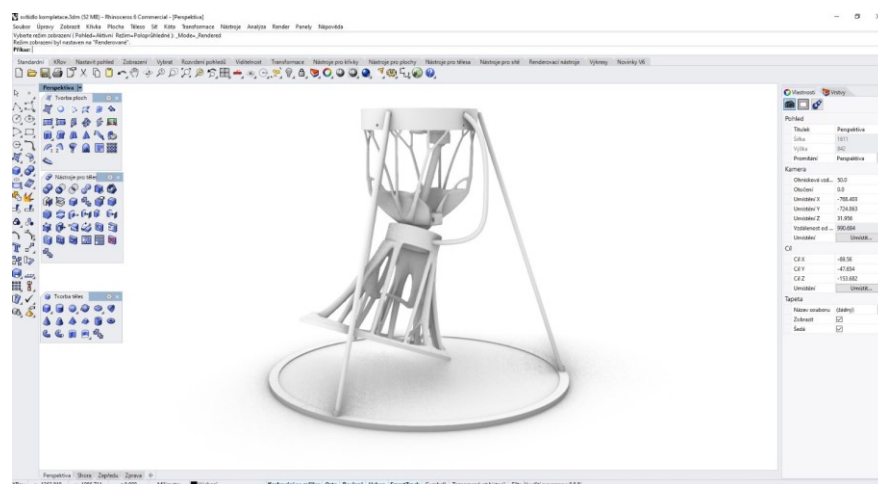
### 6.2 Modelování

Jakmile jsem si jist základním tvarem produktu, přenesu myšlenky z papíru do prostoru za pomoci 3D softwaru. Nejčastěji modeluji v programu Rhinoceros. Avšak u tohoto projektu tomu bylo jinak. Stínidlo a držák kloubu jsem namodeloval a následně optimalizoval

v programu Fusion 360. Výsledné modely jsem přenesl k doladění konstrukcí a rozměrů do programu Rhinoceros, kde jsem také modeloval ostatní části produktu.



Obr. 52: Hotový model v prostředí Rhinocerosu



Obr. 53: Hotový model render v prostředí Rhinocerosu

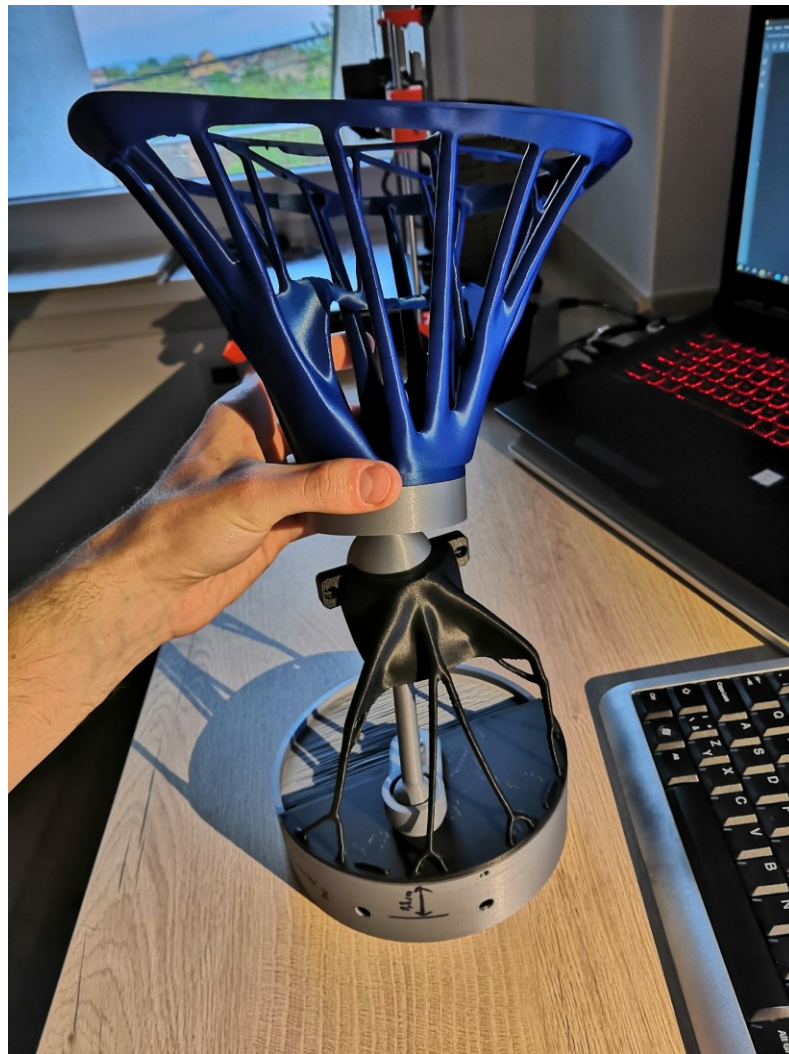
### 6.3 Příprava do tisku

Veškeré slicování je úzce spjato se samotným tiskem prototypů. Jednotlivé 3D modely jsou před tiskem převáděny za pomoci sliceru do G-kódu, který je tiskovým jazykem tiskárny. Nejprve si jednotlivé díly uložím do formátu STL, který pak nahraju do slicovacího programu. Osobně používám program Prusaslicer, který skvěle komunikuje s mou tiskárnou. Následnou úpravou nastavení kódu tisku se vždy snažím dosáhnout kvalitního výtisku za co nejkratší dobu.



