ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra elektroenergetiky a ekologie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh na renovaci osvětlení rodinného domu

Bc. Patrik Duda **2020**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	**Bc. Patrik DUDA**
Osobní číslo:	**E17N0061P**
Studijní program:	**N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor:	**Technická ekologie**
Téma práce:	**Návrh na renovaci osvětlení rodinného domu**
Zadávající katedra:	**Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Zásady pro vypracování

1. Stručně naznačte problematiku osvětlování se zaměřením na umělé osvětlení budov. Popište počítačové programy, které se používají k numerickým výpočtům při osvětlování.
2. Objasněte vliv denního a umělého osvětlení na biologické pochody člověka.
3. Zhodnoťte současný stav osvětlení rodinného domu a proveďte simulaci současného stavu ve zvoleném programu.
4. Vytvořte návrh na renovaci osvětlení rodinného domu pomocí počítačové simulace s ohledem na biorytmy člověka.
5. Porovnejte nový stav s původním a vyvoďte závěry s ohledem na světelnou pohodu člověka.

Rozsah diplomové práce: **40 – 60 stran**
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. Habel, Jiří: Světlo a osvětlování. FCC Public, Praha 2013.
2. Linda, Josef: Elektrické světlo 1, 2, 3. ZČU v Plzni, Plzeň 1993, 1994, 1995.
3. Sokanský, Karel, a kol.: Světelná technika. ČVUT v Praze, Praha 2011.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Oldřich Kroupa, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **4. října 2019**
Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2020**

L.S.

Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan

Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 4. října 2019

Anotace

Cílem této diplomové práce je zhodnotit současný stav osvětlení rodinného domu a následně vytvořit zcela nový návrh na renovaci osvětlení rodinného domu s ohledem na nové poznatky o biologických účincích světla na člověka. V teoretické části práce jsou popsány základní kvantitativní a kvalitativní parametry osvětlení, které je nutné brát v úvahu při návrhu osvětlení vnitřních prostorů. Součástí teoretické práce je také uvedení do problematiky vlivu světla na biologické rytmy člověka.

Klíčová slova

Rodinný dům, návrh osvětlení, osvětlenost, svítidlo, světelný zdroj, teplota chromatičnosti, cirkadiánní rytmus, biologické hodiny.

Abstract

The aim of this master thesis is to evaluate the current state of family house lighting and then to create a completely new proposal for the renovation of family house artificial lighting with regard to new knowledge about the biological effects of light on humans. The theoretical part of the work describes the basic quantitative and qualitative parameters of lighting, which should be taken into account in the proposal of the interior lighting design. Part of the theoretical work is also an outline of the issue of the influence of light on the biological rhythms of humans.

Key words

Family house, lighting design, illumination, luminaire, light source, colour temperature, circadian rhythm, circadian clock.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 18.6.2020 Patrik Duda

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Oldřichu Kroupovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Také bych poděkoval své rodině za trpělivost a podporu během mého studia.

Obsah

OBSAH ... **8**

ÚVOD ... **10**

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK ... **11**

1 OSVĚTLOVÁNÍ VNITŘNÍCH PROSTORŮ ... **12**

1.1 KLASIFIKACE VNITŘNÍCH PROSTORŮ ... 12
1.2 UŽIVATELSKÉ POŽADAVKY NA OSVĚTLENÍ ... 12
1.3 KVALITATIVNÍ A KVANTITATIVNÍ PARAMETRY OSVĚTLENÍ ... 14
1.3.1 Osvětlenost ... *15*
1.3.2 Stálost osvětlení ... *16*
1.3.3 Rozložení jasů ... *17*
1.3.4 Zábrana oslnění ... *17*
1.3.5 Barevné vlastnosti osvětlení ... *18*
1.3.6 Osvětlení prostoru ... *20*
1.3.7 Směrové vlastnosti osvětlení ... *20*
1.4 ROZDĚLENÍ OSVĚTLOVACÍCH SOUSTAV ... 21
1.4.1 Denní osvětlení ... *21*
1.4.2 Umělé osvětlení ... *22*
1.4.3 Sdružené osvětlení ... *24*
1.5 OSVĚTLENÍ RODINNÝCH DOMŮ A BYTŮ ... 26
1.5.1 Obývací pokoj ... *27*
1.5.2 Kuchyň ... *27*
1.5.3 Pracovna, dílna ... *28*
1.5.4 Ložnice ... *28*
1.5.5 Koupelna ... *28*
1.5.6 Vstupní hala ... *29*
1.5.7 Schodiště, chodba ... *29*
1.6 POČÍTAČOVÉ PROGRAMY K NUMERICKÝM VÝPOČTŮM OSVĚTLENÍ ... 30
1.6.1 DIALux ... *30*
1.6.2 Relux ... *31*
1.6.3 BuildingDesign ... *31*
1.6.4 Další programy ... *32*

2 VLIV DENNÍHO A UMĚLÉHO OSVĚTLENÍ NA BIORYTMY ČLOVĚKA ... **33**

2.1 BIOLOGICKÉ HODINY V MOZKU ... 33
2.2 CIRKADIÁNNÍ RYTMY ... 34
2.2.1 Narušení cirkadiánních rytmů ... *36*
2.3 VLIV SPEKTRÁLNÍCH VLASTNOSTÍ SVĚTLA NA BIORYTMY ... 37
2.3.1 Cirkadiánní tok ... *38*
2.3.2 Činitel cirkadiánní účinnosti ... *39*
2.3.3 Teplota chromatičnosti ... *40*
2.3.4 Vliv změny spektrálního složení světla na cirkadiánní rytmy ... *42*
2.4 NÁVRH OSVĚTLENÍ S OHLEDEM NA BIORYTMY ... 44
2.4.1 Ranní osvětlení ... *44*
2.4.2 Večerní osvětlení ... *45*
2.4.3 Další doporučení ... *46*

3 SOUČASNÝ STAV OSVĚTLENÍ RODINNÉHO DOMU ... **48**

3.1 VÝSLEDKY MĚŘENÍ A SIMULACE UMĚLÉHO OSVĚTLENÍ ... 49
3.1.1 Obývací pokoj ... *51*
3.1.2 Kuchyň ... *53*
3.1.3 Pokoj č.1 ... *55*
3.1.4 Ložnice ... *57*

3.1.5 Koupelna/WC ... *60*
3.1.6 Chodba ... *61*
3.1.7 Předsíň ... *62*
3.1.8 Schodiště ... *64*
3.1.9 Horní patro ... *65*
3.2 SIMULACE DENNÍHO OSVĚTLENÍ ... 68
3.2.1 Rozměry osvětlovacích otvorů jednotlivých místností ... *69*
3.2.2 Výsledky simulace denního osvětlení ... *69*
4 NÁVRH NA RENOVACI OSVĚTLENÍ RODINNÉHO DOMU ... 71
4.1 OBÝVACÍ POKOJ ... 71
4.2 KUCHYŇ ... 75
4.3 POKOJ Č.1 ... 77
4.4 LOŽNICE ... 79
4.5 KOUPELNA/WC ... 81
4.6 CHODBA ... 83
4.7 PŘEDSÍŇ ... 83
4.8 SCHODY ... 85
4.9 HORNÍ PATRO ... 86
4.10 CELKOVÉ POŘIZOVACÍ NÁKLADY SVÍTIDEL ... 89
4.11 POROVNÁNÍ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI NOVÉHO A STARÉHO OSVĚTLENÍ ... 89
4.12 UDRŽOVACÍ ČINITEL NOVĚ NAVRŽENÝCH OSVĚTLOVACÍCH SOUSTAV ... 93
4.13 ZPŮSOB OVLÁDANÍ NOVĚ NAVRŽENÉHO OSVĚTLENÍ ... 94
ZÁVĚR ... 96
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ ... 97
NORMY ... 99
SEZNAM PŘÍLOH ... 100
PŘÍLOHY ... 1

Úvod

Předkládaná diplomová práce se zabývá problematikou osvětlování vnitřních prostorů a vlivu světla na lidský organismus. Konkrétně dojde k posouzení současného stavu osvětlení vybraného rodinného domu měřením a simulací v programu DIALux evo 9.0. Následně vytvořím kompletně nový návrh na renovaci osvětlení v celém objektu. Kromě toho, že se pokusím zjištěné nedostatky stávajícího osvětlení týkající se nedostatečné osvětlenosti jednotlivých prostorů objektu napravit, je mým cílem navrhnout takové osvětlení, které by podporovalo biologické funkce uživatelů domu. V posledních letech bylo publikováno mnoho vědeckých prací a článků, které se zabývají vlivem světla na lidský organismus. Tyto nové poznatky o světle mě velice zaujaly a z tohoto důvodů jsem si také vybral tuto diplomovou práci. V současné době nejsou nikde normativně zpracovány závěry, které plynou z výzkumů světelných účinků na cirkadiánní rytmy. Všechny současné normy týkající se osvětlení vycházejí z koncepce, že světlo slouží pouze k vytvoření zrakového vjemu. Navíc se velmi často stává, že normativní požadavky na osvětlení jsou v protikladu s biologickými požadavky. Proto je na projektantovi osvětlení a investorovi, jak k této problematice přistoupí.

.

Seznam symbolů a zkratek

E ..... Osvětlenost, intenzita osvětlení – všeobecná značka (lx)

$\bar{E}_m$ . ..... Udržovaná osvětlenost (lx)

$\bar{E}_{m,ú}$ . ..... Osvětlenost místa zrakového úkolu (lx)

$\bar{E}_{m,bo}$ . ..... Osvětlenost bezprostředního okolí úkolu (lx)

U_0.. ..... Rovnoměrnost osvětlení $(-)$

h ..... Výška vodorovné srovnávací roviny nad podlahou (m)

UGR_L ..... Index oslnění $(-)$

L_z..... Jas světelného zdroje $(cd \cdot m^{-2})$

T_c ..... Teplota chromatičnosti (K)

R_a ..... Index podání barev $(-)$

D..... Činitel denní osvětlenosti (%)

D_m ..... Průměrná hodnota činitele denní osvětlenosti (%)

D_{min} ..... Minimální hodnota činitele denní osvětlenosti (%)

τ..... Denní perioda cirkadiánních rytmů (h)

Φ_e ..... Zářivý tok (W)

Φ ..... Světelný tok (lm)

Φ_c ..... Cirkadiánní tok (lm)

$V(\lambda)$..... Poměrná spektrální citlivost čípků $(-)$

$V'(\lambda)$ ..... Poměrná spektrální citlivost tyčinek $(-)$

$C(\lambda)$..... Poměrná spektrální citlivost cirkadiánních čidel $(-)$

$E_{e(\lambda)}$ ..... Spektrální intenzita vyzařování $(W \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1})$

K_m ..... Maximální spektrální účinnost čípků $(lm \cdot W^{-1})$

K_{mc} ..... Maximální spektrální účinnost cirkadiánních čidel $(lm \cdot W^{-1})$

a_{cv} ..... Činitel cirkadiánní účinnosti $(-)$

A_c..... Index cirkadiánního aktivačního účinku $(-)$

X_{D65} ..... Poměrné spektrální složení standardizovaného denního světla $(-)$

$DALI$..... Digital Addressable Lighting Interface

W..... Spotřeba elektrické energie pro osvětlení (kWh/rok)

W_L ..... Spotřeba elektrické energie pro normální osvětlení (kWh/rok)

W_P ..... Spotřeba el. energie ostatních součástí osvětlení (kWh/rok)

$LENI$ ..... Měrná spotřeba osvětlovací soustavy $(kWh \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1})$

1 Osvětlování vnitřních prostorů

Při navrhování osvětlení vnitřních prostorů musíme ze všeho nejdříve znát využití daného prostoru, individuální požadavky a charakter uživatelů. Následně můžeme rozhodnout, jaké kvalitativní a kvantitativní parametry osvětlení by navrhovaná osvětlovací soustava měla dosáhnout. Poté je nutné, abychom zvolili vhodné světelné zdroje, svítidla, správné rozmístění svítidel, řízení osvětlení atd. Správně navrhnuté osvětlení přispívá k zvýšení zrakového výkonu v prostorech určených k práci nebo k vytvoření zrakové pohody a k celkovému naladění organismu k odpočinku v prostorech k tomu určených.

1.1 Klasifikace vnitřních prostorů

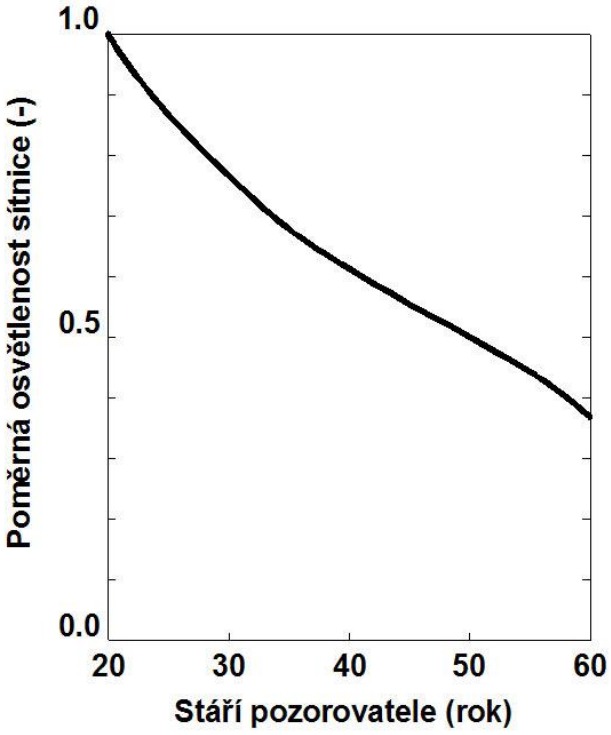
Pro správné definování a přiřazení světelně technických parametrů k jednotlivým prostorům, které se liší ve svém funkčním využití, byly prostory v rámci norem rozděleny do aplikačních oblastí. Každá z těchto aplikačních oblastí je dále podrobněji rozdělena na dílčí zrakové úkoly, ke kterým jsou přiřazeny požadované světelně-technické parametry. Prostory podle jejich funkčního využití můžeme tedy rozdělit do těchto oblastí:

- administrativní prostory,
- školy a vzdělávací zařízení,
- zdravotnická zařízení,
- průmyslové prostory,
- obchodní prostory,
- byty, rodinné domy,
- historické prostory,
- hotely a ubytovací prostory,
- bary, restaurace, stravovací zařízení,
- dopravní prostory,
- kina a divadla,
- muzea, galerie,
- obchodní prostory,
- zemědělské prostory,
- vnitřní sportoviště. [1]

1.2 Uživatelské požadavky na osvětlení

Při návrhu osvětlení musíme brát v úvahu, že lidé jsou rozdílní a každý člověk muže mít trochu jiné požadavky na osvětlení, než jsou předepsány v normách pro tzv. normálního fotometrického pozorovatele (uživatel středního věku s normálním zrakem). V praxi se často stává, že individuální požadavky uživatelů se liší od těch normativních, proto je nutné tyto

vlastní požadavky uživatelů analyzovat ještě před započetím návrhu osvětlení. Rozdíl v požadavcích uživatelů na osvětlení může souviset s jejich věkem, zdravotním stavem zraku, duševním stavem, celkovým fyzickým stavem uživatelů, nebo jen s jejich osobními preferencemi (např. dané kulturními rozdíly). Nejdůležitější roli v tomto ohledu hraje asi věk uživatelů. Postupem času, jak člověk stárne, dochází u něho ke zhoršování zraku. To je způsobeno tím, že dochází ke snížení světelné propustnosti očního prostředí a zmenšení zornice, což způsobí snížení množství optického záření, které do oka vstupuje. Na obrázku č. 1 je znázorněn rozdíl v osvětlenosti sítnice dvacetiletého a šedesátiletého pozorovatele při shodných světelných podmínkách. Je zřejmé, že osvětlenost sítnice šedesátiletého pozorovatele v porovnání s dvacetiletým je třetinová. Z toho vyplývá, že v prostorech, kde se nacházejí starší lidé, je nutné, aby bylo dosáhnuto vyšších hladin osvětlenosti pro jejich optimální zrakový výkon. Toho může být dosáhnuto místním osvětlením, které lze individuálně přizpůsobit požadavkům uživatele. [1]



Obrázek 1:Pokles osvětlenosti sítnice v závislosti na věku pozorovatele [21]

Při návrhu osvětlení je potřeba mít na paměti, že normy předepisují jen minimální hodnoty světelně technických-parametrů pro normálního fotometrického pozorovatele. Normy jsou jen takovým vodítkem pro vytvoření správného světelného prostředí, ale důležité jsou také individuální požadavky uživatelů daného prostoru, které přispívají nejvíce k jejich spokojenosti. Základní faktory, které přispívají ke spokojenosti uživatelů jsou:

- dostatečné osvětlení prostoru,
- dostatečné osvětlení zrakového úkolu,
- vhodnost rozložení jasu (světelná atmosféra),
- eliminace oslňujících zdrojů světla,
- barevnost světla,
- možnost individuálního přizpůsobení světelných podmínek,
- eliminace rychlých změn světelných podmínek, míhání a blikání.[1]

1.3 Kvalitativní a kvantitativní parametry osvětlení

Příjemné světelné prostředí lze definovat tak, že je dosaženo optimálního zrakového výkonu a zrakové pohody. To nastává při dodržení určitých kvantitativních a kvalitativních parametrů osvětlení. Tyto parametry osvětlení se odvíjí od základních faktorů, který přispívají ke spokojenosti uživatelů s osvětlením, a které byly uvedeny v předchozí podkapitole 1.2. Mezi kvantitativní a kvalitativní parametry v současné době patří:

- osvětlenost,
- časové změny osvětlení,
- rozložení jasu,
- zábrana oslnění,
- barevné vlastnosti osvětlení,
- osvětlení prostoru,
- směrové vlastnosti osvětlení.

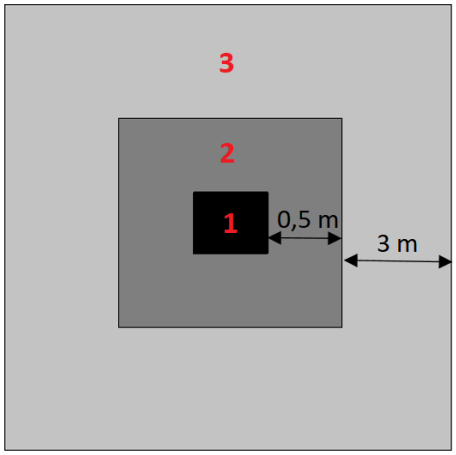
Tyto parametry osvětlení jsou uvedeny v normách zaměřených na osvětlování vnitřních prostorů [N1], [N2], [N3], [N4] a jsou předepsány buď formou obecných ustanovení nebo taxativně pro charakteristické zrakové úkoly, činnosti nebo prostory. [1]

1.3.1 Osvětlenost

Osvětlenost (intenzita osvětlení) E (lx) je základní fotometrickou veličinou, která se v praxi nejčastěji měří. Měřením rozložení hladin osvětlenosti lze objektivně doložit, zda byly v dané osvětlovací soustavě dodrženy základní požadavky na úroveň a rovnoměrnost osvětlení.

Udržovaná osvětlenost $\overline{E}_m$ je průměrná hodnota osvětlenosti v místě zrakového úkolu, pod kterou nesmí skutečná hodnota osvětlenosti v průběhu provozu osvětlovací soustavy klesnout. Udržovaná osvětlenost se hodnotí na srovnávací rovině, která může mít různý sklon a orientaci (např. pro kancelářské prostory se používá horizontální rovina ve výšce 0,75 m). Dále obsahuje síť bodů v místě zrakového úkolu, ve kterých se osvětlenost měří. Hodnoty udržovací osvětlenosti jsou dány taxativně pro každý zrakový úkol normou [N1].

Udržovaná osvětlenost se neposuzuje jen pro místo zrakového úkolu, ale v normě [N1] jsou definovány dvě prostorové zóny v blízkosti zrakového úkolu. Tyto dvě zóny jsou definovány z důvodu, aby nedocházelo k velké prostorové změně osvětlenosti, která by vedla ke snížení zrakové pohody. První z nich je *bezprostřední okolí úkolu*, které je definováno jako pás o minimální šířce 0,5 m kolem místa zrakového úkolu v zorném poli pozorovatele. Druhá zóna je definována jako část prostoru přiléhajícího k bezprostřednímu okolí o minimální šířce 3 m. Tato druhá zóna se nazývá *pozadí úkolu*. Na obrázku č. 2 jsou tyto zóny znázorněny graficky. Pokud nastane situace, že velikost nebo místo zrakového úkolu nejsou známy, norma [N1] doporučuje osvětlit celou místnost, jako velké místo zrakového úkolu. [1][4]



Obrázek 2: Prostorové zóny v zorném poli pozorovatele (1 – místo zrakového úkolu, 2 – bezprostřední okolí, 3 – pozadí okolí)

Tabulka č. 1 udává požadované hodnoty osvětlení bezprostředního okolí dle normy ČSN EN 12464-1 - Vnitřní pracovní prostory, které souvisí s požadovanou osvětleností v místě zrakového úkolu. Pro hodnoty osvětlenosti pozadí úkolu platí, že osvětlenost musí být větší nebo rovna 1/3 osvětlenosti bezprostředního pozadí. [N1]

Tabulka 1: Osvětlenost zrakového úkolu a bezprostředního úkolu

Osvětlenost místa zrakového úkolu $\bar{E}_{m,ú}(lx)$	**Osvětlenost bezprostředního okolí úkolu $\bar{E}_{m,bo}(lx)$**
≥ 750	500
500	300
300	200
200	150
≤150	$\bar{E}_{m,ú} = \bar{E}_{m,bo}$

Rovnoměrnost osvětlení U_0 $(-)$ je důležitým kvalitativním parametrem osvětlení. Je definována jako poměr minimální a průměrné hodnoty osvětlení na hodnocené srovnávací rovině. Důležitost tohoto parametru je v tom, že má zabránit, aby jedna část pracovní plochy nebyla přesvětlená a druhá část tmavá. Pro jednotlivé zrakové úkoly v místě zrakového úkolu, udává norma [N1] taxativní hodnoty. Pro bezprostřední prostředí úkolu musí být rovnoměrnost osvětlení $U_0 \geq 0{,}4$ a pro pozadí úkolu $U_0 \geq 0{,}1$. [1]

1.3.2 Stálost osvětlení

Rychlé časové změny osvětlení můžou být způsobeny elektrickými (kolísáním napětím) nebo mechanickými příčinami. Míhání světla negativně ovlivňuje zrakovou činnost člověka. Vyvolává únavu zraku a tím související bolest hlavy, dále je to pokles soustředěnosti, která může vést ke snížení pracovní výkonosti až k úrazu na pracovišti. Zvlášť nebezpečné je míhání osvětlení na pracovištích, kde se nacházejí točivé části strojů. Může dojít k tzv. stroboskopickému jevu, kdy při určité frekvenci pulsujícího světelného toku se pohyblivá část stroje může jevit jako statická a to může vést k vážným úrazům. Pro zamezení míhání osvětlení je jedním možným řešením použití elektronického předřadníku. Toto řešení je zvlášť účinné u zářivkových svítidel, kde se dosahuje pracovní frekvence až 40 kHz. Druhým možným řešením je zapojení svítidel střídavě na různé fáze třífázové napájecí soustavy. [1][2]

1.3.3 Rozložení jasů

Jas je jedinou fotometrickou veličinou, na kterou lidský zrak reaguje bezprostředně. Jeho úroveň a prostorové rozložení souvisí s tím, jak v daném prostoru dobře vidíme a jak se cítíme. Při velké úrovni jasu dochází k oslnění a při nedostatečné úrovni jasu dochází k tomu, že zrakový úkol je špatně rozlišitelný. Nerovnoměrné rozložení jasu způsobuje v prostoru to, že lidský zrak se musí neustále adaptovat na různou úroveň jasu a tím dochází ke z horšení zrakového výkonu a zrakové pohody. Velké jasové přechody jsou žádoucí např. u scénického osvětlení, kde je nutné vytvořit dramatickou atmosféru, ale v prostorech, kde se lidé zdržují delší dobu, jako jsou pracovní prostory, je nutné zajistit dostatečnou úroveň osvětlení tak i jeho rozložení. [1]

Jelikož popis světelných podmínek pomocí jasu je poměrně komplikovaný, doporučuje norma [N1] hodnoty činitelů odrazů ρ hlavních ploch prostoru. Pro strop je doporučená hodnota činitel odrazu v rozsahu 0,7 až 0,9, pro stěny 0,5 až 0,8, pro podlahu 0,2 až 0,4 a pro hlavní předměty (nábytek, technologické vybavení apod.) 0,2 až 0,7.

Kromě těchto zmíněných činitelů odrazu norma uvádí minimální udržovanou osvětlenost stropu a stěn. Pro strop je udržovaná osvětlenost $\bar{E}_m \geq 30\ lx$ a pro stěny $\bar{E}_m \geq 50\ lx$, při rovnoměrnosti osvětlení $U_0 \geq 0{,}1$. Norma [N1] také doporučuje, aby v prostorech jako jsou školy, nemocnice, kanceláře apod. byla udržovaná osvětlenost stropu zvýšena na $\bar{E}_m \geq 50\ lx$ a pro stěny $\bar{E}_m \geq 70\ lx$.

1.3.4 Zábrana oslnění

Oslnění nastává tehdy, pokud sítnice je vystavená vyššímu jasu, než na který je právě oko adaptováno nebo pokud je jas tak velký, že překročí mez adaptibility zraku. Oslnění můžeme rozdělit na přímé a nepřímé. K přímému oslnění dochází tehdy, pokud se v zorném poli pozorovatele nachází zdroje světla, jako jsou okna, světelné zdroje a svítidla. K nepřímému oslnění dochází odrazem světla od materiálů s vysokým činitel odrazu (lesklé materiály).

Omezit oslnění lze např. cloněním svítidel, nepřímým osvětlením, speciálními optickými systémy, polarizací světla, antireflexní úpravou povrchů, přisvětlení ploch v

blízkosti světelných zdrojů apod. Nutné je ale podotknou, že veškerá opatření zamezující oslnění zvyšují energetickou náročnost světelné soustavy z důvodu snížení její účinnosti.

Hodnocení oslnění se v praxi provádí pomocí indexu oslnění UGR_L $(-)$. Norma [N1] udává požadované hodnoty indexu oslnění pro specifikované pracovní úkoly. V tabulce č. 2 jsou uvedeny některé příklady hodnot indexu oslnění. Jasy ploch, které se nacházejí v zorném poli pozorovatele, se měří bodovými jasoměry. Srovnávací rovina se volí ve výšce sedící osoby (120 cm) nebo stojící osoby (150 cm). [1]

Tabulka 2: Příklady indexu oslnění pro dané prostory a činnosti

Prostor, úkol, činnost	$\boldsymbol{UGR_L}(-)$
tabule ve školách	19
psaní, čtení, práce na PC	19
prodejní prostory	22
kuchyně	22
archivy	25
krytá nástupiště a chodby pro cestující	28

Index oslnění se často v praxi doplňuje minimálním úhlem cloněním. Tento úhel opět definuje norma [N1] u svítidel, kde světelný zdroj je přímo viditelný. Požadovaného úhlu clonění je dosáhnuto vhodným konstrukčním provedením svítidla. Minimální hodnoty úhlu clonění pro dané jasy světelných zdrojů jsou uvedeny v tabulce č.3. [1]

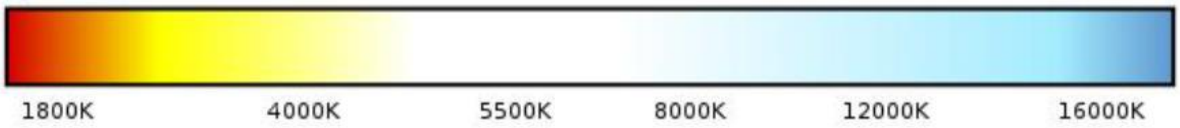
Tabulka 3: Minimální úhly clonění pro dané jasy světelných zdrojů

Jas světelného zdroje $(\boldsymbol{kcd \cdot m^{-2}})$	**Minimální úhel clonění** $\boldsymbol{\delta}$ **(°)**
$20 \leq L_z < 50$	15
$50 \leq L_z < 500$	20
$L_z \geq 500$	30

1.3.5 Barevné vlastnosti osvětlení

Teplota chromatičnosti T_c (K) neboli náhradní teplota chromatičnosti je důležitým parametrem umělého osvětlení, který popisuje barevný tón světla vyzařovaného světelnými zdroji. Pokud začneme zahřívat absolutně černé těleso, dojde k vyzařování tepelného záření, které s různou teplotou bude budit různý barevný vjem. Na základě toho se určí náhradní teplota chromatičnosti světelného zdroje, který budí podobný barevný vjem jako tepelné záření absolutně černého tělesa o příslušné teplotě. Podle Wienova posunovacího zákona s rostoucí termodynamickou teplotou se vlnová délka, na které se přenáší maximální energie, zkracuje. Z toho plyne, že zdroje s vysokou teplotou chromatičnosti budou vyzařovat světlo

s barevným tónem více do modra. Na obrázku č. 3 je orientačně znázorněn vztah mezi barvou světla a teplotou chromatičnosti. [4]



Obrázek 3: Teplota chromatičnosti a barva světla [22]

Index podání barev R_a $(-)$ charakterizuje, jak moc se shoduje vjem barev předmětů ve světle posuzovaného světelného zdroje v porovnání se standardizovaným světelným zdrojem. Rozmezí hodnot, kterých index R_a může nabývat je 0 až 100. Přičemž maximální hodnota je 100, tzn. že vjem barev ve světle obou porovnávaných zdrojů je shodný, z čehož plyne, že jsme schopni realisticky rozeznávat barvy. Naopak při hodnotě $R_a = 0$ nejsme schopni realisticky rozeznat žádné barvy. Nulový index podání barev má např. nízkotlaká sodíková výbojka, která je zdrojem téměř monochromatického záření. Proto je nutné volit takové světelné zdroje, které mají ve svém spektru zastoupeny co nejvíce složek viditelného záření. Příkladem takového světelného zdroje je klasická žárovka, která má spojité světelné spektrum a dosahuje indexu podání barev $R_a = 100$. Ve většině vnitřních prostorech, ve kterých se zdržují dlouhodobě lidé, se musí používat světelné zdroje s indexem podání barev $\mathrm{R_a} \geq 80$. V tabulce č. 4 jsou uvedeny světelné zdroje, které se používají ve vnitřních prostorech a k nim jsou uvedeny jejich barevné vlastnosti. [4]

Tabulka 4: Barevné vlastnosti vybraných světelných zdrojů, určených pro osvětlování vnitřních prostorů (převzato a upraveno z [1])

Světelný zdroj	**Index podání barev R_a $(-)$**	**Teplota chromatičnosti T_c (K)**
žárovka	100	2 700
halogenová žárovka	100	2 700 až 3 100
světelná dioda	70 až 100	2 600 až 8 000
kompaktní zářivka	80 až 90	2 700 až 6 500
lineární zářivka	60 až 98	2 700 až 8 000
indukční výbojka	80	2 700 až 4 000
halogenidová výbojka	60 až 98	3 000 až 5 900
rtuťová výbojka	40 až 60	3 200 až 4 200
vysokotlaká sodíková výbojka	25	2 000
vysokotlaká sodíková výbojka se zlepšeným podáním barev	80	2 500

1.3.6 Osvětlení prostoru

K hodnocení, zda prostor je dostatečně prosvětlen, se používá střední válcová osvětlenost $\bar{E}_z$ (lx). Tento parametr se vyhodnocuje u intenzivně využívaných veřejných a společenských prostorech, na které jsou kladeny nároky na vizuální komunikaci, přirozený vzhled osob a rozpoznávání předmětů. Střední hodnota válcové osvětlenosti je rovna střední hodnotě osvětlenosti pláště elementárního válečku, který je umístěn v uvažovaném bodě světelného pole. Udržovaná střední osvětlenost ve zmíněných prostorech musí dosahovat hodnoty $\bar{E}_z \geq 50\ lx$, a v prostorech s vysokými nároky (kanceláře, učebny, atd.) musí být $\bar{E}_z \geq 150\ lx$. V obou případech musí být dodržená rovnoměrnost osvětlení $U_0 \geq 0{,}1$. [1]

1.3.7 Směrové vlastnosti osvětlení

Směrové vlastnosti osvětlení napomáhají k tomu, aby se člověk lépe orientoval v prostoru, protože ovlivňují vjem tvarů objektů, struktury materiálů, vzhled osob a rysy jejich obličejů. Směrové vlastnosti osvětlení můžeme popsat *směrovostí a stínivostí* osvětlení. Směrovost lze popsat světelným vektorem, který popisuje převládající směr světelného záření v definovaném bodě světelného pole. Stínivost je možno charakterizovat činitelem podání tvaru, který je definovaný jako podíl velikosti světelného vektoru a střední kulové osvětlenosti.

Norma pro osvětlování vnitřních pracovních prostorů [N1] uvádí, že směrové vlastnosti osvětlení by neměly dosahovat svých krajních mezích, resp. osvětlení nemá být příliš rozptylné, a také nemá být moc směrové. Pro popis směrových vlastností norma [N1] uvádí poměr mezi válcovou a vodorovnou osvětleností. Aby bylo dosáhnuto dobrého podání tvaru, měl by se tento poměr pohybovat v rozmezí od 0,3 do 0,6. Pokud je hodnota tohoto poměru vyšší, je osvětlení více difuzního charakteru, pokud je tomu naopak je osvětlení více směrové. Jestliže v prostoru převažuje rozptylná složka, dochází k tomu, že trojrozměrné předměty nevytvářejí stíny a zhoršuje se orientace v prostoru. Naopak při velké směrovosti osvětlení vznikají příliš ostré stíny, což má za následek špatnou orientaci v prostoru nebo můžou vznikat závojové odrazy. K zamezení závojových odrazů se doporučuje, aby směr dopadajícího světla na pracovní plochu byl přes levé rameno pozorovatele. [5] [6]

1.4 Rozdělení osvětlovacích soustav

Pod pojmem osvětlovací soustava se rozumí soubor všech funkčních prostředků (např. světelných zdrojů, svítidel, napájecích zdrojů, ovládacích prvků apod.), které při správném prostorovém rozložení a součinnosti vytvoří v požadovaném prostoru vhodné světelné podmínky. Vhodně zvolená a navrhnutá soustava, by měla vytvořit takové světelné prostředí, ve kterém je dosáhnuto požadovaného zrakového výkonu, ale také zrakové pohody při adekvátní energetické náročnosti. Vnitřní prostory můžeme osvětlit přírodním nebo umělým světlem. Podle druhu světelného zdroje dělíme osvětlovací soustavy na *soustavy denního osvětlení a soustavy umělého osvětlení*. Pokud nastane situace, že požadovaných hodnot osvětlení nelze denním osvětlením dosáhnout, potom je v českých normách zavedeno tzv. *sdružené osvětlení* (požadovaných hodnot osvětlení se dosahuje kombinací denního a umělého osvětlení).

1.4.1 Denní osvětlení

Denní světlo, jehož zdrojem je slunce, má prospěšný vliv na zdraví člověka. Nejpozitivnější část slunečního záření, ovlivňující psychiku tak i biologické funkce člověka, se nachází v rozmezí vlnových délek 380 až 780 nm, tj. viditelné záření. Denní světlo má dynamický charakter, v průběhu dne se mění jeho barevné i směrové vlastnosti. K osvětlovaní interiérů se používají dvě složky slunečního světla, a to přímé sluneční světlo (směrové) a oblohové světlo (rozptylné). Denní osvětlení vnitřních prostorů budov se zajišťuje osvětlovacími otvory (okny, světlíky), které se dělí podle umístění v prostoru na systémy:

- bočního osvětlení,
- horního osvětlení,
- kombinovaného osvětlení.

Při hodnocení denního osvětlení se bere v úvahu pouze oblohová složka denního světla. Úroveň denního osvětlení se v interiérech hodnotí podle *činitele denní osvětlenosti* D (%), který je definován podle vztahu:

$$D = \frac{E}{E_h} \cdot 100 \qquad (\%) \tag{1.1}$$

kde:

E je osvětlenost v kontrolním bodě místnosti (lx)

E_h je osvětlenost venkovní nezastíněné horizontální roviny za stanovených podmínek (lx)

Norma ČSN 73 0580-1 Denní osvětlení budov – Část 1: Základní požadavky [N5], uvádí požadované hodnoty činitele denní osvětlenosti, které jsou stanoveny podle náročnosti zrakové činnosti. Tyto jednotlivé činnosti jsou rozděleny do sedmi tříd viz. tabulka č. 5.

