

# Design svítidla vyráběného technologií 3D tisku

Jiří Anděl

---

Bakalářská práce  
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta multimediálních komunikací

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta multimediálních komunikací  
Kabinet teoretických studií  
akademický rok: 2014/2015

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Jiří Anděl  
Osobní číslo: K12263  
Studijní program: B8206 Výtvarná umění  
Studijní obor: Multimédia a design - Průmyslový design  
Forma studia: kombinovaná

Téma práce: Design svítidla vyráběného technologií 3D tisku

Zásady pro vypracování:

1. Historický přehled vývoje ve zvolené produktové oblasti
2. Analýza svítidel vyráběných technologií 3D tisku
3. Analýza výrobní technologie Rapid Prototyping
4. Prvotní kresebné návrhy
5. Vizualizace finálního designérského řešení
6. Ergonomická studie
7. Technická dokumentace
8. Model ve zvoleném měřítku
9. Vypracování písemné doprovodné zprávy zahrnující celý proces práce

"Na samostatném nosiči CD/DVD-R odevzdejte v minimálním počtu 10 kusů obrazovou dokumentaci praktické části závěrečné práce pro využití v publikacích FMK. Formát pro bitmapové podklady: JPEG, barevný prostor RGB, rozlišení 300 dpi, 250 mm delší strana. Formáty pro vektory: AI, EPS, PDF. Loga a texty v křivkách. V samostatném textovém souboru uveďte jméno a příjmení, login do Portálu UTB, obor (ateliér), typ práce, přesný název práce v češtině a angličtině, rok obhajoby, osobní e-mail, osobní web, telefon. Přiložte svou osobní fotografii v tiskovém rozlišení."

Rozsah bakalářské práce: viz. Zásady pro vypracování  
Rozsah příloh: viz. Zásady pro vypracování  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/umělecké dílo

Seznam odborné literatury:

FABIÁN, Michal. CAD – 3D modelovanie v CATIA V5: Objemy, povrchy, výkresy, aplikácie v praxi. Košice: Strojnícka fakulta Technickej univerzity, 2008. ISBN 978-80-553-0095-5

KAMRANI, Ali K a Emad Abouel NASR. Engineering design and rapid prototyping: kompletní průvodce. 1. vyd. New York: Springer, c2010, xxv, 442 p. ISBN 03-879-5863-0

CHUA, Chee Kai a Emad Abouel NASR. Rapid prototyping: principles and applications. 3rd ed. New Jersey: World Scientific, c2010, xxv, 512 s. ISBN 978-981-277-897-0.

GEBHARDT, Andreas a Emad Abouel NASR. Rapid prototyping: principles and applications. 1st ed. Munich: Hanser Publishers, 2003, xv, 379 s. ISBN 34-462-1259-0

HAMBLEEN, James O a Emad Abouel NASR. Rapid prototyping of digital systems: principles and applications. SOPC ed. New York: Springer, c2008, xvii, 411 s. ISBN 978-0-387-72670-0

Vedoucí bakalářské práce: **MgA. Martin Surman, ArtD.**  
Ateliér Průmyslový design  
Datum zadání bakalářské práce: **1. prosince 2014**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **15. května 2015**

Ve Zlíně dne 1. prosince 2014

  
doc. MgA. Jana Janíková, ArtD.  
děkanka



  
Mgr. Silvie Stanická, Ph.D.  
ředitel ústavu

## PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním bakalářské/diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- 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 <sup>2)</sup>;
- podle § 60 <sup>3)</sup> 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 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užit 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.

Ve Zlíně 27.2. 2015

Josef A. D. C.  
Jméno, příjmení, podpis

1) zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47b Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydávající zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

2) 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, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

3) 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, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat náhrady chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užit či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělků jim dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložil, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídí k výši výdělků dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.



## **ABSTRAKT**

Práce se zabývá revoluční technologií 3D tisku pro Rapid Prototyping, která se stává fenoménem této doby. Bakalářská práce i samotný realizovaný světelný objekt, který je vytvořený právě touto technologií, má ukázat možnosti 3D tisku a zároveň má představit zcela novou inovativní technologii v tomto oboru - využití písku pro 3D tisk.

Technologie byla pro svoji rychlost a přesnost koncipována hlavně pro slévárenský a strojírenský průmysl. Ukazuje se ale, že uplatnění může nalézt i v jiných oborech a zaměřeních.

Klíčová slova: 3D tisk, Rapid Prototyping, písek, světlo, lampa

## **ABSTRACT**

The bachelor thesis deals with the revolutionary technology of 3D printing for rapid prototyping, which is becoming a phenomenon of this time. The thesis and the realized lamp are showing the possibilities of 3D printing and also introducing completely new innovative technology in this field - the use of sand for 3D printing.

The technology was developed primarily for the foundry and engineering industries due to its speed and accuracy. However, it turns out the application can be found in other fields and specializations.

Keywords: 3D Printing, Rapid Prototyping, sand, light, lamp

V první řadě bych chtěl vzpomenout a im memoriám poděkovat dvěma významným pedagogům, na které budu vždy vzpomínat s úctou, a kterým jsem za mnohé vděčný. Dr. Bořek Zeman a prof. ak. sochař Pavel Škarka. Děkuji.

Za vedení bakalářské práce děkuji panu Dr. MgA Martinu Surranovi ArtD. Poděkování patří také firmám 3Dtiskarna.cz a METOS v.o.s. za vstřícný přístup a pomoc při realizaci bakalářské práce. Zvláštní poděkování patří také Ing. Lukáši Václavu Effenbergerovi za konzultace v oblasti technologických a chemických procesů, dále animátorovi, grafikovi a 3D specialistovi Ing. Lukáši Burdovi. Poděkování patří též rodině a přátelům za trpělivost a podporu při studiu.

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

**„Budiž světlo!“ A bylo světlo. Viděl, že světlo je dobré, a oddělil světlo od tmy...**

Gn 1,1-1,5

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 HISTORICKÝ PŘEHLED VÝVOJE VE ZVOLENÉ PRODUKTOVÉ OBLASTI</b> .....	<b>12</b>
1.1 SVĚTLO DNÍ MINULÝCH .....	12
1.2 SVĚTLO DNÍ DNEŠNÍCH .....	13
1.3 SVĚTLO DNÍ BUDOUCÍCH .....	14
<b>2 ANALÝZA SVÍTIDEL VYRÁBĚNÝCH TECHNOLOGIÍ 3D TISKU</b> .....	<b>15</b>
2.1 STUDIO .MGX.....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
2.2 STUDIO NERVOUS SYSTEM .....	18
2.3 STUDIA A NÁVRHÁŘI LINIOVÉ KONCEPCE.....	20
<b>3 ANALÝZA VÝROBNÍ TECHNOLOGIE RAPID PROTOTYPING</b> .....	<b>24</b>
3.1 POJEM RAPID PROTOTYPING A JEHO UŽITÍ .....	24
3.2 PŘEHLED HLAVNÍCH METOD RAPID PROTOTYPINGU .....	26
3.2.1 Výroba z tekuté matrice .....	27
3.2.2 Výroba z práškové matrice.....	29
3.2.3 Výroba z práškové matrice – metoda SLS Foundry sand .....	31
3.2.4 Výroba z pevné matrice.....	32
3.3 PROCES PROTOTYPOVÁNÍ .....	33
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>34</b>
<b>4 PRVOTNÍ RESEBNÉ NÁVRHY</b> .....	<b>35</b>
4.1 INSPIRACE K TVORBĚ .....	35
4.1.1 Makrosvět.....	36
4.1.2 Mikrosvět .....	37
4.1.3 Fungi řádu Pezizales.....	38
4.2 KRESEBNÉ NÁVRHY.....	39
<b>III PROJEKTOVÁ ČÁST</b> .....	<b>42</b>
<b>5 VIZUALIZACE FINÁLNÍHO DESIGNOVÉHO ŘEŠENÍ</b> .....	<b>43</b>
<b>6 ERGONOMETRICKÁ STUDIE</b> .....	<b>45</b>
<b>7 TECHNICKÁ DOKUMENTACE</b> .....	<b>46</b>
7.1 TECHNICKÁ DOKUMENTACE SVĚTELNÉHO OBJEKTU .....	46
7.2 TECHNICKÁ DOKUMENTACE ELEKTROINSTALACE.....	48
<b>8 MODEL VE ZVOLENÉM MĚŘÍTKU</b> .....	<b>49</b>
<b>9 DOPROVODNÁ ZPRÁVA</b> .....	<b>50</b>
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>52</b>



<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>55</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>60</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>62</b>

## ÚVOD

Koncepce mé bakalářské práce není náhodná. Její zaměření se odkazuje na aktuální Mezinárodní rok světla a technologií založených na světle, který pro rok 2015 vyhlásilo Valné shromáždění Organizace spojených národů. Iniciativa, vedená vědeckými a vzdělávacími institucemi, řadou neziskových organizací a sdruženími, různými technologickými platformami a především organizací OSN pro výchovu, vědu a kulturu (UNESCO), si kladla za cíl tento rok připomenout význam světla a optických technologií v každodenním životě člověka a při budoucím rozvoji celé společnosti.<sup>[1]</sup>

Rád bych, aby se tato bakalářská práce stala pomyslnou součástí roku světla a její realizovaný světelný objekt – svítidlo stojící volně v prostoru, bylo důstojným a snad i revolučním počinem, na který bych mohl v budoucnu profesně navázat.

Cílem této práce je navrhnout takové tělo svítidla, které by bylo z hlediska designu jedinečné, dokonale by zhodnotilo zvolený zdroj světla a hlavně pro svoji náročnost by bylo jen velice složitě vyrobitelné klasickými technologickými postupy (lití, lisování, sváření apod.).

Tato práce je zaměřena na vývoj světleného objektu vyrobeného revoluční technologií Rapid Prototyping v pískové podobě (zvolená technologie využije k 3D tisku jako výchozí materiál písek). V teoretické části je popsána zvolená technologie výroby, její stručná historie a inspirace k tvorbě. Praktická část je zaměřena na samotný návrh světelného objektu a jeho finální realizaci s ohledem na finanční a časovou náročnost výroby.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 HISTORICKÝ PŘEHLED VÝVOJE VE ZVOLENÉ PRODUKTOVÉ OBLASTI

## 1.1 Světlo dní minulých

Světlo. Již odpradáвна tento fyzikální jev ovlivňoval člověka. Určoval čas, kdy byl člověk aktivní a čas, který byl určen k odpočinku. Světlo bylo chápáno jako projev Boží moci – ať už Všemohoucího Boha křesťanského, řeckého boha světla Aithéra, slovanského Bělboha, germánského Heimdalla nebo keltského boha světla Lughy. Denní světlo, které krajinu každý den probouzí z černé noci, bylo, a v mnoha kulturách stále ještě je, považováno za zázrak.

Bráno z komerčního pohledu, se světlo (myšleno výrobek) neskládá pouze ze samotného zdroje světla, ale také z těla, které zdroj světla nese. Toto tělo může mít mnoho podob a je určujícím faktorem při rozhodování potencionálního zákazníka, zda si daný výrobek (lampičku, lustr apod.) zakoupí. Světelné zdroje se po rozmachu elektrifikace stávaly stále dostupnější a vedle čistě funkcionalistického pohledu na elektrické osvětlení se začalo objevovat osvětlení i jako dekorativní doplněk. Osvětlení se tak stávalo výtvarným předmětem, objektem, jehož hlavní funkcí nebylo osvětlovat, ale dekorovat.

Doba minulá byla výjimečná v tom ohledu, že ať bylo právě období secese, klasicismu, kubismu, art deca nebo funkcionalismu, osvětlovací technika jak domácí, nebo pouliční, byla výtvarně značně propracována. Mnoho lamp bylo složitě dekorováno, materiálově převládalo sklo a litina, lampy byly často masivní a tvořily dominantu prostoru.



Obr. 1. Lampa ve stylu Art Deco <sup>[2]</sup>, secese <sup>[3]</sup> a klasicistní lampa <sup>[4]</sup>

## 1.2 Světlo dní dnešních

Oproti minulému století se doba změnila. Hlavním rysem tohoto století je ekonomická dostupnost a jednoduchost. Převládá masová výroba designově jednoduchých výrobků, které pocházejí převážně z jihovýchodní Asie. Světelná tělesa jsou často plastová, konstrukčně i obsahově jednoduchá. Paradoxně právě toto uspořádání dává vyniknout nadčasovým a designově propracovaným výrobkům.

Za všechny jmenujme jednu z nejvýznamnějších tuzemských firem, zabývajících se osvětlovací technikou s odkazem na kvalitu řemeslného zpracování – jabloneckou Preciosu, která dodává na zakázku kompletní osvětlení interiérů pro prestižní stavby, ať už jsou to soukromé vily a paláce nebo veřejné budovy jako hotely, divadla, kongresová centra nebo církevní objekty.<sup>[5]</sup>



*Obr. 2. Osvětlení pro Ritz Carlton Hotel – Hong Kong<sup>[5]</sup>*

Významný přehled aktuální tvorby v oblasti designu svítidel přineslo nedávno ukončené bienále Euroluce 2015, které se letos konalo v Miláně. Tento veletrh je považován za jednu z nejvýznamnějších mezinárodních výstav osvětlení, zahrnující klasické, moderní, současné a technické styly osvětlení.<sup>[6]</sup> Letošní výstava se konala pod záštitou UNESCO a odkazovala na Mezinárodní rok světla. Z výstavy bylo patrné, že design svítidel je u mladé generace populárním oborem<sup>[7]</sup>, ale převažuje design zaměřený na stropní závěsné osvětlovací prvky. Návrhy skleněných svítidel Lucie Koldové nebo Jana Plecháče a Henryho Wielguse pro značky Brokis a Lasvit sklidily mezinárodní úspěch a tvoří zcela osobitou součást současného českého designu. V použitých materiálech se nejčastěji objevuje sklo, dřevo a kov. Navzdory technologickému pokroku mladí autoři „Využívají

spíše klasické technologie pro práci s danými materiály a zaměřují se spíše na personifikaci subjektivního autorského nápadu a jeho řemeslnou materializaci“ – jak uvádí popis u jednoho z děl.



Obr. 3. Osvětlení Tomáše Béma a společnosti Lasvit od studia deFORM<sup>[8, 9]</sup>

### 1.3 Světlo dní budoucích

Budoucnost osvětlení patří dle mého názoru moderním technologiím. Díky novým technologickým postupům lze vytvářet zcela ojedinělé kombinace tvarů a použitých materiálů. Lze kombinovat odkaz na kvalitní ruční práci předků s inovativními zdroji světla. Největší boom se očekává v oblasti 3D tisku, který zažívá bouřlivý vývoj, ale pro svoji cenovou náročnost není zatím aplikovatelný do běžného komerčního využití. Více v následující kapitole.

## 2 ANALÝZA SVÍTIDEL VYRÁBĚNÝCH TECHNOLOGIÍ 3D TISKU

3D tisk přinesl do designu obecně nový vítr a zcela revoluční postupy, které byli donedávna nemožné. Vzhledem k vysoké ceně<sup>[10]</sup>, která je pro mnoho výrobců i kupujících limitující, však k masovému použití 3D tisku pro běžné účely v oblasti svítidel nedochází.

Existuje však řada designérských studií, které s vývojem a prodejem svítidel produkovaných RP úspěšně experimentují.

### 2.1 Studio.MGX

Jedním z mnoha je například velice uznávané studio.MGX, které se zaměřuje na výrobu svítidel a nábytku převážně metodou SLS.<sup>[10]</sup> Studio.MGX je belgickou divizí nadnárodní společnosti Materialise N. V. sídlící v New Yorku, která je světovým lídrem v oblasti rapid prototypingu<sup>[11]</sup>. Výsledkem tohoto spojení jsou tak jedinečné zdroje světla, které jsou pro svoji komplikovanou strukturu těžko napodobitelné, za což také studio.MGX obdrželo již dvě ceny Good Design a také Red Dot Design Awards.<sup>[10]</sup>

Vzhledem k plánovanému použití vznikají svítidla většinou z lehkých fotopolymerů nebo termoplastů metodami SLA nebo SLS. Dominantou svítidel vyráběných RP je vysoká konstrukční složitost a převaha ryze organických tvarů.