## 6.4 Prototypování

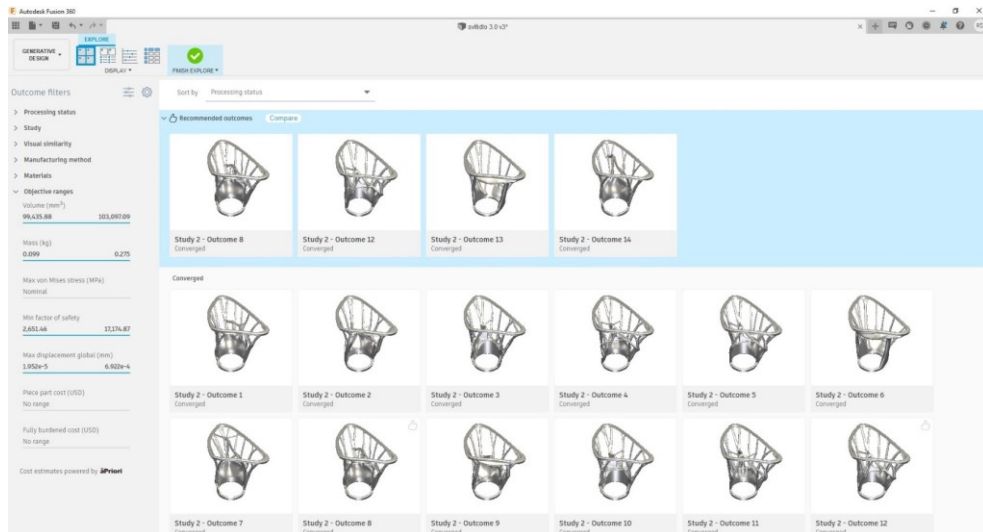
Prototypování slouží k odladění nedostatků, jako jsou správné rozměry produktu. Díky technologiím rapid-prototyping jsem schopen rychle reagovat na problémy a dělat změny. Jak už to bývá, první výtisk většinou nevyjde podle představ. Nejprve využívám tisků o vyšších výškách vrstev a nastavím požadavky na rychlost oproti kvalitě. Než se mi podaří dosáhnout přesného a vyladěného výtisku, zabere to i tři tisky před vznikem finálního produktu správných rozměrů a požadované kvality.



*Obr. 54: Popisek obrázku*

## 7 VARIANTNÍ ŘEŠENÍ

Díky generování jsem získal nespočet variací jednotlivých stínidel, kdy jsem si vybíral jen ty nejlepšího vzhledu a jednoduché konstrukce pro 3D tisk. Následně jsem je doladil a použil jako základ pro mé svítidlo.



Obr. 55: Vygenerované varianty

### 7.1 Nepoužité varianty

Prvotním řešením bylo pouze křídlo vystupující pomocí generování z úchyty na stěně. Plochu křídla tvořilo plexisklo, které tlumilo záření světelného zdroje. Tato varianta byla postupně obohacena o bajonet spojku k výměně jednotlivých stínidel podle tvaru motýlího křídla.

Druhým vývojovým stádiem bylo stínidlo složené z pěti částí navzájem propojených kabely, které volně visely na stěně nebo ze stropu. Tahle varianta však byla moc komplikovaná a díky kabelům stínidla zanikala.



Dalším stádiem bylo uzpůsobení svítidla tak, aby jednotlivá stínidla šla použít různými způsoby. Jako nástěnné, stropní, nebo jako lampa.



*Obr. 56: Nepoužitá varianta stínidla*

## 7.2 Finální varianta

V průběhu semestru při konzultacích přišel můj vedoucí s nápadem kinetického svítidla. Nejprve jsem to považoval jako něco neproveditelného, ale po pár skicách a náročné optimalizaci rotačního mechanismu světlo vzniklo.

