

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

ELEKTROTECHNIKA, ENERGETIKA A MANAGEMENT



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Analýza odchylek světelně technických výpočetních programů od
reality**

Bc. Amila Osmić

2021

Vedoucí práce: Ing. Marek Bálský, Ph.D.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Osmič** Jméno: **Amila** Osobní číslo: **481100**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektrických pohonů a trakce**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Specializace: **Elektrické pohony**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Analýza procesu výpočtu parametrů osvětlovacích soustav

Název diplomové práce anglicky:

The analysis of calculation process of lighting system dimensioning

Pokyny pro vypracování:

- 1) Proveďte analýzu výpočetních metod nejčastěji využívaných výpočetních programů pro projektování osvětlovacích soustav.
- 2) Porovnejte výsledky výpočtu parametrů osvětlovací soustavy dostupnými výpočetními programy s reálnou osvětlovací soustavou.
- 3) Posuďte vliv nepřesně stanovených vstupních dat na správnost výsledků výpočtu parametrů osvětlovacích soustav a na základě této analýzy navrhněte metodiku pro kontrolu správnosti vstupních dat.

Seznam doporučené literatury:

- [1] ČSN EN 12464 Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů
- [2] ČSN EN 13032 Světlo a osvětlení - Měření a uvádění fotometrických údajů světelných zdrojů a svítidel
- [3] HABEL, Jirí, et al. Světlo a osvětlování. Praha: FCC Public, 2013. 438 s. ISBN 978 80 86534 21 3.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Marek Bálský, Ph.D., katedra elektroenergetiky FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **13.02.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **13.08.2021**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2021**

Ing. Marek Bálský, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomantka bere na vědomí, že je povinna vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studentky

ČESTNÉ PROHLAŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci pod názvem *Analýza odchylek světelně technických výpočetních programů od reality* vypracovala samostatně pod vedením vedoucího práce a že jsem veškeré použité literární i ostatní zdroje uvedla v seznamu literatury a v práci citovala v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze, dne 13.8.2021.

Anotace

Práce se zabývá posouzením vlivu jednotlivých parametrů na výsledky světelně technických výpočetních programů. Provedena je analýza výpočetních metod nejčastěji využívaných výpočetních programů pro projektování osvětlovacích soustav, v tomto případě Dialux Evo, Dialux a Relux. V další kapitole byly uvedeny parametry místností, které byly používány a potom i výsledky z jednotlivých programů. Dalším krokem bylo porovnat výsledky programu s reálnou osvětlovací soustavou. V posledních kapitolách jsou uvedeny možné příčiny odhadu vypočtených hodnot od reality, ale i způsoby jak této příčiny odstranit.

Klíčová slova

osvětlenost, udržovací činitel, světelně technický výpočet, světelný tok, Dialux, Dialux Evo, Relux

Abstract

The goal of this thesis was to assess the impact of specific parameters to lighting design program calculation results. An analysis of computational methods of the most frequently used lighting design programs is performed, in this case, those are Dialux Evo, Dialux and Relux. The next chapter lists the parameters of the rooms that were used and then the results from each program. The next step was to compare the results of the program with a real lighting system. In the last chapters, possible causes of the deviation of the calculated values from reality were presented, as well as the ways to eliminate these causes.

Key words

illuminance, maintenance factor, lighting calculation, luminous flux, Dialux, Dialux Evo, Relux

Poděkování

Chtěla bych poděkovat vedoucímu práce Ing. Marku Bálskému, PhD. za odborné vedení a podporu při tvorbě práce. Dále děkuji svým rodičům a sestře za jejich obrovskou podporu během celého studia.

Obsah

ČESTNÉ PROHLAŠENÍ.....	2
Anotace	3
ÚVOD.....	6
1.1. Definice světelnětechnických veličin.....	7
1.2. Měření osvětlení.....	8
2. Popis používaných výpočtových programů	12
1.1. Obecně o používaných výpočtových programech.....	12
1.1.1. Dialux	12
1.1.2. Dialux Evo	12
1.1.3. Relux	13
1.2. Metody výpočtu jednotlivých programů.....	14
1.2.1. Dialux	14
1.2.2. Dialux Evo	17
1.2.3. Relux	19
3. Světelně technický výpočet - vstupní data a popis místností.....	20
2.1. Vstupní data a výpočet udržovacího činitele.....	20
2.2. Místnost 1.....	21
2.3. Místnost 2.....	24
2.4. Místnost 3.....	27
3. Výsledky výpočtu.....	31
3.1. Místnost 1.....	31
3.2. Místnost 2.....	34
3.3. Místnost 3.....	37
3.4. Hodnocení výsledků	38
4. Vliv nepřesně stanovených vstupních dat na správnost výsledků výpočtu a návrh metodiky pro kontrolu správnosti vstupních dat	39
5. ZÁVĚR	39
6. LITERATURA.....	41

ÚVOD

V praxi se často používají světelně technické výpočetní programy, které usnadňují práci technikům, především při projektování osvětlení velkých objektů. Těto programy mají možnost simulovat reálnou situaci osvětlení a umožňují i přidávání jiných objektů (např. nábytku, různých druhů podlah...) do místnosti pro přesnější spočítání osvětlení.

Cílem tohoto projektu bylo porovnat výsledky z třech výpočetních programů s naměřenými daty v reálné situaci, a zjistit jak se a kolik rozlišují. Potom je potřeba najít příčiny rozlišení dat.

Dnes se může najít velký počet světelně výpočetních programů, a každý nabízí jiné možnosti a jiné prostředky, ale všechny, také, mají stejné základní možnosti výpočtu osvětlení. Proto výběr vhodného programu na konci ovlivňují jenom osobní preference anebo speciální požadavky na projekt.

V tomto magisterském projektu jsme na výpočet vybrali Dialux, Dialux Evo a Relux, jako tři nejpoužívanější programy v České republice.

Dialux umí počítat i denní osvětlení jak v interiérech, tak ve venkovním prostředí. Jedna z nevýhod je, že jenom umožňuje výpočet každé místnosti za sebe.

Dialux Evo je rozšířenější software Dialuxu. Umožňuje sjednocený výpočet více místnosti, nebo celé budovy najednou, což je mnohem praktičtější způsob, a někdy i přesnější, pokud se jedná o místnosti, které jsou otevřené a jejich svítidla ovlivňují osvětlení v jiných místnostech.

Relux se podobá svými vlastnostmi Dialuxu, ale samozřejmě mají i nějaké rozdíly. Více o tom jak této rozdíly ovlivňují rozdíly ve výpočtu, v následujících kapitolách

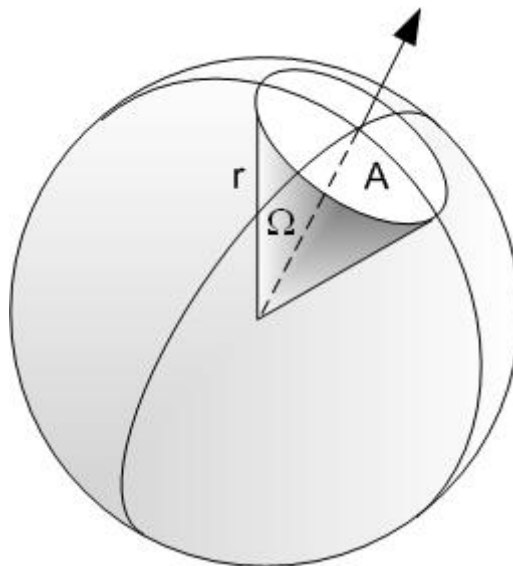
1. Teoretický rozbor

Ve světelné technice se při posuzování kvality osvětlení nepoužívají energetické veličiny (např. zářivý tok, zářivost, atd.), ale fotometrické veličiny, a to aby se respektovala různá citlivost lidského oka na různé vlnové délky záření. V této kapitole jsou definovány nejdůležitější fotometrické veličiny, které se vyskytují v této diplomové práci. Potom bude vysvětleno jak se a kterým přístrojem provádí měření osvětlenosti.

1.1. Definice světelnotechnických veličin

Světelně technická veličina, která odpovídá zářivému toku a vyjadřuje schopnost zářivého toku způsobit zrakový počitek, resp. vjem, se nazývá *světelný tok*. Jednotkou světelného toku je lumen (lm). [5]

Důležitou geometrickou veličinou používanou ve světelně technických výpočtech je *prostorový úhel*. Jeho velikost je určena velikostí plochy vyřezané obecnou kuželovou plochou na povrchu jednotkové koule, jejíž střed (vrchol prostorového úhlu) je totožný s vrcholem uvažované kuželové plochy (graficky zobrazeno na obr. 1). Jednotkou prostorového úhlu je steradián (sr). [5]



Obr. 1. Vymezení prostorového úhlu na kulové ploše rotační kuželovou plochou [6]

Při nerovnoměrném rozložení světelného toku zdroje či svítidla do různých směrů prostoru je třeba kromě hodnoty úhrnného světelného toku znát ještě prostorovou hustotu světelného toku v různých směrech, tj. *svítivost* zdroje, popř. svítidla v těchto směrech. Jednotkou svítivosti je kandela (cd). [5]

Osvětlenost (intenzita osvětlení) E rovinné plošky dA , tj. plošná hustota světelného toku $d\Phi_d$ dopadlého na plošku dA , je určena vztahem [5]:

$$E = \frac{d\Phi_d}{dA}$$

Osvětlenost plošky dA se často nazývá osvětlenost v bodě, jehož elementární okolí v uvažované rovině tvoří ploška dA . Jednotkou osvětlenosti je lux (lx). [5]

V této diplomové práci srovnává se naměřená osvětlenost ve třech místnostech s vypočtenou osvětleností v programech Dialux, Dialux Evo a Relux.

