

Design interiérového svítidla

BcA. Simona Janků

Diplomová práce
2018



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta multimediálních komunikací

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta multimediálních komunikací

Ateliér Průmyslový design

akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **BcA. Simona Janků**
Osobní číslo: **K16286**
Studijní program: **N8206 Výtvarná umění**
Studijní obor: **Multimédia a design – Průmyslový design**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Design interiérového svítidla**

Zásady pro vypracování:

1. Historický vývoj interiérových svítidel
2. Analýza současné produkce
3. Výzkumná část
4. Počáteční kresebné variantní návrhy
5. Vizualizace finálního designérského řešení
6. Ergonomická studie
7. Technická dokumentace
8. Prototyp finálního designérského řešení
9. Vypracování písemné doprovodné zprávy zahrnující všechny etapy práce

Na samostatném nosiči CD-ROM 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 mail, osobní web, telefon. Přiložte svou osobní fotografii v tiskovém rozlišení.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/umělecké dílo**

Seznam odborné literatury:

DILAURA L. DAVID, Kevin W. HOUSER, Richard G. MISTRICK a Gary R. STEFFY.
The Lighting Handbook: Reference and Application. 10th edition. New York:
Illuminating Engineering Society of North America, 2011. ISBN 978-0-87995-241-9.

**KOLESÁR, Zdeno. Kapitoly z dějin designu. V Praze: Vysoká škola
umělecko-průmyslová, 2004. ISBN 80-86863-03-4.**

**CHMÚRNY, Ivan, Peter TOMAŠOVIČ a Jozef HRAŠKA. Fyzika vnútorného prostredia
budov: vybrané kapitoly základov tepelnej ochrany budov, stavebnej akustiky,
denného osvetlenia a insolácie budov. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2013,
394 s. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3917-7.**

**HABEL, Jiří. Světlo a osvětlování. Praha: FCC Public, 2013, 622 s.
ISBN 978-80-86534-21-3.**

**Creative product design: lamps, shelves & cabinets, tables & chairs,
kitchenware & containers, tools. Hong Kong: SendPoints, 2014, 393 s.
ISBN 978-988-16835-3-3.**

**LUCE, Gay Gaer. Body time: physiological rhythms and social stress. New York:
Bantam Books, 1973. 411 s.**

Vedoucí diplomové práce: **MgA. Martin Surman, ArtD.**
Ateliér Průmyslový design

Datum zadání diplomové práce: **15. prosince 2017**

Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2018**

Ve Zlíně dne 15. prosince 2017

doc. Mgr. Irena Armutidisová
děkanka




MgA. Martin Surman, ArtD.
vedoucí ateliéru

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 ¹⁾;
- 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 ²⁾;
- podle § 60 ³⁾ 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 ³⁾ 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. 4. 18

SIMONA JANKŮ 
.....
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 nevýdělečně zveřejňuje bakalářské, diplomové, disertační 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. Vysoká škola disertační práce nezveřejňuje, byla-li již zveřejněna jiným způsobem.

(2) Bakalářské, diplomové, disertační a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlédnutí 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.

(4) Vysoká škola může odložit zveřejnění bakalářské, diplomové, disertační a rigorózní práce nebo jejich částí, a to po dobu trvání překážky pro zveřejnění, nejdéle však na dobu 3 let. Informace o odložení zveřejnění musí být spolu s odůvodněním zveřejněna na stejném místě, kde jsou zveřejňovány bakalářské, diplomové, disertační a rigorózní práce, již se týká odklad zveřejnění podle věty první, jeden výtisk práce k uchování ministerstvu

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 vnitřní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího 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 nahrazení 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 výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem svítidla opatřeného inovativní technologií automatické změny jasu a chromatičnosti v závislosti na denní době, která respektuje lidský biorytmus a nenarušuje proces tvorby melatoninu.

Teoretická část se věnuje problematice osvětlování a vlivu světla na lidský organismus. Po vysvětlení základních technických pojmů a norem následuje přehled historie světelných zdrojů až po současnou produkci, kapitola věnovaná vlivu světla na člověka, dále popis použité technologie a možnosti výroby.

Praktická část popisuje můj postup při navrhování svítidla od prvních skic až po finální designérské řešení včetně rozměrových náčrtů. Zabývám se zde také výrobou prototypu.

Klíčová slova: Svítidlo; osvětlení; změna jasu, změna chromatičnosti, biorytmy, LED, interiér, hliník, plexisklo

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the design of a luminaire equipped with innovative technology of automatic change of brightness and color temperature depending on the time of day, which respects the human biorhythm and does not disturb the process of melatonin production.

The theoretical part describes illumination basics and the influence of light on the human organism. After explaining the basic technical concepts and standards, the history of light sources follows up to the present production, then there is a chapter devoted to the influence of light on humans and a description of used technology and production possibilities.

The practical part describes my approach to designing the luminaire from the first sketches to the final design solution including dimensional sketches. Prototype production is also described there.

Keywords: Luminaire; lighting; brightness change, color temperature change, biorhythms, LEDs, interior, aluminum, plexiglass

Chtěla bych poděkovat:

- svému vedoucímu diplomové práce MgA. Martinu Surmanovi, ArtD. za odborné rady ohledně mé diplomové práce i v průběhu celého studia,
- Ing. Liboru Kuželovi ze společnosti Mauna Kea za odborné konzultace, cenné technické rady, možnost spolupracovat s inovativní firmou, pomoc při výrobě prototypu i za trpělivost při naší extenzivní emailové komunikaci,
- a mé rodině a dlouholetému příteli za podporu při tvorbě této práce.

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

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	9
1 OSVĚTLENÍ	10
1.1 DRUHY OSVĚTLENÍ.....	10
1.1.1 Přirozené osvětlení.....	10
1.1.2 Umělé osvětlení.....	10
1.2 DEFINOVÁNÍ ODBORNÝCH POJMŮ VE VZTAHU K OSVĚTLENÍ.....	10
1.2.1 Světelný zdroj.....	10
1.2.2 Světelný tok.....	11
1.2.3 Svítivost.....	11
1.2.4 Intenzita osvětlení.....	11
1.2.5 Měrný výkon.....	11
1.2.6 Teplota chromatičnosti.....	12
1.2.7 Elektromagnetické spektrum.....	12
1.2.7.1 Aditivní míchání barev.....	13
1.2.7.2 Světelná spektra zdrojů záření.....	14
1.3 LEGISLATIVNÍ NORMY PRO OSVĚTLENÍ ŠKOLNÍCH TŘÍD.....	15
2 VLIV SVĚTLA NA LIDSKÝ ORGANISMUS	16
2.1.1 Vnímání světla.....	16
2.1.2 Přirozené světelné podmínky v průběhu dne.....	16
2.1.3 Cirkadiánní rytmus.....	17
3 PŘEHLED ZDROJŮ OSVĚTLENÍ	19
3.1 HISTORICKÉ POČÁTKY OSVĚTLENÍ.....	19
3.2 ELEKTRICKÉ ZDROJE OSVĚTLENÍ.....	19
3.2.1 Oblouková lampa.....	20
3.2.2 Žárovka.....	20
3.2.2.1 Halogenová žárovka.....	21
3.2.3 Výbojka.....	21
3.2.3.1 Zářivka.....	22
3.2.4 LED.....	22
3.2.5 OLED.....	23
4 LED-FILAMENT TECHNOLOGIE	24
4.1 LED ZDROJE A OVLÁDACÍ ELEKTRONIKA.....	26
5 SOUČASNÁ PRODUKCE	27
5.1 PŘISAZENÉ ZÁŘIVKOVÉ SVÍTIDLO.....	27
5.2 ZUMTOBEL.....	27
5.3 SEC LIGHTING.....	28
5.4 ARTEMIDE.....	28
5.5 IGUZZINI.....	29
5.6 A-LIGHT.....	29
5.7 ACUITY BRANDS.....	30
6 TECHNOLOGIE VÝROBY	31
6.1 KOVOVÉ SOUČÁSTI.....	31
6.1.1 Litý hliník.....	31
6.1.2 Ohýbaný plech.....	31

6.1.3	Svařování.....	32
6.1.3.1	Tavné svařování.....	32
6.1.3.2	Tlakové svařování.....	32
6.2	PLASTOVÉ SOUČÁSTI.....	32
6.2.1	Polymethylmethakrylát (PMMA).....	32
6.2.2	Polykarbonát.....	32
6.2.3	Mikroprizma.....	33
II	PRAKTICKÁ ČÁST	34
7	ZADÁNÍ	35
7.1	CÍLOVÉ UMÍSTĚNÍ.....	35
8	VARIANTNÍ NÁVRHY DESIGNU	36
8.1	TVAROSLOVÍ.....	36
8.2	SVÍTIDLA S ODVĚTRÁVACÍMI DRÁŽKAMI.....	36
8.3	ORGANICKÝ TVAR.....	38
8.4	ZKOSENÍ OKRAJŮ.....	40
9	VÝVOJ TECHNICKÝCH DETAILŮ	41
9.1	ZMĚNA VÝCHOZÍHO MATERIÁLU A VNITŘNÍ STRUKTURA	41
9.2	ŘEŠENÍ ZAVĚŠENÍ.....	42
9.3	POUŽITÍ TENKÉHO PLECHU	43
9.4	NOVÉ TVAROVÉ VARIANTY	44
9.5	UPEVNĚNÍ DIFUZORU.....	45
9.6	DROBNÉ ZMĚNY RADIUSŮ A ÚHLŮ.....	47
9.7	SNÍŽENÍ VÝŠKY SVÍTIDLA	48
9.8	PAPÍROVÝ MODEL.....	48
9.9	CENTRÁLNÍ A SPOJOVANÉ VARIANTY	49
10	FINÁLNÍ DESIGNÉRSKÉ ŘEŠENÍ	50
10.1	SOLACERA UNA	50
10.2	FINÁLNÍ TVAR	50
10.2.1	Barevné varianty	51
10.2.2	Kovové části.....	52
10.2.3	Difuzor	52
10.2.4	Instalace svítidla.....	53
10.3	VIZUALIZACE SVÍTIDEL V INTERIÉRU	54
10.4	ERGONOMICKÉ PROPORCE.....	55
10.5	TECHNICKÁ DOKUMENTACE.....	56
11	VÝROBA PROTOTYPU.....	58
11.1	VÝROBA KOVOVÝCH ČÁSTÍ.....	58
11.2	ELEKTRONIKA A LED	58
11.3	VÝROBA DIFUZORU	58
	ZÁVĚR	59
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	60
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	63
	SEZNAM OBRÁZKŮ	64

ÚVOD

Projekt designu svítidel respektujících lidský biorytmus nám byl v rámci ateliéru nabídnut jako jeden z mnoha projektů, na kterých jsme mohli pracovat, a mě zaujal hned z několika důvodů.

Prvním bylo to, že už dlouhou dobu jsem se chtěla zabývat návrhem interiérového svítidla, ale dlouho se mi pro to nenaskytla vhodná příležitost, aniž by to byl jen takový návrh do šuplíku. Svítidlo mi přišlo jako vhodné téma diplomové práce, protože se jím dá komplexněji zabývat např. i z pohledu vlivu osvětlení na člověka.

Druhým důvodem byla použitá technologie automatické regulace jasu a chromatičnosti, což bylo něco úplně nového. Ano, znala jsem světla, kde lze měnit tyto parametry, a sama je doma používám, ale jako většina lidí jsem si po čase našla jedno oblíbené nastavení a tím využívání těchto pokročilých funkcí pro mě skončilo (protože kdo to má furt přepínat). Automatizace změn jasu a chromatičnosti podle potřeby a navíc tak, aby to odpovídalo přirozenému slunečnímu svitu, řeší právě tento problém a já ji považuji za skutečně inovativní přístup.

Posledním, ale neméně důležitým důvodem byla přímá spolupráce s firmou, čehož si velmi cením, protože jakákoliv praxe během studia nejen že přinese spoustu cenných zkušeností, ale je i velmi vyhledávaná při vstupu na pracovní trh.

V teoretické části této práce shrnuji důležité nabyté vědomosti, které jsem využila v části praktické, kde popisuji samotný postup návrhu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 OSVĚTLENÍ

Člověk poznává okolní svět pomocí smyslů. Tím nejdůležitějším je zrak, kterým vnímáme přibližně 80 % veškerých informací. Nároky na správné osvětlení se stále zvyšují, ať jde o požadavky na pracovní prostředí, snížení energetické náročnosti, snížení únavy očí popřípadě zvýšení komfortu. (1) (2)

1.1 Druhy osvětlení

Osvětlení lze rozdělit na tři druhy: osvětlení přirozené, umělé a kombinované.

1.1.1 Přirozené osvětlení

Na sluneční svit se během milionů let adaptovala většina živých tvorů včetně člověka. Sluneční energie má nespornou výhodu – je zdarma. Není ovšem k dispozici vždy a intenzita i chromatičnost během dne často radikálně kolísá, což našemu životnímu stylu nemusí vyhovovat. (1) (2)

1.1.2 Umělé osvětlení

Nekonzistence slunečního záření dala vzniknout světlu umělému. To svítí stále stejnou intenzitou a kdykoliv jej potřebujeme. Dnes je člověk vystaven umělému osvětlení více než přirozenému slunečnímu svitu, proto jsou kvalitativní požadavky na umělé osvětlení čím dál vyšší. (2)

1.2 Definování odborných pojmů ve vztahu k osvětlení

Pro pochopení složité problematiky interiérového osvětlení je třeba si ujasnit základní odborné pojmy vážící se k tomuto tématu.

1.2.1 Světelný zdroj

Světelný zdroj je zdroj elektromagnetického záření ve viditelné části spektra. Původ záření se může různit, ať už je to přirozený sluneční svit, oheň nebo světlo generuje průchod elektrického proudu. (3)

1.2.2 Světelný tok

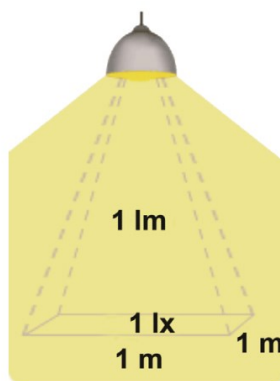
Světelný tok je veličina, která nám říká, kolik zdroj vyzáří světelné energie do všech směrů za jednu vteřinu. Jednotkou světelného toku je 1 lumen (lm). Hodnoty světelného toku se u klasické 25 W žárovky pohybují okolo 200 lm, 100 W žárovka vydá až 1500 lm. (1) (4)

1.2.3 Svítivost

U reflektorových zdrojů se spíše než světelný tok používá k určení intenzity světla svítivost. Tato veličina určuje, kolik světelného toku vyzáří světelný zdroj v určitém konkrétním úhlu. Jednotkou svítivosti je 1 kandela (cd). (1) (5)

1.2.4 Intenzita osvětlení

Intenzita osvětlení (nebo také osvětlenost) je veličina, která udává, kolik světelného toku dopadá na plochu o obsahu 1 m^2 . Jednotkou intenzity osvětlení je 1 lux (lx), a platí, že $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm}/1 \text{ m}^2$. Doporučené hodnoty intenzity osvětlení se pohybují kolem 150 lx v místnostech, kde osvětlení slouží spíše k orientaci v prostoru – patří sem chodby, koupelny nebo ložnice. Pro učebny, kanceláře nebo čítárny se doporučuje 250 – 500 lx, místnosti určené k montáži elektroniky a drobných součástek vyžadují 1000 – 1500 lx a například pro hodinářskou práci je třeba pořídit svítidlo o intenzitě 2000 lx. (6) (4)



Obr. 1: Schéma výpočtu intenzity osvětlení

1.2.5 Měrný výkon

U elektrických zdrojů osvětlení spotřebitele zajímá, jak velké množství dodané energie je zdroj schopen přeměnit na viditelné záření. Měrný výkon (také označovaný jako světelná účinnost zdroje) udává hodnotu světelného toku získanou z jednoho wattu energie. Jednotkou je lm/W . (1) (7)

1.2.6 Teplota chromatičnosti

Teplota chromatičnosti je fyzikální veličina, která charakterizuje barvu záření vydávaného zahříváním tělesem. Jednotkou teploty chromatičnosti je 1 K (Kelvin). Pokud bychom vzali ideální těleso černé barvy a zahřívali ho na dostatečně vysokou teplotu (udávanou v Kelvinech), bude jeho barva přecházet z červené přes žlutou a bílou až k modré.



Obr. 2: Barevná škála teploty chromatičnosti

V oblasti svítidel se používají zavedené názvy označující různé rozsahy hodnot chromatičnosti, aby byla tato problematika pro běžné zákazníky srozumitelná.

Teplá bílá (2800 – 3300 K) – světelný zdroj žlutého až oranžového odstínu, na člověka působí uklidňujícím, příjemným dojmem.

Neutrální/denní bílá (4300 – 4700 K) – zdroj světla bílé až jemně nažloutlé barvy, pocitově neutrální.

Studená bílá (5000 – 6000 K) – vyzařuje světlo namodralé barvy, které člověka vybuzuje k aktivitě a utlumuje pocity únavy.

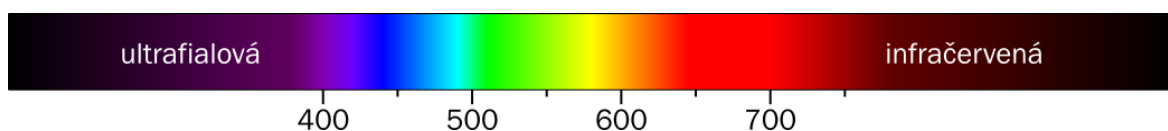
Lidský zrak je schopen na základě zkušeností barevnou teplotu přizpůsobovat světelným podmínkám, proto se nám bílý papír jeví jako bílý, i když je osvětlen zdrojem např. žlutého světla. (8) (9) (10)

1.2.7 Elektromagnetické spektrum

Světlo z pohledu fyziky vnímáme dvěma způsoby. Prvním je světlo jako proud fotonů, ten umožňuje určovat rychlost šíření světla. Druhý pohled považuje světlo za elektromagnetické vlnění, kdy hodnota vlnové délky určuje, jakou barvu lidské oko vnímá.