Hlavní díl světla je uchycen ke stropu za pomoci dvou šroubů, které se zasouvají do připravených otvorů. Ukřívá krokový motor, jenž roztáčí celý mechanismus. Ze spodní strany se nasunou dvě aretační poloviny kulového kloubu s klikou pohánějící mechanismus. Obě poloviny jsou zajištěny šroubky po stranách hlavního dílu a dvěma šrouby jistící kulový kloub. Na spodní části mechanismu je umístěna patice se zdrojem světla a prostorem na elektroniku. Spodní část patice je osazena bajonet spojkou, na kterou se upevňují jednotlivá

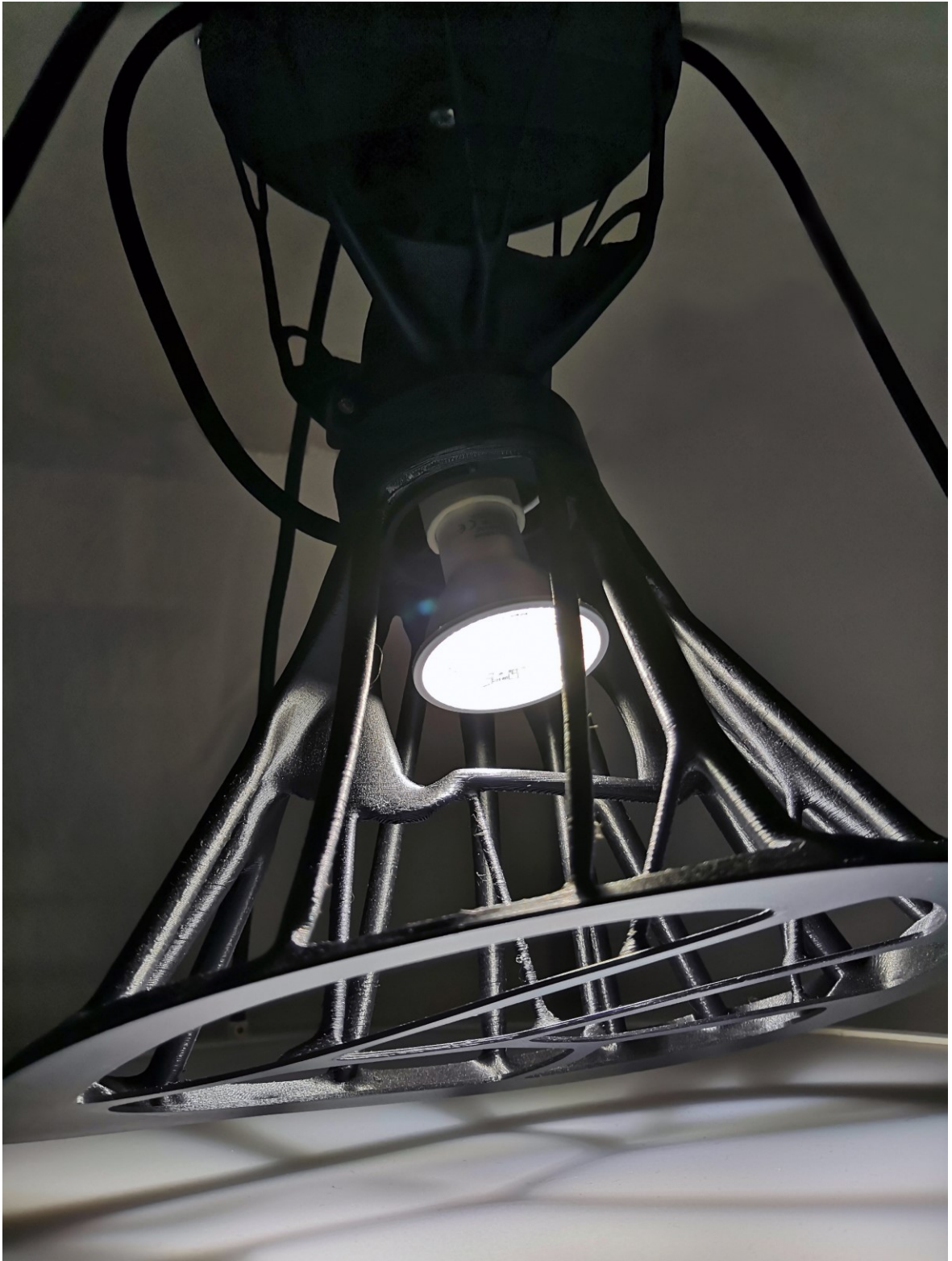
stínidla. Posledním dílem je plexisklo upevněné pomocí objímky a tří splétaných lan k hlavní části. Lana jsou aretována pomocí červíků a lisovacích koncových objímek.



*Obr. 57: Foto prototyp*



*Obr.58: Foto prototyp optimalizovaná část*



*Obr. 59: Foto prototyp detail*



## 8 VÝROBA

Výroba finálního svítidla je docela komplikovaná, protože se skládá z deseti částí a všechny se musí smontovat v určitém pořadí. Projekt je zpracovatelný pouze v malém počtu kusů vyrobených na 3D tiskárně. Pro masovou výrobu se kvůli komplikovanosti nehodí, ale možné to je.