Tabulka 5: Hodnoty činitelů denní osvětlenosti pro jednotlivé třídy zrakové činnosti [N5]

Třída zrakové činnosti	Charakteristika zrakové činnosti	Poměrná pozorovací vzdálenost	Příklady zrakové činnosti	Činitelé denní osvětlenosti	
				D_{min} (%)	D_m (%)
I	mimořádně přesná	3330 a větší	nejobtížnější kontrola	3,5	10
II	velmi přesná	1670 až 3330	velmi přesná čin. při výrobě	2,5	7
III	přesná	1000 až 1670	přesná výroba a kontrola,	2	6
IV	středně přesná	500 až 1000	čtení, psaní, obsluha strojů	1,5	5
V	hrubší	100 až 500	manipulace s materiálem	1	3
VI	velmi hrubá	menší než 100	udržovaní čistoty, sprchování a mytí	0,5	2
VII	celková orientace	———	chůze, celkový dohled	0,25	1

Pro vnitřní prostory s horním osvětlením a s kombinovaným osvětlení, u kterého převládá horní osvětlení, musí být splněny průměrné hodnoty činitele denního osvětlení D_m. Minimální hodnota D_{min} musí být splněná ve všech kontrolních bodech pro požadovanou zrakovou činnost. Pro prostory s trvalým pobytem osob, musí být minimální hodnota činitele denní osvětlenosti $D_{min} = 1{,}5$ %, a v případě, že je požadovaná průměrná hodnota, musí dosáhnou hodnoty $D_m = 3\%$. Rovnoměrnost osvětlení nemá být menší jak 0,2 pro prostory s bočním osvětlením spadajících do tříd I až IV dle tabulky č. 5, a pro třídu V musí být rovnoměrnost alespoň 0,15. Pro interiéry s horním osvětlením je docíleno požadované rovnoměrnosti osvětlení dosáhnutím požadovaných hodnot D_{min} a D_m. [1]

1.4.2 Umělé osvětlení

Význam umělého osvětlení se uplatňuje při nedostatku slunečního světla k dosažení požadovaných světelných podmínek. Soustavu umělého osvětlení můžeme rozdělit do několika skupin, a to podle charakteru a typu osvětlovací soustavy. Jedno ze základních

dělení osvětlovací soustavy, který vychází z fyziologických potřeb člověka je podle rozložení sledovaných světelně technických veličin v prostoru na:

- celkovou,
- odstupňovanou,
- kombinovanou.

Celková osvětlovací soustava se navrhuje na hodnotu udržované osvětlenosti, která je určena nejnáročnějším zrakovým úkolem v daném prostoru. Této udržované osvětlenosti musí být dosáhnuto v celém prostotu rovnoměrně, proto je tato osvětlovací soustava energeticky nejnáročnější. Celková osvětlovací soustava se zvolí tam, kde dopředu není známé prostorové rozložení nábytku a přístrojového vybavení interiéru (např. open office). *Odstupňovaná osvětlovací soustava* se zvolí v těch prostorech, kde je alespoň známo určité prostorové využití interiéru (např. jedna část prostoru je využívaná jako odpočinková a druhá jako pracovní, příkladem toho může být kombinace obývacího pokoje s kuchyní). U této osvětlovací soustavy se využívá tzv. zónování vnitřního prostoru. Každá zóna musí být popsána z pohledu zrakové činnosti a světelně technický parametrů. *Kombinovaná osvětlovací soustava* je kombinací celkové nebo odstupňované osvětlovací soustavy s místním osvětlením. Této soustavy se využívá v prostorech, kde se nachází na velké ploše relativně malé množství pracovišť, ve kterých lidé k dosažení požadovaného zrakového výkonu potřebují vysoké hodnoty osvětlenosti. Kombinovaná osvětlovací soustava je energeticky nejúspornější z uvedených soustav. [7]

Dalším důležitým dělením osvětlovacích soustav umělého osvětlení je podle prostorového rozložení světelného toku, které se dělí na:

- přímé,
- nepřímé,
- smíšené.

Přímá osvětlovací soustava veškerý světelný tok vyzařuje do dolního poloprostoru, proto z hlediska dosažení kvantitativních parametrů je tato soustava energeticky nejúčinnější. Strop je osvětlen pouze odraženou složkou světla od podlahy. U prostorů s malou výškou a poměrně velkou rozlohou může tato odražena složka způsobit změnu barevného odstínu stropu. *Nepřímá osvětlovací soustava* vyzařuje veškerý světelný tok naopak do horního poloprostoru. Strop a horní část stěn zde působí jako sekundární zdroje světla, které odrážejí světlo do dolního poloprostoru. Z toho plyne, že tato soustava je

z hlediska energetického nejvíce náročná. *Smíšená osvětlovací soustava* je kombinací předešlých soustav. Poměrem přímé a nepřímé složky osvětlení se potom určí charakter osvětlovací soustavy. U převažující přímé složky klademe důraz na modelaci objektů a osvětlení horizontální roviny. Naopak při převažující nepřímé složky se vytvoří prostor, který je prosvětlený, klidný a nemá tak ostré stíny. [1] [7]

Poslední rozdělení osvětlovací soustavy je podle napájecího proudu a provozního charakteru. Podle tohoto rozdělení se soustava dělí na soustavu *normálního* a *nouzové osvětlení*. Účel normální osvětlení je vytvořit světelné prostředí pro běžné používání prostoru při bezporuchovém stavu napájecí soustavy. Naopak nouzové osvětlení slouží při výpadku elektrické energie a je napájeno z nezávislého zdroje proudu. [1]

1.4.3 Sdružené osvětlení

O sdruženém osvětlení mluvíme tehdy, pokud vnitřní prostor budovy nebo jeho funkčně vymezená část je osvětlovaná denním a zároveň doplňujícím umělým osvětlením. K tomuto způsobu osvětlení se přistupuje ve vážných odůvodněných případech, kdy denní složka osvětlení nestačí svou úrovní nebo prostorovým rozložením světelného toku, aby vytvořila v daném prostoru příznivé podmínky vidění pro specifikované zrakové činnosti. Příkladem použití sdruženého osvětlení jsou např. starší budovy, které byly konstruovány v době, kdy nebyly ještě známi příznivé účinky denního světla na lidský organismus, a proto nebyl kladen tak velký důraz při návrhu osvětlovacích otvorů budovy. V případě, že se během dne ve vnitřních prostorech používá umělé osvětlení bez ohledu na vliv denního osvětlení, nelze toto osvětlení považovat za sdružené osvětlení. [8]

Norma pro denní osvětlování budov [N5] udává pro jednotlivé třídy zrakové činnosti minimální a průměrné hodny činitelů denní osvětlenosti, kterých musí být dosáhnuto u sdruženého osvětlení, viz. tabulka č. 6. Minimální hodnoty činitele denní osvětlenosti D_{min} musí být dosáhnuto v případě bočního osvětlení. Při horním osvětlení a při kombinovaném osvětlení, u kterého převažuje horní osvětlení je požadována průměrná hodnota činitele denní osvětlenosti D_m. Průměrná hodnota $D_m = 1\ \%$ musí být splněna ve všech prostorech (bočním, horním i kombinovaným osvětlením), ve kterých se dlouhodobě zdržují lidé.

Tabulka 6: Minimální a průměrné hodnoty činitele denního osvětlení sdruženého osvětlení [N5]

Třída zrakové činnosti	**Hodnoty činitele denní osvětlenosti D (%)**	
	D_{min}	D_m
I,II	1,0	2,5
III	0,7	2,0
IV	0,5	1,5
V až VII	0,5	1,0

Norma ČSN EN 12464-1 udává požadovanou úroveň osvětlení vytvořenou doplňujícím umělým osvětlením pro jednotlivé zrakové činnosti. Pro zrakové činnosti, které patří do skupiny, pro které je předepsaná udržovaná osvětlenost $\bar{E}_m$ v rozmezí 200 až 500 lx, se musí požadovaná osvětlenost zvýšit o jeden stupeň běžné řady osvětlenosti. V praxi to má za následek, že například pro běžné činnosti jako je čtení, psaní nebo práce na počítači v administrativních budovách, pro které je minimální požadovaná osvětlenost $\bar{E}_m = 500\ lx$, se osvětlenost zvýší na hodnotu $\bar{E}_m = 750\ lx$. Takové zvyšování osvětlenosti vede k vyšším energetickým nákladům.

Pro prostory s bočními osvětlovacími otvory, je rovnoměrnost sdruženého osvětlení stanovena na hodnotu 0,2. Pro prostory s horními osvětlovacími otvory se rovnoměrnost osvětlení posuzuje podle normy ČSN EN 12464-1 [N1]. Rovnoměrnost se hodnotí jako poměr mezi minimální a maximální hodnotou osvětlenosti v síti kontrolních bodů na srovnávací rovině při venkovní hladině osvětlenosti $20\,000\ lx$ nezacloněné vodorovné roviny. [1]

1.5 Osvětlení rodinných domů a bytů

V interiérech by osvětlení mělo splňovat konkrétní hygienické normy, ale u rodinných domů a bytů jde pouze doporučení hygienika. Na svítidla pro obytné prostory se kladou dva základní požadavky: funkčnost a design. Přičemž vzhled svítidla by neměl být nikdy nadřazen nad jeho funkčností. Osvětlovací soustavy vnitřních prostorů bytů by měly uživatelům umožňovat nastavit vhodné světelné podmínky pro různé aktivní ale i pasivní činnosti. Při navrhování umělého osvětlení obytných prostorů lze vycházet ze dvou norem. První z norem je ČSN 73 4301 Změna Z1 Obytné budovy, která udává požadavky na osvětlenost v jednotlivých částech bytu. Tabulka č.7 udává nejnižší požadované hodnoty $\bar{E}_m, UGR_L$ *a* R_a pro bytové prostory dané touto normou. Druhou normou, ze které lze vycházet je norma ČSN EN 12464 – 1 Světlo a osvětlování - část 1: Vnitřní pracovní prostory, protože se v bytě nachází pracovní prostory jako je kuchyň, dílna, kancelář atd. V ostatních částech bytů je preferovaná zraková pohoda tzn. kromě toho, že dobře vidíme, tak se také musíme dobře psychicky cítit.

Tabulka 7: Nejnižší požadované hodnoty $\bar{E}_m, UGR_L$ a R_a normou ČSN 73 4301 Změna Z1 Obytné budovy

Prostor	Udržovaná osvětlenost $\bar{E}_m\ (lx)$	Index oslnění $UGR_L\ (-)$	Index podání barev $R_a\ (-)$	Výška vodorovné srovnávací roviny nad podlahou $h(m)$
Domovní dvory, atria	10	-	-	0
Domovní méně frekventované komunikace	20	25	60	0
Vnitřní části domovních vstupů, vstupy do výtahů u objektů s malou frekvencí	30	25	60	0
Na místě se jménem uživatele bytu, na zvonkovém tablu a na vstupu do bytu	30	-	-	-
Celkové osvětlení obytné místnosti (které se ještě doplňuje místním osvětlením)	50	22	80	0,85
Komunikace v bytě	75	22	80	0
Obytné kuchyně, šatny, spíže	100	22	80	0,85
Sušárny, úschovny kočáru a kol	100	28	60	0,85
Domovní, frekventované komunikace včetně vnitřních částí a vstupů a vstupy do výtahu - zvýšený pohyb v objektu nebydlících osob	100	25	60	0
Domovní prádelny	150	25	80	0,85
Koupelny, WC	200	22	80	0,85
Domácí dílny, místnost pro domácí práce, mandl	300	22	80	0,85
Kuchyňská pracovní linka, varná deska sporáku	300	22	90	-

1.5.1 Obývací pokoj

Obývací pokoj je místností odpočinku, společenských událostí, ale také drobných ručních prací. Je tedy nutné vytvořit minimálně tři různé hladiny osvětlení podle momentální potřeby vidění. K tomuto účelu poslouží více typů svítidel, které dokáží vytvořit požadované světelné atmosféry. Pro centrální osvětlení lze ideálně použít přisazená svítidla, která dokáží vytvořit požadovanou osvětlenost 50 až $200\ lx$ s možností regulace. Pokud to dovolí světelná výška stropu (alespoň 3 metry), lze použít i závěsná svítidla. Mělo by se dbát na to, aby svítidla nebyla příliš směrová, ale aby také obsahovaly nepřímou složku. Při dostatečně osvětleném strop vzniká difuzní (odražené) světlo, které přispívá k rovnoměrnosti osvětlení, k zjemnění stínů, k větší prosvětlenosti prostoru, snižuje kontrast mezi stropem a podlahou, tím se prostor opticky z větší.

Pro zrakově náročnějších činností jako je čtení, šití nebo žehlení se zajišťuje dostatečné osvětlení místním osvětlením. K tomuto účelu se používají nástěnná, stojanová nebo stolní svítidla, která zajistí dostatečnou hladinu osvětlení podle zrakové činnosti. Mělo by se také myslet na to, aby při sledování televize nevznikal velký kontrast mezi televizí a jejím pozadím, který vede k únavě zraku. Velkému rozdílu kontrastu se zabrání svítidlem malého příkonu, který osvětlí zeď za obrazovkou. Svítidlo se nesmí nacházet v zorném poli pozorovatele. Pokud se v obývací pokoji nachází např. starožitnosti, obrazy, květiny nebo knihovna, lze použít směrového svítidla k osvětlení těchto předmětů. Vznikne tzv. akcentové osvětlení, které může přispět ke zpříjemnění prostoru. [9][10]

1.5.2 Kuchyň

Kuchyň je hlavně pracovní prostor, proto je nutné dbát na dostatečné osvětlení prostoru, aby nedošlo k úrazu. Zrakově nejnáročnější část kuchyně je kuchyňská pracovní deska včetně dřezu. Požadovaná hladina osvětlení na této pracovní ploše je $500\ lx$. Této hodnoty osvětlenosti se dosáhne kombinací centrálního svítidla, které by mělo vytvořit hladinu osvětlenosti v rozmezí 100 až $300\ lx$, a místního osvětlení umístěného pod horní řadou kuchyňské linky. Pro místní osvětlení je nejlépe použít lineárních zdrojů světla, aby se zamezilo vytvoření nežádoucích stínů na pracovní ploše, které by vznikly pří použití většího počtu menších zdrojů světla. Důležitými parametry svítidel použitých v kuchyni je jejich teplota chromatičnosti T_c a index podání barev R_a. Odstín světla by měl být spíše teplejších

tónů, aby potraviny nepůsobily nepřirozeně. Z toho samého důvodu by měl být index podání barev co nejvyšší. [10]

Součástí většiny kuchyní je jídelní stůl. Osvětlení jídelního stolu by mělo mít převážně přímý charakter, aby se dosáhlo zvýraznění talířů s pokrmy, sklenic, příborů atd. Důležité je, aby svítidlo neoslňovalo osoby sedící u stolu. Je vhodné použít závěsná svítidla, ale délka jejich zavěšení, by měla být taková, aby nezakrývala obličeje sedících osob. Svítidla použitá k osvětlení jídelního stolu by měla vytvořit hladinu osvětlení kolem $300\ lx$. [3]

1.5.3 Pracovna, dílna

Pracovna nebo dílna je místnost nebo funkčně vymezený prostor v bytě, ve kterém se většinou vykonávají náročnější zrakové činnosti. Požadované hladiny osvětlení těchto prostorů vychází z normy ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlování – Část 1: Vnitřní pracovní prostory. Hladina osvětlenosti pro danou zrakovou činnost vykonávanou v pracovně se volí na základě podobnosti zrakových činností, která definuje norma pro vnitřní pracovní prostory. Např. pro pracovnu kancelářského charakteru, kde se vykonávají zrakové činnosti jako čtení, psaní a práce na počítači se volí hladina osvětlenosti pracovního stolu $500\ lx$ o odpovídající rovnoměrnosti. Také by se nemělo zapomínat na dostatečné osvětlení okolo pracovního stolu, aby nedošlo k velkým jasovým rozdílům. [10]

1.5.4 Ložnice

Tato místnost slouží hlavně k odpočinku. Osvětlení by mělo být o nízké intenzitě zajištěné nepřímou osvětlovací soustavou, aby nevznikaly ostré stíny, které by rušily zrakovou pohodu uživatelů prostorů. Centrální osvětlení by mělo vytvořit osvětlení o intenzitě 50 až 100 lx pro základní orientaci. Místním svítidlem, většinou umístěného k čelu lůžka, se zvýší intenzita osvětlení pro čtení na lůžku (200 až 300 lx). Toto svítidlo by mělo být směrové, aby nerušilo partnera. Pokud je součástí ložnice šatník se zrcadlem, je nutné osvětlení směrované do skříní (světlomety, lištovým systémem apod.). Zrcadlo je také vhodné přisvětlit, nejlépe po stranách. [9]

1.5.5 Koupelna

Koupelny jsou často bezokenními prostory nebo mají jen velmi malá okna, kterými nelze zajistit dostatečné osvětlení prostoru. Je tedy nutné zajistit dostatečnou hladinu

osvětlení umělým osvětlením bez ohledu na denní dobu. Pro celkové osvětlení se používají stropní svítidla, který mají zajistit osvětlenost 50 až $200\ lx$. Jelikož v těchto prostorech je vyšší riziko úrazu elektrickým proudem, musí použitá svítidla splňovat vyšší krytí IP54 (proti stříkající vodě). Velmi důležité je správné osvětlení zrcadla. Svítidla umístěná ze všech stran zajistí nejlepší osvětlení zrcadla. Alternativou je použít svítidla alespoň z boků zrcadla. Pro rovnoměrné osvětlení a zabránění oslnění, jsou nejvhodnější svítidla s opálovým krytem. Osvětlenost zrcadla by měla být přibližně $300\ lx$.

1.5.6 Vstupní hala

Celkové osvětlení by mělo zajistit základní orientaci v prostoru a osvětlenost 50 až $200\ lx$. Centrální svítidlo lze umístit na strop, nebo použít více menších svítidel rovnoměrně lemujících stěny. Pro lepší adaptaci zraku z přechodu z vnějšího do vnitřního prostoru nebo naopak je vhodné použít regulaci intenzity osvětlení. V nočních hodinách by měl být prostor osvětlen nižšími hladinami osvětlenosti, naopak ve dne, pokud je prostor bezokenní, jsou vhodné vyšší hladiny osvětlenosti.

1.5.7 Schodiště, chodba

Pro bezpečnou chůzi po schodišti, je nutné zajistit rovnoměrné osvětlení. Osvětlení by mělo být směrové, kvůli zvýraznění tvaru schodiště. Svítidla lze umístit na stěnu podél ramene schodiště v takovém počtu, aby bylo dosáhnuto požadované rovnoměrnosti osvětlení. Další možností je osvětlení schodiště pomocí LED pasů umístěných do podschodnic. Osvětlenost schodiště a chodby by měla být alespoň $50\ až\ 100\ lx$. V tabulce č. 8 jsou shrnuté výše popsané požadavky na osvětlení rodinných domů a bytů.

Tabulka 8: Shrnuté požadavky osvětlení v bytě [9]

Prostor	Osvětlenost $E\ (lx)$	Poznámka
předsíň, vstupní hala	50 až 200	osvětlení u zrcadla
schodiště, chodby	50 až 100	směrové osvětlení k zvýraznění tvaru schodiště
obývací pokoj	50 až 200	s možností regulace
jídelna	100 až 200	jídelní stůl 300 lx
kuchyně	100 až 300	pracovní deska 500 lx
pracovna, dílna	300 až 2000	podle náročnosti, místní osvětlení
dětský pokoj	50 až 200	500 lx na pracovním stole
ložnice	20 až 100	s možností regulace, u lůžek 200 až 300 lx
šatna	100 až 200	osvětlení skříní u zrcadla
koupelna, WC	50 až 200	osvětlení u zrcadla

1.6 Počítačové programy k numerickým výpočtům osvětlení

Mezi základní požadavky, které kladou projektanti osvětlovacích soustav na výpočtové programy osvětlení, je intuitivní grafické rozhraní (Graphical User Interface – GUI). To je důležité k nejsnadnějšímu pochopení základních uživatelských funkcí. Další nezbytný požadavek je, aby program obsahoval databázi svítidel výrobců, která je neustále aktualizována. Také je vítána možnost vlastního nastavení parametrů svítidel. Software musí být schopný vypočítat minimálně základní světelně technické veličiny (osvětlenost, jas, index oslnění apod.) s přesností alespoň 10 %. Samozřejmostí by mělo být také grafické znázornění výsledků. Velice užitečné je pokud jsou v programu zahrnuty národní a mezinárodní normy. Vypočítané hodnoty světelně technických veličin tak můžeme porovnat s odpovídajícími normami. Programy by měly také umožňovat vytváření trojrozměrných (3D) scén, proto abychom získali co nejvíce realistickou představu o nově navržené světelné soustavě. [15]

V současné době existuje mnoho počítačových programů, které dokáží modelovat světelné soustavy s vysokou přesností. Některé z nich jsou zcela zdarma a jiné jsou placené. V naší praxi se setkáme nejčastěji s těmito třemi programy: DIALux, Relux a BuildingDesign.

1.6.1 DIALux

DIALux patří asi k nejrozšířeněji používaným programům pro návrh a výpočet osvětlení. Jeho vývoj započal již v roce 1994 německou společností DIAL se sídlem v Lüdenscheid (Německo). Je dostupný zcela zdarma v 25 jazycích. Tento software má obrovskou uživatelskou základnu a to motivuje výrobce svítidel, aby byl zde uveden jejich katalog svítidel, za což výrobci svítidel platí. Proto je tento program zcela zdarma a poskytuje obrovskou databázi katalogů jednotlivých výrobců svítidel. Pomocí tohoto softwaru lze navrhovat, počítat a vizualizovat (2D a 3D scény) osvětlení vnitřních a venkovních prostorů, od samostatných místností, přes celé budovy až k osvětlovaní silnic či parkovišť. V DIALuxu je také možnost simulace denního osvětlení.

Pro nalezení vhodných svítidel do projektu existuje několik možností. První možností jsou katalogy výrobců. Tyto katalogy jsou dostupné buď online, nebo je lze stáhnout jako plug-in. Další možností, která je efektivnější a jednoduší, než předchozí možnost je použití

online vyhledávače svítidel LUMsearch (dostupný na: www.lumsearch.com). Tento vyhledávač na základě hledaných parametrů svítidel (např. typ montáže, nastavitelnost, příkon, světelný tok, chromatičnost apod.) vybírá z více jak 500 000 produktů od 175 renomovaných výrobců svítidel. Svítidla lze také načíst do programu z LDT a IES souborů přímo do seznamu používaných svítidel. Program také podporuje import z DWG i DXF souborů, a díky tomu je jednoduší vytvářet realistické modely. Tento software podporuje následující standarty pro vnitřní, venkovní a silniční osvětlení:

- Vnitřní osvětlení - EN12464 - 1 (2011),
- Venkovní osvětlení - EN12464 - 2 (2013),
- Silniční osvětlení - EN1320 - 2, - 3 (2016), ROVL 2011 [16]

1.6.2 Relux

Relux je vytvořený švýcarskou firmou RELUX Informatik AG. Tento software má stejný licenční model jako DIALux. Výrobci svítidel platí za to, aby jejich katalogy svítidel byly uvedeny v databázi Reluxu, proto je také tento software pro uživatele zdarma. Relux má také velice podobné uživatelské prostředí, které je velice intuitivní jako u DIALuxu. Také možnosti vytváření projektů jsou velice podobné. Jsou zde možnosti simulovat umělé osvětlení i denní osvětlení vnitřních a venkovních prostorů. Relux lze stáhnout jako programový balíček ReluxDesktop, který obsahuje programy ReluxCAD for Autocad®, ReluxEnergyCH, ReluxTunnel. Způsoby vkládání svítidel do projektu jsou stejné jako u DIALuxu s tím rozdílem že Relux má vlastní online vyhledávač svítidel ReluxNet (dostupný na: https://reluxnet.relux.com). Kromě svítidel lze do projektu přidávat i senzory. To je velice užitečné při návrhu aplikací pro automatizaci osvětlení. Tím se může optimalizovat rozmístění jednotlivých senzorů ve 2D i ve 3D. Tento software podporuje následující standarty pro vnitřní, venkovní a silniční osvětlení:

- Vnitřní osvětlení - EN12464 - 1 (2013), EN1838 (2014)
- Venkovní osvětlení - EN12464 - 2 (2013), EN 12193 (2008),
- Silniční osvětlení - EN13201- 2, - 3 (2016) [17]

1.6.3 BuildingDesign

Jedná se o český program od firmy ASTRA MS Software s.r.o. BuldingDesign obsahuje moduly Wils, Wdls, SunLiS a EN 17037, které lze použít pro návrh a výpočet denního, umělého a sdruženého osvětlení a proslunění podle platných norem. Používání všech modulů kromě Wils je placené. Wils je software pro navrhování umělého osvětlení ve vnitřních a venkovních prostorech. Nejnovější verzí tohoto softwaru je Wils 7.0, která

obsahuje pouze základní databázi svítidel. Za rozšířenou databázi svítidel je nutné zaplatit. Na rozdíl od výše uvedených programů DIALux a Relux má omezené možnosti v modelování světelných scén. Wils neobsahuje katalogy vnitřních nebo venkovních objektů a jednotlivé objekty jsou definovány jako překážky v prostoru. Výsledný model je potom vizuálně méně realistický. Výpočty odpovídají požadavkům norem EN 12464-1, EN 12464-2, EN 1838 a EN 13201. [18]

1.6.4 Další programy

AGi32 - tento software je velice podobný programu jako je DIALux a Relux. Slouží pro numerické výpočty a renderování jakýkoliv světelných scén. Licence tohoto programu je placená[19].

CalcuLux – tento program byl vyvinutý v aplikačním světelném středisku společnosti Philips. Calculux se skládá ze dvou aplikací, které se nazývají Area a Road. Pomocí CalcuLux Area lze provádět výpočty pravoúhlých prostorů na libovolné rovině. S CalcuLux Road lze počítat a porovnávat různé světelné návrhy současně. Používání tohoto softwaru je bezplatné. [19]

Autodesk Revit – Je to BIM software (Building Information Modeling software), který lze použít pro architektonický, strukturální, mechanický, elektrický a vodoinstalační návrh. Licence programu je placená. Tento program se dodává s rozšířením nazývaným Lighting Analysis for Revit, které je řízeno cloudovou renderovací službou v Autodesku 360. Toto rozšíření nabízí následující funkce:

- Simuluje umělé a denní osvětlení
- Výsledky simulace jsou zobrazeny přímo ve 3D modelu
- Automatická analýza denního světla pro normu LEED IEQc8.1. [20]

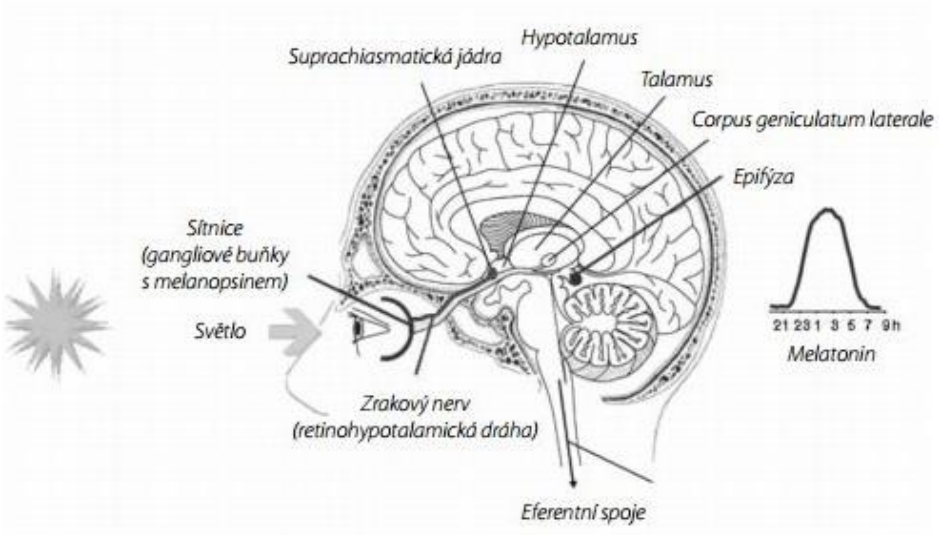
Radiance - Jedná se o bezplatnou sadu programu s otevřeným zdrojovým kódem pro analýzu a vizualizace návrhu osvětlení. Jeho vstupní soubory specifikují geometrii scény, materiály, svítidla, čas, datum a druh oblohy (pro výpočty denního světla). Vypočítané hodnoty zahrnují jas, osvětlenost a indexy oslnění. Výsledky simulace mohou být zobrazeny jako barevné obrázky, číselné hodnoty a povrchové grafy. [19]

2 Vliv denního a umělého osvětlení na biorytmy člověka

Za poslední desetiletí se světelná technika rozvinula v poměrně specifický obor, který nutí projektanta osvětlení, aby rozuměl alespoň z části více oborům. Dobrá znalost technických prostředků pro osvětlování (světelné zdroje, svítidla, napájení atd.) nestačí, ale je nutné sledovat i nové poznatky ostatních vědeckých oborů. Příkladem toho může být chronobiologie, která se zabývá biologickými rytmy v živých organizmech, které jsou z velké části řízeny světlem. V této vědní disciplíně byly posledních let realizovány výzkumy, které nutí projektanta osvětlení, aby je bral v potaz při navrhování nových osvětlovacích soustav.

2.1 Biologické hodiny v mozku

Místo v mozku v části hypotalamu, kde se kříží optické nervy, se nazývá optické chiasma. V této oblasti leží velmi malé shluky nervových buněk, které řídí biologické rytmy celého organismu. Tyto malé shluky nervových buněk se jmenují suprachiasmatická jádra (SCN) a to jsou naše biologické hodiny. Světlo na tyto biologické hodiny působí nepřímo přes sítnici oka. V sítnici oka, kromě dobře známých fotoreceptorů tyčinek a čípků zprostředkovávající vizuální informace o vnějším prostoru, se nacházejí fotoreceptivní gangliové buňky s melanopsinem (druh fotopigmentu, který je citlivý na krátké vlnové délky světelného spektra v oblasti modré), které se také nazývají cirkadiánní čidla. Na základě dopadajícího světla na tyto cirkadiánní čidla jsou zprostředkovávány informace o aktuální denní době přes zrakový nerv přímo k biologickým hodinám v mozku. Důležitou úlohou biologických hodin je tvoření hormonu melatoninu přes epifýzu (šišinka), který koordinuje většinu biologických dějů v těle. Melatoninu se také říká „noční hormon‘‘, protože se tvoří v době, kdy intenzita osvětlení je velmi nízká, tedy v noci. Tvorba melatoninu často koresponduje s naším spánkem a přispívá k lepší regeneraci našeho těla. Proto je důležité vyhýbat se velkým intenzitám osvětlení před tím, než jdeme spát. Naopak při velké intenzitě osvětlení produkce hormonu melatoninu klesá a z nadledvinek se začne produkovat stresový hormon kortizol, který člověka připravuje na fyzicky a psychicky náročné činnosti během dne. Obrázek č. 4 znázorňuje zjednodušenou neuroanatomii cirkadiánního sytému.[11]



Obrázek 4: Zjednodušená neuroanatomie cirkadiánního systému [23]

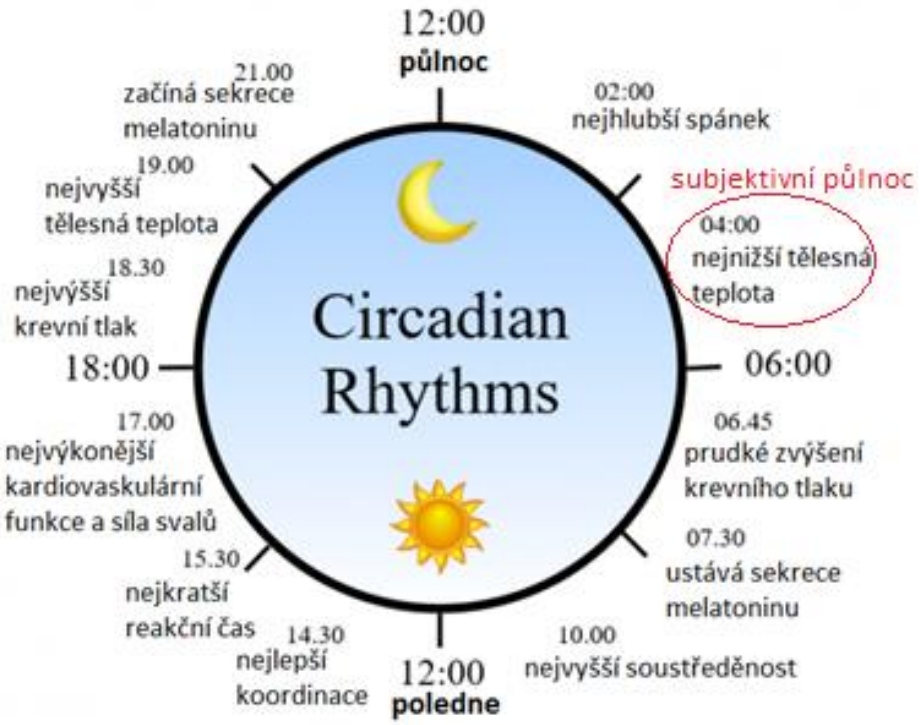
2.2 Cirkadiánní rytmy

Slovo cirkadiánní pochází z latinských slov circa (zhruba) a diem (den). Tyto cirkadiánní rytmy mají tedy periodu τ okolo 24 hodin (23,3 až 25,0 hodin), kdy střídají svou aktivní a neaktivní fázi. Asi 90 % lidí má periodu τ delší jak 24 hodin. K synchronizaci cirkadiánních rytmů s dvacetičtyřhodinovým dnem dochází vlivem střídání dne a noci, tj. střídáním světla a tmy. Světlo z večera a v první polovině subjektivní noci (část noci před naší biologickou půlnocí, tj. kdy člověk má nejnižší tělesnou teplotu, cca. kolem třetí hodiny ranní) zpožďuje cirkadiánní rytmy. Naopak světlo v druhé polovině subjektivní noci a v ranních hodinách způsobuje předbíhání cirkadiánních rytmů. V našem těle během dne probíhá několik biologických rytmů. Hlavní rytmy, které člověk vykazuje jsou:

- ve spánku a bdění,
- v tělesné teplotě,
- v tvorbě hormonů (především tvorby melatoninu v epifýze nebo kortizolu v nadledvinkách),
- v psychické a fyzické výkonosti,
- v příjmu pití a potravy,
- v metabolismu,
- ve složení tekutin,
- v zapínaní a vypínaní genů. [11]

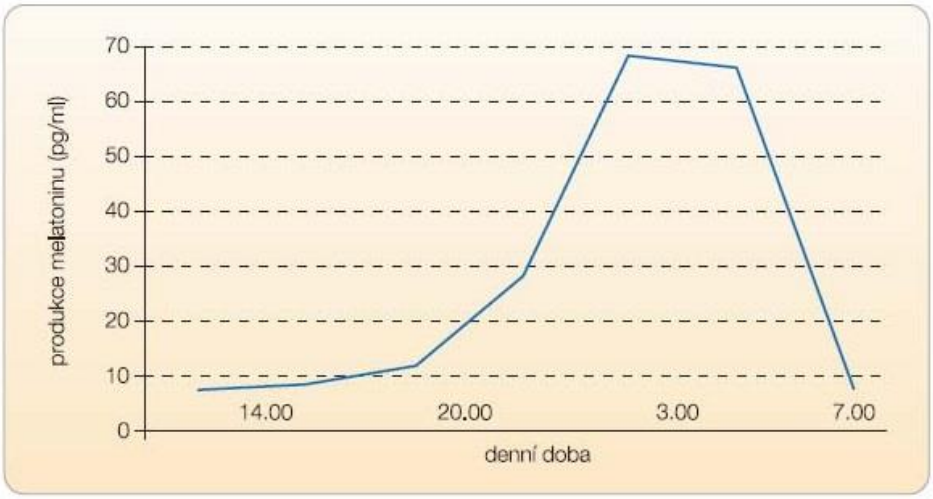
Obrázek č. 5 znázorňuje projevy některých cirkadiánních rytmů v závislosti na denní době. Vidíme, že nejnižší tělesné teploty je zde dosaženo ve 4 hodiny ráno, což je z hlediska fyziologie člověka jeho subjektivní půlnoc. Začátek sekrece melatoninu zde začíná v devět

hodin večer, ale samozřejmě je to závislé na světelném prostředí, ve kterém se člověk nachází, a jeho vnitřní periodě τ cirkadiánních rytmů.



Obrázek 5: Projevy cirkadiánních rytmů v závislosti na denní době (převzato a upraveno z [30]).

Jak již bylo zmíněno, nejdůležitějším faktorem, který ovlivňuje biologické rytmy v těle je produkce melatoninu. Na obrázku č. 6 je znázorněn průběh tvoření melatoninu u člověka v průběhu celého dne. Melatonin se začíná tvořit před osmou hodinou večerní, ale největší nárůst melatoninu začíná kolem deváté hodiny večer a svého maxima dosahuje okolo třetí hodiny ráno, kdy člověk zažívá svoji subjektivní půlnoc, a také jeho tělesná teplota je na svém minimum. Po třetí hodině ranní melatonin prudce klesá a tělo se připravuje na aktivitu následujícího dne. Pro správný odpočinek a regeneraci těla během noci, by tento přirozený proces tvorby melatoninu neměl být ničím narušený. Jedná se zejména o intenzivní osvětlení s velkým obsahem modrého světla, které produkci melatoninu ve večerních hodinách zpožďuje, a tím zpožďuje noční biologické procesy, které jsou důležité k regeneraci našeho těla během spánku.



