

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Návrh energeticky úsporného osvětlení rodinného  
domu**

**vedoucí práce: Ing. Viktor Majer, Ph.D.**

**2014**

**autor: Bc. Ondřej Choleva**

## **Anotace**

Předkládaná práce se zaměřuje na volbu světelných zdrojů k osvětlování rodinných domů. Je rozdělena do tří částí. V prvním bodě práce jsou představeny některé typy světelných zdrojů, jejich možnosti a kritéria, podle kterých se světelné zdroje vybírají. Ve druhém bodě proběhlo zmapování stavu osvětlení vybraného objektu měření. Celý objekt byl poté nasimulován v programu DIALux EVO. Následně byl v tomto programu vytvořen zcela nový návrh osvětlení. V závěru práce je zhodnocení energetické náročnosti a návratnosti nově navržené soustavy.

## **Klíčová slova**

Návrh osvětlení, DIALux EVO, světlo, osvětlení, světelné zdroje, rodinný dům, energetická náročnost

# **Abstract**

This thesis focuses on the choice of light sources to illuminate family house. In the first part, some types of light sources, their options and criteria for the selection are presented. The second part maps the state of the selected object illumination measurements. The entire building was then simulated in DIALux EVO. Subsequently, this program created an entirely new lighting design. In conclusion the evaluation of energy performance and recovery of investment of newly designed system are demonstrated.

# **Key words**

Lighting design, DIALux EVO, light, lighting, lamps, house, energy consumption

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce. Veškerý software použitý k vytvoření této bakalářské práce byl zcela legální.

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Viktoru Majerovi Ph.D. za cenné profesionální připomínky, odborné posouzení a metodické vedení práce. Dále bych chtěl poděkovat majitelce rodinného domu za poskytnutí projektových plánů a volného přístupu do objektu.

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>1-7</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>1-9</b>
<b>POUŽITÉ SYMBOLY</b> .....	<b>1-10</b>
<b>1 SOUČASNÉ MOŽNOSTI A TRENDY V OSVĚTLOVÁNÍ BUDOV</b> .....	<b>1-11</b>
1.1 DENNÍ OSVĚTLENÍ .....	1-11
1.2 UMĚLÉ OSVĚTLENÍ.....	1-13
1.3 SDRUŽENÉ OSVĚTLENÍ .....	1-14
<b>2 SVĚTELNÉ ZDROJE</b> .....	<b>2-15</b>
2.1 TEPELNÉ ZDROJE .....	2-15
2.1.1 <i>Klasické žárovky</i> .....	2-15
2.1.2 <i>Halogenové žárovky</i> .....	2-17
2.2 VÝBOJOVÉ ZDROJE.....	2-17
2.2.1 <i>Lineární trubicové zářivky</i> .....	2-17
2.2.2 <i>Indukční výbojky</i> .....	2-19
2.2.3 <i>Kompaktní zářivky</i> .....	2-20
2.2.4 <i>Vysokotlaké výbojky</i> .....	2-22
2.3 LUMINISCENČNÍ.....	2-22
2.3.1 <i>LED</i> .....	2-22
2.3.2 <i>Organic LED</i> .....	2-25
<b>3 KRITÉRIA PRO VÝBĚR VHODNÉHO OSVĚTLENÍ</b> .....	<b>3-27</b>
3.1 PROSTOR A JEHO ASPEKTY.....	3-27
3.2 CHARAKTERISTIKA UŽIVATELE .....	3-27
3.3 ÚROVEŇ JASU .....	3-28
3.4 OSVĚTLENOST .....	3-29
3.5 OSLNĚNÍ .....	3-31
3.6 SMĚROVÉ VLASTNOSTI .....	3-32
3.7 MÍHÁNÍ SVĚTLA .....	3-32
3.8 BAREVNÉ VLASTNOSTI.....	3-33
3.9 UDRŽOVACÍ ČINITEL.....	3-35
3.10 STÁRNUTÍ SVĚTELNÉHO ZDROJE.....	3-35
3.11 MĚRNÝ VÝKON .....	3-36
<b>4 PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ</b> .....	<b>4-37</b>

<b>5</b>	<b>STÁVAJÍCÍ STAV OSVĚTLENÍ RODINNÉHO DOMU .....</b>	<b>5-38</b>
5.1	MĚŘENÍ .....	5-39
5.2	KUCHYŇĚ A OBÝVACÍ POKOJ .....	5-40
5.3	PRACOVNA .....	5-44
5.4	KOUPELNA.....	5-46
5.5	CHODBA A SCHODIŠTĚ.....	5-48
5.6	DĚTSKÝ POKOJ.....	5-50
5.7	LOŽNICE .....	5-52
5.8	ZÁVĚR .....	5-54
<b>6</b>	<b>POSTUP NÁVRHU OSVĚTLENÍ PODLE UŽITÍ MÍSTNOSTÍ .....</b>	<b>6-55</b>
<b>7</b>	<b>NÁVRH OSVĚTLENÍ RODINNÉHO DOMU.....</b>	<b>7-56</b>
7.1	KUCHYŇĚ A OBÝVACÍ POKOJ .....	7-56
7.2	PRACOVNA .....	7-60
7.3	KOUPELNA.....	7-62
7.4	CHODBA A SCHODIŠTĚ.....	7-63
7.5	DĚTSKÝ POKOJ.....	7-65
7.6	LOŽNICE .....	7-66
7.7	ZHODNOCENÍ .....	7-67
<b>8</b>	<b>TECHNICKO-ENERGETICKÉ ASPEKTY .....</b>	<b>8-68</b>
8.1	ENERGETICKÁ HLEDISKA.....	8-68
8.1.1	<i>Výpočet energetické náročnosti .....</i>	<i>8-68</i>
8.2	VÝPOČET NÁVRATNOSTI .....	8-72
<b>9</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>9-75</b>
<b>10</b>	<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>10-76</b>
<b>11</b>	<b>INTERNETOVÉ ZDROJE .....</b>	<b>11-77</b>

# Úvod

Světlo je jedním z nejdůležitějších prvků v lidském životě a proto je důležité věnovat mu dostatečnou pozornost, jelikož zrakem je člověk schopen zjistit až 80% informací o prostředí, ve kterém se nachází. V současné době se klade velký důraz na snižování energetické náročnosti ve prospěch životního prostředí. Jednou z možných cest jak takovému úspory docílit je snížením spotřeby elektrické energie na osvětlení obytných prostor.

Tuto práci jsem si vybral, abych zjistil, zda je možné efektivně snížit náklady na elektrickou energii vhodnou volbou světelných zdrojů. V této práci jsem si vytyčil za cíl, najít vhodný objekt rodinného domu a navrhnout pro něj úspornou osvětlovací soustavu. K tomu, aby bylo možné tuto soustavu porovnat, je potřeba znát parametry jednotlivých světelných zdrojů a kritéria, podle kterých se volí. Jako další cíl práce si kladu definovat současné možnosti v osvětlování budov.

Na závěr chci porovnat mnou navržené řešení s reálným stavem a zjistit celkovou energetickou náročnost, a zdali bude můj návrh rentabilní.



## Použité symboly

A	[m <sup>2</sup> ]	plocha
c	[-]	exponent pro výpočet korekčního činitele
C <sub>K</sub>	[Kč]	cena světelného zdroje za kus
C <sub>PP</sub>	[Kč]	pořizovací náklady na rok
C <sub>PR</sub>	[Kč]	provozní roční náklady
C <sub>W</sub>	[Kč]	cena elektrické energie za kWh
D	[%]	činitel denní osvětlenosti
E	[lx]-	osvětlenost v kontrolním bodě
E <sub>h</sub>	[lx] -	osvětlenost venkovní nezacloněné roviny
E <sub>ind</sub>	[lx]	svislá nepřímá osvětlenost očí pozorovatele
E <sub>m</sub>	[lx]	průměrná osvětlenost v prostoru
E <sub>h</sub>	[kWh/m <sup>2</sup> /lx/rok]	měrná roční spotřeba energie
k	[-]	korekční činitel
L	[cd.m <sup>2</sup> ]	jas svítící části každého svítidla ve směru očí pozorovatele
L <sub>b</sub>	[cd.m <sup>2</sup> ] -	jas v pozadí v cd.m <sup>2</sup>
LENI	[-]	lighting energy numeric indicator
MF	[-]	udržovací činitel
n	[ks]	počet zdrojů
P	[W]	elektrický příkonu
p	[-]	činitel odrazu
P	[W]	příkon světelného zdroje
R <sub>a</sub>	[-]	index podání barev
T	[°C]	teplota
t <sub>0</sub>	[h/rok]	celková doba provozu
T <sub>c</sub>	[K]	teplota chromatičnosti
t <sub>ž</sub>	[hod]	doba životnosti
UGR	[-]	index oslnění
U <sub>n</sub>	[V]	jmenovité síťové napětí
W	[Wh/rok]	energetická náročnost
Φ	[lm]	světelný tok

# 1 Současné možnosti a trendy v osvětlování budov

Světlo je nedílnou součástí lidského života, většina z nás si ani neuvědomuje jeho důležitost, přestože pomocí zraku člověk získá až 80% informací o prostředí. Obecně dělíme osvětlovací soustavy dle primárního zdroje světla na soustavy:

- Denního osvětlení
- Umělého osvětlení
- Sdruženého osvětlení

Hlavním trendem v dnešní době je snižování spotřeby elektrické energie a dosažení co největší šetrnosti k životnímu prostředí. Proto je při projektování osvětlovací soustavy upřednostňované denní, popřípadě kombinované osvětlení.

## 1.1 Denní osvětlení

Denní osvětlení je přirozeným osvětlením vnějších nebo vnitřních prostorů, do kterých proniká přírodní světlo okny či jinými otvory jako jsou světlíky nebo světlovody.

Je ho možné rozdělit dle místa vniku světla do prostoru:

- Boční denní osvětlení
- Horní denní osvětlení
- Kombinované denní osvětlení

Boční osvětlení v místnosti je docíleno otvorem v boční stěně místnosti, oproti tomu horní osvětlení je zajištěno otvorem ve stropě, obráceným přímo k obloze. Otvory ve stropě bývají ve formě světlíků, oken nebo také ve formě světlovodů. U větších prostorů působí horní osvětlení jako sytější zdroj světla, nevýhodou stropního otvoru bývá nemožnost pozorování okolí.

## Činitel denní osvětlenosti

Při projektování osvětlovací soustavy v objektu musíme mimo charakteru prostoru vědět, jestli je hladina osvětlenosti denním osvětlením dostatečná nebo bude potřeba využití umělého či kombinovaného osvětlení. Toto kritérium nám určuje činitel denní osvětlenosti, který stanoví úroveň oblohové složky pronikající do prostoru budovy. Je to poměrná veličina vyjádřená v procentech, která se vypočítá jako poměr osvětlenosti v kontrolním bodě uvažovaného prostoru a osvětleností venkovní nezastíněné roviny.

$$D = \frac{E}{E_h} 100 \text{ [%}, lx, lx]$$

$E$  - [lx] - osvětlenost v kontrolním bodě

$E_h$  [lx] - osvětlenost venkovní nezacloněné roviny

Jelikož je oblohová složka světla dynamická, mění se její stav během dne a v průběhu roku v závislosti na poloze slunce a oblačnosti. Při výpočtu se vždy počítá s nejhorším stavem oblohy a to je zatažené obloha v zimě. Dle tabulky (**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**) se stanoví, jestli je denní osvětlení dostatečné pro zrakovou činnost uvažovanou v prostoru.

<u>Třída</u> <u>zrakové</u> <u>činnosti</u>	<u>Charakter</u> <u>zrakové</u> <u>činnosti</u>	<u>Poměrná</u> <u>pozorovací</u> <u>vzdálenost</u>	<u>Příklady zrakových činností</u>	<u>Činitel denní</u> <u>osvětlenosti</u>	
				$D_{min}$ [%]	$D_m$ [%]
I	Mimořádně přesná	3300 +	Nejpřesnější zraková činnost s požadavkem na vyloučení chyb	3,5	10
II	Velmi přesná	1670 - 3300	Velmi přesná zraková činnost při výrobě a kontrole	2,5	7
III	Přesná	1000 - 1670	Přesná výroba a kontrola, rýsování, obtížné laboratorní práce, vyšívání, náročné vyšetření	2	6
IV	Středně přesná	500 - 1000	Středně přesná výroba a kontrola, rýsování, čtení a psaní, obsluha strojů, příprava jídel	1,5	5
V	Hrubší	100 - 500	Hrubší práce, manipulace s předměty a materiálem, konzumace jídla a obsluha, oddechová činnost, čekárny	1	3
VI	Velmi hrubá	Menší než 100	Udržování čistoty, sprchování a mytí, převlékání, chůze a orientace v prostoru	0,5	2
VII	Pouze orientace	-	Chůze, doprava materiálu, skladování hrubého materiálu, celkový dohled	0,25	1

**Tab. 1** Tabulka základních požadavků na úroveň denního osvětlení [N.3]

Minimálních hodnot  $D_{\min}$  musí být dosaženo ve všech kontrolních bodech vnitřního prostoru nebo jeho funkčně vymezených částí, zato průměrné hodnoty  $D_m$  musí být splněno pouze u prostorů s horním denním osvětlením nebo kombinovaným osvětlením.

## 1.2 Umělé osvětlení

Soustavy umělého osvětlení zajišťují podmínky pro zrakovou činnost při nedostatku denního osvětlení v prostorech se zanedbatelným denním osvětlením anebo v prostorech, kde není žádný otvor k přivedení světla. Umělé osvětlení je možné rozdělit dle několika hledisek. Například dle zdroje proudu a provozního účelu na tyto druhy soustav.

- normální osvětlení
- poruchové osvětlení
- technologické osvětlení

Normální osvětlení je takové osvětlením, které je určeno pro vytvoření vhodných světelných podmínek za bezporuchového stavu, dále se rozděluje na hlavní, pomocné a bezpečnostní. Hlavní osvětlení slouží při provozu za normálních podmínek, oproti tomu osvětlení pomocné je využíváno zřídka a pouze pro úkony mimo hlavní provoz jako je například úklid. Bezpečnostní osvětlení se využívá pouze při mimořádných událostech, obvykle je napájeno z jiného nezávislého zdroje.

Poruchové osvětlení se dělí na náhradní, nouzové a protiúrazové. Náhradní je takové, které na určitou dobu supluje normální osvětlení tak, aby nedošlo k úrazu. Nouzové slouží výhradně k osvětlení únikových cest při přerušení dodávky elektrické energie. Protiúrazové je navrhováno k zajištění bezpečnosti lidí při výpadku dodávky elektrické energie, například k bezpečnému doběhu strojů.

Další způsob dělení soustavy je dle rozložení světla v prostoru na osvětlení celkové, odstupňované a kombinované. Celkové osvětlení zajišťuje vždy osvětlenost v celém prostoru, oproti tomu odstupňované osvětlení je energeticky méně náročné a je soustředěno na jednotlivé pracoviště. Kombinovaná varianta vzniká sloučením obou předchozích typů, tento typ se jeví v obytných domech jako neekonomičtější.

## 1.3 Sdružené osvětlení

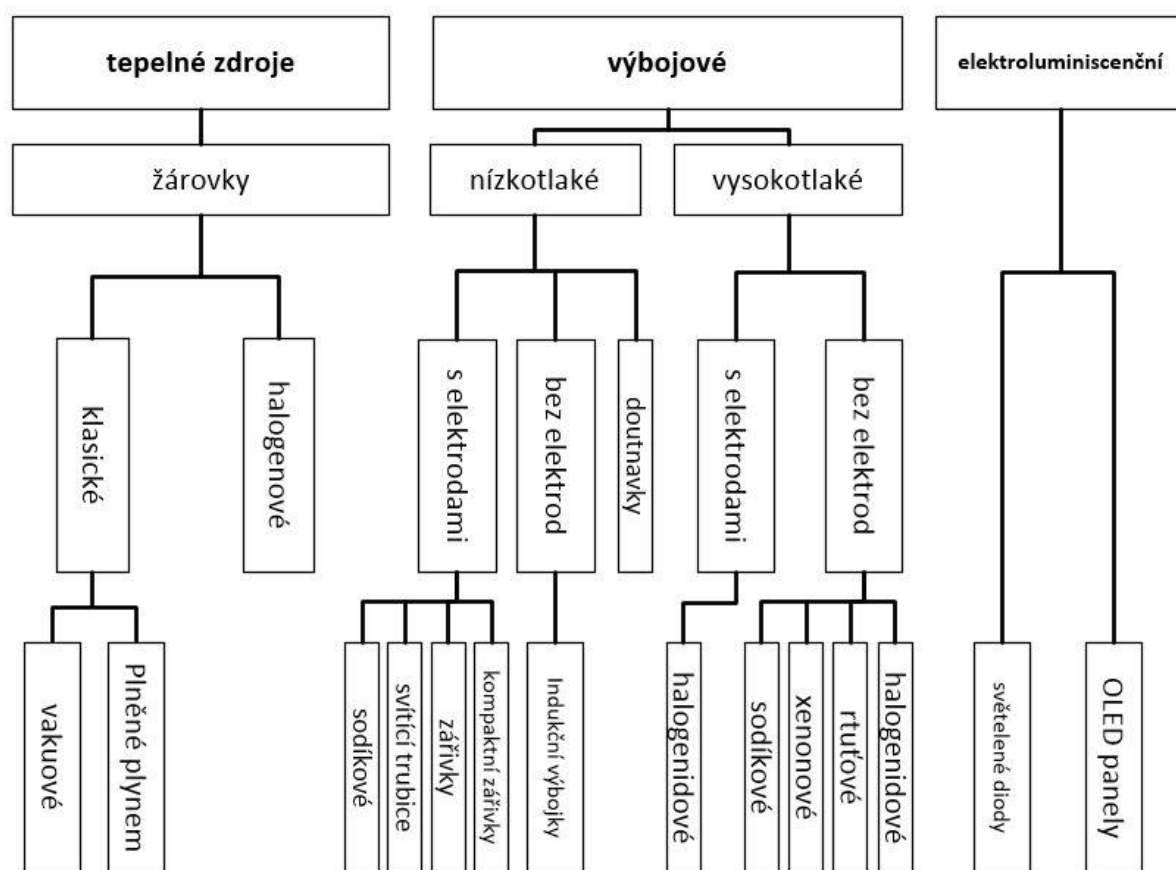
Sdružené osvětlení vzniká záměrnou kombinací denního a umělého osvětlení v takových vnitřních prostorech, kde není možné docílit vyhovujícího denního osvětlení. Doplňující umělé osvětlení musí být navrženo tak, aby byla zachována rovnoměrnost osvětlení v celém vnitřním prostoru i v jeho jednotlivých částech za všech situací venkovního osvětlení, to jest jak při zatažené obloze, tak při polojasné nebo jasné obloze a slunečním svitu. Přitom se ovšem předpokládá, že se bude denní složka sdruženého osvětlení podle potřeby regulovat, zejména se omezí pronikání přímého slunečního světla do vnitřního prostoru tam, kde by mohlo vznikat oslňování nadměrnými kontrasty jasů nebo příliš vysokým jasem ploch ozářených sluncem.

Světelné zdroje pro doplňující umělé osvětlení se volí podle zrakových činností daného vnitřního prostoru tak, aby jejich barevný tón a podání barev byly v souladu s potřebou. Zvláště náročný je výběr zdrojů tam, kde je zapotřebí přesně rozlišovat barvy a v prostorech, kde se připravuje jídlo.

Soustava doplňujícího umělého osvětlení se navrhuje ve vazbě na soustavu pouze umělého osvětlení v době bez denního světla tak, aby bylo podle možnosti využito stejných svítidel pro obě soustavy. Obě soustavy se navrhuje tak, aby bylo možné regulovat umělé osvětlení i doplňující umělé osvětlení během dne podle momentální potřeby a využití vnitřního prostoru. V hlubších vnitřních prostorech s bočními osvětlovacími otvory se zpravidla soustava umělého osvětlení navrhuje v pásích svítidel, umístěných rovnoběžně s okenní stěnou tak, aby se postupným zapínáním a vypínáním jednotlivých pásů mohlo docílit potřebné úrovně osvětlenosti v rozsahu ploch využívaných pro zrakové činnosti. Regulace doplňujícího umělého osvětlení se navrhuje vždy tak, aby zabezpečila podmínky zrakové pohody za každé situace a přitom bylo osvětlení co nejúspornější. V menších prostorech s malým počtem uživatelů se zpravidla navrhuje ovládání ruční, na základě subjektivního hodnocení si uživatelé mohou osvětlení zapnout.

## 2 Světelné zdroje

Světelné zdroje je možno rozdělit dle několika kritérií, přičemž základní rozdělení je dle způsobu vytváření světla. Rozdělení do tří základních skupin a to na zdroje tepelné, výbojové a elektroluminiscenční (Obr.1).



Obr. 1 Schéma rozdělení světelných zdrojů (převzato z [7])

### 2.1 Tepelné zdroje

#### 2.1.1 Klasické žárovky

Klasické žárovky fungují na principu tepelné emise, kdy optické záření vzniká při zahřátí látky na velmi vysokou teplotu. V případě klasické žárovky je to tenké wolframové vlákno, které je zahříváno průchodem elektrického proudu na vysokou teplotu. Skleněná baňka potom slouží jako ochranný prvek vlákna před vniknutím kyslíku, jehož vlivem by došlo k oxidaci vlákna a tedy k rapidnímu snížení životnosti celé žárovky. Standartní životnost žárovky se udává kolem 1000 hodin, poté poklesne její světelný tok přibližně na 90%, žárovky s prodlouženou životností můžeme používat i více jak 5000 hodin na úkor světelného toku.