Záření vlnové délky kratší než 380 nm je lidským okem neviditelné a nazývá se ultrafialové. Část elektromagnetického spektra o vlnových délkách od 380 nm do 740 nm se označuje jako světelné spektrum a obsahuje barvy vnímané lidským okem. První okem pozorovatelná barva je fialová a barvy dál plynule přecházejí přes modrou, zelenou, žlutou až k červené. Záření o vlnové délce vyšší než 740 nm označujeme jako infračervené.

Barva	Vlnová délka
Fialová	380 – 430 nm
Modrá	430 – 500 nm
Azurová	500 – 520 nm
Zelená	520 – 565 nm
Žlutá	565 – 590 nm
Oranžová	590 – 625 nm
Červená	625 – 740 nm

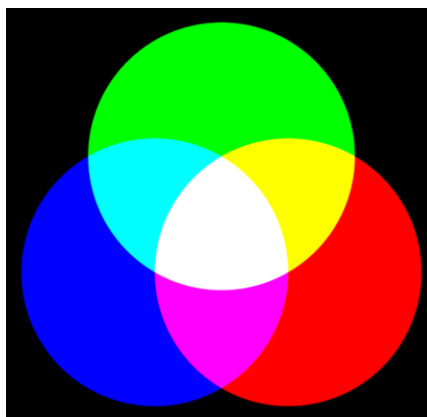


Obr. 3: Elektromagnetické spektrum

Barvy obsažené ve světelném spektru se nazývají spektrální. Existují také barvy nespektrální – jedná se o barvy purpurové, které vznikají mícháním okrajových barev viditelného spektra (fialové a červené). (1) (11) (12)

1.2.7.1 Aditivní míchání barev

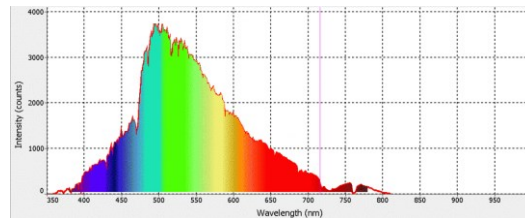
Kombinací různě barevných světel dochází k tzv. aditivnímu (sčítacímu) míchání. Pokud zkombinujeme primární barvy světelného spektra – červenou, zelenou a modrou, získáme bílé světlo. Kombinací vždy dvou z těchto barev získáme barvy doplňkové (sekundární) – zelená s červenou vytvoří žluté světlo, z červené s modrou vzniká purpurová a modrá se zelenou tvoří azurovou. Spojení dvou doplňkových barev (např. azurové a žluté) je dalším způsobem, jak vytvořit světlo bílé. (1) (13)



Obr. 4: Aditivní míchání barev

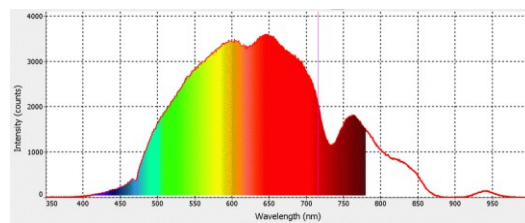
1.2.7.2 Světelná spektra zdrojů záření

Spektrum slunečního světla se označuje jako spektrum spojité, protože jsou v něm obsaženy všechny vlnové délky (a tedy všechny barevné odstíny). Při dopadu světla např. na žlutý objekt dojde k pohlcení modré části spektra a odražené světlo vnímáme jako žluté. (14)



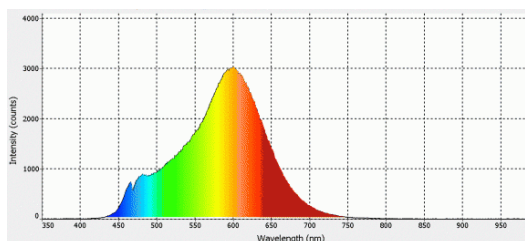
Obr. 5: Spektrum slunečního světla

Spojité spektrum má i klasická žárovka, která ovšem vyzařuje větší množství světla ve žluté až červené oblasti. (14) (15)



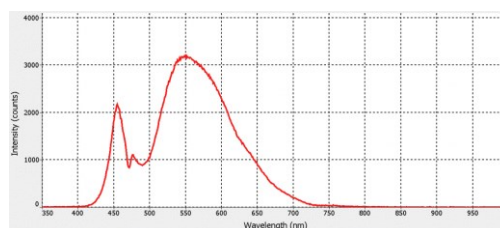
Obr. 6: Spektrum klasické žárovky

LED-čipy společnosti LED-filament se blíží spektru slunečního záření, ale podobně jako žárovky vyzařují více žlutého světla. (15)



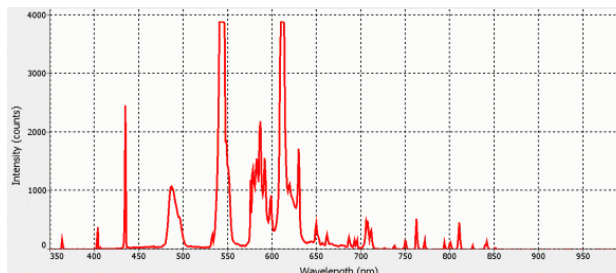
Obr. 7: Spektrum žárovky LED-filament

V porovnání s cca 10 let starými LED zdroji mají potlačený zub na začátku viditelného spektra, čímž jsou vnímány jako příjemnější. (15)



Obr. 8: Spektrum dříve vyráběných LED

Kompaktní zářivka je ukázkovým příkladem nespojitého světelného spektra, které je složeno z oddělených vlnových délek jednotlivých barev, přičemž všechny barvy nejsou obsaženy a proto takové osvětlení zkresluje naše vnímání barev v prostoru. (14) (15)

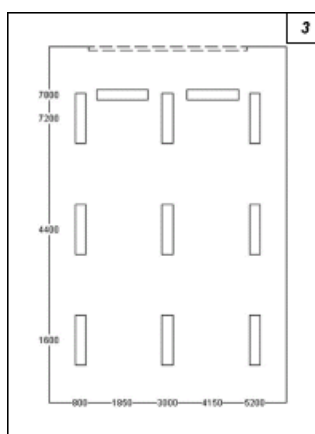


Obr. 9: Úsporná kompaktní zářivka

1.3 Legislativní normy pro osvětlení školních tříd

Protože do cílové skupiny potenciálních zákazníků patří i školy, bylo třeba seznámit se s legislativními normami vztahujícími se k této problematice. Umělé osvětlení tříd řeší technická norma ČSN 12464-1 a 410/2005 Sb. – Vyhláška o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých. Zde uvádím výběr podmínek vztahujících se k mému projektu:

- Předepsaná osvětlenost lavic, katedry a tabule 500 lx
- Hodnota oslnění žáků nesmí přesáhnout hodnotu 19 na stupnici indexu oslnění (UGR_L)
- Možnost regulace osvětlení
- Zamezení jakýmkoli zrcadlovým odrazům
- Lavice musí být osvětleny zleva a shora
- Svítidla se mají umístit rovnoběžně s okenní stěnou (16) (17)



Obr. 10: Vhodné půdorysné rozmístění osvětlení v učebně

2 VLIV SVĚTLA NA LIDSKÝ ORGANISMUS

2.1.1 Vnímání světla

Zrak a s ním vnímání barev je umožněno komplexním procesem, při němž světlo proniká dovnitř oka. Světelné záření proniká rohovkou a je filtrováno speciálním kruhovým svalem – duhovkou – který svým stahováním a roztahováním upravuje množství světla propouštěné do zadní části oka, kde světlo dopadá na světlocitlivou sítnici.

Z fyziologického hlediska sítnice lidského oka obsahuje asi osm milionů tzv. čípků. Člověk má tři druhy čípků, které jsou citlivé na různé vlnové délky (RGB), a jejich kombinace nám umožňuje vidět barvy. Citlivost čípků není u všech lidí stejná, často se drobně liší i v rámci očí jednoho člověka. (18) (19)

2.1.2 Přirozené světelné podmínky v průběhu dne

Když se zeptáte obyčejného člověka, jakou má barvu Slunce, automaticky vám odpoví žlutou. Není to ale tak úplně pravda, záleží na tom, kdy a odkud Slunce pozorujeme. Pokud bychom vyletěli do vesmíru mimo atmosféru Země, viděli bychom Slunce jako čistě bílou žhnoucí kouli (o teplotě chromatičnosti 5800 K) – bílá je pro nás tak nezvyklá, že i astronomové často zabarvují snímky Slunce do žluta.



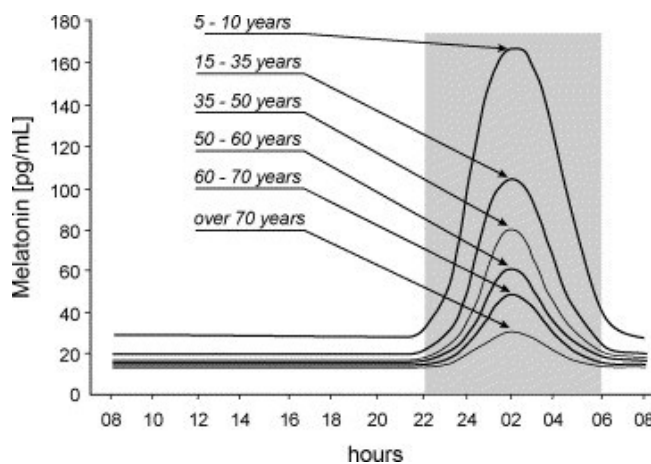
Obr. 11: Fotografie Slunce pořízená z Mezinárodní vesmírné stanice (ISS)

Slunce získává svou typicky žlutou barvu až během průchodu zemskou atmosférou. Záření o kratší vlnové délce (zelená, modrá, fialová) se při průchodu atmosférou rozptýlí rychleji než záření s delší vlnovou délkou (červená, oranžová). Když slunce vychází nebo zapadá,

sluneční paprsky dopadají na povrch pod velmi malým úhlem, musí proto prostoupit větší vrstvou atmosféry a ta rozptýlí většinu studených barev – slunce se nám poté jeví jako oranžovo-červené (1800 K). Postupem dne se teplota chromatičnosti zvyšuje, až v poledne dosáhne vrcholu (5000 – 6000 K), kdy pozorované světlo vnímáme jako studené bílé. Poté začne teplota opět klesat. Uvedené hodnoty ale jsou pouze orientační, protože teplotu chromatičnosti ovlivňují i další faktory, jako množství oblačnosti nebo roční období. (20) (21)

2.1.3 Cirkadiánní rytmus

Otáčení planety Země kolem své osy zapříčiňuje střídání dne a noci ve 24-hodinových intervalech a této periodicitě se evolučně přizpůsobila většina živých organismů. Střídání světla a tmy ovlivňuje tvorbu melatoninu, hormonu regulujícího cykly spánku a bdělosti. Tento hormon je produkován v části mozku zvané šišinka a ovlivňuje naši únavu a průběh usínání. Množství hormonu se s věkem snižuje a spánek může být kvůli nedostatku melatoninu méně kvalitní. (22) (23)



Obr. 12: Graf denní tvorby melatoninu v závislosti na věku

Koncentrace melatoninu se během dne mění, nejvyšší produkce probíhá během noci. Dříve se člověk ubíral ke spánku přirozeně se západem slunce, ale dnes v době přemíry umělého osvětlení bývají přirozené rytmy člověka narušeny. Jako nejproblémovější se považuje studené namodralé světlo, které si organismus asociuje se svitem slunce v pravé poledne a tvorbu melatoninu omezí. Tím nevznikají jen problémy s usínáním, ale melatonin podle řady výzkumů působí v těle jako antioxidantní činitel, podporuje imunitní systém a zároveň očisťuje tělo od volných radikálů, a jeho nedostatek může způsobovat zvýšené riziko rakoviny a urychlovat projevy stárnutí. (24) (25)

Kromě procesu tvorby melatoninu ovlivňují biorytmy člověka i naše vlastní biologické hodiny. Ty nejsou závislé na slunečním svitu ani žádném jiném vnějším působení a využíváme je právě v situacích, kdy jsme izolovaní od vnějších vlivů. Tyto biologické hodiny jsou umístěné v tzv. suprachiasmatických jádrech hypotalamu a udržují dvacetičtyřhodinové cykly metabolismu, tvorby různých látek a hormonů apod. Nejsou ale příliš přesné a postupem času mají tendenci se vychýlit, proto jsou spojené právě s cyklem tvorby melatoninu, který tyto hodiny průběžně synchronizuje. (24) (25)

3 PŘEHLED ZDROJŮ OSVĚTLENÍ

3.1 Historické počátky osvětlení

Potřeba prodloužit den o trošku déle provází člověka už od počátku jeho vývoje. První umělé světlo poskytoval oheň – časem se začaly používat kromě otevřeného ohně i svíčky nebo louče. Ty byly umísťovány do různých stojanů, svícňů či lustrů. Od dob starověku se také používaly olejové lampy, které byly tvořené nádobou s olejem a v něm ponořeným knotem.

Až na začátku 19. století vývoj pokročil dál vynálezem petrolejové lampy. Petrolejová lampa funguje na obdobném principu jako lampa olejová, jen jako palivo se používá petrolej (kerosin). Tyto lampy se během 19. století staly běžným zdrojem osvětlení.

Souběžně s rozvojem petrolejových lamp probíhal i vývoj lamp plynových. V těchto lampách hoří směs plynů zvaná svítiplyn (v té době se plyn používal výhradně ke svícení – odtud byl odvozen jeho název). Roku 1847 se v ulicích Prahy rozsvítilo více než dvě sta plynových lamp. (26) (27)

3.2 Elektrické zdroje osvětlení

Rozsáhlou a zatím poslední kapitolou v historii umělého osvětlení jsou svítidla napájená elektrickým proudem.

Umělé zdroje světla napájené elektrickým proudem lze rozdělit na základě podstaty vzniku světla do třech základních skupin: teplotní (platí pro žárovky a halogenové žárovky), výbojové (zde patří zářivky a výbojky) a světelné diody (LED zdroje).

Teplotní světelné zdroje obsahují vodivou látku (nejčastěji kov), u které dochází vlivem průchodu elektrického proudu k zahřívání na vysokou teplotu a v důsledku tepelného pohybu látka vyzařuje viditelné světlo.

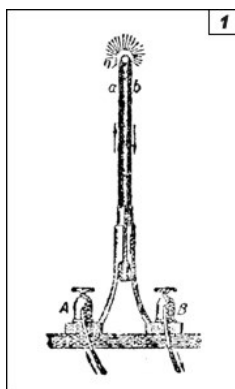
Vnitřní část výbojových světelných zdrojů je vyplněna plyny či parami různých kovů. Elektrická energie se zde mění na kinetickou energii elektronů, které naráží do atomů plynu a tím emitují optické záření. (1) (28)

LED diody (z anglického *light emitting diode*) jsou polovodičové součástky, které při průchodu elektrického proudu vyzařují viditelné světlo. Tento jev je založen na PN přechodu

kde dochází k rekombinaci elektronů a děr. Zde se uvolňuje energie, která je vyzářena ve formě fotonů. (29) (1)

3.2.1 Oblouková lampa

Oblouková lampa byla historicky prvním světelným zdrojem napájeným elektrickým proudem. V obloukové lampě je ke generování světla používán elektrický oblouk vznikající průchodem proudu vysoké hodnoty mezi dvěma elektrodami. Tyto elektrody, nejčastěji tvořené z uhlíku, se pomalu odpařují a pro udržení oblouku je nutné zachovat mezi elektrodami stále stejnou vzdálenost. První pokusy o vznik světla žhavením různých materiálů pomocí elektrického proudu probíhaly už kolem roku 1802, ale první oblouková svítidla byla složitá zařízení s hodinovým strojem a elektromagnety, které udržovaly správnou vzdálenost elektrod. Průlomovým objevem se stala tzv. Jabločkovova elektrická svíčka, kdy ruský technik Pavel Nikolajevič Jabločkov umístil elektrody souběžně, čímž se vyhnul složitému seřizovacímu zařízení. Tato elektrická svíčka zaujala Františka Křižíka, který poté vylepšil klasickou obloukovou lampu pomocí speciálního vinutí cívek tak, že svítila klidným konstantním svitem. (30) (31)



Obr. 13: Jabločkovova elektrická svíčka

3.2.2 Žárovka

Na tématu vynálezu žárovky figuruje několik různých jmen (Heinrich Göbel, Joseph Swan), ale až Thomas Alva Edison roku 1879 technologicky zdokonalil a patentoval výrobu klasické žárovky – dnes jednoho z nejrozšířenějších zdrojů světla.

Základní části žárovky tvoří skleněná baňka, objímka a wolframové vlákno. Toto vlákno se při průchodu elektrického proudu rozžhává na teplotu 2 500 °C a vyzářuje teplé bílé světlo (2300 - 2900 K). Aby vlákno při tak vysoké teplotě neshořelo, nesmí být v baňce přítomen kyslík. Proto se z baňky při výrobě odsaje vzduch a uvnitř vznikne vakuum.

Mezi výhody žárovek patří jednoduchá konstrukce a tím pádem i levné výrobní náklady, ekologická nezávadnost použitých materiálů nebo pro člověka příjemná barva světla.