*Obr. 4. Detail svítidla DAMNED.MGX studia.MGX<sup>[12]</sup>*

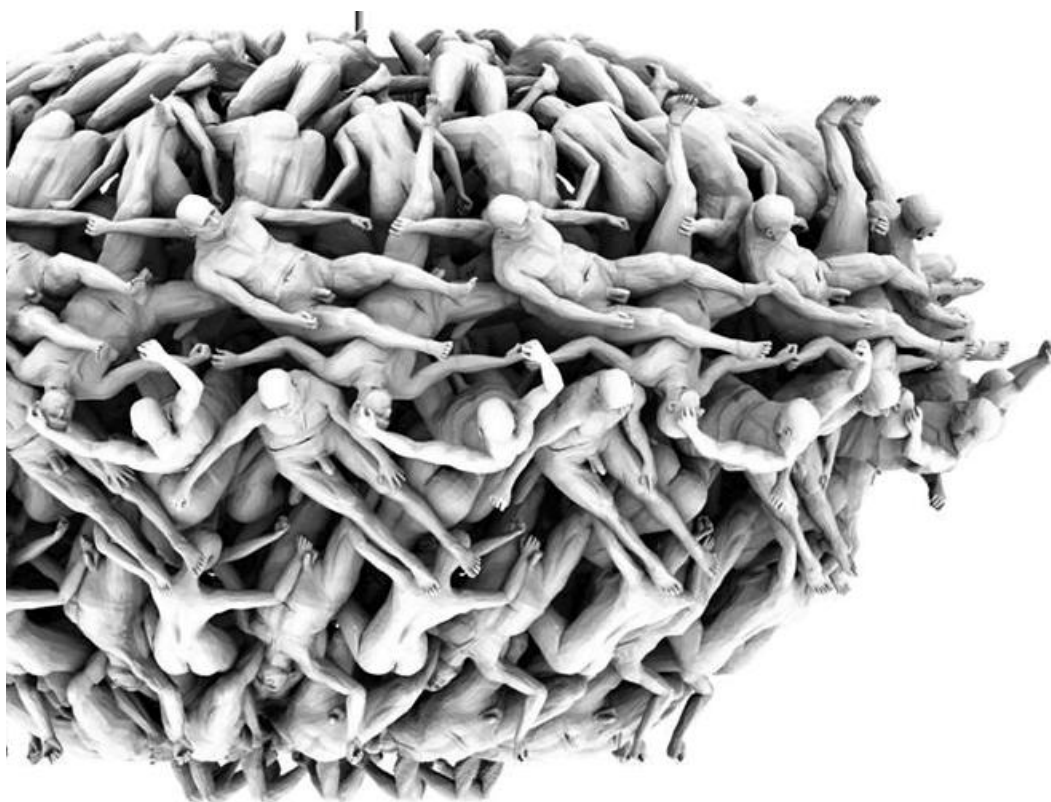
Výborným příkladem výše zmíněných dominujících vlastností je polyamidový závěsný lustr DAMNED.MGX o celkové váze 15 kg, který je vytvořený metodou selektivního laserového sintrování, která zaručuje bežešvý vzhled výrobku. Svítidlo se skládá z mnoha lidských těl a je inspirováno Rubensovým barokním obrazem „Pád zatracených“<sup>[12]</sup>, kde



Rubens stylizuje okamžik Božího posledního soudu, při kterém jsou zatracené duše shledány vinnými a ve víru lidských těl padajících do pekla opouštějí tento svět.<sup>[13]</sup>



*Obr. 5. Pád Zatracených<sup>[13]</sup>*



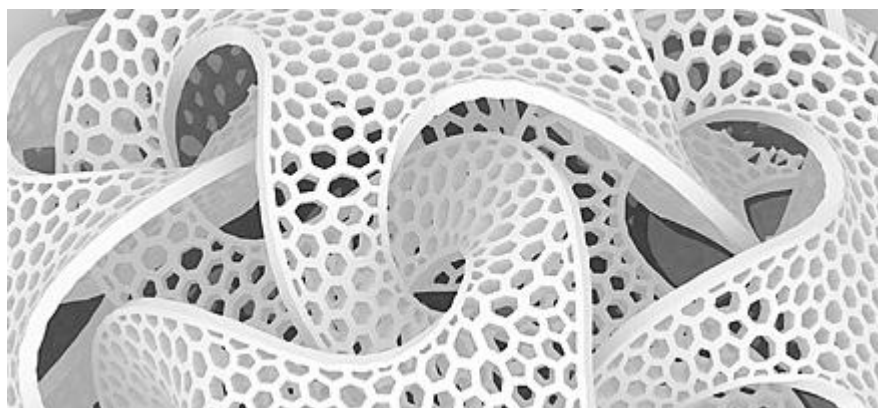
*Obr. 6. Závěsné svítidlo DAMNED.MGX<sup>[12]</sup>*



Cenu svítidla web společnosti neuvádí, ale ve Victoria and Albert Museum v Londýně v rámci výstavy „Vyprávění pohádek“ bylo toto designové svítidlo nabízeno k prodeji za £ 29,434<sup>[10]</sup> (rok 2009). Vzhledem k tehdejšímu kurzu se jednalo o částku cca 820,000 Kč.

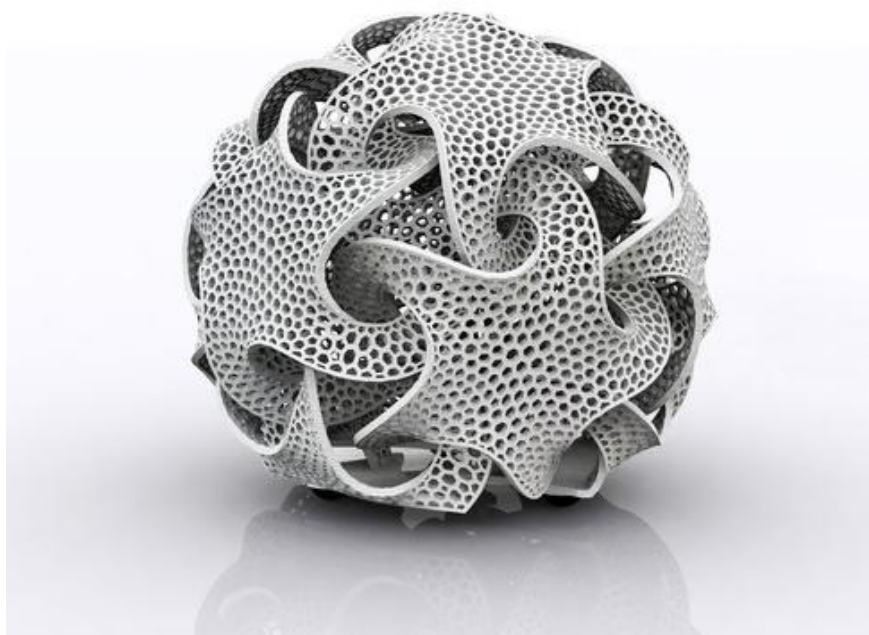
V nabídce.MGX se nacházejí i cenově dostupnější svítidla začínající na ceně od 400 €. Mezi nejžádanějšími svítidly je počín designérky Batsheby Grossman QUIN.MGX. Jedná se o polyamidové závěsné svítidlo, které lze použít i jako stolní svítidlo. Stejně jako DAMNED.MGX je i toto svítidlo vyrobeno pomocí RP metodou SLS.<sup>[14]</sup>

QUIN.MGX představuje dokonalou transformaci prostoru, kde se inspirací stává starořecká matematika a vize cesty do nitra člověka. Samotné svítidlo se skládá z organického dodekaedru, jehož jednotlivé stěny jsou tvořeny propletení samostatných penta- a hexagonů, které tvoří komplexní spojitou plochu.<sup>[15]</sup> Dodekaedr – pravidelný dvanáctistěn – je geometrický útvar, který je známý již od starověku a je označován jako Platónské těleso. Platón, řecký filosof žijící v 5. století před n. l., považoval dodekaedr jako dokonalé těleso a představitele jednoho ze čtyř základních živlů – jsoucna, tedy všeho, co existuje.<sup>[16]</sup>



Obr. 7. Detail svítidla QUIN.MGX<sup>[17]</sup>

QUIN.MGX lze vnímat jako koexistenci starořecké filosofie dokonalé matematiky a autorovy vize cesty, kde je pohled zúčastněné osoby sváděn po koncových liniích jednotlivých ploch do nitra svítidla a světlem lampy je opět vyváděn ven do okolí. Nejdůmyslněji však působí hra stínů a způsob, jakým plochy stínu a vycházejících paprsků světla vytvářejí téměř mystickou atmosféru v okolí svítidla. Právě díky dokonalému zpracování matematicko-designového řešení byl návrh QUIN.MGX vybrán časopisem Time mezi stovku nejlepších návrhů roku 2008.<sup>[14]</sup>



Obr. 8. Svítidlo QUIN.MGX designérky Batsheby Grossman <sup>[15]</sup>

## 2.2 Studio Nervous system

Vysoké ceny designových výrobků a extrémní náklady na pořízení výrobního zařízení však designéřská studia neodrazují, někdy právě naopak – stávají se výzvou. Kdo nechce „zaspát dobu“, musí logicky investovat do inovací a musí sám udávat směr. Tohoto faktu si všimlo i Museum umění a designu v New Yorku (MAD), které v rámci své výstavy „Out of Hand: materializing the postdigital“, která probíhala od 16. října 2013 do 6. července 2014, představilo grafické studio Nervous System. <sup>[18]</sup>

Výstava byla zaměřena na inovativní postupy a nové směry v architektuře, designu a výtvarném umění, které se naskýtají při použití revolučních metod výroby pomocí počítače, který je v dnešním postdigitálním světě hlavním hybatelem vývoje a umožňuje umělci zprostředkovat umělecký výraz a myšlenku takovým způsobem, jakým to donedávna nebylo možné. <sup>[18]</sup>

Nervous systém na výstavě prezentoval tři ze svých devíti světelných objektů designové řady Hyphae <sup>[19]</sup>, které lze využít jako jak závěsná tak stolní svítidla. Stejně jako studio.MGX využívá k výrobě technologii SLS a materiálem se stává nylon.



*Obr. 9. Svítidlo ze série Hypnae studia Nervous system<sup>[19]</sup>*

Inspirací nejen pro celou sérii, která je koncovému zákazníkovi vyráběna na zakázku, se stala fascinace přírodními procesy, které vytvářejí opakováním triviálních vzorů a pravidel složité struktury.



*Obr. 10. Inspirace studia Nervous systém v podobě žilnatiny listů a trav<sup>[20]</sup>*

Vývoj kombinoval vědecký výzkum, počítačovou grafiku, matematiku a kladl si za cíl prozkoumat nová paradigmata produktového designu. Faktickým vzorem se stala žilnatina listů a trav, stejně jako struktura korálů a hub, které se v přírodě běžně vyskytují.<sup>[20]</sup>

### 2.3 Studia a návrháři liniové koncepce

Vedle již zmíněných studií, která se cíleně zaměřují na složitý design a design odrážející propracovanější konceptuální myšlenku existuje i řada studií nebo jednotlivých designérů, kteří využívají 3D tisk jako prostředek zhmotnění zdánlivě jednodušší vize a vznikají tak svítidla, která mají společný jmenovatel – liniovou koncepcí. U těchto svítidel tvoří samotné tělo stínidla linie pásů či vláken, která jsou rozličně propojena nebo tvoří větší útvary typu pláští.

Jedním z takových návrhářů je třeba francouzský průmyslový designér Samuel N. Bernier, který vytvořil Project RE\_. Jedná se o jednoduché svítidlo z ABS plastu vytvořené pomocí domácího PP3DP boxu.<sup>[21]</sup> Právě využití domácí tiskárny a design liniové koncepce umožňuje rozšíření možnosti tvorby vlastních svítidel širší veřejnosti.



*Obr. 11. Projekt RE<sup>[21]</sup>*

Stejným směrem se vydalo i švýcarské Studio Luminaire, založené v roce 2011, které se vedle šperkařské výroby zabývá i tvorbou designových stínidel, kde využívá 3D tisk a jasně liniovou koncepcí. V portfoliu studia jsou většinou zastoupeny<sup>[22]</sup> právě svítidla tvořená propojovanými liniemi nylonových vláken a různě širokých nylonových pásů, které dávají vzniknout jedinečným svítidlům, jejichž hlavní funkcí není osvětlení prostoru, ale vytvoření atmosféry.



Studio Luminaire využívá technologii SLS, protože na rozdíl od Samuela Berniera produkuje větší a koncepčně složitější svítidla, které by pomocí domácího boxu nebylo možné vyrobit.



Obr. 12. Nylonová svítidla studia Luminaire <sup>[22]</sup>

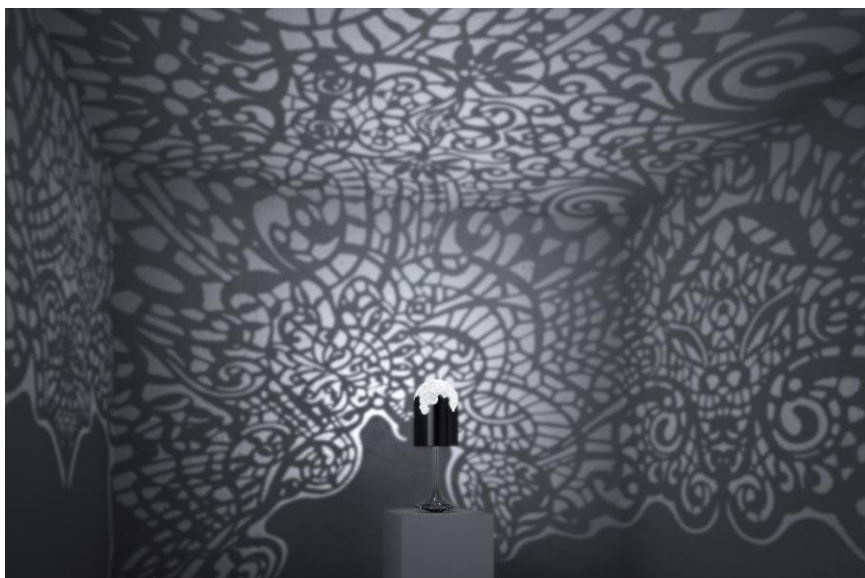
Obdobnou koncepci nalezneme i u amerického studia Alienology, které založil Igor Knezevic, oceňovaný architektonický a filmový designér.<sup>[19]</sup> Alienology, stejně jako již zmíněné studio Luminaire, využívá k 3D tisku technologii SLS. Vznikají tak lehká nylonová svítidla s jasnou liniovou koncepcí, která nejsou vyráběna ve větších sériích, ale pouze na objednávku.<sup>[24]</sup>

K vytvoření vzoru pro svítidlo využívá Alienology matematické vzorce, které na základě zadaných parametrů generují finální tvar, který koresponduje s obrysem křivky, kterou předepisuje matematický vzorec.<sup>[24]</sup> Tvorba vzoru je tak velmi jednoduchá a celý návrh vyniká naprosto čistým tvarem.



Obr. 13. Nylonové svítidlo studia Alienology Clothoid A <sup>[24]</sup>

Jedním z nejnovějších designových počínů v oblasti 3D tisku svítidel je kolekce stropních a stolních svítidel studia LPJacques. Toto francouzské studio se nově zaměřuje na kreativní osvětlení vytvářené metodami 3D tisku a se svým projektem [Lacelamps] se zúčastnilo v říjnu 2014 symposia 3D Printshow na Carrousel de Louvr v Paříži. Kolekce [Lacelamps] Sky – stropního osvětlení a [Lacelamps] Land – stolního svítidla má být přístupná veřejnosti v prvním čtvrtletí roku 2015.<sup>[25]</sup> Svítidla kombinují komponenty vyráběné 3D tiskem a klasické leštěné kovové tělo svítidla, čímž vzniká harmonický produkt, který díky své konstrukci nechá vyniknout zejména jednotlivým detailům 3D segmentu.