Jako náplň v baňce slouží inertní plyn, v minulosti se využívalo převážně vakua. Tento typ je stále nejrozšířenějším světelným zdrojem v běžných domácnostech hlavně díky ceně, kvalitě produkovaného světla a jednoduchosti instalace. Teplota chromatičnosti se zde pohybuje v rozmezí 2300–2900 K díky čemuž vydávají typické „teplé bílé“ světlo, co se týče indexu podání barev ( $R_a=100$ ) tak si žárovka vede velice dobře.

#### **Rozdělení žárovek:**

- Podle účelu – pro všeobecné účely a pro zvláštní účely
- Podle provedení vlákna – otřesuvzdorné
- Podle náplně baňky – vakuové, kryptonové, halogenové
- Podle druhu patice – E10, E14, E27, E40,
- Podle napětí a příkonu

Díky světelným charakteristikám jsou žárovky v domácnostech upřednostňovány před kompaktními žárovkami, postupně jsou však nahrazovány žárovkami halogenovými či jinými světelnými zdroji. Dle nařízení komise Evropské Unie z roku 2009 (viz. ES č. 244/2009) je výroba těchto žárovek zakázána z důvodu negativního dopadu na životní prostředí a hlavně kvůli jejich nízké energetické účinnosti. U klasických žárovek je přibližně 90% elektrické energie přeměněna na teplo a zbylých 10% na světelný tok.[1]

#### *Výhody:*

- Jednoduchá konstrukce a malé rozměry
- Vynikající index podání barev
- Okamžitý start
- Možnost napájení z elektrorozvodné sítě
- Jednoduchá údržba

#### *Nevýhody:*

- Malý měrný výkon
- Pokles světelného toku v průběhu života

## 2.1.2 Halogenové žárovky

Halogenové žárovky jsou ve skutečnosti pouze zdokonalené klasické žárovky. Obsahují totiž mimo skleněné baňky ještě jednu komoru, která je naplněná malým množstvím halogenu, většinou to bývá brom nebo jód. Při průchodu elektrického proudu wolframovým vláknem dochází k jeho odpařování a poté slučování s halogenem, díky vnitřnímu tlaku wolframových par v blízkosti vlákna se omezí jeho vypařování a nedochází k tak velkému opotřebením, tím se prodlužuje životnost celé žárovky. Oproti běžným žárovkám nemá na jejich životnost vliv ani časté vypínání a zapínání.

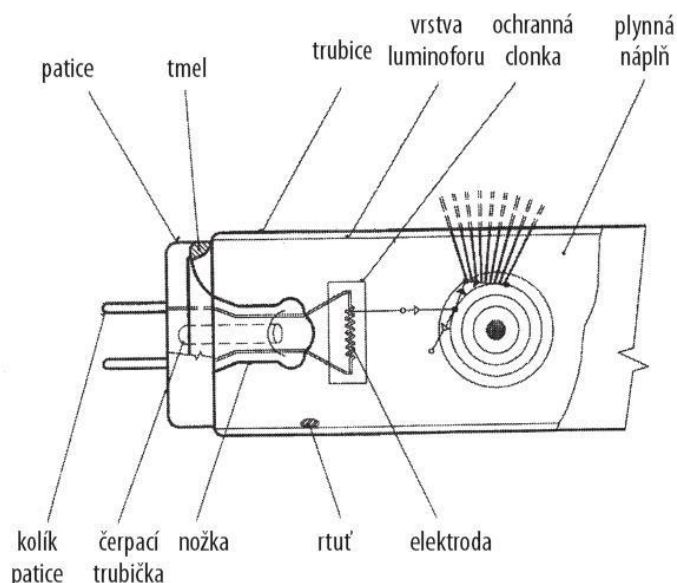
*Výhody:*

- Delší doba životnosti než u klasických žárovek
- Menší energetická náročnost a tím pádem i větší účinnost

## 2.2 Výbojové zdroje

### 2.2.1 Lineární trubcové zářivky

Zářivky jsou rtuťové nízkotlaké výbojky. Skleněná trubice je naplněna vzácným plynem o nízkém tlaku a malým množstvím rtuti. Na obrázku (Obr. 2) můžeme vidět detailnější schéma lineární zářivky. Na stěně trubice je nanášena malá vrstva luminoforu, vhodnou kombinací luminiscenčních látek je možno měnit barvu světla vyzařovanou zářivkou a tak je koncipovat pro různé způsoby využití.



**Obr. 2** Schéma lineární zářivky (převzato z [F])



Na koncích skleněné trubice se nacházejí elektrody, nejčastěji zhotovené z wolframu. Ochranná clonka umístěná kolem elektrody slouží k zabránění usazování vypařující se emisní hmoty na vrstvě luminoforu, tímto je eliminováno černání konců zářivek a docílení stabilnějšího chodu celé zářivky. Světlo v zářivce vzniká tak, že se na elektrody přivede napětí, kde dochází vlivem předřadné elektroniky k výboji. Páry rtuti uvnitř zářivky začínají emitovat a mění se na neviditelné UV záření. Po nárazu do luminoforu se přeměňují na viditelné světlo.

Dnešní lineární zářivky již dosahují vysokých měrných výkonů a to více než 100lm/W při indexu podání barev  $R_a > 80$ .

#### *Výhody:*

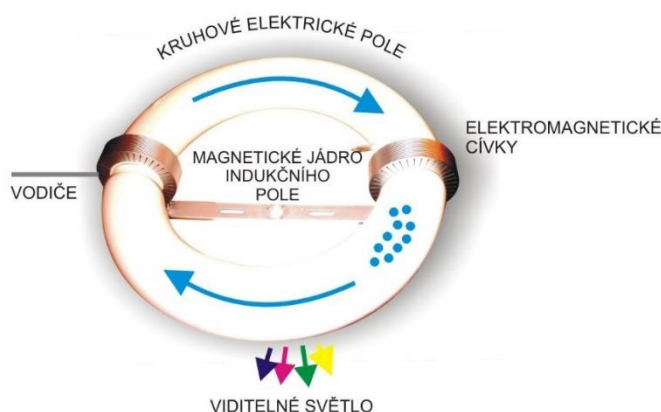
- Vysoká účinnost přeměny elektrické energie na světelnou
- Velice zaběhlé a dlouhodobě ozkoušené světelné zdroje
- Nízká cena
- Dlouhá doba života až 50 000 h (u speciálních výrobků)
- Teplota chromatičnosti se pohybuje od 2 700 K až do 17 000 K
- Dnes již potlačen stroboskopický jev

#### *Nevýhody:*

- Závislost na okolní teplotě
- Potřeba předřadných obvodů
- Veliký vliv při častém zapínání a vypínání na životnost celého světelného zdroje
- Obsahuje rtuť, kterou je potřeba ekologicky likvidovat po dosažení konce životnosti zářivky
- Nemožnost stmívání

## 2.2.2 Indukční výbojky

Indukční výbojky patří do skupiny nízkotlakých výbojových zdrojů, které využívají principu indukce. Oproti klasickým zářivkám spočívá rozdíl v tom, že v prostoru kde je plyn, nejsou žádné elektrody. Pohyb elektronů je dosahován pomocí magnetického pole (indukce) s vysokým kmitočtem (250kHz – 13,6MHz).



Obr. 3 Schéma indukční výbojky (převzato z [1])

Výhoda takového řešení je doba životnosti, jelikož v nádobce se nachází pouze plyn (většinou rtuť a argon), odpadá problém opotřebování elektrod vlivem reakce s plynem. Životnost u těchto světelných zdrojů se pohybuje v řádech desítek tisíc hodin. Dnešní indukční výbojky disponují luminoforem novější generace, který zaručuje vzájemný poměr všech barevných složek, které zajišťují teplotu chromatičnosti v rozmezí 2700 K – 6500 K. Díky dnes již kvalitnějšímu luminoforu dosahují výbojky indexu podání barev  $R_a > 80$ . Výbojky jsou díky použitým materiálům tepelně velice odolné a při nižších teplotách nesnižují svoji účinnost. [7]

*Výhody:*

- Podání barev  $R_a > 80$
- Okamžitý start i znovuzápal
- Stabilita světelného toku v průběhu životnosti
- Dlouhá životnost

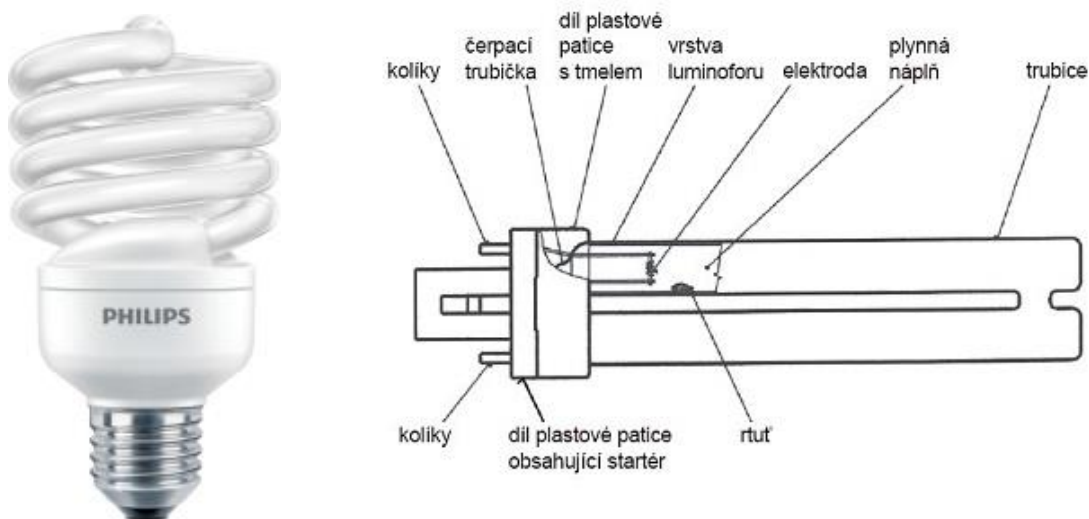
*Nevýhody:*

- Vysoká cena kompletu
- Nemožnost stmívání

Díky dlouhé životnosti a neproměnnému světelnému toku v průběhu životnosti jsou indukční výbojky vhodné na použití jak do vnitřních, tak venkovních prostor. Dlouhá doba životnosti a teplotní nezávislost je předurčuje pro použití zejména v exteriérech a tam, kde je požadováno nepřetržité osvětlení. Uplatnění nachází zejména jako osvětlení reklamních poutačů a silničního osvětlení nebo v provozech s nepřetržitým osvětlením.

### 2.2.3 Kompaktní zářivky

Kompaktní úsporné zářivky představují univerzální alternativu k běžným žárovkám viz. obrázek (Obr.4). Skládají se z trubice plněné rtuťovými parami a elektronického předřadníku, který je stěžejní pro správnou funkci zářivky. Některé modernější kompaktní zářivky mají ve své patici elektronický měnič napájecího napětí, který běží na frekvenci řádově desítky kilohertz. Tyto kompaktní zářivky pak na rozdíl od běžné lineární zářivky neblíkají.



**Obr. 4** vlevo kompaktní zářivka Philips Economy Twister 23W [A]  
vpravo schéma konstrukce kompaktní zářivky

Princip fungování je zcela stejný jako u lineárních zářivek. Běžná zářivka bliká s frekvencí, kterou udává síťové napětí, na které je připojena. U těchto kompaktních zářivek nedochází díky vysoké frekvenci k takzvanému stroboskopickému jevu, který nastane, pokud se v osvětlené místnosti například točí stroj se stejnou frekvencí, jako bliká zářivka. Poté se nám zdá, že stroj se neotáčí. Pokud má frekvenci blízkou, zdá se nám, že se pohybuje jen pomalu. V tom spočívá nebezpečí. V provozech, kde se stroje točí, se zářivka nesmí používat anebo se musí používat vhodně zkonstruovaná zářivka s vysokofrekvenčním předřadníkem, aby se předešlo úrazům.

### *Výhody:*

- Velice podobné parametry jako klasická žárovka
- Vysoká účinnost přeměny elektrické energie na světelnou až 80% oproti klasické žárovce
- Vysoký index podání barev  $R_a > 80$
- Dlouhá doba životnosti - až 20 000 h
- Potlačení stroboskopického jevu
- Rychlý start (do 1s)
- Možnost stmívání s pokročilým předřadným systémem
- Velmi malý obsah rtuti

### *Nevýhody:*

- Závislost na okolní teplotě
- Vliv četnosti zapínání na životnost
- Po startu naběhnou pouze na 50% světelného toku

Pokud jsou správně používány a následně ekologicky likvidovány, představují přínos pro životní prostředí, protože za dobu svojí životnosti ušetří velké množství elektrické energie. Problémem však zůstává fakt, že zpětný odběr vysloužilých kompaktních zářivek nemusí vždy probíhat zcela optimálně. Mnoho zářivek dnes končí v běžném komunálním odpadu, ačkoli za takové jednání hrozí pokuta až 20 000 Kč. Rtuť obsažená v zářivkách představuje vážné riziko pro životní prostředí. Při ekologické likvidaci je přitom možné úspěšně recyklovat 90 % všech materiálů a přibližně 95 % rtuti. Úsporné zářivky je možné bezplatně odevzdat ve sběrných dvorech obcí nebo u prodejce.

## 2.2.4 Vysokotlaké výbojky

Vysokotlakými světelnými zdroji se nemá cenu zabírat podrobněji v rámci této práce, jelikož se nehodí pro běžné svícení v rodinném domě. Sodíková výbojka (ať nízkotlaká nebo vysokotlaká) je sice jednou z neúčinnějších světelných zdrojů, co se týče poměrného výkonu, ale bohužel s velice mizernou schopností podání barev. Navíc vysokotlaká sodíková výbojka dlouho startuje a po vypnutí, je její opětovné zapnutí možné po vychladnutí. Víceméně můžeme říct, že vysokotlaké světelné zdroje se hodí zejména na osvětlení exteriérových osvětlovacích soustav jako jsou dálnice, tunely, ulice anebo také na vnitřní osvětlení větších objektů jako jsou výrobní haly, sklady či sportovní haly. Zde mají vysokotlaké výbojové zdroje velice platné využití.

Příklady vysokotlakých výbojových zdrojů:

- Halogenidová výbojka
- Rtuťová výbojka
- Vysokotlaká sodíková výbojka
- Směsové výbojky

## 2.3 Luminiscenční

### 2.3.1 LED

LED technologie je známá již z 60 let 20. století, když americký fyzik Nick Holonyak vyvinul první luminiscenční diodu typu GaAsP, byla to první LED dioda, která vyzařovala viditelné světlo. Světlo první diody bylo červené, postupem času dalším vývojem různých polovodičových materiálů se začaly vyrábět i LED jiných barev (oranžová, žlutá, zelená), tento vývoj dopomohl i ke zvýšení výkonu. Z nejdůležitějších objevů bylo vynalezení modré diody, která otevřela cestu k diodě bílé. Později byla představena vysokovýkonová dioda a v ten moment se začalo uvažovat o diodě jako plnohodnotném světelném zdroji pro všeobecné osvětlování. Protože není možné přímo emitovat bílé světlo, je potřeba ho vytvořit jinak. Jedním ze způsobů jak docílit bílého světla je míšením světla červené, zelené a modré barvy, nevýhodou tohoto řešení je potřeba složitého ovládacího softwaru a většího počtu diod. Díky tomuto řešení je výsledný jas nižší. Další nevýhodou je, že v průběhu života dochází k nerovnoměrnému stárnutí každé diody zvlášť a tím dochází i k posuvu barevného spektra vyzařovaného světla.

Další způsob, kterým lze docílit bílého světla je pomocí luminoforu, právě bílé LED využívají luminoforu. Některé průhledné LED emitují modré světlo, část tohoto světla je přímo na čipu luminoforem transformována na žluté světlo a díky mísení těchto barev vzniká bílá. Jiné typy bílých LED emitují ultrafialové záření, to je přímo na čipu luminoforem transformováno na bílé světlo. Nejvhodnější luminofor se jeví jako yttrito-hlinitý granát aktivovaný cerem ( $Y_3Al_5O_{12}:CE$ ), který je buzen světlem modré nebo ultrafialové diody. Tento způsob je velmi podobný principu vzniku světla u klasických zářivek. Tato varianta je úspornější než varianta se třemi diodovými čipy, výsledkem je však převládání modré složky v barevném spektru světla, to má za následek, že index podání barev u těchto diod je špatný.

V případě využití diody s UV zářením a třípásmovým luminoforem nedochází k takovému převládání jednotlivých barevných složek ve spektru a výsledkem jsou vysoké hodnoty  $R_a < 80$ . K napájení LED se využívají napáječe přizpůsobené přesnému počtu LED segmentů, díky tomu je docíleno konstantního proudu a tím i konstantní teploty, která se pohybuje mezi 85-100° C.



*Obr. 5 LED pro použití do patič E14, E27, GU10, vpravo příklad LED reflektoru (převzato z [H])*

Při překročení mezních pracovních teplot dochází k degradaci diody a tím i ke snížení její životnosti, tento fakt je potřeba brát na zřetel jak při konstrukci a výrobě ale také při použití v konkrétní aplikaci. Příklady použití LED technologie jako světelného zdroje jsou na obrázku (Obr.5), kde je vidět výsledný výrobek, který je přizpůsoben k použití do normovaných patič a tudíž připraven jako náhrada za klasické žárovky. Na posledním obrázku (Obr.5d) je znázorněn příklad reflektorového LED svítidla.

## ***Parametry***

Vyrábí se v širokém rozmezí teplot chromatičnosti (2 000 K – 10 000 K), díky malým rozměrům umožňuje konstruktérům vytvářet velké množství svítidel a přístrojů nejrůznějších tvarů a velikostí. Díky malému napájecímu napětí nevyžaduje ochranu před nebezpečným dotykem, avšak aplikace pro využití napětí 230 V musí být opatřeny dvojitou izolací, jelikož i tento výrobek musí splňovat bezpečnostní požadavky.

### *Výhody:*

- Okamžitý start
- Při stmívání není ochuzena barva
- Lze je napájet velice úsporně a to i ze solárního panelu
- Veliká účinnost
- Vysoká spolehlivost
- Široké barevné spektrum, vhodné pro použití u displejů
- Vysoký index podání barev
- Dlouhá životnost při dobrém zacházení
- Není tolik závislá na spínacích cyklech
- Náklady na údržbu
- Šetrná k životnímu prostředí

### *Nevýhody:*

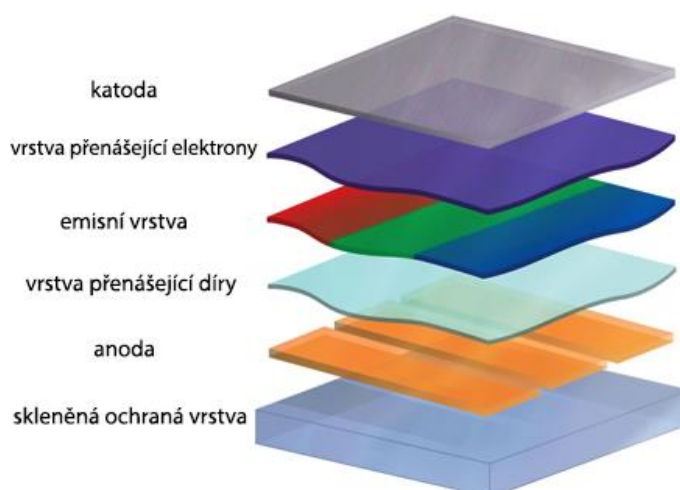
- Potřeba předřadníků nebo ovládací elektroniky
- Vysoká pořizovací cena
- Nízké jasy
- Malá praxe ve využívání, jelikož pořád probíhá vývoj

## ***Shrnutí***

Užití této technologie je velice široké a určitě se s ní počítá do budoucna, díky svým dobrým vlastnostem, které se postupem vývoje stále zlepšují. Nevýhodou této technologie je především cena, jelikož je tato technologie stále ve vývoji, s tím je úzce spjata praktická zkušenost těchto svítidel. Ve srovnání se žárovkami, které jsou na trhu již delší dobu a jsou praxí dostatečně odzkoušené, LED technologie pořád ještě čeká na svojí vyzrálou.

## 2.3.2 Organic LED

OLED je inovační technologie, která vychází z LED, jak již napovídá i název (Organic Light-Emitting Diode). Tato technologie nachází uplatnění zejména ve vizuální technice, kde otevírá stejně jako v osvětlovací technice široké možnosti uplatnění. Hlavní výhodou oproti LED je způsob produkce světelného toku, zatímco LED emituje světlo pouze z jednoho bodu. U OLED je tomu jinak. Zdrojem světla je celý povrch a světlo tak není šířeno pouze z jednoho bodu, jako je tomu u všech ostatních typů osvětlení, kde světlo vzniká průchodem elektrické energie skrz vlákno nebo které svítí pomocí plynu. OLED osvětlení funguje na principu několika velice tenkých organických vrstev sevřených mezi dvěma elektrodami, anodou a katodou, umístěnými na podkladu (Obr.6). Při provozu jsou nosiče (díry a elektrony) aplikovány z elektrody pomocí elektrického napětí. Toto přemísťování nosičů v organické vrstvě vytváří vyzařování.