Jejich největší nevýhodou je velmi nízká efektivita, kdy pouze 5% dodané elektrické energie je přeměněno na světlo a zbylých 95% se mění na teplo. Žárovky mají také poměrně nízkou životnost – cca 1000 hod. provozu. (31) (1) (32)

3.2.2.1 Halogenová žárovka

Halogenová žárovka funguje na podobném principu jako žárovka klasická. Rozdílná je ale náplň baňky, kde je směs halogenových plynů (jód, brom). Klasická žárovka postupem času černá – je to kvůli tomu, že wolfram se ze zahřátého vlákna odpařuje a poté usazuje na skle baňky. Větší tlak plnicího plynu v halogenové žárovce snižuje množství odpařeného plynu. Halogenové plyny se také vážou na odpařený wolfram a tato sloučenina se vrací směrem k rozžhavenému vláknu. Zde se rozkládá zpět na wolfram, který se usazuje na vlákno, a na halogen, který zůstává v prostoru baňky a celý proces se opakuje. Halogenová žárovka tedy nečerná a tím nesnižuje svou výkonnost v průběhu používání. (1) (33)



Obr. 14: Halogenová žárovka

3.2.3 Výbojka

Výbojky jsou světelné zdroje ve tvaru uzavřené trubice, která je naplněna směsí plynů a par. Na krajích do trubice vstupují dvě elektrody, které přivádí elektrický proud. Výbojky se podle tlaku náplně dělí na vysokotlaké (sodíkové, xenonové, halogenidové, rtuťové, plazmové) a nízkotlaké (sodíkové, kompaktní, zářivky, indukční výbojky). U všech výbojek je nutné nainstalovat předřadná zařízení, která snižují napětí přiváděné do světelného zdroje. (1)

3.2.3.1 Zářivka

Zářivka patří mezi nízkotlaké rtuťové výbojky. Trubice je naplněna argonem a parami rtuťi, které působením elektrického proudu emitují neviditelné ultrafialové záření. Na vnitřním povrchu trubice je proto nanesen tzv. luminofor – tato látka absorbuje UV záření a sama vyzařuje viditelné světlo. (1)

3.2.4 LED

Zkratka LED pochází z anglického Light-Emitting Diode - přeloženo do češtiny jako dioda emitující světlo. LED-dioda je polovodičová součástka, jejíž nedílnou součástí je tzv. PN přechod. Právě ten při průchodu elektrického proudu emituje monochromatické záření. (1)
(34)

K vynálezu LED-diody významně přispěl objev elektroluminiscence – jevu, při němž se elektrická energie při průchodu proudu vhodným luminoforem mění v záření. Tento jev v roce 1907 popsal britský vědec Henry Joseph Round, ale trvalo dalších 55 let, než Američan Nick Holonyak na Univerzitě v Illinois využil těchto poznatků k sestrojení první LED-diody červené barvy. Roku 1971 byly vynalezeny LED diody v zelené, žluté a oranžové barvě, což umožnilo jejich široké využití pro světelnou signalizaci nejrůznějších přístrojů nebo stavů zařízení (kontrolky).



Obr. 15: Tesla LQ-100, první LED vyráběná v Československu v 70. letech

Důležité období pro rozvoj LED zdrojů byla 90. léta, kdy byla vynalezena modrá LED-diody. Do té doby LED-diody nebyly využívány jako zdroj osvětlení jednak kvůli malé svítivosti, ale hlavně proto, že nebyly možné poskytnout bílé světlo. To se změnilo s příchodem modré LED, protože kombinací červeného, zeleného a modrého světla (RGB) vzniká světlo bílé. Zdroj mísící tři barvy k vytvoření bílé se nazývá trichromatický.

Od roku 1995 existují modernější LED-diody založené na konvertování vlnových délek. Taková LED-diody je založená na modrém LED čipu a fosforovém konvertoru. Diody vyzařuje modré světlo, jehož část je vyzařována přímo k pozorovateli a druhou část absorbuje fosforový konvertor, který poté emituje světlo ve žlutém spektru. Modrá a žlutá jsou komplementární barvy a dohromady vytváří bílou. Tuto LED-diody lze ve vypnutém stavu poznat podle typické žluté barvy (barva fosforového konvertoru). (1) (35) (36) (37)

3.2.5 OLED

Organická světlo emitující diody (z anglického *Organic Light-Emitting diode*) využívá ke generování záření organické materiály umístěné mezi kovovou anodou a transparentní katodou. OLED diody se staly dostupnými pro veřejnost v poměrně nedávné době (kolem roku 2011) a jsou využívány hlavně k výrobě displejů mobilních telefonů a televizí. Tyto organické diody vytváří měkké rozptýlené světlo a po snížení výrobních nákladů by se mohly v budoucnu stát běžným zdrojem interiérového osvětlení. (38) (39)

4 LED-FILAMENT TECHNOLOGIE

Společnost Mauna Kea a konkrétně její dceřiná společnost LED-Filament, se kterou jsem na tomto projektu spolupracovala, vyvinula a patentovala vlastní technologii, která u svítidel umožňuje automaticky regulovat jas a chromatičnost. Aby světlo barevně co nejvíce odpovídalo přirozenému slunečnímu svítu, mění svítidlo pozvolna svoji chromatičnost v závislosti na denní době. Protože LED čipy mají chromatičnost neměnnou, je svítidlo osazeno dvěma typy LED čipů, jeden s chromatičností vyzařovaného světla studená bílá a druhý s chromatičností teplá bílá. Kombinací svítivosti těchto čipů dosáhneme požadované hodnoty chromatičnosti.

Lidský organismus je velmi citlivý na chromatičnost světla, a pokud jsou lidské oči vystaveny světlu, jehož chromatičnost neodpovídá denní době, probíhají v organismu obranné reakce. Svítidlo proto mění svoji chromatičnost v závislosti na denní době – ráno a večer je teplota vyzařovaného světla 2 700 K a v pravé poledne dosáhne 5 500 K.

Dosud bylo pro nastavení chromatičnosti vždy nutné využívat externích řídicích systémů. Technické řešení navrhovaného svítidla má ale veškerou elektroniku umístěnou uvnitř svítidla, takže každé jednotlivé svítidlo mění svůj jas a chromatičnost samo v závislosti na denní době a intenzitě okolního osvětlení. Toto zatím žádný jiný výrobce nenabízí. Svítidlo také samo reguluje svůj výkon tak, aby osvětlovaná plocha byla během celého dne osvětlena stále stejnou intenzitou, kterou je možné nastavit v rozmezí od 300 lx do 5 000 lx.

Všechny zmíněné změny osvětlení probíhají samostatně bez jakéhokoliv zásahu člověka, bez nainstalovaných senzorů a bez použití různých pomocných prvků pro řízení svítidla. Díky autonomnímu provozu každého svítidla se Sluncem nerovnoměrně osvětlená plocha v místnosti stává rovnoměrně osvětlenou, bez stínů, temných koutů a ostrých přechodů. Protože svítidlo mění své parametry automaticky, odpadá tím nutnost mít v portfoliu množství verzí svítidel s různými parametry příkonu, svítivosti a chromatičnosti.

Tento systém zvyšuje komfort osvětlení v místnostech, jako jsou učebny základních škol, přednáškové sály, kanceláře apod. ve srovnání s klasickými zářivkami, které si klade za cíl nahradit. (40)

Svítilidlo má rovněž špičkové technické parametry. Na rozdíl od ostatních zdrojů světla má při zapnutí potlačený nárazový proud. U běžných LED svítidel tento nárazový proud po zapnutí dosahuje stonásobku provozního proudu, tato svítidla dosahují pouze čtyřnásobného zvýšení, což pro rozvodnou síť není žádný problém. Při instalaci běžných LED by kvůli nárazovému proudu bylo třeba vyměnit komplet elektroinstalace a vytvořit více menších větví opatřených jističi, u těchto svítidel to není potřeba, což výrazně šetří práci i peníze.

Účinnost přeměny elektrické energie na světelnou závisí na účinnosti napájecího zdroje i LED-čipů. Oproti ostatním konkurenčním svítidlům je účinnost vyšší, dosahuje hodnoty více než 180 lm/W. Automatická regulace výkonu dále snižuje celkovou spotřebu elektřiny, úspory oproti žárovkám dosahují až 90%, proti běžným LED svítidlům 50-70%.

Inovované LED-čipy nesnižují svou svítivost v průběhu času, svítí stále předepsaným jasnem. Životnost LED-zdrojů dosahuje hodnot nad 100 000 hodin, tedy více než 15 let provozu. (40)

Index podání barev (CRI – Color Rendering Index), označován také zkratkou Ra, je číslo vyjadřující schopnost světelného zdroje reprodukovat barvy ve srovnání s přirozeným slunečním zářením. Hodnota 100 určuje podání barev tak, jak vzniká pod slunečním světlem, naopak hodnota 0 znamená, že pod tímto světlem není možné rozpoznat jednotlivé barvy. Index podání barev použitých LED-čipů je více než 80, což umožňuje výborné rozpoznání jednotlivých barevných odstínů. (41) (40)

4.1 LED zdroje a ovládací elektronika

Pro napájení LED-čipů je potřeba použít zdroj napájení. Zdroj napájení má za úkol udržovat příkon konstantního proudu, protože parametry LED se vlivem stárnutí, zahřívání nebo výrobních odchylek mění. V navrhovaném svítidle je použitý pulzní zdroj LCM-40 značky MEAN WELL s funkcí stmívání a elektrickou účinností 91%. (1) (42)



Obr. 16: Zdroj LCM-40

Součástí zdroje je tzv. PFC (regulace účinníku). Elektrický účinník ($\cos \varphi$) určuje, jak velkou část zdánlivého výkonu (součin hodnot napětí a proudu) obvod přemění na činný výkon (energie přeměněná na jinou formu užitečné energie). Hodnoty se pohybují od 0 do 1, přičemž hodnota 1 znamená, že zdánlivý výkon se rovná výkonu činnému, tedy nedochází k žádným ztrátám. U použitých zdrojů s PFC v tomto svítidle se hodnota $\cos \varphi$ pohybuje v rozmezí 0,95 až 1,00, což je vyžadováno evropskou normou EN61000-3-2 pro prodej elektrických zařízení v Evropské unii. Zdroj s PFC také významně snižuje nežádoucí harmonické proudy. (43) (40)

5 SOUČASNÁ PRODUKCE

V současnosti existuje nezměrné množství výrobců svítidel, ať už průmyslových nebo určených pro kancelářské či školní prostory, ale žádný z nich nedisponuje technologií automatické změny parametrů s ovládací elektronikou umístěnou uvnitř svítidla. Ve své rešerši jsem se proto zaměřila na dvě užší skupiny: společnosti nebo produkty, které přímo ovlivnily můj designérský postup u této práce, a také projekty zabývající se systémy automatického či manuálního řízení jasu nebo chromatičnosti.

5.1 Přisazené zářivkové svítidlo

Základní model zářivkového mřížkového svítidla 2x58 W běžně používaného ve třídách a kancelářích. Svítidlo je možné instalovat přisazené na strop nebo zavěšené na čtyři lanka. Právě tyto svítidla má mnou navrhované svítidlo nahradit tak, aby nebylo nutné upravovat stávající rozvodné síť.



Obr. 17: Klasické zářivkové svítidlo

5.2 Zumtobel

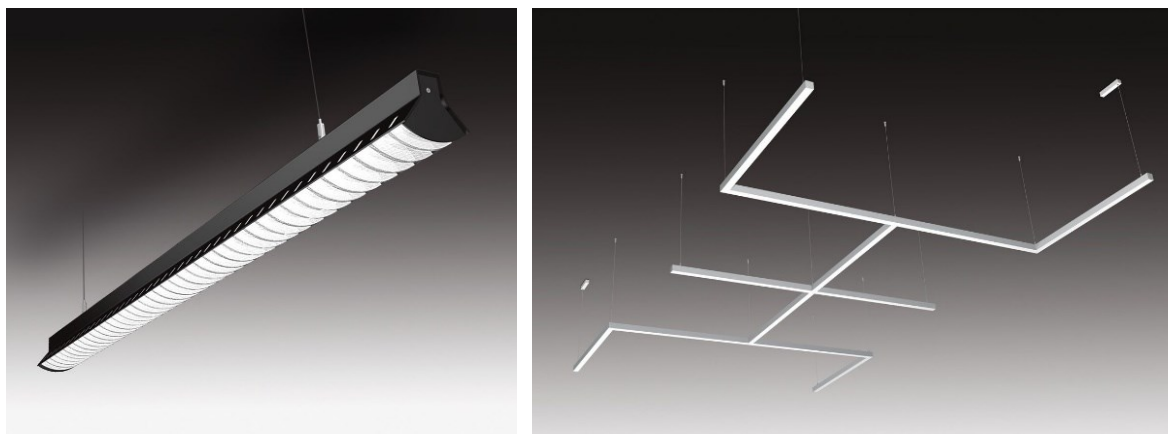
Společnost Zumtobel vznikla již před více než 60 lety ve Vorarlbersku, jedné ze spolkových republik Rakouska. Je předním výrobcem komplexních řešení profesionálních osvětlovacích systémů. Orientuje se na produkci průmyslových a kancelářských svítidel s velmi strohým, technickým vzhledem. Vyniká inovativním řešením vnitřních technických detailů (např. průduchy pro přirozenou cirkulaci vzduchu) a modulárním řešením skladby světelných prvků. (44)



Obr. 18: Svítidlo TECTON, svítidlo CRAFT M - Zumtobel

5.3 SEC Lighting

Společnost SEC je profesionální slovenský výrobce osvětlovací techniky. Zajišťuje veškeré činnosti od nákupu, přes vývoj a konstrukci až po výrobu a prodej osvětlovacích systémů. Do jejich portfolia patří nouzová a informační svítidla (světelné tabulky nouzový východ, zákaz kouření apod.) a také svítidla architektonická (lineární svítidla tvaru kvádrů a lamelová svítidla). (45)



Obr. 19: LAMELUX-D-LED, WEGA Module System – SEC

5.4 Artemide

Svítidla od společnosti Artemide patří mezi špičku na trhu. Navrhovaná nejlepšími designéry, tato svítidla jsou moderní, nadčasová a vysoce funkční. Součástí jejich portfolia jsou nejen designové solitéry, ale i architektonická (techničtější) svítidla. (46)



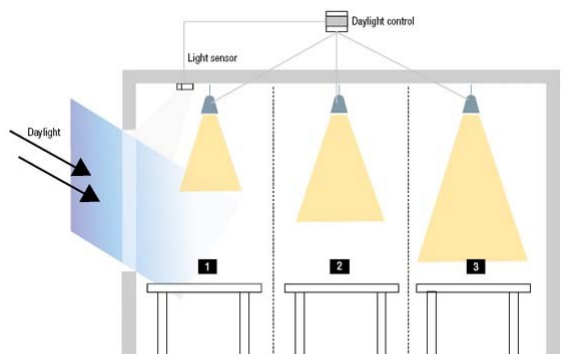
Obr. 20: Talo Catamarano Suspension, Plane – Artemide

5.5 iGuzzini

Italská společnost iGuzzini jako jedna z prvních firem začala vyvíjet systémy tzv. biodynamického osvětlení. Ve spolupráci s University of Troy (USA) vypracovali v roce 1988 studii o vlivu umělého osvětlení na člověka, ze které vycházel patentovaný systém biodynamického osvětlení nazvaný SIVRA, který napodoboval přirozené změny slunečního záření během dne. Maximálně šestnáct těchto svítidel je možné zapojit k jednomu ovládacímu panelu a regulovat jejich parametry manuálně nebo s využitím programovatelných sekvencí. (47) (48)

5.6 A-LIGHT

Tato společnost nabízí komplexní systémy ovládání jasu zářivkových svítidel v místnosti. Zařízení udržuje stále stejnou hladinu osvětlení a reaguje na průběžné změny slunečního svitu. Systém je ovládán centrálním kontrolním panelem a vypínačem s možností přepnutí na automatický nebo manuální režim. (49)



Obr. 21: Automatické řízení osvětlení kanceláře na konstantní hodnotu

5.7 Acuity Brands

Severoamerická společnost Acuity Brands je leaderem na trhu světelných systémů pro komerční nebo institucionální použití. Zabývají se inteligentními systémy správy osvětlení celých budov, zajišťují instalaci a servis ovládacích panelů a také připojení do tzv. IoT (Internet of Things) – sítě fyzických zařízení, spotřebičů a dalších produktů vybavených senzory a softwarem umožňujícím sdílet mezi sebou data. (50)



Obr. 22: Acuity Brands – Lightedge LED Rectangular Indirect-Direct

6 TECHNOLOGIE VÝROBY

Už od začátku práce na tomto projektu bylo součástí zadání, že kryt svítidla bude vyroben z kovu a difuzor z některého z průsvitných plastů.

6.1 Kovové součásti

U hlavní nosné části konstrukce se nabízelo hned několik způsobů výroby. Jako možné varianty jsem považovala litý hliník, svářenou konstrukci nebo ohýbaný plech.

6.1.1 Litý hliník

V úplných počátcích navrhování jsem vytvořila několik variant svítidel s větracími drážkami, které by bylo vhodné vyrobit právě touto technologií.

Lití hliníku do formy je vhodné pro výrobu komplexnějších tvarů, odlitky jsou přesné s hladkými plochami a při výrobě velkého množství kusů se tato technologie ekonomicky vyplácí. Nevýhodou jsou drahé počáteční náklady na výrobu formy, což není vhodné k prototypování několika kusů výrobku. (51)

6.1.2 Ohýbaný plech

Ohýbání patří mezi druhy plošného tváření. Ještě před samotným ohýbáním je potřeba vyříznout požadovaný tvar z plechového plátu – lze využít technologii řezání laserem nebo vodním paprskem. Tento tvar poté ohýbáme podél daného poloměru, až dosáhneme požadovaného úhlu ohnutí. Technologie ohýbání má své limity – nelze vytvářet příliš komplikované tvary, je třeba počítat s tím, že ohyb bude vždy podél přímky a že firmy mohou mít k dispozici jen určité poloměry ohýbacích nástavců. Výhodou ohýbání je nízká cena výsledných dílů, žádné další počáteční náklady i možnost rychlé výroby různých tvarových variant produktu. (52)

6.1.3 Svařování

Svařováním kovů a jejich slitin působením tepelné nebo mechanické energie vzniká nerozebíratelný spoj. Tato technologie se používá v kombinaci s dalšími technologiemi zpracování kovů (jako ohýbání nebo řezání) k vytvoření výrobků, u kterých by výroba jinými technologiemi byla extrémně náročná, nákladná nebo nemožná. Všechny běžné metody svařování lze zařadit do jedné ze dvou kategorií - tavného nebo tlakového svařování. (53)

6.1.3.1 Tavné svařování

U tavného svařování dochází vlivem působení tepelné energie k natavení základního popř. přídavného materiálu, čímž dojde ke spojení jednotlivých dílů. (53)

6.1.3.2 Tlakové svařování

Působením mechanické energie se spojované plochy k sobě přiblíží na vzdálenost působení meziatomových sil, čímž se díly spojí. (53)

6.2 Plastové součásti

Difuzor svítidla má za úkol rozptýlit bodové záření LED zdrojů a zajistit, aby svítidlo neošlňovalo uživatele. Použitý materiál by měl být buď průsvitný – tedy neprůhledný mléčného zabarvení, popřípadě průhledný s mikroprizmatickým rastrem.