1.2. Měření osvětlení

K měření osvětlení se používají objektivní přístroje, *luxmetry*. Luxmetry se skládají z přijímače s korigovaným, nejčastěji křemíkovým fotoelektrickým článkem, jenž je opatřen kosinovým nastavcem, a z měřícího a vyhodnocovacího systému s digitálním nebo analogovým indikátorem. [5]

Běžně se luxmetry zařazují do čtyř tříd přesnosti označovaných číslicemi 1, 2, 3, 4 resp. písmeny L, A, B, C. Uvedeným třídám odpovídají největší dovolené souhrnné chyby f_c luxmetrů 2, 5, 10 a 20 %. Při posuzování přesnosti luxmetrů se sleduje jedenáct druhů chyb (f_1 až f_{11}). Chyby f_6 a f_{11} se zjišťují pouze při typové zkoušce přístroje. Maximálně přípustné chyby luxmetru jsou shrnuty v tabulce 1. [5]

Luxmetry, které vyhovují třídě přesnosti 1 a 2, se využívají jako sekundární etalony a pro přesná laboratorní měření. Pro běžná provozní měření osvětlenosti většinou postačují přístroje s třídou přesnosti 3. Pokud se nezvýší nejistota měření, lze pro některá provozní měření použít luxmetry i třídy přesnosti 4. [5]

Tabulka 1. Maximálně přípustné chyby luxmetru pro jednotlivé třídy přesnosti [5]

Třída přesnosti		Největší dovolená chyba (%)											
ÚNM	CIE	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8	f_9	f_{10}	f_{11}	f_c
1	L	0,2	0,2	0,5	0,1	0,1	1,0	0,2	0,2	0,1	0,1	0,01	2
2	A	3,0	0,8	1,5	0,5	0,2	3,0	1,0	1,0	1,0	0,2	0,50	5
3	B	5,0	1,5	3,0	1,0	0,5	6,0	2,0	2,0	2,0	0,5	1,00	10
4	C	10,0	3,0	6,0	1,0	1,0	9,0	4,0	4,0	5,0	1,0	2,00	20

Kde je:

f_1 - relativní chyba stupnice,

f_2 - spektrální chyba (vznika při měření ve světle se spektrem jiným, než které bylo použito při cejchování, což je obvykle normalizované světlo A, 2856 K),

f_3 - směrová (úhlová) chyba,

f_4 - chyba nestability,

f_5 - chyba vlivu teploty (vztažená na 1 °C),

f_6 - odchylka spektrální citlivosti čidla od křivky V (λ),

f_7 - chyby vyplývající z citlivosti fotočlánku na záření UV,

f_8 - chyby vyplývající z citlivosti fotočlánku na záření IČ,

f_9 - chyba linearity,

f_{10} - chyba při měření modulovaného záření,

f_{11} - chyba při změně rozsahu přístroje. [5]

Indikátor luxmetru musí být opatřen korektorem umožňujícím nastavit nulu. Má-li luxmetr vlastní napájecí zdroj, musí být možné průběžně kontrolovat napětí tohoto zdroje. Luxmetr musí na každém rozsahu snést přetížení 20 % měřícího rozsahu po dobu 5 min. Za normálních podmínek musí být životnost luxmetrů minimálně 5000 provozních hodin. Frekvenční rozsah pro všechny třídy přesnosti luxmetrů je v rozmezí od 40 do 10⁵ Hz. [5]

Před započítáním měření je třeba fotočláanky po dobu 5 až 15 min ponechat odkryté ve světelném prostředí, v němž se bude měřit, aby se čidla přizpůsobila daným podmínkám a stabilizovala se. Při měření je třeba dbát na to, aby nebyl překročen rozsah měřícího přístroje a aby (zejména v starších přístrojích) nebylo čidlo ozářeno nedovoleným světelným tokem. U luxmetru s několika rozsahy a ručkovými měřícími přístroji se doporučuje nečíst hodnoty v rozsahu do jedné pětiny stupnice, aby se tak nezvětšovala (již tak dost velká) nejistota měření. [5]

Měření osvětlenosti je ale ovlivňováno i mnoha dalšími faktory. Zvláště je třeba brát v úvahu změny světelného toku zdrojů v závislosti na změnách napájecího napětí, na teplotě okolí, a na době jejich provozu, ale i míru znečištění světelně činných ploch svítidel a osvětlovaného prostoru. [5]

Měření se kontrolují hodnoty osvětlenosti v bodech pracovní či srovnávací roviny (nejčastěji se uvažuje vodorovná rovina ve výši 0,85 m nad podlahou ve vnitřních prostorech a obvykle nejvýše 20 cm nad povrchem ve venkovních prostorech), a to jednak u nového zařízení (nová svítidla a zdroje, nově vymalováno, nové vybavení) a jednak u zařízení v běžném provozu. Při měření nového zařízení musí být svítidla i zdroje čisté, nepoškozené a musí odpovídat projektu. Svítidla i zdroje je nutné instalovat ve správné poloze. [5]

S ohledem na vlastnosti světelných zdrojů je třeba při měření osvětlenosti dodržovat především tyto pokyny [5]:

1. Nové zářivky a výbojky musí být před měřením provozovány při jmenovitém napětí po dobu alespoň celkem 100 h a žárovky nejméně 10 h. V záznamu měření se uvádí, kolik hodin celkem byly již světelné zdroje v provozu. [5]
2. Před každým měřením musí být světelný tok stabilizován. Výbojové zdroje musí být proto před zahájením měření v provozu minimálně 20 min; jsou-li instalovány v uzavřených svítidlech, může být doba stabilizace delší. Fotočláanky je třeba před měřením osvětlit po dobu 5 až 15 min přibližně stejnými hladinami osvětlenosti, jaké budou měřeny. [5]
3. Světelný tok zdroje se mění s teplotou okolí (zejména u zářivek). Proto je třeba v protokolu o měření uvést, při jaké teplotě vzduchu okolí svítidel se měřilo. [5]
4. Vzhledem k tomu, že světelný tok zdrojů závisí na napájecím napětí, musí se při měření kontrolovat i napětí (čte se současně s údaji o osvětlenosti). Naměřené hodnoty osvětlenosti se korigují v závislosti na odchylce skutečného napětí U od jeho jmenovité hodnoty U_N podle údajů výrobce. Nejsou-li tyto údaje k dispozici, násobí se naměřené hodnoty osvětlenosti korekčním činitelem k_U , který se vypočítá z výrazu [5]:

$$k_U = \left(\frac{U}{U_N} \right)^c$$

kde je c exponent závislý na druhu zdroje (a nemusí být stejný v celé oblasti odchýlek od jmenovitého napětí). [5]

Světelný tok svítidel závisí i na znečištění svítidla, a proto je zapotřebí v protokolu o měření uvést skutečný stav. [5]

Při měření umělého osvětlení v interiérech je nutné vyloučit vliv denního světla, tj. měřit po setmění nebo při zatemnění oken a světlíků. Při měření osvětlenosti ve vnitřních prostorech je zapotřebí z naměřených hodnot stanovit místně průměrnou hladinu osvětlenosti. Proto je nutné zachovat určitý postup a provádět dílčí měření ve vhodně zvolených kontrolních bodech. Ve vnitřních prostorech se osvětlenost měří v pravidelné čtvercové síti kontrolních míst. [5]

V prázdných místnostech nebo v jejich funkčně vymezených částech se půdorys rozdělí na dílčí plochy o straně např. 1 až 2 m (vyjímečně u rozsáhlých ploch i 6 m). Velikost dílčích ploch se volí tak, aby byly dostatečně zachyceny změny hladin osvětlenosti, včetně míst s největší a s nejmenší hodnotou osvětlenosti. Osvětlenost se měří na srovnávací rovině uprostřed každé dílčí plochy. Průměrná osvětlenost je rovna aritmetickému průměru všech takto naměřených hodnot. [5]

Jestliže se síť kontrolních bodů shoduje se sítí svítidel celkového osvětlení, je třeba zvolit více kontrolních míst, aby nevznikly větší chyby. Počet kontrolních bodů se běžně zvětšuje i proto, aby síť těchto bodů odpovídala tvaru měřené místnosti. [5]

Ve vybavených prostorech se osvětlenost měří na všech místech zrakových úkolů, tj. tam, kde se nacházejí hlavní předměty zrakové činnosti (pracovní stoly, stroje apod.). Průměrná hodnota osvětlenosti se opět vypočítá jako aritmetický průměr všech naměřených hodnot. Je pochopitelné, že výpočet průměrné hodnoty osvětlenosti se dělá pro ta místa zrakových úkolů, pro která je předepsána stejná hodnota osvětlenosti. [5]

V praxi se vyskytuje mnoho prostorů, v nichž při hodnocení osvětlení nemá význam pracovat s průměrnou hladinou osvětlenosti. Je tomu tak např. tam, kde jsou instalovány vysoké stroje, či kde se vyrábějí rozměrná zařízení apod. V takovýchto případech se měří osvětlenost pouze v místech, kde pracovníci vykonávají určitou činnost. [5]

1.3. Udržovací činitel

Údržba osvětlovací soustavy podstatně ovlivňuje hospodárnost využívání navrženého osvětlovacího zařízení. V průběhu využívání osvětlovací soustavy se mění její parametry. Zejména klesá světelný tok dopadající na jednotlivá místa zrakových úkolů. Dochází však nejen ke snižování kvantitativních parametrů osvětlení, ale mění se též ukazatele kvalitativní, zvláště rovnoměrnost osvětlení, prostorové rozložení světelného toku i oslnivost soustavy. Údržba osvětlovací soustavy zahrnuje nejen čištění osvětlovacích zařízení, obnovu světelně aktivních povrchů místnosti a výměnu světelných zdrojů, předřadníků a dalších částí i svítidel, ale také udržování konstrukčních částí, těsnosti zařízení a rovněž údržbu elektrické části soustavy. Údržba osvětlení musí být řešena již ve stadiu projektu v návaznosti na údržbu a provoz celého objektu a pro údržbu musí být vytvořeny veškeré potřebné předpoklady, včetně obslužného zařízení a pomůcek. Již při návrhu osvětlení je třeba předpoklady údržby zařízení mít na zřeteli, a to také při volbě materiálu a konstrukce svítidla podle druhu a vlastností prostředí. Např. v prašném prostředí textilních provozů je třeba dát přednost svítidlům z materiálů, na nichž se nevytvářejí elektrostatické náboje, jejichž povrch je hladký a které jsou provedeny a větrány tak, aby se omezilo usedání prachu vně i uvnitř svítidla. Z hlediska údržby není výhodné zvyšovat neodůvodněně krytí svítidel, neboť vyšší stupeň krytí představuje obvykle i komplikovanější demontáž jednotlivých částí svítidel. Při rozmísťování svítidel se přihlíží k tomu, aby funkční selhání jednotlivých zdrojů nevyvolalo příliš velkou nerovnoměrnost osvětlení, která by vyžadovala rychlou individuální výměnu zdrojů. [7]

V návrhu plánu údržby je třeba stanovit základní pravidla pro hromadné činnosti, např. pro čištění svítidel, nebo výměnu zdrojů, a sladit hospodárný interval čištění svítidel a ostatních světelně činných ploch s hospodárnou dobou života zdrojů, a to na základě technicko ekonomických propočtů. [7]

Míru stárnutí a znečištění hlavních součástí osvětlovacího zařízení a světelně činných ploch v daném prostoru charakterizuje *udržovací činitel*.

Je objektivní skutečností, že i při dobře navrženém a dodržovaném plánu údržby dochází k určitému poklesu světelného toku. Proto je třeba při návrhu osvětlení předdimenzovat osvětlovací soustavu tak, aby osvětlenost vytvořená soustavou na počátku provozu byla větší než je osvětlenost požadovaná normami. Při dimenzování osvětlovací soustavy se vychází z tzv. *udržovacího činitele* (*MF* - maintenance factor), který je definován jako podíl průměrné udržované osvětlenosti \bar{E}_m a průměrné osvětlenosti \bar{E}_0 zajištěné osvětlovací soustavou v novém stavu [5]:

$$MF = \frac{\bar{E}_m}{\bar{E}_0}$$

Udržovaná osvětlenost je průměrná osvětlenost určité době provozu osvětlovací soustavy, po jejímž uplynutí je požadovaná údržba osvětlovací soustavy. Tato osvětlenost je pro jednotlivé zrakové úkoly a činnosti předepsána normami. Udržovací činitel se stanoví ze vztahu [5]:

$$MF = LLMF \times LSF \times LMF \times RSMF \quad (-)$$

kde je

LLMF - činitel stárnutí světelných zdrojů (-),

LSF - činitel funkční spolehlivosti světelných zdrojů (-),

LMF - udržovací činitel svítidel (-),

RSMF - udržovací činitel povrchů (-) [5].