**Obr. 6** Schéma vrstev Organic LED (převzato z [G])

### **Základní struktury zobrazovačů OLED**

#### **TOLED (Transparent OLED)**

Tato technologie umožňuje vyrábět OLED panely s propustností světla až 80%, což je prakticky průhledné sklo. Těto vlastnosti lze snadno využít v různých aplikacích, kde potřebujeme zobrazovat informace v zorném poli, ale přitom musíme být soustředěni na jiné úkony, jako je například řízení auta. Tato technologie se spíše uvažuje pro zobrazovací systémy, pro osvětlování se zatím nevyužívá. Do budoucna se počítá s využitím této technologie v osvětlování ve formě jakéhosi okna, které přes den propouští denní světlo a večer svítí.



## **FOLED (OLED)**

Jde vlastně o podobný případ jako u TOLED akorát místo tvrdého skla je zde použito pružné slídy a plexiskla, takže je možné jakkoliv zobrazovací prvek tvarovat a deformovat. Tato vlastnost nám umožní dostat svítidla do zajímavých tvarů.

## **WOLED (OLED)**

Tato technologie dosahuje vysoké účinnosti generování světla 30 lm/W, při zachování možnosti měnit jeho teplotu.

## **AMOLED (Active-matrix OLED) a PHOLED (Phosphorescent OLED)**

Tyto technologie se využívají pro náročné grafické aplikace, jako jsou displeje televizí, mobilních telefonů. Tenká konstrukce umožňuje použití OLED osvětlení na místech, kde to dříve nebylo možné.

### *Výhody:*

- Vyzařování na velkém povrchu
- Plné nastavení barev a vysoký index podání barev
- Stmívatelné
- Velmi tenká konstrukce
- Jemné světlo (umožňuje přímý pohled na světelný zdroj)
- Nízká spotřeba energie
- Menší vyzařování tepla
- Rychlá reakce na zapnutí a vypnutí
- Žádné nebezpečné materiály
- Jednoduchá konstrukce a provoz zařízení
- Nabízí designérům svítidel obrovskou tvůrčí volnost.

### *Nevýhody:*

- Každá z vrstev stárne jinak, dochází k převládání jedné nebo více složek světla a tím dochází i k nežádoucímu zbarvení světla
- Velmi vysoká cena
- Malý světelný tok

## 3 Kritéria pro výběr vhodného osvětlení

Osvětlení by mělo zajistit celkovou orientaci v prostoru a mělo by být také tam, kde se vykonává určitá náročnější zraková činnost, pro kterou je celkové osvětlení zpravidla nevyhovující. Osvětlení prostoru pouze jedním svítidlem umístěným uprostřed místnosti je zlozvyk, který dnes již pomalu ustupuje.

### 3.1 Prostor a jeho aspekty

Všechny prostory jsou svým způsobem velice specifické, proto při navrhování vhodného osvětlení musí být zcela znám charakter místnosti či prostoru, který chceme osvětlovat. Místnost můžeme chápat jako uspořádání ploch, zpravidla jsou to stropy, podlahy a boční stěny. Všechny tyto plochy odrážejí světlo, proto se o nich hovoří jako o sekundárním zdroji světla. Charakter prostoru určujeme dle toho, jaká činnost se v prostoru bude vykonávat. Rozdělují se do těchto skupin:

- Administrativní místnosti
- Průmyslové prostory
- Školy a vzdělávací zařízení
- Zdravotnictví a nemocnice
- Muzea a galerie
- Kina a divadla
- Restaurace
- Byty a rodinné domy

Určení charakteru konkrétní místnosti ve výše zmíněných prostorech se provádí na základě konkrétní zrakové činnosti, která bude v místnosti prováděna.

### 3.2 Charakteristika uživatele

Tento parametr je nejdůležitější součástí návrhu osvětlení. Hlavním cílem návrhu je zajistit, aby uživatel používající prostor s osvětlením, měl ty nejlepší světelné podmínky. Při návrhu osvětlení se řídíme normami. Normy jsou stanoveny pro průměrného uživatele středního věku a může se stát, že návrh bude sice splňovat podmínky dle normy, ale nebude splňovat podmínky slučitelné se zrakovou pohodou uživatele. Charakter uživatele je ryze subjektivní vjem a proto je při návrhu soustavy osvětlení potřeba najít kompromis mezi normativními parametry a parametry, které jsou příjemné pro uživatele. S rostoucím věkem se

snižuje propustnost očního prostředí a dochází ke zhoršení zraku, při návrhu je potřeba zohlednit také věk uživatele a jeho zrakové schopnosti.

### ***Zraková pohoda a význam denního osvětlení***

Denní světlo je důležitou fyziologickou a psychologickou potřebou lidského organismu, naprostá většina činností, které člověk vytváří je spojena s vykonáváním zrakové práce a potřebou získávat zrakové informace. Člověk pomocí zraku získá až 85% informací o prostředí, které ho obklopuje. Proto je světlo pro lidstvo jednou z neodmyslitelných potřeb. Díky kontaktu světla s materiály, které nás obklopují, nejen získáváme informace nezbytné k našemu životu, ale vytváříme si podle něj i naše pocity a dojmy. Mnohdy je účinek světla tak jemný, že si ho ani neuvědomujeme. Zraková pohoda je psychofyziologický stav, při němž celý zrakový systém optimálně plní své funkce a při kterém má člověk i po delším pobytu nejen pocit, že dobře vidí, ale cítí se také psychicky dobře.

## **3.3 Úroveň jasu**

Správné rozložení jasu je jedním z nejdůležitějších faktorů při návrhu osvětlení. Pokud je rozložení jasu nerovnoměrné, musí se zrak uživatele neustále adaptovat na jiné světelné podmínky, přitom je zrak namáhán a po delší době dochází ke zhoršení zrakového výkonu a narušení zrakové pohody.

V místech, kde je vykonávána zraková činnost po delší dobu, je nutné zajistit potřebnou úroveň jasu a rozložení jasu. Rozmezí přijatelných jasů je určeno dolní a horní hranicí, kde za horní hranici úrovně jasu je považovaná taková hodnota, kdy je zrak zcela oslněn (mez oslnění). Spodní hranici říkáme mez rozlišení, je to vlastně nedostatečné osvětlení, kdy se prostor stává špatně rozlišitelný. Celková úroveň jasu v prostoru ovlivňuje základní zrakové funkce jako je například: ostrost vidění, kontrastní citlivost oka a účinnost zrakových funkcí (akomodace, oční pohyby apod.). Takovýmto světelným podmínkám je potřeba se zcela vyhnout. Mezi případy nevhodného rozložení jasu patří:

- Velký jas části zorného pole (oslnění pozorovatele)
- Velké kontrasty jasu (únava zraku vlivem trvalé jasové readaptace zraku)
- Malé kontrasty jasů (celková únava vlivem monotónního prostředí)

## 3.4 Osvětlenost

Hladina osvětlenosti vychází z empirického výzkumu, kdy průměrný člověk je schopen rozeznat lidský obličej při osvětlenosti  $20 \text{ lx/m}^2$ , při této osvětlenosti musí člověk vynaložit určité úsilí, aby obličej rozpoznal, mluvíme tedy o minimální hladině osvětlenosti. Za normálních podmínek tato hodnota platí pro mimopracovní prostory. Proto byla hladina osvětlenosti  $200 \text{ lx}$ , stanovena jako minimální hodnota osvětlenosti pro prostory, kde se zdržují osoby delší dobu.

Na základě výzkumu úrovně osvětlenosti pro kancelářské prostory bylo stanoveno, že uspokojivé osvětlení je od  $1000$  do  $2000 \text{ lx}$ . Na základě mnoha výzkumů byla stanovena řada osvětlenosti pro různé zrakové činnosti.

- $20; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 500; 750; 1000; 1500; 2000; 3000; 5000 \text{ lx}$

Při návrhu osvětlení klademe důraz na prostory a jejich dílčí části, kde bude vykonáván zrakový úkon, není vždy nutné osvětlovat celý prostor se stejnou osvětleností. V případě že není známa poloha zrakového úkonu v místnosti, považujeme celou místnost za prostor, kde bude vykonávána zraková činnost a tento prostor rovnoměrně osvětlíme. Jakmile je upřesněna poloha zrakového úkonu, je potřeba návrh poupravit tak, aby bylo světlo soustředěno právě do prostoru zrakové činnosti. Z tohoto důvodu rozdělujeme prostor na dvě zóny:

- Bezprostřední oblast zrakového úkonu
- Oblast pozadí zrakového úkonu

Oblast zrakového úkonu navrhujeme tak, aby byla dosažena zraková pohoda a zachován určitý zrakový výkon, to je úzce spjato s návržením osvětlení pozadí zrakového úkonu, které musí být větší nebo rovno jedné třetině osvětlenosti bezprostředního okolí.

Nejnižší přípustné hodnoty osvětlenosti ve vybraných prostorech bytových domů jsou uvedeny v tabulce (Tab.2). Tyto hodnoty je nutno zvýšit kromě jiného při věku většiny osob vyšším než  $40$  let, používá-li většina osob v místnosti brýle s optickou mohutností více než  $4$  dioptrie, při požadavku dlouhodobého soustředění na zrakovou práci bez možnosti odpočinku zraku, při požadavku časté akomodace, sledování pohyblivého detailu, časté změny pohledu, jedná-li se o místnost se stálým pobytem osob bez stálého denního osvětlení a jedná-li se o místnost s velkým společenským významem. Podle účelu musí osvětlení vytvářet podmínky pro dosažení požadovaného zrakového výkonu a zrakové pohody. Podle druhu zrakové činnosti

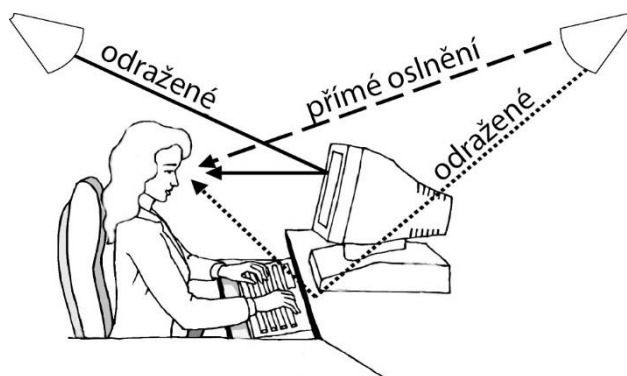
se rozlišují kategorie osvětlení: A, B, C a D (Tab.2). Rovnoměrnost se stanoví jako podíl nejmenší a největší osvětlenosti v kontrolních bodech na srovnávací rovině.

Prostor		Udržovaná osvětlenost $\bar{E}_m$ [lx]	Index oslňení UGRL [-]	Index podání barev Ra [-]	Výška vodorovné srovnávací roviny nad podlahou [m]
1	Domovní dvory, atria	10	-	-	0
2	Domovní, méně frekventované komunikace	20	25	60	0
3	Vnitřní části domovních vstupů	30	25	60	0
4	Na místě se jménem uživatele bytu	30	-	-	-
5	Celkové osvětlení obytné místnosti (které se doplňuje místním osvětlením)	50	22	80	0,85
6	Komunikace v bytě, chodby	75	22	80	0
7	Obytné kuchyně, spíže, šatny	100	22	80	0,85
8	Sušárny, úschovny kočárků	100	28	60	0,85
9	Domovní, frekventované komunikace včetně vnitřních částí vstupů	100	25	60	0
10	Domovní prádelny	150	25	80	0,85
11	Koupelny, WC	200	22	80	0,85
12	Domácí dílny	300	22	80	0,85
13	Kuchyňská pracovní linka, varná deska sporáku	300	22	90	-

*Tab. 2 Normativní tabulka nejnižších požadovaných hodnot  $\bar{E}_m$ , UGR<sub>L</sub> a Ra (převzato z[N2])*

## 3.5 Oslnění

Oslnění je nepříznivý stav zraku, kdy je sítnice oka vystavena vyššímu jasů, než na který je oko momentálně adaptováno. Oslnění má výrazný vliv na narušení zrakové pohody a celkového zrakového výkonu, jelikož se oko snaží adaptovat na nové podmínky. Je zbytečně namáháno, zvláště když oslnění dosahuje takových hodnot jasů, že není oko schopné se adaptovat. Na obrázku (Obr.7) jsou znázorněny dva typy oslnění, přímé a nepřímé (odražené) oslnění.



Obr. 7 Ukázka způsobů oslnění

Přímé oslnění je nejhorší typ oslnění a je potřeba ho eliminovat, k tomu se ve světelné technice používá různých clon a filtrů. Nepřímé osvětlení je často způsobeno odrazem od povrchu předmětů, kde záleží na charakteru povrchu. Nepřímé oslnění většinou vede k mírnému rozptýlení a může vyústit do zrakové nepohody. Při návrhu osvětlení v budovách bereme v potaz četnost lesklých povrchů a zvláště minimalizujeme oslnění z dolní části zorného pole, které je velice náchylné na oslnění.

Rozdělení oslnění dle příčiny vzniku:

- přechodové - vzniká při rychlé změně jasů zorného pole
- kontrastové - vzniká pokud pozorovaná plocha má odlišné jasy
- závojové - vzniká pokud je mezi okem pozorovatele a pozorovaným předmětem jasnější prostředí

## Rušivé oslnění

Index oslnění přímo od svítidel osvětlovací soustavy vnitřního prostoru musí být stanoven jednotným systémem hodnocení oslnění tabulkovou metodou CIE (UGR) podle vzorce:

$$UGR = 8 \log_{10} \left( \frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right) \quad [-]$$

$L_b$  [cd.m<sup>2</sup>] - jas v pozadí v cd.m<sup>2</sup> vypočítaný jako  $E_{ind}/\pi$

$E_{ind}$  [lx] - svislá nepřímá osvětlenost očí pozorovatele

$L$  [cd.m<sup>2</sup>] - jas svítící části každého svítidla ve směru očí pozorovatele

$\omega$  [rad] - prostorový úhel svítící části každého svítidla vzhledem k očím

$p$  - činitel polohy Gutha pro každé svítidlo podle jeho odklonu od směru pohledu

## 3.6 Směrové vlastnosti

Směrové vlastnosti osvětlení ovlivňují vnímání tvarů a charakteru povrchu. Zejména určujícími faktory jsou směrovost a stínivost. Směrovost osvětlení je charakterizována převažujícím směrem světla. Stínivost je schopnost osvětlení vytvářet na předmětech stíny a charakterizuje se například činitelem podání tvaru. Pokud je předmět nasvícen napřímo, vytváří ostré stíny. V normě ČSN12464-1 se uvádí, že osvětlení nesmí být příliš směrované, tedy nesmí vytvářet ostré stíny, ani nesmí být příliš difúzní, podání tvaru se nesmí zcela ztratit.

## 3.7 Míhání světla

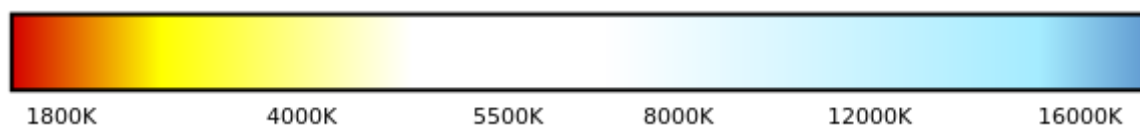
Míhání světla působí rušivě a vede k navození zrakové nepohody, v krajních případech může vyvolat i fyziologické projevy, například bolesti hlavy. Stroboskopické přerušování světla je typické pro zářivková svítidla, která jsou napájena napětím o frekvenci 50Hz, tyto jevy mohou měnit vnímání pohybu točivých strojů, proto je doporučeno navrhovat osvětlovací soustavy tak, aby nedocházelo k míhání a stroboskopickým jevům.

## 3.8 Barevné vlastnosti

Vnímání barev je přirozenou vlastností zrakového orgánu. Barevné vlastnosti světelných zdrojů jsou označovány jako chromatičnost světla, přičemž barevné vlastnosti předmětů jsou označovány jako kolorita.

### ***Teplota chromatičnosti světla***

Tato vlastnost charakterizuje spektrum bílého světla. Světlo určité teploty chromatičnosti ( $T_c$ ) má barvu tepelného záření vydávaného černým tělesem zahřátým na tuto teplotu. Udává se v Kelvinech (**K**), čím více Kelvinů, tím je světlo více bílé až modré (Obr.8).



*Obr. 8 Grafické znázornění barevné teploty (převzato z [1])*

Výrobce by na obalu také měl uvést barvu světla, kterou světelný zdroj vyzářuje. Pokud hledáme náhradu za běžné žárovky, potom si vybereme barvu světla „teple bílá“.

Příklady barevných teplot různých světelných zdrojů:

- 600 K: červená dioda
- 1 900 K: svíčka
- 2 300 K: ztlumená žárovka
- 2 700 K: žárovka, Slunce při východu a západu
- 3 400 K: halogenová žárovka
- 4 200 K: zářivka
- 5 000 K: obvyklé denní světlo
- 6 000 K: jasné polední světlo
- 8 000 K: oblačno, mlhavo (mraky zabarvují světlo do modra)
- 12 000 K: světlo svářecího elektrického oblouku
- 14 000 K: světlo UV trubic v soláriu



## **Index podání barev**

Index podání barev ( $R_a$ ) je důležitým parametrem. Určuje schopnost světelného zdroje reprodukovat barvy okolních předmětů v porovnání s ideálním zdrojem světla, jako je sluneční světlo. Je to procentní parametr, který je velice důležitý při návrhu.

Klasické žárovky dosahují vysokého indexu podání barev ( $R_a = 100$ ). Úsporné zdroje jsou na tom o něco hůře, většina kvalitních výrobků však dosahují téměř hodnoty 100. V následující tabulce můžeme vidět přibližné hodnoty indexu podání barev a příklady jejich využití v praxi. V prostorech, kde se trvale zdržují osoby, musí být index podání barev větší než 80%.

<b>Barevný tón</b>	<b>Teplota chromatičnosti [K]</b>	<b>Číselné označení kolorimetrických parametrů</b>	<b>Index podání barev [Ra]</b>	<b>Případy použití světelných zdrojů</b>
<b>Teple bílá</b>	2500	825	80 - 89	Kuchyně, restaurace, hotely, osvětlení pracovních a jídelních koutů
	2700	827	80 - 89	Obývací pokoje, kuchyně, koupelny, školy, knihovny, divadla, zasedací místnosti
	3000	830	80 - 89	Okolí obytných domů, chodby, obchody, prodejny s textilem, výstavní haly
		930	90 - 99	Umělecké galerie, muzea
<b>Neutrálně bílá</b>	3500	835	80 - 89	Úřady, chodby, zasedací místnosti, školy, knihovny
	4000	640	60 - 69	Prostory kde nejsou kladené vysoké nároky na podání barev, chodby, sklepy
		840	80 - 89	Úřady, průmyslové prostory, obchodní domy, prodejny sportovního zboží
		940	90 - 99	Prodejny textilu a výrobků z kůže, umělecké galerie a muzea
<b>Chladně bílá</b>	5400	954	90 - 99	Prodejny textilu, umělecký tisk, zubní ordinace a laboratoře
	6500	765	70 - 79	Prostory kde nejsou kladené vysoké nároky na podání barev, schodiště, sklepy
		865	80 - 99	Kuchyně, koupelny, elektrotechnický průmysl
		965	90 - 99	Ordinace, nemocnice, laboratoře
<b>Denní bílá</b>	>6500	880	80 - 99	Prostory kde za normálních okolností není denní světlo

*Tab. 3 Tabulka teplot chromatičnosti, včetně příkladů užití a kódového označení (převzato z [8])*

### 3.9 Udržovací činitel

Projekt osvětlení musí být zpracován s uvažováním celkového udržovacího činitele vypočítaného pro zvolené osvětlovací zařízení, prostředí a plán údržby. Doporučená osvětlenost pro každý zrakový úkol se provádí jako udržovaná osvětlenost. Udržovací činitel závisí na provozních charakteristikách světelných zdrojů a předřadníků, svítidel, prostředí a na plánu údržby.

Udržovací činitel (MF) je definován jako podíl osvětlenosti vytvářené osvětlovací soustavou po určité době a osvětlenosti vytvářené soustavou když je nová.

$$MF = \frac{E_m}{E_{in}} [-]$$

$E_m$  [lx]– udržovaná osvětlenost

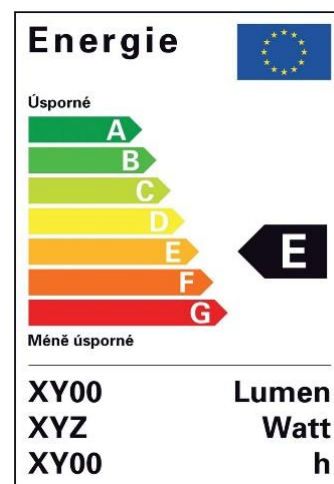
$E_{in}$  [lx]– počáteční osvětlenost

### 3.10 Stárnutí světelného zdroje

Dalším aspektem, který není možné zanedbat, je životnost světelného zdroje. Tento údaj je taktéž umístěn na obalu světelného zdroje hned pod údajem příkonu (Obr. 9). Samotná životnost světelného zdroje však také závisí na počtu vypínacích a zapínacích cyklů. V tabulce (Tab.4) jsou vypsány přibližné hodnoty životnosti různých světelných zdrojů.