*Obr. 14. Kolekce svítidel od Linlin a Pierre-Yves Jacques (LPJacques) <sup>[25]</sup>*

Kolekce lacelamps – ve volném překladu krajkové lampy, volně navazuje na kolekci nástěnných plastik zvířecích motivů, které byly tvořeny obrysem materiálu za použití krajkového vzoru. LPJacques k tvorbě nevyužívají jako základní materiál nylon, ale bílý polyamid, který následně prochází postprocessingem, kdy se lakuje a leští do vysokého lesku.<sup>[25]</sup>

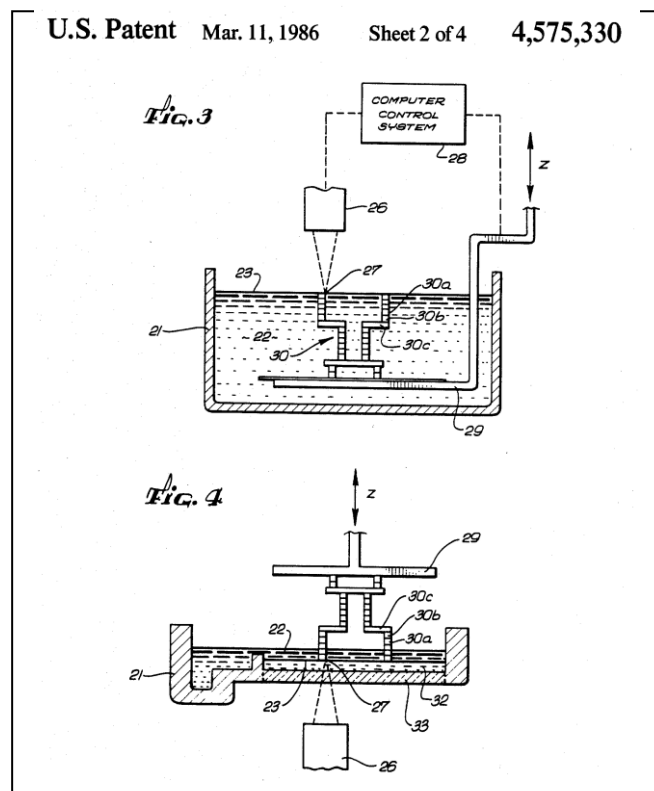


*Obr. 15. Starší Kolekce svítidel od LPJacques <sup>[25]</sup>*

### 3 ANALÝZA VÝROBNÍ TECHNOLOGIE RAPID PROTOTYPING

#### 3.1 Pojem Rapid Prototyping a jeho užití

Pojem Rapid Prototyping znamená v překladu doslova „rychlé prototypování“ nebo chcete-li „rychlá výroba prototypů“. Jedná se o zcela revoluční technologickou metodu 3D tisku, kde vznikají finální výrobky čistého tvaru v jedné výrobní operaci. Počátky RP spadají do 2. poloviny 20. století <sup>[26]</sup>, kdy si Charles W. Hull podal 8. srpna 1984 patent na „Zařízení pro výrobu trojrozměrných objektů pomocí stereolitografie“. Patent byl schválen a publikován v roce 1986 <sup>[27]</sup> – jednalo se o průlomovou první metodu RP. V posledních letech vznikla řada nových revolučních metod RP a RP obecně zažívá v této době bouřlivou revoluci. Není příliš nadsazené přirovnat stávající metody RP a jeho nejnovější inovace k vynálezu parního stroje. Jak parní stroj v průběhu 19. století, tak moderní technologické postupy RP v dnešních dobách, umožňují doslova průmyslovou revoluci ve výrobě takových technologických segmentů, které umožní produkci propracovanějších, úspornějších, technologicky odolnějších a výkonnějších strojů.

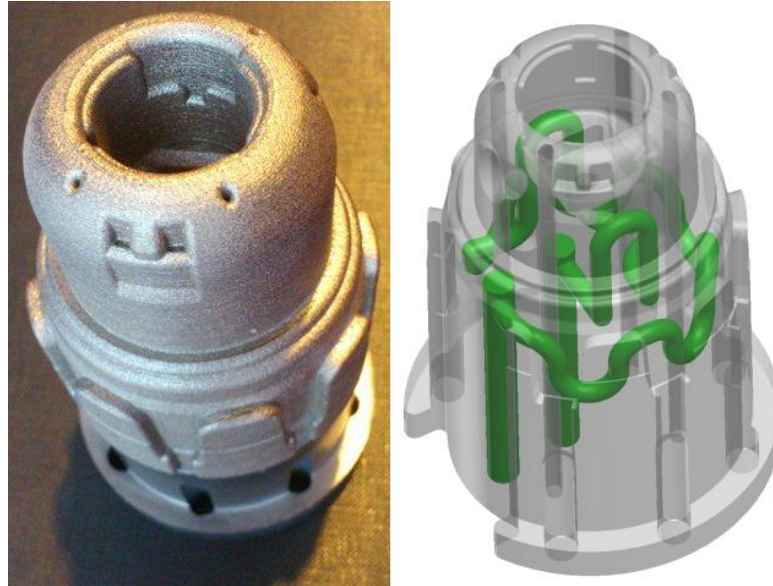


Obr. 16. Původní Hullův patent podaný v USA<sup>[27]</sup>



Technologický pokrok umožňuje používat stále přesnější vrstvení, jemnější a technologicky dokonalejší typy základních matric a díky těmto inovacím jsou dnes moderní technologie RP schopné vytvářet většinou velmi složité technologické segmenty, které je nemožné vyrobit standardní cestou (klasickým a CNC obráběním, broušením, ztraceným litím apod.), nebo by tato cesta byla příliš drahá. Právě z tohoto hlediska můžeme volbu 3D tisku rozdělit na dvě kategorie:

a) volba dle složitosti konstrukce – 3D tisk je volen zejména pro svoji jednoduchost, kdy je potřebný technologický díl, nebo obecně předmět tisku nemožné vyrobit jinou konvenční metodou, třeba pro svoji složitou organickou strukturu, množství vnitřních dutin apod. Nejčastěji se takto vyrábějí například formy pro lisování nebo odlévání plastů, které vynikají tzv. konformním chlazením. Tento typ chlazení je navržený tak, že v nejkratší možné vzdálenosti od stěny vylisku kopíruje jeho povrchový tvar. To umožňuje snížit chladicí cyklus až o 50%, optimalizovat chladicí okruh dle vylisku ne dle výrobních možností a homogenním odvodem tepla z dutiny formy je dosaženo snížení deformací vylisku a dochází k celkové optimalizaci výroby.<sup>[28]</sup>



Obr. 17. Průřez konformně chlazenou formou vyrobenou metodou DMLS<sup>[29]</sup>

b) volba dle ceny konstrukce – v tomto případě je 3D tisk volen pro svoji výslednou cenu. Zejména při designu prototypů jednotlivých technologických dílů, kdy odpadá práce s výrobou základního modelu, dále výrobou formy a následným doladěním parametrů.

Při volbě 3D tisku vznikne na základě elektronických dat dokonalý výrobek napoprvé. Toho využívají zejména automobilky, které takto vyrábějí právě konstrukční prototypové prvky, nebo celé montážní přípravky.<sup>[30]</sup>

Z hlediska vyráběných typů prototypů můžeme ještě definovat RP určený pro výrobu.<sup>[31]</sup>

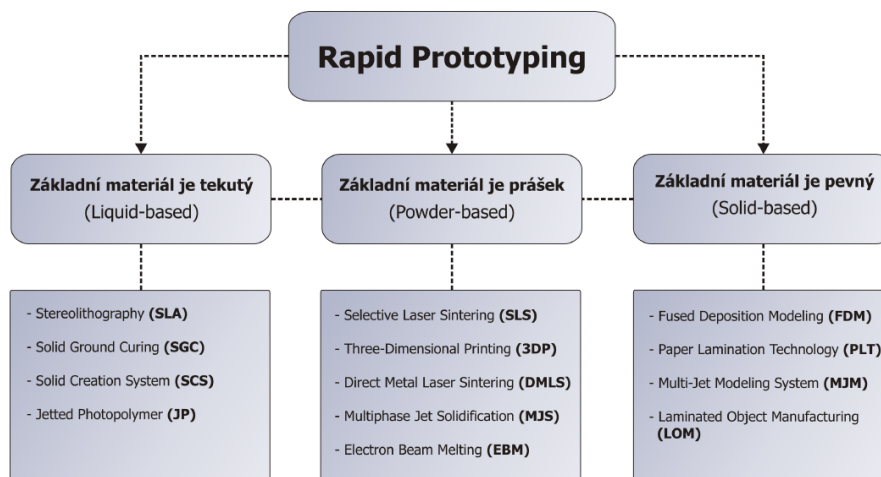
a) konstrukčních prototypů – kdy je výsledkem výrobek určený pro kontrolu ergonomie, konstrukční geometrie a montáže (materiál výrobku není podstatný, přesnost výrobku je podstatná).

b) designových prototypů - kdy je výsledkem výrobek určený pro kontrolu zejména vizuálního vzhledu. Dále slouží takovýto prototyp ke komunikaci mezi obchodními partnery (materiál výrobku není podstatný, přesnost výrobku není podstatná).

c) funkčních prototypů - kdy je výsledkem výrobek určený pro reálné testování nebo používání daných výrobků. Funkční prototypy se využívají při další analýze výrobků – např. ve větrných tunelech apod. nebo jsou určeny k reálnému použití – jak již bylo uvedeno v příkladu konformně chlazených forem pro lisování plastů (materiál výrobku je podstatný, přesnost výrobku je podstatná).

### 3.2 Přehled hlavních metod Rapid Prototypingu

Metody Rapid prototypingu lze dělit podle vícero kritérií. Základní dělení je do tří hlavních skupin v závislosti na použité matrici (tj. na použité stavební směsi, bázi). Základní matrice může být tekutá, pevná nebo ve formě prášku.<sup>[32]</sup> Volba výchozí matrice je ovlivněna požadovanými vlastnostmi koncového výrobku. Další členění se vztahuje k chemickému složení matrice. Z tohoto pohledu se může jednat o polymerní materiály (fotopolymerní – tvrzené UV zářením či termopolymerní – tvrzené změnou teploty na nosném povrchu) nebo nepolymerní materiály (většinou práškové směsi kovů, keramiky nebo písku, které se používají samostatně nebo s přídavkem vhodného pojiva).



Obr. 18. Rozdělení metod RP z hlediska použité matrice <sup>[32,33]</sup>

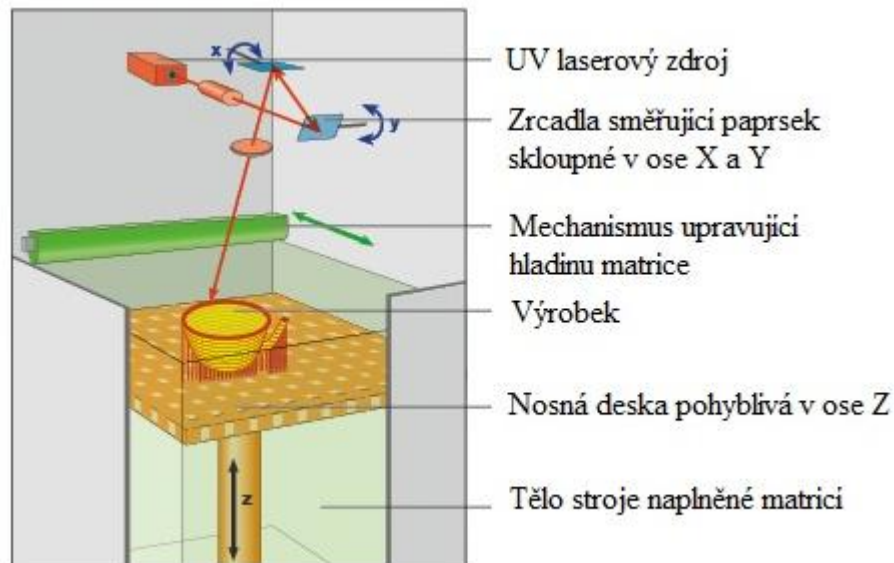
Napříč širokým spektrem jednotlivých typologií existujících metod Rapid prototypingu spojuje všechny metody rámcově identický model výroby, kterým můžeme jednoduše vysvětlit celé zařízení. V podstatě se jedná o nádobu plnou matrice, ve které se pohybuje po svislé ose Z nosná deska. Pomocí hlavy pohybující se v osách X a Y dochází k vytvrzení potřebné části matrice na nosné desce. Po vytvrzení definované vrstvy matrice klesne po svislé ose nosná deska o výšku vytvrzené matrice. Pomocí jednoduché stěrky dochází k rovnoměrnému rozptýlení zbylé matrice nad vytvrzenou vrstvou a celý postup se opakuje.

Tématem této práce není podrobná analýza existujících metod rapid prototypingu, proto jsou jednotlivé metody představeny pouze v základním přehledu.

### 3.2.1 Výroba z tekuté matrice

Rapid prototyping založený na bázi tekuté matrice je jedním z nejstarších technologických postupů v této oblasti. Nejpoužívanější je metoda Stereolitografie (Stereolithography – SLA, odvozeno z řečtiny znamenající „trojrozměrný výkres“<sup>[34]</sup>). SLA byla vyvinuta společností 3D Systems, Inc. a byla úspěšně zprovozněna roku 1988 v USA.<sup>[35]</sup> Základem tekuté matrice je polymer citlivý na světlo (fotopolymer), který po dopadu UV záření, které je vyzařováno laserovou hlavou přes zrcadlo, ztuhne. Na obdobném principu fungují například i moderní dentální výplně, které se nanášejí v několika tenkých vrstvách a jednotlivé vrstvy jsou vytvrzovány za pomoci přenosného UV zářiče. Použití této metody

vyžaduje stavbu podpor pod zhotovovaným výrobkem, aby nedocházelo k jeho borcení v průběhu procesu RP.<sup>[35]</sup>



Obr. 19. Schéma metody SLA – RP z tekuté matrice<sup>[34]</sup>

Mezi nejpoužívanější materiály používané v SLA patřily akryláty. Dnes se nejčastěji používají epoxidy a plněné pryskyřice – organické monomery, které jsou obohaceny o fotoiniciátor, který funguje jako startér fotopolymerizační reakce.<sup>[33]</sup>

### 3D Printing with Mammoth Stereolithography

**Materialise**  
innovators you can count on



superior surface quality

Obr. 20. Prototypový díl vozu Citroën s podporami podepírající celou konstrukci<sup>[36]</sup>

Samotný proces výroby se skládá z pěti jednotlivých fází:<sup>[31]</sup>

- 1) smíchání zvoleného monomeru s fotoiniciátorem
- 2) fotonické buzení (za pomoci UV laserového zdroje) a volné radikálové buzení – v tomto momentě se monomer inicializuje a je připraven pro řetězovou reakci.
- 3) zahájení řetězové reakce - jednotlivé inicializované monomery se vzájemně propojují.
- 4) šíření řetězové reakce - dochází k „prorůstání“ osvícených (inicializovaných) monomerů.
- 5) ukončení řetězové reakce - dochází k vyčerpání inicializovaných monomerů. Ukončení polymerizace musí být selektivní a dostatečně rychlé, aby nedocházelo k nežádoucí polymeraci a tím poškození výrobku.

Výhodou SLA je vysoká přesnost výroby (+/- 0.05 mm), která je ovšem vykoupena nedokonalým vzhledem, kdy jsou na výrobku vidět jednotlivé kroky výroby a také nízkou pevností. Výrobky jsou také náchylné na vlhkost a v případě nedostatečného ozáření, které v následném kroku nedosáhne do předchozí vrstvy, hrozí i deformace působením vnitřního pnutí (typicky zkroucení).<sup>[31]</sup>

RP z tekuté matrice je vhodné použít pro výrobu konstrukčních a designových prototypů.