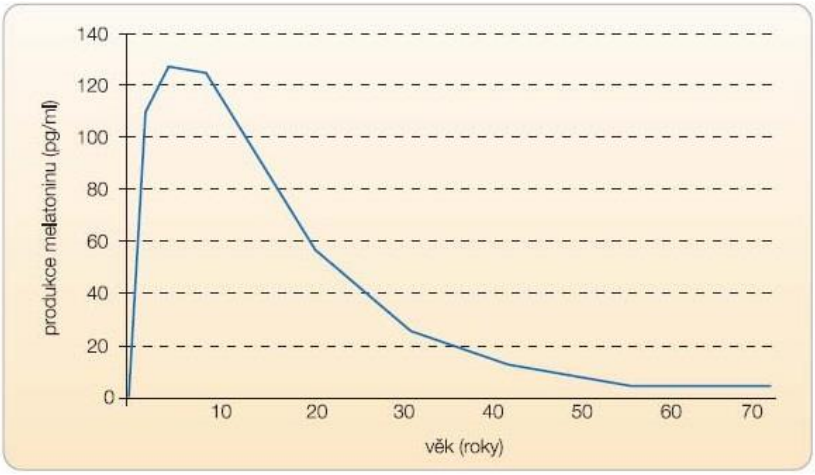
Obrázek 6: Tvorba melatoninu u člověka v průběhu dne [23]

Kromě „nočního‘‘ hormonu melatoninu a hormonu kortizolu, který je produkován v ranních hodinách a připravuje tělo na denní režim, je důležitý ještě jeden hormon, a to hormon serotonin. Serotoninu se také říká „hormon štěstí‘‘, protože zlepšuje naší náladu a kognitivní funkce. Produkce serotoninu je závislá na intenzitě osvětlení. Čím je intenzita osvětlení větší, tím je hladina serotoninu v mozku větší. Můžeme říci, že serotonin je protějškem melatoninu, který se tvoří při velmi malých intenzitách osvětlení. Tento kontrast mezi světlem a tmou je důležitým signálem pro naše biologické hodiny v našem mozku.

2.2.1 Narušení cirkadiánních rytmů

Důvodů narušení nebo desynchronizace časového systému cirkadiánních rytmů může být hned několik. Jedním možným důvodem je práce na směnný provoz nebo nepravidelný denní režim. Lidé, kteří nechodí spát a nevstávají ve stejnou denní dobu, mají většinou nepravidelný světelný režim. Výsledkem je, že tito lidé nejsou synchronizováni s vnějším prostředím. Například to může znamenat, že přes den jsou ve fázi subjektivní noci a následkem toho je snížená psychická a fyzická aktivita během dne. Výrazný dopad na sníženou produkci melatoninu má stárnutí. S přibývajícím věkem člověka, klesá produkce melatoninu, viz. obrázek č. 7. Vlivem snížené produkce melatoninu způsobené stárnutím jsou časté poruchy v cirkadiánních rytmech, zejména ve spánku. Dalším nepříznivým vlivem na cirkadiánní rytmy jsou zimní měsíce s nedostatkem denního světla. Ideální stav je, když člověk vstává s východem slunce a chodí spát se západem sluncem. Tohoto stavu ale nelze dosáhnout v zimních měsících, kdy délka denního světla se pohybuje kolem 9 hodin či méně. Člověk tedy vstává do tmy a většinou se z práce vrací, když už se opět stmívá. Tento nedostatek denního světla ovlivňuje pracovní výkon, náladu nebo soustředěnost. Může to

vyústit až ke vzniku tzv. sezónní depresi (SAD – Seasonal Affective Disorder). Jako náhrada denního světla v zimních měsících lze použít intenzivní umělé osvětlení, které by mělo být v ranních hodinách studenějších barevných tónů a večer spíše teplejších barevných tónů pro lepší stimulaci cirkadiánních rytmů. Další vlivy na narušení cirkadiánních rytmů, jsou například časté přelety přes časová pásma (tzv. jet lag). [11][13]



Obrázek 7: Produkce melatoninu u člověka v závislosti na věku [25]

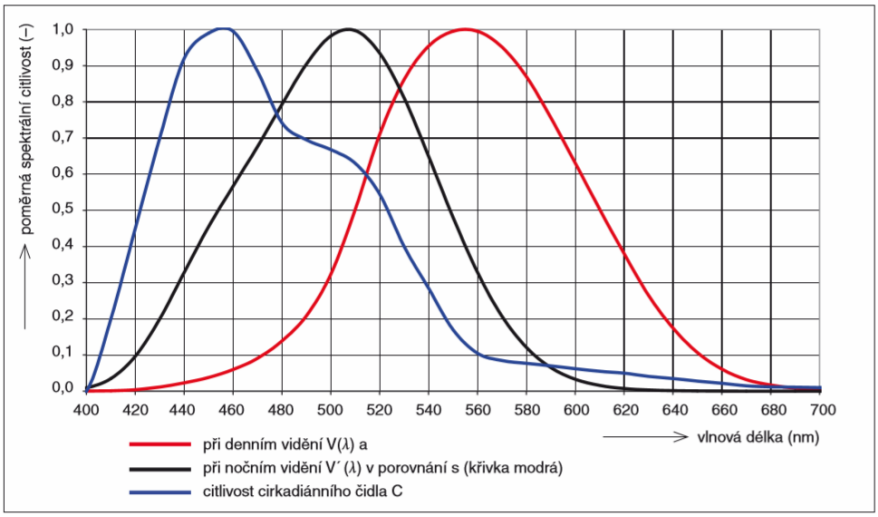
Důsledků narušení cirkadiánního systémů může být velice mnoho, od slabé psychické únavy přes vážná onemocnění ohrožující člověka na životě. Mezi hlavní negativní důsledky patří:

- zvýšené riziko metabolických, nádorových a kardiovaskulárních onemocnění,
- spánkových poruch (ASPS, DSPS),
- psychických poruch (SAD, deprese),
- a oslabení imunitního systému.

2.3 Vliv spektrálních vlastností světla na biorytmy

Každý druh fotoreceptoru, nacházející se v sítnice oka, je citlivý na jiné vlnové délky viditelného spektra. Citlivost fotoreceptorů oka se obvykle udává v poměrných hodnotách vztažených k maximální absolutní hodnotě citlivosti. Na obrázku č. 8 jsou znázorněny průběhy poměrné spektrální citlivosti jednotlivých druhů fotoreceptorů. Červená křivka $V(\lambda)$ znázorňuje průběh citlivosti čípků, který se uplatňují při denním (fotopickém) vidění. Maximální citlivost čípků se pohybuje okolo $555\,nm$. Černá křivka $V'(\lambda)$ pro noční (skotopické) vidění, má vrchol svého maxima přibližně okolo $507\,nm$, tj. maximální citlivost tyčinek. Průběh spektrální citlivosti třetího druhu fotoreceptorů, tedy cirkadiánních čidel je posunut do úseku krátkých vlnových délek viditelného spektra s maximem okolo 560 až $565\,nm$ (některá literatura uvádí 460 až $480\,nm$). Lze tedy říci, že krátké vlnové

délky, které se nacházejí hlavně v modré části světelného spektra mají vliv na cirkadiánní rytmus našich biologických procesů v těle. [1]



Obrázek 8: Poměrná spektrální citlivost normálního fotometrického pozorovatele [24]

2.3.1 Cirkadiánní tok

Vliv světelného spektra na cirkadiánní rytmy můžeme popsat cirkadiánním tokem Φ_c, který odpovídá množství zářivého toku Φ_e působící na cirkadiánní čidla. Definice cirkadiánního toku je velice podobná světelnému toku Φ , který v oku vyvolává zrakový vjem. První rozdíl je v poměrné spektrální citlivosti čípku $V(\lambda)$ a cirkadiánních čidel $C(\lambda)$. Druhý rozdíl je v maximální spektrální účinnosti čípků ($K_m = 683\ lm \cdot W^{-1}$) a cirkadiánních čidel ($K_{mc} = 4557\ lm \cdot W^{-1}$). Světelný tok Φ a cirkadiánní tok Φ_c se určí podle následujících vztahů:

$$\Phi = K_m \cdot \int V(\lambda) \cdot \Phi_e \cdot d\lambda \qquad (lm) \qquad (2.1)$$

$$\Phi_c = K_{mc} \cdot \int C(\lambda) \cdot \Phi_e \cdot d\lambda \qquad (lm) \qquad (2.2)$$

2.3.2 Činitel cirkadiánní účinnosti

Vliv spektrálního složení světla světelných zdrojů na cirkadiánní rytmy lze také popsat činitelem cirkadiánní účinnosti a_{cv}, který je definován podle následujícího vztahu:

$$a_{cv} = \frac{\int_{380}^{780} E_{e\lambda} C(\lambda) d\lambda}{\int_{380}^{780} E_{e\lambda} V(\lambda) d\lambda} \qquad (-) \tag{2.3}$$

kde:
$E_{e\lambda}$ je spektrální intenzita vyzařování ($W.m^{-2}.nm^{-1}$)
$C(\lambda)$ je poměrná spektrální citlivost cirkadiánních čidel (-)
$V(\lambda)$ je poměrná spektrální citlivost lidského oka (-)

Činitel cirkadiánní účinnosti a_{cv} může nabývat hodnot v rozsahu 0 pro světlo bez obsahu modré složky, až 26,3 pro monochromatické světlo o vlnové délce $460\ nm$. Činitel a_{cv} je pro daný světelný zdroj koeficientem, pomocí něhož lze přepočítat fotopické hodnoty na cirkadiánní hodnoty. Světelné zdroje lze následně porovnat mezi sebou z hlediska účinků na cirkadiánní rytmy.

Jelikož průběh křivky $C\ (\lambda)$ není v současnosti přesně znám a je pravděpodobné, že v budoucnosti bude křivka $C\ (\lambda)$ ještě aktualizována. Je vhodné hodnoty činitele a_{cv} vynásobit vhodným koeficientem, což umožní, aby hodnoty a_{cv} vypočítané se současným tak i s budoucím aktualizovaným průběhem $C\ (\lambda)$ byly srovnatelné. Provedením této matematické operace vznikne *index cirkadiánního aktivačního účinku* A_c, který je dán vztahem:

$$A_c = 100 \cdot \frac{\int_{380}^{780} X_{D65}(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int_{380}^{780} X_{D65} C(\lambda) d\lambda} \cdot a_{cv} \approx 106{,}25 \cdot a_{cv} \qquad (-) \tag{2.4}$$

kde:
X_{D65} je poměrné spektrální složení standardizovaného denního světla (-)
$C(\lambda)$ je poměrná spektrální citlivost cirkadiánních čidel (-)
$V(\lambda)$ je poměrná spektrální citlivost lidského oka (-)

Pro referenční světlo, kterým je standardizované denní světlo (CIE D65) je hodnota indexu $A_c = 100$. Pomocí indexu A_c můžeme porovnávat světelné zdroje z hlediska účinků na cirkadiánní rytmy. Příklady hodnot indexu A_c některých světelných zdrojů jsou uvedeny v tabulce č. 9. Čím je hodnota indexu A_c menší, tím méně světelný zdroj potlačuje tvorbu melatoninu. Naopak čím je hodnota indexu A_c větší, tím více světelný zdroj potlačuje tvorbu

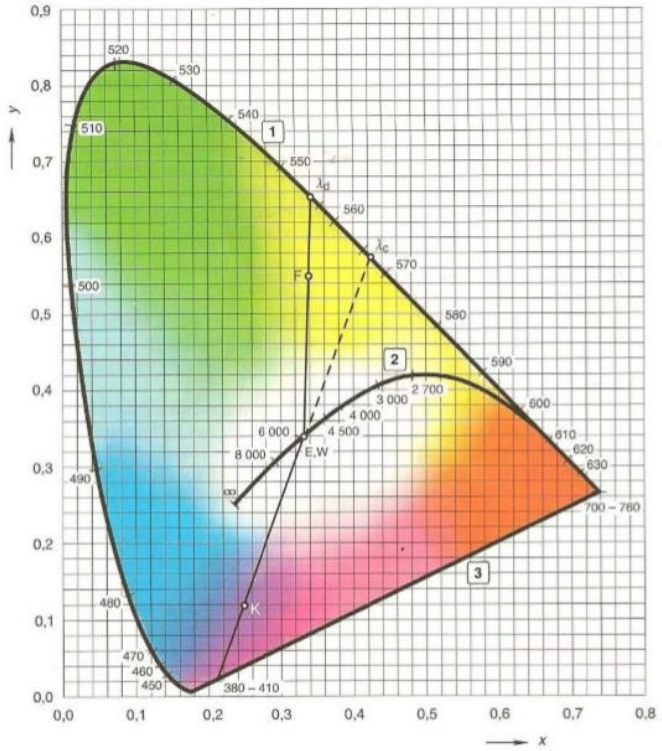
melatoninu a tělo se připravuje k aktivitě. Záleží tedy na denní době, kdy je vhodné použít světelný zdroj s vysokým indexem A_c (nejlépe v ranních hodinách a během pracovní doby) a kdy použit světelný zdroj s nízkým indexem A_c (ve večerních hodinách a před spaním).

Tabulka 9: Příklady indexu A_c různých světelných zdrojů

Světelný zdroj		**Specifikace zdroje**	$\boldsymbol{A_c}$ $(-)$
denní světlo		D65	100
žárovka	obyčejná	2 800 K	36
	halogenová	2 900 K	40
zářivka	teple bílá 827	2 700 K	27
	neutrálně bílá 840	4 000 K	55
	neutrálně bílá 950	5 000 K	83
	chladně bílá (denní) 965	6 500 K	95-105
výbojka	sodíková	vysokotlaká	8-13
	sodíková	nízkotlaká	0.2
	halogenidová 942	4 200 K	69
	halogenidová 965	6 500 K	100
LED	teple bílá	2 850 K	36
	chladně bílá (denní)	6 800 K	90
	modrá	450 nm	875
	zelená	520 nm	52
	Červená	630 nm	0.4

2.3.3 Teplota chromatičnosti

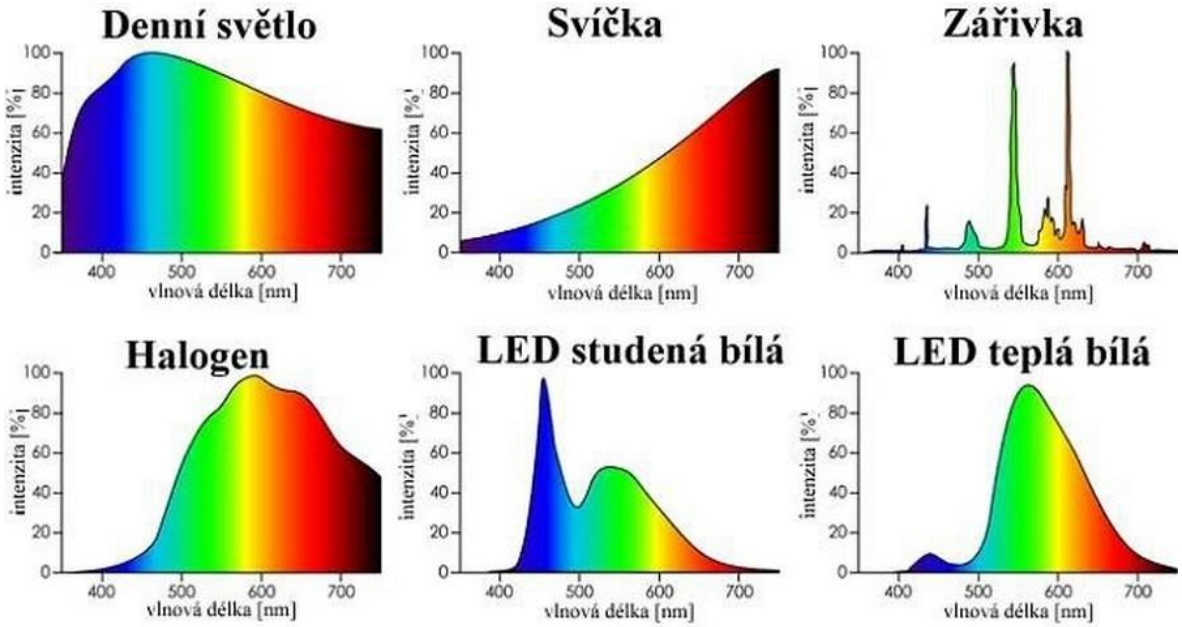
Důležitou fotometrickou veličinou, kterou lze hodnotit účinky spektrálního složení světla na cirkadiánní rytmy, je teplota chromatičnosti T_c (K). Velikost teploty chromatičnosti je závislá na obsahu modré složky ve spektru světelných zdrojů. Souvislost mezi teplotou chromatičnosti a zastoupení krátkých vlnových délek ve světelném spektru je zřejmá z obrázku č. 9, který znázorňuje diagram chromatičnosti mezinárodní kolorimetrické soustavy XYZ v pravoúhlých souřadnicích x, y. Tento diagram obsahuje křivku spektrálních světel s vyznačenými vlnovými délkami v nm (1) a čáru teplotních zářičů se stupnicí v kelvinech (2). Z diagramu je zřejmé, že pokud se ve světelném spektru zvyšuje kvantum modré složky, roste také teplota chromatičnosti. [12]



Obrázek 9: Diagram chromatičnosti mezinárodní kolorimetrické soustavy XYZ v pravoúhlých souřadnicích x,y [12]

Hodnocení účinků světelných zdrojů na cirkadiánní rytmy podle teploty chromatičnosti T_c je nejednoduší způsob, protože pro výpočet předchozích ukazatelů (a_c, A_c, Φ_c), dle jejich definičního vztahu, potřebujeme spektrometr. Zjištění teploty chromatičnosti je snadné, protože její hodnotu většinou výrobce udává na obale nebo přímo na světelném zdroji, a nepotřebujeme žádné složité měřící vybavení.

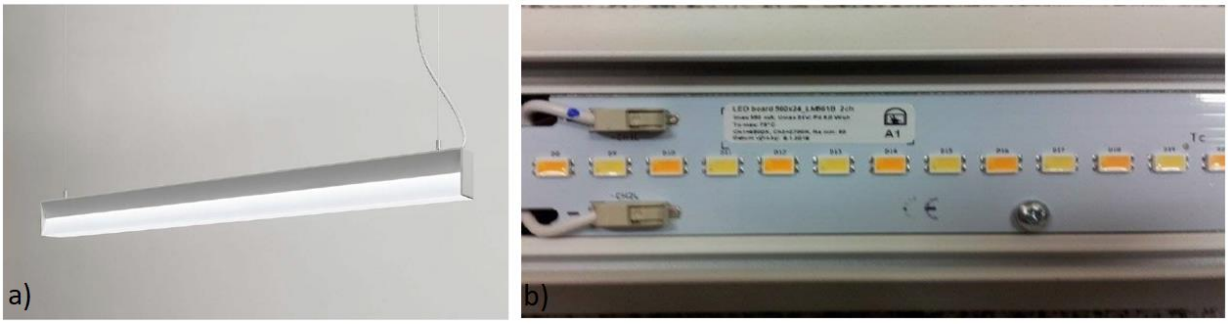
Důležité je ale zmínit, že na teplotu chromatičnosti resp. náhradní teplotu chromatičnosti se nelze vždy úplně spolehnou. Náhradní teplota chromatičnosti popisuje pouze vjem barevného tónu světla, ale nic nevypovídá o přesném spektrálním složením světla, i když s ním úzce souvisí. Příkladem toho může být halogenová žárovka a teple bílá zářivka. Tyto světelné zdroje budou mít srovnatelnou teplotu chromatičnosti okolo $2\,800\,K$, ale jejich světelné spektrum je absolutně rozdílné. Na rozdíl od halogenové žárovky, která má spojité spektrum, má zářivka čárové spektrum. Proto budou mít tyto dva světelné zdroje rozdílný vliv na cirkadiánní rytmy. Příklady světelných spekter některých světelných zdrojů jsou na obrázku č. 10.



Obrázek 10: Příklady světelných spekter [27]

2.3.4 Vliv změny spektrálního složení světla na cirkadiánní rytmy

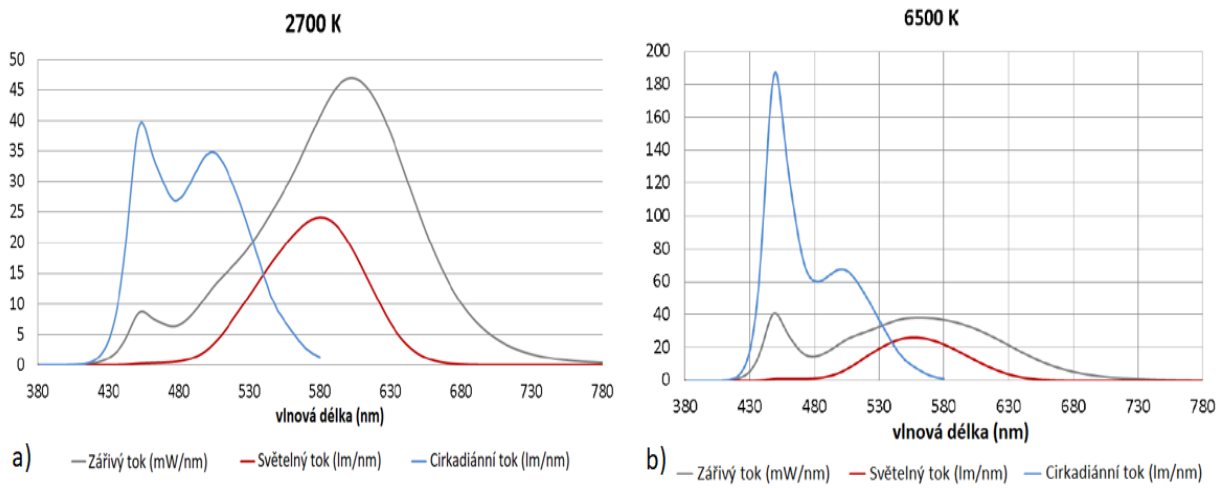
K objasnění vlivu spektrálního složení světla na cirkadiální rytmy lze použít výstupy vědecké práce [12], ve které jsou presentovány výsledky měření svítidla s možností nastavení teploty chromatičnosti v rozsahu 2 700 K až 6 500 K. Měřené svítidlo SANT (sériové číslo: 132-500K-15GFQ / TC) je lineární LED svítidlo s opálovým difuzorem od výrobce Halla a.s. viz. obrázek č. 11a. Požadované teploty chromatičnosti je dosáhnuto pomocí vhodného mísení světla dvou skupin LED čipů s rozdílnou teplotou chromatičnosti viz. obrázek č. 11b.



Obrázek 11: a) Svítidlo SANT b) Dvě skupiny čipů s rozdílnou teplotou chromatičností [12]

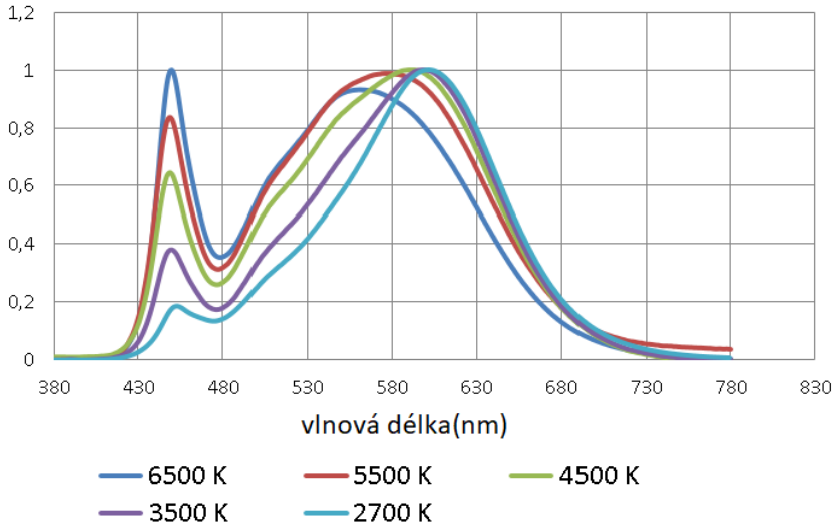
Na obrázku č. 12a jsou zobrazeny spektrální průběhy zářivého, světelného a cirkadiánního toku pro nejnižší možnou nastavitelnou teplotu chromatičnosti $2\,700\,K$. Pokud je porovnáme se spektrálními průběhy stejných toků pro nejvyšší možnou nastavitelnou teplotou chromatičnosti svítidla $6\,500\,K$, viz. obrázek č. 12b. Můžeme vidět,

že maximum spektrálního průběhu cirkadiánního toku pro 2 700 K, je přibližně čtyřikrát menší, než maximum spektrálního průběhu cirkadiánního toku pro 6 500 K.



Obrázek 12: Spektrální průběhy zářivého, světelného a cirkadiánního toku pro a) 2 700 K b) 6 500 K [12]

Obrázek č. 13 znázorňuje průběhy zářivého toku (v poměrných hodnotách) pro různé teploty chromatičnosti. Je patrné, že s rostoucí teplotou chromatičnosti zářivý tok přenáší více energie na krátkých vlnových délkách, a tím roste množství zářivého toku působící na cirkadiánní čidla. To je důvod proč cirkadiánní tok roste se zvyšující se teplotou chromatičnosti.



Obrázek 13: Průběh zářivého toku rozdílných teplot chromatičnosti v závislosti na vlnové délce [12]

Použitím svítidel, které umí měnit teplotu chromatičnosti, lze do určité míry řídit naše cirkadiánní rytmy, tj. ovlivňovat tvorbu nebo potlačení důležitých hormonů (melatonin, kortizol, serotonin), a tím zajistit správnou funkci biologických pochodů v našem těle. [12]

2.4 Návrh osvětlení s ohledem na biorytmy

Jelikož všechny normy a doporučení vycházejí z koncepce, že světlo slouží pouze k vytvoření zrakového vjemu, nejsou nikde normativně zpracovány závěry, které plynou z výzkumů světelných účinků na cirkadiánní rytmy. Svítidla, která mají za cíl napodobit průběh denního světla tzv. biodynamické osvětlení, již výrobci svítidel vyrábějí, ale jejich použití v praxi je spíše na uvážení investorů. Biodynamické osvětlení, které mění v průběhu dne intenzitu osvětlení, barevné vlastnosti nebo také své směrové vlastnosti se používají v prostorech bez dostatečného přístupu denního světla. Takovými prostory mohou být bezokenní prostory dispečinků elektráren, rozvoden nebo vojenských zařízení. Další důležitou oblastí jsou nemocnice, kanceláře nebo domovy pro seniory, kteří díky omezeným pohybovým možnostem nemohou trávit příliš času venku na denním světlu. [1]

Tato diplomová práce se zabývá návrhem osvětlení rodinného domu, proto popíši základní vlastnosti, které by mělo mít osvětlení v obytných prostorech, aby nenarušovalo, ale naopak napomáhalo stimulovat naše cirkadiánní rytmy v závislosti na denní době. V bytech a rodinných domech jsou svítidla určena ke stimulaci biorytmů vidět jen zřídka. Tato problematika v dnešní době je stále podceňována a povědomí široké veřejnosti není také velké. Možným důvodem podceňování této problematiky je, že vážné poruchy cirkadiánních rytmů vlivem špatného světelného režimu nastávají až za několik let a lidé tím pádem tomu nevěnují tolik pozornosti. Dalším možným důvodem můžou být poměrně vysoké pořizovací náklady za tzv. cirkadiánní svítidla.

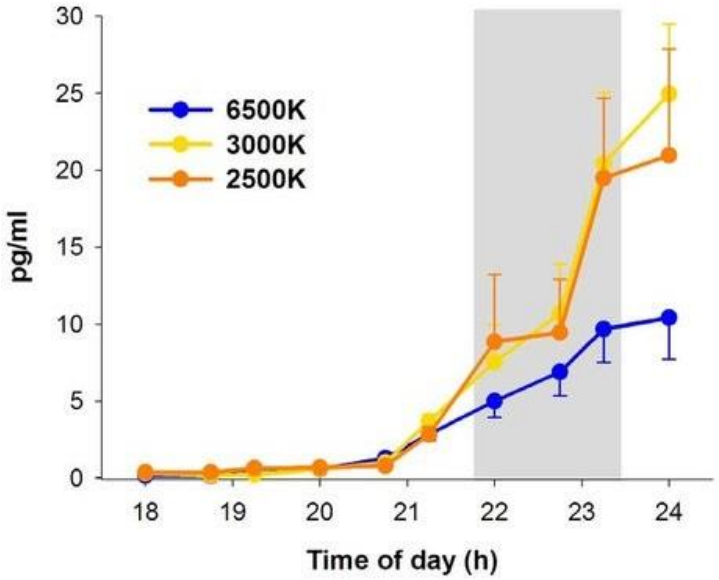
2.4.1 Ranní osvětlení

Ranní světlo je pro naše tělo signálem, že začíná den a musí se připravit na náročné aktivity, které na nás během dne čekají. Jak už bylo zmíněno, většina z nás má periodu τ cirkadiánních rytmů větší jak 24 hodin. K tomu, aby se cirkadiální rytmy synchronizovaly s dvacetičtyřhodinovým dnem, je potřeba ranní intenzivní světlo s vysokým obsahem modré složky. V letních měsících, kdy slunce vychází kolem čtvrté hodiny ranní, není téměř potřeba v domácnosti používat umělé osvětlení k předběhnutí našich cirkadiánní rytmů. Tento proces se děje přirozeně za předpokladu, že do bytu vstupuje dostatek denního světla nebo ideálně ještě před snídaní jdeme na krátkou procházku. Umělé osvětlení nabývá významu v zimních měsících, kdy slunce vychází v pozdních ranních hodinách a denní světlo je nám k dispozici pouze 8 hodin. Proto je nutné v prostorech, ve kterých ráno trávíme náš čas (např. koupelna,

kuchyň) používat světelné zdroje, které dokáží vyzařovat intenzivní světlo s vysokým obsahem modré složky (studené odstíny světla), aby co nejvíce napodobily denní světlo. Teplota chromatičnosti typického denního světla se pohybuje v rozmezí 5000 až 7000 K (při zatažené obloze kolem 8 500 až 12 000 K), proto by se měla teplota chromatičnosti světelného zdroje volit podobná.

2.4.2 Večerní osvětlení

Ve večerních hodinách je naopak důležité používat světlo o nízkých intenzitách s malým obsahem modrého světla. Téměř všichni odborníci, kteří se zabývají chronobiologií doporučují alespoň 1,5 až 2 hodiny před spaním používat takové světelné zdroje, které obsahují minimální množství modré složky ve svém světelném spektru. Tato doba je důležitá, aby se zvýšila hladina melatoninu a naše tělo se připravilo na spánek. Pokud se před spaním vystavujeme světlu o vysoké teplotě chromatičnosti, tak v našem těle neustále probíhají biochemické procesy, které jsou spojeny s denní aktivitou. To způsobuje, že se tělo stále vyčerpává místo toho, aby se tyto procesy zastavili a tělo se mohlo začít připravovat na spánek. Obrázek č. 14 znázorňuje vliv různé teploty chromatičnosti na tvorbu melatoninu ve večerních hodinách. Z obrázku je patrné, že při teplotě chromatičnosti 6500 K je nárůst melatoninu znatelně nižší než u teplejší tónů světla s menším podílem modré složky.

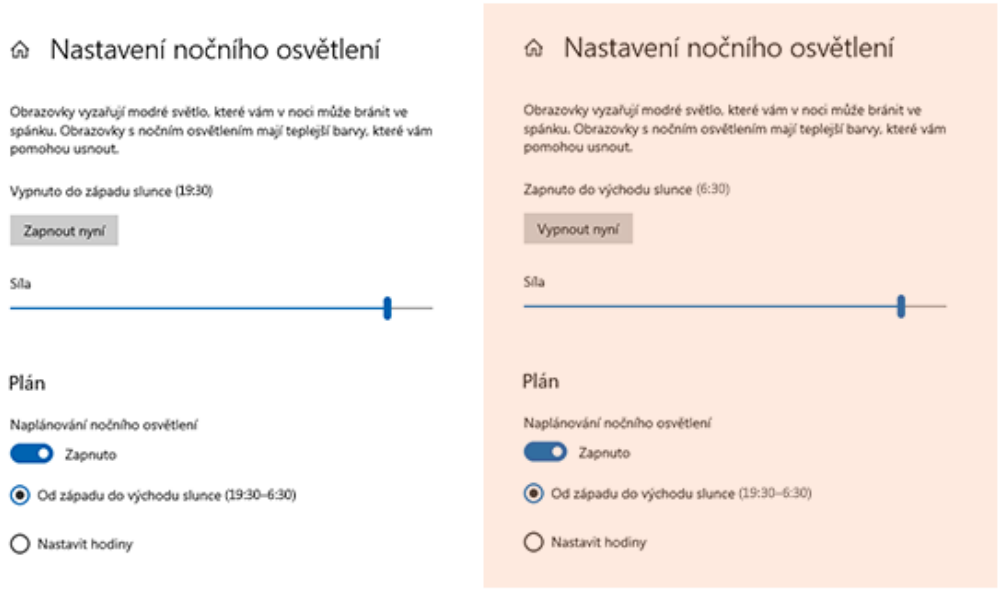


Obrázek 14: Večerní nárůst melatoninu ovlivněn různou teplotou chromatičností (převzato a upraveno z [31])

2.4.3 Další doporučení

Správně navržené osvětlení je jen pomocníkem, který nám napomáhá, aby naše cirkadiánní rytmy plynuly přirozeně. Podstatnou roli v této problematice hraje člověk a jeho životospráva. Nejdůležitějším faktorem, který má vliv na cirkadiánní rytmy je pravidelný denní režim. Důležité je chodit spát a vstávat ve stejnou dobu i ve dnech, kdy nemusíme plnit žádné povinnosti. Pokud tato pravidelnost není dodržována, důsledkem toho vzniká tzv. sociální jet lag. Ten zatěžuje organismus stejně jako skutečný jet lag. Organismus při nepravidelném denním režimu se snaží neustále srovnat fázi svých biologických hodin a v důsledku toho se zbytečně vyčerpává.

Mimo světelné zdroje s vysokou teplotou chromatičností, jsou zdrojem modrého světla obrazovky počítačů, tabletů, televizí a mobilních telefonů. Proto se také doporučuje minimálně hodinu a půl před spaním již nekoukat do těchto zařízení. Pokud je ale nutné dodělat nějakou nezbytnou práci na počítači, lze v nastavení Windows 10 zapnout režim noční osvětlení, který odfiltruje modrou složku světla vyzařovaného obrazovkou počítače viz. obrázek č. 15. Některé mobilní telefony také umožňují nastavení filtru modrého světla (např. v operačním systému iOS od Apple se tento filtr nazývá Night Shift). Pokud filtr modrého světla není zabudovaný v mobilním telefonu, existuje celá řada stažitelných aplikací, které umožňují odfiltrovat modré světlo. Nutné ale podotknout, že řada z nich je nekvalitních a modré světlo přesto propouštějí.



Obrázek 15: Nastavení nočního osvětlení ve Windows 10 [převzato z 25]

Pro praktické ověření světelné intenzity a spektrálního složení různých světelných zdrojů včetně displejů různých elektronických zařízení je velice užitečný online nástroj Fluxometer, který je dostupný na webové adrese: https://fluxometer.com. Na této webové adrese lze najít velké množství proměřených spekter světelných zdrojů a jejich vlivu na fázový posuv cirkadiánních rytmů. Na obrázku č. 16 je porovnáno spektrum svíčky a LED zdroje o teplotě chromatičnosti 5 000 K. Na obrázku je také znázorněna spektrální citlivost cirkadiálních čidel s maximem okolo 490 nm (křivka s průsvitnou plochou). Je zde velmi dobře vidět, jak velký vliv na cirkadiánní rytmy má světlo o krátkých vlnových délkách. Zatímco světelné záření svíčky na svých krátkých vlnových délkách přenáší minimum energie, tak světelné záření LED zdroje přenáší na krátkých vlnových délkách poměrně velké množství energie (nejvýraznější je modrý peak). Proto LED zdroj způsobí, že se cirkadiánní rytmy opozdí o jednu hodinu a dvacetpět minut na rozdíl od svíčky, která cirkadiánní rytmy neposouvá. [14]

Obrázek 16: Porovnání vlivu svíčky (vlevo) a LED zdroje 5000K (vpravo) na fázový posuv cirkadiánních rytmů

3 Současný stav osvětlení rodinného domu

Jedním z cílů této diplomové práce je zhodnotit současný stav osvětlení rodinného domu. Budu hodnotit, jestli v prostorech rodinného domu je dosaženo dostatečných hladin osvětlenosti. Dále zhodnotím, zda zvolená svítidla či světelné zdroje, jsou pro danou místnost vhodné z hlediska vytvoření zrakové pohody. Pokusím se také posoudit osvětlení z hlediska vlivu na cirkadiánní rytmy.