Světelný zdroj	Životnost zdroje [hod]
Klasické žárovky	1000
Halogenové žárovky	2000 – 3000
Kompaktní zářivky	10 000 – 20 000
Zářivky	6000 – 12 000
Vysokotlaké sodíkové výbojky	6000 – 29 000
Indukční výbojka	až 100 000
Lineární zářivka	25 000 - 50 000
Vysokotlaké rtuťové výbojky	6000 – 8000
LED	20 000 – 45 000

Tab. 4 Příklady životnosti zdrojů (převzato z [1])



Obr. 9 Štítek světelného zdroje

### 3.11 Měrný výkon

Světelné zdroje se od sebe liší nejen světelnými vlastnostmi ale také svojí energetickou náročností, respektive množstvím energie, které spotřebují k produkci požadovaného světla. Tento faktor se nazývá měrný výkon a vypočítá se jako podíl vyzařovaného světelného toku a příkonu světelného zdroje.

$$\eta = \frac{\Phi}{P} [lm/W]$$

$\Phi$  [lm] - světelný tok

$P$  [W] - příkon světelného zdroje

Velikost měrného výkonu je jednou z nejdůležitějších charakteristik světelných zdrojů, díky této informaci jsme schopni posoudit vhodnost světelného zdroje. Potřebné údaje pro výpočet měrného výkonu získáme ze štítku (Obr.9), který je umístěn na obalu každého světelného zdroje dle směrnice 98/11/EC. Na štítku jsou na grafické stupnici znázorněny energetické třídy a příslušné zařazení světelného zdroje do jedné ze sedmi tříd energetické účinnosti (Tab.5). Písmeno A přitom znamená „velmi účinné“ a písmeno G „méně účinné“.

Energetická třída	Měrný výkon [lm/W]	Druh světelného zdroje
A++	>72	v současnosti žádné světelné zdroje, v blízké budoucnosti nejlepší LED
A+	72	lineární zářivky s externím předřadníkem, vysokotlaké výbojky, LED
A	60	kompaktní zářivky s externím předřadníkem
A	52	efektivní kompaktní zářivky s integrovaným předřadníkem
B	30	neefektivní kompaktní zářivky s integrovaným předřadníkem
B	20	efektivní halogenové žárovky
C	15	průměrné halogenové žárovky
D	13	neefektivní halogenové žárovky
E-G	11	klasické žárovky

Tab. 5 Tabulka energetických tříd světelných zdrojů (převzato z[1])

## 4 Programové vybavení

DIALux EVO je efektivní software pro výpočet a návrh osvětlení, tento program pokrývá všechny požadavky na moderní design. Je neustále vyvíjen a to díky výrobcům světelných zdrojů, kteří sponzorují vývoj. Ke svému výpočtu využívá informace z katalogů přímo od výrobců, kteří provádějí na svých světelných zdrojích testy a jejich výsledky potom prezentují většinou v elektronické formě na internetu. Tento program umožňuje kompletní návrh vnitřních a vnějších osvětlovacích soustav.

Mezi hlavní výhody tohoto programu patří cena, jelikož je poskytován zcela zdarma. Obsahuje většinu norem a standardů. Poskytuje důležité údaje o charakteru osvětlení, včetně všech důležitých parametrů o světelné soustavě. Je schopen spočítat energetickou náročnost každé soustavy i jejích dílčích částí

Umožňuje vytvářet virtuální světy a v nich modelovat 3D světelné scény. Výstupem programu jsou patřičně zdokumentovaná data připravená pro tisk. DIALux EVO také umožňuje exportovat své výsledky do formátu pdf.

Plně spolupracuje s programem AutoCAD, takže je možné naimportovat do něj projekty narysované v tomto programu a získat tak přesné informace o navrhovaném objektu.

## 5 Stávající stav osvětlení rodinného domu

Jako objekt pro návrh osvětlovací soustavy nám posloužil dvoupatrový rodinný dům (Obr.10). Nejdříve byla osvětlovací soustava v domě změřena pomocí luxmetru a poté namodelována v programu DIALux EVO.



*Obr. 10 Ukázka vizualizace rodinného domu*

Aby byl model domu co nejrealističtější, bylo potřeba zjistit co nejvíce informací. Rozměry domu byly zjištěny z projektové dokumentace. Parametry světelných zdrojů a některých svítidel byly zmapovány při návštěvě objektu. Jelikož nebylo v mých silách dohledat parametry svítidel neznámých výrobců, tak je model osvětlovací soustavy méně realistický. Při projektování jsem se snažil vycházet ze svítidel známých výrobců, které se svými vlastnostmi přibližovaly reálu

## 5.1 Měření

Cílem měření bylo zjistit hodnoty osvětleností a zkontrolovat je s počítačovým modelem, popřípadě model poupravit dle reálných hodnot. Měření proběhlo za pomoci luxmetru Testo 545 (Obr.11) se selenovým čidlem o průměru 35 mm s měřicím rozsahem 0 – 100 000 lx. Měření osvětlenosti proběhlo v různých srovnávacích hladinách, které jsou pro každé prostředí specifické. Všechna měření umělého osvětlení byla provedena v noci, aby měření nebylo ovlivněno denním světlem. Nejistota měření je 12%.



Obr. 11 Použité měřicí přístroje

Dále byl k měření využit digitální multimetr MASTECH MY 64 (Obr.11) na zjištění úrovně napětí v síti. Napětí ve všech místnostech se téměř shodovalo a lišilo se maximálně o desetiny voltu, jelikož bylo měření provedeno v jeden měřicí den, napětí v celém domě bylo  $U_m = 231$  V. Ze vzorce pro výpočet korekčního činitele a s přihlédnutím k faktu, že většina svítidel v domě je osazena klasickými žárovkami a kompaktními žárovkami, nám vychází korekční činitel pro žárovky  $k_1 = 0,98$ , pro kompaktní žárovky je tento činitel  $k_2 = 1$ . Při měření prostoru, kde bylo osvětlení různorodé, byl korekční činitel zaokrouhlen na  $k = 1$ .

$$k = \left( \frac{U_n}{U_m} \right)^c \quad [-]$$

$U_n$  [V] - jmenovité síťové napětí

$U_m$  [V] - naměřená hodnota napětí

$c$  [-] - exponent pro různé světelné zdroje

Druh světelného zdroje	Exponent $c$ [-]
Žárovky pro všeobecné použití	3,6
Žářivky s elektronickým předřadníkem	0

## 5.2 Kuchyně a obývací pokoj

Tato místnost je prostorově v celém domě největší a její plocha je 44,95 m<sup>2</sup> (Obr.12). V této místnosti se nachází největší počet svítidel. Prostor slouží jako společenská místnost a kuchyně s jídelnou. Osvětlovací soustava je zde navržena stupňovaně dle prostoru, který je osvětlován.

- Kuchyňská linka
- Okolí kuchyně
- Jídelní stůl
- Obývací pokoj

Kuchyňská linka je pracovní prostor, který slouží nejčastěji k přípravě jídel, tato činnost je dle normy klasifikována jako středně náročná zraková činnost kladoucí důraz na podání barev. Prostor kuchyňské linky je osvětlen standartním zářivkovým svítidlem osazeným zářivkou Philips MASTER TL5 HO Colored 24W. Nad sporákem je svítidlo součástí digestoře osazené dvěma žárovkami 2x OSRAM 64861 T 40W. Další stupeň osvětlení prostoru kuchyně je hlavní osvětlení kuchyně, které přímo osvětluje prostor před kuchyňskou linkou a prostor uprostřed místnosti. Toto svítidlo, u kterého se nepodařilo dohledat výrobce a tedy i přesné parametry, má charakter směrového svítidla s možností nastavení směru světelného toku. Toto svítidlo je osazeno třemi klasickými žárovkami OSRAM CENTRA A CL 40 40W E27, které jsou na sobě nezávislé s možností samostatného nastavení směru světla.

Další stupeň osvětlení kuchyně se nachází nad jídelním stolem a skládá se ze čtyř směrových svítidel neznámého výrobce. Svítidla jsou nastavena, rovnoměrně kolmo nad jídelním stolem ve výšce 76 cm, aby osvětlovaly pouze prostor jídelního stolu. Osazeny jsou úspornými žárovkami OSRAM DST NATW 5W/840 E14 s indexem podání barev **R<sub>a</sub>** = 80-89.

Prostor obývacího pokoje je osvětlen třemi svítidly, dvě svítidla mají kulový tvar a osvětlují obě poloviny osvětlovacího poloprostoru. Třetí svítidlo je stojací lampa, která byla dodatečně přidána a nebyla v době projektu brána v potaz. Kulová svítidla neznámého výrobce jsou osazena vždy dvojicí klasických žárovek OSRAM CENTRA A CL 100 100W E27. Stojací lampa je osazena stejným druhem žárovky s jiným příkonem a to s příkonem 60 W (OSRAM CENTRA A CL 60 60W E27).

Tento slouží k relaxaci a odpočinku, proto bylo při projektování prostoru bráno v potaz naladění požadované světelné atmosféry. Tohoto jevu je určitým způsobem dosaženo možností nezávislého zapnutí a vypnutí jakéhokoliv svítidla.



*Obr. 12 Vizualizace prostoru kuchyně a obývacího pokoje*

### ***Postup a podmínky měření***

Měření osvětlenosti proběhlo bez přítomnosti uživatelů v prostoru. Sít' měřených bodů byla rozmístěna nerovnoměrně na srovnávací rovině vysoké 0,87 m. Sít' srovnávací roviny byla rozmístěna nerovnoměrně, aby bylo možno naměřit každé pracovní místo. Krajní body sítě byly od stěn vzdáleny 1 m. V prostoru linky byla změřena pouze linie s krokem po 0,4 m. Okolí gauče v obývacím pokoji bylo změřeno s krokem 0,5 m. Středový prostor byl změřen s krokem 0,7 m a v místech jídelního stolu byla sít' stanovena na 3x3 s krokem 0,4 m. Všechna svítidla a světelné zdroje byly očištěny. Při měření nebyla známa doba stáří zdrojů.

### ***Použité světelné zdroje***

Typ světelného zdroje		Příkon zdroje [W]	T <sub>c</sub> [K]	R <sub>a</sub> [-]	Životnost zdroje [h]
3x	OSRAM CENTRA A CL 100	100	2800	100	1 000
1x	OSRAM CENTRA A CL 60	60	2800	100	1 000
3x	OSRAM CENTRA A CL 40	40	2800	100	1 000
1x	PHILIPS MASTER TL5 HO Colored 24W 1SL	24	2856	100	21 000
2x	OSRAM 64861 T 40W	40	2900	100	1 500
4x	DST NATW 5W/840 E14	5	4000	83	8 000

*Tab. 6 Použité světelné zdroje v prostoru kuchyně a obývacího pokoje*



### *Odrazivosti povrchů*

	Linka	Jídelní stůl	Gauč	Okolí úkolu	Strop	Stěny	Podlaha	Vnitřní zařízení
Barva	Bílá	Olše	Hnědá	Dýha-olše	Bílá	Meruňková	Dýha-třešeň	Hnědá
Činitel odrazu	0,72	0,285	0,4	0,285	0,62	0,48	0,17	0,4

*Tab. 7 Tabulka odrazivosti povrchů*

### *Rozměry místnosti:*

Délka= 9,3 m; Šířka= 5,5 m; Výška stropu= 2,8 m; Výška srovnávací roviny= 0,87 m

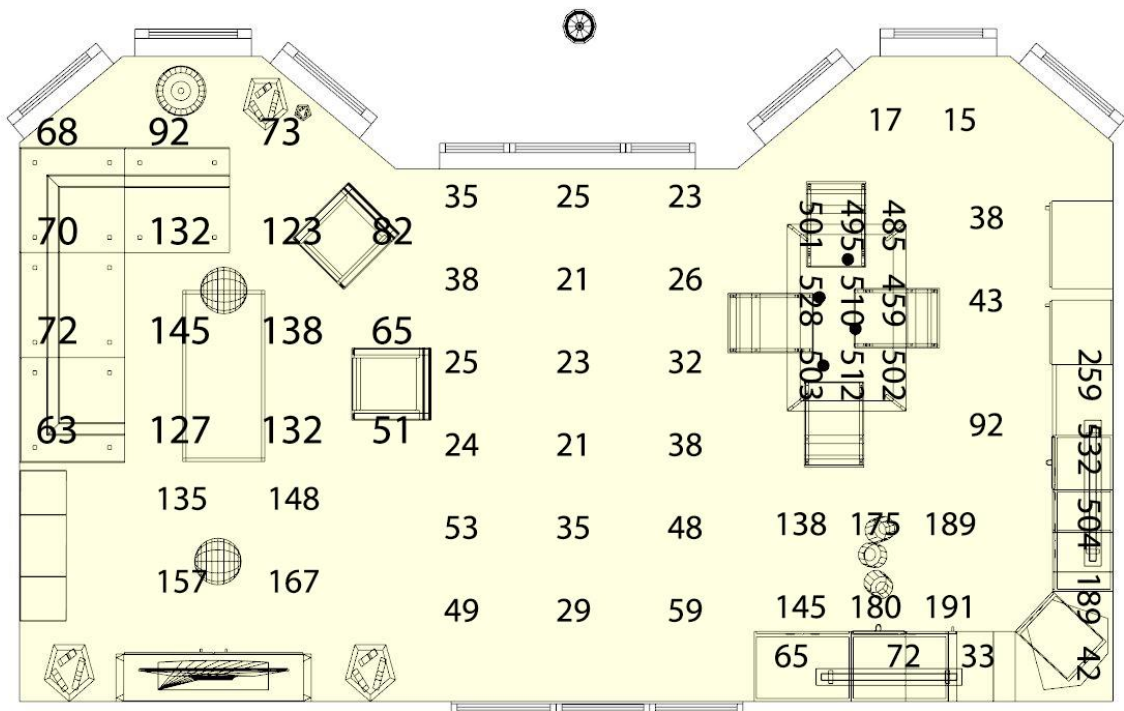
### *Srovnávací rovina*

<b>R<sub>a</sub></b> = 80-90	<b>U<sub>0</sub></b> = 0,09	<b>E<sub>mcelk</sub></b> = 154 lx	<b>T</b> = 23°C
<b>Kuchyňská linka</b>	<b>E<sub>mim</sub></b> = 42 lx	<b>E<sub>max</sub></b> = 532 lx	<b>E<sub>m</sub></b> = 211 lx
<b>Jídelní stůl</b>	<b>E<sub>mim</sub></b> = 459 lx	<b>E<sub>max</sub></b> = 528 lx	<b>E<sub>m</sub></b> = 499 lx
<b>Gauč</b>	<b>E<sub>mim</sub></b> = 63 lx	<b>E<sub>max</sub></b> = 145 lx	<b>E<sub>m</sub></b> = 84,8 lx
<b>Okolí úkolu</b>	<b>E<sub>mim</sub></b> = 15 lx	<b>E<sub>max</sub></b> = 189 lx	<b>E<sub>m</sub></b> = 73 lx

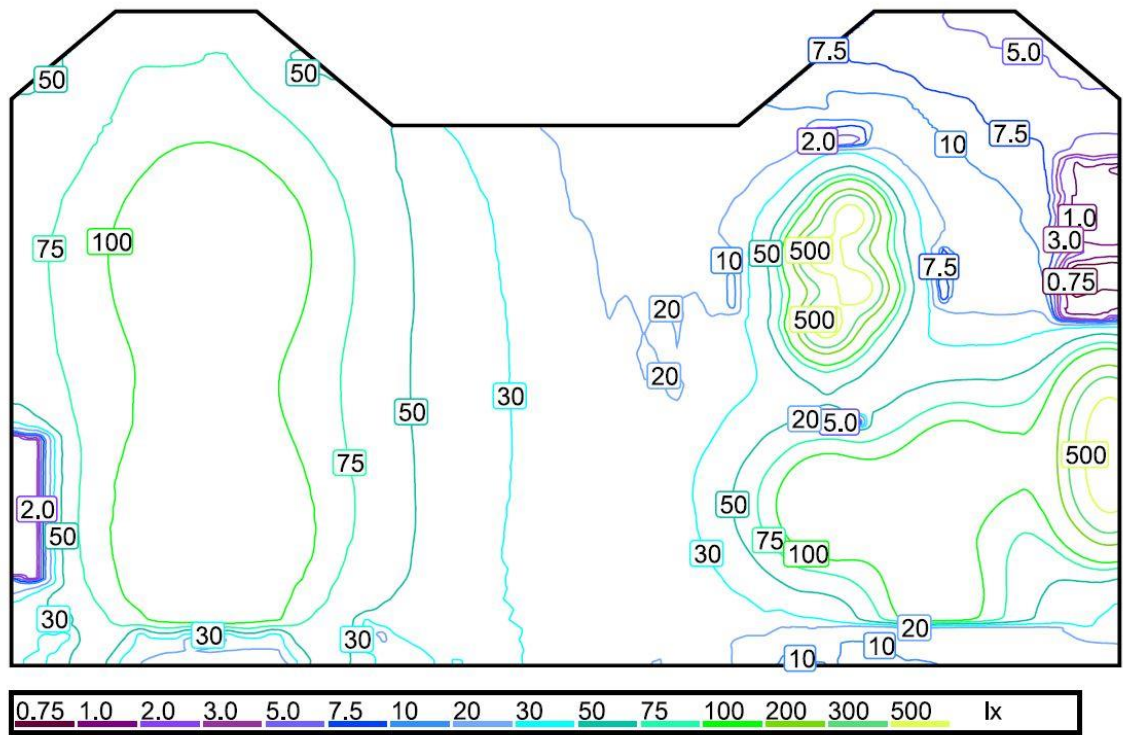
*Tab. 8 Hodnoty srovnávací roviny*

### *Výsledky*

Při porovnání výsledků měření a výsledků získaných výpočtem programu DIALux EVO si můžeme všimnout menší chyby v rozložení osvětlenosti, tato chyba se dá zanedbat s přihlédnutím na neznámé parametry svítidel osazených v místnosti, hodnoty osvětlenosti v bezprostřední blízkosti svítidel se téměř shodují a liší se v řádech jednotek luxů.



Obr. 13 Naměřené hodnoty v prostoru kuchyně a obývacího pokoje



Obr. 14 Graf izolux vypočítaných pomocí programu DIALux EVO

## 5.3 Pracovna

Pracovna je místo určená pro administrativní činnosti a vykonávání práce na počítači. Plocha místnosti je 15.4 m<sup>2</sup>, uprostřed místnosti se nachází hlavní lustr, který osvětluje horní i dolní poloprostor.



Obr. 15 Vizualizace pracovny

Lustr je zde jediné pevné svítidlo a je osazen dvěma kusy klasických žárovek OSRAM CENTRA A CL 100 100W E27. Jako místní zdroj světla na stole slouží lampička, která je osazena žárovkou OSRAM HALOGEN ECO PRO CLASSIC B 46W 230V E14.