Při stanovení udržovacího činitele se postupuje takto:

1. Pro řešený prostor se navrhne vhodný typ světelného zdroje a svítidla.
2. Je-li pro danou osvětlovací soustavu výhodná skupinová výměna, stanoví se její interval.
3. Pro interval z kroku 2 se zjistí hodnoty LLMF a LSF z údajů uváděných výrobcem světelných zdrojů případně podle typických údajů v normě ČSN EN 13201-2, ZMĚNA Z1 nebo TNI 360451. v případě individuální výměny je LSF=1.
4. Stanoví se kategorie prostředí.
5. Stanoví se interval čištění svítidel a obnovy povrchů (pro vnitřní prostory).
6. Pro interval stanovený v kroku 5 se zjistí hodnota LMF z údajů uváděných výrobcem svítidel případně podle typických údajů v normě ČSN EN 13201-2, ZMĚNA Z1 nebo TNI 360451.
7. Pro interval stanovený v kroku 5 se stanoví hodnota RSMF podle typických údajů v normě TNI 360451 nebo se stanoví výpočtem.
8. Vypočítá se udržovací činitel MF podle už navedeného vztahu. [5]

Výpočet udržovacího činitele, který je používán v této diplomové práci je ukázan v kapitole 3.

2. Popis používaných výpočtových programů

V kapitole 2 jsou popsány jednotlivé používané programy na světelný výpočet, konkrétně: Dialux Evo, Dialux a Relux. První část kapitoly obsahuje obecný popis a úvod do každého programu. V druhé části jsou popsány výpočtové metody jednotlivých programů, vzhledem k tomu, že by mohly výrazně ovlivnit výsledky výpočtů. Vliv jednotlivých metod na výsledky světelného výpočtu bude následně probrán v dalších kapitolách.

1.1. Obecně o používaných výpočtových programech

1.1.1. Dialux

Dialux je bezplatný program, kterého si může vztáhnout kdokoli, a je velmi jednoduché zvládnout jeho ovládání. Má velmi uživatelský přívětivé rozhraní. Umožňuje efektivně plánování osvětlenosti a ještě k tomu pomáhá při dodržování mezinárodních norem a předpisů. Projektování osvětlenosti domova nebo kanceláře s maximálním využitím denního světla a energeticky úsporných svítidel může výrazně snížit náklady. Software je dostupný ve 25 různých jazycích.

Umožňuje simulovat nastavení světla uvnitř i venku, profesionálně vypočítává a kontroluje všechny světelné parametry pro interiéry a exteriéry, silnice a tunely a poskytuje jasné a přesné výsledky podle nejnovějších předpisů pro výzdobu interiérů.

Datový formát ULD také zahrnuje trojrozměrný tvar osvětlovacích těles, distribuci světla a popisy produktů. Moduly PlugIn od výrobců osvětlení zahrnují další podrobnosti plánování, jako jsou faktory údržby a hodnoty UGR.

Celý projekt osvětlení lze dokončit pomocí několika jednoduchých operací umístování lamp a světelného zdroje jednoduše přetažením ikon představujících svítidla a osvětlovací systémy do různých oblastí plánu, aby bylo možné vypočítat celkové množství požadované povrchové světlo, založené na specifikacích osvětlení podlahy, stropu a stěny a spotřeby lampy.

Kombinace lamp a nábytku lze snadno namontovat do požadované polohy, což usnadňuje architektonický design a vnitřní instalace a vybavení. Systém Dialux je ve skutečnosti vhodný pro různé typy prostředí, zařízení a jejich vliv, a to vypracováním specifických, globálních a dynamických světelných komponent.

Umožňuje import a export ze všech CAD programů, stejně jako zobrazování vykreslení projektu pomocí kvalitních fotografií a integrovaného Ray-traceru.

1.1.2. Dialux Evo

Rozhodující rozlišení mezi programem Dialux a Dialux Evo je koncept stavby. Uživatel vytváří geometrii ve virtuálním prostoru: může se jednat o jeden prostor, o celé patro nebo jednu či více budov v městském prostředí. Při navrhování osvětlení budovy může projektant pozorovat dosažený výsledek přímo ze zvoleného místa. Není důležité, jestli uvnitř nebo vně budovy, neboť v tom není žádný rozdíl. Tuto funkci podporuje model inteligentní budovy, který uživateli umožňuje navigovat uvnitř

jednotlivých prostředí. Jestliže je potřeba soustředit se na návrh osvětlení určitého prostoru, pro zobrazení pouze toho, na čem se má pracovat, stačí jednoduše skrýt zbytek.

Místo nabídky stavebních nástrojů přibližujících se softwaru pro stavební architekturu byly vyvinuty nové metody, které racionálně rekonstruují geometrie ve shodě se souborem .dwg. Tento rekonstrukční proces je podporován mnohými nástroji a automatismy.

DIALux Evo automaticky seskupuje svítidla a zobrazuje - bez zásahu projektanta - alespoň jednu světelnou scénu. Při kalkulaci světelných scén může projektant upřesnit nastavení stmívání nebo RGB téměř v reálném čase bez toho, aby musel provést novou kalkulaci.

1.1.3. Relux

Relux je vysoce výkonná aplikace pro simulaci umělého i denního světla. Umožňuje uživatelům simulovat osvětlení a senzory pro podrobné vykreslování. Je intuitivně ovládán a dokáže vypočítat národní/mezinárodní standardy i absolutní hodnoty. Kromě toho je program kompatibilní se systémy CAD plus BIM.

Platforma používá elektronické katalogy jako své databázové plug-in moduly, které umožňují uživateli vybrat a začlenit do svých návrhů svítidla výrobce. Platforma navíc uživatelům umožňuje importovat data svítidel EuLumdat a IES z kompatibilních zdrojů. Relux podporuje různé standardy pro silniční, vnitřní i venkovní osvětlení: EN12464-1 (2013) a EN1838 (2014) pro vnitřní osvětlení, EN13201-2, -3 (2016) pro silniční osvětlení a EN12464-2 (2013) , EN 12193 (2008), GR pro CIE 112 (1994) pro venkovní osvětlení [2].

Program především umožňuje v AutoCAD kreativně kompilovat osvětlení i plán senzorů. Díky obousměrnému rozhraní Relux mohou se definovat požadované parametry místnosti a získat výsledky výpočtu ve vhodném formátu pro plán CAD.

Relux je program pro odborné designéry, který v současné době podporuje standardy CIE88, CIE140 a SLG201 [2]. Prostřednictvím funkce automatického polohování se mohou naplánovat osvětlení v reálném čase. Program generuje podrobnou projektovou dokumentaci k různým zónám, včetně vstupní zóny, interiéru tunelu a přechodové sekce.

Tyto tři programy jsou vedoucími ve světelném průmyslu. Výběr tedy závisí na potřebách uživateli. V současné době je důležité jen vybrat simulační software, který dokonale vyhovuje osobním požadavkům uživatele na osvětlení.

1.2. Metody výpočtu jednotlivých programů

1.2.1. Dialux

Dialux 4 na rozdíl od dřívějších verzí má nové výpočtové jádro. Tento modul vypočítá výměnu světla mezi svítidly a jakéhokoliv povrchu (přímé záření) ale také i výměnu světla mezi osvětlenými povrchy (nepřímé záření). Přímé záření není nutně vysláno svítidlem. Novou verzí Dialuxu je možné vypočítat i denní osvětlení anebo světelný tok vyslán přímo Sluncem. Metoda, kterou se vypočítá osvětlenost je tzv. metoda radiosity. Modul programu pro výpočet se proto nazývá RadiCal, od anglických slov "radiosity calculator". Ze zákona zachování energie vyplývá, že celkový světelný tok, který dopadá na určitý povrch, a který tím povrchem není absorbován, bývá reemitován. Kromě toho může být ten samý povrch zdrojem světla. [1]

V metodě radiosity se provádí výpočet pro jednotlivé povrchy, každý povrch dostane vlastní vzorec. Tento vzorec popisuje emitované světlo, které je produktem světla absorbovaného z ostatních povrchů, a v případě, že i samotný povrch zdrojem světla, ten se také přidá k vzorci. Na konci se dostane systém rovnic, který popisuje osvětlenost každého jednotlivého povrchu. Výhodou této metody je, že výpočet není závislý na umístění. Až se postoupí o jeden stupeň, uživatel může volně otáčet 3D scénu nebo se v ní pohybovat, což mu umožňuje prozkoumat světelné efekty skrz celou scénu. Nevýhodou ale je, že se v současnosti jako jediný základ pro výpočet používá ideální difuzní odrazivost. Přicházející světelný paprsek se proto nezrcadlí, ale rovnoměrně se odráží ve všech směrech. V budoucnosti se v Dialuxu bude pracovat na odstranění této nevýhody. [1]

1.2.1.1. Adaptivní síťování

Otázkou je jak se takovýto výpočet provádí. Potom, co uživatel vytvoří geometrie pro výpočet v Dialuxu (buď místnost, nebo venkovní scénu), táto informace se přenáší k modulu RadiCal, který poskytnutou geometrii rozdělí to povrchu a plošek. Rozdělení povrchu do plošek se provádí, protože se na jednom povrchu vyskytují různé hodnoty osvětlenosti. Normy, jako např EN12193 nebo prEN12464-2, propisují parametry pro síťování. V nich je např i maximální velikost plošky, která nesmí být přesazena. Výpočet se provádí na základě následující rovnice [1]:

$$p = 0,2 \cdot 5^{\log_{10} d}$$

kde je d dimenze delší straně povrchu, p je maximální dovolená velikost plošky nebo buňky sítě. Avšak, táto rovnice má i nevýhody. Velký počet světelně výpočetních programů používá hodnotu p jako absolutní hodnotu. Např pokud povrch má dimenze 10 x 10 m, program z toho vytvoří síť 10 x 10, tzn 10 plošek dimenze 1 m. Takovýto přístup je dostatečně přesný při ověřování výsledků světelného výpočtu, ale se nemůže používat pro světelný výpočet místnosti. Ve skutečnosti se při ověřování měření stává následující: světlo se rozsvítí a je několikrát odraženo dostupnými povrchy a potom přijímač změří intenzitu osvětlení. [1]

Ale distribuce energie není nijak omezena. Pokud se použije předepsána síť 10 x 10, distribuce energie nemůže pokračovat správně, protože výměna osvětlení je definována pouze v samostatných pomocných bodech (10 x 10). Čím užší jsou paprsky svítidel, tím větší jsou chyby vyplývající z této metody. [1]



Obr. 2. DIALux adaptivní síťování [1]

Z obrázku 2. je vidět, že kdekoli se intenzita osvětlení na povrchu významně změní, je povrch rozdělen na menší části. Moderní programy pro výpočet světla se už neobejdou bez takzvaného „adaptivního síťování“. [1]

Světelný efekt svítidla s úzkým paprskem nebo dokonce jednoduchý efekt světelného paprsku, v případě, ve kterém je svítidlo namontováno v blízkosti osvětlené plochy, nelze zobrazit, pokud není použita jemná síť. Na druhou stranu, velmi jemná síť pro všechny povrchy by překročila dobu výpočtu a kapacitu paměti jakéhokoli procesoru. Zde program musí rozhodnout sám, kdy je plošku nutno rozdělit dále a kdy ne. Poměr času výpočtu a velikosti sítě není lineární ale exponenciální, vzhledem k tomu, že každý povrch (ploška) může vyměnit světlo s jakýmkoli dalším povrchem (ploškou). Potřeba za jemnější mřížkou se také objevuje i v případě nepřímého osvětlení. [1]