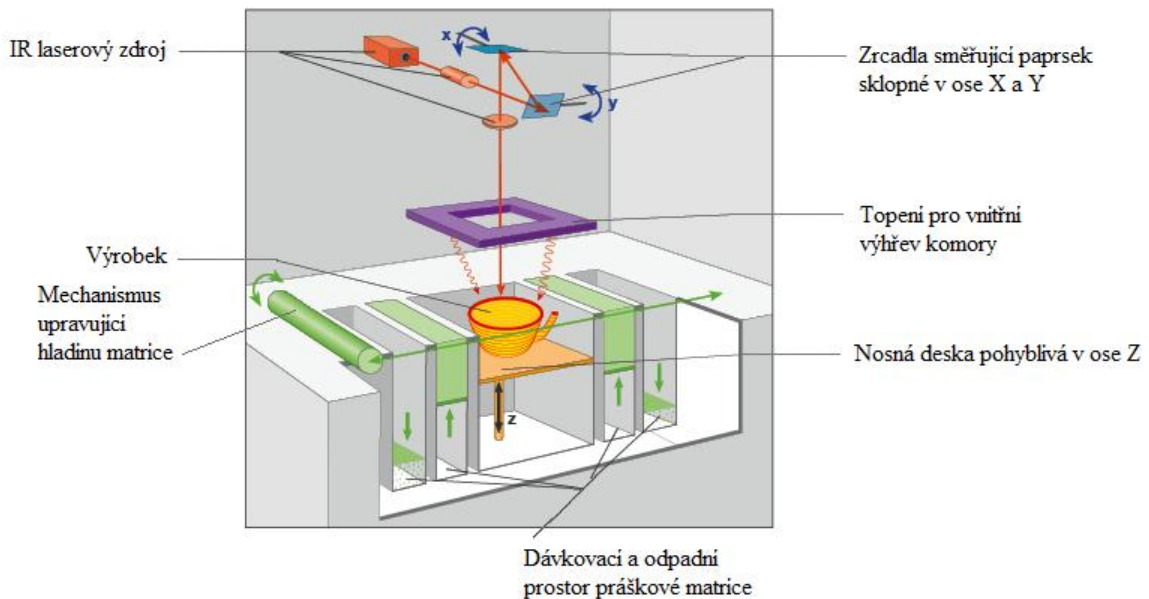
### 3.2.2 Výroba z práškové matrice

Rapid prototyping založený na bázi práškové matrice je jedním z nejpoužívanějších technologických postupů používaných k výrobě fyzicky namáhaných výrobků, nebo výrobků, které mají disponovat vysokou odolností vůči mechanickému zatížení. Nejpoužívanější je metoda laserového zapékání (Selective laser sintering - SLS) a poté konkrétně metoda DMLS (Direct metal laser sintering).

Metodika výroby je identická jako při použití tekuté matrice. Jako prášková matrice se používá jemný prášek termoplastu, pryže, keramiky, písku (který však nedisponuje potřebnou pevností) nebo ještě častěji kovu o velikosti částic 20-100 μm, který se za pomoci CO<sub>2</sub> laserové hlavy zapéká (slinuje, sintruje). Samotný prášek může být v závislosti na požadovaných vlastnostech a parametrech výroby obohacen o pojivo, které napomáhá zapékání matrice.<sup>[31, 34]</sup> Vzhledem k procesu výroby je prostor matrice v inertní atmosféře, která zabraňuje oxidaci matrice a tím i nežádoucím kazům výrobku. Celý prostor je temperován na teplotu o 10°C nižší, než je teplota tání matrice. Po laserovém

slinutí matrice (na teplotě tání matrice) se nosná deska sníží o výšku vrstvy a následně dochází k ochlazení a vytvrdnutí. Na konci výroby následuje řízené několikahodinové chlazení, které eliminuje vnitřní napětí a nežádoucí nekontrolovatelné smrštění.<sup>[34]</sup>

Výhodou SLS (reprezentováno DMLS) je vysoká pevnost výrobků, která je vykoupena nižší přesností výroby, než například u SLA. Výrobky jsou inertní vůči vlhkosti a v případě dostatečného řízeného chlazení nedochází ani k deformacím.<sup>[31]</sup>



Obr. 21. Schéma metody SLS – RP z práškové matrice<sup>[34]</sup>

Vzhledem k tepelné roztažnosti při používání kovových materiálů (DMLS) je však přesnost výroby nižší, než při užití SLA<sup>[34]</sup> a při preprocesingu se s tímto jevem musí předem počítat.

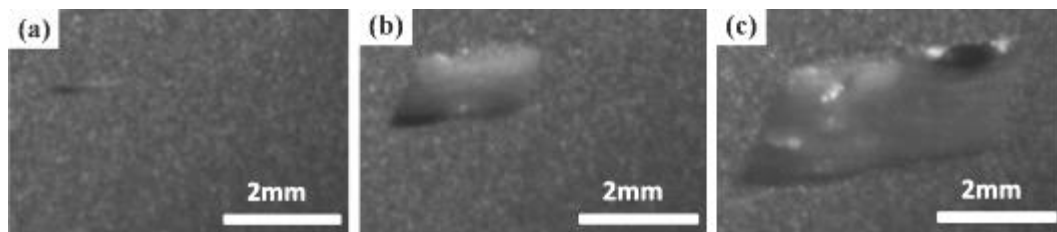
Pro laserové sintrování se používají převážně polyamidy – organické makromolekuly, keramické prášky a kovy. Obojí se využívá v práškové formě a může docházet i k vzájemnému dopování, např.:<sup>[31]</sup>

**PA 2200** je klasický polyamid, jehož finální výrobky je možné okamžitě namontovat a použít jako plně funkční díly, protože zaručuje 99% mechanických hodnot (pevnost, pružnost, tepelná odolnost apod.) jako materiály používané na vstříkolisech.

**Alumide** je polyamid s obsahem hliníkového prášku (cca 50%). Výrobek z tohoto prášku má vyšší tepelnou vodivost než výrobek z PA 2200 a jeho povrch dokonale imituje kovové výrobky.

**Kovové prášky** – nejčastěji se kovové prášky skládají ze základního kovu – nerezové nebo vysokopevnostní oceli, titanu, chromu, kobaltu<sup>[37]</sup> a nízkotavitelného pojiva (termoplastické polymery nebo měď), které napomáhá sinterování.

**Keramické prášky** – keramické prášky se volí pro svoji pevnost, která je v mnoha ohledech srovnatelná s kovovými prášky. Nejčastěji se jedná o oxidy zirkonu a hliníku ( $ZrO_2$  a  $Al_2O_3$ ), které jsou dopovány vhodnými nízkotavitelnými pojivy nebo jsou dodávány v homogenních kompozitních směsích s vícero oxidy - jako například směs  $Ta_2O_5 \times TiO_2$ ,  $Al_2O_3 \times SiO_2$ ,  $53 Al_2O_3 - 20 La_2O_3 - 27 ZrO_2$ ,  $17.05 La_2O_3 - 27.65 Al_2O_3 - 55.30 SiO_2$  a podobně.<sup>[38]</sup>



Obr. 22. Proces slinování granulátu oxidu hlinitého v krátkém časovém intervalu<sup>[38]</sup>

RP z práškové matrice je vhodné použít převážně pro výrobu konstrukčních a funkčních prototypů.

### 3.2.3 Výroba z práškové matrice – metoda SLS Foundry sand

Jednou z nejnovějších technologií rapid prototypingu je Laser Sintering - Foundry Sand., kdy se písek pojí chemickým pojivem za pomoci laseru. Pro nízké teploty tavby se používá jako pojivo vodní sklo, pro vysoké teploty (např. pro lití oceli) je využíváno furanové pojivo. Tato metoda používá upravený slévárenský písek, jehož vytvrzováním je možno bez jakýchkoli mezikroků vytvořit na prototypovacím zařízení klasickou pískovou formu pro lití.<sup>[39]</sup> Vzhledem k faktu, že se jedná o zcela inovativní technologii, která je ještě v plenkách, je velice složité k výrobnímu procesu sehnat obsáhlejší relevantní informace. Tato technologie byla použita i k výrobě mnou navrženého světelného objektu. Výrobce na dotaz k bližším parametrům výroby uvedl pouze fakt, že je technologie ojedinělá a další data si chrání v rámci svého know-how.

### 3.2.4 Výroba z pevné matrice

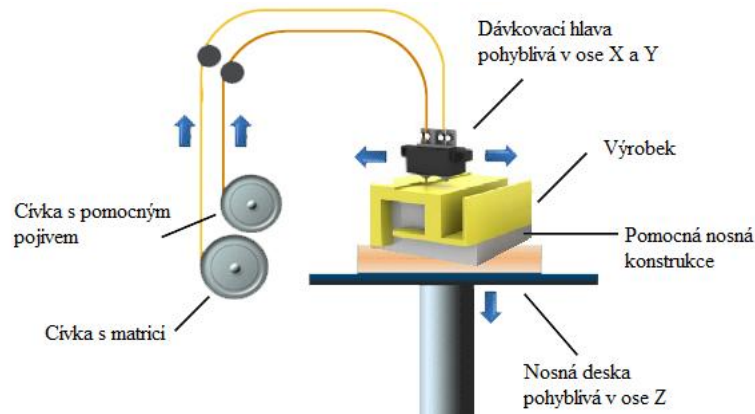
Rapid prototyping založený na bázi pevné matrice se principiálně liší od zbylých metod. Jako nosná matrice se používají celé desky nebo nekonečné role matrice o definované tloušťce, které se postupně vrství na sebe. Ke spojení vrstev dochází za pomoci pojiva (v případě papíru a nepolymerních materiálů) nebo za pomoci temperovaného lisu (v případě polymerních plastových folií na bázi nylonu nebo polyesteru). V případě výroby prototypu z pevné matrice laserová hlava výrobek pouze obkresluje a výrobek je tak v podstatě po plátech vyřezáván, na rozdíl od ostatních metod, kde laserová hlava prototyp vytváří kompletně. Díky tomu je výroba rychlejší než u jiných metod.

Hlavní výhodou této metody, která se označuje jako Laminated object manufacturing (LOM), je možnost použít jakýkoliv materiál, který je na trhu ve formě folie.

Další velice používanou metodou výroby prototypů z pevné matrice je metoda natavování termoplastu, která se označuje jako Fused deposition modeling (FDM). V průmyslovém měřítku má metoda stejný technologický základ jako ostatní metody – prototyp vzniká na nosné desce, která se pohybuje v ose Z a je tvořen za pomoci tavné hlavy, která je opatřena jednou nebo více trysek, skrz které je protlačován termoplastický materiál (ABS plast, PC-polykarbonát, PC-ABS, polyphenylsulfon apod.) zahřátý na teplotu tání. V momentě kontaktu s nosnou deskou, nebo již ztuhlou částí prototypu, termoplast chladne a tuhne. Použití této metody vyžaduje také stavbu podpor pod zhotovovaným výrobkem, aby nedocházelo k jeho borcení v průběhu procesu RP. Odstranění podpor může probíhat klasickou mechanickou cestou, nebo za použití patentových podpor BASS a Waterworks, které zajistí, že je podpora rozpustná ve vodě a při výrobě tak odpadají dokončovací práce.<sup>[31, 35]</sup>

Tato technologie je aplikovatelná i do uživatelského měřítku, kde se dostává k běžnému uživateli jako osobní 3D pero, které „kreslí“ dle představ autora. Kvalita a využití produktů vytvořených osobním perem je však diskutabilní.





Obr. 23. Schéma metody FDM – RP z pevné matrice <sup>[40,41]</sup>

### 3.3 Proces prototypování

Proces výroby daného prototypu se vždy skládá z tří základních etap:<sup>[35]</sup>

#### Etapa – Preprocessing

V první fázi vznikají elektronická data pro 3D tiskárnu. Generovaný model, nejčastěji v prostředí CAD se převádí do formátu \*.stl, STEP, kdy se objemový model převede na polygonální model, který se skládá z velkého počtu rovinných trojúhelníkových plošek.<sup>[32]</sup> Programátor dále řeší problém volby použité technologie, v závislosti na požadovaných vlastnostech koncového výrobku. V případě nutnosti, zejména u metod SLS a FDM, jsou navíc připraveny podpory pro výrobek.

#### Etapa – Processing

V druhé fázi dochází k samotnému vytvoření výrobku zvolenou metodou RP.

#### Etapa – Postprocessing

Předposlední, v některých případech i poslední fáze zahrnuje vyjmutí modelu ze zařízení, případné odstranění podpor a následně dokončovací práce na výrobku. Dokončovací práce odpadají při použití některých metod RP, jako jsou např.: SLS, nutné jsou naopak u SLA, kde v rámci postprocessingu dochází ještě ke konečnému vytvrzení výrobku.

#### Finishing

Nebo, chceme-li, úplné dokončovací práce. Tato fáze zahrnuje jak mechanické, tak jiné technologické činnosti jako jsou např. čištění, broušení, použití tmelů, použití plnicích hmot, lakování, nebo vakuové zušlechťování. Vždy záleží na konkrétním výrobku.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 PRVOTNÍ RESEBNÉ NÁVRHY

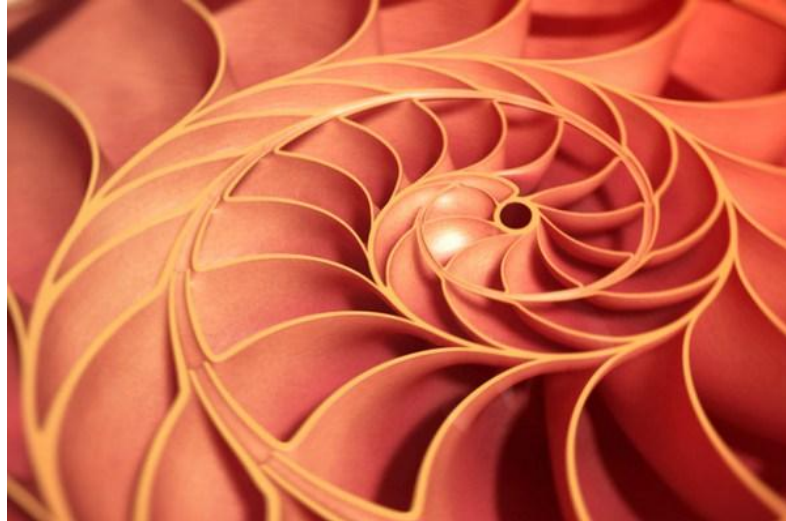
### 4.1 Inspirace k tvorbě

Lidský mozek obsahuje až 100 milionů nervových buněk, které vytvářejí až na 10 trilionu možných propojení, které si vzájemně předávají informace.<sup>[42]</sup> Teoreticky je kapacita lidského mozku a tím i lidské představivosti takřka nekonečná. Ovšem představivost a vize je nutné podpořit inspirací. Mnoho výtvarníků, designerů nebo kreativně smýšlejících lidí hledá inspiraci rozličnými způsoby. Inspiraci lze nacházet v umění či matematice, jak jsem uvedl na příkladu studia.MGX, ale já jsem se pro svoji tvorbu rozhodl hledat inspiraci v mikro a makrosvětě – inspiraci v přírodě, podobně jako studio Nervous system. Reálné produkty přírody jsou ztvárněním dokonalosti jak po stránce technické, tak visuální. V mnoha případech nalezneme v přírodě živočichy, rostliny nebo jednotlivé prvky, které v sobě obsahují *sectio aurea* – zlatý řez. Ideální poměr, který je reprezentovaný Fibonacciho posloupností. Tímto způsobem jsou uspořádána semena slunečnice nebo smrkové šišky, kde jsou šupiny rozmístěny jako spirála nebo točité schody respektující Fibonacciho posloupnost.<sup>[43]</sup>



*Obr. 24. Vizualizace semen slunečnice respektujících Fibonacciho posloupnost<sup>[44]</sup>*

Dokonalost přírody popisuje i Delaunayova triangulace, která (zjednodušeně řečeno) propojuje náhodně rozmístěné body trojúhelníky, které se co nejvíce blíží rovnostranným. S tím souvisí Voroného diagram - rozdělení plochy poseté body tak, aby jakékoli místo v jedné plošce mělo ke „svému“ bodu blíže než k jakémukoli jinému z vyznačených bodů. Těmito principy se řídí stavba hmyzích křídel i žilnatiny mnohých listů.<sup>[44]</sup>



Obr. 25. Vizualizace ulity hlavonožce z čeledi Nautilidae respektující Fibonacciho posloupnost<sup>[44]</sup>

#### 4.1.1 Makrosvět

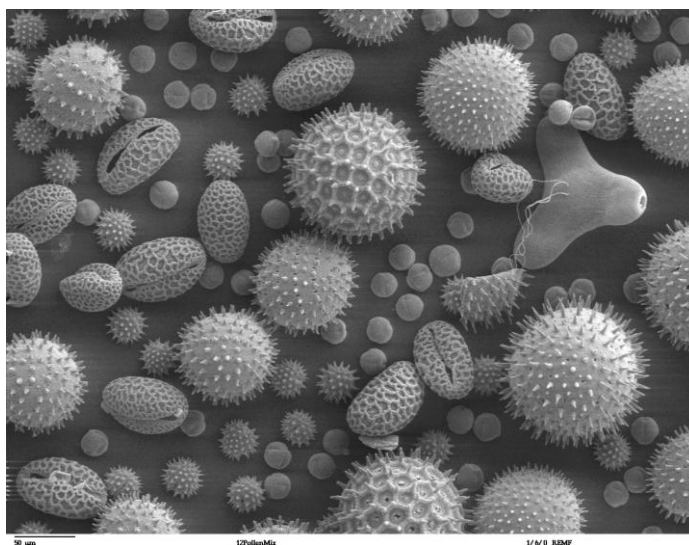
Jako makrosvět vnímáme tu část našeho okolí, kterou dokážeme popsat zákony klasické fyziky a můžeme ji vnímat lidskými smysly<sup>[45]</sup>. Makrosvět inspiruje člověka odpradávná. Mnoho filmových nestvůr bylo inspirováno reálnými živočichy nebo jejich částmi (kusadly, tělem, soustavou očí apod.). Mnoho struktur z rostlinné říše je inspirativní v oblasti architektury a stavitelství obecně. Makrosvět přírody studovali staří řečtí myslitelé, Leonardo da Vinci v ní nacházel četné inspirace pro své vynálezy a studium letu ptáků a rozbor stavby jejich křídel ho přivedl na řadu vynálezů v oblasti létajících strojů.