Materiálem pro masovou výrobu těla svítidla by byla kombinace soustruženého hliníku, ocelových kulových kloubů, vyrobených na míru a 3D tištěného generovaného stínidla s držákem kloubu filamentem ABS. Plexisklo je od společnosti Plexiglass barvy bílé produktové označení WN670 GT tloušťky 3 mm.



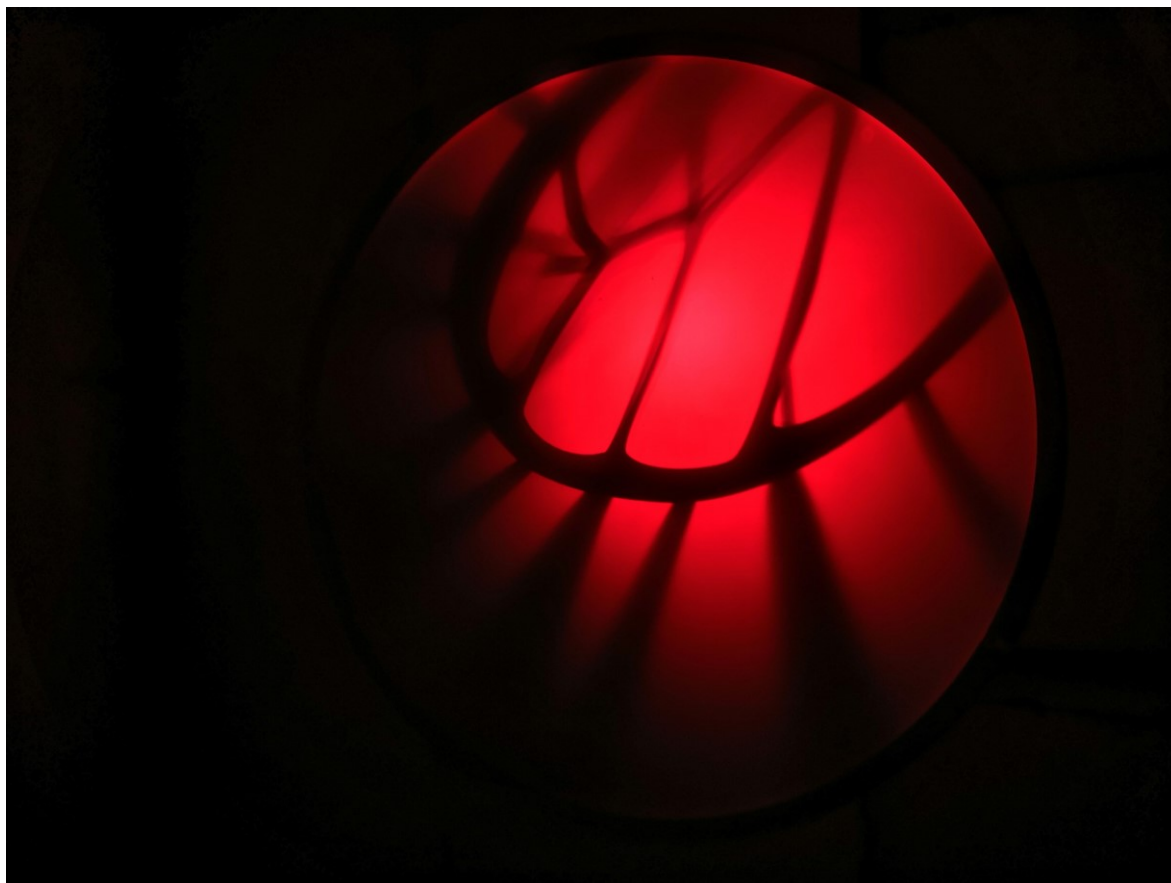
*Obr. 60: Foto prototyp rozsvícený*



*Obr. 61: Foto prototyp fialové nasvícení*



*Obr. 62: Foto prototyp barevné nasvícení*



*Obr. 63: Foto prototyp červené nasvícení*

## ZÁVĚR

Výsledkem práce je prototyp kinetického svítidla v originálním měřítku s funkčním ambientním nasvícením. Stínidlo vznikalo pomocí metody generativního designu a vytvořil jsem solitérní limitovaný produkt. Celým procesem mě provázela spousta problémů, ať už softwarových, nebo konstrukčních, které pak vyústily v časový pres při finalizaci prototypu. Přesto jsem nabyl spoustu nových zkušeností, jak praktických z oblasti 3D modelování a tisku, tak i teoretických poznatků o generativním designu a umění s ním spojeným. Od začátku jsem celý projekt bral jako výzvu, jelikož generativní design pro mne doposud byl naprosto novou a neprobádanou oblastí designu. Nyní vím, že v sobě skrývá neuvěřitelné možnosti a věřím, že mě bude provázet v dalších projektech i nadále.