1.2.1.2. Kombinování sítí

Adaptivní síťování není všechno, co potřebujeme k přesnému a rychlému výpočtu. Například když se vypočítává osvětlení velkého sálu. Požadavek na osvětlení je 500 lx na pracovní rovině s dobrou rovnoměrností. Tomuto osvětlení se poskytne pole lineárních svítidel, jejichž odrazy jsou umístěny takovým způsobem, že se na pracovní rovině v definované oblasti pod svítidlem vytvoří rovnoměrné osvětlení (tzv. motýlová charakteristika). V oblasti poklesu svítivosti na okrajích křivek distribuce světla je na pracovní ploše náhle výrazně nižší osvětlenost. Zde musí výpočtový program přerozdělit povrchy (plošky) velmi jemně, aby tyto efekty byly zachyceny výpočtem. Nicméně vzhledem k tomu, že je v projektu mnoho svítidel namontováno blízko sebe, přilehlá svítidla v překrývajících se oblastí budou také vytvářet osvětlení. Až skončí výpočet všech svítidel, „inteligentní“ software je schopný rozhodnout, že už není potřeba udržet původní jemnou mřížku. Velký počet svítidel má za následek sjednocené osvětlení dané plochy a síť pro toto osvětlení lze nyní kombinovat pro výpočet nepřímého světla. Používáním těchto algoritmů se značně zkracuje doba výpočtu a přitom se udržuje vysoký stupeň přesnosti. [1]

1.2.1.3. Následně zpracování sítí

Často je uživatel zavázán poskytnout hodnoty osvětlení v předepsané mřížce, buď proto, že to zákazník vyžaduje za účelem kontroly, nebo proto, že takovou mřížku předepisuje nařízení. Výpočtové jádro DIALuxu je schopné vypočítat tato osvětlení stejně, jako by měření proběhlo ve skutečnosti. Jak je popsáno výše, měření nemá žádný, nebo, z akademického hlediska, velmi malý vliv na výměnu ozáření v místnosti. Měřicí síť také nemá reálně žádný vliv na distribuci fotonů na povrchu. To stejné platí v modulu RadiCal. Po přesném výpočtu výměny ozáření, může uživatel požádat o výstup v libovolné mřížce. Vzhledem k tomu, že během výpočtu bylo bráno v úvahu to, kde byla požadována jemnější mřížka, lze požadovat správný výsledek v jakékoli poloze. [1]

1.2.1.4. Hierarchická radiosita

Hierarchický proces nejdříve vypočítá strukturu vazeb, jež ukazuje, které plošky si vyměňují světlo mezi sebou. Skutečná výměna světla proběhne až po vytvoření struktury vazeb. Struktura se potom zjemní a výměna světla se opakuje. Tento proces potom proběhne reiterací. Tímto způsobem se dosahuje přesnějších hodnot skutečné osvětlenosti. Strukturu vazeb lze považovat za kompaktní zobrazení matice tvarového faktoru. Tvarový faktor může být definován jako část zaslané energie, která se dostane k přijímači. Má hodnotu 1 v případě, kdy se celá energie jedné plošky přenáší na druhou plošku. Kvůli velikosti a úhlovým poměrům plošek je tvarový faktor vždy menší než 1. Kromě prvku odesílatel-příjemce, také se ukládá informace o tvarových faktorech a poměrech viditelnosti. Ukládá se informace o prvku odesílatel-příjemce se také ukládá informace o tvarových faktorech a poměrech viditelnosti. Tento postup má jednu velkou výhodu. DIALux je díky němu schopný vypočítat různé energie současně. Když uživatel zahájí výpočet v DIALuxu s výpočtovými body UGR, musí být výpočet UGR proveden s „novými hodnotami“ plánovaného projektu. Není povoleno vzít v úvahu faktor údržby. Při plánování dle směrnic EN12464 musí uživatel přidělit faktor údržby ke každému svítidlu. To závisí na druhu svítidla a stínidla. To znamená, že se výpočet nemůže provést jenom na základě globálního faktoru (který byl např. původně 0,8). Takže při výpočtu v plánovacím programu musí být osvětlení a jasy definovány výpočtem s hodnotou údržby a výpočty UGR s „novou hodnotou“. Díky hierarchické radiositě to lze udělat v DIALuxu téměř současně – během práce na dvou výpočtových procesech s různými algoritmy nebo když se špatně odkazují hodnoty UGR na hodnotu údržby. [1]

1.2.1.5. Rozhodování o druhotném dělení

Povrchy obou odesílatelů a přijímače jsou rozděleny na menší parciální povrchy. Zde je nepodstatné, zda je vysílačem svítidlo nebo osvětlený povrch na stěně. Aby bylo možné rozhodnout, zda mají být prvky povrchu rozděleny nebo ne, musí být nejprve definována vzájemná orientace dvou povrchů. Pokud jsou povrchové prvky umístěny proti sobě, odhaduje se chyba, která by nastala, kdyby k přenosu světla došlo na povrchu přesně v místě kde dochází k druhotnému dělení. Pokud povrchy nejsou umístěny proti sobě, neprobíhá žádná výměna světla. Používáním hodnot výpočtu je teď možné určit, zda-li je přijímač umístěn před nebo za vysílačem, nebo zda-li je jedna část povrchu vysílače před a druhá za přijímačem. Je to rozhodující krok pro přesný výpočet. Malé odchylky zde mohou vést k významným odchylkám ve výpočtu. Při výpočtu přímého osvětlení se musí vzít v úvahu dvě možné chyby [1]:

- Úhel, ze kterého je povrch přijímače viděn odesílatelem, není konstantní. Světelný tok, vysílán ze svítidla ve směru k přijímači, tedy také není konstantní. [1]
- Pokud je přijímač blízko odesílatele, není dodržován fotometrický zákon vzdálenosti. [1]

Nejdříve se definuje chyba, která je výsledkem neustálého světelného toku. Poté se odhadne stupeň chyby podle fotometrického zákona vzdálenosti. Celková chyba je součtem těchto dvou jednotlivých chyb. Rozhodnutí, zda provést druhotné dělení nebo ne, se provádí pomocí speciální funkce. Po definování orientace a odhadu chyby se vypočítá maximální dovolená chyba. To se pak aplikuje na celkový světelný tok přítomný v celém světelném scénáři. Následně se provede zkouška, aby se zkontrolovalo, zda je odhadovaná chyba menší než maximální dovolená chyba. Pokud ano, již není nutné další dělení, a pokud je chyba větší než maximální, provede se čtyřdílné druhotné dělení a zkouška se provede znovu, aby se ujistilo, že je chyba menší než maximální dovolená. [1]

1.2.1.6. Druhotné dělení pro výpočet nepřímého světla

Při rozhodování, zda provést druhotné dělení povrchu odesílatele, je důležité vědět, jaká je rovnoměrnost osvětlenosti na tomto povrchu. Standard pro osvětlení povrchového prvku se získá porovnáním osvětlení povrchu a osvětlení jeho plošek. Pokud se osvětlení povrchu podstatně liší od osvětlenosti jeho plošek, znamená to, že se vyskytla chyba. Chyba osvětlení není chybou výpočtu, ale údajem o nerovnoměrnosti osvětlení povrchu. Chyba v osvětlení je důležitým kritériem při rozhodování, zda provést druhotné dělení povrchový prvek odesílatele nebo ne. Plocha přijímače někdy také musí být rozdělena pro nepřímý výpočet. To by mělo proběhnout předem, po kontrole, zda je tvarový faktor rovnoměrný. Poté se provede test, který již bylo popsáno pro přímý výpočet. [1]

1.2.2. Dialux Evo

V nové generaci programu Dialux - Dialux Evo, který je dostupný od roku 2012, je přidána možnost plánování celých budov. Odstraněna je hranice mezi vnitřním a vnějším plánováním a budovy už nejsou považovány za součet jednotlivých místnostech, ale jsou počítány a prezentovány jako celek. Vzhledem k tomu, že sklo hraje stále se vzrůstající roli v moderní architektuře, v Dialux Evo je umožněna fotometrická integrace jednotlivých místnostech s vnějším prostorem. [2]

Skoro všechny prvky Dialuxu jsou v Dialuxu Evo vytvořeny znovu. Fungování softwaru muselo být přizpůsobeno novým požadavkům, CAD výkresy měly mít výrazně zvýšený výkon než dříve používaná technologie a výpočtové jádro muselo být schopné vypočítat mnohem větší a složitější scény než to byl případ v Dialuxu. [2]

V programu Dialux a v mnoha jiných programech se používá metoda radiosity. Touto metodou se vypočítá výměna energie mezi každou plochou ve scéně. Aby bylo možné vizualizovat přesné rozdělení světelného toku na jednotlivých površích v scéně, jednotlivé povrchy se musejí rozdělit do menších plošek. Používáním "přizpůsobivého síťování" software zajišťuje aby jednotlivé povrchy nebyly staticky rozděleny do pevných mřížek, ale rozděleny velmi jemně do ploškách v oblastech, ve kterých se osvětlenost výrazně liší. Tímto způsobem se dosahuje vizualizace s vysokou rezolucí v nejkratším možném čase. Avšak tato metoda není v souladu s běžně používanými standardními metodami, kde se, jako např. v standardu EN12464-1, předepisuje rozdělení povrchu do pevných mřížek. Aby se vyplnily této požadavky, musejí se buď kromě výpočtových povrchu nastavit výpočtové body nebo se výsledky ve výpočtových bodech musejí interpolovat z výsledků na površích. [2]

Dříve byla metoda radiosity použita v programu DIALux a mnoha dalších programech pro výpočet osvětlení. Tento postup je osvědčený a v mnoha případech poskytuje dostatečně přesný výpočet. Radiosita má ale dvě slabosti: na jedné straně může výpočet velkých scén trvat velmi dlouho. Jednotlivé a jednoduché místnosti lze vypočítat velmi rychle pomocí radiosity, ale pro složité geometrie nebo celé budovy je doba výpočtu příliš dlouhá. Na druhou stranu výpočetní metoda bere v úvahu pouze difuzně odrážející materiály. Jednoduchý výpočet přenosových a zrcadlových ploch je možný pouze pomocí několika triků. [2]

Po pokusech s několika alternativními výpočtovými metodami, bylo rozhodnuto o používání fotonové střelby. Světlo po vyzařování bývá distribuováno na všechny viditelné povrchy. Z těchto povrchů fotony jsou vysílány nebo rozptýleny, vyzařovány nebo absorbovány, v závislosti na vlastnostech materiálu povrchu. Fotony se shromáždí na ovlivněných površích a potom se provádí proces hodnocení hustoty fotonů. Z počtu fotonů jednoho povrchu a jejich energie se stanoví osvětlenost nebo jas světelných paprsků. Výhoda tohoto principu je, že je to hrubá aproximace reálného rozložení světelného toku. Z popsané procedury je jednoduché usuzovat paralely. [2]