### Použité světelné zdroje

Typ světelného zdroje		Příkon zdroje [W]	T <sub>c</sub> [K]	R <sub>a</sub> [-]	Životnost zdroje [h]
1x	OSRAM CENTRA A CL 100	100	2800	100	1 000
1x	OSRAM HALOGEN ECO PRO CLASSIC B 46W 230V E14	46	2700	100	2 000

Tab. 9 Použité světelné zdroje v prostoru pracovny

### Odrazivosti povrchů

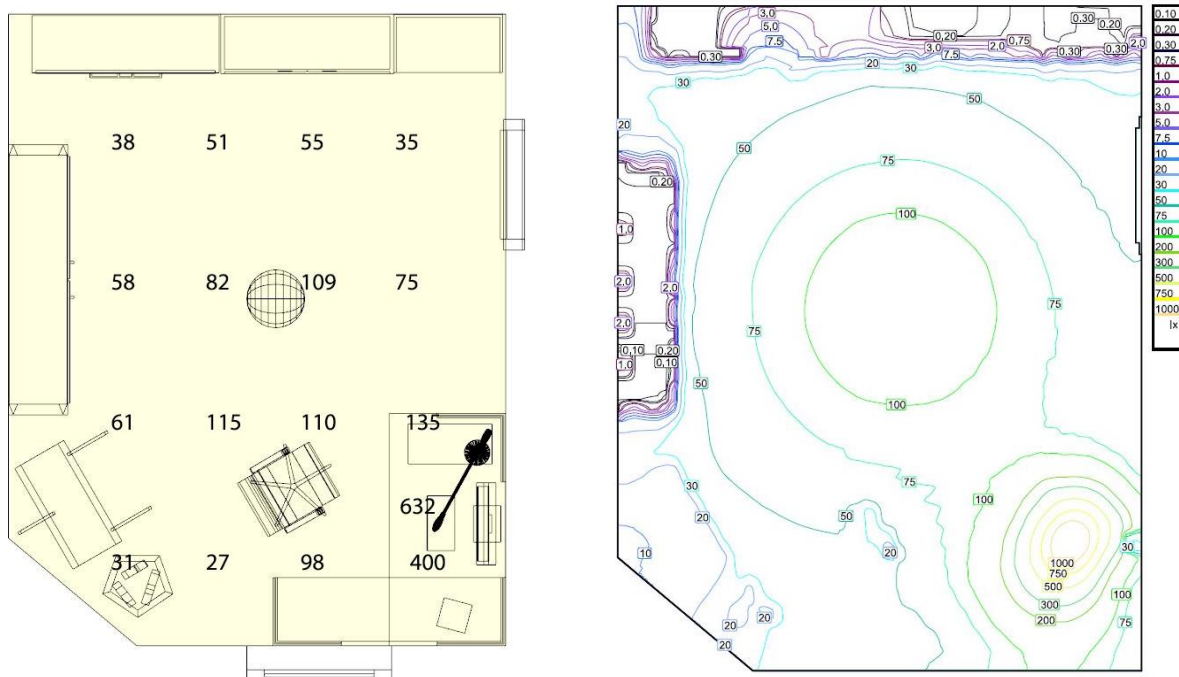
	Místo úkolu	Okolí úkolu	Strop	Stěny	Podlaha	Vnitřní zařízení
Barva	Dýha-olše	Meruňková	Bílá	Meruňková	Dub hnědý	Dýha-olše
Činitel odrazu	0,285	0,48	0,62	0,48	0,17	0,285

Tab. 10 Tabulka odrazivosti povrchů

## Rozměry místnosti

Délka= 4,4 m; Šířka= 3,5 m; Výška stropu= 2,8 m; Výška srovnávací roviny= 0,80 m

## Výsledky



Obr. 16 Naměřené hodnoty a nasimulovaný graf izolux prostoru pracovní

## Srovnávací rovina

$R_a = 90$	$U_0 = 0,24$	$E_{mcelk} = 124 \text{ lx}$	$T = 23^\circ\text{C}$
Okolí úkolu	$E_{mim} = 31 \text{ lx}$	$E_{max} = 67,5 \text{ lx}$	$E_m = 124 \text{ lx}$
Místo úkolu	$E_{mim} = 135 \text{ lx}$	$E_{max} = 632 \text{ lx}$	$E_m = 389 \text{ lx}$

Tab. 11 Hodnoty srovnávací roviny

## Závěr

Z výsledků měření je zřejmé, že tato místnost nevyhovuje z pohledu poměrů osvětlenosti zrakového úkolu a okolí úkolu. Osvětlenost je zde nerovnoměrná ( $U_0 = 0,24$ ), ve středu místnosti dosahuje pouze hodnot okolo 100 lx, což je maximum, které hlavní lustr osazen žárovkami dokáže vygenerovat. Pracovní stůl je osvětlen mnohem lépe, osvětlenost zde dosahuje hodnot přes 500 lx.

## 5.4 Koupelna

Místnost o výměře plochy 6,6 m<sup>2</sup> zajišťuje sociální zázemí celého patra, nachází se zde sprchový kout, záchod a umyvadlo s malým zrcadlem. Jako hlavní a jediný zdroj umělého osvětlení zde slouží svítidlo Lemvigh-Müller 7841104058 Globe 42W HF tc-tel osazeno klasickou žárovkou o příkonu 100W značky OSRAM.



Obr. 17 Vizualizace koupelny

### Použité světelné zdroje

Typ světelného zdroje		Příkon zdroje [W]	T <sub>c</sub> [K]	R <sub>a</sub> [-]	Životnost zdroje [hod]
1x	OSRAM CENTRA A CL 100	100	2800	100	1 000

Tab. 12 Použité světelné zdroje v prostoru koupelny

### Odrazivosti povrchů

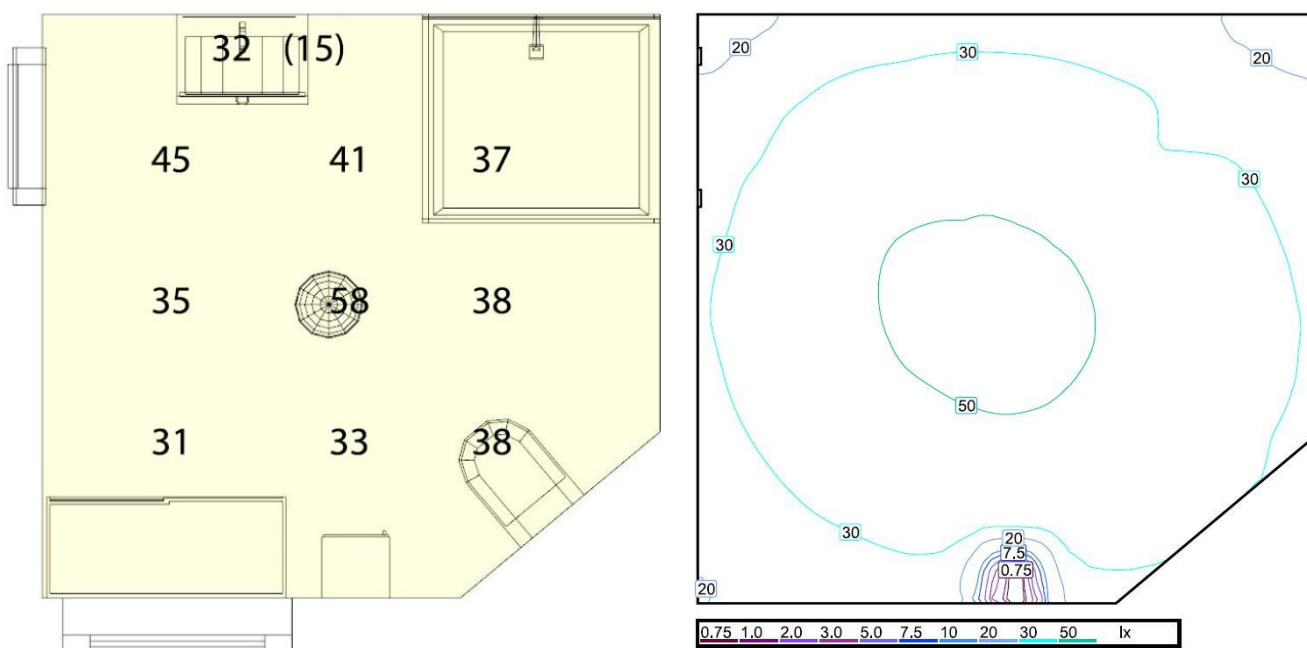
	Místo úkolu	Okolí úkolu	Strop	Stěny	Podlaha	Vnitřní zařízení
Barva	Bílá	Tmavě modrá	Bílá	Modrá	Tmavě modrá	Hnědé
Činitel odrazu	0,62	0,41	0,62	0,64	0,19	0,285

Tab. 13 Tabulka odrazivosti povrchů

### Rozměry místnosti

Délka= 2,7 m; Šířka= 2,5 m; Výška stropu= 2,8 m; Výška srovnávací roviny= 0,83 m

## Výsledky



Obr. 18 Naměřené hodnoty a nasimulovaný graf izolux prostoru koupelny

## Srovnávací rovina

$R_a = 100$	$U_0 = 0,79$	$E_{mcelk} = 38,8 \text{ lx}$	$T = 23^\circ\text{C}$
Okolí úkolu	$E_{mim} = 31 \text{ lx}$	$E_{max} = 58 \text{ lx}$	$E_m = 39,5 \text{ lx}$
Místo úkolu	$E_{mim} = 15 \text{ lx}$	$E_{max} = 32 \text{ lx}$	$E_m = 23,5 \text{ lx}$

Tab. 14 Hodnoty srovnávací roviny

## Závěr

Koupelna je z pohledu úrovně osvětlenosti ( $E_{mcelk} = 38,8 \text{ lx}$ ) nejhůře osvětlená místnost v celém domě, toto hodnocení umocňuje absence jakéhokoliv dalšího svítidla nad zrcadlem. Z grafu izolux (Obr.18) je patrné, že ve středu místnosti je největší osvětlenost, zatímco v okolí zrcadla je hodnota 32 lx, pokud je prostor před zrcadlem zastíněn, jako je tomu v reálném provozu, je hodnota osvětlenosti u zrcadla 15lx, což není ani hygienické minimum povolené normou. Průměrná hodnota osvětlenosti  $E_{mcelk} = 38,8 \text{ lx}$  je řádově nižší než by měla být.

## 5.5 Chodba a schodiště

Tyto prostory plní důležitou funkci v celém domě, nejen že propojují všechny místnosti, ale také slouží jako vstupní prostory do bytu. Celý tento prostor je osvětlen pouze jednou žárovkou OSRAM CENTRA A CL 100. Podesta a část schodů jsou osvětleny jedním svítidlem, které je osazeno klasickou žárovkou s příkonem 60W. V pravé části chodby se nachází malý stoleček se zrcadlem.



Obr. 19 Vizualizace prostoru chodby

### Použité světelné zdroje

	Typ světelného zdroje	Příkon zdroje [W]	T <sub>c</sub> [K]	R <sub>a</sub> [-]	Životnost zdroje [hod]
1x	OSRAM CENTRA A CL 100	100	2800	100	1 000
1x	OSRAM CENTRA A CL 60	60	2800	100	1 000

Tab. 15 Použité světelné zdroje v prostoru chodby

### Odrazivosti povrchů

	Strop	Stěny	Podlaha	Vnitřní zařízení
Barva	Bílá	Zelená	Dub hnědý	Hnědé
Činitel odrazu	0,62	0,49	0,17	0,285

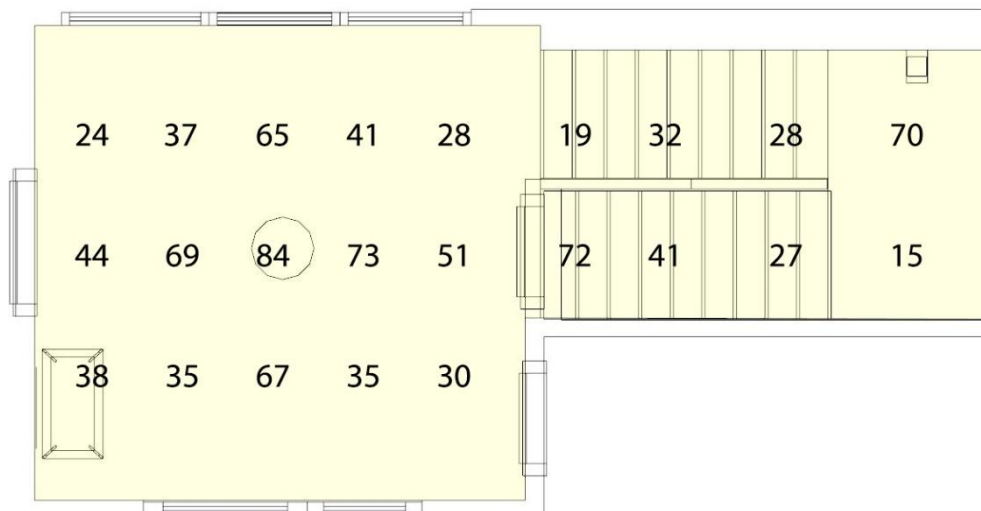
Tab. 16 Tabulka odrazivosti povrchů

### Rozměry místnosti

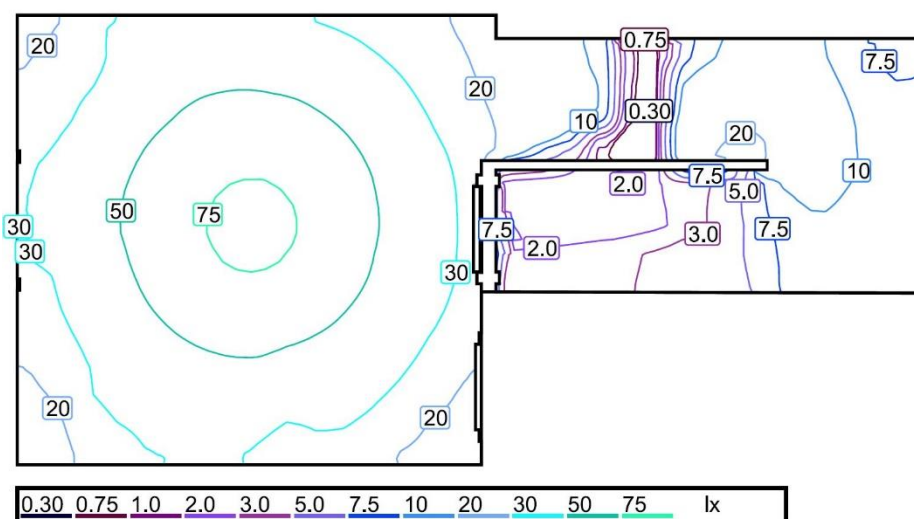
Délka= 2,9 m; Šířka= 2,8 m v místě schodů 5,8 m; Výška stropu= 2,8 m; Výška srovnávací roviny= 0,80 m



## Výsledky



Obr. 10 Naměřené hodnoty prostoru chodby



Obr. 11 Graf izolux prostoru chodby nasimulovaný v programu DIALux EVO

## Srovnávací rovina

$R_a = 100$	$U_0 = 0,42$	$E_{mcelk} = 44,5 \text{ lx}$	$T = 22^\circ\text{C}$
<b>Místo úkolu</b>	$E_{\text{mim}} = 15 \text{ lx}$	$E_{\text{max}} = 84 \text{ lx}$	$E_m = 44,5 \text{ lx}$

Tab. 17 Hodnoty srovnávací roviny



## 5.6 Dětský pokoj

Tato místnost je určená pro děti, které si často hrají na zemi, je zde tedy potřeba zajistit dostatečnou úroveň osvětlenosti i na podlaze. Dle prvních poznatků chybí na pracovním stole místní svítidlo.



Obr. 12 Vizualizace dětského pokoje

### Použité světelné zdroje

Typ světelného zdroje		Příkon zdroje [W]	T <sub>c</sub> [K]	R <sub>a</sub> [-]	Životnost zdroje [hod]
1x	OSRAM CENTRA A CL 100	100	2800	100	1 000
1x	OSRAM CENTRA A CL 60	60	2800	100	1 000

Tab. 18 Použité světelné zdroje v prostoru dětského pokoje

### Odrazivosti povrchů

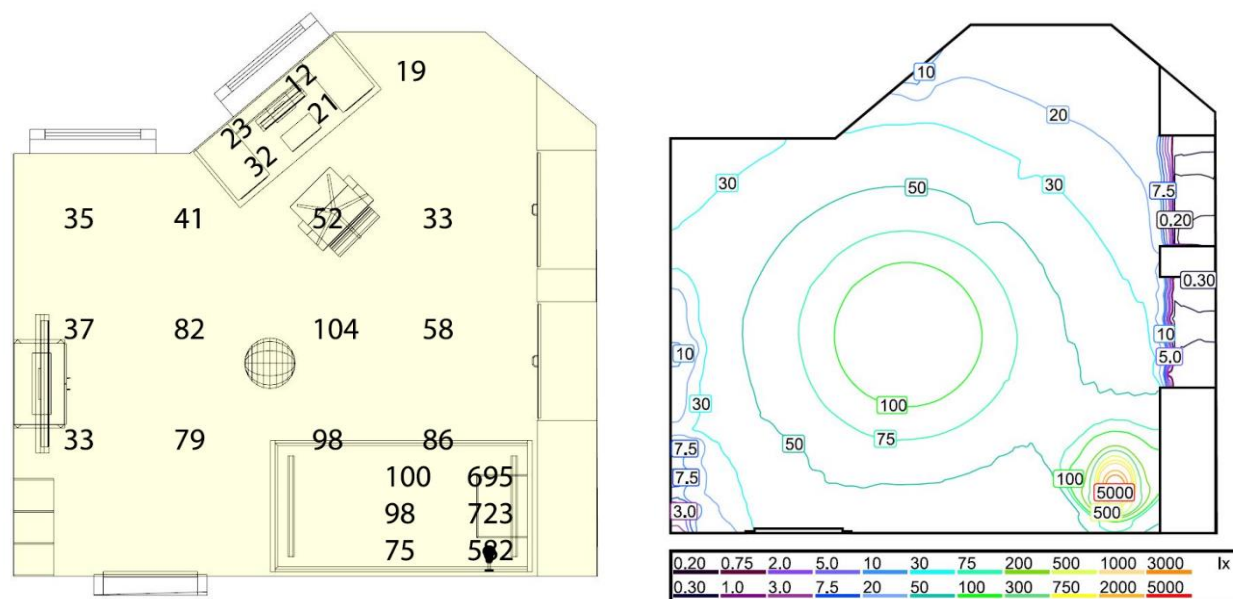
	Stůl	Strop	Stěny	Podlaha	Vnitřní zařízení
Barva	Hnědý	Bílá	Modrá	Dub hnědý	Hnědé
Činitel odrazu	0,285	0,62	0,23	0,39	0,285

Tab. 19 Tabulka odrazivosti povrchů

### Rozměry místnosti

Délka= 4,6 m; Šířka= 4,3 m; Výška stropu= 2,8 m; Výška srovnávací roviny= 0,85 m

## Výsledky



Obr. 13 Naměřené hodnoty a nasimulovaný graf izolux prostoru dětského pokoje

## Srovnávací rovina

$R_a = 100$	$U_0 = 0,09$	$E_{mcelk} = 121,5 \text{ lx}$	$T = 22^\circ\text{C}$
<b>Okolí úkolu</b>	$E_{mim} = 19 \text{ lx}$	$E_{max} = 104$	$E_m = 56,1 \text{ lx}$
<b>Stůl</b>	$E_{mim} = 12 \text{ lx}$	$E_{max} = 32$	$E_m = 22 \text{ lx}$
<b>Postel</b>	$E_{mim} = 75 \text{ lx}$	$E_{max} = 723$	$E_m = 328,8 \text{ lx}$

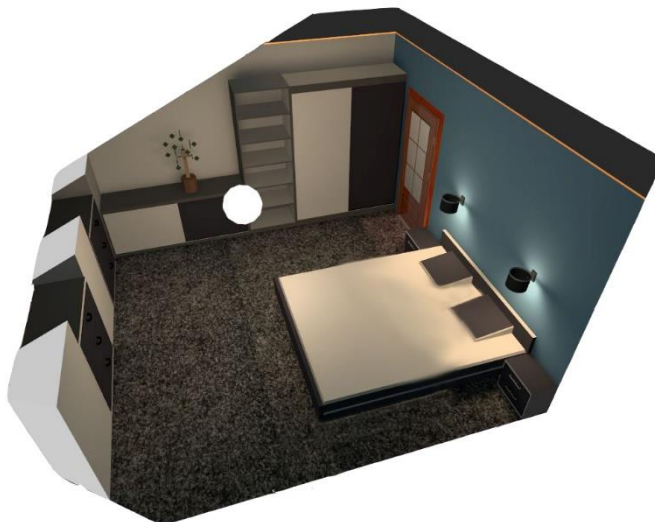
Tab. 20 Hodnoty srovnávací roviny

## Závěr

Osvětlenost v této místnosti je pro dítě špatná, vezmeme-li v úvahu fakt, že děti si často hrají na zemi a naměřené hodnoty byly ve srovnávací rovině 0,8 m nad zemí, budou hodnoty v úrovni podlahy ještě nižší. Tristní je absence místního svítidla u pracovního stolu, kde je úroveň osvětlenosti velice nízká a nejsou zde splněny podmínky pro dobrý zrakový výkon.

## 5.7 Ložnice

Tato místnost slouží hlavně jako místo pro odpočinek, proto je důležité vytvořit podmínky pro příjemnou světelnou atmosféru. Nad postelí v úrovni 1 m nad zemí jsou do zdi nainstalovány dvě noční svítidla osazená žárovkami OSRAM CENTRA A CL 60.