Obr. 26. Makrosnímky larev a kokonů malých živočichů<sup>[46, 47]</sup>

#### 4.1.2 Mikrosvět

Jako mikrosvět vnímáme tu část našeho okolí, kterou dokážeme popsat zákony kvantové fyziky a nemůžeme ji vnímat lidskými smysly. Prvky mikrosvěta inspirují často šperkaře<sup>[45]</sup> nebo textilní výtvarníky.<sup>[48]</sup> Mikrosvět je svými rozměry pro lidské oko neviditelný, ale skýtá nepřehledné množství inspirace – zejména tvarové. Bakterie, viry, samotné buňky, atomy, krystaly a mnohé další základní stavební kameny světa, ale i rozsáhlejší organismy na mikroskopické úrovni nabízejí novou rovinu v pohledu na design převzatý z přírody.



*Obr. 27. Mix různých pylových zrn pod elektronovým mikroskopem<sup>[49]</sup>*



*Obr. 28. Lidský papilomavirus způsobující bradavice na rukou a chodidlech<sup>[50]</sup>*



### 4.1.3 Fungi řádu Pezizales

Nejsilnější inspirací při designu těla svítidla mi byly houby řádu Pezizales (kustřebkotvárých), které detailněji popsal německý mykolog Joseph Schröter (1837-1894). Tento řád hub, který se dále řadí do 12-ti čeledí a 69-ti rodů, se vyznačuje mimořádnou stavbou plodnice, tedy nadzemní části houby, která bývá běžně hovorově označována jako „klobouk“. Plodnice kustřebkotvarého řádu mívají kalichovitý, či miskovitý tvar, často tvoří laločnatě zprohýbané útvary, které bývají vzájemně srostlé.<sup>[51]</sup>

Jako vzor dokonalosti přírodního designu, který jsem obsáhleji popisoval na úvodu kapitoly, patří v tomto řádu *Morchella esculenta* a *Morchella conica*. V případě *Morchella esculenta* (Smrž obecný) se jedná o jedlou houbu vyskytující se na našem území, jejíž plodnice bývá kulovitě až mírně protáhlého tvaru. Plodnici smrže tvoří propojená síť blán, často popisovaná jako hluboké jamky navzájem oddělené příčnými a podélnými lištami<sup>[52,53]</sup>, nebo také jako neuspořádané jamky často připomínající včelí plástev<sup>[51]</sup>. V případě *Morchella conica* (Smrž kuželovitý) se jedná také o jedlou houbu vyskytující se na našem území, ale její plodnice má kuželovitý, nebo vejčítý tvar a oproti *Morchella esculenta* disponuje výraznějším, téměř rovnoběžným podélným žebrováním se slabšími příčnými spojkami, které vytváří nepravidelné čtyřhranné jamky.<sup>[51]</sup>

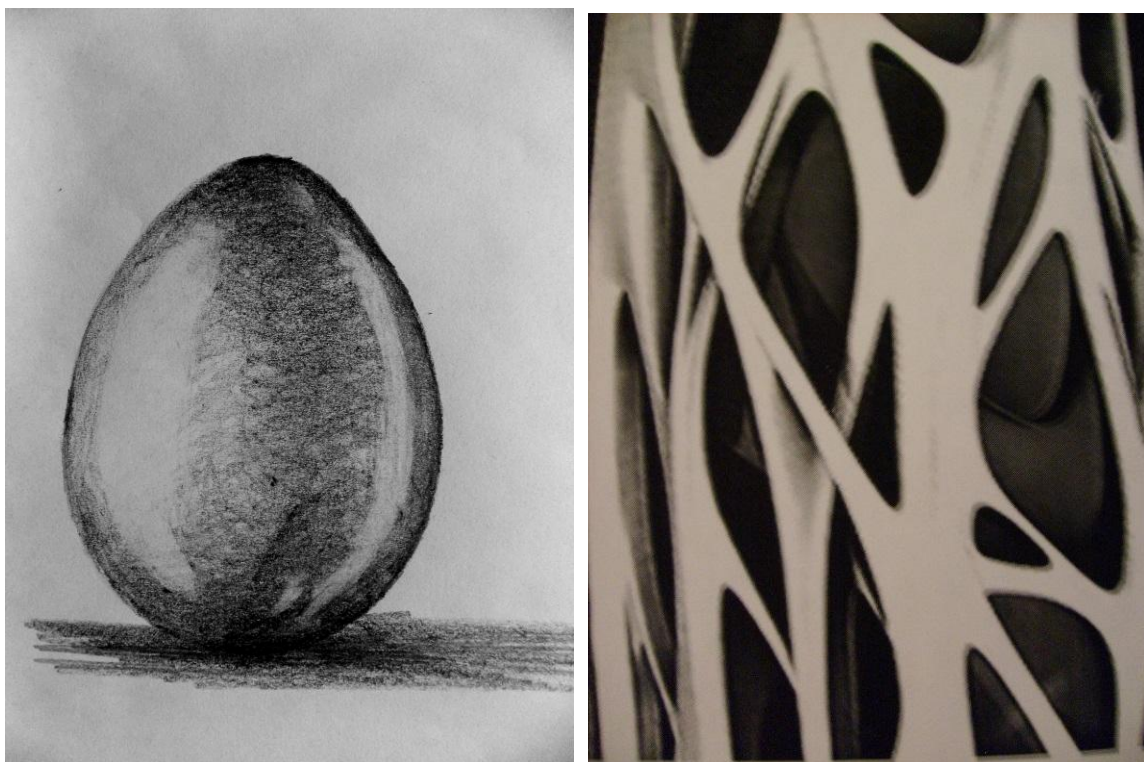


Obr. 29. *Morchella esculenta* a *Morchella conica*<sup>[51]</sup>

Právě tvar plodnice, který je zcela odlišný od běžných druhů hub v kombinaci s faktem, že se jedná o běžně dostupnou houbu na našem území, mě silně inspiroval. Plodnice výše zmíněných hub v sobě spojuje originalitu, jednoduchý design, který odráží jak vzhledovou atraktivitu, jedinečnost, tak i potřebnou funkčnost, kterou by při redesignu tělo svítidla dostalo.

## 4.2 Kresebné návrhy

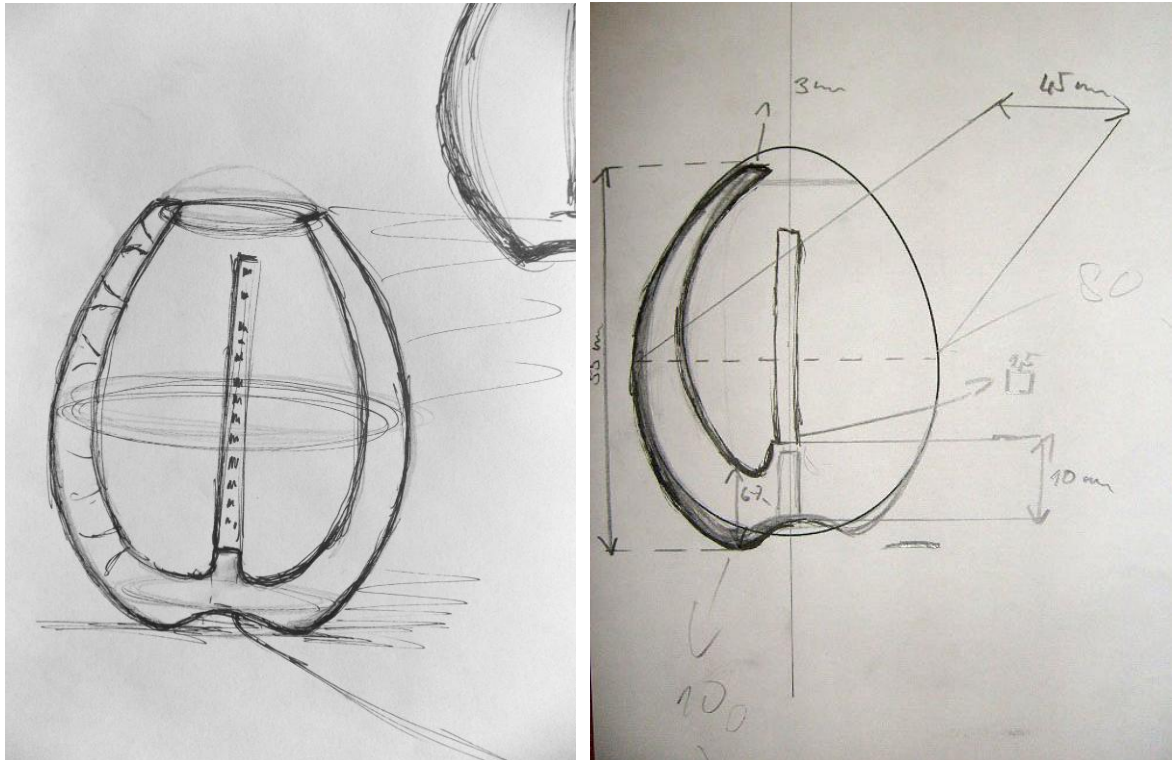
Kresebné návrhy pro finální tvar svítidla vycházeli z inspirací popsaných v předcházejících kapitolách. Mojí snahou bylo vytvořit složitý organický tvar, který bude respektovat přirozené přírodní tvary, bude jednak vzhledově atraktivní, originální, ale hlavně také technologicky funkční.



Obr. 30. Základní kresebné návrhy <sup>[54]</sup>

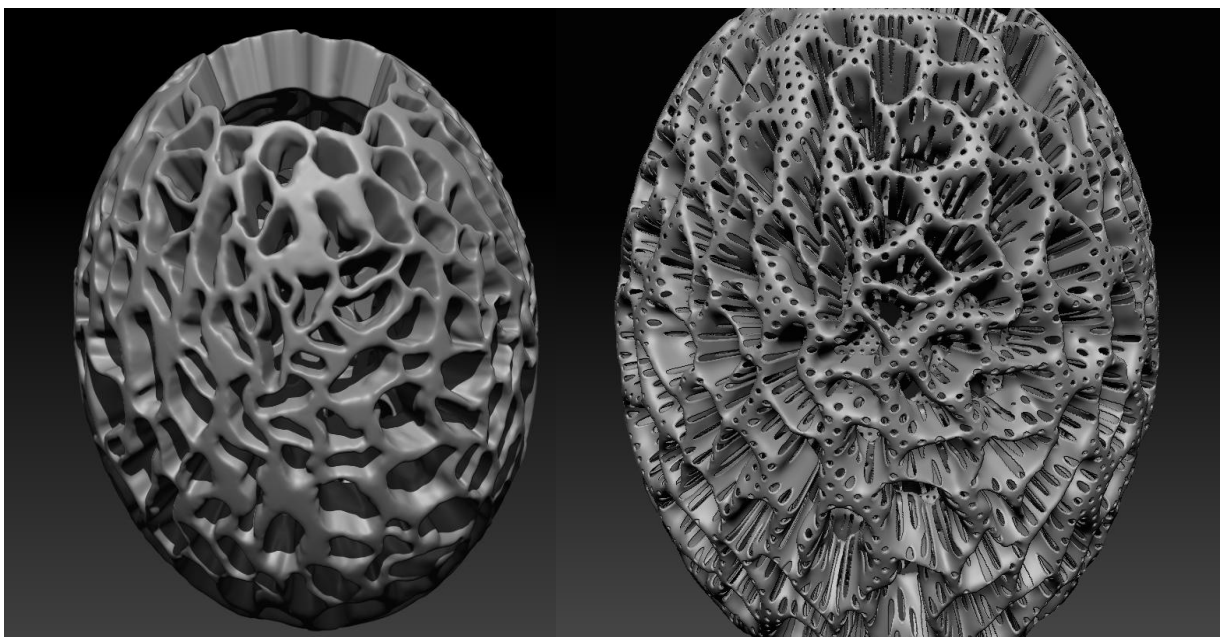
Klasickým skicováním vznikl základní tvar a koncepční myšlenka celého svítidla. Další kresebné návrhy byly pro svoji náročnost vytvářeny v 3D prostředí software CATIA, MAYA, CINEMA 4D a ZBRUSH.





Obr. 31. Základní kresebný návrh (řez svítidlem a navrhované rozměry) <sup>[54]</sup>

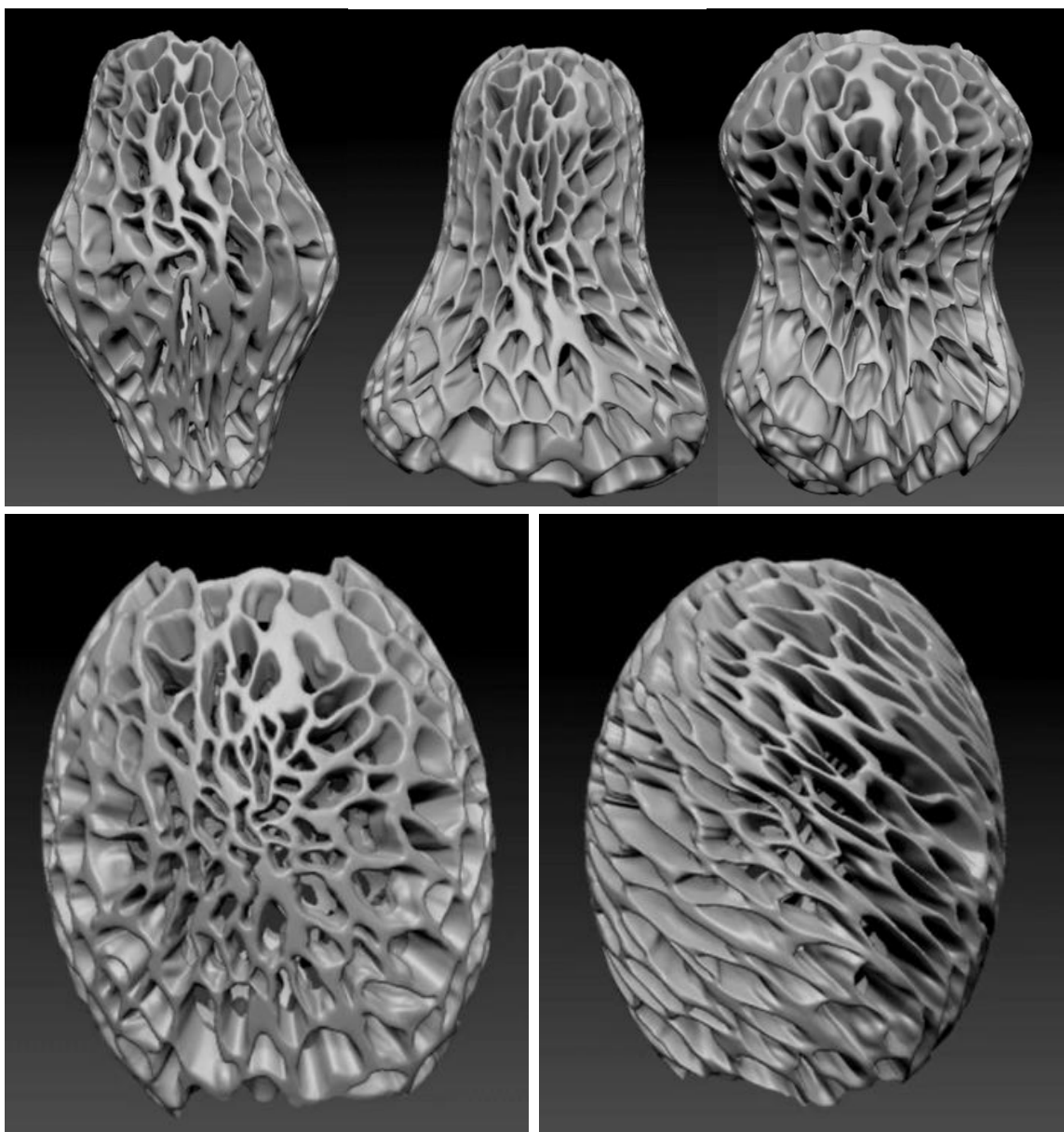
V 3D softwarech bylo dále experimentováno se šířkou otvorů (šěrbin), které jsou vlastně dominantním prvkem svítidla. Bylo vyzkoušeno několik kombinací různých velikostí otvorů, různý sklon vnitřních hran a také bylo experimentováno se složitějším tvarem – perforovanou nosnou stěnou, která by evokovala vyzařující paprsky světla.