Posuzovaným objektem je dvoupodlažní rodinný dům, který byl postaven v roce 1995. Rodinný dům stojí v obci Palič, která leží asi 16 km od Chebu. Celý dům jsem namodeloval v DIALuxu evo 9.0 (dále jen DIALux). Jelikož v průběhu stavby tohoto domu došlo ještě ke stavebním úpravám, tzn. že současné rozměry domu neodpovídají původní projektové dokumentaci, byl jsem nucen přeměřit rozměry celého objektu, abych dokázal namodelovat co nejvíce reálný model domu. Výsledek můžete vidět na obrázku č. 17, kde je model porovnaný s reálným objektem. Dům je $8{,}5\ m$ vysoký, $10{,}2\ m$ dlouhý, čelní strana domu (dle obrázku č. 17) je široká $8{,}9\ m$ a zadní strana je široká $11{,}2\ m$ (dům je rozšířený o prostor, který slouží jako předsíň).

Obrázek 17: Reálný pohled na rodinný dům (vlevo) a model rodinného domu vytvořený v DIALuxu evo 9.0 (vpravo)

Umělé osvětlení rodinného domu bylo nejprve změřeno luxmetrem DT-3809, jehož bližší specifikace jsou uvedeny v tabulce č. 10 a jeho fyzickou podobu znázorňuje obrázek č. 18. Při měření osvětlenosti bylo měřeno také napětí pomocí multimetru Vorel TO-81784. Poté jsem provedl simulaci umělého osvětlení v DIALuxu.

Tabulka 10:Specifikace luxmetru DT-3809

Displej	4000 digit, maximální zobrazení 3999	
Senzor	Křemíková fotodioda s filtrem	
Měřící rozsah	40, 400, 4000, 40000, 400000 Lux 40, 400, 4000, 40000 FC	
Přesnost	±3%(Kalibrovaná na standartní žárovku 2851 K a korekce LED spektra bílého denního světla) 6% ostatní zdroje viditelného světla	
Odchylka od úhlu kosinu	30°	±2%
	60°	±4%
	80°	±6%
Nejvyšší citlivost senzoru	550 nm	

Obrázek 18: Luxmetr DT-3809 [29]

3.1 Výsledky měření a simulace umělého osvětlení

Samotné měření umělého osvětlení celého objektu proběhlo 10. 4. 2020. Měření započalo ve 21:30 hod., aby denní světlo neovlivňovalo výsledky měření. Napětí v celém objektu bylo 233 V. Teplota v interiéru byla $23 \pm 1\ °C$. Při stanovení kontrolních měřících bodů jsem vycházel z normy ČSN 36 0011-1 Měření osvětlení vnitřních prostorů – Část 1: Základní ustavení. V některých případech jsem musel rozteč kontrolních bodů volit odlišnou než je uvedeno v této normě, abych zachytil co nejlépe prostorové rozložení hladin osvětlenosti. Jednalo se hlavně o místnosti malých rozměrů. Norma také udává výšku srovnávací roviny $0{,}85\ m$ nad podlahou, není-li podle konkrétní funkce místnosti stanovená jiná.

Naměřené hodnoty jsem vynásobil korekčním činitelem K_u, který se vypočítá jako poměr jmenovitého síťového napětí a skutečného napětí v síti v době měření osvětlenosti. Tento poměr je dále umocněn exponentem c, který je závislý na druhu světelného zdroje. V domě jsou k nalezení čtyři typy světelných zdrojů: klasická wolframová žárovka, halogenová žárovka, LED žárovka a kompaktní zářivka. Pro tyto světelné zdroje je exponent $c = 3{,}6$. Korekční činitel se vypočítá podle následujícího vztahu:

$$K_u = \left(\frac{U_n}{U_m}\right)^C = \left(\frac{230}{233}\right)^{3{,}6} = 0{,}95 \qquad (-) \qquad (3.1)$$

kde:

U_n jmenovité síťové napětí (V)

U_m naměřená hodnota napětí (V)

c je exponent pro různé světelné zdroje (-)

Pro co nejpřesnější simulaci osvětlení jsem se snažil vytvořit jednotlivé místností, aby odpovídaly co nejvíce reálnému stavu zjištěním přesného typu světelného zdroje, rozměrů místností, přesného uspořádaní vybavení a odrazností jednotlivých ploch. Bohužel u většiny svítidel jsem nemohl zjistit přesné parametry jejich světelně technických vlastností, protože nebyly k dispozici žádné informace o výrobci či jiné specifikace svítidel. Stáří většiny svítidel je stejné jako samotný dům, je tedy pravděpodobné, že výrobce již nemusí ani existovat. Tato skutečnost způsobí nepřesnosti v simulaci. Samozřejmě jsem se snažil u současných známých výrobců svítidel najít svítidlo, aby se co nejvíce podobalo neznámému svítidlu v domě.

Obrázek č. 19 znázorňuje prostorové uspořádaní místností rodinného domu. Vlevo na obrázku je zobrazeno přízemí, ve kterém se nachází šest místností. Horní patro domu je na pravé straně obrázku. Můžete vidět, že celé horní patro slouží jak jedna obytná místnost, ve které se nacházejí různé funkčně vymezené prostory (prostor sloužící jako pracovna, ložnice nebo prostor určený k odpočinku). Bližší specifika o jednotlivých místností uvedu níže při vyhodnocování hodnot osvětlení získaných měřením a simulací.

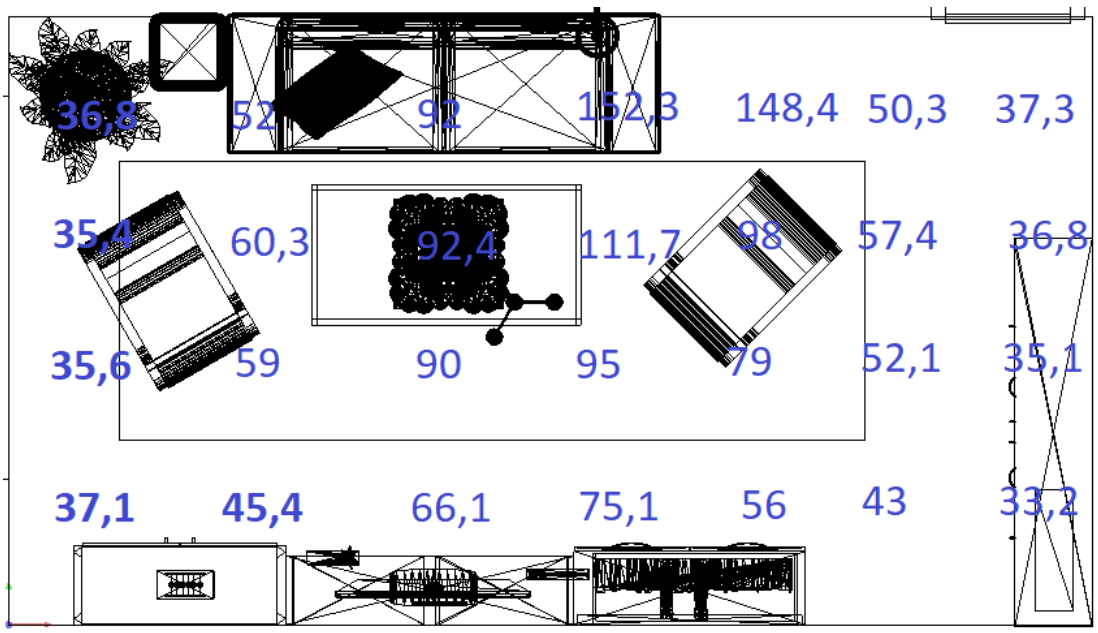
Obrázek 19: Prostorové uspřádání místností rodinného domu 1 – Obývák, 2 – Kuchyně, 3 – Pokoj č.1, 4 – Ložnice, 5 – Koupelna/WC, 6 – Chodba, 7 – Schodiště, 8 – Předsíň, 9 – Pokoj č.2 (horní patro)

3.1.1 Obývací pokoj

Jedná se o obdélníkovou místnost s rozměry $5{,}62 \times 3{,}15\ m \times 2{,}45$ m (délka × šířka × výška). Místnost je vymalovaná do růžova. Podlahu pokrývá PVC s dřevěným vzorem a uprostřed místnosti je šedý koberec. Centrálním svítidlem je zde svíčkový lustr od neznámého výrobce. Jedná se o převážně nepřímé svítidlo (většinu světelného toku vyzařuje do horního poloprostoru). Tento lustr je osazený s třemi LED žárovkami ve tvaru svíčky od výrobce SOLIGHT ($510\ lm, 3\ 000\ K, R_a \geq 80, 6\ W, E14$). Místním svítidlem je zde nástěnná lampa, která slouží pro zvýšení hladiny osvětlenosti pro zrakově náročnější činnosti např. čtení nebo šití. U tohoto nástěnného svítidla se mi také nepodařilo zjistit výrobce, ale světelný tok vyzařuje přibližně stejnou měrou do dolního tak i do horního poloprostoru. Jedná se tedy o smíšené svítidlo. Tato lampička je osazena LED žárovkou SOLIGHT ($810\ lm, 4\ 000\ K, R_a \geq 80, 10\ W, E27$). Na obrázku č. 20 je vizualizace obývacího pokoje v DIALuxu.

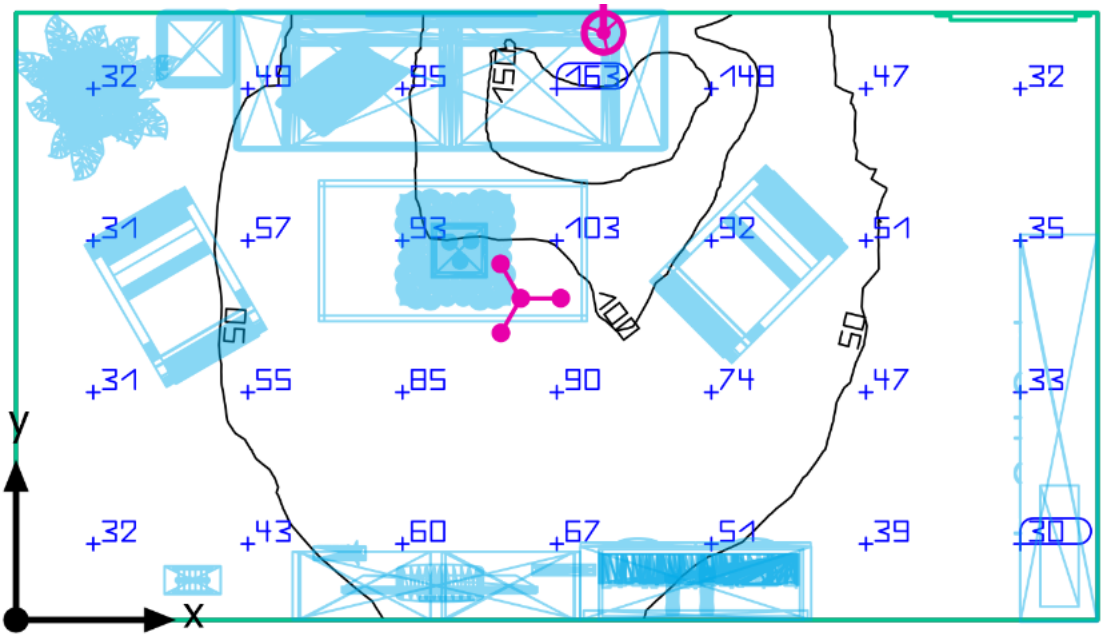
Obrázek 20: Vizualizace obývacího pokoje v DIALuxu

Měření probíhalo na vodorovné srovnávací rovině ve výši 0,85 m nad podlahou. Síť kontrolních bodů jsem rozmístil s roztečí 0,7 m (28 kontrolních bodů). Síť kontrolní bodů je tedy hustší než doporučuje norma [N5]. Tuto rozteč jsem volil proto, abych získal co nejlepší představu o rozložení hladin osvětlenosti okolo svítidel. Naměřené hodnoty osvětlenosti v jednotlivých kontrolních bodech jsou graficky znázorněné na obrázku č. 21.



Obrázek 21: Naměřené hodnoty osvětlenosti E (lx) v kontrolních bodech v obývacím pokoji

Pro ověření naměřených hodnot jsem provedl simulaci osvětlení obývacího pokoje v DIALuxu. Výšku srovnávací roviny i rozmístění kontrolních bodů jsem zvolil stejné jako při měření. Činitelé odrazu jednotlivých ploch jsou uvedeny v tabulce č. 11. Výsledek simulace je znázorněn na obrázku č. 22. Můžeme vidět, že naměřené a nasimulované hodnoty se od sebe neliší. Rozdíl hodnot není ani 10 *lx*. Vyhodnocené naměřené a nasimulované parametry osvětlení jsou uvedeny v tabulce č. 12.



Obrázek 22: Simulace osvětlení obývacího pokoje v DIALuxu

Tabulka 11: Činitelé odrazu jednotlivých ploch v obývacím pokoji

Plocha	**strop**	**zeď**	**podlaha**	**koberec**	**nábytek**
Barva	bílá	růžová	světle hnědá	šedá	hnědá
činitel odrazu ρ (-)	0,86	0,35	0,48	0,42	0,30

Tabulka 12: Výsledky měření a simulace osvětlení obývacího pokoje

Veličina	**Měření**	**Simulace**
$\boldsymbol{E_{max}\ (lx)}$	152,29	163
$\boldsymbol{E_{min}\ (lx)}$	33,20	30
$\boldsymbol{\bar{E}_m\ (lx)}$	66,52	62
$\boldsymbol{U_0}$ **(-)**	0,49	0,41

Průměrná osvětlenost $\bar{E}_m$ v obývacím pokoji by měla být v rozmezí $50\ až\ 200\ lx$, což je v tomto případě dosáhnuto. Místní svítidlo by mělo umožňovat zvýšit hladinu osvětlenosti pro zrakově náročnější úkoly alespoň na hladinu $300\ lx$. Z obrázků č. 21 a 22 lze vidět, že této hladiny osvětlenosti v tomto případě není dosáhnuto. Centrální svítidlo zde světelný tok vyzařuje do horního poloprostoru a vzniká difuzní osvětlení, které vytváří klidné prostředí bez přítomnosti ostrých stínů. Pokud by se ve večerních hodinách svítilo pouze hlavním svítidlem, které je osazené světelnými zdroji o teplotě chromatičnosti $3\ 000\ K$, nemělo by světlo takový vliv na fázový posuv cirkadiánních rytmů. Svítidla nelze stmívat, což by bylo prospěšné ve večerních hodinách.

3.1.2 Kuchyň

Rozměry kuchyně jsou $4{,}4 \times 2{,}5 \times 2{,}45\ m$. Barva zdí je světle žlutá. Podlahu pokrývá PVC s dřevěným vzorem. Centrálním svítidlem je zde čtvercový stropní LED panel STILO ($3\ 000\ lm, 4\ 000\ K, R_a \geq 80, 36\ W, 59{,}5 \times 59{,}5 \times 1{,}8\ cm$), který lze stmívat. Dále pod horní skříňkou kuchyňské linky jsou umístěný ve dvou rovnoběžných lištách LED pásky od Ecolite ($1200\ lm/m, 4\ 100\ K, R_a \geq 80, 12\ W/m$) o délce $2\ m$. Před tepelnými vlivy nebo mechanickým poškozením chrání LED pásek opálový difuzor z polykarbonátu. Nad sporákem je součástí digestoře svítidlo, které je osazené dvěma halogenovými žárovky ($405\ lm, 2\ 800\ K, R_a = 100, 30\ W, E14$). Tato místnost je jediná v celém domě, kde byly vyměněné stará svítidla za nová od počátku užívání domu. Vizualizace kuchyně vytvořená v DIALuxu je na obrázku č. 23, a v tabulce č. 13 jsou uvedeny činitelé odrazu hlavních ploch kuchyně.

Tabulka 13: Činitelé odrazu jednotlivých ploch v kuchyni

Plocha	**strop**	**zeď**	**podlaha**	**kuchyňská linka**	
Barva	bílá	světle žlutá	hnědá	bílá	červená
činitel odrazu ρ (-)	0,86	0,72	0,31	0,73	0,69

Obrázek 23: Vizualizace kuchyně v DIALuxu

Osvětlení kuchyně jsem měřil na srovnávací rovině ve výšce $0{,}85\ m$. Místnost jsem rozdělil na 12 meších ploch o rozměrech $1{,}1 \times 0{,}8\ m$. Středy těchto ploch byly kontrolními body, ve kterých jsem měřil osvětlenost. Dále jsem důkladně proměřil osvětlenost kuchyňské linky, včetně dřezu. Osvětlenost jsem měřil přímo na jejím povrchu (ve výšce $0{,}87\ m$). Kontrolní body jsem zvolil s roztečí $0{,}2\ m$. Také jsem změřil osvětlenost jídelního stolu, kterou jsem zjistil měřením na povrchu stolu v síti bodů 2×3 body s roztečí 0,4 m. Výška stolu je $0{,}8\ m$.

Výsledky z měření a simulace jsou shrnuty v tabulkách č. 14, 15, 16. Grafické znázornění naměřených tak i nasimulovaných hodnot osvětlenosti jsou uvedeny v Příloze 1.

Tabulka 14: Výsledky měření a simulace osvětlení pro celou plochu kuchyně

Veličina	Měření	Simulace
$E_{max}\ (lx)$	509	502
$E_{min}\ (lx)$	88	84
$\bar{E}_m\ (lx)$	237	237
$U_0\ (-)$	0,37	0,23

Tabulka 15: Výsledky měření a simulace osvětlení kuchyňské linky

Veličina	Měření	Simulace
$E_{max}\ (lx)$	1170	1035
$E_{min}\ (lx)$	530	604
$\bar{E}_m\ (lx)$	889,8	881
$U_0\ (-)$	0,6	0,69

Tabulka 16:: Výsledky měření a simulace osvětlení jídelního stolu

Veličina	Měření	Simulace
$E_{max}\ (lx)$	298,40	400
$E_{min}\ (lx)$	98	78
$\overline{E}_m\ (lx)$	188	196
$U_0\ (-)$	0,52	0,4

Centrální svítidlo kuchyně by mělo vytvořit hladinu osvětlenosti v rozmezí $100\ až\ 300\ lx$. Z tabulky č. 14 vidíme, že hodnota osvětlenosti se v tomto rozmezí pohybuje. Kuchyňská linka vyžaduje vyšší nároky na vidění. Požadovaná minimální hodnota osvětlenosti je $500\ lx$ s rovnoměrností alespoň 0,6. V tomto případě je tohoto požadavku také dosáhnuto. Co se týče osvětlenosti jídelního stolu, mělo by zde být dosaženo přibližně $300\ lx$. Z tabulky č. 16 vidíme, že této hodnoty zde není dosaženo. To je způsobené absencí svítidla nejlépe závěsného, které by stůl na požadovanou úroveň osvětlilo.

3.1.3 Pokoj č.1

Tato místnost má rozměry $4{,}4 \times 3{,}4 \times 2{,}45\ m$. Pokoj je vymalovaný tak, že jeho tři zdi jsou světle šedivé a jedna zeď je zelená. Strop je vymalovaný na bílo a podlahu pokrývá světle hnědá PVC podlaha. Jedná se o pokoj, který je určený ke spaní, ale také se zde nachází místo, které klade vyšší zrakové nároky na vidění. Jedná se hlavně o práci na počítači, psaní a čtení. Přesné specifikace svítidla, které je umístěno uprostřed místnosti jsem nedohledal z důvodu neznámého výrobce. Jedná se o závěsné svítidlo (lustr) s délkou závěsu $0{,}36\ m$. Z hlediska směru vyzařování světelného toku do prostoru se jedná o přímé svítidlo. Tento lustr je osazený LED žárovkou SOLIGHT ($810\ lm, 4\ 000\ K, R_a \geq 80, 10\ W, E27$). Dále na pracovním stole je umístěna stolní lampa osazená s LED žárovkou od výrobce TESLA lighting ($806\ lm, 4\ 000\ K, R_a > 80, 9\ W, E27$). Na nočním stolku je umístěná lampička, která je osazená LED žárovkou od výrobce SOLIGH ($1\ 010\ lm, 3\ 000\ K, R_a > 80, 12\ W, E27$). Tabulka č. 17 udává činitele odrazu jednotlivých ploch místnosti a na obrázku č. 24 je vizualizace pokoje v DIALuxu.

Tabulka 17: Činitelé odrazu jednotlivých ploch v pokoji č.1

Plocha	strop	zeď		podlaha	nábytek
Barva	bílá	světle šedá	zelená	světle hnědá	tmavě hnědý
činitel odrazu ρ (-)	0,86	0,52	0,2	0,34	0,26

Obrázek 24: Vizualizace pokoje č.1

Pro měření celkového osvětlení místnosti jsem opět zvolil vodorovnou srovnávací rovinu o výšce 0,85 m. Síť měřicích bodů jsem zvolil 4×3 body s roztečí 1 m. Při měření osvětlenosti celé plochy místnosti byla rozsvícena všechna tři svítidla. Dále jsem proměřil osvětlenost na povrchu pracovního stolu. Rozměry stolu jsou $1{,}5 \times 0{,}58 \times 0{,}76\ m$. Síť kontrolních bodů jsem zvolil 3×5 bodů s roztečí $0{,}3\ m$ (krajní body jsou od hrany stolu vzdáleny $0{,}15\ m$). V simulaci osvětlení byly zvolené stejné srovnávací roviny jako při měření. Výsledky měření a simulace jsou uvedeny v tabulkách č. 18 a 19. Naměřené a nasimulované hodnoty osvětlenosti obsahuje Příloha 2.

Tabulka 18:Výsledky měření a simulace osvětlení v pokoji č.1

Veličina	Měření	Simulace
$\boldsymbol{E_{max}\ (lx)}$	250	1045
$\boldsymbol{E_{min}\ (lx)}$	20,4	15
$\boldsymbol{\bar{E}_m\ (lx)}$	68,7	75
$\boldsymbol{U_0\ (-)}$	0,29	0,15

*Tabulka 19:*Výsledky měření a simulace osvětlení pracovního stolu v pokoji č.1

Veličina	Měření	Simulace
$\boldsymbol{E_{max}\ (lx)}$	833	1590
$\boldsymbol{E_{min}\ (lx)}$	61	57
$\boldsymbol{\bar{E}_m\ (lx)}$	238,4	311
$\boldsymbol{U_0\ (-)}$	0,26	0,18

Průměrná hodnota osvětlenosti $\bar{E}_m$ celé plochy místnosti vyšla z měření $68{,}7\ lx$ a ze simulace $70\ lx$. Pokud budu brát tento prostor jako ložnici, u které by měla hladina osvětlenosti pohybovat v rozmezí $20\ až\ 100\ lx$, je osvětlenost této místnosti dostačující. Musím ale poznamenat, že průměrné hodnoty osvětlenosti bylo dosáhnuto při svícení všech tří svítidel, nikoli jen centrálního svítidla. Dále použití závěsného přímého svítidla do tohoto prostoru není úplně vhodné. Důvodem je, že takový druh svítidla opticky zmenšuje prostor a také může způsobovat oslnění. Průměrná hodnota osvětlenosti pracovního stolu by měla být minimálně $500\ lx$ o rovnoměrností 0,6. Z tabulky č. 19 vidíme, že těchto hodnot na pracovním stole není dosáhnuto. Dále si můžeme všimnout velkých rozdílů mezi minimální a maximální hodnotou osvětlenosti na povrchu stolu, čímž vzniká velká nerovnoměrnost osvětlení. Velký rozdíl mezi maximální naměřenou a nasimulovanou hodnotou osvětlenosti je způsobený tím, že v simulaci je kontrolní bod umístěný v těsné blízkosti stolní lampy na pracovním stole. Použití světelného zdroje o teplotě chromatičnosti $4\ 000\ K$ v hlavním svítidle není vhodné, protože pokud svítidlo svítí ve večerních hodinách, způsobí fázový posuv cirkadiánních rytmů.

3.1.4 Ložnice

Rozměry této místnosti jsou $3{,}8 \times 2{,}4 \times 2{,}45\ m$. Tato místnost má palubkový podhled, bílé zdi a světle hnědou PVC podlahu. Tento pokoj je určený pouze ke spaní, případně k převlékání. Ve středu této místnosti je umístěný závěsný lustr s délkou závěsu $0{,}4\ m$. Tento lustr je vyrobený s hnědé textilie. Reálný vzhled tohoto svítidla je na obrázku č. 25. Nalezení podobného svítidla pro simulaci bylo velice obtížné, protože jsem u známých výrobců téměř nenašel podobný lustr vyrobený z textilie. Podle způsobu, jakým tento lustr vyzařuje světelný tok jsem uvážil, že se jedná o převážně přímé svítidlo (část světelného toku vyzařuje do horního poloprostoru). Tento lustr je osazen LED žárovkou OSRAM $(1\ 055\ lm, 2\ 700\ K,\ R_a > 80,8\ W, E27)$ Dále nad postelí na zdi je umístěná nástěnná lampička (opět neznámého výrobce) osazená klasickou wolframovou žárovkou se závitem E14. Činitelé odrazu hlavních ploch v ložnici jsou uvedeny v tabulce č. 20 a vizualizace ložnice v DIALuxu znázorňuje obrázek č. 26.

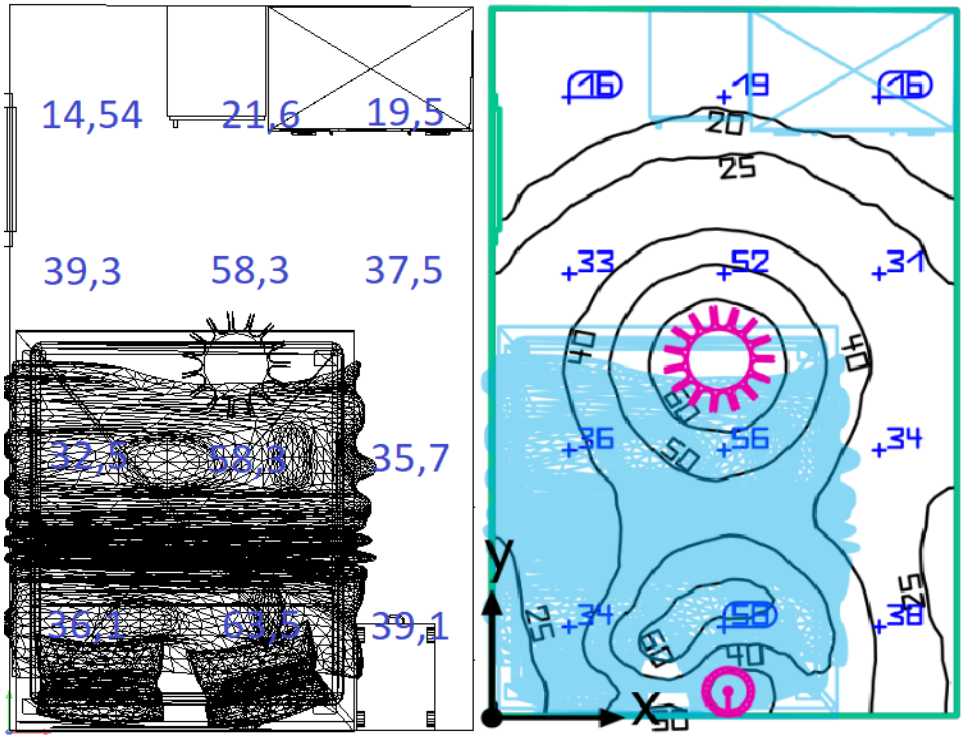
Obrázek 25: Lustr v ložnici

Tabulka 20: Činitelé odrazu jednotlivých ploch v ložnici

Plocha	**strop**	**zeď**	**podlaha**	**nábytek**
Barva	světle hnědá	bílá	světle hnědá	hnědá
činitel odrazu *ρ (-)*	0,58	0,8	0,33	0,31

Obrázek 26: Vizualizace ložnice v DIALuxu

Osvětlení jsem měřil na vodorovné srovnávací rovině ve výšce $0{,}85\ m$. Abych zachytil co nejlépe rozložení hladiny osvětlenosti v místnosti, rozdělil jsem místnost na menší plochy o rozměrech $0{,}95 \times 0{,}8\ m$ a uprostřed každé plochy jsem měřil osvětlenost. Tím mi vzniklo 4×3 měřících bodů. Při měření osvětlení svítila obě svítidla. Grafické zpracování naměřených hodnot osvětlenosti a hodnot získaných pomocí simulace jsou znázorněny na obrázku č. 27. Vyhodnocené hodnoty osvětlení jsou uvedeny v tabulce č. 21.



Obrázek 27: Naměřené (vlevo) a nasimulované (vpravo) hodnoty osvětlenosti (lx) ložnice

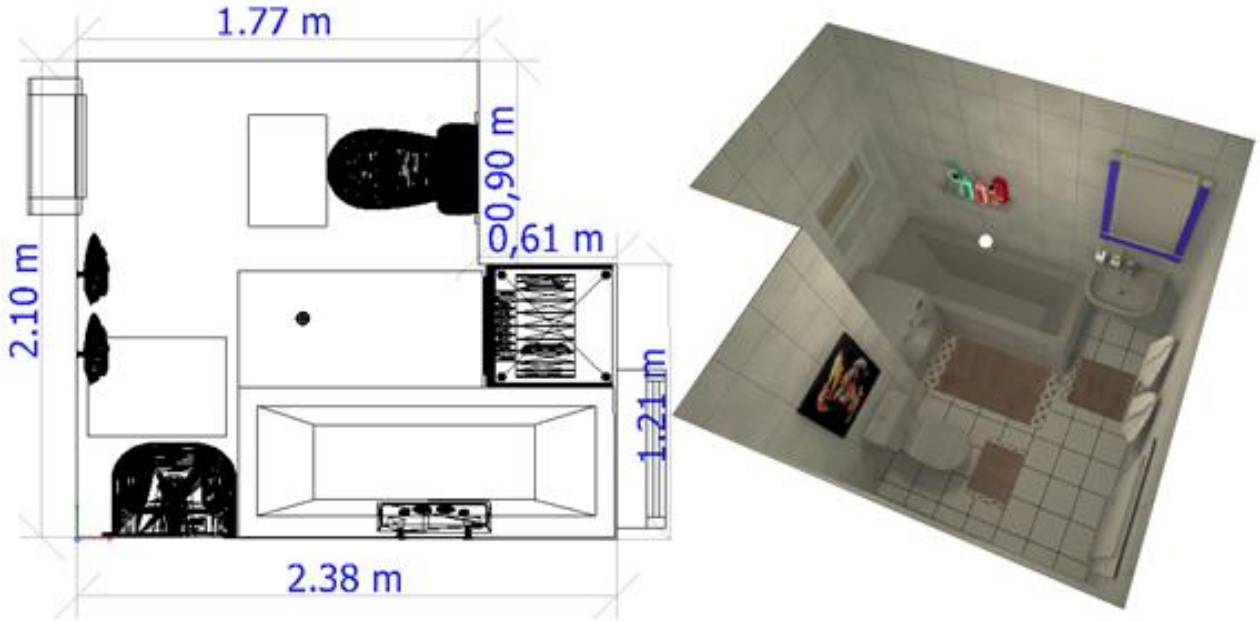
Tabulka 21: Výsledky měření a simulace osvětlení v ložnici

Veličina	Měření	Simulace
$E_{max}\ (lx)$	63,5	58
$E_{min}\ (lx)$	14,54	16
$\bar{E}_m\ (lx)$	38,31	35
$U_0\ (-)$	0,38	0,37

I přes neznámé světelně-technické vlastnosti svítidel se podařilo, že naměřené a nasimulované hodnoty osvětlenosti se od sebe moc neliší. Průměrná naměřená osvětlenost je $38{,}3\ lx$ a průměrná nasimulovaná osvětlenost je $35\ lx$. Tato hladina osvětlenosti pro ložnici je postačující. Použité světelné zdroje mají nízkou teplotu chromatičnosti a na fázový posuv cirkadiánních rytmů ve večerních hodinách mají jen malý vliv. Dalo by se říci, že ložnice je ideálním příkladem toho, jak by se mělo večer svítit, aby nebyly narušeny cirkadiánní rytmy.

3.1.5 Koupelna/WC

Tato místnost je kombinací toalety a koupelny. Rozměrově je tato místnost nejmenší z celého domu. Rozměry koupelny jsou uvedeny na obrázku č. 28, kde je také znázorněna vizualizace koupelny. Výška stropu je $2{,}45\ m$. Zdi jsou pokryté světle šedými dlaždicemi a podlaha je pokrytá bílými dlaždicemi. Strop je bílý. Činitelé odrazu hlavních ploch koupelny jsou uvedeny v tabulce č. 22. Jediným zdrojem světla je zde LED žárovka SOLIGHT ($1\ 010\ lm, 3\ 000\ K,\ R_a > 80, 12\ W, E27$), která je upevněná v objímce uprostřed místnosti bez žádného krytí.



Obrázek 28: Rozměry koupelny a vizualizace koupelny v DIALuxu

Tabulka 22: Činitelé odrazu jednotlivých ploch v ložnici

plocha	**strop**	**zeď**	**podlaha**
barva	bílá	světle šedá	bílá
činitel odrazu *ρ(-)*	0,86	0,62	0,76

Osvětlenost jsem měřil na vodorovné srovnávací rovině ve výšce 0,85 m. Plochu místnosti jsem rozdělil na 10 meších ploch o rozměrech $0{,}9 \times 0{,}5\ m$. Uprostřed každé plochy jsem poté změřil osvětlenost. V simulaci jsem nastavil identické parametry srovnávací roviny. Výsledky z měření a ze simulace osvětlení jsou uvedeny v tabulce č. 23. Grafické znázornění naměřených a nasimulovaných hodnot osvětlenosti jsou součástí Přílohy 3.

Tabulka 23: Výsledky měření a simulace osvětlení koupelna/WC

Veličina	Měření	Simulace
$E_{max}\ (lx)$	123	106
$E_{min}\ (lx)$	82,3	64
$\bar{E}_m\ (lx)$	98,62	85,3
$U_0\ (-)$	0,83	0,59

Průměrná osvětlenost koupelny by se měla pohybovat v rozmezí $50\ až\ 200\ lx$. Jak lze vidět z tabulky č. 23, je zde této hladiny osvětlenosti dosáhnuto. Použití žárovky bez svítidla z hlediska vizuálního nevytváří úplně dobrý dojem, ale z hlediska bezpečnosti se nachází v ochranné zóně 3 kde je vyžadován stupeň krytí IP20, což žárovka splňuje. Jako velký nedostatek bych uvedl absenci svítidla osvětlující zrcadlo.

3.1.6 Chodba

Chodba spojuje všechny místnosti v přízemí. Zdi jsou vymalované na bílo, podlaha je pokryta laminátem a strop tvoří palubkový podhled. Chodba je do tvaru L. Rozměry chodby a její vizualizace jsou znázorněny na obrázku č. 29. Činitelé odrazu pro jednotlivé plochy chodby jsou uvedeny v tabulce č. 24. Chodbu osvětlují dvě svítidla. Jedná se o svítidla s kulovým opálovým sklem. Podle vyzařování světelného toku do prostoru se jedná o smíšená svítidla. Každé svítidlo je osazené klasickou šedesátiwattovou wolframovou žárovkou se závitem E27.

Obrázek 29: Rozměry chodby a vizualizace chodby v DIALuxu

Tabulka 24: Činitelé odrazu jednotlivých ploch pro chodbu

plocha	strop	zeď	podlaha
barva	Světle hnědá	bílá	světle hnědá
činitel odrazu *ρ(-)*	0,58	0,8	0,51

Osvětlení chodby jsem měřil na vodorovné srovnávací rovině ve výšce $0{,}02\ m$. Zvolil jsem deset měřících bodů s roztečí $1\ m$, které byly umístěny uprostřed chodby. Výsledky měření a simulace jsou uvedeny v tabulce č. 25.

Tabulka 25: Výsledky měření a simulace osvětlení chodby

Veličina	Měření	Simulace
$\boldsymbol{E_{max}\ (lx)}$	56,1	53
$\boldsymbol{E_{min}\ (lx)}$	19,3	17
$\boldsymbol{\bar{E}_m\ (lx)}$	41,7	40
$\boldsymbol{U_0\ (-)}$	0,46	0,42

Z tabulky č. 25 vidíme, že průměrná hodnota osvětlenosti je okolo $40\ lx$. Požadovaná osvětlenost v těchto prostorech by měla být alespoň $50\ až\ 100\ lx$ (dle normy [N7] je požadována osvětlenost $\bar{E}_m = 75\ lx$ na vodorovné srovnávací rovině ve výšce $0\ m$), což v našem případě není splněno. Rovnoměrnost osvětlení by mělo být minimálně 0,4. Této hodnoty je v tomto prostoru dosaženo. Svítidla jsou osazená klasickými wolframovými žárovkami. Z hlediska energetických úspor to nejsou úplně vhodně zvolené světelné zdroje pro poměrně frekventovanou část domu, ale při večerním pohybu po chodbě nezpožďují fázi cirkadiánních rytmů.