1.2.2.1. Nevýhody popsaného postupu

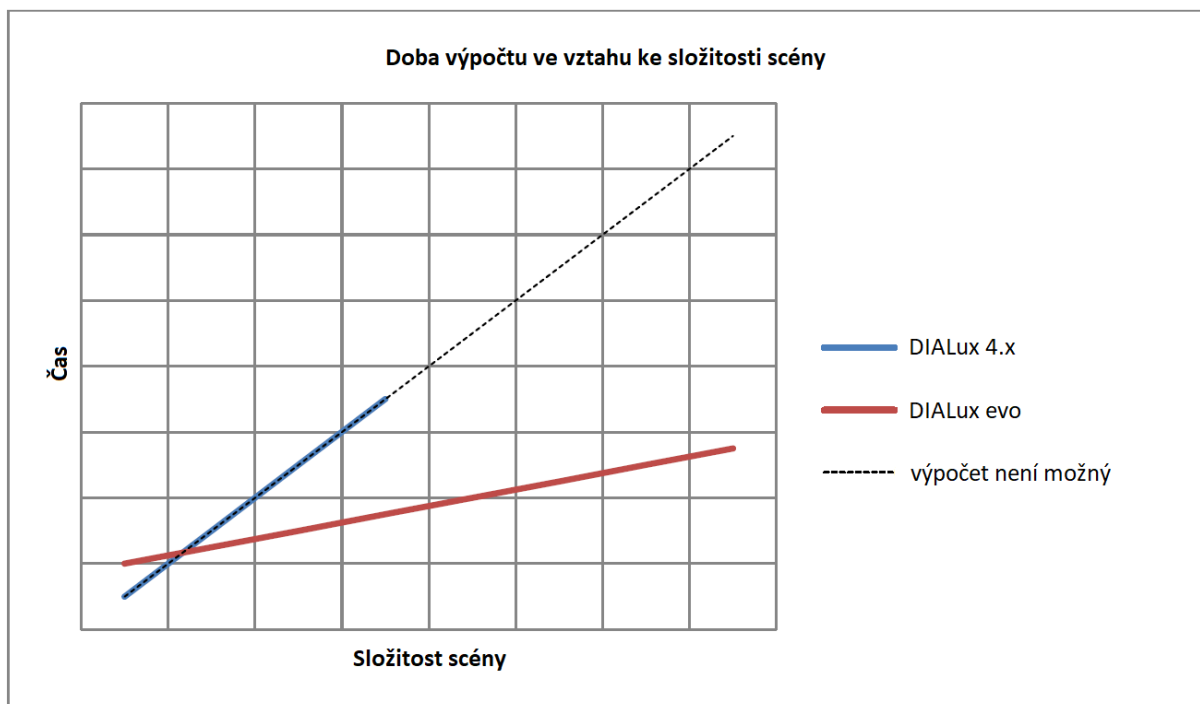
Zprv, používání jednoduché geometrie zabírá více času než výpočet pomocí metody radiosity protože počet používaných fotonů musí být relativně vysoký. Zadruhé, může se stát, že navzdory velkému počtu vystřelovaných fotonů malé povrchy nejsou dosaženy, nebo jsou dosaženy jenom malým počtem fotonů. V budoucnu je optimalizace fotonového střelce jedním z cílů vývojarů programu Dialux Evo. Cílem optimalizace bude emitovat dostatečné množství fotonů nebo dynamicky přizpůsobit počet fotonů aby odpovídal dané situaci. [2]

1.2.2.2. Výpočet s kontrolními skupinami

Světelný výpočet vždycky zabírá nějaký čas, bez ohledu na to, která metoda je použita. Proto je škoda, když se po úspěšně provedeném výpočtu udělá změna v jednotlivých scén, např aby se optimalizovala spotřeba energie, a potom musí celý výpočet proběhnout znovu. Zatímto účelem v Dialuxu Evo uživatel má možnost definovat, která svítidla by chtěl ztlumit nebo dát nezávislé na sobě v každé jednotlivé světelné scéně. Před výpočtem Dialux Evo identifikuje všechny kontrolní skupiny, nutné pro výpočet jednotlivých světelných scén. DIALux Evo tak brání skupině svítidel v získávání různých úrovní stmívání v rámci jedné světelné scény. Každá kontrolní skupina se potom vypočítá zvlášť. Tímto krokem se čas výpočtu vynásobí. Avšak, používání této metody znamená, že se výsledek výpočtu světelné scény může následně korigovat. Výsledky z každé kontrolní skupiny se po korigování sečtou. Místo toho aby se musel celkový výpočet provést znovu, je nyní nutné pouze znovu vytvořit světelné textury na površích. [2]

1.2.2.3. Výpočtové jádro v praxi

Výhody a nevýhody nového výpočtového jádra se v praxi ukázaly tak jak byly popsané teoreticky. Výpočet světelných scén metodou fotonového střelce zabírá více času než metoda radiosity. Ale její prospěšnost je jasná při výpočtu složitějších scén. Čas výpočtu je pro takové scény mnohem kratší než s metodou radiosity. U velmi složitých scén, u nichž dříve nebylo možné vypočítat výsledky, lze nyní dosáhnout výsledků v rozumném časovém úseku, což je ukázáno graficky na obr. 3. [2]



Obr. 3. Doba výpočtu ve vztahu he složitosti scény v DIALux Evo [2]

1.2.3. Relux

Relux ve svém simulačním stroji aplikuje jak radiositu, tak sledování paprsků (ray tracing). Je na uživateli, aby se rozhodl, jaký výpočetní modul použije pro simulaci. Metoda radiosity je popsána v kapitole 1.2. [3]

Metoda ray tracing (sledování paprsků), nazývaná také sledování paprsků Monte Carlo, je druhým ze dvou nejpopulárnějších procesů používaných pro výpočet distribuce světla. Na rozdíl od radiosity a fotonového mapování však nesleduje paprsek světla ze světelného zdroje. Místo toho paprsky začínají od oka a jsou sledovány dozadu k modelu a světelným zdrojům. Pokud paprsky z oka dopadnou na povrch, pomocí dalších paprsků světla se zjistí, zda tento bod odráží světlo nebo obsahuje stínu. Výsledek se zobrazí jako pixely na ohniskové rovině. Čím vyšší rozlišení je vyžadováno v ohniskové rovině a čím více je odrážejících povrchů, tím více paprsků světla je pro simulaci vyžadováno a výpočet se stává složitějším. [4]

Ray tracing má tu výhodu, že vytváří přesnou reprezentaci detailů a nejmenších stínů. Protože tato metoda závisí na ohniskové rovině, změna úhlu a zorného pole vyžaduje nový výpočet. Je obtížné představit scény s velmi vysokými kontrastními poměry, protože dopadající paprsky světla pro výpočet vycházejí z polohy pozorovatele/kamery a světelné clony, jako jsou malá okna ve velké zdi, mohou být zpočátku ignorovány.[4]

3. Světelně technický výpočet - vstupní data a popis místností

2.1. Vstupní data a výpočet udržovacího činitele

Při výpočtu je kladen důraz na zadání stejných parametrů do všech třech programů. Jako obvykle bývá v kancelářských prostorech, stupeň odrazu od stěn je dán následujícím způsobem:

- stěna: 50 %
- podlaha: 30 %
- strop: 70%.

Prostor, ve kterém měření probíhalo je čistý, s ročním čištěním povrchu a půlročním čištěním svítidel.

Všechna namontovaná svítidla jsou typu LED s krytými světelnými zdroji IP2X.

Jak je už zmíněno v kapitole 1, udržovací činitel se stanoví ze vztahu [5]:

$$MF = LLMF \times LSF \times LMF \times RSMF \quad (-)$$

kde je

LLMF - činitel stárnutí světelných zdrojů (-)

LSF - činitel funkční spolehlivosti světelných zdrojů (-)

LMF - udržovací činitel svítidel (-)

RSMF - udržovací činitel povrchů (-) [5].

Z údajů poskytnutých výrobcem dostaly jsme LLMF = 0,9.

Vzhledem k tomu, že se svítidla budou měnit individuálně LSF je roven 1.

Parametry LMF a RSMF jsou odečteny z tabulek 2 a 3 respektivě.

Tabulka 2. Stanovení činitele LMF [8]

	LMF	
	Čištění půl roku	Čištění roční
Velmi čisté	0,94	0,96
Čisté	0,96	0,94
Průměrné	0,93	0,90
Špinavé	0,91	0,86

Tabulka 3. Stanovení činitele RSMF [8]

	Čištění 1 rok		Čištění 3 roky	
	Distribuce světla direktní	Distribuce světla direktní/indirektní	Distribuce světla direktní	Distribuce světla direktní/indirektní
Velmi čisté	0,97	0,96	0,97	0,95
Čisté	0,95	0,91	0,94	0,91
Průměrné	0,91	0,84	0,90	0,83
Špinavé	0,86	0,75	0,86	0,75

Z tabulek jsou odečteny parametry LMF = 0,96 a RSMF = 0,95

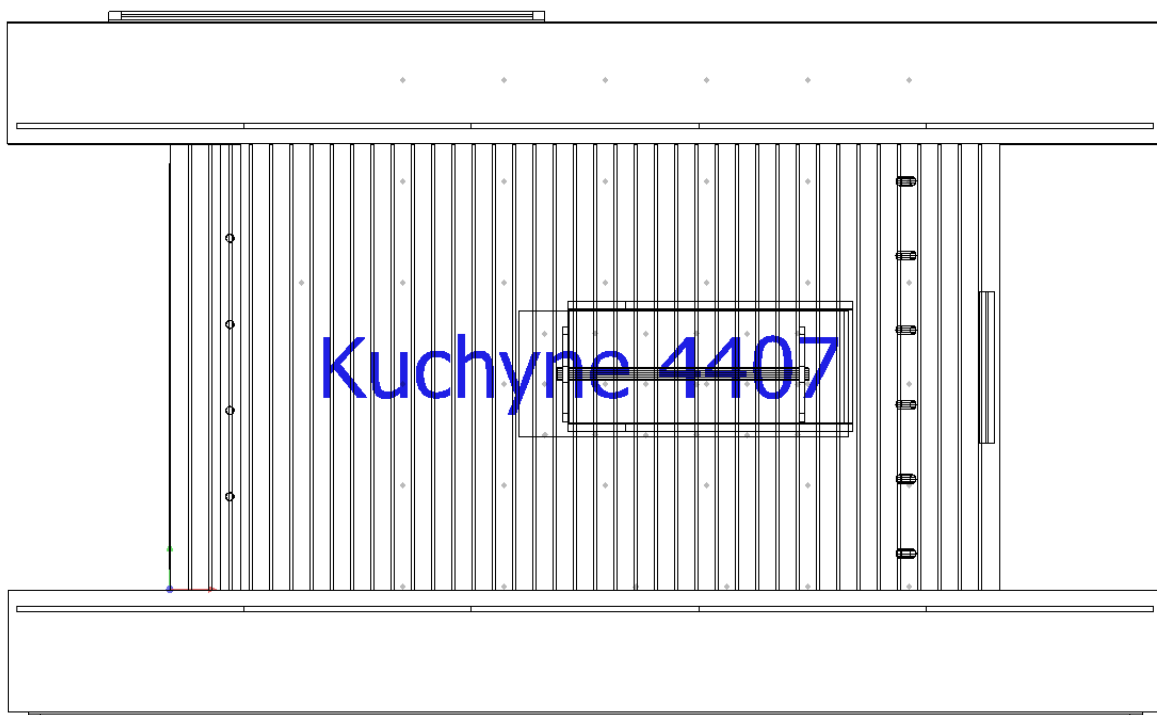
Udržovací činitel je potom: $MF = LLMF \times LSF \times LMF \times RSMF = 0,9 * 1 * 0,96 * 0,95 = 0,82$