Obr. 32. Projektování svítidla v 3D prostředí – různé návrhy designu stěny <sup>[54]</sup>



Během projektování bylo také experimentováno s celkovým tvarem svítidla. Hledaný tvar musel respektovat nejen designérské požadavky, ale také musel konstrukčně umožnit umístění svítidla volně do prostoru bez obav o jeho stabilitu. Dále musel výsledný tvar respektovat ergonomické vlastnosti použitého osvětlovacího prvku, tedy aby svit z tělesa byl rovnoměrně rozprostřen a nedocházelo k nežádoucím ztrátám vlivem příliš složitého tvarového provedení, nebo naopak aby nebyl osvětlovací prvek příliš patrný vlivem nízké hustoty nebo jednoduchosti použité nosné stěny.

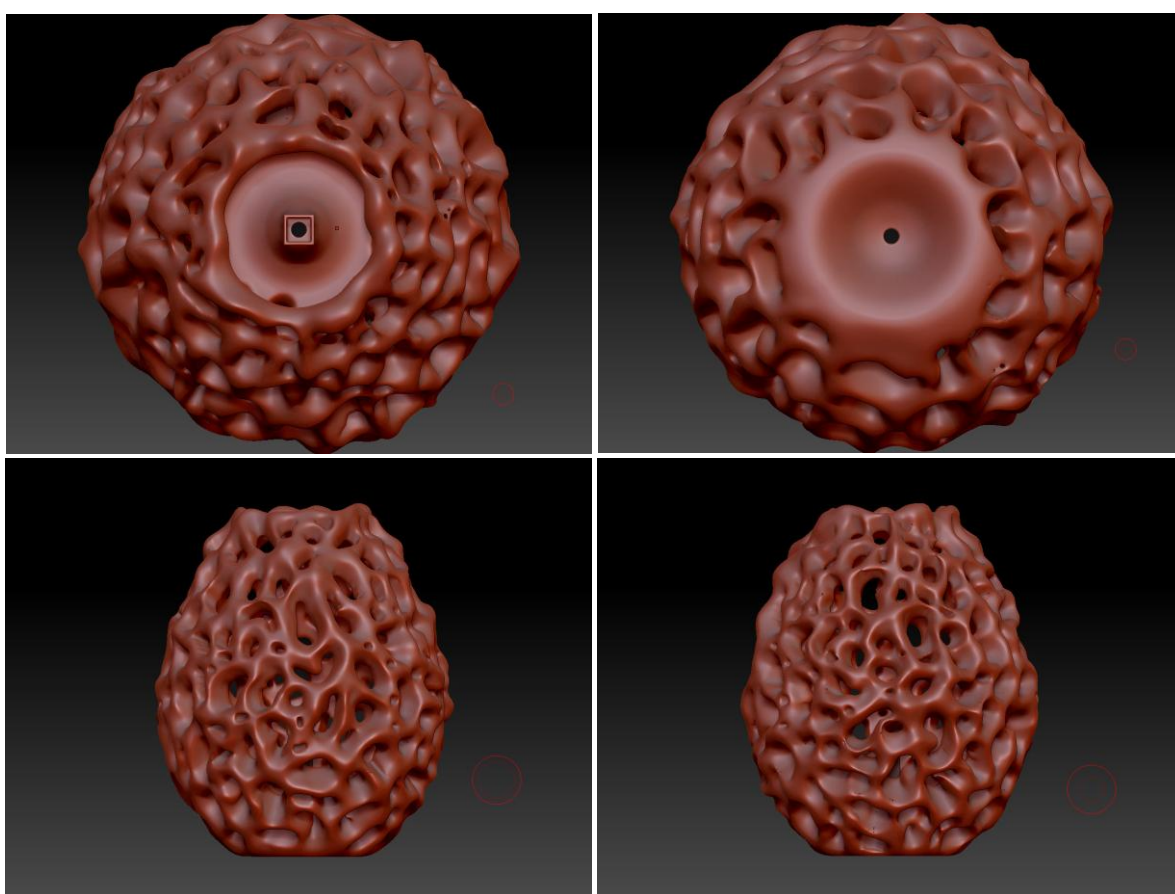


Obr. 33. Projektování svítidla v 3D prostředí – různé návrhy designu tvaru <sup>[54]</sup>

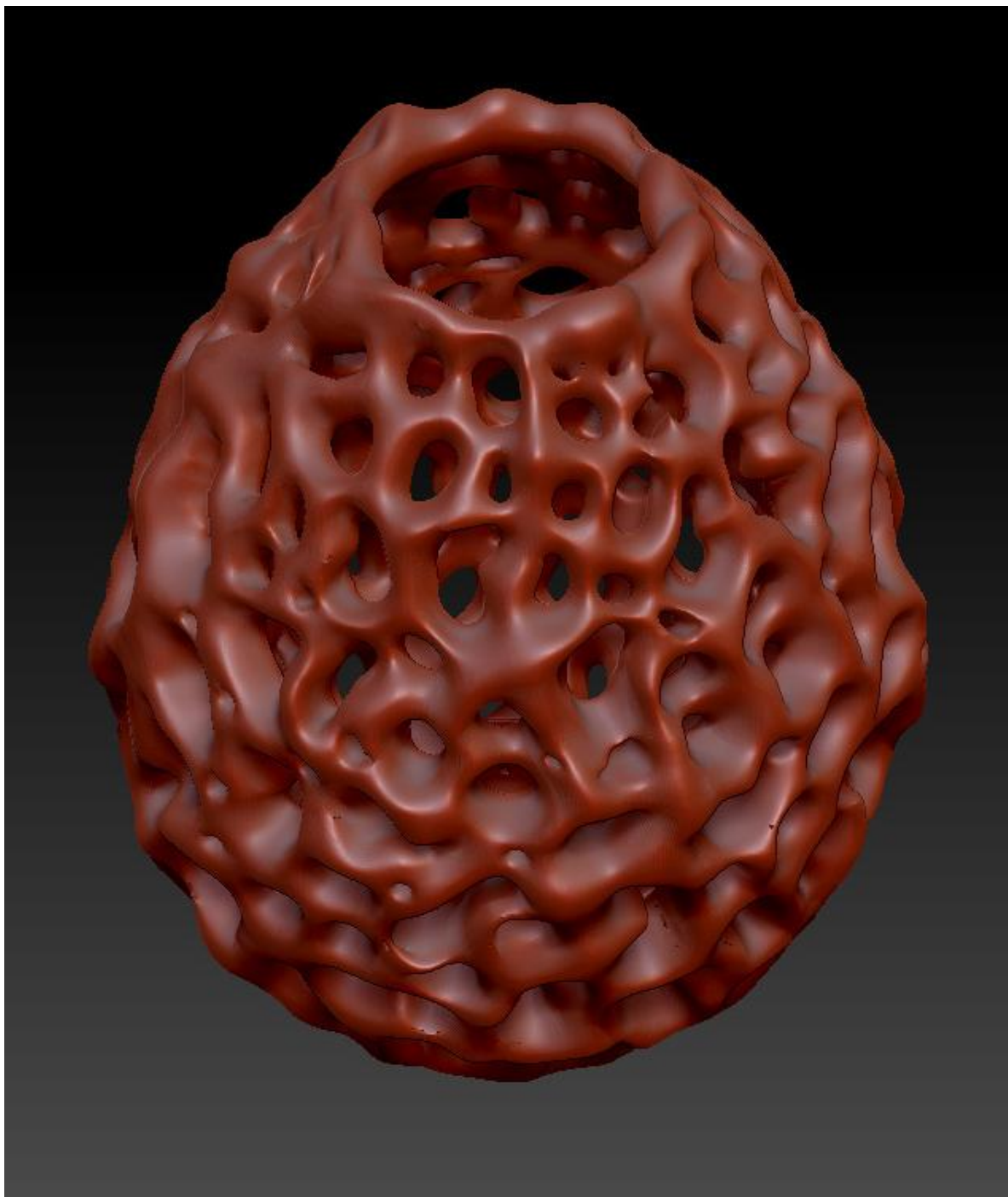
### **III. PROJEKTOVÁ ČÁST**

## 5 VIZUALIZACE FINÁLNÍHO DESIGNOVÉHO ŘEŠENÍ

Na základě předešlých studií a zkoušek, které jsou popsány převážně v kapitole **4.2 Kresebné návrhy**, vznikl finální tvar svítidla, který nejlépe splňoval požadavky na technologické zpracování (možnost výroby danou technologií, tedy rozměry výrobku byly voleny tak, aby umožňovali vhodné vrstvení základního technologického materiálu), konstrukční pevnost a stabilitu. Dále byl brán ohled na již zmíněný osvětlovací zdroj, kterým je vyjímatelný a vyměnitelný LED segment skládající se z diodových pásků s difuzorem, který bude zasazen do předem připravené patice svítidla.



Obr. 34. Finální tvar svítidla (zleva nahoře: horní pohled, dolní pohled, přední a zadní pohled na těleso svítidla <sup>[54]</sup>)



*Obr. 35. Finální tvar svítidla <sup>[54]</sup>*

## 6 ERGONOMETRICKÁ STUDIE

Cílem ergonomie je, aby používané předměty a nástroje svým tvarem, strukturou a prostorovým uspořádáním co nejlépe odpovídali pohybovým možnostem člověka.<sup>[55]</sup> V tomto případě se ergonomická studie zaměřila pouze na ztvárnění daného svítidla v reálném prostoru, protože svítidlo má dekorační charakter a svým koncepčním uspořádáním není určeno jako hlavní zdroj světla v prostoru.



*Obr. 36. Ergonomie svítidla <sup>[54]</sup>*

## 7 TECHNICKÁ DOKUMENTACE

### 7.1 Technická dokumentace světelného objektu

#### Svítilno vytvořené technologií 3D tisku

*Technologie výroby:* 3D tisk za pomoci furanové písčité směsi s pojivovým materiálem

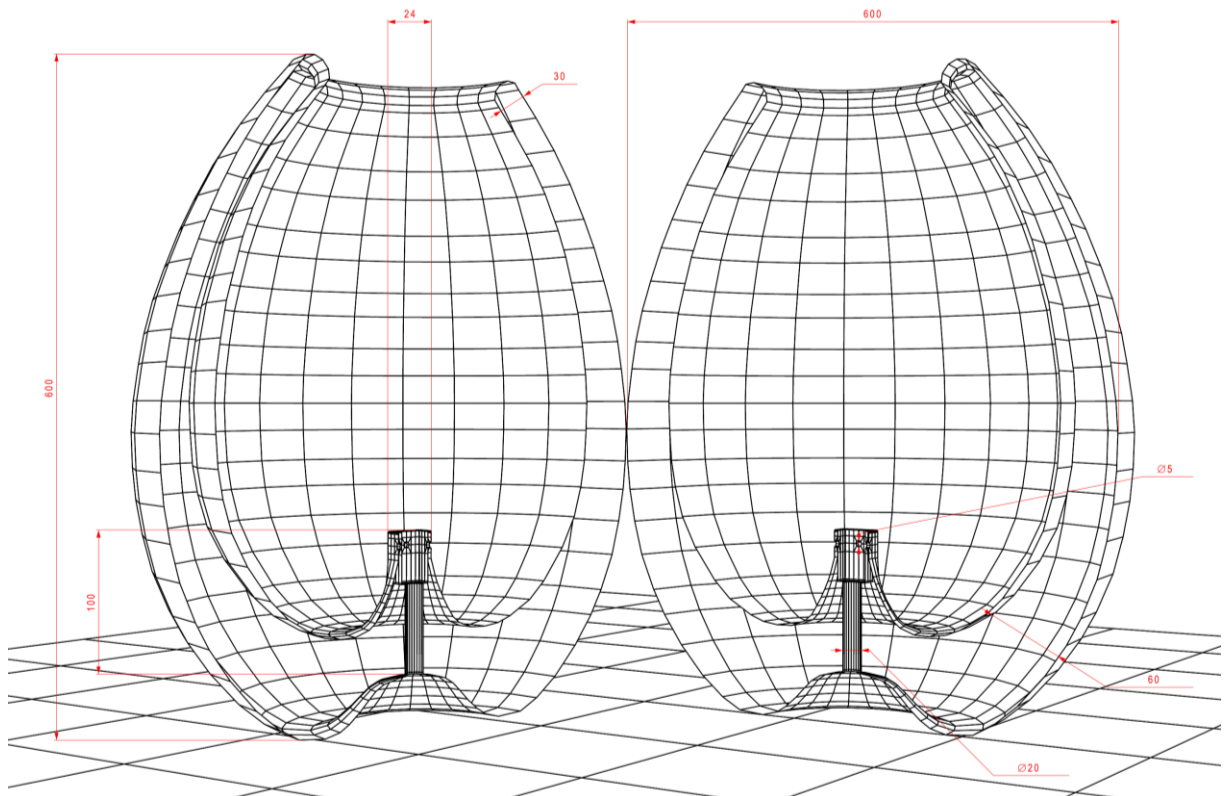
*Použitý materiál:* furanová písčitá směs s pojivovým materiálem (furan = obecně furanová pryskyřice, materiál skládající se z tzv. předkondenzátu, tj. fenol-formaldehyd-močovinové pryskyřice, rozpuštěného v čistém furfurylalkoholu. Tvrđidlem je zpravidla roztok na bázi arylsulfonové kyseliny<sup>[52]</sup>)

*Výrobce:* METOS v.o.s. oficiální zástupce společnosti ExOne GmbH

*Návrh:* prostřednictvím software Catia, Maya, Cinema 4D, Zbrush

*Osvětlení:* vyjímatelný LED segment umístěný na čtyřstěnný hranol

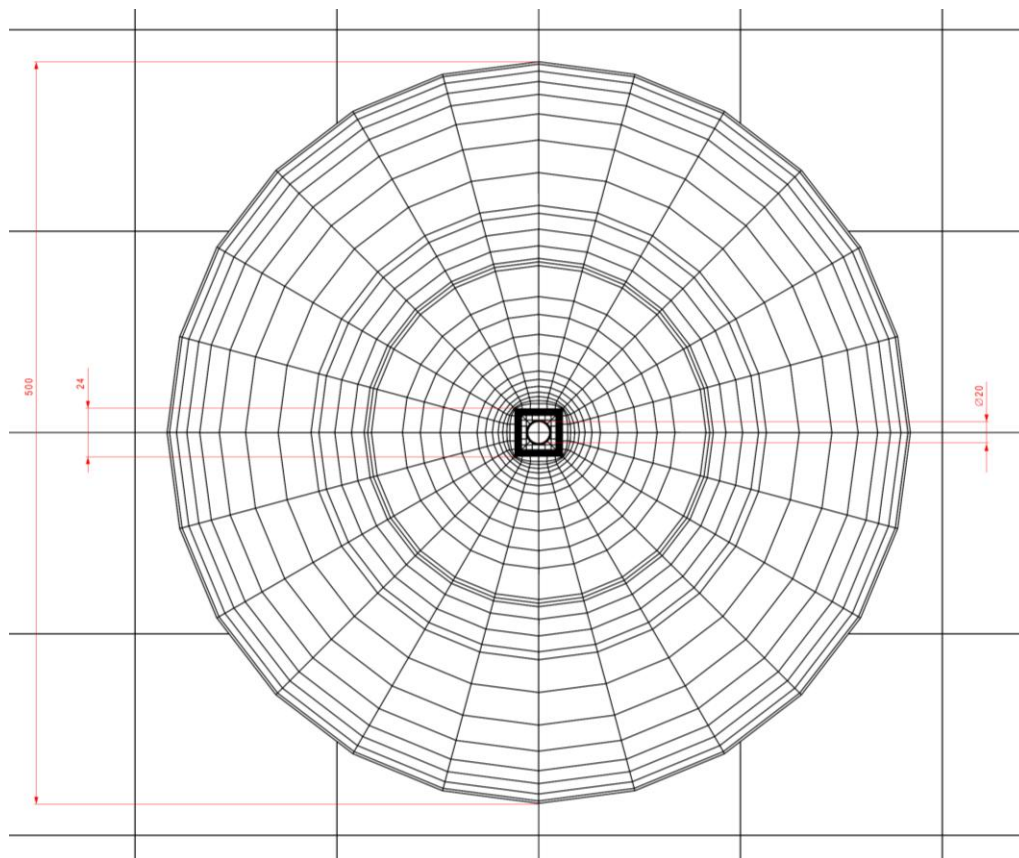
*Hmotnost:* 33,5kg



Obr. 37. Schéma řezu svítidla<sup>[54]</sup>



- Napájení:* 230 V
- Výška:* cca 600mm
- Průměr:* ve středové části cca 500mm  
u základny cca 30 mm  
otvoru v koruně cca 250mm
- Šířka stěny:* u základny 60mm, směrem ke koruně dochází k plynulému ztenčení stěny až na konečných 30mm
- Cena projektu:* včetně vývoje a samotné výroby těla, dopravy, postprocessingových úprav, vývoje a výroby osvětlovacího segmentu, kompletní elektroinstalace a závěrečného finishingu se cena svítidla vyšplhala na cca 50.000 Kč. Řada služeb byla v rámci bakalářské práce dotována oslovenými firmami jako sponzorský dar, nebo byla práce poskytnuta s výraznou slevou. Pokud by světlo vznikalo pro klasické komerční využití, byla by cena zhotovení o několik desítek tisíc vyšší.