3.1.7 Předsíň

Rozměry předsíně jsou $3 \times 2{,}5 \times 2{,}45\ m$. Jednotlivé povrchy předsíně jsou stejné jako u chodby. Je zde strop tvořený palubkovým podhledem, bíle zdi a laminátová podlaha. Činitelé odrazu jsou tedy stejné jako pro chodbu. Osvětlení zde zajišťuje stejně jako na chodbě stropní přisazené svítidlo s kulovitým opálovým sklem. Toto svítidlo je osazené také klasickou wolframovou žárovkou (60 W, E27). Vizualizace místnosti v DIALuxu je na obrázku č. 30.

Obrázek 30: Vizualizace předsíně v DIALuxu

Při měření osvětlenosti jsem plochu rozdělil na dvanáct menších ploch s rozměry $0{,}75 \times 0{,}85$ m a uprostřed každé plochy jsem následně měřil intenzitu osvětlení. Vodorovná srovnávací rovina byla ve výšce $0{,}85\ m$. Následně jsem opět provedl simulaci v DIALuxu. Grafické znázornění naměřených a nasimulovaných hodnot osvětlenosti jsou součástí Přílohy 4. Výsledky měření a simulace osvětlení předsíně obsahuje tabulka č. 26.

Tabulka 26: Výsledky měření a simulace osvětlení předsíně

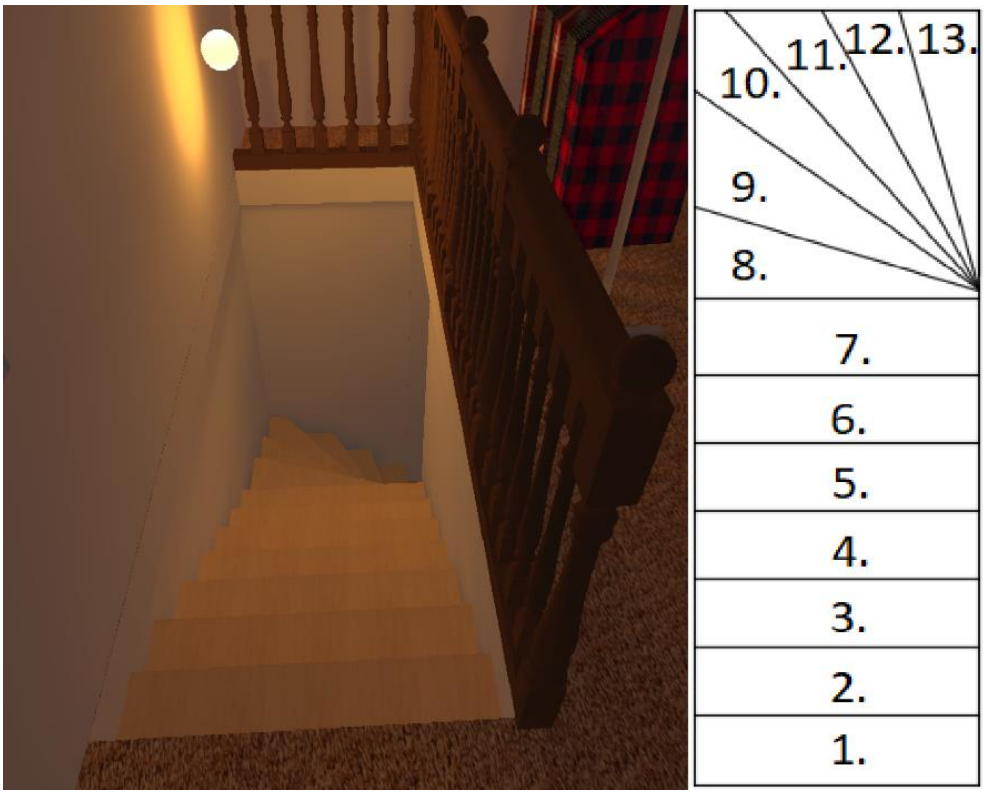
Veličina	Měření	Simulace
$\boldsymbol{E_{max}\ (lx)}$	33,7	33
$\boldsymbol{E_{min}\ (lx)}$	23,4	22
$\boldsymbol{\bar{E}_m\ (lx)}$	27,8	26
$\boldsymbol{U_0\ (-)}$	0,85	0,85

Průměrná naměřená hodnota osvětlenosti je $27{,}8\ lx$ a průměrná hodnota získaná simulací je $26\ lx$. Osvětlenost této místnosti je nedostatečná, protože průměrná hodnota osvětlenosti by měla být $50\ lx$ a výše. Opět, tak jako na chodbě, je zde světelný zdroj wolframová žárovka. Musím znovu opakovat, že výhodou tohoto zdroje je, že ve večerních hodinách neposouvá tolik cirkadiánní rytmy. Nevýhodou je jeho nízká světelná účinnost.

3.1.8 Schodiště

Schodiště propojuje přízemí s horním patrem. Výška schodiště je $2{,}65\ m$. Schodiště tvoří 13 dřevěných schodů o rozměrech jednoho schodu $1 \times 0{,}28 \times 0{,}2\ m$. Celé schodiště osvětluje jedno svítidlo se skleněným kulovým opálovým krytem (stejné jako na chodbě a v předsíni), které je umístěné na stěně podél ramene schodiště. Toto svítidlo je opět osazené klasickou šedesátiwattovou wolframovou žárovkou se závitem E27.

Osvětlenost jsem měřil na povrchu každého schodu ve třech bodech s roztečí 0,3 m. Poté jsem z těchto tří bodů stanovil průměrnou osvětlenost $\bar{E}_m$ a rovnoměrnost osvětlení U_0. V simulaci jsem na každý schod umístil výpočtovou plochu a tím jsem získal průměrnou hodnotu osvětlenosti i rovnoměrnost. Vyhodnocené hodnoty změření i hodnoty ze simulace pro každý jednotlivý schod, jsou uvedeny v tabulce č. 27. Pořadí schodů v tabulce jsou uspořádány od nejvyššího schodu po nejnižší, jak znázorňuje obrázek č. 31.



Obrázek 31: Vizualizace schodiště v DIALuxu a pořadí jednotlivých schodů.

Tabulka 27: Výsledky měření a simulace osvětlení jednotlivých schodů

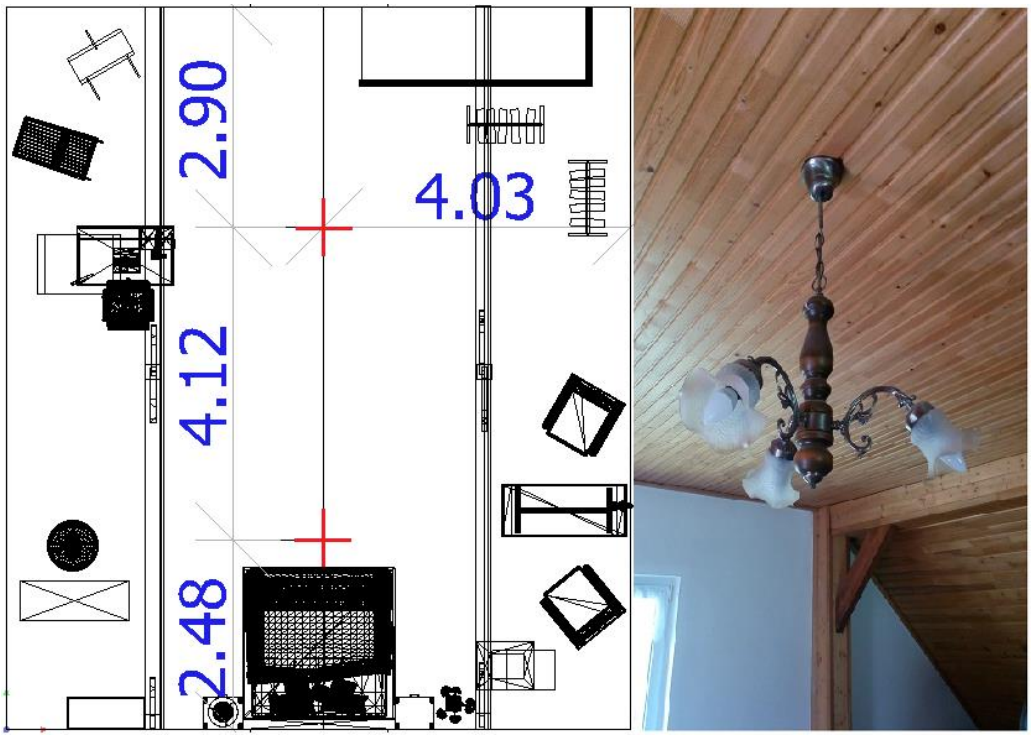
Číslo schodu	Měření		Simulace	
	$E_m(lx)$	$U_0(-)$	$E_m(lx)$	$U_0(-)$
1.	2,28	0,82	4,5	0,88
2.	3,14	0,84	6,1	0,77
3.	5,54	0,88	7,6	0,94
4.	7,10	0,90	9	0,94
5.	7,35	0,88	9,6	0,90
6.	7,28	0,90	10	0,90
7.	6,05	0,91	9,4	0,92
8.	5,48	0,92	7,8	0,95
9.	4,69	0,88	6,4	0,91
10.	4,36	0,63	5,4	0,66
11.	4,34	0,68	4,2	0,59
12.	3,85	0,68	3,5	0,65
13.	3,37	0,65	3,1	0,68

Z tabulky č. 27 je patrné, že schodiště je nedostatečně osvětlené (osvětlenost by měla být alespoň v rozsahu $50\ až\ 100\ lx$). Rovnoměrnost osvětlení jednotlivých schodů je přijatelná. Nejméně rovnoměrně osvětlené schody jsou první čtyři dolní schody. Použití jedno svítidla není vhodné k osvětlení celého schodiště. Vhodné je například použití několika směrových svítidel podél ramene schodiště.

3.1.9 Horní patro

Horní patro se využívá jako jedna velká místnost. Jedná se o podkroví, kde se nacházejí funkčně vymezené prostory, které slouží jako pracovna, místo určené k odpočinku a prostor, který je využíván ke spaní. Rozměry této místnosti jsou $9{,}5 \times 8{,}2 \times 2{,}5\ m$. Centrálními svítidly jsou zde dva lustry. Každý z těchto lustrů je osazený třemi LED žárovkami ve tvaru svíčky od výrobce TESLA ($400\ lm, 3\,000\ K,\ R_a > 80,5\ W, E14$). Celková délka lustru je $0{,}64\ m$. Opět se mi nepodařilo dohledat výrobce svítidla, tento lustr je zde už od počátku využívaní rodinného domu. Na obrázku č. 32 je znázorněno rozmístění lustrů v prostoru a reálný vzhled lustru. Bohužel se mi nepodařilo najít ani u známých výrobců podobný lustr. V simulaci jsem se snažil tento lustr napodobit tak, že jsem umístil světelné zdroje do prostoru takovým způsobem, aby odpovídaly stejné poloze a úhlu natočení jako světelné zdroje osazené v lustru. Dále se zde nacházejí tři místní svítidla. První z nich osvětluje pracovní stůl. Je to stolní LED lampička SOLIGHT ($550\ lm, 4\,000\ K,\ R_a > 80,11\ W$). Dále je na konferenčním stolku umístěná lampička, osazena kompaktní zářivkou Philips ve

tvaru spirály $(741\ lm, 2\ 700\ K,\ R_a > 80, 12\ W, E27)$. Třetím místním svítidlem je stolní lampička, která je na nočním stolku u postele, osazená wolframovou žárovkou $(40\ W, E14)$. Vizualizace horního patra v DIALuxu je znázorněna na obrázku č. 33. Hodnoty činitelů odrazů jednotlivých ploch jsou uvedeny v tabulce č. 28.



Obrázek 32: Rozmístění lustrů v prostoru (rozměry jsou v metrech, umístění lustrů je označeno červenými křížky) a reálný vzhled lustru

Obrázek 33: Vizualizace horního patra v DIALuxu

Tabulka 28:Činitelé odrazu jednotlivých ploch pro horní patro

plocha	strop	zeď	podlaha
barva	světle hnědá	bílá	hnědá
činitel odrazu *ρ(-)*	0,58	0,8	0,4

Osvětlení celé plochy horního patra jsem měřil na vodorovné srovnávací rovině ve výšce $0{,}85\ m$. Síť kontrolních bodů jsem zvolil 8×9 bodů s roztečí $1\ m$. Osvětlení jsem měřil bez zapnutých svítidel na pracovním a konferenčním stolu. Dále jsem přeměřil osvětlenost na pracovním stolu, jehož rozměry jsou $1{,}3 \times 0{,}6 \times 0{,}76\ m$. Srovnávací rovinu jsem umístil na povrch stolu a síť kontrolních bodů jsem zvolil 5×3 body s roztečí $0{,}2\ m$. Měření jsem provedl při běžném nastavení stolního svítidla. V simulaci jsem nastavil stejné parametry srovnávacích rovin a výsledky z měření a simulace jsou uvedeny v tabulkách č. 29, 30. Grafické znázornění naměřených a nasimulovaných hodnot osvětlenosti jsou součástí Přílohy 5.

Tabulka 29: Výsledky měření a simulace osvětlení celé plochy horního patra

Veličina	Měření	Simulace
$\boldsymbol{E_{max}\ (lx)}$	76	50
$\boldsymbol{E_{min}\ (lx)}$	5,6	5,1
$\boldsymbol{\bar{E}_m\ (lx)}$	23,5	19,7
$\boldsymbol{U_0\ (-)}$	0,24	0,37

Tabulka 30:Výsledky měření a simulace osvětlení pracovního stolu

Veličina	Měření	Simulace
$\boldsymbol{E_{max}\ (lx)}$	583,3	798
$\boldsymbol{E_{min}\ (lx)}$	35,6	32
$\boldsymbol{\bar{E}_m\ (lx)}$	192,1	135
$\boldsymbol{U_0\ (-)}$	0,19	0,24

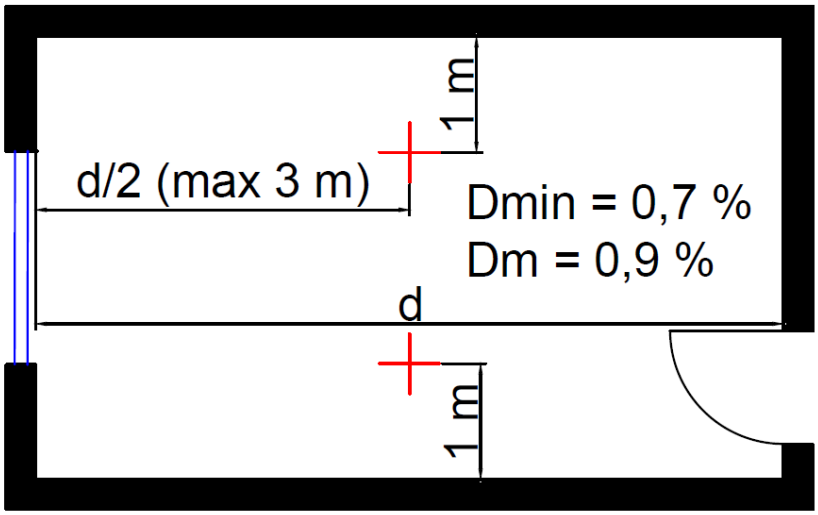
V tabulce č. 29 je uvedené, že průměrná naměřená hodnota osvětlenosti je $23{,}5\ lx$ a průměrná nasimulovaná osvětlenost je $19{,}7\ lx$. To jsou poměrně malé hodnoty osvětlenosti při uvážení, že se zde nachází prostor, který slouží jako pracovna. Navíc pracovna je umístěna na kraji místnosti, kde intenzita osvětlení bude ještě nižší. Také pro odpočinkové prostory by měla být hodnota osvětlenosti vyšší, alespoň $50\ lx$. Z tabulky č. 30 vidíme, že osvětlenost pracovního stolu je nedostatečná a rovnoměrnost osvětlení je také velmi nízká. Z toho plyne, že použitím běžného stolního svítidla nelze dosáhnout minimálních požadavků kladené pro zrakové činnost jako čtení, psaní a práce na počítači dle normy [N1]. Pokud bych měl tuto místnost zhodnotit z hlediska vlivu na cirkadiánní rytmy ve večerních hodinách, dalo by se říci, že tato místnost je vyhovující. Je zde nízká intenzita osvětlení a jsou zde použity světelné zdroje o nízké teplotě chromatičnosti. Tato místnost je příkladem,

kde lze vidět, že vizuální a nevizuální nároky osvětlení jsou protichůdné. Tento problém lze vyřešit použitím vhodných svítidel, u kterých lze nastavit intenzitu a teplotu chromatičnosti světla. V dnešní době takových svítidel už existuje celá řada.

3.2 Simulace denního osvětlení

Dostatek denního světla je pro naše psychické a fyziologické funkce naprosto nezbytné, proto vyhodnotím denní osvětlení rodinného domu. Za tímto účelem jsem provedl simulaci denního osvětlení v DIALuxu. Denní osvětlení jsem nemohl měřit z důvodu, že jsem neměl k dispozici potřebné měřicí vybavení a také že denní osvětlení se měří za specifických venkovních podmínek, které se během roku tolik nevyskytují. Jedná se o podmínky, které jsou typické pro zimní měsíce, za předpokladu tmavého terénu s činitelem odrazu světla v mezích 0,05 až 0,2 při rovnoměrně zatažené obloze.

Požadavky na úroveň denní osvětlenosti obytných budov jsou stanoveny v normě ČSN 730580-2 Denní osvětlení budov – část 2: Denní osvětlení obytných budov. Činitel denní osvětlenosti v obytných místnostech s bočním osvětlením musí být ve dvou kontrolních bodech na vodorovné srovnávací rovině ve výšce 0,85 m nad podlahou, ve vzdálenosti 1 m od bočních stěn a uprostřed hloubky místnosti (nejdále však 3 m od okna), musí být $D_{min} = 0{,}7$ % a průměrná hodnota z obou těchto bodů nejméně 0,9%, viz. obrázek č.34. Jsou-li okna na více stěnách místnosti, postačí pokud tento požadavek je dodržen pouze u jedné z dvojic kontrolních bodů. Při horním nebo kombinovaném denním osvětlení se požaduje dodržení průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti, která musí být alespoň 2%.



Obrázek 34: Požadavky na denní osvětlení obytné místnosti

Pro co nejpřesnější simulaci denního osvětlení bylo zapotřebí určit orientaci domu a zjistit zeměpisné souřadnice jeho polohy, které jsou 14°25‘ zeměpisné délky a 50°5‘ zeměpisné šířky. Dále jsem nastavil rovnoměrně zataženou oblohu, datum jsem zvolil 21. 1. 2020 v 12:00 hod. Pak jsem vybral typ oken. V celém objektu se nacházejí plastová okna s izolačními čirými dvojskly. Převodní stupeň oken je 81,5%. Simulaci denního osvětlení jsem hodnotil dle normy [N8].

3.2.1 Rozměry osvětlovacích otvorů jednotlivých místností

V obývacím pokoji, v kuchyni a v pokoji č.1 se nacházejí stejná dvojdílná okna o rozměrech $1{,}98 \times 1{,}35\ m$. Pokoj č.1 má navíc balkonové dveře o rozměrech $0{,}8 \times 2{,}13\ m$. V ložnici se nachází okno o rozměru $0{,}8 \times 1{,}1\ m$. V předsíni je okno o rozměrech $0{,}8 \times 1{,}35\ m$. V horním patře (pokoj č.2) se nachází jedno střešní okno o rozměru $0{,}8 \times 1{,}7m$, dvě třídílná okna o rozměrech $1{,}8 \times 1{,}35\ m$, která jsou umístěna naproti sobě. Výška parapetu všech oken (kromě střešního okna) je $0{,}8\ m$.

3.2.2 Výsledky simulace denního osvětlení

Výsledky simulace denního osvětlení jsou uvedeny v tabulce č.31. Hodnoty, které nevyhovují požadavkům dle normy [N8] jsou označeny červeně. V obývacím pokoji je sice dodržen požadavek na minimální hodnotu činitele denní osvětlenosti v kontrolních bodech, která musí být $0{,}7$ %, ale není dodržen požadavek, že průměrná hodnota z obou kontrolních bodů musí být $0{,}9$ %. Dále nedostatečné denní osvětlení je v ložnici, zde není splněn žádný požadavek dle normy [N8]. V horním patře v některých kontrolních bodech nejsou sice splněny požadavky dle normy, ale norma říká, že pokud okna jsou na více stěnách místnosti, postačí, jsou-li požadavky normy splněny alespoň v jedné z dvojic kontrolních bodů. Z tabulky č.31 je patrné, že u jedné dvojce kontrolních bodů jsou požadavky normy splněné. V kuchyni, v pokoji č.1 a v předsíni jsou požadavky normy [N8] splněny. Z důvodu malých rozměrů koupelny nebylo zde možné dle normy [N8] hodnotit denní osvětlení. Tato místnost je velmi tmavá a dle normy [N8] je z hlediska denního osvětlení nevyhovující. Je zde jen malé okno o rozměrech $0{,}7\ \times 0{,}53\ m$. Umělé osvětlení je zde nutné používat i přes den.

Tabulka 31: Výsledky simulace denního osvětlení jednotlivých místností

Místnost	**Počet dvojic kontrolních bodů**	**Kontrolní bod č.1** $D_{min}(\%)$	**Kontrolní bod č.2** $D_{min}(\%)$	**Průměrná hodnota** (%)	**Plocha místnosti** (m^2)
Obývák	1	0,89	0,87	0,88	17,7
Kuchyň	1	1,8	1,8	1,8	11
Pokoj č.1	1	1,4	1,4	1,4	14,96
Ložnice	1	0,52	0,16	0,34	9,12
Předsíň	1	1,6	1,4	1,5	7,5
Horní patro	3	0,41 5,2 2,2	0,39 0,43 2,4	0,4 2,82 2,3	77,9

4 Návrh na renovaci osvětlení rodinného domu

Jedním z hlavních cílů diplomové práce je vytvořit zcela nový návrh osvětlení rodinného domu s ohledem na biorytmy člověka. Mým cílem je navrhnou takové osvětlení rodinného domu, které dokáže vytvořit dostatečné hladiny osvětlení pro dobré vidění, ale také aby nebyly narušeny cirkadiánní rytmy uživatelů domu. Abych tohoto cíle dosáhnul, volil jsem taková svítidla, které disponují TunableWhite technologií (svítidla, které dokáží měnit své spektrální vlastnosti světla). Jelikož tato svítidla jsou poměrně finančně nákladná, umístil jsem je pouze do prostor, u kterých si myslím, že jejich použití je vhodné. U stávajícího osvětlení domu lze brát jako nedostatek, kromě nedostatečné osvětlenosti v některých částech domu, nemožnost regulace osvětlení. Uživatelé domu mají jen minimální možnost přizpůsobovat osvětlení svým individuálním potřebám nebo momentální náladě, je tedy nutné, tuto skutečnost při návrhu brát v úvahu. Při návrhu nového osvětlení budu dále vycházet, že jedním z hlavních požadavků uživatelů je, aby osvětlení podporovalo správnou funkci jejich cirkadiánních rytmů. Celý nový návrh osvětlení rodinného domu a následné simulace jsem provedl v DIALuxu evo 9.0. Při simulaci osvětlení nově navržených osvětlovacích soustav jednotlivých místností byly nastaveny stejné srovnávací roviny jako při hodnocení stávajícího osvětlení. Všechna použitá svítidla jsou uvedeny v kusovníku, který je součástí Přílohy č. 13. Níže jsou popsány nově navržené osvětlovací soustavy jednotlivých místností domu.

4.1 Obývací pokoj

Pro novou osvětlovací soustavu obývacího pokoje jsem jako centrální svítidlo zvolil stropní přisazené svítidlo Rundo s opálovým difuzorem od firmy Halla. Jedná se o svítidlo s technologií TunableWhite (dále jen TW) s možnostmi nastavení teploty chromatičnosti v rozsahu $2\,700\ K$ $až$ $6\,500\ K$ a nastavení intenzity osvětlení (svítidlo lze stmívat do 1%). Svítidlo je řízené přes DALI. Světelný tok svítidla je $3\,470\ lm$, příkon $38{,}5\ W$, měrný výkon je $90\ lm/W$, $R_a \geq 90$, část světelného toku je vyzařována do horního poloprostoru. Cena svítidla, která je uvedena na stránkách výrobce je $16\,778\ K$č. Dalším použitým svítidlem je nástěnné přisazené svítidlo Orbit LED 927 DIM8 od výrobce Delta Light. Svítidlo vyzařuje polovinu světelného toku do dolního poloprostoru a druhou polovinu do horního poloprostoru. Svítidlo je stmívatelné přes DALI. Kromě toho, že toto svítidlo osvětluje místnost, slouží jako dekorační a vytváří tzv. efektové osvětlení, které přispívá k světelné

atmosféře obývací pokoje. Světelný tok svítidla je $504\ lm$, příkon $7\ W$, měrný výkon je $72\ lm/W$, $R_a \geq 90$, $T_c = 2700K$. Cena svítidla je $5\ 570\ K$č. Reálný vzhled svítidel Rundo a Orbit LED 927 DIM8 je znázorněn na obrázku č. 35. Aby nevznikal velký kontrast při sledovaní televize mezi obrazovkou a pozadím, umístil jsem na zadní stranu televize LED pásky od výrobce Philips. Jedná se LED pásky malého výkonu $4{,}5\ W/m$ s možností stmívaní, světelný tok je $350\ lm$, $T_c = 3\ 500\ K$, $R_a \geq 80$, cena LED pásku za jeden metr je $419\ K$č (použil jsem $2\ m$).

Obrázek 35: Svítidlo Rundo (vlevo) a svítidlo Orbit LED 927 DIM8 (vpravo) [32][33]

K místnímu osvětlení jsem použil dvě stojací lampy PARDEONE černé barvy od firmy Brilagi. Tyto dvě stojací lampy jsem osadil LED žárovkou Vitae se závitem E27. Autorem této LED žárovky je Hynek Medřický, který se zabývá problematikou vlivu světla na cirkadiánní rytmy. Vitae žárovka má tři režimy. První režim je bez obsahu modrého světla, který je vhodný těsně před spaním nebo při probuzení v noci. Druhým režimem je teple bílá, který je vhodný před spaním (cca 1,5 hodiny před spaním) a třetím režimem je studená bílá vhodný pro zvýšení pozornosti. Tyto tři režimy se ovládají pomocí vypnutí a zapnutí žárovky, přičemž po prvním zapnutím se rozsvítí světlo bez obsahu modrého světla z důvodu nenarušení cirkadiánních rytmů při zapnutí žárovky večer. Po 11 sekundách se celý cyklus restartuje a opět při prvním zapnutím žárovky se zapne první režim. Parametry LED žárovky Vitae jsou uvedeny v tabulce č. 32. Cena žárovky Vitae je poměrně finančně nákladná oproti běžným LED žárovkám. Cena za jeden kus je $1\ 990\ K$č (při nákupu většího počtu žárovek je cena nižší).

Tabulka 32: Parametry LED žárovky Vitae

Barva světla	Oranžová	Teplá bílá	Studená bílá
P (W)	1,9	5,2	6,8
$\boldsymbol{T_c\ (K)}$	-	2800	4000
$\boldsymbol{R_a\ (-)}$	-	>96	>96
$\boldsymbol{\phi\ (lm)}$	10	300	440
I (mA)	8	22	29

Na obrázku č. 36a) je vizualizace celé nově navržené osvětlovací soustavy obývacího pokoje. Oproti starému osvětlení obývacího pokoje si uživatel může nastavit vlastní světelné podmínky. Má možnost si osvětlení přizpůsobit takovým způsobem, aby co nejméně negativně ovlivňovalo jeho cirkadiánní rytmy. Jeden z možných způsobů jak si uživatel může přizpůsobovat světelné scény s ohledem na cirkadiánní rytmy je znázorněno na obrázcích č. 36b), 36c) a 36d). Na obrázku č 36b) jsou nastavená svítidla takto: všechna svítidla vyzařují maximální možný světelný tok, teplota chromatičnosti stropního svítidla je nastavena na $4\ 500\ K$ a žárovka Vitae svítí ve svém třetím režimu ($4\ 000\ K$). Toto nastavení svítidel přispívá k zvýšení pozornosti (vhodné např. pro nějaká drobné ruční práce, studium nebo pro společenskou událost). Přibližně 1,5 až 2 hodiny před spaním lze použít světelnou scénu, která je znázorněna na obrázku č. 36c). Zde jsou svítidla nastavená takto: svítidla Rundo a Orbit LED 927 DIM8 jsou setměna na 50%. Teplota chromatičnosti svítidla Rundo je nastavená na $2\ 700\ K$. Žárovky Vitae jsou nastaveny v druhém režimu ($2\ 800\ K$). Samozřejmě by měla být vypnutá televize, aby nepotlačovala tvorbu melatoninu. Ještě ideálnější nastavení světelné soustavy podporující tvorbu melatoninu je na obrázku č. 36d). Zde jsou svítidla nastavena takto: svítidla Rundo a Orbit LED 927 DIM8 jsou setměná na 5%. Žárovka Vitae svítí v prvním režimu (vyzařuje pouze červeno-oranžové světlo).

Tabulka č. 33 obsahuje výsledné nasimulované parametry osvětlenosti pro jednotlivé světelné scény, které jsou znázorněny na obrázcích č. 36b), c) a d). Nová osvětlovací soustava dokáže dosáhnout hladiny osvětlenosti až $183\ lx$ (průměrná hodnota). Grafické znázornění nasimulovaných hodnot osvětlenosti je součástí Přílohy 6.

Obrázek 36: a) vizualizace celé nově navržené osvětlovací soustavy b)

Tabulka 33: Výsledky simulace nové osvětlovací soustavy obývacího pokoje

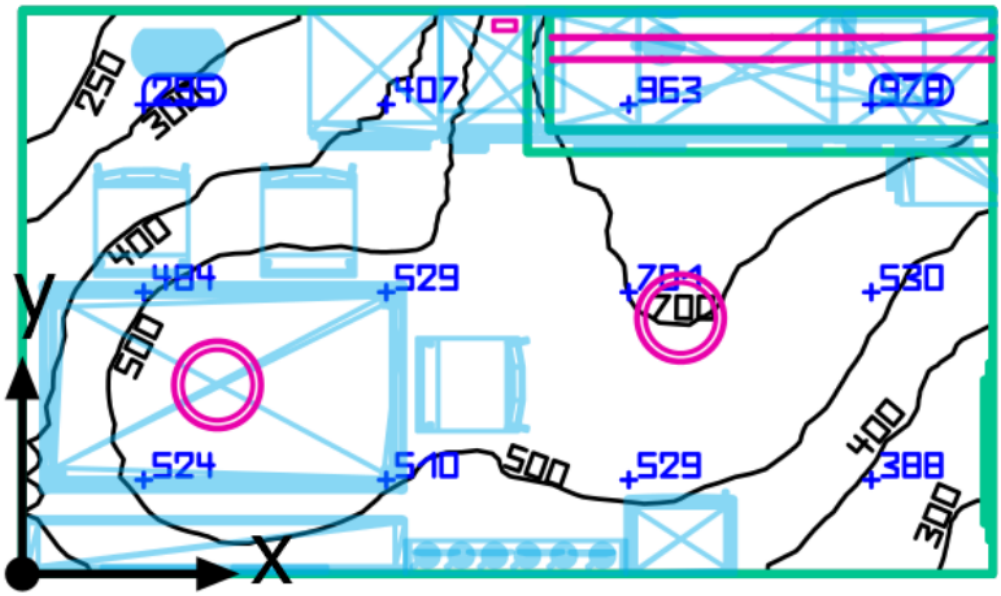
Veličina	Hodnoty osvětlení pro obrázek č. 37b)	Hodnoty osvětlení pro obrázek č. 37c)	Hodnoty osvětlení pro obrázek č. 37d)
$E_{max}\ (lx)$	397	197	5,7
$E_{min}\ (lx)$	75	37	1,7
$\bar{E}_m\ (lx)$	183	92,2	3,11
$U_0\ (-)$	0,41	0,4	0,55

4.2 Kuchyň

Část osvětlovací soustavy kuchyně jsem ponechal původní. Jedná se o osvětlení celé kuchyňské linky a sporáku. Jako nová svítidla jsem zvolil dvě přisazená stropní svítidla Rundo bílé barvy s opálovým difuzorem od firmy Halla. Disponují také TW technologií ($2\,700\ K$ $až$ $6\,500\ K$) a dají se stmívat. Světelný tok svítidla je $2\,980\ lm$, příkon je $39{,}2\ W$, měrný výkon je $83\ lm/W$, $R_a \geq 90$, veškerý světelný tok je vyzařován do dolního poloprostoru. Cena svítidla $14\,577\ K$č. Vizualizace nového osvětlení kuchyně je znázorněno na obrázku č. 37.

Obrázek 37: Vizualizace nového osvětlení kuchyně v DIALuxu

Ve stávajícím osvětlení kuchyně bylo zjištěno nedostatečné osvětlení jídelního stolu, proto jsem jedno svítidlo Rundo umístil přímo nad jídelní stůl. Nevolil jsem zde závěsná svítidla, jak je zvykem u jídelních stolů. Prvním důvodem je malý prostor kuchyně a závěsná svítidla by tento prostor ještě vizuálně zmenšila a druhým důvodem je, že by mohla bránit vstupu denního světla do místnosti. Tato osvětlovací soustava na rozdíl od předešlé umožňuje uživateli přizpůsobovat světelné podmínky z hlediska cirkadiánních rytmů. Ráno lze nastavit světlo o vysoké intenzitě a vysoké teplotě chromatičnosti a naopak např. při večeři lze světlo ztlumit a snížit teplotu chromatičnosti. Obrázek č. 38 znázorňuje simulaci osvětlení nové osvětlovací soustavy kuchyně (všechna svítidla svítí na plný výkon) ze kterého je také patrné rozmístění jednotlivých svítidel.



Obrázek 38: Grafické znázornění nasimulovaných hodnot osvětlenosti a rozmístění svítidel nové osvětlovací soustavy kuchyně (maximálně možná osvětlenost)

Tabulka č. 34 obsahuje výsledky simulace nově navrženého osvětlení kuchyně. Maximální hodnoty osvětlenosti, které osvětlení kuchyně dokáže vytvořit, je 553 lx při rovnoměrnosti 0,53. Samotná dvě svítidla Rundo dokáží vytvořit hladinu osvětlenosti 385 lx o rovnoměrnosti osvětlení 0,67. Také osvětlenost kuchyňské linky je naprosto v pořádku. Dále došlo k nápravě osvětlenosti jídelního stolu, ta by měla být alespoň 300 lx. V našem případě je dosáhnuto průměrné hodnoty osvětlenosti 521 lx při rovnoměrnosti 0,78. Svítidla jsou regulovatelná a uživatel, podle svých potřeb může intenzitu osvětlenosti snížit. V příloze č. 7 jsou uvedeny graficky zpracované hodnoty osvětlenosti jídelního stolu a kuchyňské linky.

Tabulka 34: Výsledky simulace nové osvětlovací soustavy kuchyně

Veličina	Maximální možné parametry osvětlení (všechny svítidla při plném výkonu)	Pouze hlavní svítidla Rundo (při plném výkonu)	Osvětlení kuchyňské linky	Osvětlení jídelního stolu
E_{max} (lx)	978	551	1 200	584
E_{min} (lx)	295	258	743	405
$\bar{E}_m$ (lx)	553	385	1022	521
U_0 $(-)$	0,53	0,67	0,73	0,78

4.3 Pokoj č.1

Do pokoje č.1 jsem jako hlavní svítidla zvolil dvě LED lineární svítidla Sant-S s opálovým difuzorem od firmy Halla. Světelný tok svítidla je $1\,010\ lm$, teplota chromatičnosti je $3000\ K$, podání barev je $R_a \geq 80$, příkon svítidla je $10{,}6\ W$, cena svítidla je 3 746 Kč. Svítidlo je s přímo-nepřímím vyzařováním (v poměru 90:10), tím vzniká difuzní osvětlení, které vytváří klidnější světelnou atmosféru a navíc se prostor opticky zvětší. Svítidlo je stmívatelné přes DALI. Uživatel místnosti si ve večerních hodinách může osvětlení přizpůsobit takovým způsobem, že tvorba melatoninu nebude potlačována. V této místnosti jsem nevolil svítidla s TW technologií. Myslím si, že zde nejsou nutné, protože tato místnost je využívaná hlavně ve večerních hodinách a přes den sem proniká dostatek denního světla. Pro nabuzení organismu a zastavení produkce melatoninu v ranních hodinách lze využít svítidla s TW technologií, která se nacházejí v koupelně a v kuchyni. Také se ušetří poměrně velké finanční náklady, protože stejné svítidlo s TW technologií, je téměř třikrát dražší.