2.2. Místnost 1

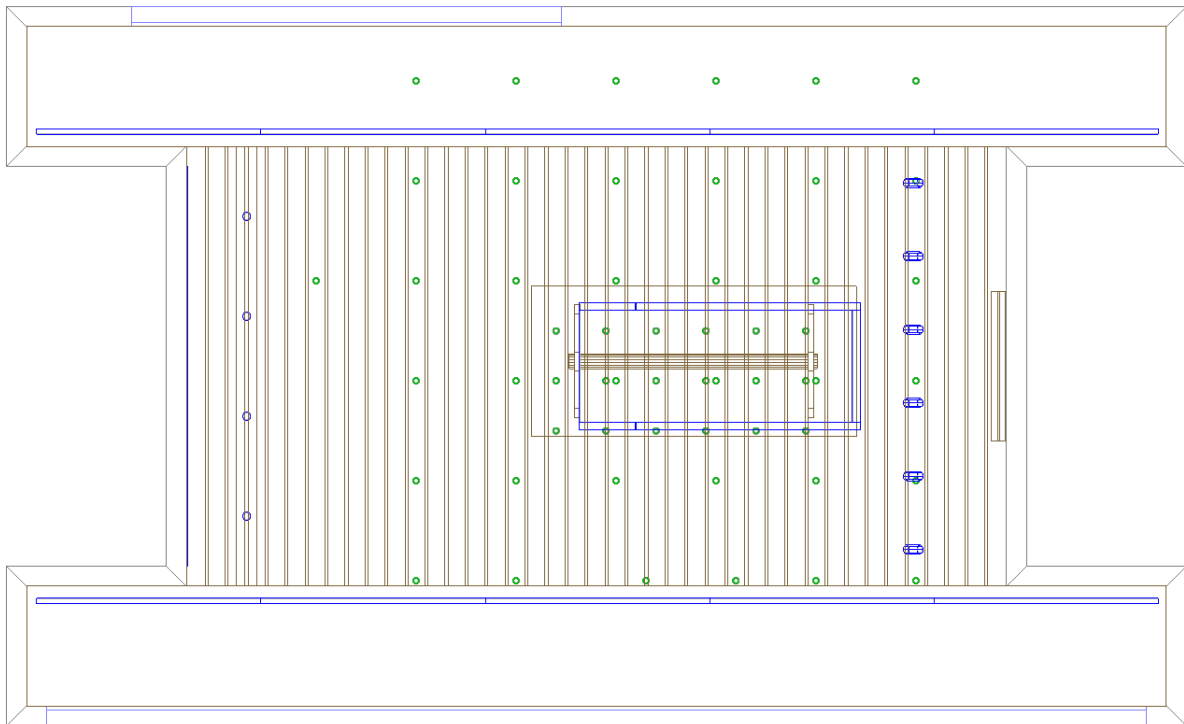
Místnost je otevřeného typu, tj. má dvě stěny. Používá se jako kuchyň. Na jedné straně je umístěn kuchyňský kout, a na druhé je stěna pokrytá zelenými rostlinami a zavěšeným monitorem/televizí. Uprostřed je umístěn konferenční stůl. Místnost má nízký strop a rozměru 7,5 x 4,4 m. Vzhledem k tomu, že výpočetní programy nedovolují kreslení místnostech bez jedné nebo dvě stěny, reálná situace byla simulována tak, že byla přidána chodba šířky 1,2 m s obou stran místnosti. V chodbě je v čase měření bylo zapnuté svítidlo, které, samozřejmě, mělo nějaký dopad na celkové měření osvětlenosti, a proto do programů byla také přidána svítidla ve chodbách. Na následujících obrázcích 4, 5 a 6 jsou půdorysy místnosti 1 v Dialuxu Evo, Dialuxu a Reluxu. Parametry, zadané do software jsou dany v tabulce 4.

Tabulka 4. Parametry místnosti 1

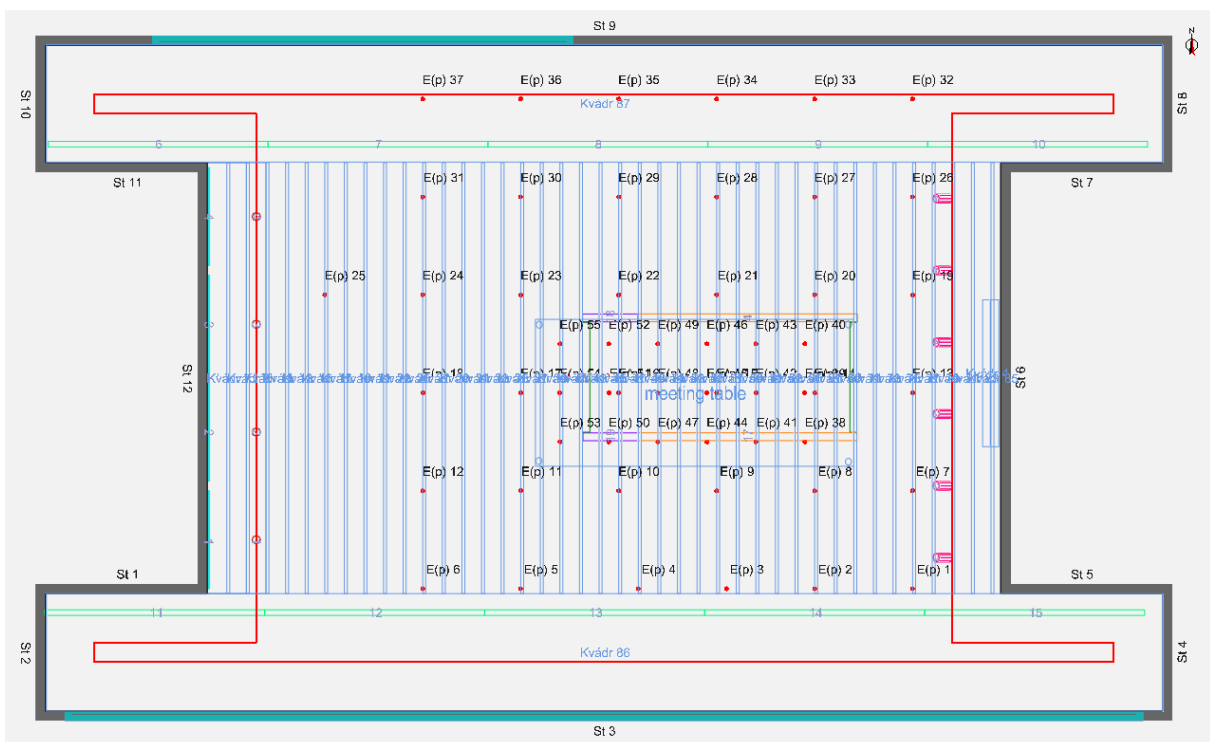
Místnost 1 - kuchyně				
Udržovací činitel	Stupeň odrazu (%)			
	Podlaha	Strop	Stěna s rostlinami	Ostatní stěny
0,72	30	70	15	50



Obr. 4. Místnost 1 (Kuchyně) - půdorys v programu Dialux Evo



Obr. 5. Místnost 1 (Kuchyně) - půdorys v programu Dialux



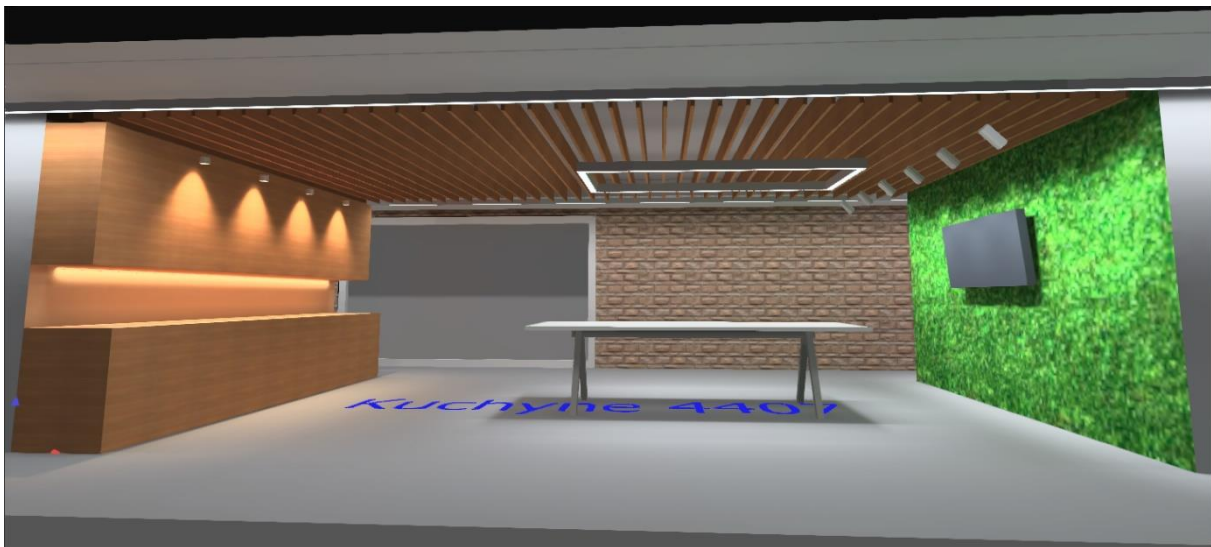
Obr. 6. Místnost 1 (Kuchyně) - půdorys v programu Relux

Výpočtové body jsou vloženy na základě poloh měřících bodů v reálné situaci. Měřící body tvoří rovnoměrnou síť se vzdáleností mezi řadami 1,25 m a vzdáleností mezi body 1 m. Výjimkou je první

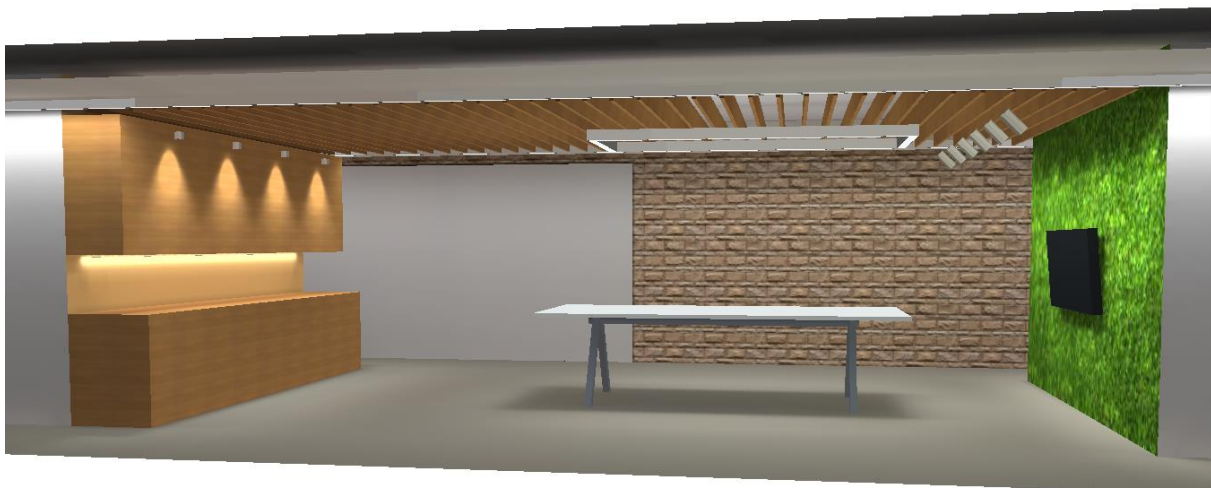
řada, kde je mezi body 2-3 a 3-4 vzdálenost 0,9 m. Měření je prováděno ve výšce 0,77 m, s výjimkou stolu, který měl výšku 0,85 m.