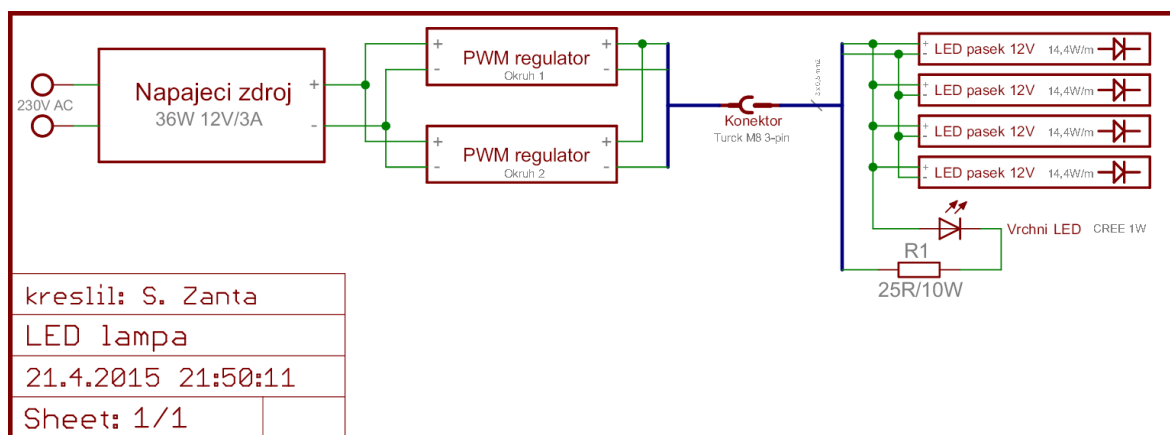
Obr. 38. Půdorys svítidla <sup>[54]</sup>

## 7.2 Technická dokumentace elektroinstalace

Světelný zdroj byl navržen a konstruován tak, aby splňoval světelnou funkčnost i podtrhl celkový design světelného objektu. Samotný zdroj se tak stává plnohodnotnou součástí lampy a nepůsobí rušivě ani v případě, že je lampa využívána jen jako statická dekorace. Napojení segmentu k patici světla bylo vyřešeno jednoduchým čidlovým M8 3Pin konektorem. Při jakékoliv závadě tak může být osvětlovací prvek nahrazen novým dílem. Při maximálním rozsvícení je výkon světelného zdroje 16 Wattů.

Samotný světelný zdroj se skládá ze čtyř ledkových pásů, které jsou uchyceny v hliníkovém křížovém těle. Hliníkové tělo slouží jednak jako nosný segment pro konstrukci led pásků, ale zároveň má funkci chladiče. Led diody umístěné na páskách patří k výkonnější řadě, která disponuje vyšší svítivostí až 6000 kelvinů. Diody zakrývá na každé straně na míru vytvořený difusor, který zajišťuje rovnoměrné rozptýlení světla a sjednocuje vzhled světelného zdroje. Světelný zdroj je opatřen regulátorem svítivosti s multifunkčním nastavením, které emituje několik módů svítivosti. Celý systém je napojen na 12V zdroj 36W. Kabeláž je vyvedena třížilovým vodičem o průměru 5mm.

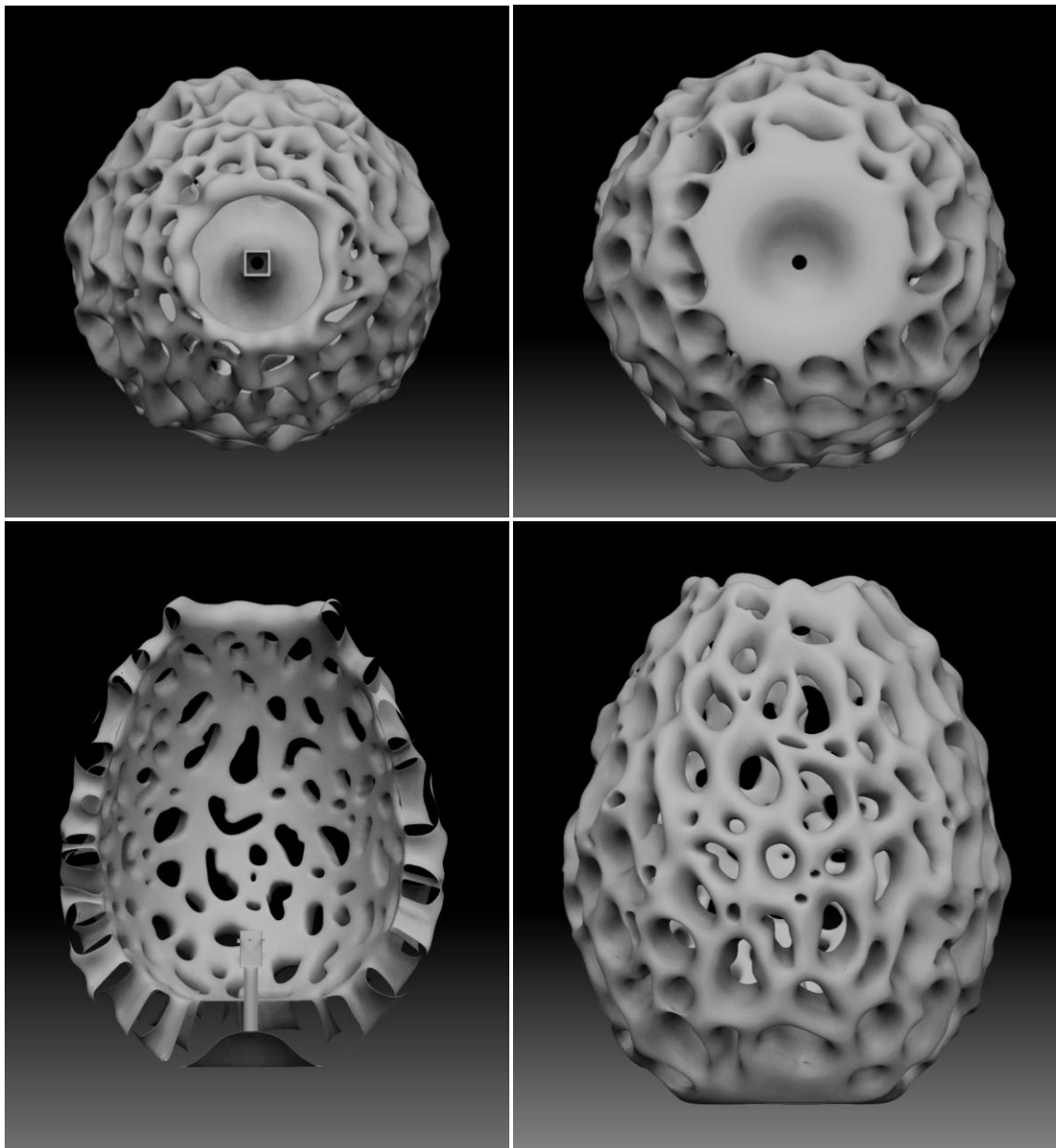
Koruna světelného zdroje je osazena jedním kusem vysoce svítivé led diody, která dominuje zakončení osvětlovacího segmentu.



Obr. 39. Schéma elektrického zapojení světelného zdroje <sup>[54]</sup>

## 8 MODEL VE ZVOLENÉM MĚŘÍTKU

Vzhledem ke složitosti konstrukce by bylo velmi obtížné zhotovit model svítidla klasickými technologiemi ve zvoleném měřítku. Klasické lití, obrábění, modelování pomocí keramické hlíny nebo prosté lepení nedovoluje vytvořit takto složitou konstrukci. Jediné modelování tak probíhalo pouze v 3D prostředí programu CATIA, MAYA, CINEMA 4D a ZBRUSH.



Obr. 40. Modelové pohledy a řez svítidlem (zleva nahoře: horní pohled, dolní pohled, vertikální řez středem a přední pohled na těleso svítidla) <sup>[54]</sup>

## 9 DOPROVODNÁ ZPRÁVA

Mojí snahou bylo vytvořit tvarově čisté, ale konstrukčně složité organické tělo, které by v sobě kombinovalo odkaz na přírodu a moderní technologické postupy, ale zároveň by bylo tak konstrukčně složité, že by bylo klasickými metodami výroby buď velmi těžce výrobitelné, ba dokonce nevyrobitelné. Zároveň jsem chtěl vytvořit kontrast a zasadit tak výše zmíněné atributy do kontextu dnešních dní – toho všeho jsem docílil použitím revoluční technologie rapid prototypingu pomocí 3D tisku.

Po kresebných studiích jsem si uvědomil, že zajímavého organického tvaru docílím jedině v 3D softwarovém prostředí. Veškerá další práce se proto orientovala na zdlouhavé zkoumání a hledání správného tvaru, vhodných proporcí a konstrukce - právě ve zmiňovaném 3D prostředí. V momentě, kdy jsem byl spokojen s designovou a ergonomickou stránkou projektu, přišla řada na výrobu.

Důležité je, uvědomit si fakt, že konkrétně v tomto případě, je zvolená technologie nová a veškerá snaha daný projekt realizovat je od počátku velice komplikovaná a časově i finančně velmi náročná. 3D tisk je z pohledu času velmi rychlý a efektivní, ale možnost výroby je omezená nedostupností zvolené technologie. Pro výrobu jsem využil své kontakty, které jsem získal z prototypové výroby, kde pracuji a kontaktoval jsem přímo společnost ExOne se sídlem v USA, která je průkopníkem 3D tisku z písku. Společnost ExOne mi sice neposkytla podrobnější informace k dané technologii, jak se také zmiňuji v kapitole 3.2.3., ale ke zhotovení světla byli nakloněni. Prostřednictvím společnosti METOS v.o.s., která sídlí v České republice a je oficiálním zástupcem společnosti ExOne GmbH, jsem začal řešit svůj projekt. Po prvotních konzultacích, na kterých byl probírán zejména vzhled a celkové provedení tisku, bylo nutné upravit finální tvar svítidla. Po doladění veškerých detailů jsem odeslal finální tvar ve formátu STEP a STL. Společnost METOS data předala do dceřiné společnosti v Německu, kde se nachází nejvhodnější technologické zázemí pro tento typ 3D tisku. Následně probíhal tisk v rozlišení 0,38mm (tedy vrstvení jednotlivých vrstev). Jako základní surovina byla zvolena furanová písčitá směs s pojivovým materiálem, což je v této oblasti 3D tisku ojedinělá matrice.

Během tisku začal vývoj a výroba světelného zdroje. Na začátku jsem experimentoval s možností, že pro optimální rozptyl světla do celého objektu bude jako světelný zdroj fungovat klasická trubicová zářivka. Po konzultaci s odborníkem jsem se rozhodl nahradit

trubicí led světelným zdrojem. Ledkový světelný zdroj byl navržen přímo na míru k tělu lampy. Zdroj byl koncipován tak, aby mohl být při jakémkoliv poruše nahrazen novým dílem. Na výrobě světelného zdroje se nemalou měrou podílel Štěpán Žanta, technický pracovník vývoje společnosti Preciosa, který zdroj dle mých požadavků zhotovil.

Po dodání vyrobeného těla nastaly na projektu dokončovací procesy. Byly opraveny některé chyby z výroby, proběhla impregnace lakem a proběhlo též kolorování celého výrobku. Kolorování bylo zvoleno z několika důvodů. Písek z tiskárny je sám o sobě velice tmavý až černý, což narušovalo celkový koncept svítidla. Dále jsem chtěl poukázat na skutečnost, že i tento druh výrobků z 3D tisku lze kolorovat a neméně podstatným důvodem bylo, že bylo nutné více znázornit organickou strukturu těla lampy.

Takto připravené tělo bylo osazeno světelným zdrojem a byly provedeny závěrečné zkoušky celkové funkčnosti.

## ZÁVĚR

Vizí bakalářské práce bylo vytvoření unikátního světelného objektu – lampy z písku, umístěné volně v prostoru, která by měla z podstaty své existence dvojí smysl. Během dne by fungovala jako statická skulptura. Byla by dekorativním prvkem interiéru, který by svojí organickou strukturou odkazoval na taje přírody a nenásilně by koexistoval s prostředím. V přítmí nebo za tmy, by organický tvar hrubozrné struktury ožíval prostřednictvím vestavěného světelného zdroje. Světelné paprsky opouštějící amorfními otvory těleso svítidla by tak tvořili ve hře stínů dokonalý propletenec.

Jsem přesvědčen, že se mi veškeré vize, které jsem si předsevzal, podařilo splnit. Vzniklo svítidlo vyrobené technologií 3D tisku – vznikl SHAPEONE.





*Obr. 41. SHAPEONE<sup>[54]</sup>*



*Obr. 42. SHAPEONE<sup>[54]</sup>*

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] Mezinárodní rok světla 2015[online]. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z:  
[http://www.roksvetla.cz/?page\\_id=29](http://www.roksvetla.cz/?page_id=29)
- [2] Ebay prostřednictvím Pinterest.com, [online]. [cit. 2015-04-21]. Dostupné z:  
<https://www.pinterest.com/pin/6262886958440495/>
- [3] Historická svítidla, [online]. ©2014 [cit. 2015-04-21]. Dostupné z:  
<http://svitidla.vm.portadesign.cz/sluzby/zakazkova-vyroba/>
- [4] Antik v Dlouhé, [online]. [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: <http://www.antik-v-dlouhe.cz/cs/praha/lampicky/chromove/219-stolni-lampa-napako-p476>
- [5] Preciosa Lighting [online]. ©2014 [cit. 2015-04-21]. Dostupné z:  
<http://preciosalighting.com/case-studies/ritz-carlton-hotel>
- [6] Lightingspain.com [online]. ©2015 [cit. 2015-04-26]. Dostupné z:  
<http://www.lightingspain.com/en/upcoming-events/item/206-euroluce-milano-italy>
- [7] Salone Milano [online]. ©2015 [cit. 2015-04-26]. Dostupné z:  
<http://salonemilano.it/en-us/EXHIBITORS/Euroluce>
- [8] Tomáš Bém [online]. ©2015 [cit. 2015-04-26]. Dostupné z:  
<http://tomasbem.com/lighting/table-lamp-trautna-lampa-lampovy-stolek/>
- [9] Lasvit [online]. ©2015 [cit. 2015-04-26]. Dostupné z:  
<http://lasvit.com/collections/design-lighting/transmission-milan--158?i=0>
- [10] MGX by Materialise [online]. [cit. 2014-12-12]. Dostupné z:  
<http://www.mgxbymaterialise.com/limited-editions/mgxmodel/detail/detail/50>
- [11] Materialise – innovators you can count on. [online]. [cit. 2014-12-12]. Dostupné z: <http://www.materialise.com/>
- [12] Autograph – Interior design [online]. ©2010 [cit. 2014-12-12]. Dostupné z:  
<https://autographinteriordesign.wordpress.com/2010/11/22/making-a-statement-with-lighting/>