Dále se tu nachází pracovní stůl, který jak bylo zjištěno měřením a simulací v předešlé kapitole není dostatečně osvětlen, pokud vycházíme z normy [N1]. Při návrhu osvětlení stolu jsem vycházel ze dvou předpokladů. Prvním předpokladem je, že pracovní stůl se k práci využívá v brzkých večerních hodinách a uživatel potřebuje udržet pozornost tzn. použít světlo chladnějších tónů. Druhý předpoklad je, že pracovní stůl je naopak využívaný v pozdních večerních hodinách a mělo by se využít světlo s teplejšího tónem, aby nebylo bráněno produkci melatoninu. Abych opět ušetřil za svítidlo s TW technologií, zvolil jsem ekonomičtější řešení. Použil jsem dvě stejná svítidla, ale s rozdílnou teplotou chromatičností $3000\ K\ a\ 4000\ K$. Uživatel má tedy možnost volit si různou teplotu chromatičnosti. Tyto dvě svítidla jsem umístil nad pracovní stůl. Jedná se o směrově nastavitelná vestavená LED svítidla Basi od firmy Halla. Světelný tok svítidel je $1260\ lm$, podání barev je $R_a \geq 80$, příkon svítidla je $9{,}7\ W$, cena je 3 273 Kč (cena svítidla s TW technologií je 16 440 Kč). Svítidlo je provedené jako reflektor tj. vyzařování světelného toku je přímé. Svítidla Sant-S a Basi jsou znázorněna na obrázku č. 39.

Obrázek 39: Svítidlo Sant-S (vlevo) a svítidlo Basi (vpravo) [36][35]

Jako místní svítidlo na pracovním stole jsem vybral nástěnnou nastavitelnou lampu Spot Display od výrobce SLV GMBH se závitem E27. Další místní svítidlo jsem umístil k čelu postele. Jedná se o nástěnnou lampu Tolomeo Faretto se závitem E27 od Artemide. Obě místní svítidla jsou osazená LED žárovkami Vitae. Na obrázku č. 40 je vizualizace nově navržené osvětlovací soustavy místnosti.

Obrázek 40: Vizualizace nové osvětlovací soustavy pokoje č.1

Tabulka č. 35 obsahuje výsledky simulace nově navržené osvětlovací soustavy místnosti. Pomocí centrálního osvětlení lze dosáhnou hladiny osvětlenosti 71 lx, což pro prostor, který je určený k odpočinku je dostačující. Dále také došlo k nápravě osvětlení pracovního stolu. Pouze při použití svítidla Basi je zde dosáhnuto průměrné osvětlenosti 682 lx s rovnoměrností 0,61. Tato osvětlenost a rovnoměrnost je dostačující dle normy ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlování – Část 1: Vnitřní pracovní prostory. Při použití místního

svítidla se osvětlenost ještě zvýší. Grafické znázornění nasimulovaných hodnot místnosti a pracovního stolu je součástí Přílohy 8.

Tabulka 35: Výsledky simulace nové osvětlovací soustavy pokoje č.1

Veličina	Maximální možné parametry osvětlení (všechny svítidla při plném výkonu)	Pouze hlavní svítidla Santa-S (při plném výkonu)	Osvětlení pracovního stolu (bez místního svítidla)
$E_{max}\ (lx)$	1115	127	842
$E_{min}\ (lx)$	38	29	415
$\bar{E}_m\ (lx)$	165	71	682
$U_0\ (-)$	0,23	0,41	0,61

4.4 Ložnice

Ložnice slouží pouze ke spaní a není třeba zde vytvořit vysokou hladinu osvětlenosti. Současnému osvětlení ložnice se dá vytknout absence svítidla, které by osvětlovalo prostor před skříněmi a nedostatečné osvětlení u lůžka, které by vytvořilo dostatečnou hladinu osvětlenosti pro čtení na lůžku. Svítidlo, které osvětluje prostor před skříněmi, a skříně samotné jsem použil lineární vestavené LED svítidlo Lipo60 od firmy Halla. Použitý druh optiky je mikroprisma. Světelný tok svítidla je $500\ lm$, teplota chromatičnosti je $3000\ K$, podání barev $R_a \geq 80$, příkon svítidla je $3{,}9\ W$, měrný výkon svítidla je $128\ lm/W$, cena svítidla je 2 816 Kč. Pak jsem použil nástěnná svítila Orbit LED 927 DIM8 na podélných stranách místnosti (na každé straně jedno). Tato svítidla jsem již zvolil v obývacím pokoji. Svítidla vytváří efektní osvětlení a dokáží osvětlit místnost. Dále také neoslňují, pokud člověk leží na lůžku. K posteli jsem umístil dvě místní svítidla. Jedná se nástěnné lampy Tolomeo Faretto se závitem E27 od Artemide. Obě lampy jsou osazená LED žárovkami Vitae se třemi druhy režimy svícení, které jsou výše popsány. Na obrázku č. 41 je znázorněn vzhled svítidel Tolomeo Faretto a Lipo60 a obrázek č. 42 znázorňuje vizualizaci nového návrhu osvětlovací soustavy ložnice.

Obrázek 41: Reálný vzhled svítidla Tolomeo Faretto (vlevo) a Lipo60 (vpravo) [37][34]

Obrázek 42: Vizualizace nové osvětlovací soustavy ložnice

V tabulce č. 36 jsou uvedeny výsledky simulace nové osvětlovací soustavy ložnice. Během simulace svítila všechna svítidla na plný výkon. V nově navržené osvětlovací soustavě lze dosáhnou maximální průměrné osvětlenosti 115 lx při rovnoměrnosti 0,43. Grafické znázornění nasimulovaných hodnot osvětlení je součástí Přílohy 9. Všechna svítidla jsou regulovatelná a uživatel si může osvětlení přizpůsobit podle vlastních potřeb.

Tabulka 36: Výsledky simulace nové osvětlovací soustavy ložnice

Veličina	Všechny svítidla při plném výkonu
$\boldsymbol{E_{max}\ (lx)}$	261
$\boldsymbol{E_{min}\ (lx)}$	71
$\boldsymbol{\bar{E}_m\ (lx)}$	115
$\boldsymbol{U_0\ (-)}$	0,43

4.5 Koupelna/WC

Při návrhu osvětlení koupelny jsem vycházel z předpokladu, že ta to místnost je jedna z prvních místností, kterou obyvatelé rodinného domu po ránu navštíví. Je tedy nutné, aby osvětlení dokázalo vytvořit vysoké hladiny osvětlenosti o vysoké teplotě chromatičnosti. Tím biologické hodiny v mozku dostanou informaci, že začíná den a tělo se připraví na náročné aktivity běh dne. Naopak večerní osvětlení místnosti by mělo vytvořit světlo o nižší intenzitě a teplejšího tónu. Proto je v této místnosti nutné použít svítidla s TunableWhite technologií. Jako centrální svítidla jsem zvolil přímá vestavená LED svítidla Ravo s opálovým difuzorem se stupněm krytí IP44 od firmy Halla. Teplotu chromatičnosti lze nastavit v rozsahu $2\,700\,K$ $až$ $6\,500\,K$, svítidlo je stmívatelné. Světelný tok svítidla je $1\,760\,lm$, podání barev $R_a \geq 90$, příkon svítidla je $32\,W$, měrný výkon svítidla je $56\,lm/W$, cena svítidla je 11 314 Kč. Reálný vzhled svítidla je znázorněn na obrázku č. 43.

Obrázek 43: Reálný vzhled svítidla Ravo [38]

V současné době chybí v této místnosti osvětlení zrcadla. To jsem vyřešil dvěma typy svítidel o různé teplotě chromatičnosti. První typ svítidla jsem umístil na zrcadlo. Jedná se o koupelnové přisazené LED svítidlo Greenlux. Toto svítidlo má teplotu chromatičnosti $4\,000\,K$ a mělo by se používat k osvětlení zrcadla v ranních hodinách, aby podpořilo ranní nabuzení organismu. Světelný tok svítidla je $1\,000\,lm$, podání barev je $R_a \geq 80$, příkon svítidla je $12\,W$, měrný výkon svítidla je $83\,lm/W$, cena svítidla je 1 064 Kč. Pro večerní osvětlení zrcadla jsem využil dvě přisazená svítidla WB062 od firmy Franklite, které jsem umístil po stranách zrcadla. Teplota chromatičnosti těchto svítidel je $2\,700\,K$, proto je lze využít k večernímu osvětlení zrcadla, aniž by významně potlačovala tvorbu melatoninu v pozdějších hodinách. Parametry svítidla jsou následující: světelný tok svítidla je $366\,lm$,

podání barev je $R_a \geq 80$, příkon svítidla je 6,6 W, měrný výkon svítidla je 55 lm/W. Cena svítidla je 2 930 Kč. Na obrázku č. 44 je vizualizace nově navržené osvětlovací soustava koupelny.

Obrázek 44: Vizualizace nové osvětlovací soustavy koupelny

Tabulka č. 37 obsahuje výsledné parametry osvětlení místnosti získané simulací. Centrální svítidla Ravo dokáží vytvořit v místnosti hladinu osvětlenosti 575 lx (průměrná hodnota) o rovnoměrnosti osvětlení 0,43. Pokud všechna svítidla koupelny svítí na plný výkon, je průměrná osvětlenost koupelny 616 lx při rovnoměrnosti 0,48. Intenzita osvětlenosti v této místnosti, z hlediska vizuálních požadavku je zbytečně vysoká, ale z hlediska nevizuálních funkcí, je vysoká intenzita osvětlenosti žádoucí (pro ranní osvětlení). Svítidla jsou regulovatelná a lze během dne podle potřeby intenzitu osvětlenosti snížit a tím pádem snížit náklady za energie. Grafické znázornění nasimulovaných hodnot osvětlenosti koupelny jsou součástí Přílohy 10.

Tabulka 37: Výsledné parametry osvětlení získané simulací nové osvětlovací soustavy koupelny

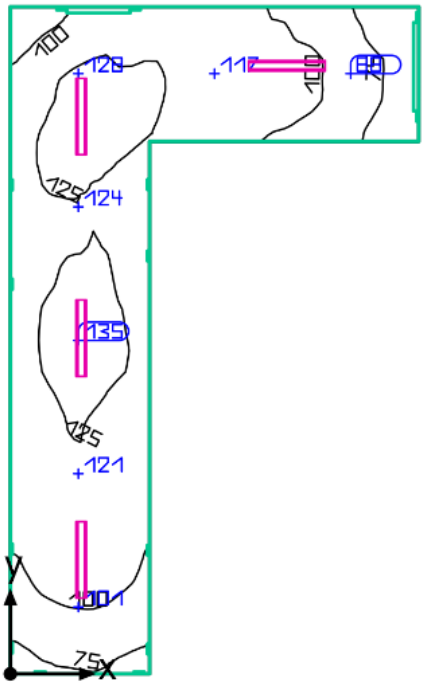
Veličina	Pouze centrální svítidla Ravo	Všechny svítidla při plném výkonu
E_{max} (lx)	810	971
E_{min} (lx)	248	300
$\bar{E}_m$ (lx)	575	616
U_0 $(-)$	0,43	0,48

4.6 Chodba

Při hodnocení stávajícího osvětlení chodby byla zjištěna nedostatečná hladina osvětlenosti. Pro novou osvětlovací soustavu chodby jsem zvolil čtyři lineární vestavené LED svítidla Lipo60 od firmy Halla. Toto svítidlo jsem již použil v ložnici pro osvětlení prostoru před skříněmi. Z obrázku č. 45 je patrné rozmístění jednotlivých svítidel a také tento obrázek znázorňuje grafické zpracování nasimulovaných hodnot osvětlenosti nové osvětlovací soustavy. V tabulce č. 38 jsou uvedeny výsledné hodnoty parametrů osvětlení. Průměrná intenzita osvětlenosti chodby je 110 lx při rovnoměrnosti 0,8. Osvětlenost tak i rovnoměrnost je pro chodbu naprosto dostačující. Svítidla jsou regulovatelná a uživatel si může intenzitu osvětlení snížit podle svých požadavků. Na chodbu není třeba volit svítidla s TunableWhite technologií, protože zde obyvatelé domu netráví tolik času jako v koupelně nebo v kuchyni, proto je zbytečné do této technologie investovat.

Tabulka 38: Výsledky simulace osvětlení nové osvětlovací soustavy chodby

Veličina	Svítidla Lipo60 při plném výkonu
E_{max} (lx)	135
E_{min} (lx)	88
$\bar{E}_m$ (lx)	110
U_0 $(-)$	0,8



Obrázek 45: Grafické znázornění osvětlenosti výsledku simulace nového osvětlení chodby

4.7 Předsíň

Měřením a simulací osvětlenosti této místnosti bylo zjištěno, že tato místnost je nedostatečně osvětlená. Také tu chybí osvětlení zrcadla. Pro vytvoření dostatečné hladiny osvětlenosti jsem zde použil opět vestavené LED svítidla Lipo60 od firmy Halla s teplotou chromatičnosti 3 000 K a možností regulací intenzity osvětlení. Svítidlo Lipo60 lze použít jako samostatné svítidlo nebo lze tato svítidla spojovat a mohou tedy vytvářet osvětlovací

systém. K osvětlení této místnosti jsem použil tři svítidla Lipo60, které jsem spojil k sobě a vznikl mi tak lineární osvětlovací systém o délce $1\,686\,mm$ (délka jednoho svítidla je $561\,mm$), který jsem umístil doprostřed místnosti. K osvětlení zrcadla jsem použil nástěnné LED svítidlo Mahogany od firmy Philips. Teplota chromatičnosti svítidla je $2\,700\,K$, světelný tok je $900\,lm$, příkon $9{,}5\,W$, měrný výkon je $95\,lm/W$, $R_a \geq 80$. Maloobchodní cena svítidla je 1 319 Kč. Zde jsem také nepoužil svítidla s TunableWhite technologií, protože předpokládám, že intenzivnímu světlu o vysoké teplotě chromatičnosti se obyvatel domu vystaví v ranních hodinách v koupelně a kuchyni. Vizualizace nově navržené osvětlovací soustavy předsíně je na obrázku č. 46.

Obrázek 46: Vizualizace nové osvětlovací soustavy předsíně

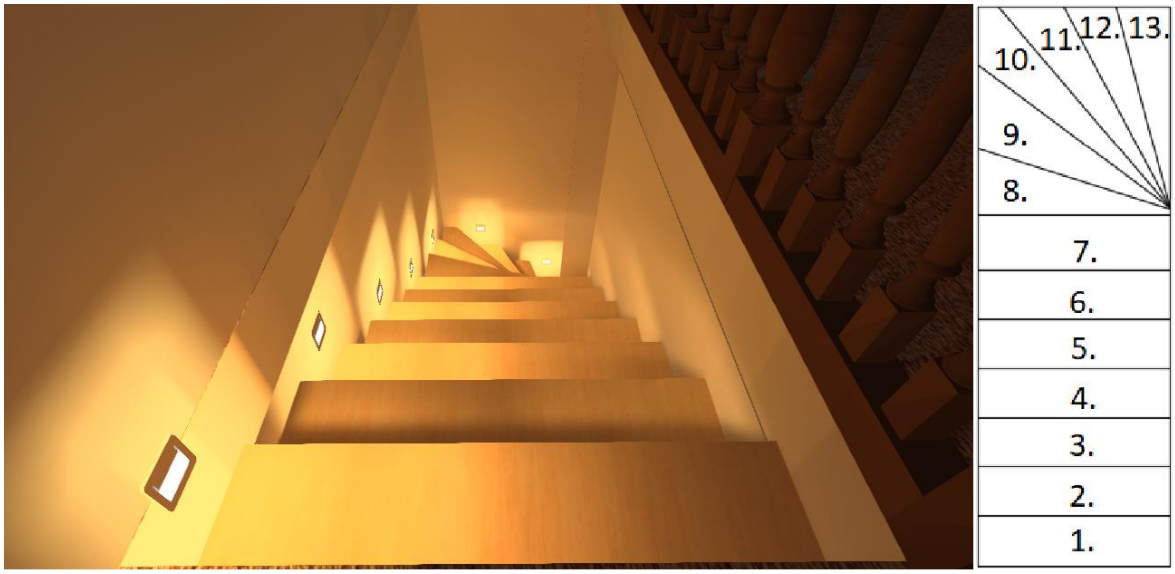
V tabulce č. 39 jsou uvedeny výsledky simulace osvětlení nově navržené osvětlovací soustavy předsíně. Centrální osvětlovací systém Lipo60 dokáže vytvořit hladinu osvětlenosti o průměrné hodnotě $118\,lx$ při rovnoměrnosti 0,68. Pokud je v této místnosti použito ke svícení také svítidlo nad zrcadlem, průměrná hodnota osvětlenosti se zvýší na $150\,lx$. Grafické zpracování nasimulovaných hodnot osvětlenosti je součástí Přílohy č11.

Tabulka 39: Výsledky simulace osvětlení nové osvětlovací soustavy předsíně

Veličina	Pouze centrální svítidla Lipo60	Všechny svítidla při plném výkonu
$E_{max}\ (lx)$	185	230
$E_{min}\ (lx)$	80	93
$\bar{E}_m\ (lx)$	118	150
$U_0\ (-)$	0,68	0,62

4.8 Schody

Měřením a simulací osvětlenosti současného osvětlení schodiště bylo zjištěno jako nedostatečné. Důvodem je, že schodiště osvětluje pouze jedno svítidlo, které nedokáže vytvořit dostatečnou hladinu osvětlenosti. Pro nové osvětlení schodiště jsem zvolil vestavená směrová LED svítidla Downunder pure 80 od firmy SLV GMBH, které jsem umístil podél ramene schodiště ob jeden každý schod (celkem jsem použil 7 svítidel). Takto rozmístěná svítidla zvýrazní tvar schodiště a zvýší se tím bezpečnost pohybu na schodišti. Technické parametry jednoho svítidla jsou následující: teplota chromatičnosti svítidla je $3\,000\,K$, světelný tok je $171\,lm$, příkon je $3\,W$, měrný výkon je $54\,lm/W$, $R_a \geq 80$. Maloobchodní cena svítidla je 1 498 Kč. Na obrázku č. 47 je vizualizace nového osvětlení schodiště.



Obrázek 47: Vizualizace nově navrženého osvětlení schodiště a pořadí jednotlivých schodů.

Tabulka č. 40 obsahuje výsledky simulace osvětlenosti pro jednotlivé schody. Pořadí jednotlivých schodů v tabulce č. 40 jsou uspořádány od nejvyššího schodu po nejnižší, jak znázorňuje obrázek č. 47. Při návrhu nového osvětlení schodiště jsem kladl největší důraz na zvýraznění tvaru schodiště. Myslím si, že z hlediska bezpečnosti, je rozlišovaní jednotlivých schodů nejdůležitější aspekt při osvětlovaní schodiště. Na druhou stranu to má negativní vliv na rovnoměrnost osvětlení, jak lze vidět z tabulky č. 40. Každý schod, u kterého je umístěno směrové svítidlo je poměrně nerovnoměrně osvětlen. V blízkosti svítidla se nachází vysoká intenzita osvětlení a na nejvzdálenější straně schodu od svítidla je plocha schodu osvětlena méně. Nicméně každý schod schodiště je osvětlen dostatečně, pokud

vycházíme z normy ČSN 73 4301 Změna Z1 – Obytné budovy, která udává pro schodiště osvětlenost 75 lx.

Tabulka 40: Výsledné nasimulované hodnoty osvětlenosti jednotlivých schodů pro nové osvětlení schodiště

Číslo schodu	Simulace	
	$E_m(lx)$	$U_0(-)$
1.	307	0,22
2.	85	0,61
3.	290	0,21
4.	89	0,85
5.	302	0,23
6.	88	0,85
7.	298	0,25
8.	86	0,86
9.	321	0,25
10.	86	0,82
11.	329	0,24
12.	85	0,81
13.	330	0,25

4.9 Horní patro

Horní patro domu je poměrně komplikované z hlediska projektování osvětlení. Za prvé je tento prostor rozdělen do různě funkčně vymezených částí. Za druhé se jedná o podkroví a problém s návrhem osvětlení nastává v místech, kde se prostor zešikmuje z důvodu tvaru střechy. Současný prostor je osvětlen pouze dvěma závěsnými lustry, který nedokáží dostatečně osvětlit takto velké podkroví. Dalším zjištěným nedostatkem je nedostatečné osvětlení pracovního stolu. Vizualizace celé nové osvětlovací soustavy horního patra je na obrázku č. 48 a č. 49. Grafické znázornění nasimulovaných hodnot osvětlenosti místnosti a rozmístění jednotlivých svítidel je součástí Přílohy č. 12.

Jako centrální svítidla místnosti jsem použil stejná svítidla jako v pokoji č. 1. Jedná se o šest LED lineárních svítidel Sant-S s opálovým difuzorem od firmy Halla (teplota chromatičnosti je 3 000 K).

K osvětlení pracovního stolu jsem použil směrově nastavitelná vestavená LED svítidla Basi od firmy Halla. Stejné svítidlo jsem také použil k osvětlení prostoru před pracovním stolem, kde se nachází flipchart tabule. Tato pracovna je poměrně využívaná, proto jsem svítidla Basi vybral s TW technologií. K místnímu osvětlení pracovního stolu jsem použil

stolní lampu Flex od výrobce Leds-C4. Maloobchodní cena svítidla je 3 526 Kč. Stolní lampu jsem osadil LED žárovkou Vitae.

Další funkčně vymezený prostor podkroví, který má podobný účel jako obývací pokoj (místo s konferenčním stolkem a s křesly) je v současné době také nedostatečně osvětlen. Jelikož toto místo je využíváno různými způsoby, například ke studiu, pro různé drobné práce nebo jen k poslechu hudby je nutné, aby osvětlení dokázalo vytvořit různé světelné podmínky. K osvětlení tohoto prostoru jsem použil dvě svítidla. Prvním svítidlem, které jsem použil, je svítidlo Rundo s částečně nepřímým vyzařováním, opálovým difuzorem a s TW technologií od firmy Halla. Toto svítidlo jsem již také použil jako centrální svítidlo v obývacím pokoji. V tomto funkčně vymezeném prostoru prochází komín, který je zazděný. Svítidlo Rundo jsem umístil na stěnu zazděného komína orientovanou k tomuto funkčně vymezenému prostoru viz. obrázek č. 48. Na stěnu nad konferenčním stolkem jsem umístil nástěnné svítidlo Spica od výrobce Leds-C4, které jsem opět osadil LED žárovkou Vitae. Cena nástěnného svítidla je 1 678 Kč.

Část prostoru tohoto podkroví slouží ke spaní, kde je umístěná postel. Zde jsem umístil na noční stolky vedle postele dvě stolní lampy Versa Matalina od výrobce Versa opět osazené LED žárovkami Vitae se třemi režimy svícení. Maloobchodní cena svítidla Versa je 1 189 Kč. Dále nedostatečně osvětlený prostor podkroví je prostor kolem skříně s oblečením a prostor, kde stojí dva stojany na oblečení. Pro osvětlení těchto prostorů jsem použil reflektor, kterým je LED svítidlo Basi od výrobce Halla bez TW technologie. Teplota chromatičnosti tohoto svítidla je 3 000K. Toto svítidlo jsem také použil pro osvětlení pracovního stolu v pokoji č. 1, parametry svítidel jsou tedy identické.

Obrázek 48:Vizualizace nově navržené osvětlovací soustavy horního patra (pohled 1)

Obrázek 49:Vizualizace nově navržené osvětlovací soustavy horního patra (pohled 2)

Tabulka č. 41 obsahuje výsledné hodnoty osvětlenosti tohoto prostoru získaných simulací. Při požití všech instalovaných svítidel v místnosti při plném možném výkonu, lze dosáhnout průměrné osvětlenosti 166 lx. Samozřejmě tento stav při běžném provozu nenastane. Pokud svítí pouze centrální svítidla místnosti, dosáhne se osvětlenosti 69 lx. Může se zdát, že hodnota osvětlenosti je poměrně nízká, ale je nutné brát v potaz, že je to způsobené nízkými hodnotami osvětlenosti v krajních částech místnosti. Pod hlavními svítidly se průměrná hodnota osvětlenosti pohybuje kolem 100 lx, což pro pohyb v prostoru místnosti je dostatečné. Také došlo k nápravě osvětlení pracovního stolu. Průměrná osvětlenost pracovního stolu při novém návrhu osvětlení je 563 lx při rovnoměrnosti 0,61. Tato osvětlenost pracovního stolu nyní vyhovuje normě ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlování – Část 1: Vnitřní pracovní prostory. Také jsem samostatně vyhodnotil

osvětlenost prostoru kolem křesel a konferenčního stolku, při svícení svítidel Rundo a nástěnné lampy Spica. Tyto dvě svítidla, v tomto vymezeném prostoru, vytvoří hladinu osvětlenosti o průměrné hodnotě osvětlenosti 155 lx o rovnoměrnosti 0,43. Pro tento prostor je to dostačující.

Tabulka 41: Výsledné nasimulované hodnoty osvětlenosti nové osvětlovací soustavy horního patra

Veličina	Maximální možné parametry osvětlení (všechny svítidla při plném výkonu)	Pouze hlavní svítidla Santa-S (při plném výkonu)	Osvětlení pracovního stolu	Vymezený prostor kolem křesel a konferenčního stolku
E_{max} (lx)	692	119	711	318
E_{min} (lx)	71	36	345	68
$\bar{E}_m$ (lx)	166	69	563	155
U_0 $(-)$	0,42	0,52	0,61	0,43

4.10 Celkové pořizovací náklady svítidel

V tabulce č. 42 jsou uvedeny celkové pořizovací náklady svítidel pro jednotlivé místnosti a celková suma za pořízení všech svítidel. Celková částka za pořízení všech svítidel činí 272 562 Kč. Tato poměrně vysoká částka je způsobená za pořízení svítidel s TW technologií.

Tabulka 42: Celkové pořizovací náklady svítidel

Místnost	Cena (Kč)
Obývák	40 558
Kuchyně	29 154
Pokoj č.1	22 624
Ložnice	24 184
Koupelna	32 383
Chodba	11 264
Předsíň	9 767
Schodiště	10 486
Horní parto	92 142
Celkové náklady	**272 562**

4.11 Porovnání energetické náročnosti nového a starého osvětlení

K hodnocení energetické náročnosti osvětlení budov slouží norma ČSN EN 15193-1:2017 (Energetická náročnost budov – Energetické požadavky na osvětlení – Část 1: Specifikace, modul M9)., která udává způsoby stanovení energetické náročnosti osvětlovacích soustav. Norma také udává hodnoty směrných hodnot měrné spotřeby pro různé aplikační oblasti. Pro výpočet energetické náročnosti osvětlovací soustavy lze použít

rychlou metodu nebo *podrobnou metodu.* Celková spotřeba el. energie osvětlení W se vypočítá pomocí dvou složek. První složkou je spotřeba el. energie normálního osvětlení W_L a druhá složka je W_P pro nabíjení svítidel nouzového osvětlení, spotřebu ovládacích systémů, včetně spotřeby pokrývající ztráty. Výpočet se provede podle následujícího vztahu:

$$W = W_L + W_P \qquad (kW \cdot h/rok) \tag{4.2}$$

Při rychlé metodě složky W_L *a* W_P charakterizují spotřebu celého objektu. U podrobné metody se složky pro jednotlivé místnosti v budově počítají zvlášť. Celková spotřeba se následně získá součtem dílčích spotřeb W_{Li} *a* W_{Pi}.

Spotřeba W_L pro normální osvětlení se určí podle následujícího vztahu:

$$W_L = \frac{(P_n F_c)\,[(t_D F_O F_D)+(t_n F_O)]}{1000} \qquad (kW \cdot h/rok) \tag{4.3}$$

kde:
P_n celkový instalovaný příkon svítidel (W),
t_D doba provozu s denním světlem (h),
t_N doba provozu bez denního světla (h),
F_D činitel závislosti na denním světle (-),
F_O činitel závislosti na obsazení (-),
F_C činitel konstantní osvětlenosti (-).

Spotřeba W_P se stanoví podle tohoto vztahu:

$$W_P = \frac{P_{pc}\,[t_y-(t_D+t_N)]+P_{em}t_{em}}{1000} \qquad (kW \cdot h/rok) \tag{4.4}$$

kde:
P_{pc} celkový instalovaný ztrátový příkon ovládacích zařízení (W),
P_{em} celkový instalovaný nabíjecí příkon svítidel nouzového osvětlení (W),
t_D doba provozu s denním světlem (h),
t_N doba provozu bez denního světla (h),
t_y standartní roční doba v hodinách, tj. 8 760 h,
t_{em} doba nabíjení nouzového osvětlení (h).

Po určení celkové spotřeby el. energie osvětlení v objetu se určí měrná spotřeba energie na 1 m^2 označována LENI (LENI = Lighting Energy Numeric Indicator). Ukazatel spotřeby osvětlení v budovách LENI se určí podle následujícího vztahu:

$$LENI = \frac{W}{A} \qquad (kWh \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}; kWh/rok^{-1}, m^2) \tag{4.5}$$

kde:

W celková spotřeba el. energie pro osvětlení ($kW \cdot h/rok$),

A celková plocha objektu nebo jednotlivé místnosti (m^2). [1]

Pro výpočet energetické náročnosti nově navrženého a stávajícího osvětlení dle normy ČSN EN 15193-1:2017 jsem použil výpočtový nástroj pro MS Excel (dostupný z: https://www.svetloblog.cz/soubory/Vypoctovy_nastroj_CSN_EN_15193_1_2017_v1_1.zip). Tento nástroj mnohonásobně urychlí výpočet energetické spotřeby soustav umělého osvětlení. Navíc používaní tohoto nástroje je velice intuitivní.

Tabulka č. 43 udává instalovaný výkon svítidel nového návrhu a stávajícího osvětlení jednotlivých místností domu. Můžete vidět, že v některých částech budovy došlo ke snížení příkonu osvětlovací soustavy. Jedná se především o místnosti, kde jsou používány klasické wolframové žárovky jako např. chodba, předsíň nebo ložnice. V místnostech, kde jsou použity svítidla TW technologií je příkon osvětlovací soustavy vyšší než ustávající. Celkový instalovaný výkon svítidel pro nově navržené osvětlení je $690\ W$ a pro současné osvětlení objetu je příkon $591\ W$.

Tabulka 43: Instalovaný výkon svítidel u nového a starého osvětlení jednotlivých místností

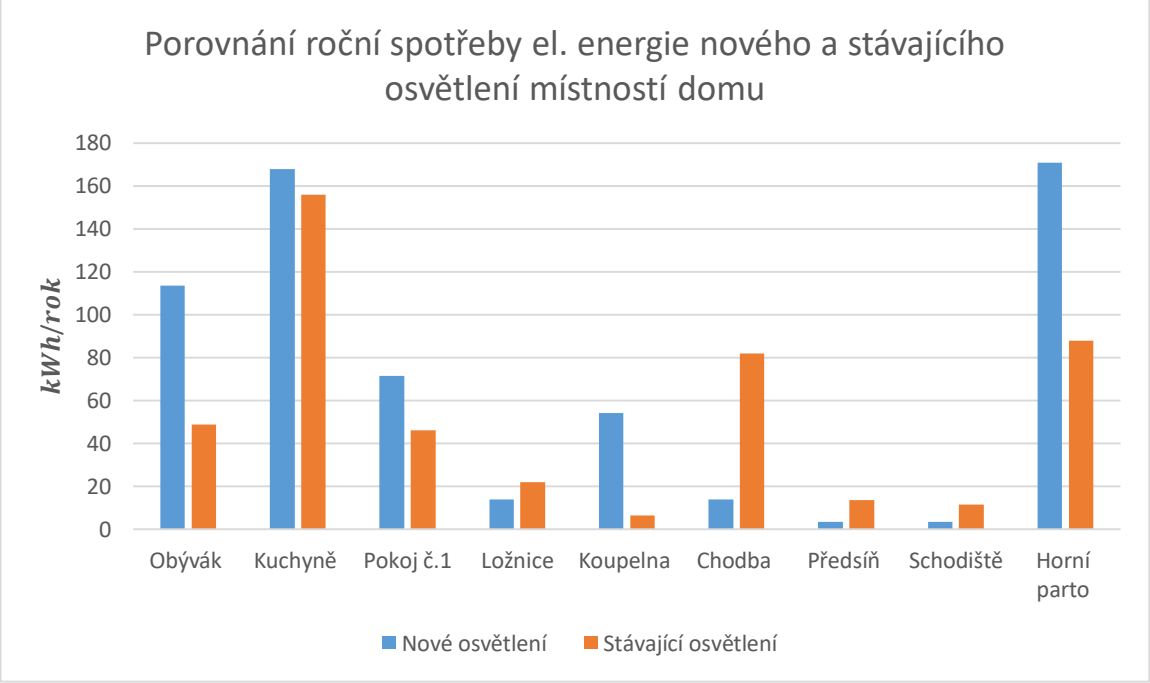
Místnost	Příkon nového návrhu osvětlení *P(W)*	Příkon stávajícího osvětlení *P(W)*
Obývák	73,1	28
Kuchyně	186	144
Pokoj č.1	54,2	31
Ložnice	35	48
Koupelna	88,2	8
Chodba	25,6	120
Předsíň	21,2	60
Schodiště	22	60
Horní parto	194,7	92
Celkem	690	591

Pomocí výpočtového nástroje vytvořeného v MS Excel, jsem vypočítal energetickou náročnost objektu dle normy ČSN EN 15193-1:2017. V tabulce č. 44 jsou uvedené hodnoty spotřeby el. energie W za jeden rok jednotlivých místností, jejich nově navržené tak i

stávající osvětlení. V tabulce č. 44 je také vyčíslená měrná spotřeba pro osvětlení za jeden rok vztažená na 1 m^2 plochy místnosti (LENI). Celková spotřeba el. energie za rok pro nově navržené osvětlení celého objektu je 612,56 kWh/rok a pro stávající osvětlení je 474,18 kWh/rok. Při uvažování ceny elektřiny 5,01 Kč za 1 kWh vyjdou celkové roční provozní náklady nově navrženého osvětlení na 3 068,93 Kč a stávajícího osvětlení na 2 375,64 Kč. Celková měrná spotřeba energie na 1 m^2 LENI pro nově navrhnuté osvětlení vyšla 55,64 $kWh \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$ a pro stávající osvětlení 47,93 $kWh \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$. Grafické porovnání spotřeby el. energie osvětlovacích soustav jednotlivých místností znázorňuje obrázek č. 50.

Tabulka 44: Vypočítané hodnoty spotřeby energie W a indikátoru LENI pro nově navržené a stávající osvětlení

Místnost	Nově navržené osvětlení		Stávající osvětlení	
	W (kWh/rok)	LENI $(kWh \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1})$	W (kWh/rok)	LENI $(kWh \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1})$
Obývák	113,48	6,41	48,90	2,76
Kuchyně	167,88	15,26	155,97	14,18
Pokoj č.1	71,51	4,78	46,02	3,08
Ložnice	13,92	1,53	21,81	2,39
Koupelna	54,14	12,11	6,55	1,46
Chodba	13,97	2,00	81,84	11,74
Předsíň	3,57	0,48	13,48	1,80
Schodiště	3,41	1,14	11,61	3,87
Horní parto	170,68	11,93	88,00	6,65
Celková spotřeba	**612,56**	**55,64**	**474,18**	**47,93**



Obrázek 50: Porovnání roční spotřeby el. energie nového a stávajícího osvětlení místností domu

Při výpočtu energetické náročnosti nově navrženého osvětlení byla zohledněna ruční regulovatelnost svítidel. Dobu využití objektu jsem odhadl na 341 dní v roce pro čtyřčlennou rodinu (objekt není využívaný např. o dovolené). Dále bylo nutné odhadnout pro co nejpřesnější výpočet roční dobu provozu s denním světlem t_D a roční dobu provozu bez denního světla t_N. Odhadnuté roční doby využití jednotlivých místností jsou uvedeny v tabulce č. 45.

Tabulka 45: Odhadnuté roční doby využití jednotlivých místností

Místnost	t_D (h)	t_N (h)	$t_D + t_N$ (h)
Obývák	882	1 364	2 246
Kuchyně	682	1 364	2 046
Pokoj č.1	441	1 364	1 805
Ložnice	68,2	511,5	579,7
Koupelna	0	2 046	2 046
Chodba	0	1 364	1 364
Předsíň	341	341	682
Schodiště	100	307	407
Horní parto	1 023	4 228,4	5 251,4
Celkem	**3 537**	**12 889**	**16 427**

4.12 Udržovací činitel nově navržených osvětlovacích soustav

Každou nově navrženou osvětlovací soustavu je nutné předimenzovat. Je to proto, že v průběhu provozu osvětlovací soustavy, dochází ke snížení světelného toku světelných zdrojů z důvodu jejich stárnutí nebo znečištění. Při dimenzování osvětlovací soustavy se vychází z tzv. udržovacího činitele, který je dán vztahem:

$$MF = LLMF \times LSF \times LMF \times RSMF \qquad (-;-,-,-,-,) \qquad (4.1)$$

$LLMF$ činitel stárnutí světelných zdrojů $(-)$,
LSF činitel funkční spolehlivosti světelných zdrojů $(-)$,
LMF udržovací činitel svítidel $(-)$,
$RSMF$ udržovací činitel povrchů $(-)$.[1]

Údaj o činiteli LLMF jsem zjistil z údajů uváděných výrobcem svítidel. V celém objektu počítám s individuální výměnou světelných zdrojů, proto pro všechny osvětlovací soustavy počítám s $LSF = 1$. Dále se jedná o čisté prostředí s doporučeným intervalem čištěním pro uzavřená svítidla IP2X 1,5 roku. Na základě tohoto údaje lze zjistit, podle typických údajů v normě TNI 36 0451 - Údržba vnitřních osvětlovacích soustav, hodnoty LMF a RSMF. Při výpočtu jsem předpokládal plánovanou dobu provozu osvětlovacích soustav rodinného domu na 20 roků. Pro rychlejší a snadnější výpočet udržovacího činitele jsem využil online

nástroj, pro výpočet udržovacího činitele na webové stránce www.svetloblog.cz. Výsledky udržovacího činitele jsou uvedené v tabulce č. 46.