**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] TEDESCHI, Arturo a Fulvio WIRZ. AAD\_Algorithms-aided design: parametric strategies using grasshopper. Brienza, Italy: Le Penseur Publisher, 2014. ISBN 9788895315300.
- [2] FAIRS, Marcus. Design 21. století: nové ikony designu : od masového trhu k avantgardě. V Praze: Slovart, 2007. ISBN 9788072099702.
- [3] Yanko design [online]. [cit. 2021-4-27] Dostupné z:  
<https://www.yankodesign.com/2018/02/07/a-light-youll-want-to-directly-stare-into/>
- [4] Ask nature[online]. [cit. 2021-4-20] Dostupné z:  
<https://asknature.org/innovation/generative-design-software-inspired-by-slime-mold-and-human-bones/>
- [5] Space place [online]. [cit. 2021-5-5] Dostupné z:  
<http://www.orbit.zkm.de/?q=node/86>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

PC	Personal computer (osobní počítač)
STL	Stereolitografie
AI	Artificial intelligence (umělá inteligence)
cm	Centimeter (centimetr)
mm	Milimetr
LED	Light-Emitting Diode (elektroluminiscenční dioda)
3D	Three dimensional (tří dimenzionální)
2D	Two dimensional (dvou dimenzionální)
2.5D	Two and half dimensional (dvou a půl dimenzionální)
NTUT	National Taipei University of Technology
PU	Polyuretan
FDM	Fuse Deposition Modeling
SLS	Selective Laser Sintering
SLA	Stereolithography (Stereolitografie)
UV	Ultraviolet (ultrafialové)
CNC	Computer numeric control
RGB	Red green blue (červená zelená modrá)
Kč	Koruna česká
ABS	Akrylonitril Butadien Styren
PLA	Polylactic acid (kyselina polyléčná)
PETG	Polyethylentereftalát
PEI	Polyetherimid
V	Jednotka napětí volt
°C	Stupeň celsia

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 Kresba: nalevo MiesVan de Rohe .....	15
[1] TEDESCHI, Arturo a Fulvio WIRZ. AAD_Algorithms-aided design: parametric strategies using grasshopper. Brienza, Italy: Le Penseur Publisher, 2014. ISBN 9788895315300. s. 16	
Obrázek 2 Práce s plochou ohyb.....	15
[1] TEDESCHI, Arturo a Fulvio WIRZ. AAD_Algorithms-aided design: parametric strategies using grasshopper. Brienza, Italy: Le Penseur Publisher, 2014. ISBN 9788895315300. s. 18	
Obrázek 3 Driftwood pavilon 2009 .....	16
Driftwood pavilon, dezeen [online] dezeen 2021 [cit. 2021-4-20] Dostupné z: <a href="https://www.dezeen.com/2009/07/03/driftwood-pavilion-by-aa-unit-2-opens/">https://www.dezeen.com/2009/07/03/driftwood-pavilion-by-aa-unit-2-opens/</a>	
Obrázek 4 Muzeum Enzo Ferrari Modena .....	16
Muzeum Enzo Ferrari, DESIGNMAG [online] designmag 2021 [cit. 2021-4-20] Dostupné z: <a href="https://www.designmag.cz/architektura/31129-muzeum-enzo-ferrari-od-jana-kaplickeho-otevreno.html">https://www.designmag.cz/architektura/31129-muzeum-enzo-ferrari-od-jana-kaplickeho-otevreno.html</a>	
Obrázek 5 Tančící dům Praha.....	17
Tančící dům, WIKIPEDIE [online] Wikipedie otevřená encyklopedie 2021 [cit. 2021-4-20] Dostupné z: <a href="https://cs.wikipedia.org/wiki/Tan%C4%8D%C3%ADc%C3%AD_d%C5%AFm#/media/Soubor:Case_danzanti.jpg">https://cs.wikipedia.org/wiki/Tan%C4%8D%C3%ADc%C3%AD_d%C5%AFm#/media/Soubor:Case_danzanti.jpg</a>	
Obrázek 6 Akustická bariéra Oosterhuis a Lénárd .....	17
ONL Acoustic barriere, CZECH DESIGN [online] Czech design 2021 [cit. 2021-4-20] Dostupné z: <a href="https://www.czechdesign.cz/temata-a-rubriky/digitalni-architektura-jaro">https://www.czechdesign.cz/temata-a-rubriky/digitalni-architektura-jaro</a>	
Obrázek 7 Kostra trupu lodi.....	18
Kostra trupu lodi, MONAKO [online] Monaco 2021 [cit. 2021-4-21] Dostupné z: <a href="http://www.mo-na-ko.cz/php/portal/view.php?navezclanku=jak-si-postavit-historickou-plachetnici&amp;cisloclanku=2007100010">http://www.mo-na-ko.cz/php/portal/view.php?navezclanku=jak-si-postavit-historickou-plachetnici&amp;cisloclanku=2007100010</a>	
Obrázek 8 Bytový dům Oceán, Taipei Taiwan.....	18
Bytový dům Oceán, ADG [online] Adgnews 2021 [cit. 2021-4-20] Dostupné z: <a href="http://www.adgnews.com/bytovy-dum-ocean/galerie">http://www.adgnews.com/bytovy-dum-ocean/galerie</a>	
Obrázek 9 3D iluze .....	19
No. 558, THUMBLER [online] Thumblr 2021 [cit. 2021-4-22] Dostupné z: <a href="https://www.dailyminimal.com/post/614367837583278080/no-558-a-new-geometric-design-every-day">https://www.dailyminimal.com/post/614367837583278080/no-558-a-new-geometric-design-every-day</a>	
Obrázek 10 Mathematica 12, grafy.....	19