Obr. 14 Vizualizace prostoru ložnice

### Použité světelné zdroje

Typ světelného zdroje		Příkon zdroje [W]	$T_c$ [K]	$R_a$ [-]	Životnost zdroje [hod]
1x	OSRAM CENTRA A CL 100	100	2800	100	1 000
2x	OSRAM CENTRA A CL 60	60	2800	100	1 000

Tab. 21 Použité světelné zdroje v prostoru ložnice

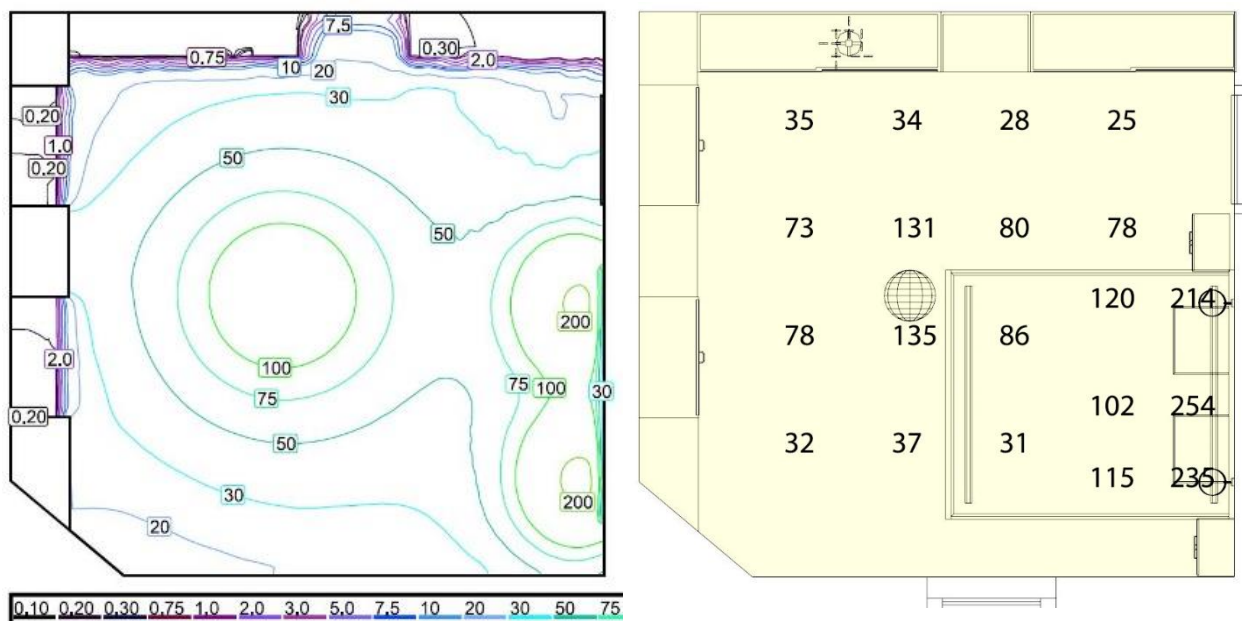
	Místo úhlu	Okolí úhlu	Strop	Stěny	Podlaha	Vnitřní zařízení
Barva	Bílá	Světle modrá	Bílá	Světle modrá	Šedá	Bílá
Činitel odrazu	0,62	0,29	0,62	0,29	0,1	0,62

Tab. 22 Tabulka odrazivosti povrchů

### Rozměry místnosti

Délka= 2,9 m; Šířka= 2,8 m; Výška stropu= 2,8 m; Výška srovnávací roviny= 0,40 m

## Výsledky



Obr. 15 Naměřené hodnoty a nasimulovaný graf izolux prostoru ložnice

## Srovnávací rovina

$R_a = 100$	$U_0 = 0,26$	$E_{mcelk} = 96,1 \text{ lx}$	$T = 22^\circ$
<b>Místo úkolu</b>	$E_{mim} = 102 \text{ lx}$	$E_{max} = 254$	$E_m = 174 \text{ lx}$
<b>Okolí úkolu</b>	$E_{mim} = 25 \text{ lx}$	$E_{max} = 135$	$E_m = 63 \text{ lx}$

Tab. 23 Hodnoty srovnávací roviny

Místnost je dle indexu rovnoměrnosti osvětlení velice špatně osvětlena, to potvrzují i izoluxní čáry v grafu (Obr.15). Největší osvětlenost je v prostoru postele, kde jsou nainstalována dvě nástěnná svítidla, která slouží jako místní zdroj ke čtení.

## 5.8 Závěr

Hodnoty z měření byly porovnány s údaji, které vypočítal program DIALux. Výsledky v rámci chyb souhlasily. Vzhledem k naměřené hodnotě napětí, která se blížila jmenovité, nebude nutné provádět korekci napětí. Rozdíl mezi výsledky z programu DIALux a naměřenými hodnotami nejsou zanedbatelné (12 - 25%). Tuto chybu jsem stanovil porovnáním průměrných hodnot osvětleností naměřeného stavu a počítačové simulace. V této chybě je zahrnuta nejistota měření 12%. Chyba v programu DIALux vzniká nedokonalým namodelováním malých předmětů, které ovlivňují svými odrazy světelný tok.

Další chyba může být ve vkládání přesných parametrů svítidel, jelikož realistické nastavení přesně nekorresponduje s nastavením v programu DIALux, ale zcela se k němu přibližuje. Toto je zapříčiněno použitými svítidly od neznámých výrobců, kterých je v domě celá řada, tím pádem nejsou známy zcela všechny fotometrické vlastnosti svítidel a není možno docílit úplně přesných nastavení ale pouze se k těmto parametrům přiblížit. Samotná chyba nevádí, pokud není rozdíl v řádech stovek luxů.

Z hodnot grafů je možné zjistit, které prostory jsou potřeba osvětlit víc a které míň. Tato a další informace zapsané do tabulek srovnávací roviny jsou pro návrh výchozí.

## 6 Postup návrhu osvětlení podle užití místností

Při návrhu umělého osvětlení je nutno vycházet ze základních informací u posuzovaných objektů:

- Určení použití jednotlivých místností objektu;
- Bude ve sledovaných prostorech pro trvalý pobyt osob vyhovující osvětlení denním světlem, nebo bude nutno použít sdruženého osvětlení;
- Jak bude pojednán interiér budovy;
- Jak je navrženo využití interiéru, zařizovací plán i s ohledem na místo úkonu.

Další faktor, který nesmí být opomenut, je možnost variability interiéru, jelikož uživatelé rádi často mění ráz interiérů a proto by navržené osvětlení mělo být co nejuniverzálnější s přihlédnutím na možnosti interiéru.

Možná variabilita interiéru má především vliv na návrh rozvodů elektroinstalace. Tyto rozvody je nutno navrhnout tak, aby v maximální míře umožnily změny v místech ovládání a vývodů pro svítidla. Tyto požadavky na rychlou a jednoduchou změnu elektrických rozvodů jsou akceptovatelné například u administrativních budov s podhledy a lehkými, montovanými příčkami. Kde lze eventuálně poměrně nenásilným způsobem měnit elektroinstalaci, bohužel v obytném domě často taková možnost není.

Při návrhu osvětlení se používají orientační výpočty, které slouží na stanovení energetické náročnosti, počtu světelných zdrojů a svítidel potřebných k dosažení určitých parametrů kvality osvětlení. Tyto hodnoty jsou pouze orientační a slouží jako podklad pro výpočet energetické náročnosti celého objektu. Jelikož v případě rodinného domu je zcela očekávané, že v průběhu užívání se bude prostor měnit a s ním i požadavky uživatele.

- Metoda bodová
- Metoda toková
- Metoda poměrného příkonu

## 7 Návrh osvětlení rodinného domu

Cílem návrhu osvětlovací soustavy je vytvořit takové prostředí, které umožní dosáhnout zrakové pohody a dovoluje nám vykonávat bezproblémově zrakový úkon v určité kvalitě při měrných finančních nákladech. V praxi se musí vždy najít kompromis mezi náklady vynaloženými na provoz, realizaci návrhu, údržby a vhodným řešením.

Tento návrh je pojat jako jedno z možných řešení a musí být tak brán. Trh s osvětlovací technikou je poměrně bohatý a možností je nespočet, návrh byl vytvořen za použití v programu DIALux

Při návrhu musel být udělán kompromis mezi kvalitou osvětlení a energetickou náročností. Zajisté by šlo navrhnout soustavu pouze se zdroji patřící do energetické třídy A nebo A+, otázkou je zdali by bylo příjemné v takto osvětleném domě bydlet. Při tomto návrhu byl kladen důraz více na kvalitu.

### 7.1 Kuchyň a obývací pokoj

V tomto návrhu byly brány v potaz vysoké nároky na zrakový výkon při práci na kuchyňské lince, osvětlena je celá pracovní plocha vyjma dřezu, který není osvětlen přímo. Jelikož se v kuchyni nachází myčka, předpokládá se, že dřez nebude tolika využíván a není nutné ho osvětlovat přímo. Jelikož v prostoru kuchyně byl brán ohled hlavně na zrakový výkon, tak v prostoru obývacího pokoje je prioritou světelná atmosféra.

#### ***Kuchyně***

Pro osvětlení kuchyňské linky byly použity standartní zářivkové tělesa s účinností 71% osazené zářivkami PHILIPS MASTER TL5 HO Colored 24W Red 1SL . Tyto zářivky byly vybrány pro svůj index podání barev  $R_a=100$ . Teplota chromatičnosti zářivek je 2800K, jelikož potraviny zpracovávané na lince vypadají v tomto světle přirozeněji a chutněji. Prostor nad sporákem je osvětlen žárovkami OSRAM 64860 T osazených v digestoři. Prostor kolem linky je nasvícen bodovými svítidly s účinností 99%, s možností mírného natočení, osazeny jsou halogenovými světelnými zdroji OSRAM HALOPAR 16 64824 FL GU10 , které patří do energetické třídy C.

Důvodem volby těchto zdrojů je fakt, že na trhu momentálně nejsou adekvátní náhrady zdrojů do patice GU10, které by vyhovovaly množstvím vyprodukovaného světla a vlastnostmi pro použití v kuchyni. Prostor jídelního stolu je přímo osvětlen dvojicí lustrů s možností změny vzdálenosti od plochy stolu. Tyto lustry mají účinnost 90% a osvětlují pouze dolní poloprostor. Důraz byl kladen na vlastnosti použitého zdroje, stejně jako v případě kuchyňské linky byl vybrán zdroj o barevné teplotě 2800 K s indexem  $R_a = 100$ .

### **Obývací pokoj**

Tato část je nasvícena několika druhy svítidel, v zadní části pod oknem je stejně jako v kuchyni použito bodové světlo a stejně osazeno. Celý prostor obývacího pokoje je pak osvětlován centrálním kulovým lustrem, umístěným nad konferenčním stolem a osazeným kompaktními zářivkou PHILIPS Softone ESaver 20W WW T65 1PF. Stejně řešení je navrženo i ve středním prostoru místnosti. Pro docílení lepší osvětlenosti jsou k dispozici dvě nastavitelná směrová svítidla v prostoru mezi televizí a konferenčním stolem, ty jsou osazena zdrojem PHILIPS MASTER LEDbulb 8-40W E27, který umožňuje stmívání. Pro dokreslení atmosféry je za televizí umístěn LED pásek 230V3-120 230V 1m.

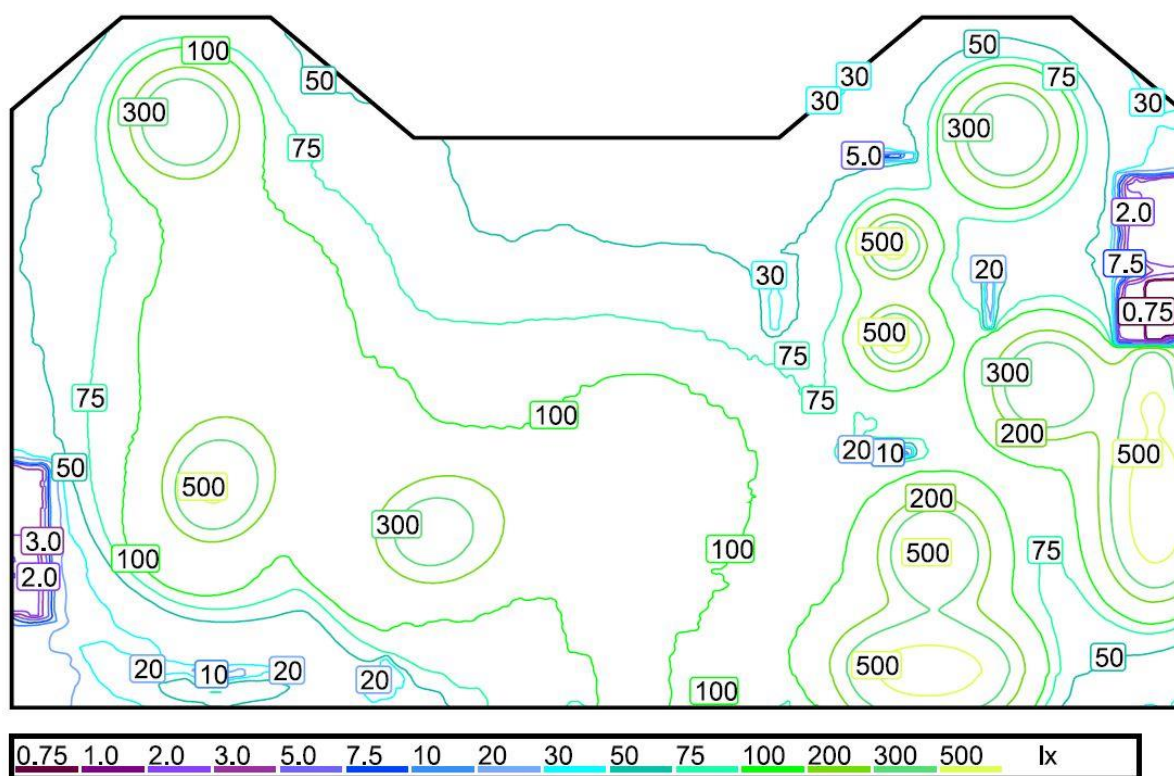
### **Použité světelné zdroje**

Označení světelného zdroje		Příkon zdroje [W]	$T_c$ [K]	$R_a$ [-]	Životnost zdroje [hod]
1x	HALOPAR 16 64824 FL 50W 230V 35st. GU10	50	2786	99	2 000
2x	OSRAM 64860 T	25	2800	100	1 500
2x	PHILIPS MASTER LEDbulb 8-40W E27	40	2700	84	25 000
4x	PHILIPS Softone ESaver 20W WW T65 1PF	20	2694	83	10 000
2x	OSRAM 64541 B EC	18	2800	100	2 000
2x	Philips MASTER TL5 HO 24W/840 G5	24	2856	100	21 000
1x	LED pásek 230V3-120 230V 1m	7	2700	80	20 000

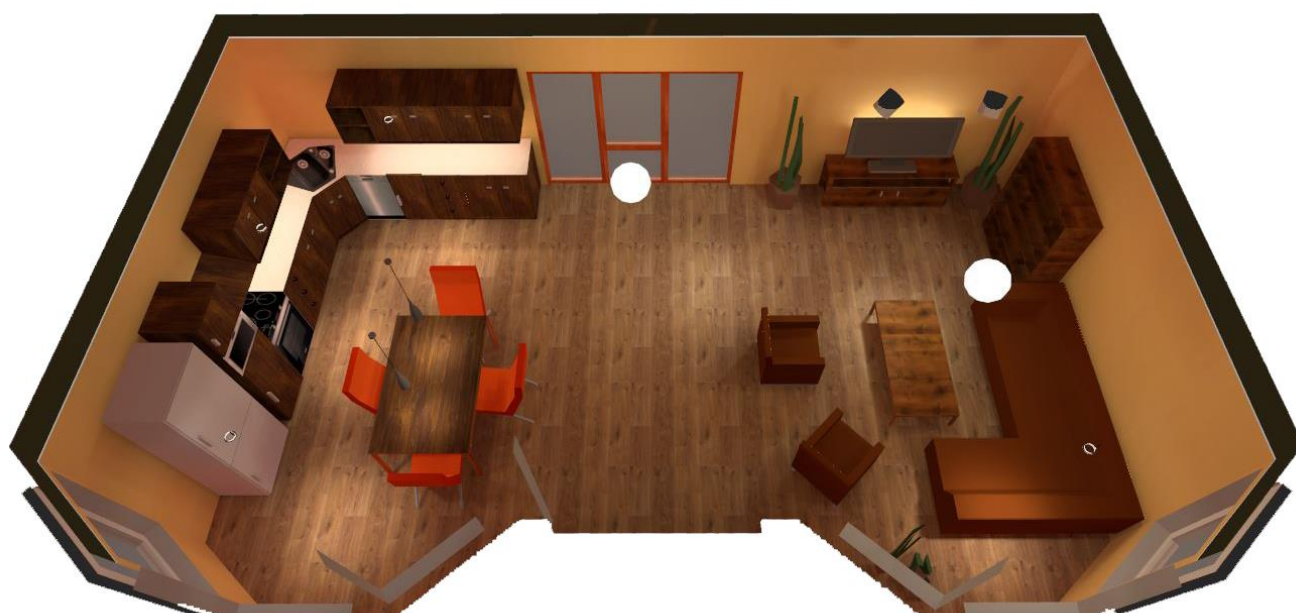
**Tab. 24** Použité světelné zdroje



## Výsledky



Obr. 16 Nasimulovaný graf izolux kuchyně a obývacího pokoje



Obr. 17 Vizualizace navrhovaného řešení kuchyně a obývacího pokoje

### *Srovnávací rovina*

<b>R<sub>a</sub> = 90</b>	<b>U<sub>0</sub> = 0,5</b>	<b>E<sub>mcelk</sub> = 189 lx</b>	<b>UGR &lt; 14</b>
<b>Pracovní linka</b>	<b>E<sub>mim</sub> = 31 lx</b>	<b>E<sub>max</sub> = 625 lx</b>	<b>E<sub>m</sub> = 124 lx</b>
<b>Jídelní stůl</b>	<b>E<sub>mim</sub> = 79 lx</b>	<b>E<sub>max</sub> = 543 lx</b>	<b>E<sub>m</sub> = 311 lx</b>
<b>Okolí úkolu</b>	<b>E<sub>mim</sub> = 31 lx</b>	<b>E<sub>max</sub> = 527 lx</b>	<b>E<sub>m</sub> = 127 lx</b>
<b>Místo úkolu</b>	<b>E<sub>mim</sub> = 135 lx</b>	<b>E<sub>max</sub> = 632 lx</b>	<b>E<sub>m</sub> = 389 lx</b>

*Tab. 25 Tabulka srovnávací roviny*

### *Závěr*

Jak můžeme z grafu (Obr) vidět, hodnoty v oblasti kuchyňské linky (vpravo dole) jsou naddimenzované a to z důvodu poklesu světleného toku postupem času. V grafu je vidět i zbytečně vysoká úroveň osvětlenosti v prostoru jídelního stolu, tato hodnota byla změřena při vzdálenosti svítidla od stolu 50cm, v návrhu je uvažováno svítidlo s možností změny výšky, proto tak vysoké hodnoty. Při oddálení lustru budou hodnoty nižší.

Hodnoty minimální osvětlenosti jsou zavádějící, jelikož program byl nastaven tak aby vypočítal úroveň osvětlenosti ve výšce 0,87 m srovnávací roviny, tím pádem automaticky provedl řez celou místností v této výšce bez uvažování nábytku, proto můžeme na grafu vidět nízké hodnoty v místech, kde jsou skříně, židle, či jiné objekty. Proto musíme udělat odečet ručně, nejnižší hodnota osvětlenosti prostoru, který je osvětlen je přibližně 30 lx.

## 7.2 Pracovna

Pracovna slouží jako místo pro administrativní činnost a práci na počítači, proto je pracovní stůl rovnoměrně nasvícen hodnotou osvětlenosti 300 lx. K osvětlení celého stolu bylo vybráno široké svítidlo, tak aby byla nasvícena celá pracovní plocha. Svítidlo je dostatečně vysoko, aby nedocházelo k oslnění uživatele vykonávajícího pracovní činnost. Celý prostor pracovny je osvětlen dvěma zářivkami značky PHILIPS s příkonem 36 W



Obr. 18 Vizualizace navrhovaného řešení pracovny

### Použité světelné zdroje

Označení světelného zdroje		Příkon zdroje [W]	$T_c$ [K]	$R_a$ [-]	Životnost zdroje [hod]
2x	MASTER TL-D 90 De Luxe 36W/940 1SL	36	4000	91	17 000
1x	LEDS C4 CIRC 18W Linear LED Pendant	18	3000	83	20 000

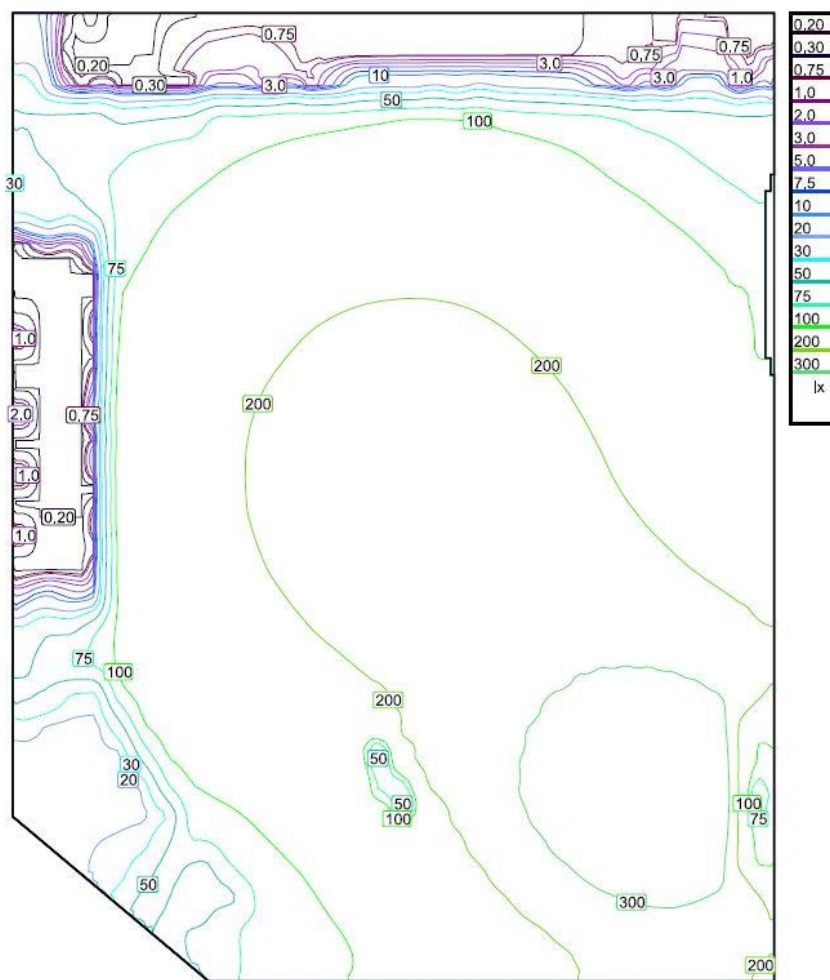
Tab. 26 Použité světelné zdroje v prostoru