Tabulka 46: Výsledné hodnoty pro udržovacího činitele jednotlivých osvětlovacích soustav

Místnost	Doba provozu za 20 roků (h)	*LLMF* (−)	*LSF* (−)	*LMF* (−)	*RSMF* (−)	*MF* (−)
Obývák	27 280	0,88	1	0,85	0,94	**7**
Kuchyně	27 280	0,88	1	0,85	0,94	**0,7**
Pokoj č.1	27 280	0,88	1	0,85	0,94	**0,7**
Ložnice	10 230	0,98	1	0,85	0,94	**0,78**
Koupelna	40 920	0,84	1	0,85	0,94	**0,67**
Chodba	27 280	0,95	1	0,85	0,94	**0,76**
Předsíň	6 820	0,99	1	0,85	0,94	**0,79**
Schodiště	6 140	0,97	1	0,85	0,94	**0,78**
Horní parto	84 568	0,8	1	0,85	0,94	**0,64**

Udržovací činitel souvisí s energetickou náročností osvětlovací soustavy, protože na základě udržovacího činitele se předimenzovává nově navržená osvětlovací soustava. Při řízení svítidel s přesnou regulací světelného toku na požadovanou hodnotu, lze zbytečné energetické náklady omezit. Vhodné by bylo při každé údržbě svítidel změřit současnou intenzitu osvětlení a následně, pokud by osvětlenost nevyhovovala normativním požadavkům, ji pomocí regulace nastavit na požadovanou osvětlenost (udržovanou osvětlenost).

4.13 Způsob ovládaní nově navrženého osvětlení

Velkým zlepšením nově navrženého osvětlení od současného je možnost regulace svítidel, která lze ovládat přes DALI. Uživatel má tak možnost přizpůsobit osvětlení a vytvořit si světelnou atmosféru podle svých aktuálních potřeb. Nejjednodušší a uživatelsky nejpřívětivější způsob ovládání osvětlení je přes dotykový panel DALI. Příklady takových dotykových panelů jsou znázorněny na obrázku č. 51. Vlevo na obrázku č. 51 je panel, který dokáže nastavit požadovanou teplotu chromatičnosti a intenzitu světla. Vpravo na obrázku č. 51 je panel, který mění pouze intenzitu osvětlení (v našem případě je vhodné tento panel použít v místnostech bez svítidel s TW technologií). Nedoporučuji používat k ovládání svítidel dotykový LCD panel, z důvodu narušení cirkadiánních rytmů ve večerních hodinách (LCD obrazovka je velkým zdrojem modrého světla).

Obrázek 51: Dotykové panely DALI pro řízení teploty chromatičnosti a intenzity osvětlení [40]

Dotykovými panely DALI, které jsou zobrazeny na obrázku č. 51, lze ovládat 4 zóny svítidel (tlačítka 1 až 4). Pomocí jednotlivých tlačítek S1 až S2 lze ukládat vytvořené světelné scény a následně je s tisknutím tlačítka vyvolávat. Pro ovládání osvětlovací sousty např. v obývacím pokoji postačí pouze jeden tento ovládací prvek, namísto čtyř spínačů klasické elektroinstalace.

Pro ovládaní svítidel pomocí DALI je nutné přidat dva vodiče navíc (sběrnice DALI) na kterých je $16\ V$. Lze také tyto dva vodiče nahradit dálkově ovladatelnými prvky, pokud ale připadá v úvahu rekonstrukce elektrických obvodů, je vhodné tyto dva vodiče přidat. Dále je zapotřebí do domovní rozvodné skříně přidat napájecí zdroj, který bude napájet sběrnici DALI.

Závěr

V úvodní části práce je stručně popsána problematika osvětlování interiérů z hlediska kvantitativních, kvalitativních a normativních požadavků. Dále jsem se snažil popsat, jak fungují naše biologické hodiny v mozku, jak se mění naše cirkadiánní rytmy v průběhu dne, vliv spektrálního složení světla na tvorbu důležitých hormonů v těle a závěry, které plynou z těchto poznatků pro návrh osvětlení. Praktickou částí této práce bylo zhodnocení současného stavu osvětlení rodinného domu. Osvětlení rodinného domu jsem změřil a následně jsem provedl simulaci v programu DIALux. Poté jsem vytvořil nový návrh na renovaci osvětlení rodinného domu a provedl jsem simulaci v DIALuxu.

Měřením a simulací současného osvětlení rodinného domu bylo zjištěno několik nedostatků. Například nedostatečné osvětlení chodby, schodiště, celého horního patra, které slouží jako jedna velká místnost. Nevhodné osvětlení z hlediska biorytmů bylo zjištěno například použitím světelného zdroje s teplotou chromatičnosti $4\,000\,K$ v prostoru sloužícího ke spaní. Největší problém stávajícího osvětlení z hlediska biorytmů je chybějící možnost individuálního nastavení intenzity osvětlení a teploty chromatičnosti světelných zdrojů popř. svítidel.

Při navrhování nového osvětlení rodinného domu jsem při výběru nových svítidel dbal vždy na to, aby byla minimálně stmívatelná. V místnostech, jako je kuchyň, pracovna nebo koupelna, jsem použil svítidla s TunableWhite technologií, protože tyto místnosti jsou využívány během dne v různou dobu a je nutné, aby v těchto prostorech byla možnost nastavení různé teploty chromatičnosti. V místnostech jako je ložnice, chodba nebo předsíň, jsem použil pouze stmívatelná svítidla s nízkou teplotou chromatičnosti. Celkové pořizovací náklady nových svítidel jsou $272\,562\,K$č. Instalovaný příkon nových svítidel je $690\,W$, což je navýšení $100\,W$ oproti stávajícímu osvětlení. Je nutné ale podotknout, že došlo k nápravě všech míst s nedostatečnou osvětleností. Roční náklady nově navrženého osvětlení vyšly při roční spotřebě el. energie $612{,}56\,kWh/rok$ a při současných cenách za $1\,kWh$ na $3\,068{,}9\,K$č. Většina vybraných svítidel pro nový návrh osvětlení je ovladatelná přes DALI a uživatel má tak možnost vytvořit světelné scény, které budou podporovat jeho biologické rytmy v ranních, odpoledních a večerních hodinách. Pomocí ovládacího panelu DALI může uživatel mezi jednotlivými světelnými scénami podle potřeby volit.

Seznam literatury a informačních zdrojů

[1] HABEL, Jiří. DVOŘÁČEK, Karel. DVOŘÁČEK, Vladimír a ŽÁK, Petr. *Světlo a osvětlování.* 1. vyd. Praha: FCC Public, 2013. 624 s. ISBN 978-80-86534-21-3.

[2] LINDA, Josef. *Elektrické světlo II.* 1. vyd. Plzeň: ZČU Plzeň, 1994. 109 s. ISBN 80-7082-167-1.

[3] PLCH, Jiří. *Světelná technika v praxi.* 1. vyd. Praha: IN-EL, spol. s. r. o. 1999. 207 s. ISBN 80-86230-09-0.

[4] ZWIENER, Viktor. *Umělé osvětlení z pohledu projektanta.* Atelier-Dek. [online] [Cit. 7.3.2020] Dostupné z: https://atelier-dek.cz/umele-osvetleni-z-pohledu-projektanta-203

[5] ŽÁK, Petr. *Směrové vlastnosti osvětlení při projektování.* Elektrika.cz. [online] [Cit. 8.3.2020] Dostupné z: https://elektrika.cz/data/clanky/smerove-vlastnosti-osvetleni-pri-projektovani/view

[6] MAIXNER, Tomáš. *Zdravé světlo – Novela normy ČSN EN 12464-1, část 2.* Tzbinfo. [online] [Cit. 8.3.2020] Dostupné z: https://elektro.tzb-info.cz/osvetleni/9500-zdrave-svetlo-novela-normy-csn-en-12464-1-cast-2

[7] ŽÁK, Petr. *Volba osvětlovací soustavy do vznikajícího projektu.* Elektrika.cz. [online] [Cit. 8.3.2020] Dostupné z: https://elektrika.cz/data/clanky/volba-osvetlovaci-soustavy-do-vznikajiciho-projektu

[8] MATOUŠEK, Jiří. *Sdružené osvětlení a možnosti jeho využití v budovách.*BOZPinfo.cz.[online][Cit.10.3.2020] Dostupné z: https://www.bozpinfo.cz/sdruzene-osvetleni-moznosti-jeho-vyuziti-v-budovach

[9] MAIXNER, *Tomáš. Umělé osvětlení v bytech.*odbornecasopisy.cz. [online][Cit.11.3.2020] Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/40809.pdf

[10] LEPŠÍ, Jana. *Osvětlování bytů.* Kurz osvětlovací techniky XXX [online] [Cit.11.3.2020] Dostupné z: http://www.csorsostrava.cz/sborniky/Sborn%C3%ADk%20Kurz%20Osvetlovaci%20techniky%20XXX.pdf

[11] ILLNEROVÁ, Helena. SUMOVÁ, Alena. *Vnitřní časový systém.* medicinapropraxi.cz [online] [Cit. 20.3.2020] Dostupné z: https://www.medicinapropraxi.cz/pdfs/med/2011/09/07.pdf

[12] BÁLSKÝ, Marek. BAYER, Rudolf. ZÁLEŠÁK, Jan. PANSKÁ, Zuzana. *Use of tunable white liminaires for biodynamic lighting.* IEEEXplore® [online] [Cit. 22.3.2020] Dostupné z: https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7967277

[13] LEPŠÍ, Jana. LEPŠÍ, Anna. *Člověk – vliv světla a prostředí.* SVĚTLO: časopis pro světlo a osvětlování [online] [Cit. 22.3.2020] Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/clovek-vliv-svetla-a-prostredi--3971

[14] BENDOVÁ, Zdeňka. ČERVENÁ, Kateřina. *Biorytmy nejen pro sportovce aneb jak a proč si zachovat „SYNC“.* Česká trenérská akademie [online] [Cit.15.4.2020] Dostupné z: https://treneri.olympic.cz/upload/files/846kiwxmmt-TOP-Team-Biorytmy-nejen-pro-sportovce-brozura-final.pdf

[15] BUDAK, *V. P.* MAKAROV, *D. N.* SMIRNOV *P. A. Přehled a porovnání počítačových programů pro navrhování osvětlovacích soustav.* SVĚTLO: časopis pro světlo a osvětlování [online] [Cit. 29.4.2020] Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/prehled-a-porovnani-pocitacovych-programu-pro-navrhovani-osvetlovacich-soustav--16250

[16] *DIALux manual.* DIALux[online] [Cit.30.4.2020] Dostupné z: https://www.dial.de/fileadmin/documents/dialux/DIALux_downloads/DIALux%20evo%20manual.pdf

[17] *RELUX tutorials.* RELUX [online] [Cit.30.4.2020] Dostupné z: https://reluxnet.relux.com/en/tutorials.html

[18] *Wils 7.0 - Návrh a výpočet umělého osvětlení.* Astra MS Software [Online] [Cit.30.4.2020] Dostupné z: https://www.astrasw.cz/wils

[19] *List of Lighting Software.* l-lists.com [online] [Cit.30.4.2020] Dostupné z: http://l-lists.com/en/lists/ubo7e2.html

[20] Autodesk Labs. *Rozšíření pro analýzu osvětlení pro Revit.* [Online] [Cit.30.4.2020] Dostupné z: https://www.cad.cz/component/content/article/5346.html.

[21] https://elektrika.cz/obr/10_lp_navrh_01v.jpg

[22] https://kled.cz/data/image/Clanky/teplota%20chromaticnosi.jpg

[23] http://www.cspsychiatr.cz/obr/CSP_2012_4_198_a.jpg

[24] HABEL, Jiří. *Základy světelné techniky – Zrak a vidění (2.část).* SVĚTLO: časopis pro světlo a osvětlování [online] [Cit. 20.3.2020] Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/38297.pdf

[25] http://www.remedia.cz/Images/Articles/Main/vtextu20081021061906.jpg

[26] http://www.remedia.cz/Images/Articles/Main/vtextu20081021061752.jpg

[27] http://www.odbornecasopisy.cz/img/gallery/5a33c10c2cad6.jpg

[28] https://msegceporticoprodassets.blob.core.windows.net/inline-media/879b366d-24d0-4308-b7b6-b226eeed7cdf-cs

[29] https://eshop.micronix.cz/data/cz/img/bigres/003/7255-7141.jpg

[30] https://cdn.shopify.com/s/files/1/2792/0714/files/1462983035_circadian-rhythm-clock-600x528_grande.png?v=1537197938

[31] https://www.researchgate.net/profile/Christian_Cajochen/publication/49814338/figure/fig12/AS:669701537538049@1536680697168/Salivary-melatonin-during-pre-light-2-h-light-grey-bar-at-6500K-2500K-and-3000K-and.jpg

[32] https://www.halla.cz/data/images-xxl/4830-rundo-kruh-w-8.jpg

[33] https://lightandshade.de/19372-thickbox_default/delta-light-orbit-led-927-dim8-b-mmat.jpg

[34] https://www.halla.cz/data/images-l/6447-lipo-w-1.jpg

[35] https://www.halla.cz/data/images-l/4492-basi.jpg

[36] https://www.halla.cz/data/images-l/6166-sant-lin-w-5.jpg

[37] https://www.rajsvitidel.cz/img_detail/stredni/268347859.jpg

[38] https://www.halla.cz/data/images-l/2608-55-070p-10gxx.png

[40] https://valotehdas.fi/wp-content/uploads/2017/11/zg-9001t-dim-eu-2_1.jpg

Normy

[N1] ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlování – Část 1: Vnitřní pracovní prostory, 2012.

[N2] ČSN EN 12193 Světlo a osvětlování – Osvětlení sportovišť, 2008.

[N3] ČSN EN 1838 Světlo a osvětlovaní – Nouzové osvětlení, 2000

[N4] ČSN 73 4301 Obytné budovy, 2004.

[N5] ČSN 73 0580-1. Denní osvětlení budov - Část 1: Základní požadavky, 2007.

[N6] ČSN 36 0011-1 Měření osvětlení vnitřních prostorů – Část 1: Základní ustavení, 2006.

[N7] ČSN 73 4301 Změna Z1 – Obytné budovy, 2005.

[N8] ČSN 730580-2 Denní osvětlení budov – část 2: Denní osvětlení obytných budov, 2007.

[N9] ČSN EN 15193-1 Energetická náročnost budov - Energetické požadavky na osvětlení - Část 1: Specifikace, modul M9, 2017.

[N10] TNI 36 0451 Údržba vnitřních osvětlovacích soustav, 2006.

Seznam příloh

Příloha 1 – Nasimulované a naměřené hodnoty osvětlenosti kuchyně

Příloha 2 – Nasimulované a naměřené hodnoty osvětlenosti pokoje č.1

Příloha 3 – Nasimulované a naměřené hodnoty osvětlenosti koupelny

Příloha 4 – Nasimulované a naměřené hodnoty osvětlenosti předsíně

Příloha 5 – Nasimulované a naměřené hodnoty osvětlenosti horního patra

Příloha 6 – Nasimulované hodnoty osvětlenosti nové osvětlovací soustavy obývacího pokoje

Příloha 7 – Nasimulované hodnoty osvětlenosti kuchyňské linky a jídelního stolu u nového návrhu osvětlení kuchyně

Příloha 8 – Nasimulované hodnoty osvětlenosti nové osvětlovací soustavy pokoje č1.

Příloha 9 – Nasimulované hodnoty osvětlenosti nové osvětlovací soustavy ložnice

Příloha 10 – Nasimulované hodnoty osvětlenosti nové osvětlovací soustavy koupelny

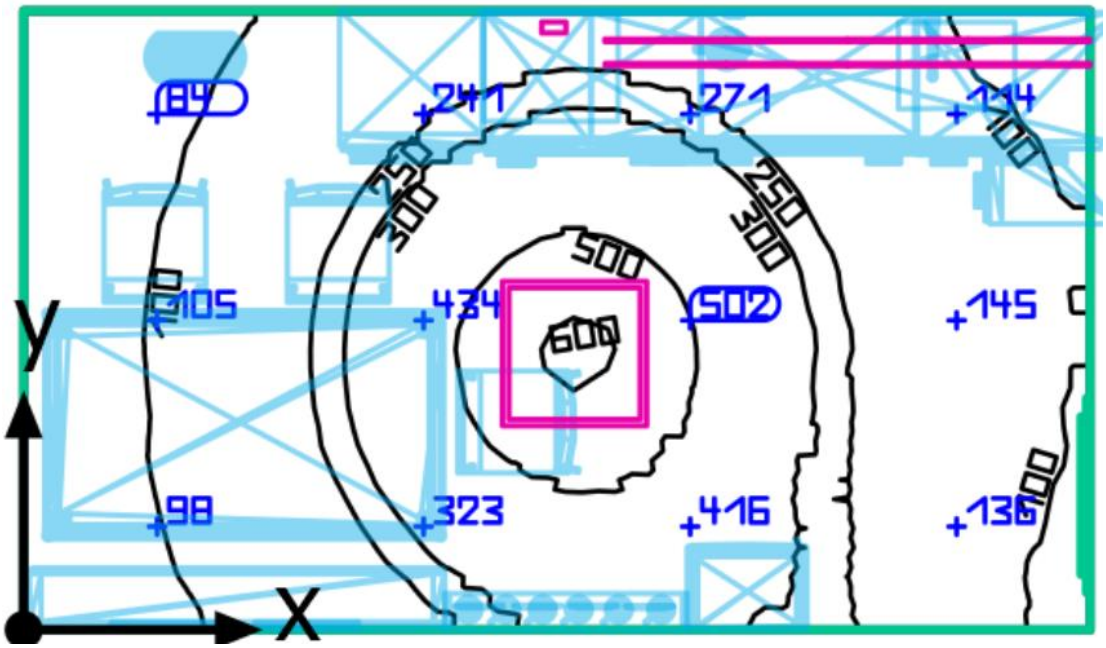
Příloha 11 – Nasimulované hodnoty osvětlenosti nové osvětlovací soustavy předsíně

Příloha 12 – Nasimulované hodnoty osvětlenosti nové osvětlovací soustavy horního patra

Příloha 13 – Kusovník svítidel nového návrhu osvětlení rodinného domu

Přílohy

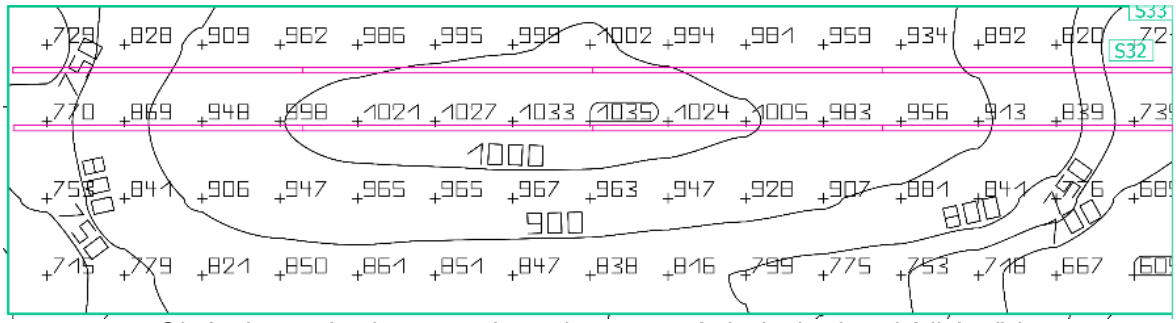
Příloha 1 – Nasimulované a naměřené hodnoty osvětlenosti kuchyně



Obrázek 52: Simulace osvětlenosti E plochy kuchyně (lx)

Tabulka 47: Naměřené hodnoty osvětlenosti E plochy kuchyně (lx)

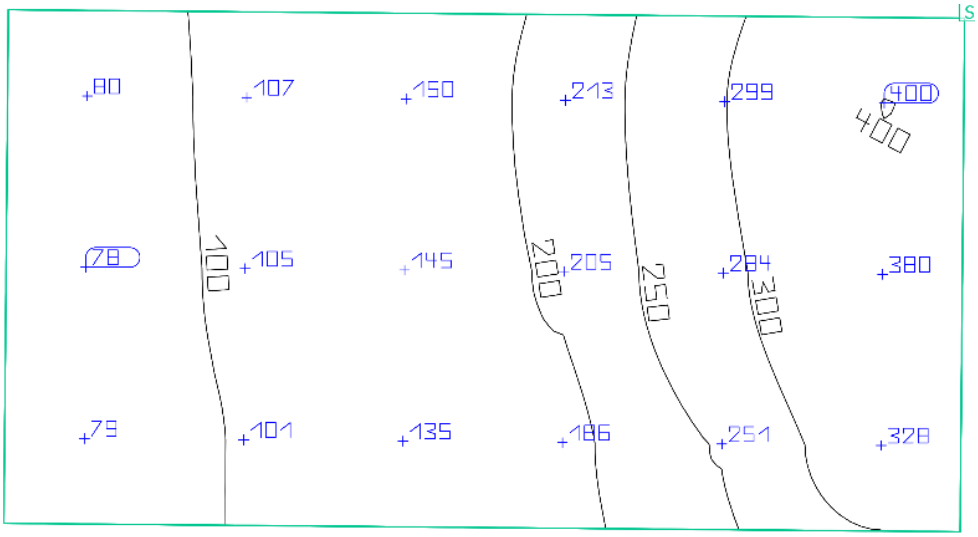
105,4	325,3	566,2	587,4
150,4	468,8	584	240
126,35	341,05	468,6	189,7



Obrázek 53: Simulace osvětlenosti E pracovní plochy kuchyňské linky (lx)

Tabulka 48: Naměřené hodnoty osvětlenosti kuchyňské linky (lx)

904	1074	1133	1170	1089	1040	1166	1041
830	985	1058	1058	975	971	930	774
653	701	714	723	655	600	580	530

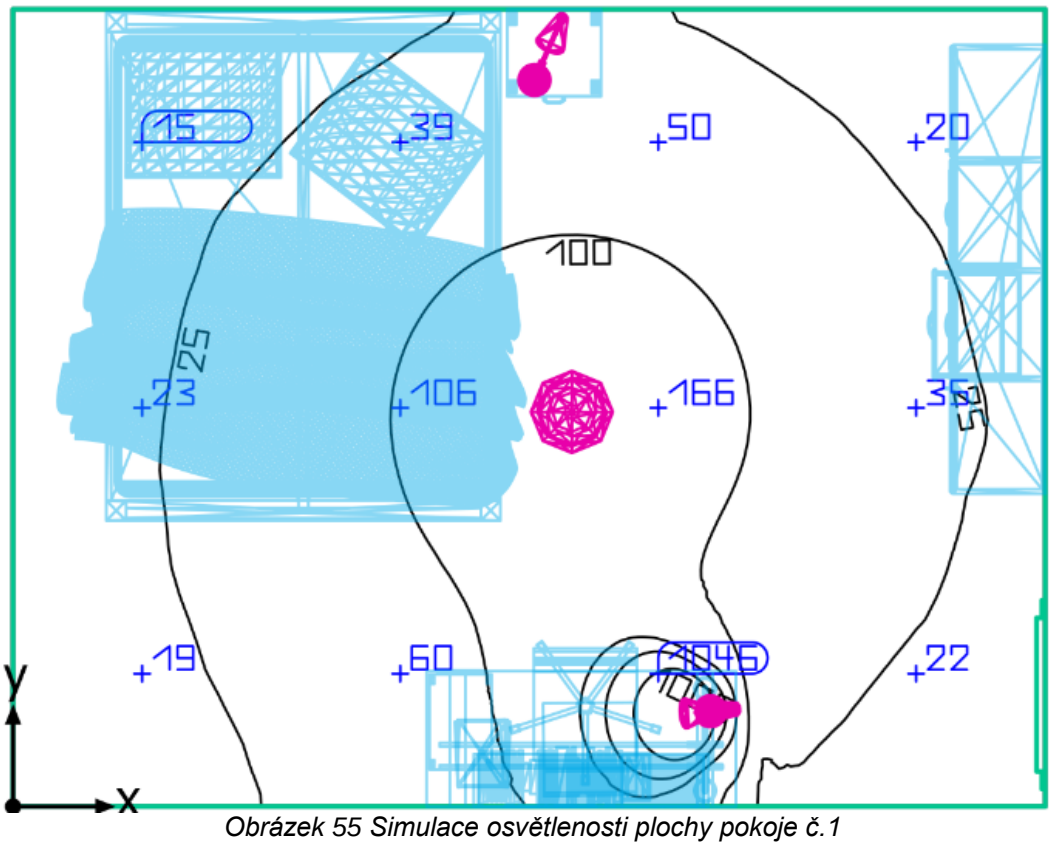


Obrázek 54: Simulace osvětlenosti jídelního stolu (lx)

Tabulka 49: Naměřené hodnoty osvětlenosti jídelního stolu (lx)

116,9	171,9	281,2
118	178,6	298,4

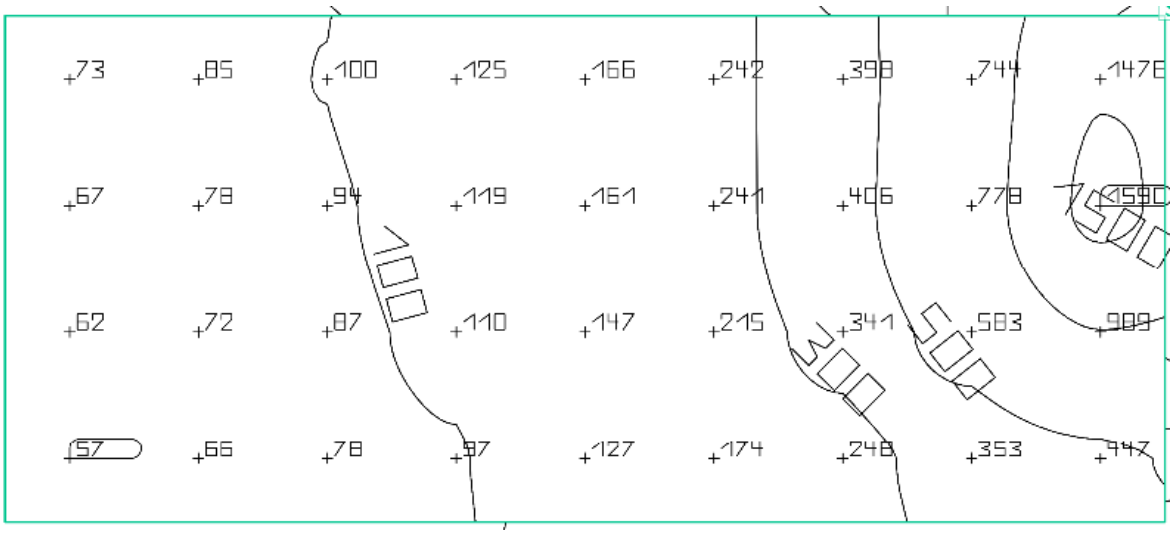
Příloha 2 – Nasimulované a naměřené hodnoty osvětlenosti pokoje č.1



Obrázek 55 Simulace osvětlenosti plochy pokoje č.1

Tabulka 50: Naměřené hodnoty osvětlenosti pokoje č.1 (lx)

20,5	46	61,2	25,1
26,2	95,1	170	42
20,36	38	250	29,5

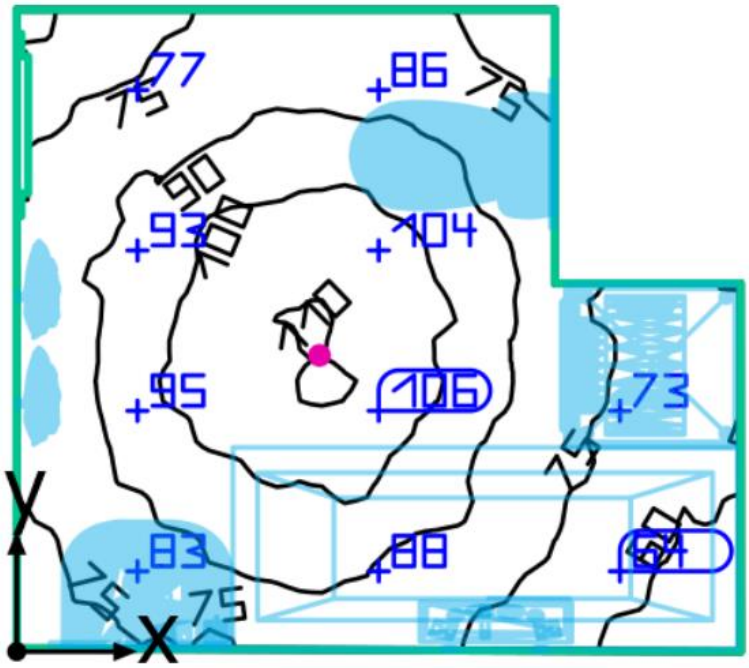


Obrázek 56: Simulace osvětlenosti pracovního stolu (lx)

Tabulka 51: Naměřené hodnoty osvětlenosti pracovního stolu (lx)

71	85,2	139	232	739
68	82	112	258,4	833
61	74	105	195,8	520,7

Příloha 3 – Nasimulované a naměřené hodnoty osvětlenosti koupelny

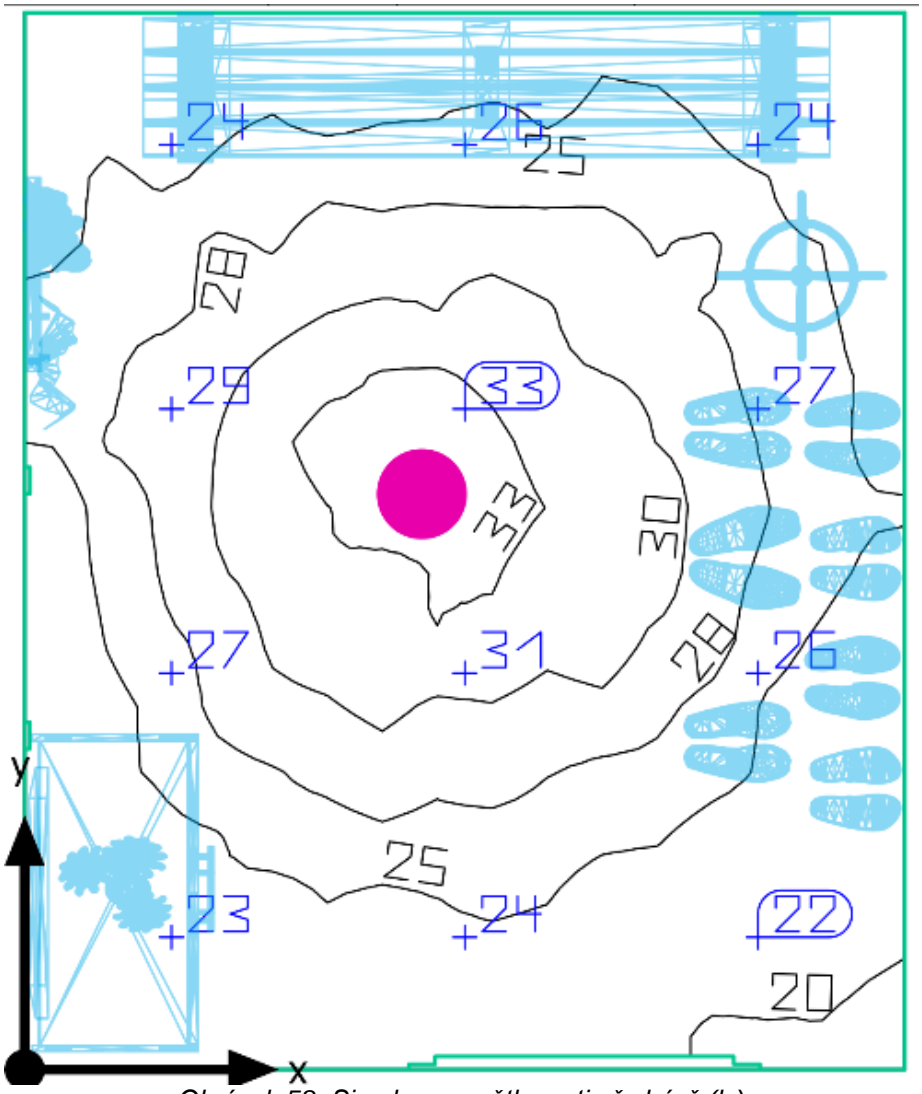


Obrázek 57: Simulace osvětlenosti koupelny (lx)

Tabulka 52: Naměřené hodnoty osvětlenosti koupelny (lx)

82,3	88,4	-
103,5	118,25	-
110,25	123	91
85,7	99,8	84

Příloha 4 – Nasimulované a naměřené hodnoty osvětlenosti předsíně

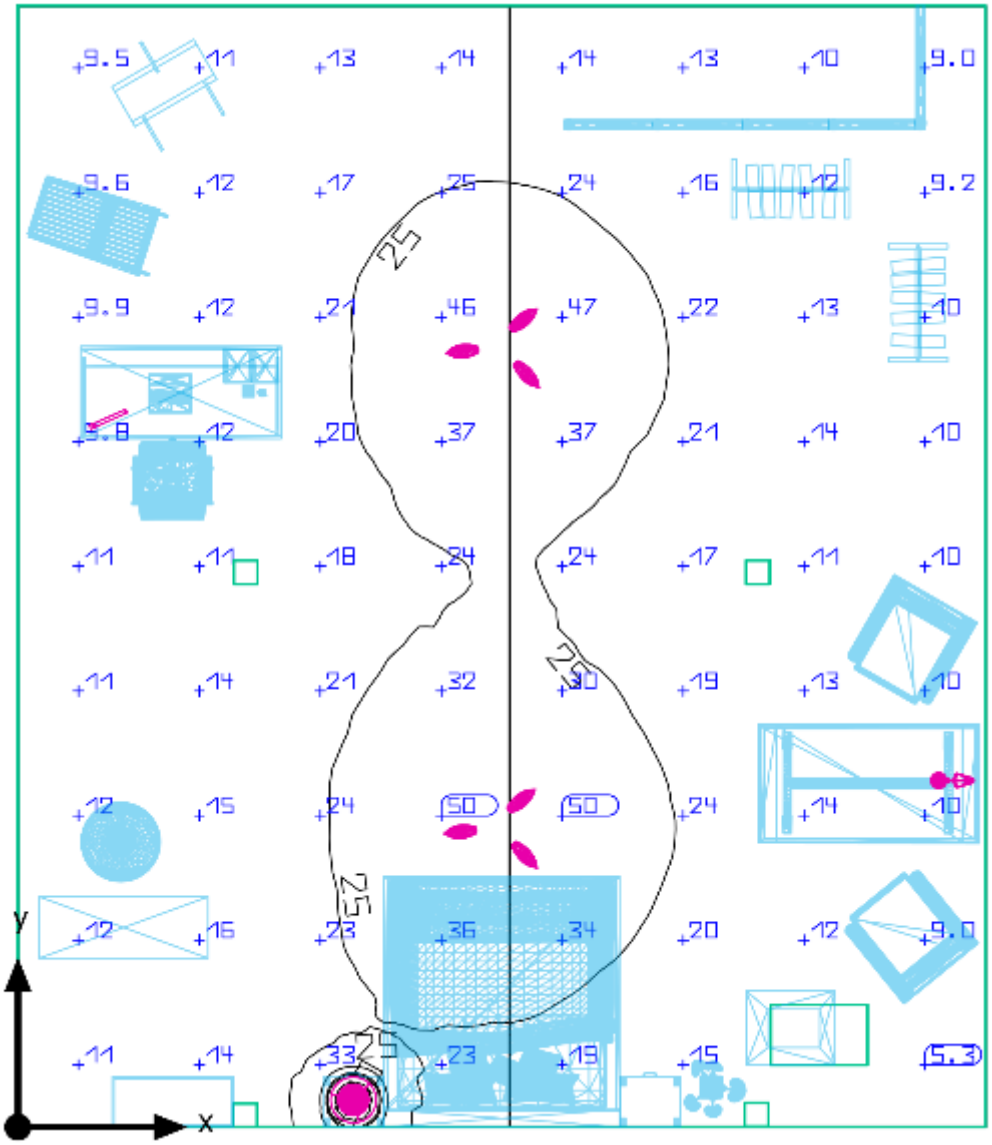


Obrázek 58: Simulace osvětlenosti předsíně (lx)