6.2.1 Polymethylmethakrylát (PMMA)

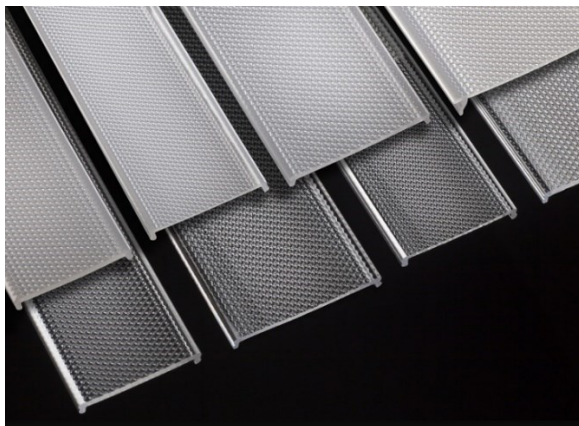
Materiál lidově nazývaný jako plexisklo je čirý bezbarvý termoplast, který se často používá jako náhrada klasického skla. Mezi jeho výhody patří dobrá zpracovatelnost, nízké výrobní náklady, vyšší odolnost proti nárazům nebo možnost ohýbání. Je k dostání i v mléčné variantě, která se často prodává pod názvem opálové plexisklo. (54) (55)

6.2.2 Polykarbonát

Polykarbonát vyniká svou houževnatostí, tuhostí i stálostí tvaru za tepla. Tento transparentní termoplast se dobře zpracovává, lze ho vstříkovat popř. za tepla lisovat. Běžně se setkáváme s polykarbonátovými deskami (ať už plnými nebo komůrkovými) pod obchodním názvem Lexan. (56) (57)

6.2.3 Mikroprizma

Mikroprizma je povrch tvořený velkým množstvím drobných krystalů uspořádaných do pravidelné mřížky. Účelem těchto lomených tvarů je směřovat procházející světlo tak, aby se odrazilo určitým směrem a neoslňovalo při pohledu na svítidlo. (58) (59)



Obr. 23: Prizmatický difuzor

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 ZADÁNÍ

Mým úkolem v tomto projektu bylo dát tvář inovativní technologii, která má potenciál stát se standardem osvětlovací techniky.

Zadáním bylo navrhnout tvar svítidla a vnitřní řešení prostoru pro umístění LED-zdrojů a ovládací elektroniky.

Svítidlo si klade za cíl nahradit klasické zářivkové svítidla, proto by mělo kopírovat klasické rozměry zářivek – tedy 60, 90, 120, nebo 150 cm délky na cca 15 – 20 cm šířky.

U stropu je nutné dodržet mezeru 1 – 3 cm kvůli možným nerovnostem.

Pod LED-čipy musí být umístěn difuzor, který uzavírá prostor kolem LED tak, aby do něj nevnikly mouchy.

Součástí svítidla budou 3 krabičky se zdrojem a elektronikou, která technologii ovládá.

Svítidlo by mělo být jednoduše a levně vyrobitelné.

Tělo svítidla bude vyrobeno z kovu kvůli vedení tepla a uzavřeno plastovým průsvitným difuzorem.

7.1 Cílové umístění

Cílovým umístěním svítidel jsou zejména veřejná místa, tedy školní třídy, přednáškové sály, kanceláře, chodby, obchody, letištní haly apod. ale svítidlo lze samozřejmě umístit i do soukromého interiéru.

8 VARIANTNÍ NÁVRHY DESIGNU

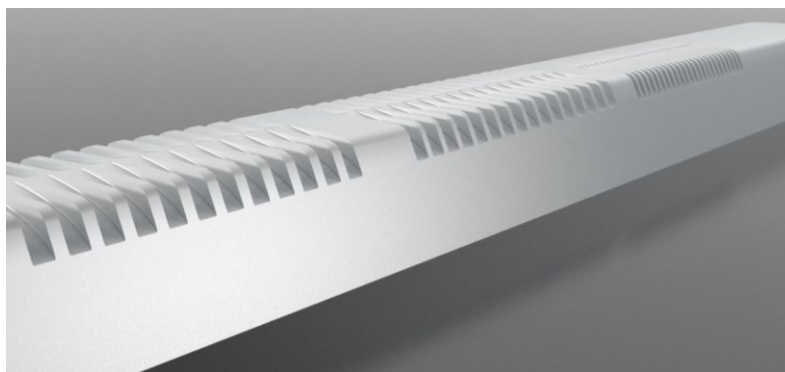
8.1 Tvarosloví

Vzhledem k tomu, že svítidlo bude často umístováno po více kusech v jedné místnosti, hledala jsem ve všech případech poměrně minimalistické řešení. Kdyby vzniknul složitě tvarovaný solitérní kus, při umístění vedle sebe by se svítidla vzájemně přebíjela a netvořila harmonický celek.

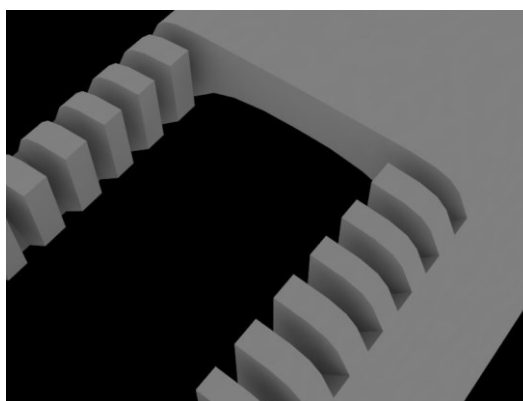
Protože svítidlo má nahrazovat klasické zářivky a přibližně kopírovat jejich tvar, připadá v úvahu varianta přisedlá ke stropu, alternativně je ji možné zavěsit na kovová lanka.

8.2 Svítidla s odvětrávacími drážkami

U prvotních návrhů jsem chtěla využít prvek chladících žebrování jako výrazný vizuální detail. Testovala jsem různé poměry mezi šířkou žebrování a šířkou mezer mezi nimi. Díky šikmým plochám mezi žebry se na svítidle neusazuje prach, ale prouděním vzduchu volně padá dolů.

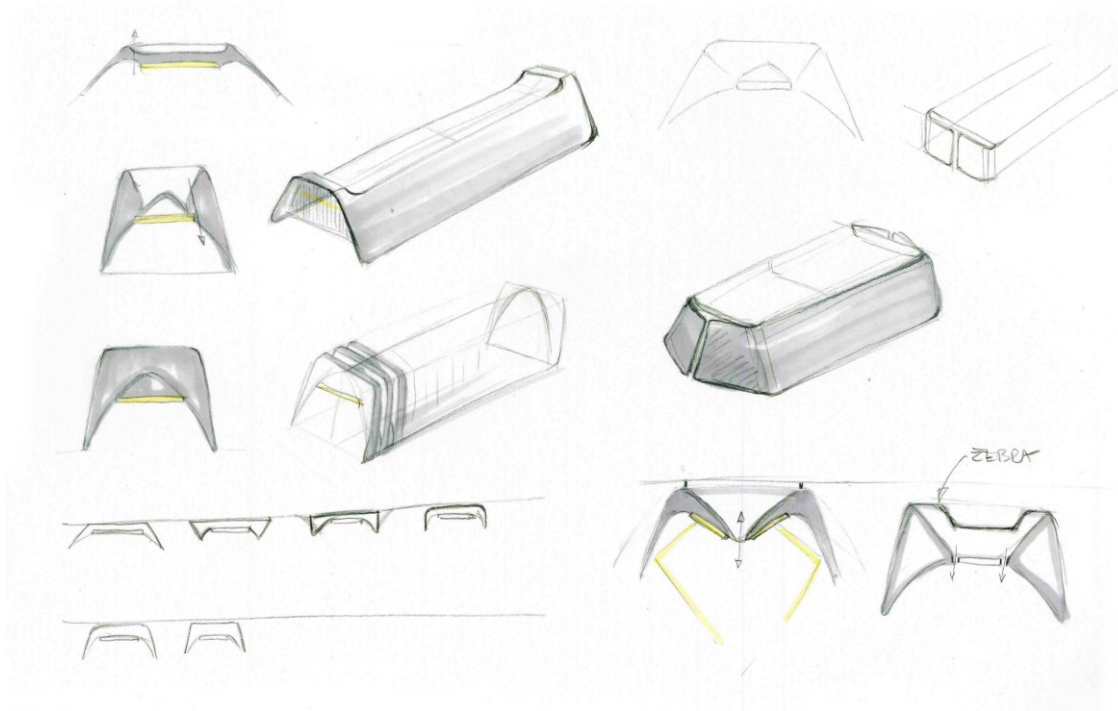


Obr. 24: Testování různých variant žebrování

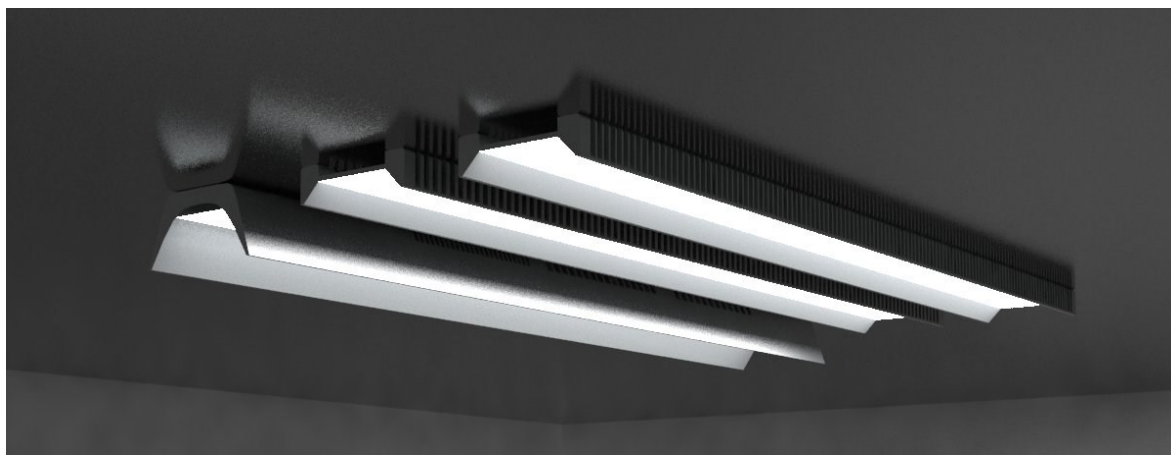


Obr. 25: Žebrování s ploškami pod úhlem 45°, mezi nimi vzniká prostor pro umístění krabičky s elektronikou

První návrhy byly spíše technického rázu, snažila jsem se ujasnit si, jakým směrem by se měl tvar ubírat. Hodně jsem využívala žebrování, díky kterému se stala celá kovová část svítidla jedním velkým chladičem LED-diod.

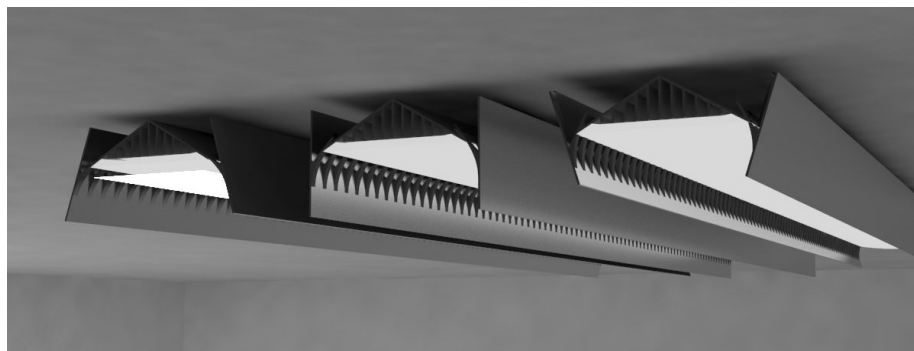


Obr. 26: První kresebné návrhy



Obr. 27: Návrhy s žebrováním

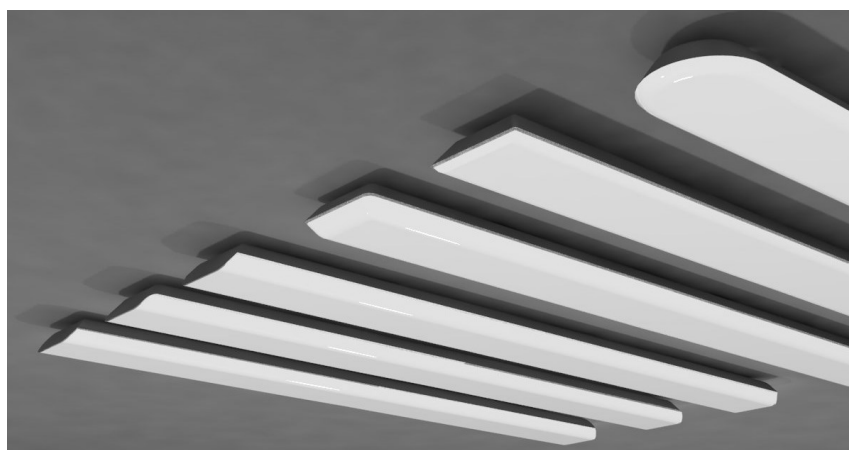
Vznikla i varianta s vnitřními žebry, které umožňují současně se zkosenými stěnami vhodné odvětrávání a tím zabraňují usazování prachu. Vzduch proudící skrz svítidlo nejen víří prach, ale také zefektivní chlazení LED-čipů. Svítidlo tím také získá zajímavý vizuální prvek, který je z pohledu pozorovatele dobře patrný.



Obr. 28: Varianta s vnitřními žebry

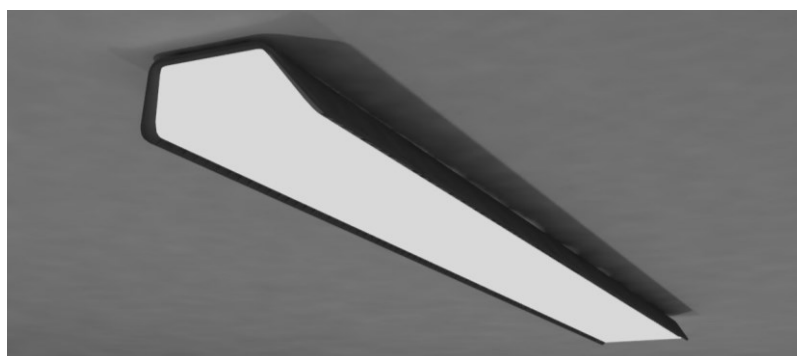
8.3 Organický tvar

Od strohých technických tvarů jsem se později rozhodla upustit a vydat se směrem úplně opačným, tedy využít organického tvarosloví. Psychologicky mi organika lépe pasovala k vyvíjené technologii, která respektuje lidské biorytmy.



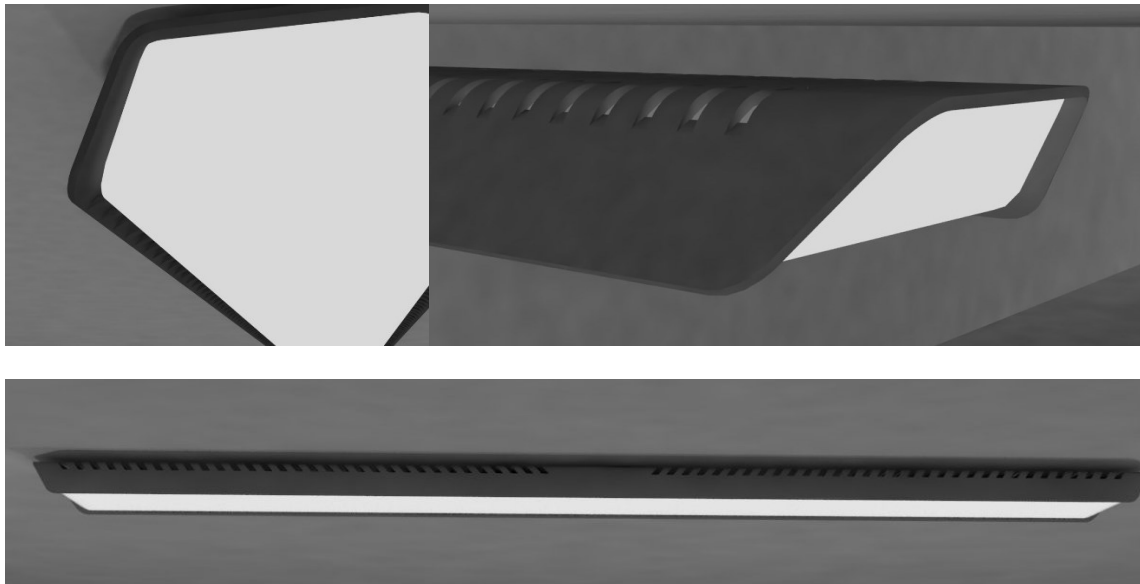
Obr. 29: Organické varianty tvaru svítidla

Vzniklo několik různých tvarových variant, ale až níže zobrazený tvar svítidla byl vizuálně zajímavý a přitom jednoduchý a později se stal základem finálního designéřského řešení. Zde měl z počátku poměrně mohutnou tloušťku stěn s přesahy přes difuzor.