Wolfram mathematica 12, UTEP [online] Utep 2021 [cit. 2021-4-20] Dostupné z: <a href="https://www.utep.edu/technologysupport/ServiceCatalog/SOFTWARE_PAGES/soft_mathematica.html">https://www.utep.edu/technologysupport/ServiceCatalog/SOFTWARE_PAGES/soft_mathematica.html</a>	
Obrázek 11 Voroného diagram.....	20
Voroného diagram, WIKIPEDIE [online] Wikipedie otevřená encyklopedie 2021 [cit. 2021-4-20] Dostupné z: <a href="https://cs.wikipedia.org/wiki/Voron%C3%A9ho_diagram">https://cs.wikipedia.org/wiki/Voron%C3%A9ho_diagram</a>	
Obrázek 12 Příklad topologické optimalizace .....	20
Topologická optimalizace, BCT [online] bct-technology 2021 [cit. 2021-4-20] Dostupné z: <a href="https://www.bct-technology.com/de/training-support/tipps-tricks/topologieoptimierung-mit-nx.html">https://www.bct-technology.com/de/training-support/tipps-tricks/topologieoptimierung-mit-nx.html</a>	
Obrázek 13 Plovoucí město .....	23
Floating city, BAHARUDDIN [online] Baharuddin 2021 [cit. 2021-4-15] Dostupné z: <a href="https://baharuddin.com/2019/09/02/floating-city/">https://baharuddin.com/2019/09/02/floating-city/</a>	
Obrázek 14 Netopýří dron, Aidan Zukowski.....	24
Netopýří dron, DESIGNMAG [online] designmag 2021 [cit. 2021-4-20] Dostupné z: <a href="https://www.designmag.cz/technika/89192-student-umprum-navrhl-netopyri-dron-suplujici-cestovani-v-dobe-karanteny.html">https://www.designmag.cz/technika/89192-student-umprum-navrhl-netopyri-dron-suplujici-cestovani-v-dobe-karanteny.html</a>	
Obrázek 15 Mercedes Bionic.....	24
Mercedes Bionic concept, MOTOR1 [online] Motor1 2021 [cit. 2021-4-20] Dostupné z: <a href="https://www.motor1.com/news/299424/mercedes-bionic-concept-we-forgot/">https://www.motor1.com/news/299424/mercedes-bionic-concept-we-forgot/</a>	
Obrázek 16 Generovaná židle, Claus Mattheck.....	25
Generative chair, COOPER HAWITT [online] Cooper hewitt 2021 [cit. 2021-4-27] Dostupné z: <a href="https://collection.cooperhewitt.org/objects/907219027/">https://collection.cooperhewitt.org/objects/907219027/</a>	
Obrázek 17 Swiss Re, Londýn.....	26
Swiss Re Tower, ARCHIZONE [online] Archizone 2021 [cit. 2021-4-20] Dostupné z: <a href="http://www.archizone.cz/stavby/swiss-re-tower/">http://www.archizone.cz/stavby/swiss-re-tower/</a>	
Obrázek 18 Původní nalevo, generovaný díl napravo .....	26
General Motors seat bracket created using generative design, DEDESIGNED [online] deDesigned 2021 [cit. 2021-4-20] Dostupné z: <a href="https://dedesigned.com/making-sense-of-minimalism/">https://dedesigned.com/making-sense-of-minimalism/</a>	
Obrázek 19 Protetická končetina .....	27
Protetická ruka, SOCIAL HARDWARE [online] Social Hardware 2021 [cit. 2021-4-27] Dostupné z: <a href="http://www.socialhardware.in/">http://www.socialhardware.in/</a>	
Obrázek 20 Postup optimalizace.....	27
Optimalizovaná jednotka, AUTODESK [online] Redshift by Autodesk 2021 [cit. 2021-4-20] Dostupné z: <a href="https://redshift.autodesk.com/">https://redshift.autodesk.com/</a>	
Obrázek 21 Generovaný sloup, Michael Hansmeyer .....	28
Generative column design, AIARTIST [online] AIArtist 2021 [cit. 2021-4-20] Dostupné z: <a href="https://aiartists.org/generative-art-design">https://aiartists.org/generative-art-design</a>	
Obrázek 22 Bytový dům Terrace Beirut.....	28