Tabulka 53: Naměřené hodnoty osvětlenosti předsíně (lx)

24,5	28,4	25
32,5	31,6	25,3
33,7	30,9	27,4
23,8	25,6	23,4

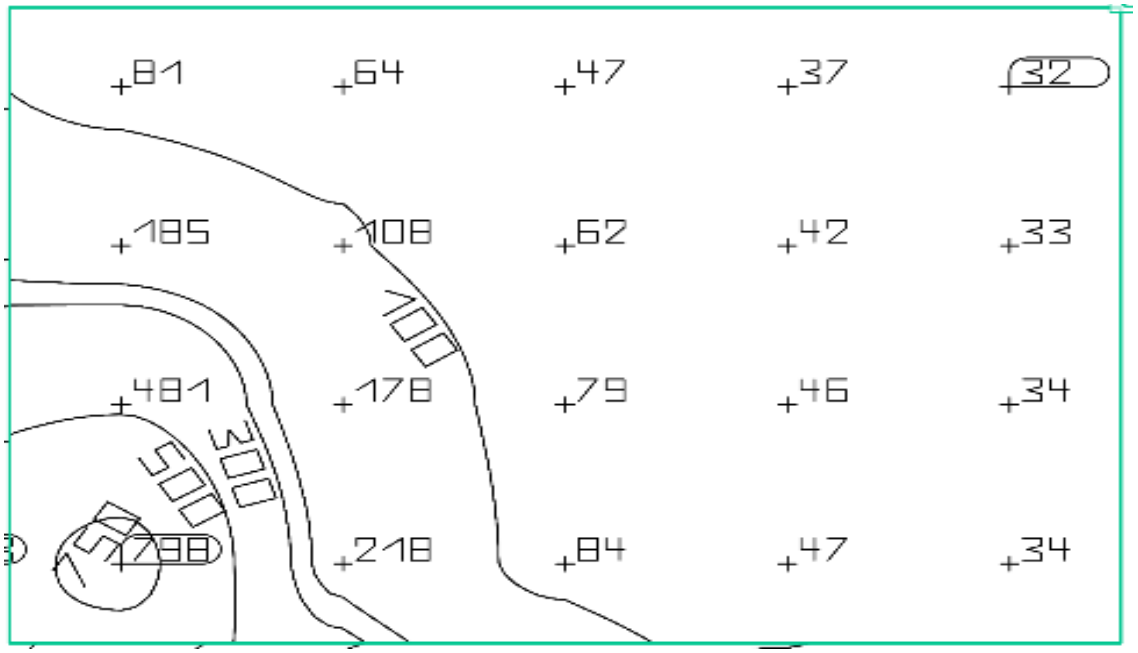
Příloha 5 – Nasimulované a naměřené hodnoty osvětlenosti horního patra



Obrázek 59: Simulace osvětlenosti plochy horního patra (lx)

Tabulka 54: Naměřené hodnoty osvětlenosti celé plochy horního patra (lx)

5,605	7,885	11,685	12,635	11,115	-	-	-
6,65	12,73	16,53	24,89	23,275	16,815	8,36	15,675
8,74	32,585	26,315	73,72	73,72	28,405	10,83	6,46
5,13	82,65	22,99	54,815	54,815	25,08	10,26	6,08
6,46	7,885	18,24	27,36	27,36	18,81	7,03	8,36
5,605	8,265	17,195	29,45	29,45	20,52	11,97	9,215
6,555	10,26	20,615	76	76	38,475	17,385	12,635
6,65	10,64	20,71	73,72	73,72	36,86	18,81	10,735
5,985	9,69	17,86	29,355	29,355	21,66	15,485	-

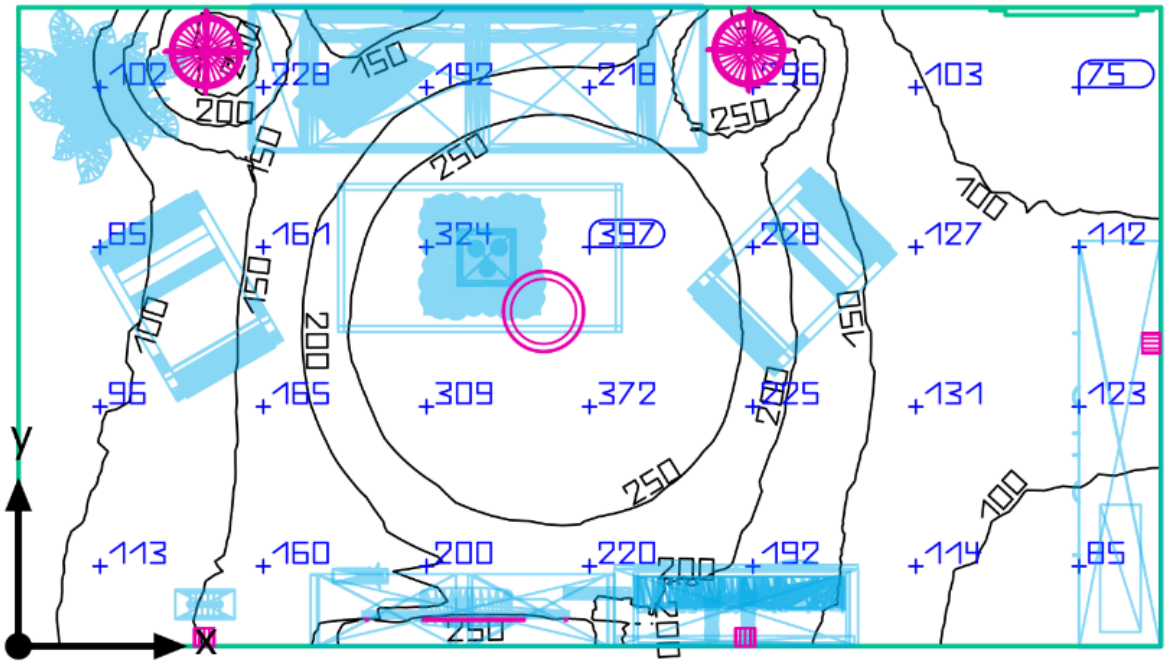


Obrázek 60: Simulace osvětlenosti pracovního stolu

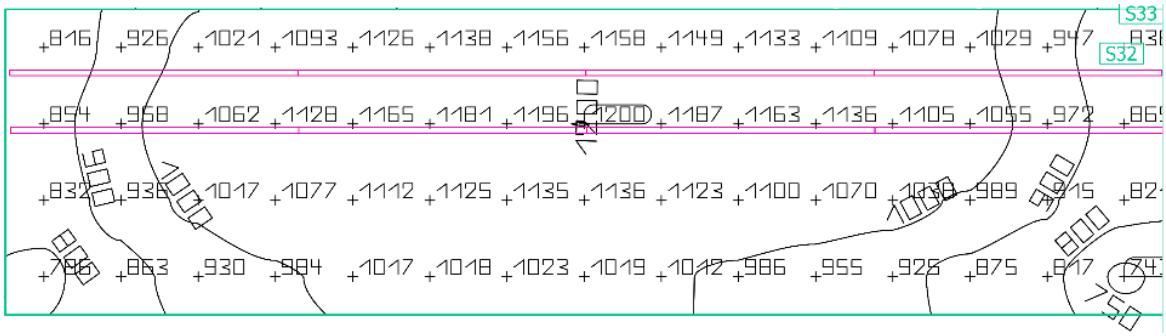
Tabulka 55: Naměřené hodnoty osvětlenosti pracovního stolu (lx)

137,75	176,7	135,85	78,85	50,92	35,587
378,1	412,3	212,8	101,65	60,8	38,285
570,95	583,3	270,75	114,95	60,325	37,1925

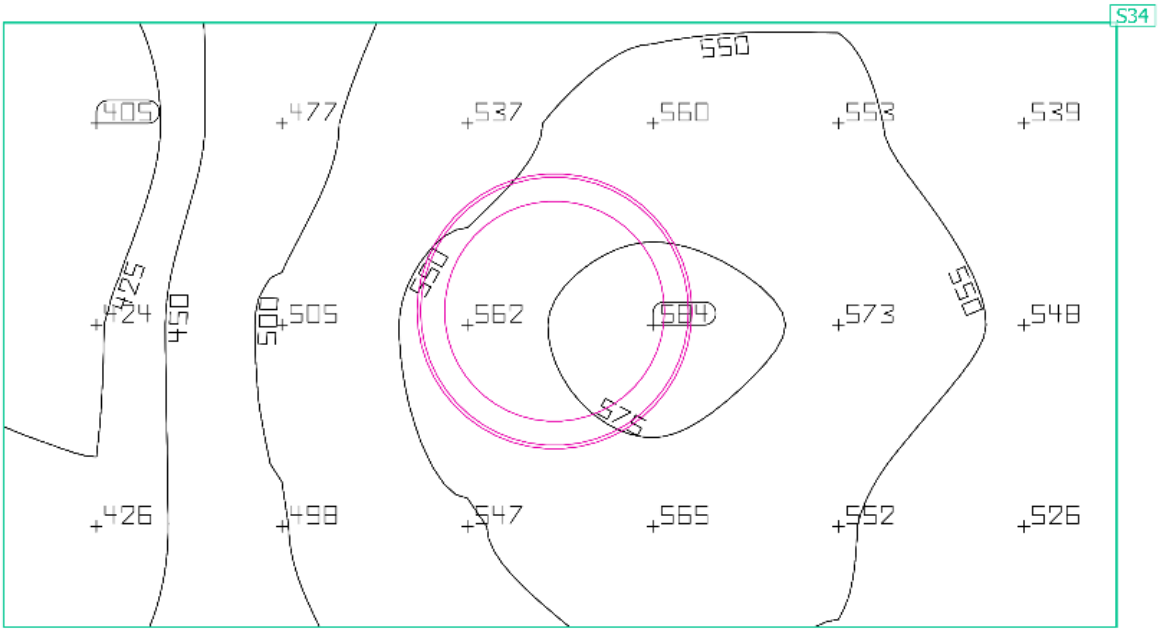
Příloha 6 – Nasimulované hodnoty osvětlenosti nové osvětlovací soustavy obývacího pokoje



Příloha 7 – Nasimulované hodnoty osvětlenosti kuchyňské linky a jídelního stolu u nového návrhu osvětlení kuchyně

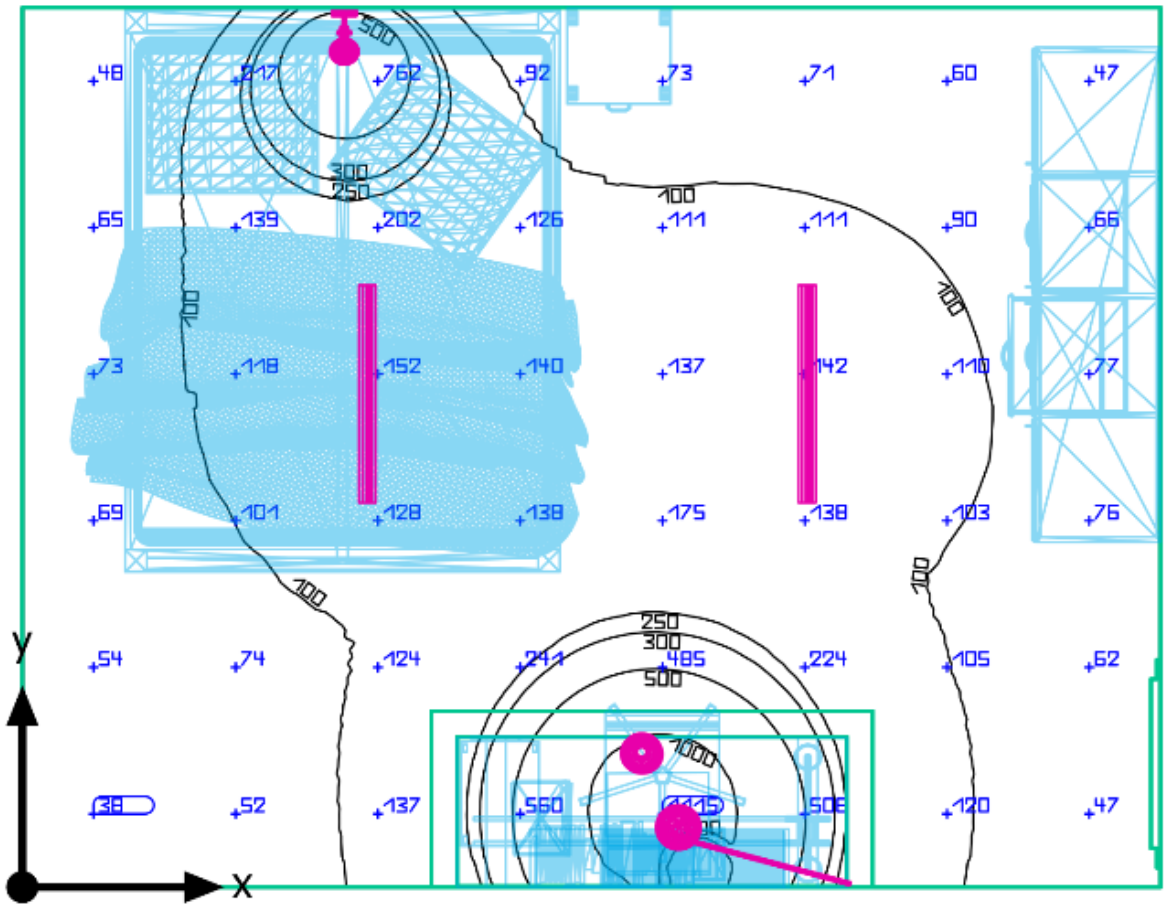


Obrázek 61: Grafické znázornění osvětlenosti kuchyňské linky

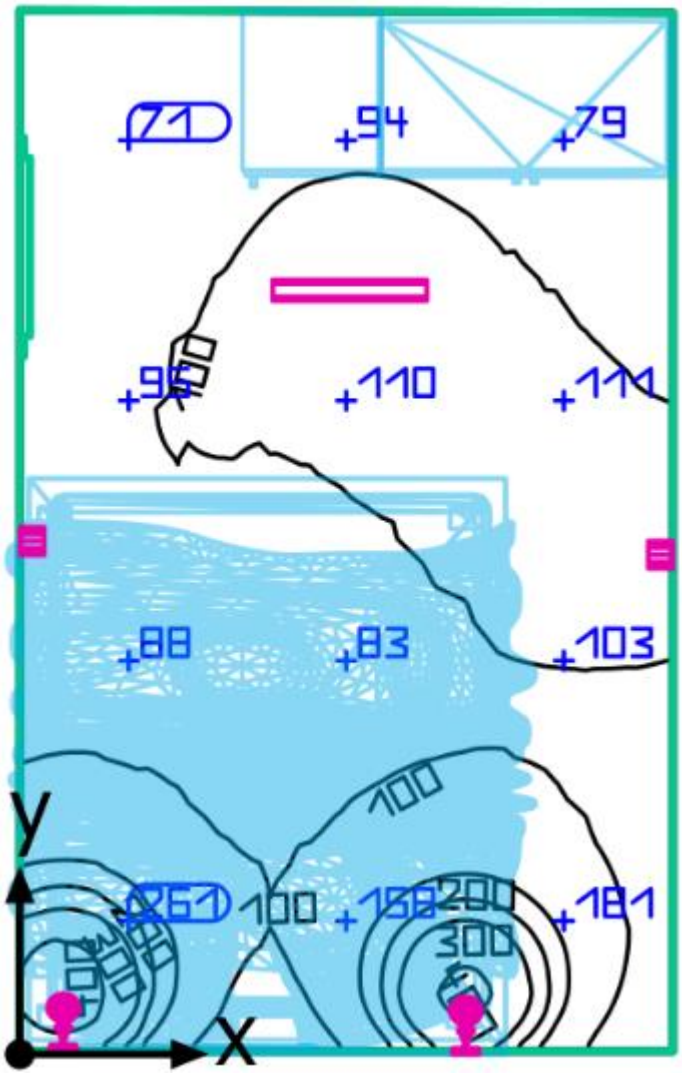


Obrázek 62: Grafické znázornění osvětlenosti jídelního stolu

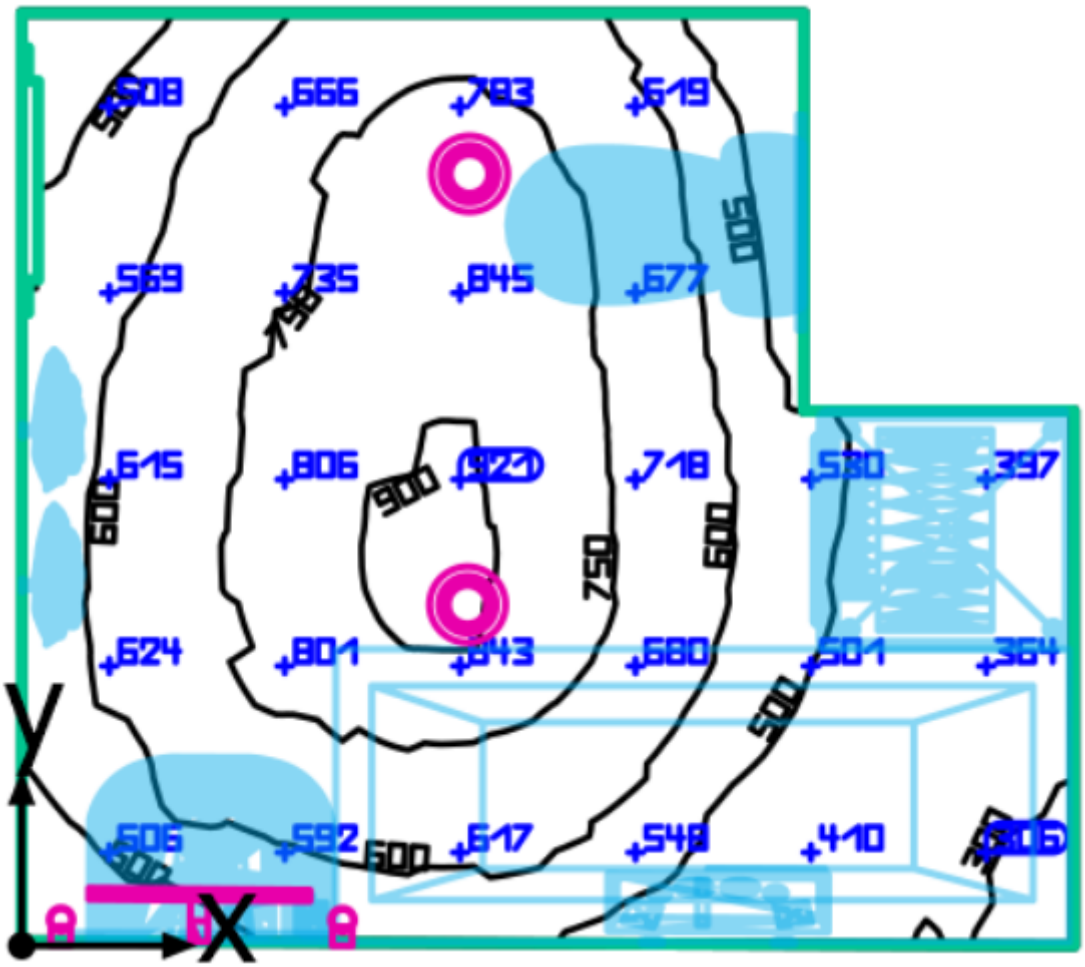
Příloha 8 – Nasimulované hodnoty osvětlenosti nové osvětlovací soustavy pokoje č1.



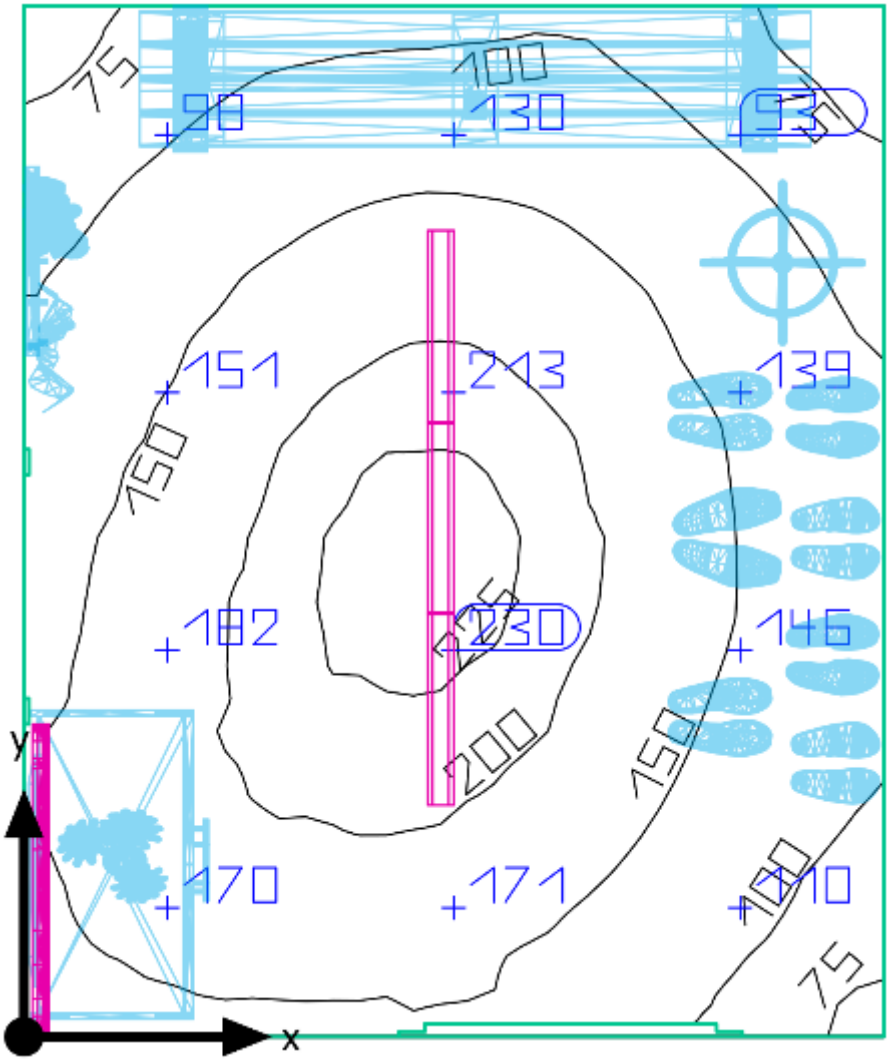
Příloha 9 – Nasimulované hodnoty osvětlenosti nové osvětlovací soustavy ložnice



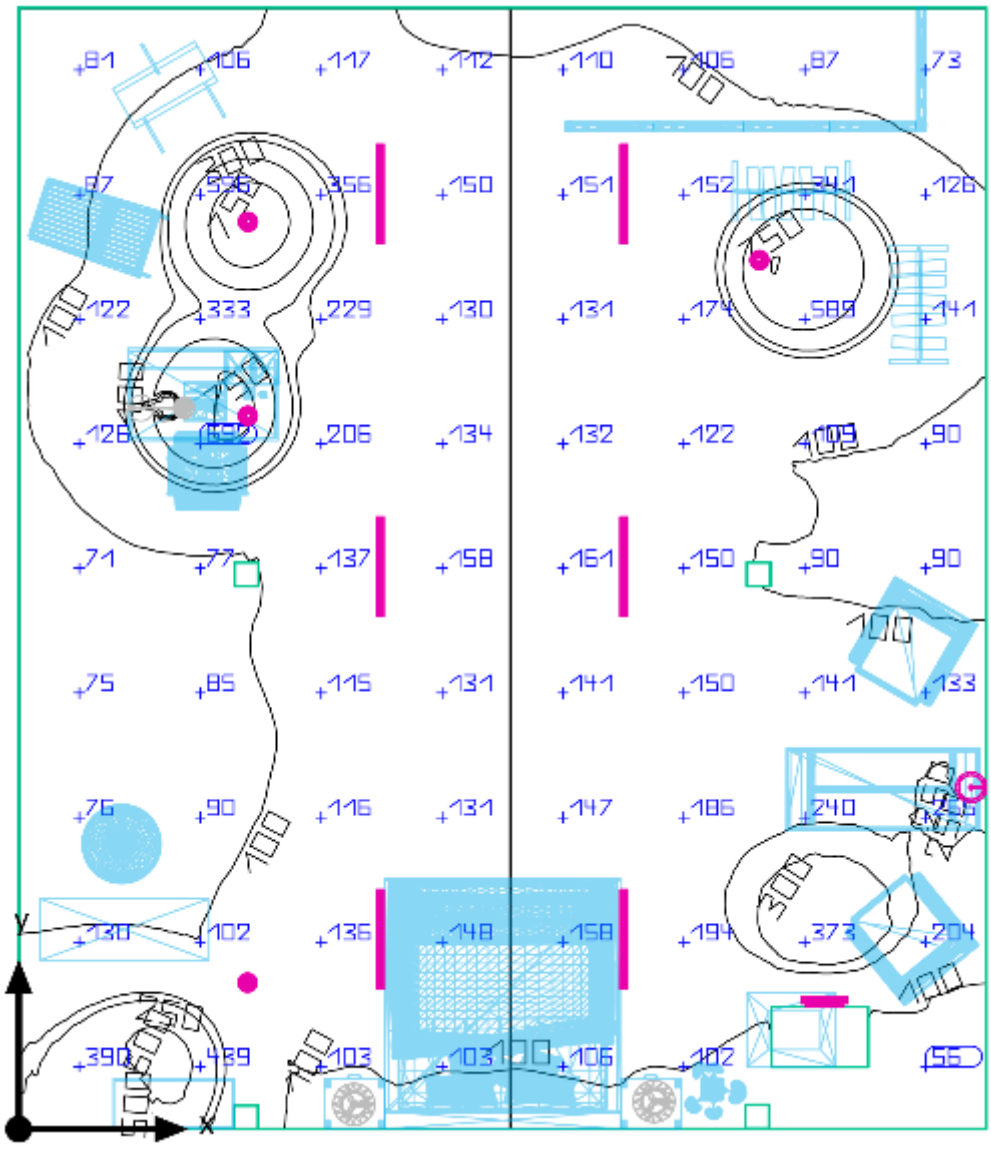
Příloha 10 – Nasimulované hodnoty osvětlenosti nové osvětlovací soustavy koupelny



Příloha 11 – Nasimulované hodnoty osvětlenosti nové osvětlovací soustavy předsíně

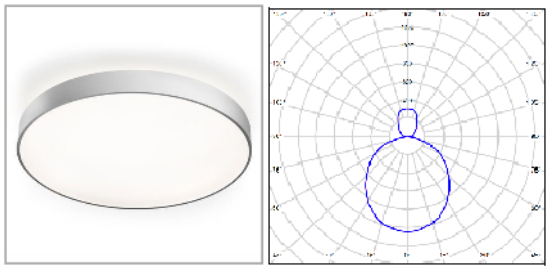


Příloha 12 – Nasimulované hodnoty osvětlenosti nové osvětlovací soustavy horního patra

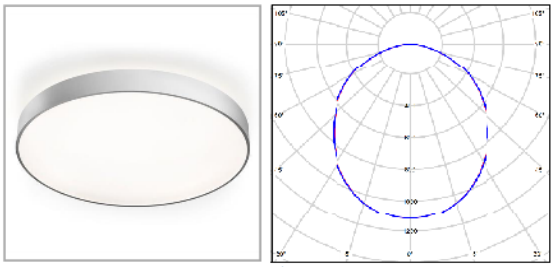


Příloha 13 – Kusovník svítidel nového návrhu osvětlení rodinného domu

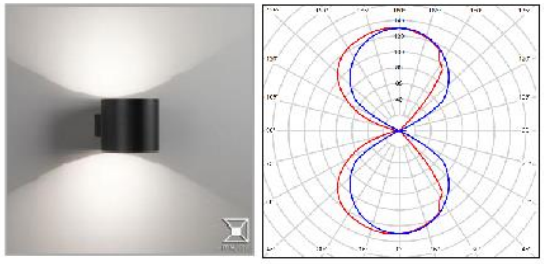
2 ks Rundo
Kód výrobku: 190-241K-10GGQ/TC, B
Světelný tok: 3 470 lm
Výkon svítidla: 38,5 W
$T_c = 2\,700 - 6\,500\ K$
$R_a > 90$



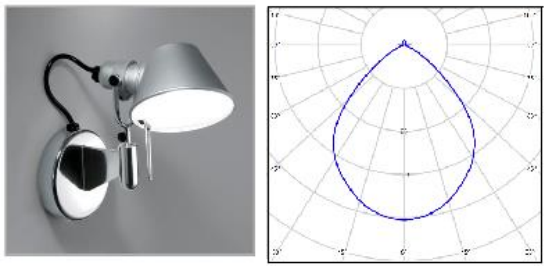
2 ks Rundo
Kód výrobku: 190-240K-10GGQ/TC, S
Světelný tok: 3 260 lm
Výkon svítidla: 39 W
$T_c = 2\,700 - 6\,500\ K$
$R_a > 90$



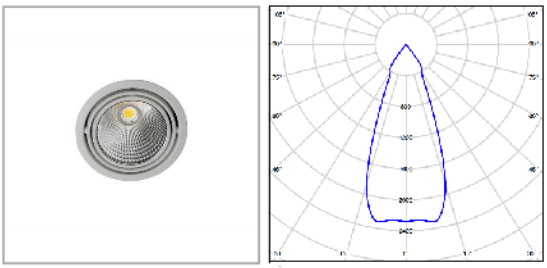
5 ks Orbit LED 927 DIM
Kód výrobku:
Světelný tok: 504 lm
Výkon svítidla: 7 W
$T_c = 2\,700\ K$
$R_a > 90$



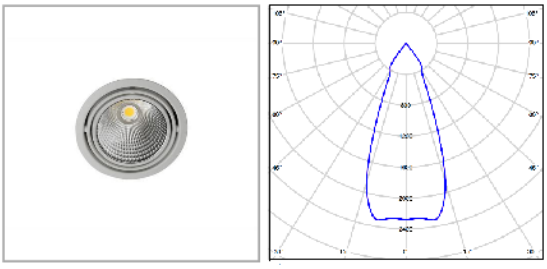
3 ks Tolomeo Faretto
Kód výrobku: 1060073
Osazení: 1 × LED žárovka Vitae
Světelný tok: 400 lm, 300 lm, 10 lm
Výkon svítidla: 6,8 W, 5,2 W, 1,9 W
$T_c = 4\,000\ K, 2\,800\ K, -K$
$R_a > 96, > 96, -$



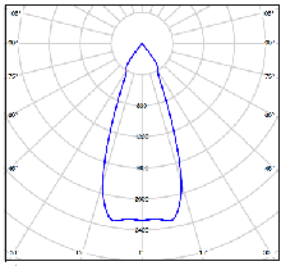
3 ks Basi
Kód výrobku: 70-003S-106DD/830, W
Světelný tok: 1 260 lm
Výkon svítidla: 9,7 W
$T_c = 3\,000\ K$
$R_a > 80$



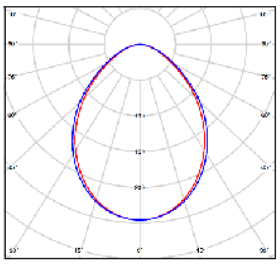
1 ks Basi
Kód výrobku: 70-003K-10GDD/840, W
Světelný tok: 1 280 lm
Výkon svítidla: 9,7 W
$T_c = 4\,000\ K$
$R_a > 80$



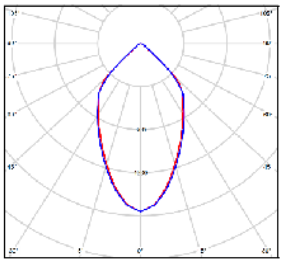
2 ks Basi
Kód výrobku: 70-003S-10GDQ/TC, W
Světelný tok: 1 250 lm
Výkon svítidla: 23 W
$T_c = 2\,700 - 6\,500\ K$
$R_a > 90$



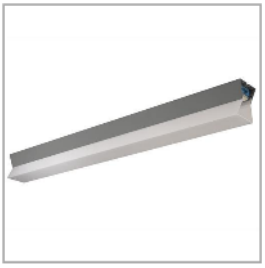
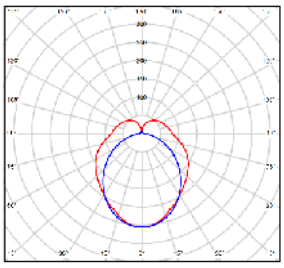
8 ks Lipo 60
Kód výrobku: 04-000I-10GETD/830W
Světelný tok: 500 lm
Výkon svítidla: 3,9 W
$T_c = 3\,000K$
$R_a > 80$



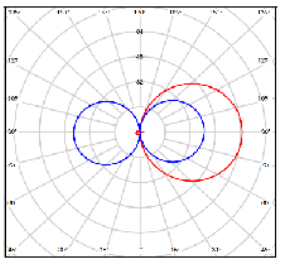
2 ks Ravo
Kód výrobku: 55-070K-10GDQ/TC, W
Světelný tok: 1760 lm
Výkon svítidla: 32 W
$T_c = 2\,700 - \ 6\,500\ K$
$R_a > 90$



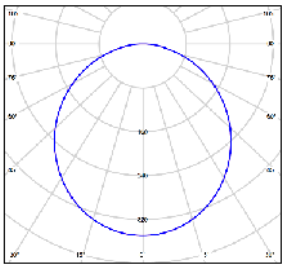
8 ks Sant-S
Kód výrobku: 132S-500K-10GED/830, W
Světelný tok: 1010 lm
Výkon svítidla: 10,6 W
$T_c = 3\,000\ K$
$R_a > 80$

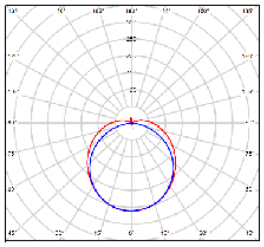
2 ks WB062
Kód výrobku:
Světelný tok: 366 lm
Výkon svítidla: 6,61
$T_c = 2\,700\ K$
$R_a > 80$



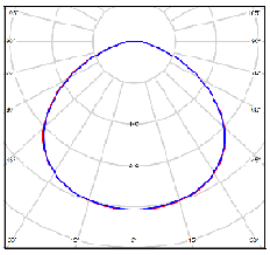
1 ks Greenlux
Kód výrobku:
Světelný tok: 1 000 lm
Výkon svítidla: 12 W
$T_c = 4\,000\ K$
$R_a > 80$



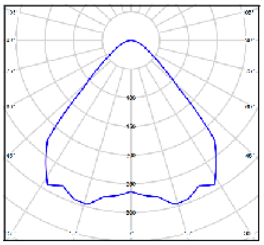
1 ks Mahogany
Kód výrobku:
Světelný tok: 900 lm
Výkon svítidla: 9,5 W
$T_c = 2\,700\ K$
$R_a > 80$



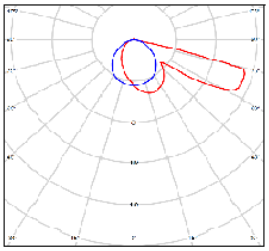
1 ks Flex
Kód výrobku: 10-1531-21-05
Osazení: 1 × LED žárovka Vitae
Světelný tok: 400 lm, 300 lm, 10 lm
Výkon svítidla: 6,8 W, 5,2 W, 1,9 W
$T_c = 4\,000\ K, 2\,800\ K, -K$
$R_a > 96, > 96, -.$



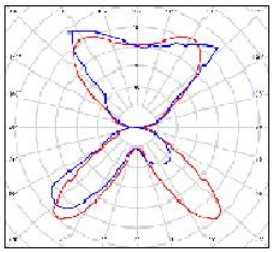
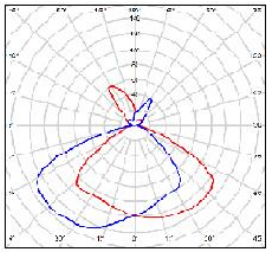
1 ks Spot Display
Kód výrobku: 1002987
Osazení: 1 × LED žárovka Vitae
Světelný tok: 400 lm, 300 lm, 10 lm
Výkon svítidla: 6,8 W, 5,2 W, 1,9 W
$T_c = 4\,000\ K, 2\,800\ K, -K$
$R_a > 96, > 96, -.$



7 ks Downunder pure 80
Kód výrobku:
Světelný tok: 171 lm
Výkon svítidla: 3,14 W
$T_c = 3\,000\ K$
$R_a > 80.$



1 ks Spica
Kód výrobku: 05-2510-26-86
Osazení: 1 × LED žárovka Vitae
Světelný tok: 400 lm, 300 lm, 10 lm
Výkon svítidla: 6,8 W, 5,2 W, 1,9 W
$T_c = 4\,000\ K, 2\,800\ K, -K$
$R_a > 96, > 96, -.$



2 ks Versa Matalina
Kód výrobku:
Osazení: 1 × LED žárovka Vitae
Světelný tok: 400 lm, 300 lm, 10 lm
Výkon svítidla: 6,8 W, 5,2 W, 1,9 W
$T_c = 4\,000\ K, 2\,800\ K, -K$
$R_a > 96, > 96, -.$