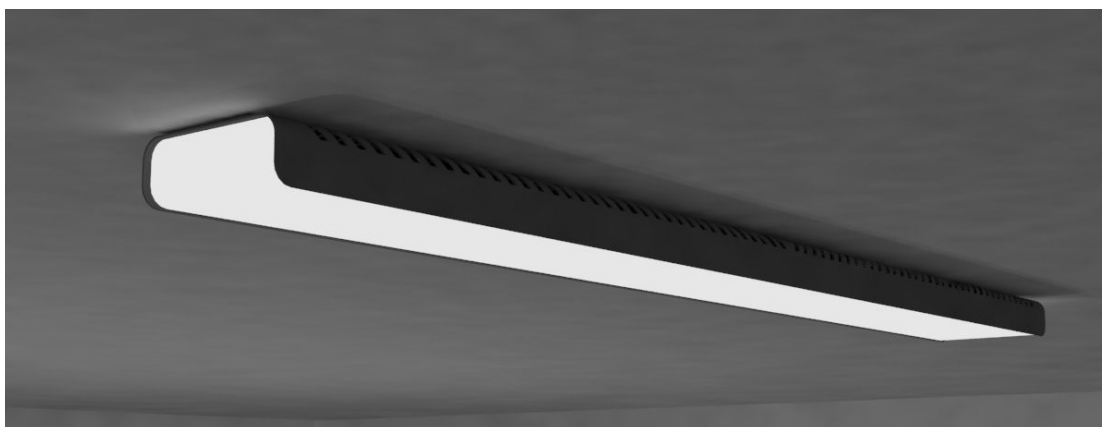
Obr. 30: Základ finálního tvaru

Při horním okraji svítidla vstupovaly do vnitřního prostoru odvětrávací drážky, které pokračovaly až ke spodní hraně, čímž umožňovaly cirkulaci vzduchu a zabraňovaly usazování prachu, který drážkami propadal dolů.



Obr. 31: Detail odvětrávacích drážek

Drážky svým sklonem kopírovaly zkosení okrajů svítidla a pokračovaly směrem ke střední části, kde vznikl krytý prostor pro ovládací elektroniku.



Zkoušela jsem hledat ještě další tvarové varianty, toto byla jedna z nich.

8.4 Zkosení okrajů

Od jakýchkoli drážek jsem nakonec upustila, protože tak mohutné chlazení u daných LED-čipů nebylo nutné. Výsledkem bylo, že svítidlo tím získalo určitou ladnost. Vyšší tloušťka umožňovala ozvláštnit okraje jak kovu, tak plastového difuzoru, zkosením.



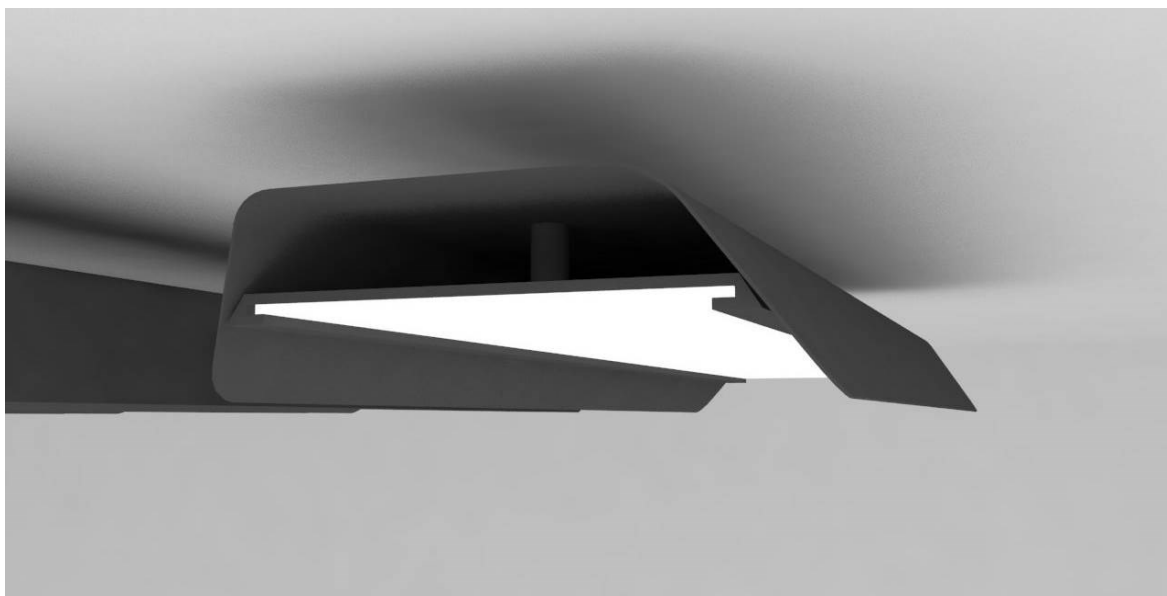
Obr. 32: Zkosení okrajů

9 VÝVOJ TECHNICKÝCH DETAILŮ

Protože v této fázi vývoje jsem byla já i zadavatelé s tvarem spokojeni, rozhodla jsem se zaměřit na techničtější detaily konstrukce.

9.1 Změna výchozího materiálu a vnitřní struktura

Díky absenci drážek jsem mohla jako materiál kovové části použít tenký hliníkový plech, který dále zjemnil linie svítidla.



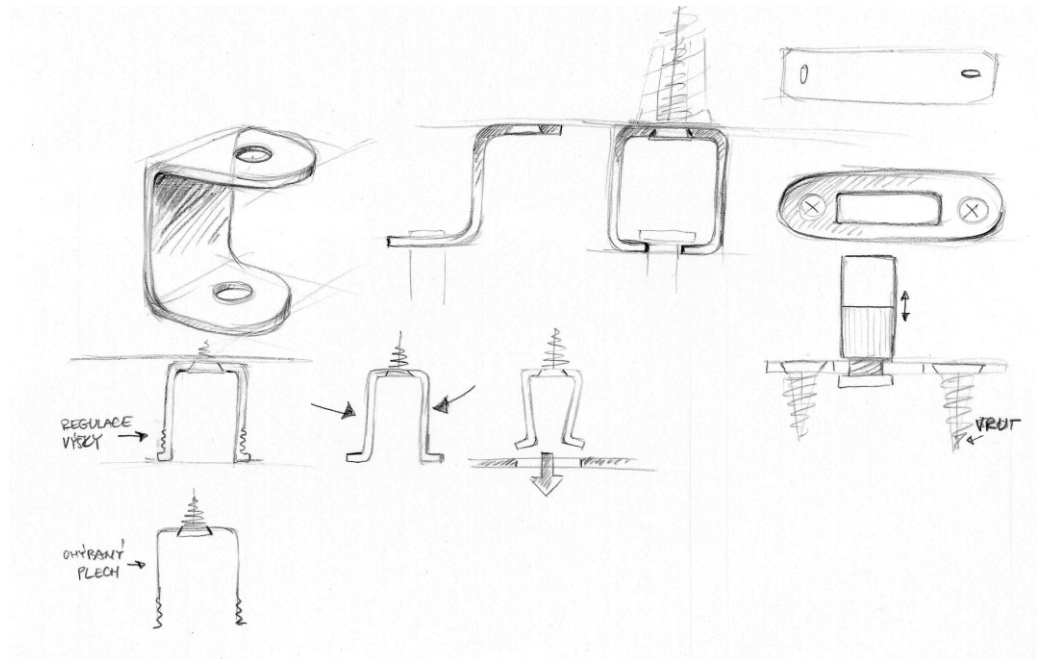
Obr. 33: Konstrukce z ohýbaného plechu



Obr. 34: Vizualizace zadaných délkových variant

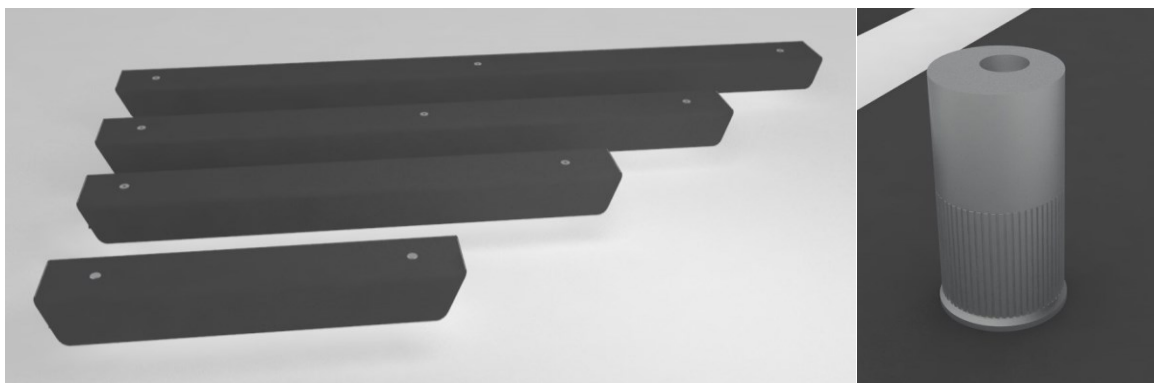
9.2 Řešení zavěšení

Při montáži svítidla se může stát, že nebudou hmoždiny ve stropě úplně přesně rozmístěné, proto bylo nutné vytvořit systém zavěšení, který umí drobně korigovat výšku i umístění jednotlivých bodů.



Obr. 35 Kresběné varianty upevnění

Vytvořila jsem několik variant, například válec s vyosenou dírou, kudy by vedl vrut. S válcem lze otáčet a tím vyrovnávat směr i výšku svítidla.



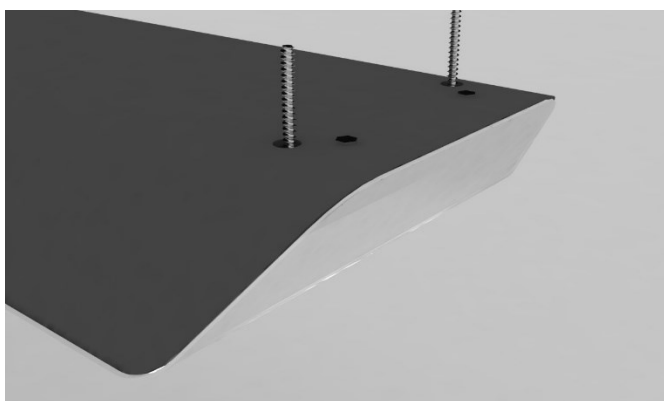
Obr. 36: Válcový upevňovací mechanismus

Další varianta počítá s upevněním U-profilu do stropu a následným smáčknutím by se svítidlo na tento profil nacvaklo. Delší drážky mohou korigovat směr a vlněné profilování U-profilu umožňuje zvolit si vzdálenost od stropu.



Obr. 37: Upevňovací U-profil

Jako nejjednodušší varianta se nakonec ukázalo vyříznout větší díry do kovového profilu, vložit vrut s velkou podložkou a použít plastovou distanční trubičku, která skryje viditelnou část vrutu mezi svítidlem a stropem.

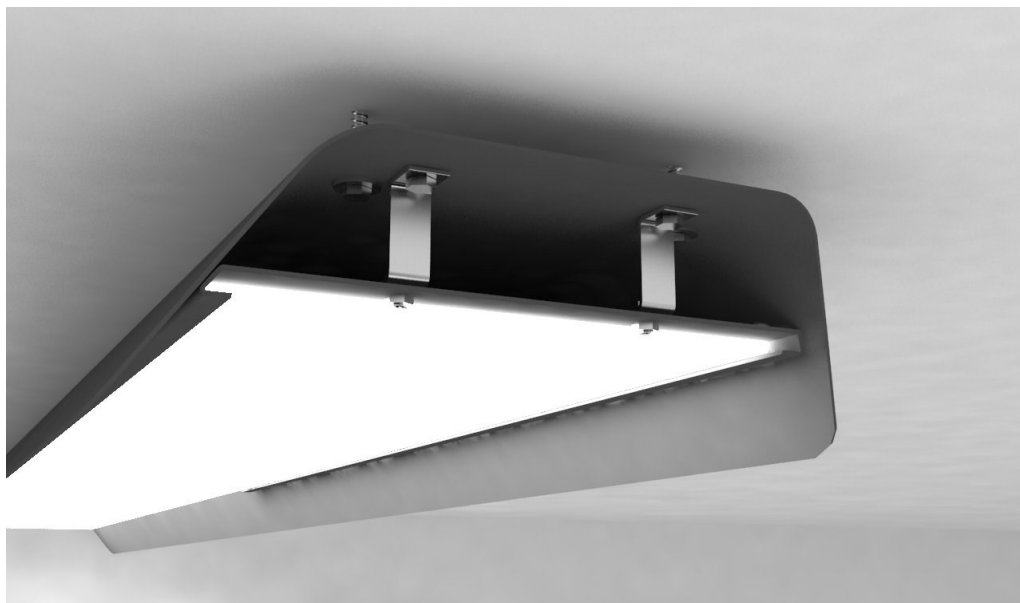


Obr. 38: Upevnění pomocí vrutů a podložek s větším průměrem

9.3 Použití tenkého plechu

Aby byl výrobní proces co nejjednodušší, zaměřila jsem se na výrobu kovových částí pomocí jediné technologie – ohýbání hliníkového plechu. Svítidlo se skládá ze dvou částí – krycího panelu a subpanelu s LED-diodami ze spodní a elektronikou z horní strany.

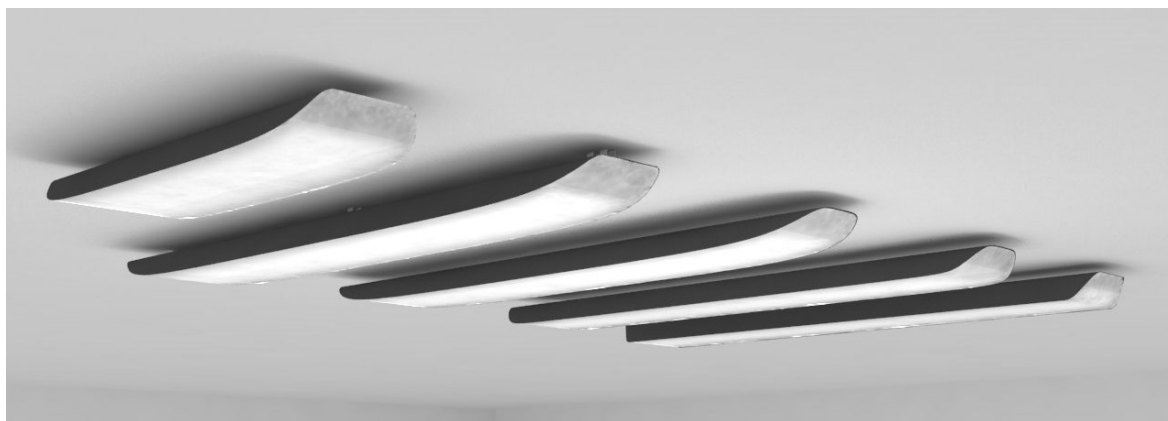
Protože horní část přisedlá ke stropu není z pohledu pozorovatele vidět, nabízela se možnost upevnit subpanel pomocí profilů směrem nahoru. To ale neřešilo upevnění difuzoru.



Obr. 39: Upevnění subpanelu

9.4 Nové tvarové varianty

V rámci návrhu tvaru jsem testovala různé poloměry zaoblení, které přecházely až do plynulých oblých křivek. Z těchto variant byla nakonec vybrána ta nejvíce podobná předchozímu návrhu (na obrázku vpravo).

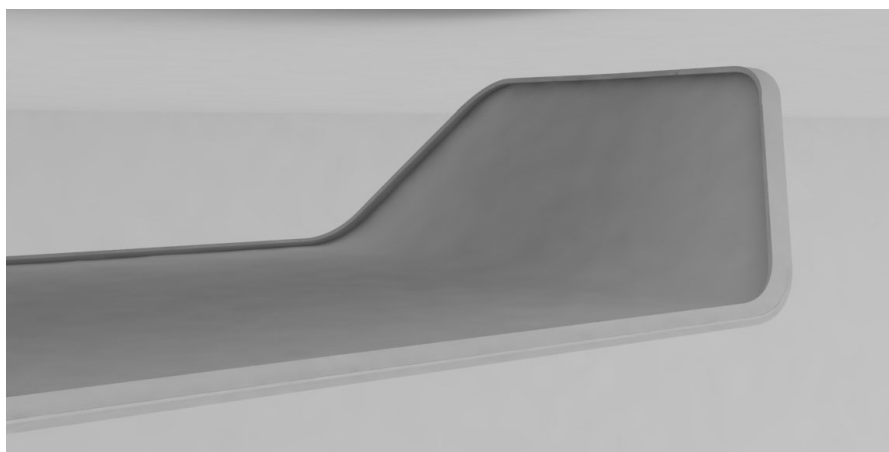


Obr. 40: Organické tvarové varianty

9.5 Upevnění difuzoru

Problém upevnění difuzoru ze spodní strany jsem řešila poměrně dlouhou dobu. Hledala jsem způsob uchycení, který by byl pevný (při náhodném nárazu školní přezůvkou či svačinou se neuvolní) a zároveň jednoduše vyrobitelný a demontovatelný.

V této variantě jsem upevňovací prvek neskryla, ale naopak vyzdvihla jako designový detail – difuzor po celém obvodu přechází do širšího lemu, který kopíruje tvar kovové části svítidla a udržuje difuzor na místě. Od této varianty jsem nakonec upustila, protože by bylo náročné opracovat takový plastový díl tak, aby byl lem začištěný. Nicméně tento tvar by v drobně pozměněné variantě byl vhodný pro sériovou výrobu vstřikováním, s tím rozdílem, že by byl upevněný háčky na vnitřní straně kovového profilu.