### Srovnávací rovina

$R_a = 90$	$U_0 = 0,5$	$E_{mcelk} = 146 \text{ lx}$	$UGR = 18$
Okolí úkolu	$E_{mim} = 31 \text{ lx}$	$E_{max} = 305 \text{ lx}$	$E_m = 146 \text{ lx}$
Místo úkolu	$E_{mim} = 145 \text{ lx}$	$E_{max} = 463 \text{ lx}$	$E_m = 389 \text{ lx}$

Tab. 27 Hodnoty srovnávací roviny

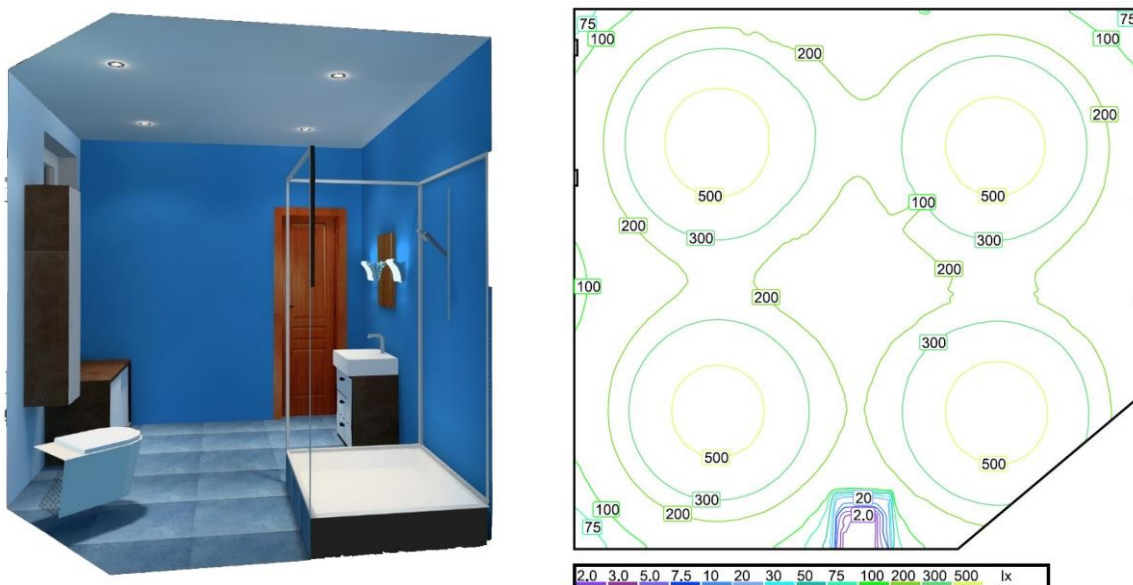
## Výsledky



*Obr. 19 Graf izolux navrhovaného řešení prostoru pracovny*

## 7.3 Koupelna

Z koupelny byl odebrán hlavní lustr, který v takto malé místnosti překážel, místo toho jsou uvažována bodová svítidla. Jak je vidět z grafu a vizualizace (ObrX), místnost je dostatečně osvětlena. Bodová svítidla rovnoměrně osvětlují celý prostor včetně sprchového koutu. V místě u umyvadla byla přidána dvě svítidla osazená LED světelným zdrojem. Všechna svítidla v koupelně musí mít krytí minimálně IP 44, aby nebyla ohrožena bezpečnost uživatele.



Obr. 20 Vizualizace a graf izolux pro návrh prostoru koupelny

### Použité světelné zdroje

Označení světelného zdroje		Příkon zdroje [W]	$T_c$ [K]	$R_a$ [-]	Životnost zdroje [hod]
2x	PHILIPS MASTER LEDcandle D 4-25W E14 WW B35 CL	25	3200	84	20 000
4x	OSRAM 64830 FL	75	2800	100	2 000

Tab. 28 Použité světelné zdroje v prostoru

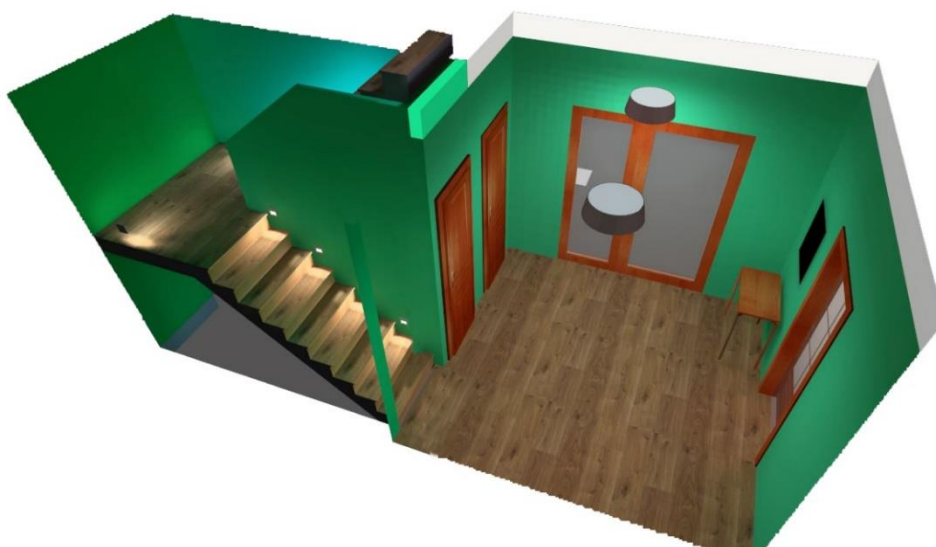
### Srovnávací rovina

$R_a = 90$	$U_0 = 0,9$	$E_{mcelk} = 124 \text{ lx}$	$UGR < 10$
Okolí úkolu	$E_{mim} = 153 \text{ lx}$	$E_{max} = 505 \text{ lx}$	$E_m = 288 \text{ lx}$
Místo úkolu	$E_{mim} = 162 \text{ lx}$	$E_{max} = 539 \text{ lx}$	$E_m = 299 \text{ lx}$

Tab. 29 Tabulka srovnávací roviny

## 7.4 Chodba a schodiště

Pro dosažení lepší úrovně osvětlenosti bylo nutno rozšířit počet svítidel a tím i počet světelných zdrojů. Hlavní stropní svítidla, která osvětlují pouze dolní poloprostor, mají v tomto návrhu účinnost 75%. Jsou osazena LED světelnými zdroji MEGAMAN LED LG2509.5 9,5W E27 2800K s příkonem 9,5 W. Pro lepší orientaci bylo na schodiště navrženo orientační osvětlení z LED modulů. Tyto moduly musí být v teplé barvě, protože by se mohlo stát, že by studená bílá nepůsobila společně se zelenou barvou dobře na psychiku člověka.



Obr. 21 Vizualizace nového řešení prostoru chodby

### Použité světelné zdroje

Označení světelného zdroje		Příkon zdroje [W]	T <sub>c</sub> [K]	R <sub>a</sub> [-]	Životnost zdroje [hod]
4x	MEGAMAN LED LG2509.5 9,5W E27 2800K	9,5	2800	80	12 000
8x	LED C4 POWER LED	3	2800	80	10 000

Tab. 30 Použité světelné zdroje v prostoru

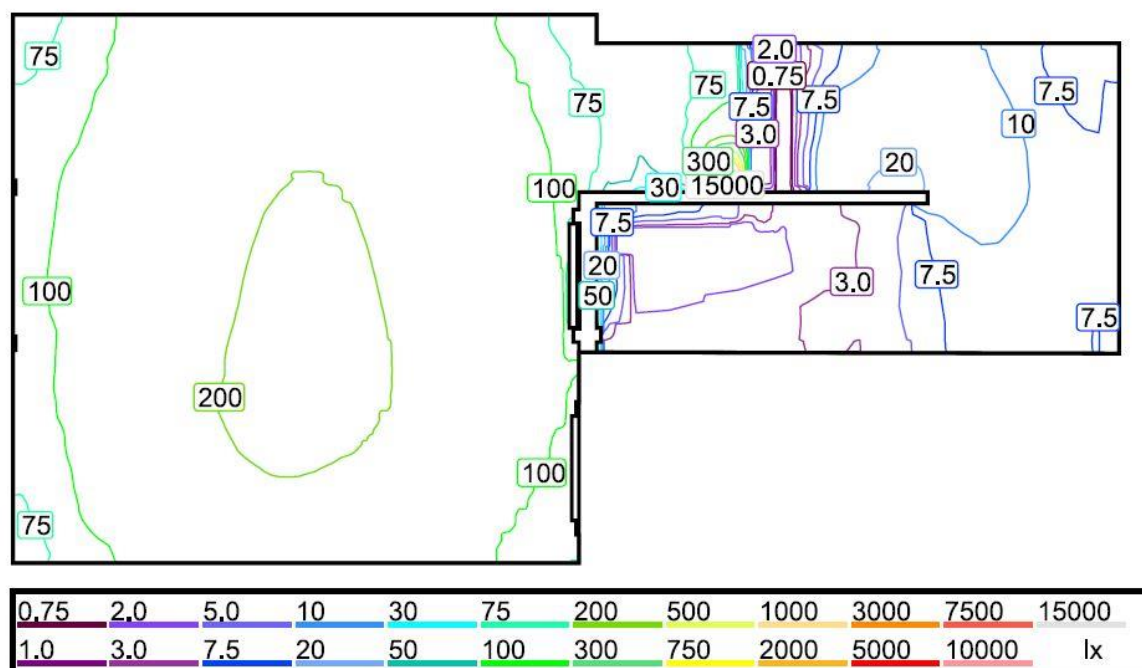
### Srovnávací rovina

R <sub>a</sub> = 80	U <sub>0</sub> = 0,6	E <sub>mcelk</sub> = 98 lx	UGR <18
Okolí úkolu	E <sub>mim</sub> = 68 lx	E <sub>max</sub> = 238 lx	E <sub>m</sub> = 153 lx
Místo úkolu	E <sub>mim</sub> = 86 lx	E <sub>max</sub> = 122 lx	E <sub>m</sub> = 104 lx

Tab. 31 Tabulka srovnávací roviny



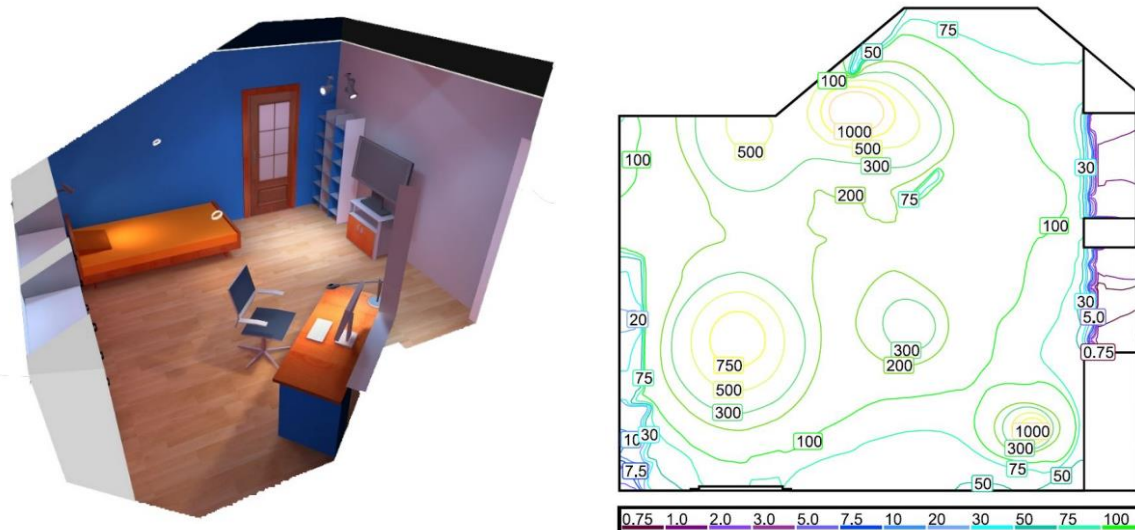
## Výsledky



Obr. 22 Diagram izolux pro prostor chodby

Srovnávací rovina byla nastavena pro výpočet ve výšce 0,8m a to z důvodů uvažování pracovní roviny na stolku u zrcadla, jinak by dle normy byla nastavena na hodnotu 0,2 m. Hodnoty v pravé části jsou zavádějící a to zejména hodnota osvětlenosti 15000lx. Tato hodnota je pouze ústřel a nedokonalost výpočtového řezu.

## 7.5 Dětský pokoj



Obr. 23 Vizualizace navrhovaného řešení dětského pokoje včetně grafu izolux

### Použité světelné zdroje

Označení světelného zdroje		Příkon zdroje [W]	$T_c$ [K]	$R_a$ [-]	Životnost zdroje [hod]
3x	OSRAM DSST MICROTWIST 18W/840 E27	18	4000	80-90	12 000
2x	OSRAM 64541 B EC	18	2800	100	2 000
2x	OSRAM HALOPAR 16 64831 FL	20	2900	100	2 000
1x	PHILIPS Capsuleline 50W GY6.35 12V CL 4000h 1CT	50	3000	100	4 000

Tab. 32 Použité světelné zdroje v prostoru

### Srovnávací rovina

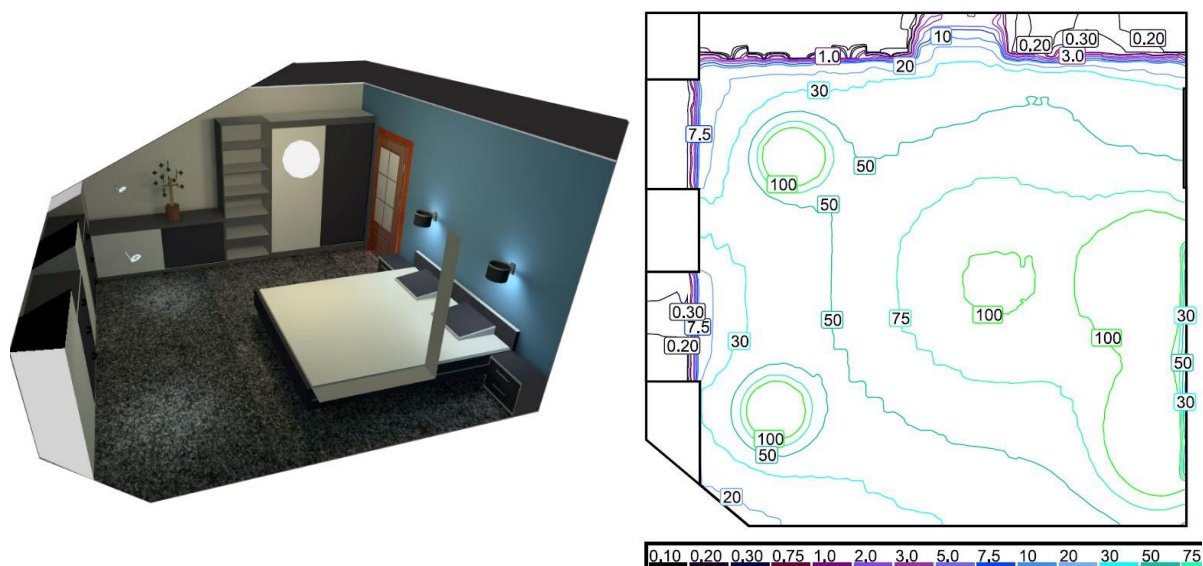
$R_a = 90-100$	$U_0 = 0,6$	$E_{mcelk} = 168 \text{ lx}$	$UGR = 13$
Okolí úkolu	$E_{mim} = 86 \text{ lx}$	$E_{max} = 786 \text{ lx}$	$E_m = 248 \text{ lx}$
Místo úkolu	$E_{mim} = 128 \text{ lx}$	$E_{max} = 1001 \text{ lx}$	$E_m = 547 \text{ lx}$

Tab. 33 Tabulka srovnávací roviny



## Závěr

### 7.6 Ložnice



Obr. 24 Vizualizace navrhovaného řešení ložnice včetně grafu izolux

#### Použité světelné zdroje

Označení světelného zdroje		Příkon zdroje [W]	T <sub>c</sub> [K]	R <sub>a</sub> [-]	Životnost zdroje [hod]
2x	MASTER LEDbulb 8-40W E27 A60	40	2700	84	25 000
2x	MASTERAmbiance 20W/827 E27 1CH	20	3000	83	12 000
2x	OSRAM LED STAR PAR16 20 36° 2 W/827 GU10	2	2700	80	25 000

Tab. 34 Použité světelné zdroje v prostoru

#### Srovnávací rovina

R <sub>a</sub> = 83	U <sub>0</sub> = 0,22	E <sub>mcelk</sub> = 85 lx	UGR = 18
Okolí úkolu	E <sub>mim</sub> = 19 lx	E <sub>max</sub> = 159 lx	E <sub>m</sub> = 83 lx
Místo úkolu	E <sub>mim</sub> = 82 lx	E <sub>max</sub> = 192 lx	E <sub>m</sub> = 102 lx

Tab. 35 Tabulka srovnávací roviny

## ***Závěr***

Z výsledků je vidět, že rovnoměrnost osvětlení je nízká ale z grafu izolux je zřejmé, že místnost je nasvícena tak, aby vyhověla hygienickému minimu. Budeme-li brát v potaz že tato místnost slouží primárně jako odpočinková a nikoliv k pracovním úkonům, můžeme říct, že je osvětlena dostatečně.

## **7.7 Zhodnocení**

Projektování světelné soustavy pro rodinné domy je velice specifické a zaslouží individuální přístup. Nelze vycházet jen z normativních parametrů, ale je potřeba znát prostor, vlastnosti svítidel a parametry světelných zdrojů. Při projektování jsem narazil na několik problémů. Jeden z nich je vhodný výběr zdroje do kuchyně, kde je potřeba zajistit co nejlepší světelné podmínky s dobrým podáním barev. Proto zde není tak využita LED technologie. Ta je využita až v prostoru obývacího pokoje.

Osvětlení obývacího pokoje je rozděleno na několik sekcí, aby bylo možno navodit příjemnou světelnou atmosféru. Při sledování televize je možné nechat svítit pouze prostor za televizí a tím tak omezit prudké jasy vzniklé změnou obrazu televize.

Dětský pokoj byl z hlediska zásahu asi nejradikálnější, jediné co zůstalo, byla lampička nad prostorem postele. Kulový lustr byl nahrazen směrovými svítidly, aby bylo možno nasvítit jakoukoliv část pokoje zvlášť. Do stropu podkroví byla nainstalována bodová svítidla, aby lépe osvětlila prostor u skříně.

Prostor koupelny byl nasvícen převážně halogenovými zdroji, jelikož jsem nenašel adekvátní zdroj s vysokou svítivostí a barevnými vlastnostmi.

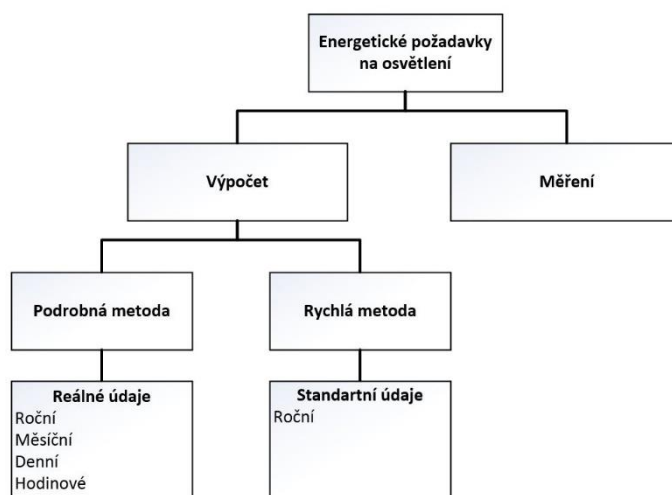
# 8 Technicko-energetické aspekty

## 8.1 Energetická hlediska

Při dnešním trendu úspor se navrhuje osvětlení co nejekonomičtějším způsobem. Je velice důležité nedělat kompromisy z hlediska vizuálního a funkčního, pouze za účelem co největší úspory energie. Energetických úspor může být dosaženo i jinými způsoby jako je například využívání denního světla nebo vhodně zvolené hospodárné ovládním. Při dobře navrženém denním osvětlení prostoru, je možno snížit požadavky na dobu provozu soustavy umělého osvětlení. Dalším řešením s uvažováním sdruženého osvětlení je navržení regulace světleného toku, díky které se v místnosti docílí požadované hodnoty osvětlenosti. Často se stává, že osvětlovací soustava zůstává zapnuta i v nepřítomnosti osob. Je-li uživatel mimo místnost, je zbytečné, aby osvětlovací soustava byla v provozu. Pro kontrolu přítomnosti osob se používají čidla pohybu, tyto čidla pak dokážou svítidla vypínat nebo omezovat jejich provoz.

### 8.1.1 Výpočet energetické náročnosti

Při stanovení energetické náročnosti osvětlovací soustavy se využívá několik metod, tyto metody se dají rozdělit dle náročnosti výpočtů a to na metodu rychlou a podrobnou. Metoda rychlá umožňuje vypočítat energetickou náročnost osvětlovací soustavy jako celku. Naopak metoda podrobná umožňuje vypočítat energetickou náročnost jednotlivých místností z hlediska prostoru a času.