Na stole je prováděno dodatečné měření ve výpočtových bodech 38-55, znovu ve rovnoměrné síti se vzdálenosti 0,5 m mezi body.

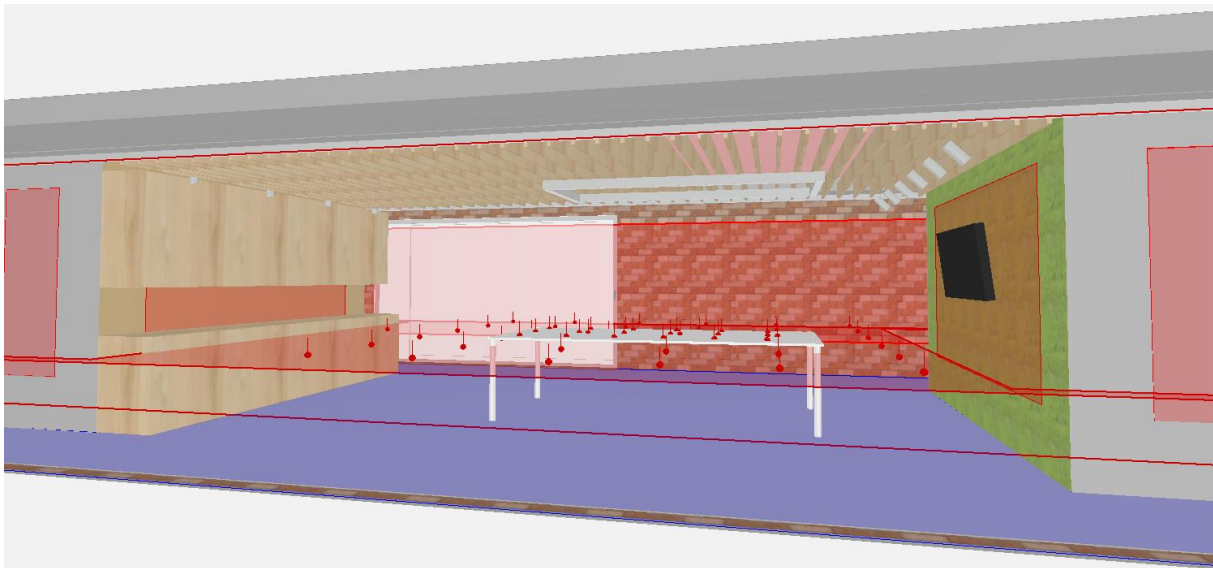
V místnosti 1 jsou namontovány čtyři typy svítidel. Stěnu s zelenými rostlinami osvětluje 6 svítidel lištové montáže a přímého typu vyzařování. Hlavní svítidlo je namontováno ve tvaru obdelníku dimenzí 2,805 x 1,282 m, a je závěsného typu, umístěno nad konferenčním stolem, vzdálenosti cca 1,5 m od "zelené" stěny. Nad kuchyňskou linkou jsou namontována 4 svítidla lištové montáže, a pod horní částí kuchyňské linky je umístěn LED pásek, který osvětluje kuchyňskou desku. 3D ztvárnění této místnosti ve všech třech programech je zobrazeno na obrázcích 7, 8 a 9.



Obr. 7. 3D ztvárnění místnosti 1 v programu Dialux Evo



Obr. 8. 3D ztvárnění místnosti 1 v programu Dialux



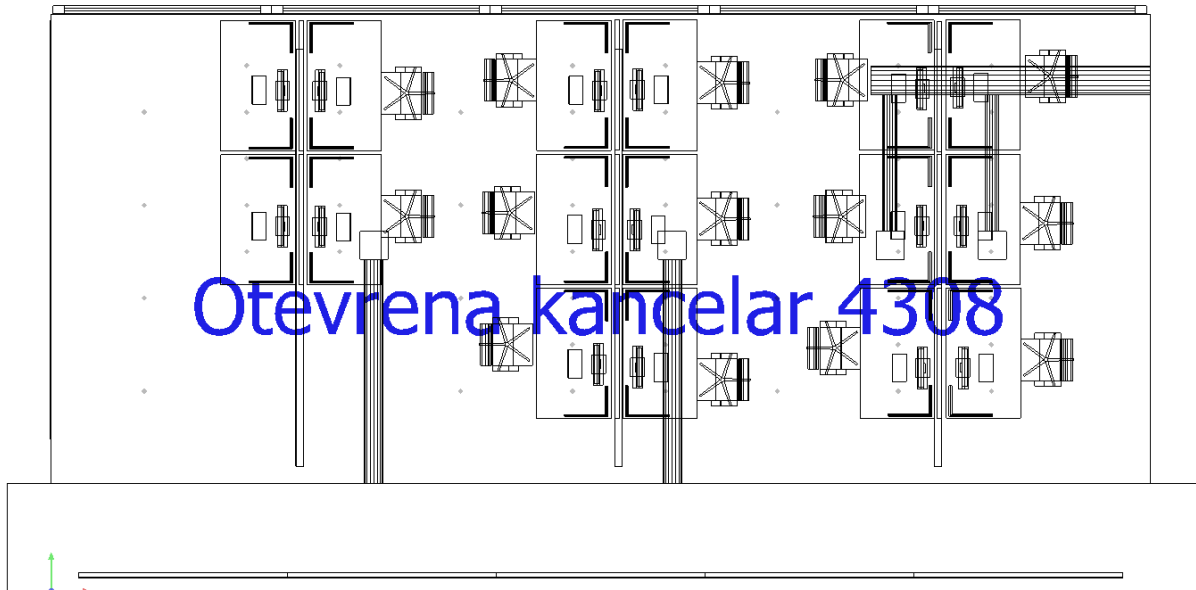
Obr. 9. 3D ztvárnění místnosti 1 v programu Relux

2.3. Místnost 2

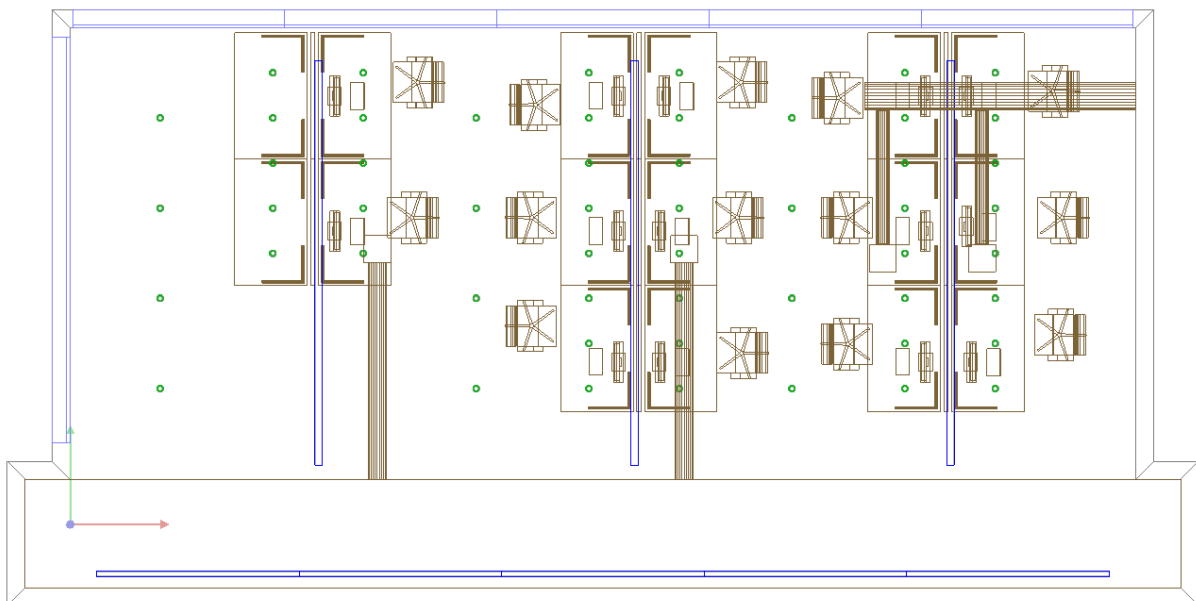
Místnost číslo dva je otevřená kancelář ve tvaru obdelníku. Dimenze místnosti jsou 11,8 x 5 m. Vzhledem k tomu, že je místnost otevřeného typu, do výpočtu je přidána i chodba šířky 1,2 m, s vlastním svítidlem, které mělo vliv na osvětlení kanceláře. V místnosti se nacházelo 6 řad kancelářských stolů, jak je vidět na obrázcích 10, 11 a 12, a další kancelářský nábytek a příslušenství. Aby se situace ve výpočtových programech co nejvíc blížila k reálné situaci, do jednotlivých scén je přidán i ventilační systém, který se nacházel v reálné místnosti. Půdorys místnosti 2 v programech Dialux Evo, Dialux a Relux je zobrazen na obrázcích 10, 11 a 12. Parametry, zadané do software jsou dány v tabulce 5.