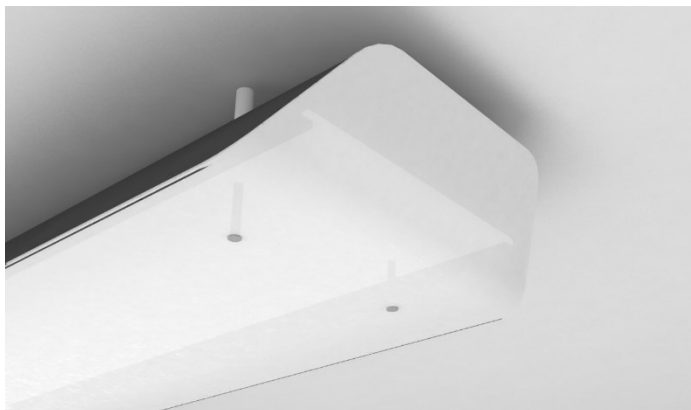


Obr. 41: Tvar difuzoru s širokým lemem



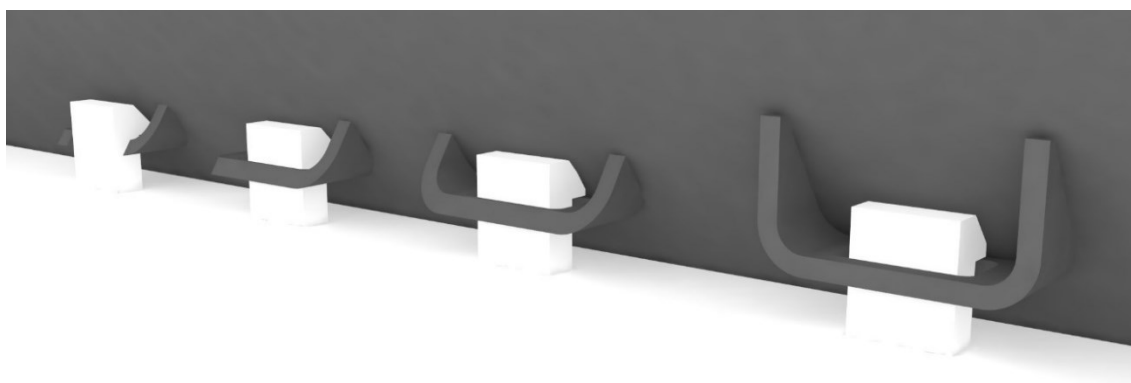
Obr. 42: Difuzor obepínající svítidlo

Jednou z možností bylo také prošroubovat difuzor, subpanel i kovový plášť dlouhým šroubem, to by ale výrazně narušilo čistý průběžný tvar svítidla.

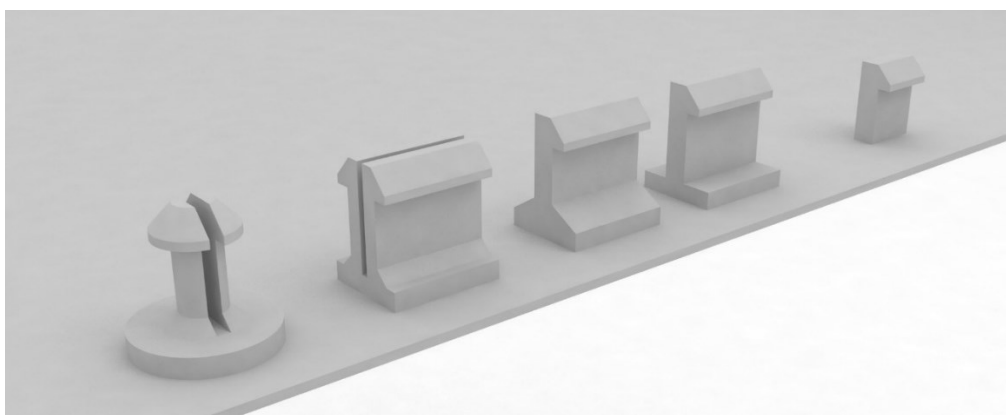


Obr. 43: Spojení jednotlivých částí šrouby

Nakonec jsem se rozhodla pro systém kovových zarážek přivařených na kovovou konstrukci, do kterých zapadají plastové háčky vycházející z difuzoru. Vytvořila jsem několik variant háčků z vytlačovaných, frézovaných nebo soustružených profilů – široká základna je uzpůsobená k lepení na desku difuzoru.

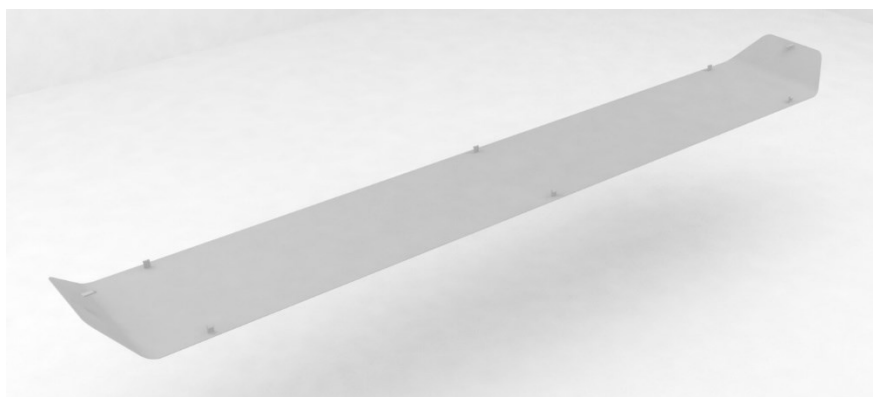


Obr. 44: Upevnění pomocí háčků a zarážek



Obr. 45: Možné tvary háčků

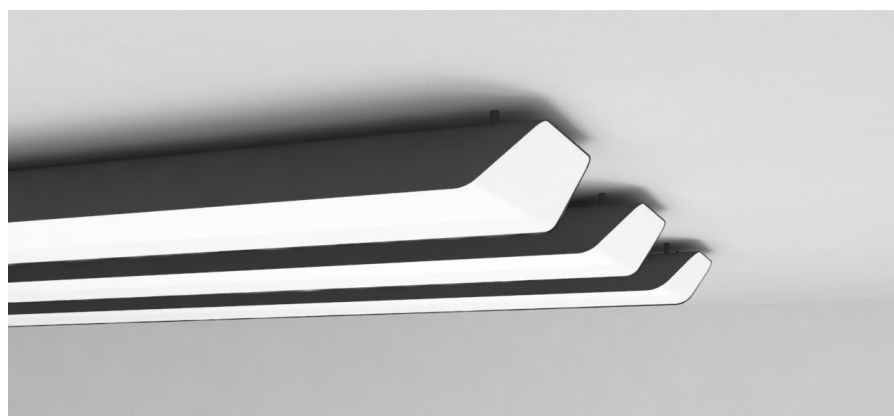
Po celé délce difuzoru jsem umístila tři háčky na každé straně, další dva na zahnutých koncích zabraňují pohybu difuzoru do stran.



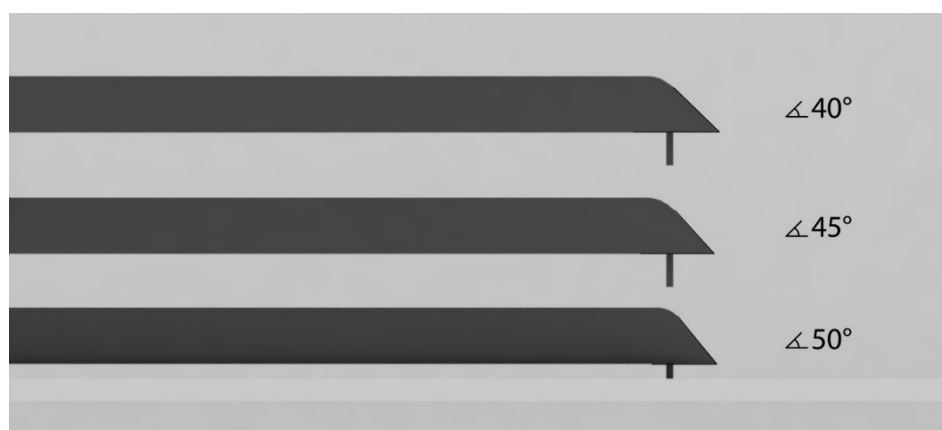
Obr. 46 Difuzor s upevňovacími háčky

9.6 Drobné změny radiusů a úhlů

V této fázi jsem se rozhodla drobně poupravit jednotlivé poloměry zaoblení tak, aby byl celkový tvar esteticky harmonický.



Obr. 47: Různé poloměry ohybu difuzoru (R30, 35, 40)



Obr. 48: Různé úhly šikmé hrany

9.7 Snížení výšky svítidla

Protože nebylo nutné nechávat mezi LED-čipy a difuzorem tolik volného místa, snížila jsem tuto mezeru na možné minimum tak, aby skrz difuzor nebyl viditelný rastr LED.



Obr. 49: Snížená výška svítidla (vpravo)

9.8 Papírový model

Kvůli lepší představě proporcí jsem vytvořila kartonový model svítidla o délce 90 a 120 cm. Tento test byl důležitý jak z pohledu vizuální kontroly zvolených poloměrů a úhlů, tak i kvůli zvolení vhodné délky pro výrobu prototypu.



Obr. 50: Papírový model - délka 90 a 120 cm

9.9 Centrální a spojované varianty

V rámci navrhování jsem vytvořila i několik centrálních variant vycházejících z výchozího tvaru svítidla. Jsou vhodné pro umístění samostatně do interiéru popř. na křížení chodeb.



Obr. 51: Centrální tvarové varianty

Svítidla lze také pomocí spojek řadit do dlouhých pásů.



Obr. 52: Spojování do pásů

10 FINÁLNÍ DESIGNÉRSKÉ ŘEŠENÍ

Finálním produktem mé diplomové práce je kolekce svítidel s automatickou změnou jasu a chromatičnosti, která zahrnuje čtyři různé délkové varianty.

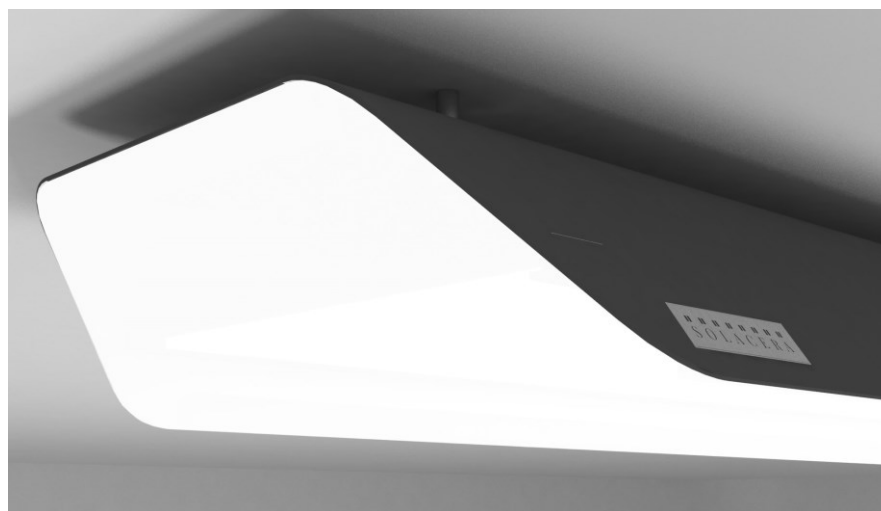
10.1 Solacera Una

Svítidlo se nazývá Solacera Una. Solacera je nově vytvořená obchodní značka společnosti Mauna Kea, která zahrnuje svítidla s technologií automatické změny jasu a chromatičnosti. Una je název tohoto konkrétního svítidla.

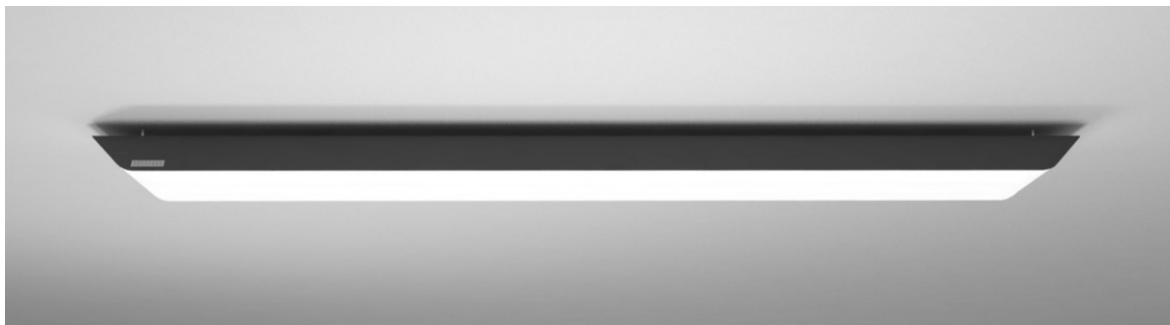
10.2 Finální tvar



Obr. 53: Finální vzhled svítidla



Obr. 54: Detail umístění volitelného loga



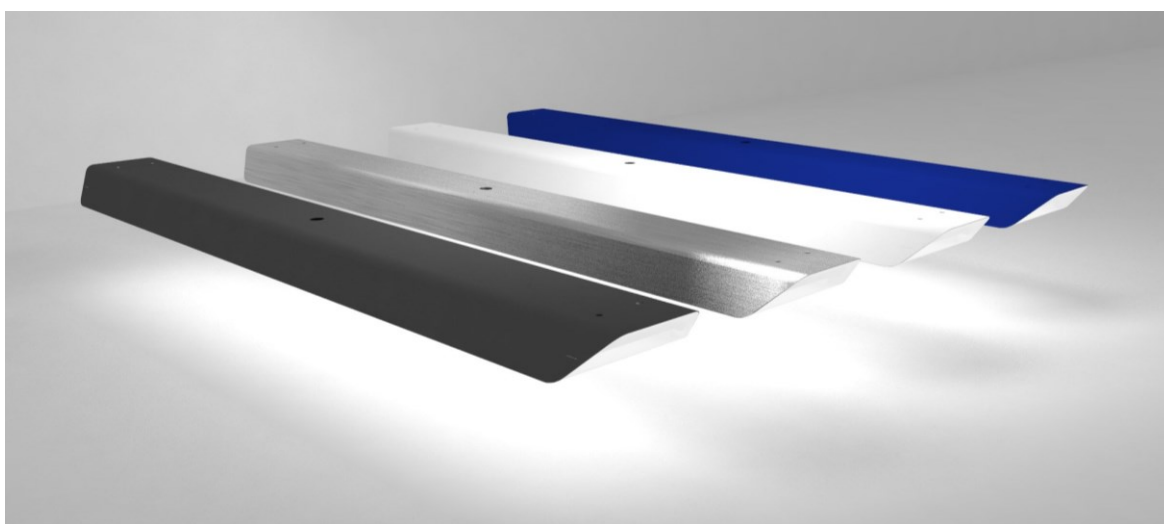
Obr. 55: Svítidlo – boční pohled



Obr. 56: Varianty svítidel s délkou 60, 90, 120 a 150 cm

10.2.1 Barevné varianty

Svítidlo lze ponechat v čisté nebo broušené hliníkové povrchové úpravě, nebo opatřit práškovým lakováním v jakémkoli odstínu ze vzorníku RAL.

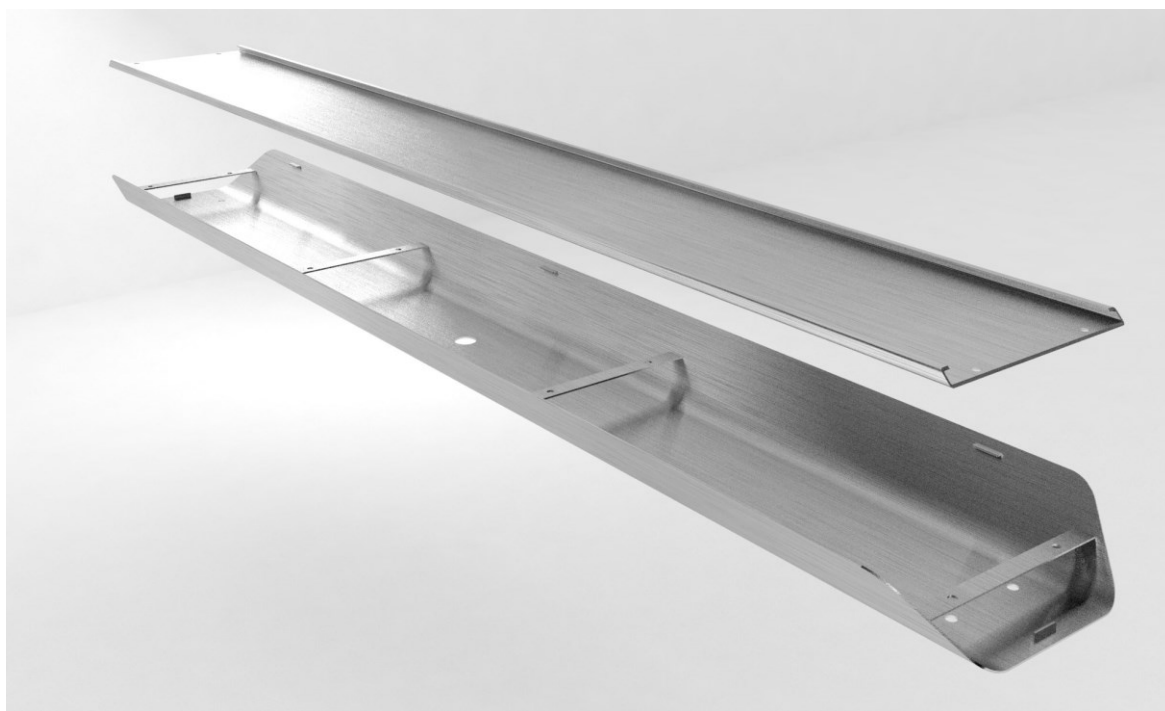


Obr. 57: Barevné varianty

10.2.2 Kovové části

Kovová konstrukce se skládá ze dvou kusů ohýbaného hliníkového plechu o tloušťce 1,5 mm. Hlavní vnější panel je vyztužen kovovými příčkami, které zlepšují tuhost konstrukce a zároveň umožňují připevnění menšího subpanelu šrouby. Osm drobných kovových zářezek slouží k upevnění plastového difuzoru a stejně jako větší příčky jsou k hlavnímu panelu připevněny svařováním. Po stranách jsou vždy dvě díry pro uchycení svítidla ke stropu a prostřední otvor slouží k přívodu drátů.