Terrace Beirut, REITER DESIGN [online] Reiter design 2021 [cit. 2021-4-27] Dostupné z: <a href="https://reiter.design/herzog-de-meuron/">https://reiter.design/herzog-de-meuron/</a>	
Obrázek 23 Interier Sagrada familia .....	29
Sagrada familia, PIXABAY [online] Pixabay 2021 [cit. 2021-4-27] Dostupné z: <a href="https://pixabay.com/cs/photos/sagrada-familia-barcelona-%C5%A1pan%C4%Blsko-3746024/">https://pixabay.com/cs/photos/sagrada-familia-barcelona-%C5%A1pan%C4%Blsko-3746024/</a>	
Obrázek 24 Plank web .....	29
Plank, TAKRAM [online] Takram 2021 [cit. 2021-4-20] Dostupné z: <a href="https://www.takram.com/projects/planck/">https://www.takram.com/projects/planck/</a>	
Obrázek 25 Abstract_ fashion.....	30
Abstract_ customized fashion KRISTINE BOESEN [online] Kristine Boesen 2021 [cit. 2021-4-20] Dostupné z: <a href="http://www.kristineboesen.dk/abstract_">http://www.kristineboesen.dk/abstract_</a>	
Obrázek 26 Generované domy .....	30
Self generated buildings, AIARTIST [online] AIArtist 2021 [cit. 2021-4-20] Dostupné z: <a href="https://aiartists.org/generative-art-design">https://aiartists.org/generative-art-design</a>	
Obrázek 27 Nike strike series FA 16 .....	31
Nike strike series FA 16, NUTS [online] Nutscomputergraphics 2021 [cit. 2021-4-20] Dostupné z: <a href="https://www.nutscomputergraphics.com/en/inspirational/nike-strike-series-16/">https://www.nutscomputergraphics.com/en/inspirational/nike-strike-series-16/</a>	
Obrázek 28 Fotky z instalace Collide .....	31
Collide, CA [online] Commarts 2021 [cit. 2021-4-20] Dostupné z: <a href="https://www.commarts.com/columns/generative-design-redefining-the-designer">https://www.commarts.com/columns/generative-design-redefining-the-designer</a>	
Obrázek 29 Obraz Gyre .....	32
Gyre, IMAGEKIND [online] Imagekind 2021 [cit. 2021-4-20] Dostupné z: <a href="https://www.imagekind.com/Gyre-99-2-35700_art?imid=64cc37cb-557a-4213-a8e4-f448472f969e">https://www.imagekind.com/Gyre-99-2-35700_art?imid=64cc37cb-557a-4213-a8e4-f448472f969e</a>	
Obrázek 30 Rozdělení svítidel podle rozložení světelného toku.....	33
Základy základů světelné techniky, Karel Sokanský a kolektiv, Ostrava 2007	
Obrázek 31 Morfologie zadních křídel motýla.....	35
Morphology of <i>S. gregaria</i> hind wings, PLOS ONE [online] Journals.plos 2021 [cit. 2021-5-12] Dostupné z: <a href="https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0043411">https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0043411</a>	
Obrázek 32 Greta Oto .....	36
Greta Oto, WIKIPEDIE [online] Wikipedie otevřená encyklopedie 2021 [cit. 2021-5-12] Dostupné z: <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Greta_oto">https://en.wikipedia.org/wiki/Greta_oto</a>	
Obrázek 33 Synanthedon Myopaeformis .....	36
Red-belted Clearwing, BUTTERFLY CONSERVATION [online] Butterfly Conservation 2021 [cit. 2021-5-12] Dostupné z: <a href="https://butterfly-conservation.org/moths/red-belted-clearwing">https://butterfly-conservation.org/moths/red-belted-clearwing</a>	
Obrázek 34 Amazonský anděl .....	37