- [13] The British Museum – explore [online]. [cit. 2014-12-12]. Dostupné z:  
[http://www.britishmuseum.org/explore/highlights/highlight\\_objects/pd/p/rubens,\\_fall\\_of\\_the\\_damned.aspx](http://www.britishmuseum.org/explore/highlights/highlight_objects/pd/p/rubens,_fall_of_the_damned.aspx)
- [14] MGX by Materialise [online]. [cit. 2014-12-12]. Dostupné z:  
<http://www.mgxbymaterialise.com/principal-collection/lighting/families/family/detail/detail/27>
- [15] Einrichten design [online]. [cit. 2014-12-12]. Dostupné z: <http://www.einrichten-design.de/en/quin-table-lamp-mgx.html>
- [16] Wikipedia – The Free Encyclopedia [online]. [cit. 2014-12-12]. Dostupné z:  
[http://www.wikipedia.org/wiki/Platónské\\_těleso](http://www.wikipedia.org/wiki/Platónské_těleso)
- [17] Otthon – lakberendezés [online]. ©2011 [cit. 2014-12-12]. Dostupné z:  
<http://www.otthon-lakberendezes.hu/quin-lampa.html>
- [18] Brent Solomon [online]. ©2014 [cit. 2014-12-15]. Dostupné z: <http://www.brent-solomon.com/blog/2014/4/28/out-of-hand-mad>
- [19] Nervous systém blog [online]. ©2013 [cit. 2014-12-15]. Dostupné z: <http://n-e-r-v-o-u-s.com/blog/?p=4099>
- [20] Nervous systém blog [online]. ©2013 [online]. [cit. 2014-12-12]. Dostupné z:  
<http://n-e-r-v-o-u-s.com/projects/albums/networks-inspiration/>
- [21] Instructables [online]. ©2013 [cit. 2015-02-27] Dostupné z:  
<http://www.instructables.com/id/3D-printed-lamps-by-Samuel-Bernier-Project-RE/>
- [22] Studio Luminaire [online]. [cit. 2015-02-27] Dostupné z:  
[https://www.facebook.com/studioluminaire/photos\\_stream](https://www.facebook.com/studioluminaire/photos_stream)
- [23] The Shapeways blog [online]. ©2013 [cit. 2015-02-27] Dostupné z:  
<http://www.shapeways.com/blog/archives/2239-designer-spotlight-igor-knezevic.html>
- [24] The Shapeways blog [online]. ©2015 [cit. 2015-02-27] Dostupné z:  
<http://www.shapeways.com/product/GUVVFPKM7/clothoid-a-lamp?li=shop-results&optionId=1454950>

- [25] LPJacques [online]. ©2015 [cit. 2015-02-27] Dostupné z:  
<http://lpjacques.com/creation/land-lacelamps/>
- [26] Wikipedia – The Free Encyclopedia [online]. [cit. 2014-12-07]. Dostupné z:  
[http://cs.wikipedia.org/wiki/3D\\_tisk](http://cs.wikipedia.org/wiki/3D_tisk)
- [27] Google, Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography [online]. [cit. 2014-12-12]. Dostupné z:  
<https://www.google.com/patents/US4575330?dq=charles+hull&hl=cs&sa=X&ei=-w2XVNvqMYPWygOt4ILACg&ved=0CB4Q6AEwAA>
- [28] Innomia, konformní chlazení [online]. ©2012 [cit. 2014-11-18]. Dostupné z:  
[www.innomia.cz/sluzby/konformni-chlazení](http://www.innomia.cz/sluzby/konformni-chlazení)
- [29] Innomia, konformní chlazení [online]. ©2012 [online]. [cit. 2014-11-18].  
Dostupné z: <http://www.innomia.cz/files/gallery/konformni-chlazení-forem/konformni-chlazení-4.png>
- [30] 3D tisk, Opel používá 3D tisk pro výrobu montážních přípravků [online]. ©2014 [cit. 2014-11-18]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/opel-pouziva-3d-tisk-pro-vyrobu-montaznich-pripravku/>
- [31] Mašín I. A kolektiv: Přehled technik využívaných při Rapid Prototyping, učební text, Technická univerzita v Liberci, fakulta strojní, katedra výrobních systémů, Liberec 2012
- [32] Sekera V.: Výroba dílů technologií DMLS a jejich porovnání s jinými konvenčními technologiemi z hlediska ekonomické náročnosti, Diplomová práce, Vysoké učení technické v Brně, Brno 2011
- [33] CHUA, C.K, Rapid Prototyping: Principles and applications, 2nd ed. Hackensack: World Scientific, 2005, 420 s. ISBN 981-238-120-1
- [34] [online]. [cit. 2014-12-05]. Dostupné z: [http://www.vg-kunst.de/cms/upload/bildergalerie/Schema\\_E\\_SL.jpg](http://www.vg-kunst.de/cms/upload/bildergalerie/Schema_E_SL.jpg)
- [35] Vysoké učení technické v Brně, Rapid Prototyping a Reverse Engineering, Ing. Miloslav Drápela [online]. [cit. 2014-12-07]. Dostupné z:  
[http://old.uk.fme.vutbr.cz/kestazeni/ZRI/RP\\_06\\_1.pdf](http://old.uk.fme.vutbr.cz/kestazeni/ZRI/RP_06_1.pdf)

- [36] Materialise – innovators you can count on. [online]. [cit. 2014-12-12]. Dostupné z: <http://manufacturing.materialise.com/mammoth-stereolithography>
- [37] Wikipedia – The Free Encyclopedia [online]. [cit. 2014-12-19]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Direct\\_metal\\_laser\\_sintering#Materials](http://en.wikipedia.org/wiki/Direct_metal_laser_sintering#Materials)
- [38] Journal of Asian Ceramic Societies, Volume 1, Issue 4, December 2013, Pages 315–321, Laser sintering of ceramics, Bin Qian, Zhijian Shen [online]. [cit. 2014-12-12]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2187076413000584>
- [39] [online]. [cit. 2014-12-12]. Dostupné z: <http://robo.hyperlink.cz/rapid/main06.html>
- [40] 3D material technologies, 3D printing [online]. ©2013 [cit. 2014-12-05]. Dostupné z: <http://www.3dmaterialtech.com/3dprintfdm.html>
- [41] Sculpteo/blog, Material Considerations: choose the right Plastic production method – part 1 [online]. ©2014 [cit. 2014-12-05]. Dostupné z: <http://www.sculpteo.com/blog/2014/05/13/right-plastic-production-method/>
- [42] České Vysoké Učení technické, učební text [online]. [cit. 2014-11-27]. Dostupné z: <http://cyber.felk.cvut.cz/gerstner/biolab/zbk/Neuron&Smysly.doc>
- [43] Wikipedia – The Free Encyclopedia [online]. [cit. 2014-11-27]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Zlat%C3%BD\\_%C5%99ez](http://cs.wikipedia.org/wiki/Zlat%C3%BD_%C5%99ez)
- [44] Týden, rubrika Věda a my – Estetika čísel [online]. ©2010 [cit. 2014-11-27]. Dostupné z: [http://www.tyden.cz/rubriky/veda/veda-a-my/video-krasa-prirody-seridi-matematickymi-pravidly\\_183919.html#.VHdoUckiUqw](http://www.tyden.cz/rubriky/veda/veda-a-my/video-krasa-prirody-seridi-matematickymi-pravidly_183919.html#.VHdoUckiUqw)
- [45] Wikipedia – The Free Encyclopedia [online]. [cit. 2014-11-27]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/P%C5%99%C3%ADroda>
- [46] Photopictura, Makroarchitekti [online]. ©2011 [cit. 2014-11-27]. Dostupné z: <http://www.photopictura.cz/katalog-druhu/makro-architekti/#img-3294-a-jpg>
- [47] Photopictura, Makroarchitekti [online]. ©2011 [cit. 2014-11-27]. Dostupné z: <http://www.photopictura.cz/katalog-druhu/makro-architekti/#img-7949-a-jpg>



- [48] Vlasta Štamfestová, [online]. ©2010 [cit. 2014-11-27]. Dostupné z:  
<http://www.stamfestova.xf.cz/statement.html>
- [49] [online]. [cit. 2014-11-27]. Dostupné z:  
<http://remf.dartmouth.edu/images/botanicalPollenSEM/source/12.html>
- [50] [online]. [cit. 2014-11-27]. Dostupné z:  
<http://soundprint.org/getImage/ID/162/HPV.jpg>
- [51] Česká mykologická společnost, Pezizales [online]. [cit. 2015-02-27]. Dostupné z:  
[http://www.nasehouby.cz/houby/taxon\\_list.php?taxon=order&key=Pezizales](http://www.nasehouby.cz/houby/taxon_list.php?taxon=order&key=Pezizales)
- [52] SMOTLACHA, Miroslav. *Kapesní atlas hub*. Praha : Ottovo Nakladatelství, 2008. Dále jen Smotlacha (2008). ISBN 978-80-7360-671-8. S. 54.
- [53] Wikipedia – The Free Encyclopedia [online]. [cit. 2015-02-27]. Dostupné z:  
[http://cs.wikipedia.org/wiki/Smr%C5%BE\\_obecn%C3%BD](http://cs.wikipedia.org/wiki/Smr%C5%BE_obecn%C3%BD)
- [54] foto autor
- [55] Wikipedia – The Free Encyclopedia [online]. [cit. 2015-04-15]. Dostupné z:  
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Ergonomie>
- [56] Enving, s.r.o. Výroba forem a jader z furanových samotuhnoucích směsí z hlediska vivu na životní prostředí a hygienu práce [online]. ©1999 [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/download/furany.pdf>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

3D	Trojdimenzionální, v souvislosti s tiskem chápáno jako tisk prostorového předmětu.
µm	Mikrometry – délková jednotka.
.stl	Formát využívaný CAD softwarem pro 3D tiskáry.
ABS plast	Akrylonitrilbutadienstyren – termoplastický kopolymer využívaný převážně při výrobě nábytku, 3D tisku a zakončení hran laminodřevotřískových desek.
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Oxid hlinitý.
BASS	Označení patentovaného přípravku pro odsranění podpor.
CAD	Computer aided design – označení počítačem podporovaného 3D projektování.
CNC	Computer Numeric Control – číslicové řízení výroby počítačem, nejběžněji u obráběcích strojů.
CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý – plyn, součást atmosféry.
DMLS	Direct Metal Laser Sintering – metoda 3D tisku s využitím kovového prášku zapékaného laserovým zdrojem.
FDM	Fused deposition modeling - - metoda 3D tisku využívající k tisku natavování termoplastu.
Gn	Genesis - též První kniha Mojžíšova. První kniha židovské i křesťanské bible.
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Oxid Lantanitý.
LED	Light-Emitting Diode – polovodičová elektronická součástka, jejíž vlastností je schopnost vyzařovat světlo.
LOM	Laminated object manufacturing - metoda 3D tisku využívající k tisku vrstvení materiálu ve formě folie.
MAD	Museum of Arts and Design New York.
Mm	Milimetry – délková jednotka.
OSN	Organizace spojených národů.

---

PA 2200	Označení materiálu pro 3D tisk.
PP3DP	Personal Portable 3D Printer – označení domácí 3D tiskárny.
RP	Rapid Prototyping.
SiO <sub>2</sub>	Oxid křemičitý.
SLA	Stereolithography – metoda 3D tisku využívající k vytvrzení tekutého fotopolymeru laserový zdroj.
SLS	Selective laser sintering - metoda 3D tisku využívající k výrobě z práškové matrice laserový zdroj.
TiO <sub>2</sub>	Oxid titaničitý.
UNESCO	Organizace OSN pro výchovu, vědu a kulturu.
USA	Spojené státy Americké.
UV	Ultraviolet – ultrafialové záření. Elektromagnetické záření s vlnovou délkou kratší než má viditelné světlo.
ZrO <sub>2</sub>	Oxid zirkoničitý.

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Lampa ve stylu Art Deco <sup>[2]</sup> , secese <sup>[3]</sup> a klasicistní lampa <sup>[4]</sup> .....	12
Obr. 2. Osvětlení pro Ritz Carlton Hotel – Hong Kong <sup>[5]</sup> .....	13
Obr. 3. Osvětlení Tomáše Béma a společnosti Lasvit od studia deFORM <sup>[8, 9]</sup> .....	14
Obr. 4. Detail svítidla DAMNED.MGX studia .MGX <sup>[12]</sup> .....	15
Obr. 5. Pád Zatracených <sup>[13]</sup> .....	16
Obr. 6. Závěsné svítidlo DAMNED.MGX <sup>[12]</sup> .....	16
Obr. 7. Detail svítidla QUIN.MGX <sup>[17]</sup> .....	17
Obr. 8. Svítidlo QUIN.MGX designerky Batsheby Grossman <sup>[15]</sup> .....	18
Obr. 9. Svítidlo ze série Hypnae studia Nervous system <sup>[19]</sup> .....	19
Obr. 10. Inspirace studia Nervous systém v podobě žilnatiny listů a trav <sup>[20]</sup> .....	19
Obr. 11. Projekt RE <sup>[21]</sup> .....	20
Obr. 12. Nylonová svítidla studia Luminaire <sup>[22]</sup> .....	21
Obr. 13. Nylonové svítidlo studia Alienology Clothoid A <sup>[24]</sup> .....	22
Obr. 14. Kolekce svítidel od Linlin a Pierre-Yves Jacques (LPJacques) <sup>[25]</sup> .....	23
Obr. 15. Starší Kolekce svítidel od LPJacques <sup>[25]</sup> .....	23
Obr. 16. Původní Hullův patent podaný v USA <sup>[27]</sup> .....	24
Obr. 17. Průřez konformně chlazenou formou vyrobenou metodou DMLS <sup>[29]</sup> .....	25
Obr. 18. Rozdělení metod RP z hlediska použité matrice <sup>[32,33]</sup> .....	27
Obr. 19. Schéma metody SLA – RP z tekuté matrice <sup>[34]</sup> .....	28
Obr. 20. Prototypový díl vozu Citroën s podporami podepírající celou konstrukci <sup>[36]</sup> .....	28
Obr. 21. Schéma metody SLS – RP z práškové matrice <sup>[34]</sup> .....	30
Obr. 22. Proces slinování granulátu oxidu hlinitého v krátkém časovém intervalu <sup>[38]</sup> .....	31
Obr. 23. Schéma metody FDM – RP z pevné matrice <sup>[40,41]</sup> .....	33
Obr. 24. Vizualizace semen slunečnice respektujících Fibonacciho posloupnost <sup>[44]</sup> .....	35
Obr. 25. Vizualizace ulity hlavonožce z čeledi Nautilidae respektující Fibonacciho posloupnost <sup>[44]</sup> .....	36
Obr. 26. Makrosnímky larev a kokonů malých živočichů <sup>[46, 47]</sup> .....	36
Obr. 27. Mix různých pylových zrn pod elektronovým mikroskopem <sup>[49]</sup> .....	37
Obr. 28. Lidský papilomavirus způsobující bradavice na rukou a chodidlech <sup>[50]</sup> .....	37
Obr. 29. Morchella esculenta a Morchella conica <sup>[51]</sup> .....	38
Obr. 30. Základní kresebné návrhy <sup>[54]</sup> .....	39

<i>Obr. 31. Základní kresebný návrh (řez svítidlem a navrhované rozměry) <sup>[54]</sup></i> .....	40
<i>Obr. 32. projektování svítidla v 3D prostředí – různé návrhy designu stěny <sup>[54]</sup></i> .....	40
<i>Obr. 33. projektování svítidla v 3D prostředí – různé návrhy designu tvaru <sup>[54]</sup></i> .....	41
<i>Obr. 34. Finální tvar svítidla (zleva nahoře: horní pohled, dolní pohled, přední a zadní pohled na těleso svítidla <sup>[54]</sup></i> .....	43
<i>Obr. 35. Finální tvar svítidla <sup>[54]</sup></i> .....	44
<i>Obr. 36. Ergonomie svítidla <sup>[54]</sup></i> .....	45
<i>Obr. 37. Schéma řezu svítidla <sup>[54]</sup></i> .....	46
<i>Obr. 38. půdorys svítidla <sup>[54]</sup></i> .....	47
<i>Obr. 39. Schéma elektrického zapojení světelného zdroje <sup>[54]</sup></i> .....	48
<i>Obr. 40. Modelové pohledy a řez svítidlem (zleva nahoře: horní pohled, dolní pohled, vertikální řez středem a přední pohled na těleso svítidla) <sup>[54]</sup></i> .....	49
<i>Obr. 41. SHAPEONE <sup>[54]</sup></i> .....	53
<i>Obr. 42. SHAPEONE <sup>[54]</sup></i> .....	54