Obr. 25 Blokové schéma řešení energetické náročnosti (převzato z[7])

Energetická náročnost rychlou metodou se spočítá z příkonu celé soustavy a celkové doby svícení. Tento postup slouží jako odhad přibližné energetické náročnosti v počáteční fázi projektu, který slouží k dimenzování elektroinstalace.

$$W = P_n * t_0 \text{ [Wh/rok]}$$

$t_0$  [h/rok] celková provozní doba svítidla za rok

$P_n$  [W] celkový příkon celé soustavy

Celkový instalovaný příkon soustavy se určí jako suma příkonů jednotlivých svítidel v daném objektu.

$$P_n = \frac{\sum P_i}{1000} \text{ [kW]}$$

V této práci se zabýváme volbou světelných zdrojů, tudíž uvažujeme pouze příkony zdrojů, pro výpočet energetické náročnosti osvětlení rodinného domu to dostačuje.

K docílení přesnějších výsledků můžeme využít podrobnou metodu tak, že vezmeme v potaz každou místnost zvlášť a celkovou náročnost soustavy zjistíme jako součet výsledků všech místností. Dalším způsobem jak posuzovat náročnosti soustavy je pomocí vztahu LENI (Lighting Energy Numeric Indicator). Tímto vztahem se vypočítá měrná spotřeba na  $m^2$  osvětleného prostoru.

$$LENI = \frac{W}{A} \text{ [kWh/m}^2\text{]}$$

$A$  [ $m^2$ ] – obyvatelná plocha místnosti

Přímé srovnání staré a nově navržené soustavy není možné a to z důvodů, že nově navržená soustava obsahuje jiný počet světelných zdrojů a jinak osvětluje prostor. Abychom relevantně srovnaly oba stavy, využijeme vztahu pro výpočet měrné roční spotřeby energie. [ČSN 15193].

$$\eta_E = \frac{W}{E_m * A} \text{ [kWh/m}^2\text{/lx/rok]}$$

$E_m$  [lx] – průměrná osvětlenost v prostoru

Při výpočtu energetické náročnosti bylo vycházeno z hodnot zjištěných z datasheetu. V tabulkách (Tab.X) jsou hodnoty kompletního výpočtu energetické náročnosti. Pro zhodnocení návrhu z hlediska změn počtu svítidel a světelných zdrojů nám posloužila hodnota měrné roční spotřebované energie ( $\eta_E$ ). Aby bylo možné porovnat oba návrhy, bylo počítáno s celkovou dobou provozu za rok 2400 hodin. Tato hodnota byla stanovena na základě týdenního sledování chodu domácnosti a dopočítána na celý rok vzhledem ke změnám ročního období. Jelikož tento údaj slouží pouze pro srovnání, nebude vadit jeho relevantnost.

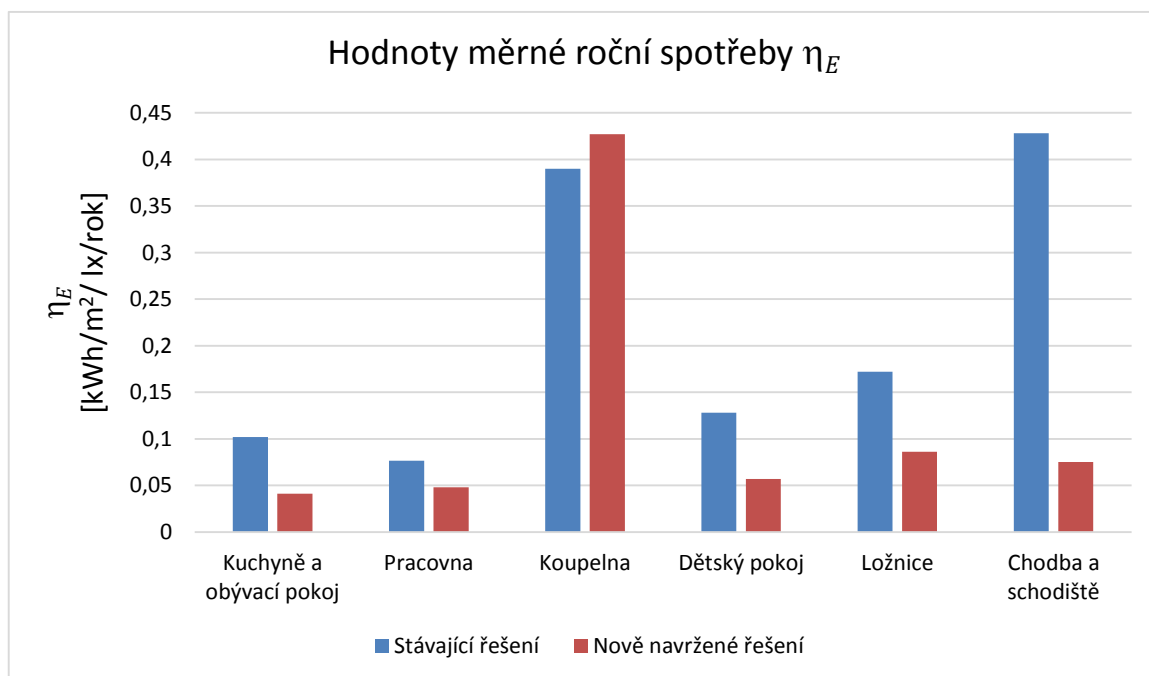
Stávající řešení							
Místnost	Celkový příkon světelného zdrojů [W]	Plocha [m <sup>2</sup> ]	Doba provozu za rok [hod]	Roční spotřeba [kWh]	E <sub>m</sub> [lx]	$\eta_E$ [kWh/m <sup>2</sup> /lx/rok]	Provozní náklady [Kč/rok]
Kuchyň a Obývací pokoj	710	44,95	2400	1704	154	0,102	8520
Pracovna	146	15,4		350,4	124	0,0764	1752
Koupelna	100	6,6		240	38,8	0,39	1200
Ložnice	280	16,9		672	96,1	0,172	3360
Chodba	160	8,4		384	44,5	0,428	1920
Dětský pokoj	240	15,4		576	121,5	0,128	2880
<b>Celkem</b>	<b>1636</b>				<b>3926,4</b>		

Tab. 35 Celkové výpočty energetické náročnosti stávajícího řešení

Navrhované řešení							
Místnost	Celkový příkon světelného zdroje [W]	Plocha [m <sup>2</sup> ]	Doba provozu za rok [hod]	Roční spotřeba [kWh]	E <sub>m</sub> [lx]	$\eta_E$ [kWh/m <sup>2</sup> /lx/rok]	Provozní náklady [Kč/rok]
Kuchyň a Obývací pokoj	351	44,95	2400	842,4	189	0,041	4212
Pracovna	108	15,4		259,2	146	0,048	1296
Koupelna	350	6,6		840	124	0,427	4200
Ložnice	124	16,9		297,6	85	0,086	1488
Chodba	62	8,4		148,8	98	0,075	744
Dětský pokoj	150	15,4		360	168	0,057	1800
<b>Celkem</b>	<b>1145</b>				<b>2748</b>		

Tab. 36 Celkové výpočty energetické náročnosti navrhovaného řešení

Vytvořený návrh je z hlediska náročnosti opravdu úspornější, než stávající řešení. V tabulkách (Tab.35,36) jsou vidět souhrnná data energetické náročnosti celého návrhu i jednotlivých místností. Využitím měrné roční spotřeby energie můžeme porovnat jednotlivé místnosti z hlediska úrovně osvětlenosti při spotřebě na  $m^2$  plochy. Zde vyšla nově navržená varianta ve většině případů lépe, bohužel v případě koupelny tomu tak není. Přihlídneme-li k tomu, že koupelna nebyla dostatečně osvětlena a hodnota osvětlenosti k poměru příkonu zdroje byla velmi nízká, můžeme říci, že i zde byl za určitých podmínek předpoklad splněn. Tento fakt nemění nic na tom, že je tato místnost navržena náročně. Proto by světelná soustava v prostoru koupelny měla být ještě poupravena, aby došlo k úspornému opatření i v této místnosti.



Obrázek 26 Srovnání energetické náročnosti místností

Největší úspora vznikla v prostorech chodby a schodů, kde vznikla téměř šestinásobná úspora spotřebované energie, vztažená na prostor a úroveň osvětlení. V prostorech kuchyně a obývacího pokoje vznikla dvojnásobná úspora a to i přes skutečnost, že zde došlo k velkým změnám. Nejradikálnějších změn dosáhl dětský pokoj, kde byl kladen důraz nejen na osvětlení celého prostoru ale i dílčí částí pokoje.

## 8.2 Výpočet návratnosti

Ekonomické údaje bývají často rozhodujícím parametrem investora při výběru vhodné varianty. Výpočet návratnosti investice nezahrnuje náklady na montážní práce a nákup nových svítidel, pouze počítá s návratností za světelné zdroje. Při výpočtu je počítáno s tarifem D02d a cenou elektřiny 5 Kč za 1 kW/h.

$$C_{PR} = W * C_W$$

$C_{PR}$  [Kč] - provozní roční náklady

$W$  [kWh] - spotřeba energie

$C_W$  [Kč] - cena elektrické energie za kWh

Návratnost celkové investice s uvažováním vstupních nákladů za výměnu světelných zdrojů. Při reálném zhodnocení by bylo potřeba do investic připočítat veškeré instalační práce včetně svítidel a instalačního materiálu. Tyto vzorce slouží pro výpočet celkové doby návratnosti světelných zdrojů s uvažováním rozdílné životnosti zdrojů.

$$C_{PP} = \frac{t_0 * n * C_K}{t_{\dot{z}}}$$

$C_{PP}$  [Kč] - pořizovací náklady na rok

$C_K$  [Kč] - cena za světelného zdroje za kus

$t_{\dot{z}}$  [hod] - doba životnosti zdroje

$n$  [ks] - počet kusů světelných zdrojů

$t_0$  [h/rok] - celková provozní doba světelného zdroje za rok

$$C_P = C_{PP} + C_{PR}$$

$C_P$  [Kč] - celkové náklady za rok

## Nově navržené řešení

<u>Označení světelného zdroje</u>		<u>Příkon zdroje [W]</u>	<u>Životnost zdroje[hod]</u>	<u>Pořizovací cena [Kč/kus]</u>	<u>Pořizovací náklad na rok provozu [Kč]</u>	<u>Cena provozu za rok [Kč]</u>	<u>Celkové náklady za rok [Kč]</u>
2X	PHILIPS MASTER TL5 HO 24W/840 G5	24	21 000	72	16,45	288	304
2X	PHILIPS MASTER LEDcandle D 4-25W E14 WW B35 CL	25	20 000	504	120,96	300	420
4X	PHILIPS MASTER LEDbulb 8-40W E27	40	25 000	720	276,48	480	756
4X	PHILIPS Softone ESaver 20W WW T65 1PF	20	10 000	200	192	240	432
2X	PHILIPS MASTER TL-D 90 De Luxe 36W/940 1SL	36	17 000	160	45,1765	432	477
2X	PHILIPS MASTERAmbiance 20W/827 E27 1CH	20	12 000	240	96	240	336
1X	PHILIPS Capsuleline 50W GY6.35 12V CL 4000h 1CT	50	4 000	40	24	600	624
1X	LED pásek 230V3-120 230V 1m	7	10 000	400	96	84	180
4X	MEGAMAN LED LG2509.5 9,5W E27 2800K	9,5	12 000	400	320	114	434
8X	LED C4 POWER LED	3	10 000	300	576	36	612
1X	LEDS C4 CIRC 18W Linear LED Pendant	18	20 000	1200	144	216	360
1X	OSRAM HALOPAR 16 64824 FL 50W 230V 35st. GU10	50	2 000	40	48	600	648
2X	OSRAM 64860 T	25	1 500	140	448	300	748
4X	OSRAM 64541 B EC	18	2 000	60	288	216	504
4X	OSRAM 64830 FL	75	2 000	125	600	900	1500
3X	OSRAM DSST MICROTWIST 18W/840 E27	18	12 000	270	162	216	378
2X	OSRAM HALOPAR 16 64831 FL	20	2 000	45	108	240	148
2X	OSRAM LED STAR PAR16 20 36° 2 W/827 GU10	2	25 000	600	115,2	243	139
<b>Celkové náklady na rok za světelné zdroje [Kč]</b>							<b>9202</b>

Tab. 37 Tabulka výpočtů jednotlivých zdrojů nového řešení



## Stávající řešení

Označení světelného zdroje		Příkon zdroje [W]	Životnost zdroj[e]hod[od]	Pořizovací cena [Kč/kus]	Pořizovací náklady na rok provozu [Kč]	Cena provozu za rok [Kč]	Celkové náklady za rok [Kč]
8x	OSRAM CENTRA A CL 100	100	1 000	70	1344	1200	2544
4x	OSRAM CENTRA A CL 60	60	1 000	20	192	720	912
3x	OSRAM CENTRA A CL 40	40	1 000	20	144	480	624
1x	PHILIPS MASTER TL5 HO Colored 24W 1SL	24	21 000	72	8,22	288	296,22
2x	Osram 64861 T 40W	40	2 000	140	366	480	816
4x	OSRAM DULUX SUPERSTAR NANO TWIST5W/840 E14	5	8 000	175	210	60	270
1x	OSRAM HALOGEN ECO PRO CLASSIC B 46W 230V E14	46	2 000	60	72	552	624
<b>Celkové náklady na rok za světelné zdroje [Kč]</b>							<b>6086,22</b>

Tab. 37 Tabulka výpočtů jednotlivých zdrojů stávajícího řešení

	Stávající řešení	Nově navržené řešení
<b>Celkové náklady na rok [Kč]</b>	<b>6086,22</b>	<b>9202</b>
<b>Návratnost</b>	<b>1,51</b>	

Tab. 38 Porovnání celkových nákladů a zjištění návratnosti

Při výpočtu návratnosti bylo počítáno s celkovými náklady za rok provozu, jelikož je v domě navrženo několik různých typů světelných zdrojů s odlišnou dobou životnosti. Proto je potřeba tento fakt zohlednit. V průběhu doby návratnosti dochází k nahrazování zdrojů s menší životností a tím roste pořizovací náklad, přitom klesá doba návratnosti. Díky této skutečnosti doba návratnosti vyjde 551,15 dní. Kdybychom vypočítávali dobu návratnosti pouze z investičních nákladů, vyšla by tato doba mnohem delší a tím pádem zkreslená.

## 9 Závěr

V této práci jsem zmínil nejpoužívanější světelné zdroje z pohledu využití v osvětlování rodinných domů a popsal jejich principy vytváření světla. Abych získal povědomí o využitelnosti jednotlivých zdrojů, popsal jsem jejich vlastnosti a kritéria, podle kterých jsou světelné zdroje vybírány pro užití. Následně jsem si vybral vhodný objekt, který jsem zmapoval. Pro zmapování stavu osvětlení v rodinném domě proběhlo nejprve měření a zápis parametrů svítidel. Poté jsem celý objekt nasimuloval ve výpočetním software DIALux EVO a získané hodnoty porovnal.

Ze získaných hodnot jsem zjistil určitý potenciál v úspoře elektrické energie. Dále jsem z výsledků zjistil, že v některých místnostech zcela nevyhovuje osvětlovací soustava požadavkům na zrakovou pohodu a zrakový výkon. Na základě těchto výsledků jsem navrhl nové úsporné řešení osvětlovací soustavy. Při navrhování musel být brán zřetel jak na stránku ekonomickou tak energetickou, na základě tohoto zjištění byl vytvořen určitý kompromisní návrh. Při průzkumu trhu jsem narazil na veliké množství světelných zdrojů, zejména luminiscenčních. Tyto zdroje jsou sice úsporné, ale pro nějaké aplikace z hlediska kvality reprodukováného světla nepoužitelné. Proto jsem navrhl světlenou soustavu různorodě, abych využil dobré vlastnosti každého světelného zdroje a přitom snížil náklady za energie. Bohužel při pouhé změně světelných zdrojů by nedošlo k optimálnímu zlepšení světelných podmínek. Proto jsem v jednotlivých místnostech změnil počet svítidel tak, abych docílil lepších světelných podmínek.

Při zhodnocení, vyšla mnou navržená osvětlovací soustava úsporněji než ta stávající, můžeme tedy říci, že návrh jako celek je vhodný. Z hlediska jednotlivých místností, už to tak neplatí, jelikož se nepovedlo navrhnout úspornější osvětlovací soustavu koupelny. Ve stávajícím stavu je koupelna ze všech místností nejhůře osvětlena. Mnou představený návrh je z hygienického hlediska lepší, ale z hlediska úspor horší. Bylo by vhodné dále uvažovat o úspornějším návrhu. Při vypočítání celkových investičních a provozních nákladů byla návratnost mého návrhu stanovena na 1,51 roku.

Po zkušenostech s programem DIALux EVO mohu říci, že tento nástroj je nedocenitelný pomocník při navrhování osvětlovacích soustav, problémem je však skutečnost, že tento software je vhodný spíše pro návrh soustav komerčních prostorů

## 10 Použitá literatura

- [1] *ENERGETICKY ÚSPORNÉ OSVĚTLOVÁNÍ V DOMÁCNOSTECH*. SEVEn, 2010. Dostupné z: [www.svn.cz](http://www.svn.cz)
- [2] KAŇKA, Jan. *Požadavky na denní osvětlení interiérů a způsoby jejich prokazování: Day lighting requirements and methods of their attestation*. V Praze: České vysoké učení technické, 2007, 18 s. ISBN 978-80-01-03682-2.
- [3] MACHÁČEK, Pavel. *Osvětlení a slabozrakost: jak správně svítit a vytvořit vhodné podmínky pro slabozrakého člověka*. 1. vyd. Praha: Tyfloservis, 2002, 48 s. ISBN 80-238-9231-2.
- [4] BYSTRICKÝ, Václav a Jan KAŇKA. *Osvětlení: jak správně svítit a vytvořit vhodné podmínky pro slabozrakého člověka*. Dotisk 2. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999, 82 s., 5 l. obr. příl. ISBN 80-010-1585-8.
- [5] KÖSTER, Helmut. *Dynamika denního osvětlení: principy návrhů, realizace*. 1. vyd. Praha: Grada, 2010, 319 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-3049-3.
- [6] MONZER, Ladislav. *Osvětlení a svítidla v bytech*. 1. vyd. Praha: Grada, 1998, 127 s. ISBN 80-716-9620-X.
- [7] HABEL, Jiří. *Světlo a osvětlování*. Praha: FCC Public, 2013, 622 s. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [8] *Světlo: časopis pro světelnou techniku a osvětlování*. Praha: FCC Public s. r. o., 1998-. ISSN 1212-0812.
- [9] LINDA, Josef. *Elektrické světlo I*. Vyd. 1. Plzeň: Západočeská univerzita, 1993, 78 s. ISBN 80-708-2094-2.
- [10] LINDA, Josef. *Elektrické světlo II*. Vyd. 1. Plzeň: Západočeská univerzita, 1995, 109 s. ISBN 80-708-2167-1.
- [11] LINDA, Josef. *Elektrické světlo III*. Vyd. 1. Plzeň: Západočeská univerzita, Katedra elektroenergetiky, 1995, 105 s. ISBN 80-708-2223-6.
- [N.1] ČSN EN 12464-1. Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů .(2012)
- [N.2] ČSN 73 4301. Obytné budovy, 2004.
- [N.3] ČSN 730580-1 Denní osvětlení budov – základní požadavky (6/2007)
- [N.4] ČSN 730580-2 Denní osvětlení obytných budov (6/2007)
- [N.5] ČSN 360020-1 Sdružené osvětlení – základní požadavky (2/2007)

# 11 Internetové zdroje

- [A] PHILIPS. *Philips* [online]. 2014 [cit. 2014-03-10]. Dostupné z: <http://www.philips.cz/>
- [B] OSRAM LICHT AG. *OSRAM* [online]. 2014 [cit. 2014-03-10]. Dostupné z: <http://www.osram.cz/>
- [C] VERBATIM. Verbatim Lighting [online]. 2014 [cit. 2014-03-10]. Dostupné z: [www.verbatimlighting.eu](http://www.verbatimlighting.eu)
- [D] KONICA MINOLTA Lighting [online]. 2014 [cit. 2014-03-12]. Dostupné z: <http://www.konicaminolta.com/>
- [E] DREAMTEC 2014 [cit. 2014-04-12]. Dostupné z: <http://www.dream-tec.cz/wp-content/uploads/schema.jpg>
- [F] ELEKTRIKA.CZ 2014 [cit. 2014-04-12]. Dostupné z: [http://www.elektrika.cz/obr/09\\_svet.zdroj\\_01V.JPG](http://www.elektrika.cz/obr/09_svet.zdroj_01V.JPG)
- [G] Sound and Vision. *Sound and Vision* [online]. [cit. 2014-04-12]. Dostupné z: <http://www.soundandvision.com/>
- [H] ŽÁROVKY.CZ. *ŽÁROVKY.CZ* [online]. [cit. 2014-05-1]. Dostupné z: <http://www.zarovky.cz/>
- [I] SEVEN.CZ. <http://www.svn.cz/> [online]. [cit. 2013-12-3]. Dostupné z: <http://www.svn.cz/>