Chorinea amazon, Butterflies [online] Learn about butterflies 2021 [cit. 2021-5-12] Dostupné z: <a href="http://www.learnaboutbutterflies.com/Andes%20%20Chorinea%20amazon.htm">http://www.learnaboutbutterflies.com/Andes%20%20Chorinea%20amazon.htm</a>	
Obrázek 35 Cithaerias Pireta .....	37
Cithaerias pireta, BIOLIB [online] BioLib 2021 [cit. 2021-5-12] Dostupné z: <a href="https://www.biolib.cz/cz/taxonimage/id282835/?taxonid=868064&amp;type=1">https://www.biolib.cz/cz/taxonimage/id282835/?taxonid=868064&amp;type=1</a>	
Obrázek 36 Světelný balet .....	38
Archiac light balet, SPACE PLACE [online] Spaceplace 2006 [cit. 2021-4-20] Dostupné z: <a href="http://www.orbit.zkm.de/?q=node/86">http://www.orbit.zkm.de/?q=node/86</a>	
Obrázek 37 Vykreslení díla Jamese Turrella pro Guggenheimovo muzeum .....	38
James Turrell, NYTIMES [online] The New York Times 2021 [cit. 2021-4-20] Dostupné z: <a href="https://www.nytimes.com/2013/03/21/arts/artsspecial/paying-homage-to-james-turrell-who-turns-light-into-art.html">https://www.nytimes.com/2013/03/21/arts/artsspecial/paying-homage-to-james-turrell-who-turns-light-into-art.html</a>	
Obrázek 38 Návrh koncertního sálu, Zaha Hadid Architects .....	39
Zaha Hadid, ESQUINAMUSICAL [online] Esquina musical 2021 [cit. 2021-4-20] Dostupné z: <a href="https://esquinamusical.com.br/analise-arquiteta-zaha-hadid-levou-a-etica-do-belo-a-qualquer-custo/">https://esquinamusical.com.br/analise-arquiteta-zaha-hadid-levou-a-etica-do-belo-a-qualquer-custo/</a>	
Obrázek 39 Kyklos_P2 .....	40
Kyklos_P2, LINEA LIGHT [online] Linealight 2021 [cit. 2021-4-20] Dostupné z: <a href="https://www.linealight.com/en-gb/family/kyklos-p2/122938">https://www.linealight.com/en-gb/family/kyklos-p2/122938</a>	
Obrázek 40 Svítidlo Naturoscopie .....	40
Naturoscopie, LA REVUE DU DESIGN [online] La Revue du Design 2021 [cit. 2021-4-20] Dostupné z: <a href="http://www.larevuedudesign.com/2012/10/09/naturoscopie-design-noe-duchaufour-lawrance-pour-la-galeriebsl/?utm_source=feedburner&amp;utm_medium=feed&amp;utm_campaign=Feed:+LaRevueDuDesign+(La+Revue+du+Design)">http://www.larevuedudesign.com/2012/10/09/naturoscopie-design-noe-duchaufour-lawrance-pour-la-galeriebsl/?utm_source=feedburner&amp;utm_medium=feed&amp;utm_campaign=Feed:+LaRevueDuDesign+(La+Revue+du+Design)</a>	
Obrázek 41 Svítidlo Cone .....	41
Cone, ARCHITONIC [online] Architonic 2021 [cit. 2021-4-20] Dostupné z: <a href="https://www.architonic.com/en/product/cabs-design-cone-m/1572168">https://www.architonic.com/en/product/cabs-design-cone-m/1572168</a>	
Obrázek 42 Svítidlo Muul.....	42
Muul light, YANKO DESIGN [online] Yanko design 2021 [cit. 2021-4-20] Dostupné z: <a href="https://www.yankodesign.com/2018/02/07/a-light-youll-want-to-directly-stare-into/">https://www.yankodesign.com/2018/02/07/a-light-youll-want-to-directly-stare-into/</a>	
Obrázek 43 Prostředí programu Rhinoceros a Grasshopper .....	45
[vlastní zdroj]	
Obrázek 44 Výstup z programu Blender .....	46
[vlastní zdroj]	
Obrázek 45 Vstupní model připravený na optimalizaci .....	47
[vlastní zdroj]	
Obrázek 46 Testovací výtisk stínidla, materiál PLA .....	49
[vlastní zdroj]	

Obrázek 47 První vrstava PEI povrch nalevo. hladký povrch napravo .....	50
[vlastní zdroj]	
Obrázek 48 SLA tisk nalevo, FDM vpravo .....	50
[vlastní zdroj]	
Obrázek 49 Zkouška prosvitu plexiskla se zdrsňenou plochou .....	51
[vlastní zdroj]	
Obrázek 50 Zkouška mléčného plexiskla .....	51
[vlastní zdroj]	
Obrázek 51 Skica svítidla s kloubem.....	53
[vlastní zdroj]	
Obrázek 52 Hotový model v prostředí Rhinocerosu .....	54
[vlastní zdroj]	
Obrázek 53 Hotový model render v prostředí Rhinocerosu .....	54
[vlastní zdroj]	
Obrázek 54 Výroba prototypu .....	55
[vlastní zdroj]	
Obrázek 55 Vygenerované varianty .....	56
[vlastní zdroj]	
Obrázek 56 Nepoužitá varianta stínidla.....	57
[vlastní zdroj]	
Obrázek 57 Foto prototyp .....	58
[vlastní zdroj]	
Obrázek 58 Foto prototyp optimalizovaná část .....	59
[vlastní zdroj]	
Obrázek 59 Foto prototyp detail .....	60
[vlastní zdroj]	
Obrázek 60 Foto prototyp rozsvícený.....	61
[vlastní zdroj]	
Obrázek 61 Foto prototyp fialové nasvícení.....	62
[vlastní zdroj]	
Obrázek 62 Foto prototyp barevné nasvícení .....	62
[vlastní zdroj]	
Obrázek 63 Foto prototyp červené nasvícení .....	63
[vlastní zdroj]	