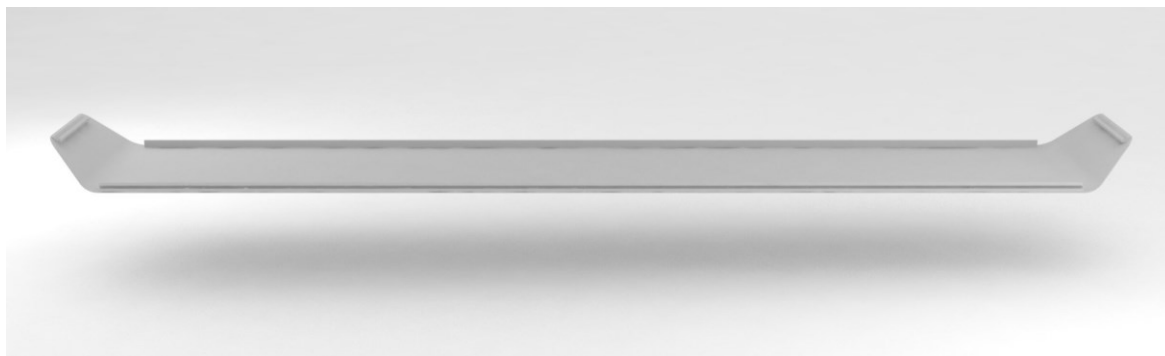
Na subpanelu jsou zespod umístěny LED-čipy, které jsou ovládány elektronikou umístěnou ve třech krabičkách na opačné straně panelu. Tvar se zahnutými okraji umožňuje vsunutí desky s LED-čipy a zároveň zvyšuje torzní tuhost.



Obr. 58: Vizualizace kovové konstrukce

10.2.3 Difuzor

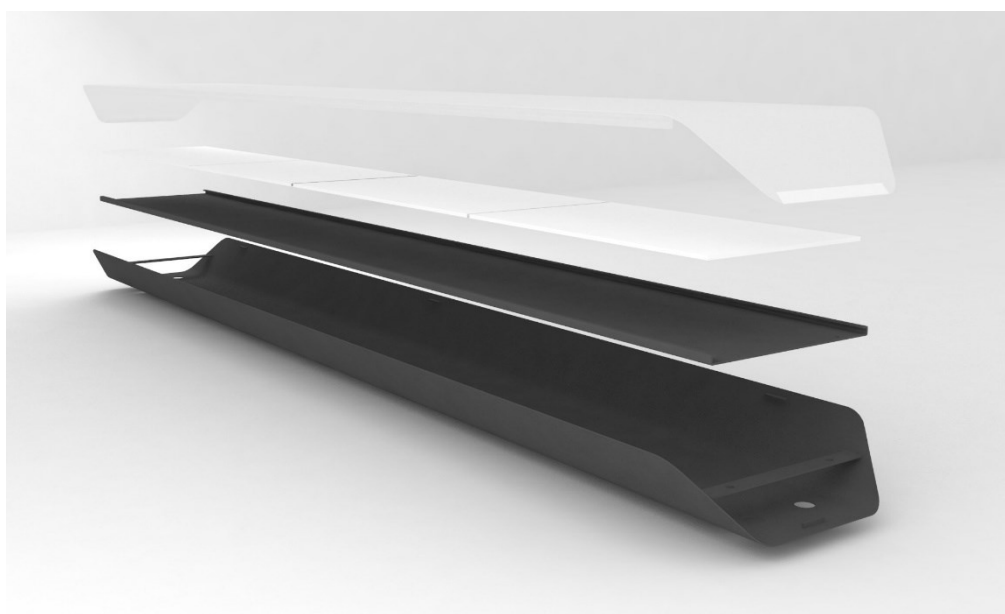
Difuzor tvoří dlouhý kus mléčného plexiskla, které se na koncích zvedá nahoru. Na něm jsou připevněné dlouhé vytlačované profily ve tvaru háčku, které se zacvaknou do připravených zářezek kovového profilu. Díky rešerši technické stavby průmyslových svítidel jsem nakonec přešla od jednotlivých háčků k těmto profilům. Při rozsvícení budou jemné tmavší linky po celé délce svítidla méně rušivé, než několik tmavých bodů.



Obr. 59: Finální tvar difuzoru

10.2.4 Instalace svítidla

Instalace svítidla probíhá postupně ve třech krocích: prvně se pomocí hmoždin a dlouhých vrtů s podložkami připevní krycí kovový panel. Poté se na subpanel s LED-čipy připevní a nastaví přídatná elektronika a zdroje. Subpanel se šrouby přišroubuje na krajní příčky. Po otestování správné funkčnosti se na závěr svítidlo uzavře plastovým difuzorem. Při deinstalaci se postupuje stejným způsobem pozpátku, svítidlo nelze strhnout ze zdi díky subpanelu překrývajícím kotvicí vruty.



Obr. 60: Rozložené svítidlo

10.3 Vizualizace svítidel v interiéru

Pro lepší představu reálného využití světel i pro marketingové účely jsem vytvořila několik vizualizací v interiéru.

Interiér se sloupy je inspirován Baťovskou architekturou – konkrétně budovami Svitů – se svým nezaměnitelným industriálním vzhledem. Ten jen podtrhuje minimalistické tvary svítidla Solacera Una.



Obr. 61: Baťovský interiér

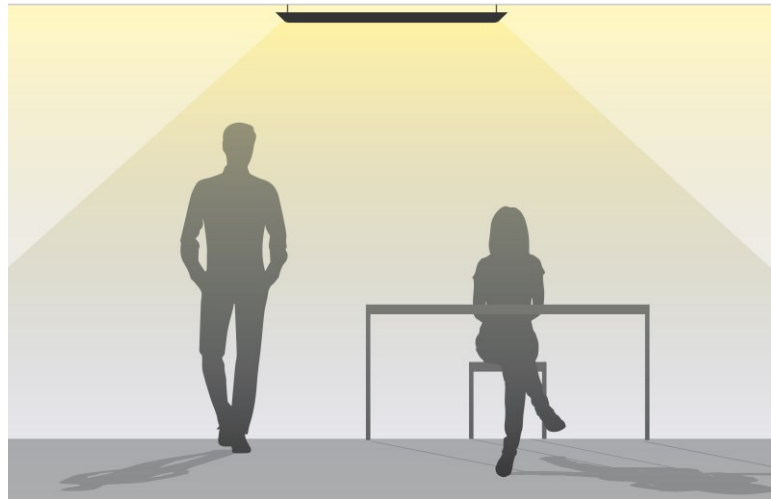
Významnou skupinou potenciálních zákazníků jsou školy, proto jsem vytvořila i model klasické třídy se svítidly umístěnými dle platných norem.



Obr. 62: Model školní třídy

10.4 Ergonomické proporce

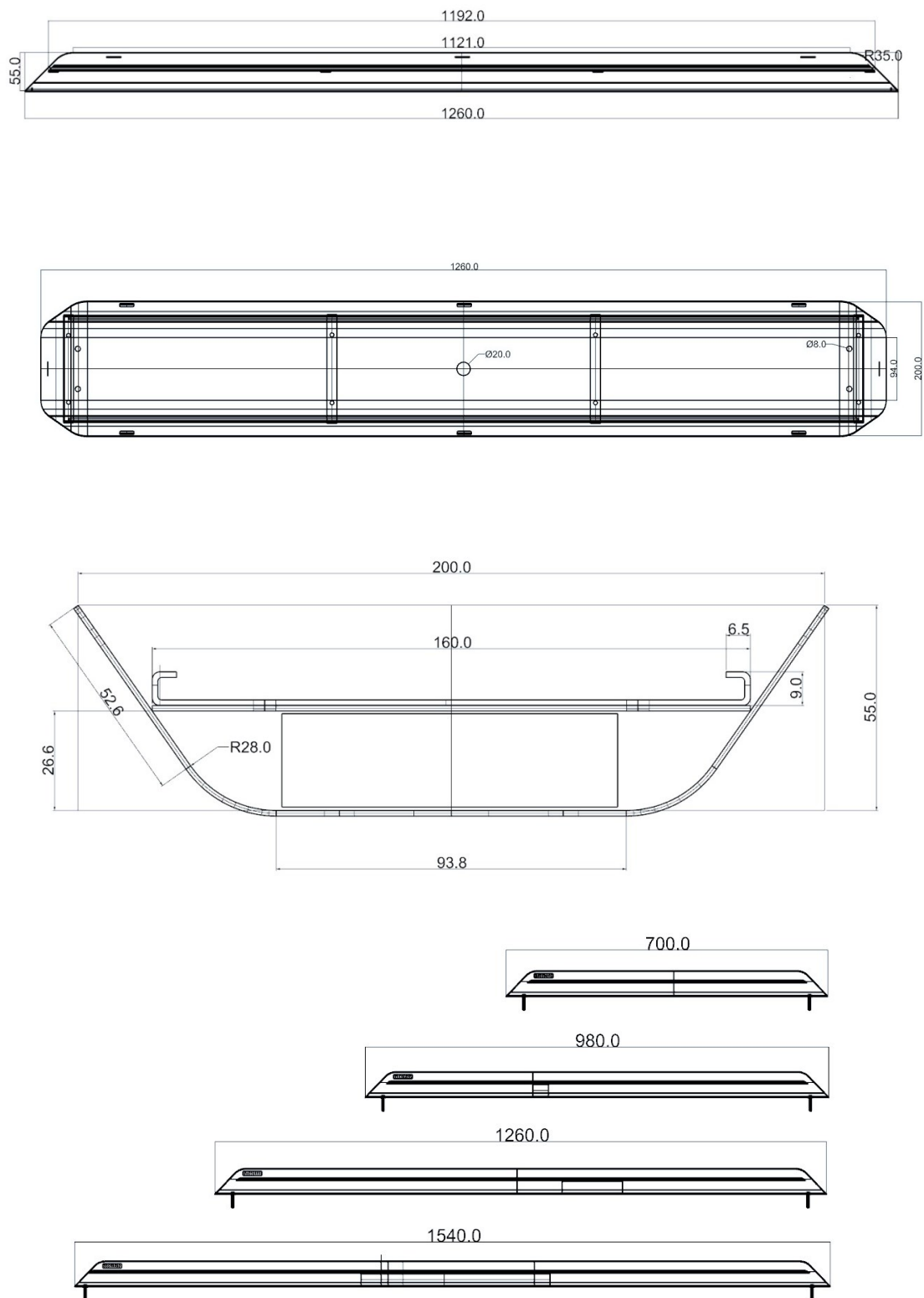
Ilustrace zobrazuje verzi svítidla ve 120 cm délce v poměru s lidskou figurou (muž o výšce 180 cm a žena o výšce 170 cm). Svítidlo díky transparentním bočním částem vyzařuje přímé světlo pod širokým úhlem a zároveň vytváří nepřímé rozptýlené světlo v okolí svítidla.



Obr. 63: Měřítko ve vztahu k lidským proporcím

10.5 Technická dokumentace

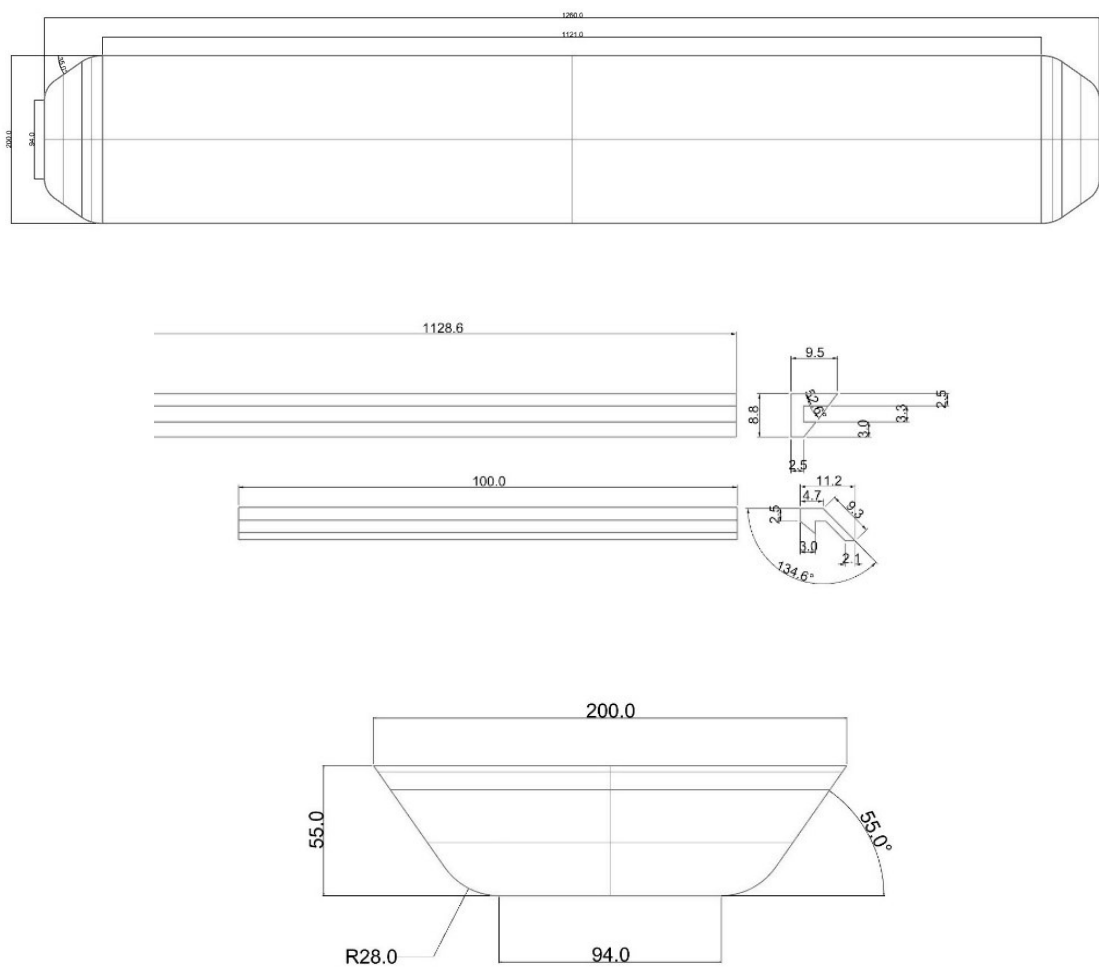
Zde jsou uvedeny detailní rozměry svítidel.



Obr. 64: Celkové rozměry



Obr. 65: Rozměry subpanelu



Obr. 66: Rozměry difuzoru

11 VÝROBA PROTOTYPU

Prototyp jsem se rozhodla vyrábět ve dvou kusech, kdy jedno svítidlo bude zavěšené na lankách a druhé bude rozložené na jednotlivé kusy, aby bylo možné si prohlédnout vnitřní strukturu.

11.1 Výroba kovových částí

Ohýbání kovových částí jsem zadala ve firmě MRB Sazovice, která se specializuje na zpracování plechových materiálů a profilů. Dané profily byly nejdříve vyřezány vodním paprskem a poté ohnuty do požadovaného úhlu.

Svařování hliníku v MRB v Sazovicích nezajišťují, to jsem si musela zajistit u soukromníka z mého okolí.



Obr. 67: Vyrobené kovové profily

11.2 Elektronika a LED

LED-čipy a elektronické součásti včetně zdrojů zajistila společnost LED-filament, za což jim velmi děkuji.

11.3 Výroba difuzoru

Hlavní část difuzoru se vyrábí ve Formu Střelná procesem vakuování mléčného plexiskla o tloušťce 2 mm. Drobné profily je pro mě nejjednodušší vytisknout technologií 3D tisku a přilepit na difuzor.

ZÁVĚR

Navržené svítidlo splňuje všechny požadavky zadavatele a návrh přidává unikátní vzhled, čímž se stane snadno rozpoznatelným pro zákazníky. Organický tvar svítidla psychologicky koresponduje s použitou technologií automatické změny jasu a chromatičnosti v závislosti na denní době, zahnuté okraje směrem nahoru jsou poznávacím znakem tohoto svítidla a navíc eliminují tvorbu ostrých stínů na bočních stranách. Minimalistický vzhled umožňuje umístění svítidel do různorodých interiérů, ať už jde o školní třídy, kanceláře nebo výrobní haly.

Navrhovat osvětlení bylo pro mě inspirativní a velmi přínosné v mnoha ohledech. Příležitost spolupracovat s reálnou firmou mi přinesla spoustu nabytých zkušeností a sebevědomí v oblasti designu a ráda bych se věnovala designu svítidel i v budoucnu. Pravděpodobně jsem měla štěstí na výběr firmy, ale spolupráce byla bezproblémová, takto bych si představovala mé ideální budoucí zaměstnání. Během práce na projektu jsem také budovala mezilidské vztahy a vytvořila si cenné kontakty. Důležitá byla pro mě i spolupráce s výrobními firmami, kde jsem zlepšila mou tvorbu výkresové dokumentace a samotnou komunikaci s firemními zaměstnanci. Reálná možnost sériové výroby mnou navržených svítidel je už jen třešnička na dortu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Karel Sokanský, Tomáš Novák, Marek Bálský, Zdeněk Bláha, Zbyněk Carbol, Daniel Diviš, Blahoslav Socha, Jaroslav Šnobl, Jan Šumpich, Petr Závada. *Světelná technika*. místo neznámé : České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04941-9 .
2. Chalupský, Ladislav. *100x o umělém osvětlení*. Praha : Vydavatelství a nakladatelství ROH, 1969. 24-011-69.
3. Co je to světelný zdroj? *HDT*. [Online] [Citace: 13. 4 2018.] <https://www.hdt.cz/co-je-to-svetelny-zdroj/cz/t-731/>.
4. Světelný tok a intenzita osvětlení. *Svět svítidel*. [Online] [Citace: 13. 4 2018.] <https://www.svet-svitidel.cz/clanky-svetelny-tok-a-intenzita-osvetleni/>.
5. SVĚTELNÝ TOK. *Eglo*. [Online] [Citace: 13. 4 2018.] <http://www.eglo.com/czechia/International/Svet-svetla/Vse-o-svetle/Vysvetlivky-pojmu/Svetelny-tok>.
6. Doporučené intenzity osvětlení a odpovídající produkce tepla pro různá pracoviště. *TZB Info*. [Online] [Citace: 13. 4 2018.] <https://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/62-doporucene-intenzity-osvetleni-a-odpovidajici-produkce-tepla-pro-ruzna-pracoviste>.
7. Světelná účinnost zdrojů světla (žárovky, kompaktní zářivky, výbojky a dalších). *Stavebnictví 3000*. [Online] [Citace: 13. 4 2018.] <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/zarovka-usporna-zarovka-mnozstvi-svetla/>.
8. Barva světla (teplota chromatičnosti) u LED osvětlení. *T-LED*. [Online] [Citace: 11. 4 2018.] <https://www.t-led.cz/info/barva-svetla.html>.
9. Barva světla. *K-LED*. [Online] [Citace: 11. 4 2018.] <http://k-led.cz/content/11-barva-svetla-teplota-chromaticnosti>.
10. Teplota chromatičnosti. *Mendel University in Brno*. [Online] [Citace: 11. 4 2018.] https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=9104.
11. Barva, energie a světlo: Pohled na svět očima fotochemika. *Vysoká škola chemicko-technologická v Praze*. [Online] [Citace: 11. 4 2018.] <https://www.vscht.cz/popularizace/doktorandi-pisou/mojr>.
12. Elektromagnetické spektrum. *Wikipedie*. [Online] [Citace: 11. 4 2018.] https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%A9_spektrum.
13. Aditivní a subtraktivní míšení barev. *SSPU Ostrava*. [Online] [Citace: 11. 4 2018.] http://www.sspu-opava.cz/UserFiles/File/_sablony/Technologie_grafiky_IVY_32_INOVACE_A-02-12.pdf.
14. Barvy. *Dobré světlo*. [Online] [Citace: 9. 5 2018.] <http://www.dobre-svetlo.cz/barvy.php>.
15. Aktualizováno: Spectrometer Ocean Optics a spektra žárovek, zářivek a LED svítidel. *Vývoj HW*. [Online] [Citace: 9. 5 2018.] <https://vyvoj.hw.cz/testovani-a-mereni/spectrometer-ocean-optics-a-spektra-zarovek-zarivek-a-led-svitidel.html>.
16. Ekonomické osvětlení učebny v souladu s platnými předpisy. *Odborné časopisy*. [Online] [Citace: 17. 4 2018.] <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/ekonomicke-osvetleni-ucebny-v-souladu-s-platnymi-predpisy--16185>.
17. 410/2005 Sb. Vyhláška o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých. *Zákony pro lidi*. [Online] [Citace: 17. 4 2018.] <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2005-410>.
18. Strachota, Pavel. Lidský zrak, vnímání a reprezentace barev. *ČVUT*. [Online] [Citace: 5. 5 2018.] <http://saint-paul.fjfi.cvut.cz/base/sites/default/files/POGR/POGR1/03.barvy.pdf>.

- 19. Principy vnímání barev - fyzikální a fyziologická omezení.** *Wikisofia*. [Online] [Citace: 5. 5 2018.] [https://wikisofia.cz/wiki/Principy_vn%C3%ADm%C3%AD_barev_-_fyzik%C3%A1ln%C3%AD_a_fyziologick%C3%A1_omezen%C3%AD](https://wikisofia.cz/wiki/Principy_vn%C3%ADm%C3%A1n%C3%AD_barev_-_fyzik%C3%A1ln%C3%AD_a_fyziologick%C3%A1_omezen%C3%AD).
- 20. Teplota chromatičnosti, jaké je světlo?** *FotoAparát*. [Online] [Citace: 14. 4 2018.] <https://www.fotoaparar.cz/clanek/tisk/40/>.
- 21. What Color is the Sun?** *Universe Today*. [Online] [Citace: 14. 4 2018.] <https://www.universetoday.com/18689/color-of-the-sun/>.
- 22. Senescence, sleep, and circadian rhythms.** *ac.els-cdn*. [Online] [Citace: 14. 3 2018.] https://ac.els-cdn.com/S1568163702000144/1-s2.0-S1568163702000144-main.pdf?_tid=9f963979-b518-4960-b04f-93d33c9a7d5a&acdnat=1521019499_cee80a64f1574f882d2fe4e06d7b42d9.
- 23. Melatonin, human aging, and age-related diseases.** *Science Direct*. [Online] [Citace: 14. 3 2018.] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0531556504002876>.
- 24. 2_P_B_Vagnerova_Biorytmy.** *Fakulta pedagogická Západočeské univerzity v Plzni*. [Online] [Citace: 10. 4 2018.] https://www.pc.fpe.zcu.cz/wp-content/uploads/07_chemie/web/2_P_B_Vagnerova_Biorytmy.pdf.
- 25. Cirkadiánní rytmus.** *Wikisofia*. [Online] [Citace: 10. 4 2018.] https://wikisofia.cz/wiki/Cirkadi%C3%A1ln%C3%AD_rytmus.
- 26. Z historie osvětlovací techniky: vynález petrolejové lampy.** *Třípól*. [Online] [Citace: 14. 4 2018.] <https://www.3pol.cz/cz/rubriky/bez-zarazeni/320-z-historie-osvetlovaci-techniky-vynalez-petrolejove-lampy>.
- 27. Před 160 lety se Praha rozsvítila. Ale lidé se báli.** *Technet*. [Online] [Citace: 14. 4 2018.] https://technet.idnes.cz/pred-160-lety-se-praha-rozsvitila-ale-lide-se-bali-fr6-/tec_technika.aspx?c=A070913_185907_tec_technika_rja.
- 28. Druhy světelných zdrojů v domácnostech.** *Světloblog*. [Online] [Citace: 4. 4 2018.] <http://www.svetloblog.cz/index.php?svetlo=druhy-svetelnych-zdroju-domacnosti>.
- 29. Fotodioda.** *Elektross*. [Online] [Citace: 8. 4 2018.] http://elektross.gjn.cz/soucastky/jeden_prechod/led.html.
- 30. Světlo z elektrického oblouku.** *Odborné časopisy*. [Online] [Citace: 9. 4 2018.] <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/svetlo-z-elektrickeho-oblouku--12731>.
- 31. Žárovka.** *Wikipedie*. [Online] [Citace: 7. 4 2018.] <https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%BD%C3%A1rovka>.
- 32. Žárovka.** *Elektross*. [Online] [Citace: 7. 4 2018.] <http://elektross.gjn.cz/svitime/zarovka.html>.
- 33. Halogenová žárovka.** *Wikipedie*. [Online] [Citace: 7. 4 2018.] https://cs.wikipedia.org/wiki/Halogenov%C3%A1_%C5%BE%C3%A1rovka.
- 34. PN Přejchod - Dioda.** *Elektross*. [Online] http://lucy.troja.mff.cuni.cz/~tichy/elektross/soucastky/jeden_prechod/dioda.html.
- 35. Posviťme si na LED.** *AZ Časopis*. [Online] [Citace: 9. 4 2018.] <http://www.azcasopis.cz/index.php/clanky/35-kat1/68-posvime-si-na-led>.
- 36. Manuál LED Parametrů.** *Retrast*. [Online] [Citace: 9. 4 2018.] http://www.retrast.cz/downloads/Manual_LED_PARAMETRU_M02_08082012_3.pdf.
- 37. Historie světelných diod LED.** *Odborné časopisy*. [Online] [Citace: 9. 4 2018.] <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/historie-svetelnych-diod-led--1696>.
- 38. OLED displeje: technologie současnosti i budoucnosti.** *AVmania*. [Online] [Citace: 10. 4 2018.] <https://avmania.e15.cz/oled-displeje-technologie-soucasnosti-i-budoucnosti>.
- 39. Seznamte se s OLED - organickou luminiscenční diodou.** *FreyLED*. [Online] [Citace: 10. 4 2018.] <https://freyled.com/cs/blog/seznamte-se-s-oled-organickou-luminiscennci-diodou>.

- 40. Rozhovor na téma: Svítidla SOLACERA.** Informace poskytl: Ing. Kužel, Libor.
- 41. Index podání barev. SMD LED Žárovky.** [Online]
<https://www.smdledzarovky.cz/nas.radce/index.podani.barev>.
- 42. LCM-40. MEAN WELL.** [Online] [Citace: 19. 4 2018.] <http://www.mean-well.cz/napajeci-zdroje/zdroje-pro-led/lcm/lcm-40/show/new-product-13>.
- 43. Účinník.** *Wikipedie.* [Online] [Citace: 3. 5 2018.]
<https://cs.wikipedia.org/wiki/%C3%9A%C4%8Din%C3%ADk>.
- 44. LED osvětlovací řešení a řízení osvětlení.** *Zumtobel.* [Online] [Citace: 17. 4 2018.]
<https://www.zumtobel.com/cz-cs/Company.html#1628>.
- 45. SEC s.r.o. - Professional Lighting Solutions. SEC Lighting.** [Online] [Citace: 10. 5 2018.]
<https://www.sec.sk/uvod/>.
- 46. Katalogy a ceníky.** *Artemide.* [Online] [Citace: 10. 5 2018.] <http://www.artemide.cz/katalogy>.
- 47. Biodynamické systémy osvětlení.** *Odborné Časopisy.* [Online] [Citace: 3. 5 2018.]
<http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/biodynamicke-systemy-osvetleni--16384>.
- 48. A conference on the influence of light on people.** *iGuzzini.* [Online] [Citace: 3. 5 2018.]
<https://www.iguzzini.com/news/iguzzini-at-lighting-innovation/>.
- 49. Automatické řízení osvětlení místností na konstatní hodnotu.** *E-LIGHT.* [Online] [Citace: 3. 5 2018.]
<https://www.e-light.cz/zprava/automaticke-rizeni-osvetleni-kancelare-na-konstatni-hodnotu>.
- 50. About Us - Lighting and Controls.** *Acuity Brands.* [Online] [Citace: 10. 5 2018.]
<https://www.acuitybrands.com/about-us>.
- 51. Tlakové lití.** *Silesia Tech.* [Online] [Citace: 15. 4 2018.] <http://www.silesia-tech.cz/tlakove-liti>.
- 52. Technologie tváření a slévání.** *Technická univerzita Ostrava - Fakulta strojní.* [Online] [Citace: 15. 4 2018.]
http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_004/Technologie%20tv%C3%A1%C5%99en%C3%AD%20a%20sl%C3%A9v%C3%A1n%C3%AD%20-%20Teoretick%C3%BD%20z%C3%A1klad/02%20Text%20pro%20e-learning/publikovat/kapitoly/8.%20OH%C3%9DB%C3%81N%C3%8D.pdf.
- 53. Kubíček, J. Technologie svařování.** *Ústav strojírenské technologie.* [Online] [Citace: 15. 4 2018.]
http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/technologie_svarovani_5te_etv_etv-k_kubicek.pdf.
- 54. Polymethylmethakrylát.** *Polyplasty.* [Online] [Citace: 16. 4 2018.]
<https://www.polyplasty.cz/polymethylmethakrylat.html>.
- 55. Plexisklo.** *Polykarbonát-expert.* [Online] [Citace: 16. 4 2018.] <https://www.polykarbonat-expert.cz/poradna/slovník-pojmu/plexisklo/>.
- 56. Polycarbonát.** *Polyplasty.* [Online] [Citace: 16. 4 2018.] <https://www.polyplasty.cz/material-polycarbonat.html>.
- 57. Polykarbonát.** *Polykarbonát-expert.* [Online] [Citace: 16. 4 2018.] <https://www.polykarbonat-expert.cz/poradna/slovník-pojmu/polykarbonat/>.
- 58. Luminaires.** *Reflexite Energy Solutions.* [Online] [Citace: 17. 4 2018.]
http://www.orafol.com/tl_files/EnergyUSA/documents/Luminaires.pdf.
- 59. All you need to know about micro prism optics.** *Zuend Optics.* [Online] [Citace: 17. 4 2018.]
<http://www.zuendoptics.com/products/micro-prism.html>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

lm	Lumen
W	Watt
cd	Kandela
lx	Lux
K	Kelvin
Např.	Například
nm	Nanometr
tzv.	Takzvaný
LED	Light Emitting Diode
Hod.	hodina
UV	Ultrafialový
Ra, CRI	Color Rendering Index
$\cos \varphi$	elektrický účinník
IoT	Internet of Things
PMMA	Polymethylmethakrylát
R	Poloměr
Apod.	A podobně

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Schéma výpočtu intenzity osvětlení	11
Karel Sokanský a spol. <i>Světelná technika</i> . České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04941-9 .	
Obr. 2: Elektromagnetické spektrum	13
Zdroj: https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/download.pl?objekt=18003	
Obr. 3: Aditivní míchání barev	13
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e8/AdditiveColorMixiing.svg/1200px-AdditiveColorMixiing.svg.png	
Obr. 4: Spektrum slunečního světla	14
http://led-filament.cz/grafy/1.gif	
Obr. 5: Spektrum klasické žárovky	14
http://led-filament.cz/grafy/4.gif	
Obr. 6: Spektrum žárovky LED-filament	14
http://led-filament.cz/grafy/3.gif	
Obr. 7: Spektrum dříve vyráběných LED	14
http://led-filament.cz/grafy/2.gif	
Obr. 8: Úsporná kompaktní zářivka	15
http://led-filament.cz/grafy/5.gif	
Obr. 9: Vhodné půdorysné rozmístění osvětlení v učebně	15
http://www.odbornecasopisy.cz/imagesold/s0306143.gif	
Obr. 10: Fotografie Slunce pořízená z Mezinárodní vesmírné stanice (ISS)	16
https://www.nasa.gov/sites/default/files/styles/full_width_feature/public/images/586473main_iss028e005671_full.jpg	
Obr. 11: Graf denní tvorby melatoninu v závislosti na věku	17
https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0531556504002876-gr1.jpg	
Obr. 12: Jabločkovova elektrická svíčka	20
http://www.odbornecasopisy.cz/imagesold/e0107611.jpg	
Obr. 13: Halogenová žárovka	21
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/49/Wolfram-Halogengl%C3%BChlampe.png	
Obr. 14: Tesla LQ-100, první LED vyráběná v Československu v 70. letech	22
Autorská fotografie	
Obr. 15: Zdroj LCM-40	26
http://www.mean-well.cz/assets/images/_resampled/SetWidth200-LCM-40.png	

Obr. 16: Klasické zářivkové svítidlo	27
https://im9.cz/iR/importprodukt-orig/093/09392c398e77a45e0dce2bd9302e1f01.jpg	
Obr. 17: Svítidlo TECTON, svítidlo CRAFT M - Zumtobel	28
http://resources.zumtobel.com/PDB/resources/Photo/2011_products_584_L4/ZS_TEC_F_LED_UGR.jpg	
http://resources.zumtobel.com/PDB/resources/Photo/2011_products_584_L4/ZS_CRF_F_CRAFT_M_PMMA.jpg	
Obr. 18: LAMELUX-D-LED, WEGA MODULE SYSTEM – SEC	28
https://www.sec.sk/wp-content/uploads/fly-images/1615/product_236_9333_lamelux-d-cierny-2014-np-999999x999999.jpg	
https://www.sec.sk/wp-content/uploads/fly-images/3817/wega-module2-prisadenazave-999999x999999.jpg	
Obr. 19: Talo Catamarano Suspension, Plane – Artemide	29
https://panik-design.com/wp-content/uploads/2017/07/b-pop-up-arte-talo-double.jpg	
https://img.edilportale.com/product-thumbs/b_PLANE-Artemide-302032-rel70f46573.jpg	
Obr. 20: Automatické řízení osvětlení kanceláře na konstantní hodnotu	29
https://www.e-light.cz/pictures/ID_197_01_automaticke-rizeni-osvetleni-kancelare-na-konstatni-hodnotu.jpg	
Obr. 21: Acuity Brands – Lightedge LED Rectangular Indirect-Direct.....	30
https://www.acuitybrands.com/products/detail/810577/Peerless/Lightedge-LED-Rectangular-Indirect-Direct/EGRM4L-Linear-Luminaire	
Obr. 22: Prizmatický difuzor	33
http://www.pth-group.com/images/thumbnails/images/news/development/microprismaticprofiles-fill-300x200.jpg	
Obr. 23: Testování různých variant žebrování.....	36
Obr. 24: Žebrování s ploškami pod úhlem 45°, mezi nimi vzniká prostor pro umístění krabičky s elektronikou	36
Obr. 25: První kresebné návrhy	37
Obr. 26: Návrhy s žebrováním.....	37
Obr. 27: Varianta s vnitřními žebry	38
Obr. 28: Organické varianty tvaru svítidla	38
Obr. 29: Základ finálního tvaru	38
Obr. 30: Detail odvětrávacích drážek	39
Obr. 31: Zkosení okrajů.....	40
Obr. 32: Konstrukce z ohýbaného plechu.....	41
Obr. 33: Vizualizace zadaných délkových variant	41
Obr. 34 Kresebné varianty upevnění	42
Obr. 35: Válcový upevňovací mechanismus	42
Obr. 36: Upevňovací U-profil.....	43

Obr. 37: Upevnění pomocí vrutů a podložek s větším průměrem	43
Obr. 38: Upevnění subpanelu	44
Obr. 39: Organické tvarové varianty	44
Obr. 40: Tvar difuzoru s širokým lemem	45
Obr. 41: Difuzor obepínající svítidlo	45
Obr. 42: Spojení jednotlivých částí šrouby	46
Obr. 43: Upevnění pomocí háčků a zarážek	46
Obr. 44: Možné tvary háčků	46
Obr. 45 Difuzor s upevněnými háčky	47
Obr. 46: Různé poloměry ohybu difuzoru (R30, 35, 40).....	47
Obr. 47: Různé úhly šikmé hrany	47
Obr. 48: Snížená výška svítidla (vpravo).....	48
Obr. 49: Papírový model délka 90 a 120 cm	48
Obr. 50: Centrální tvarové varianty	49
Obr. 51: Spojování do pásů.....	49
Obr. 52: Finální vzhled svítidla	50
Obr. 53: Detail umístění volitelného loga.....	50
Obr. 54: Svítidlo – boční pohled.....	51
Obr. 55: Varianty svítidel s délkou 60, 90, 120 a 150 cm	51
Obr. 56: Barevné varianty.....	51
Obr. 57: Vizualizace kovové konstrukce	52
Obr. 58: Finální tvar difuzoru	53
Obr. 59: Rozložené svítidlo	53
Obr. 60: Bařovský interiér.....	54
Obr. 61: Model školní třídy	54
Obr. 62: Měřítko ve vztahu k lidským proporcím	55
Obr. 63: Celkové rozměry	56
Obr. 64: Rozměry subpanelu	57
Obr. 65: Rozměry difuzoru.....	57
Obr. 66: Vyrobené kovové profily.....	58