Tabulka 5. Parametry místnosti 2

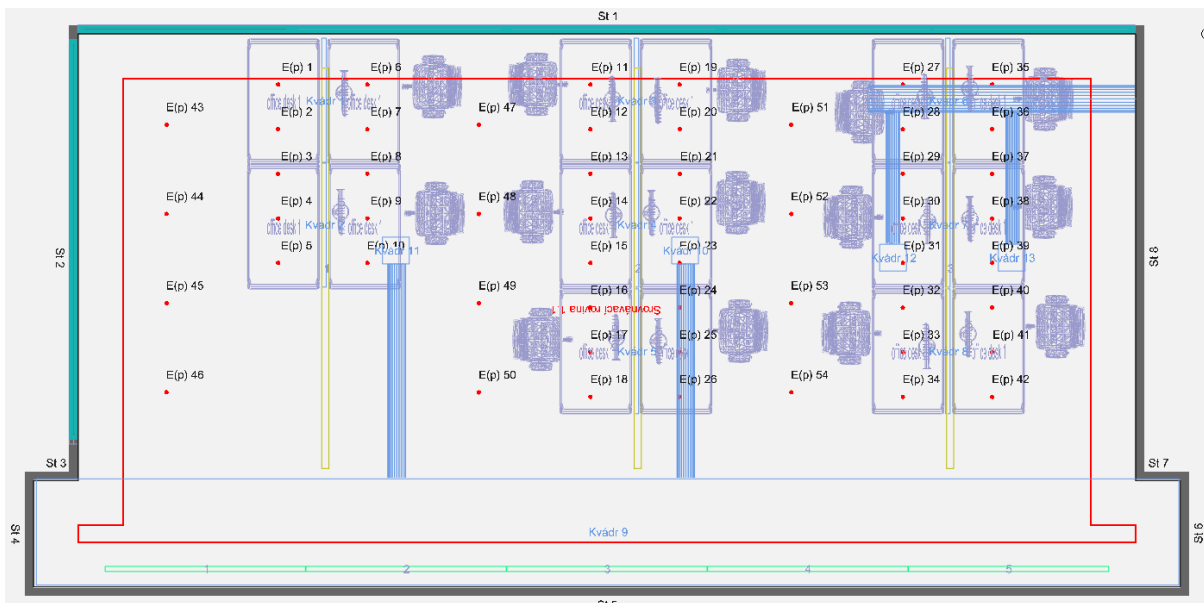
Místnost 2 - otevřená kancelář				
Udržovací čísel	Stupeň odrazu (%)			
	Podlaha	Strop	Stěna s dřevěnou oblohou	Ostatní stěny
0,72	30	70	10	50



Obr. 10. Místnost 2 (Otevřená kancelář) - půdorys v programu Dialux Evo



Obr. 11. Místnost 2 (Otevřená kancelář) - půdorys v programu Dialux

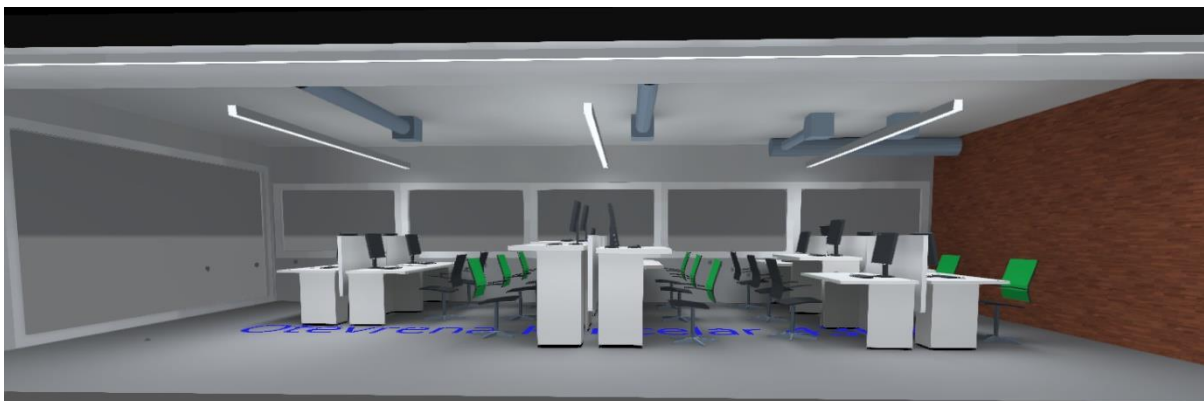


Obr. 12. Místnost 2 (Otevřená kancelář) - půdorys v programu Relux

Při měření osvětlenosti se především zaměřuje pozornost na osvětlenost na pracovní ploše, co v tomto případě znamenalo osvětlenost na kancelářských stolech. Jednotlivé stoly měli nastavené různé výšky, které byly zaznamenány a potom vzaty v úvahu ve výpočtu. Měřeny jsou hodnoty osvětlenosti v bodech od sebe posunutých o 0,5 m.

V bodech kolem a mezi stoly byla provedená dodatečná měření, ve vzdálenosti 1 m od sebe a ve výšce 0,77 m. Tyto body začínají číslem 43 a končí číslem 54.

Celkový vzhled v 3D je znázorněn na obrázcích 13, 14 a 15.



Obr. 13. 3D ztvárnění místnosti 2 v programu Dialux Evo



Obr. 14. 3D ztvárnění místnosti 2 v programu Dialux



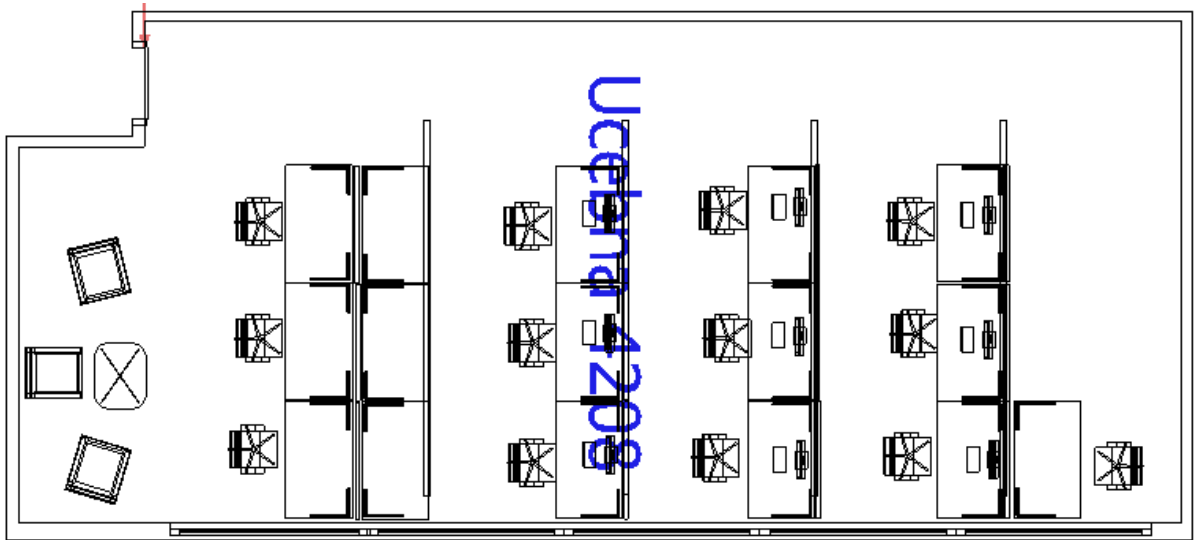
Obr. 15. 3D ztvárnění místnosti 2 v programu Relux

2.4. Místnost 3

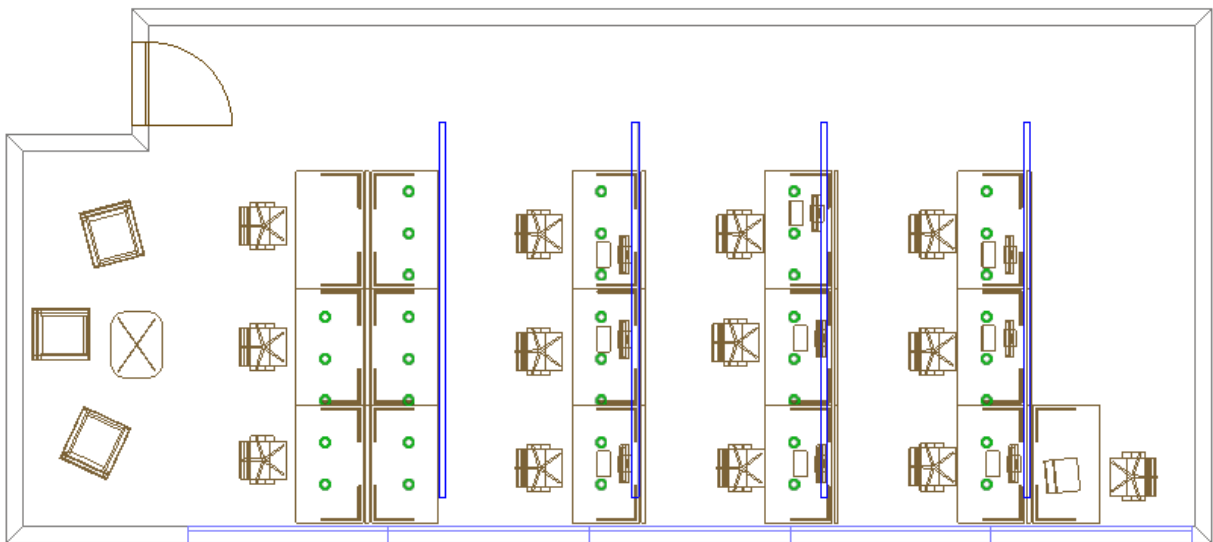
Místnost tři se používá jako učebna. Je uzavřená ze všech stran, proto neměl vliv žádné svítidlo z chodby na osvětlenost místnosti. Dimenze místnosti jsou naznačeny na obrázku 13. V místnosti se nacházelo 5 řad kancelářských stolů, jak je vidět na obrázcích 16, 17 a 18, a další kancelářský nábytek a příslušenství. Půdorys místnosti 3 v programech Dialux Evo, Dialux a Relux je zobrazen na obrázcích 16, 17 a 18. Parametry, zadané do software jsou dány v tabulce 6.

Tabulka 6. Parametry místnosti 3

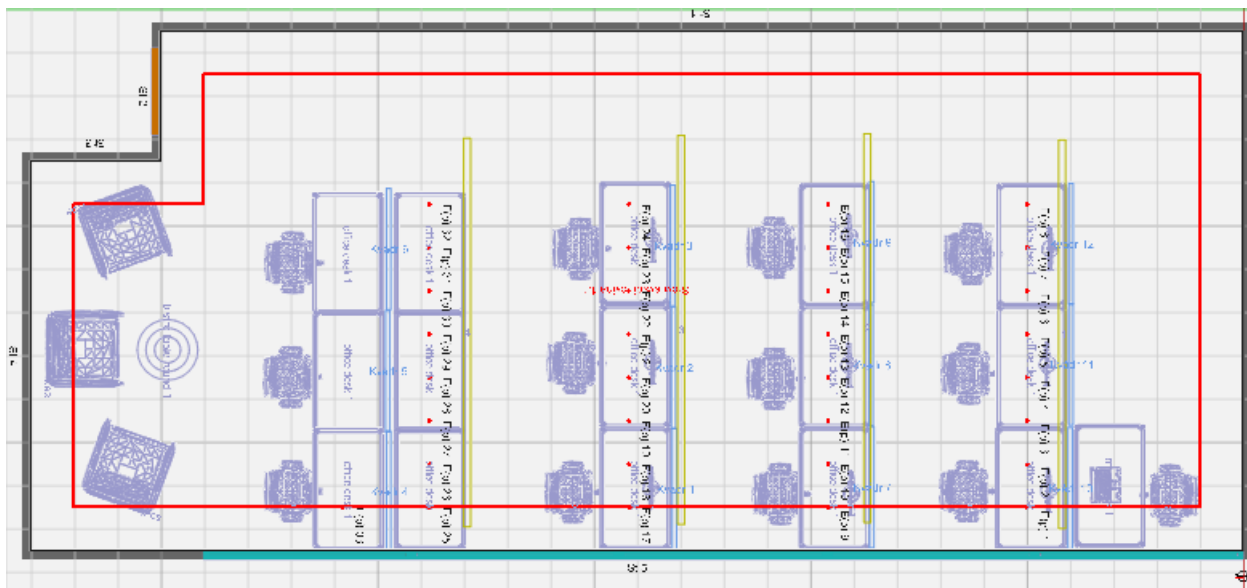
Místnost 3 - učebna			
Udržovací činitel	Stupeň odrazu (%)		
	Podlaha	Strop	Stěny
0,72	30	70	50



Obr. 16. Místnost 3 (Učebna) - půdorys v programu Dialux Evo



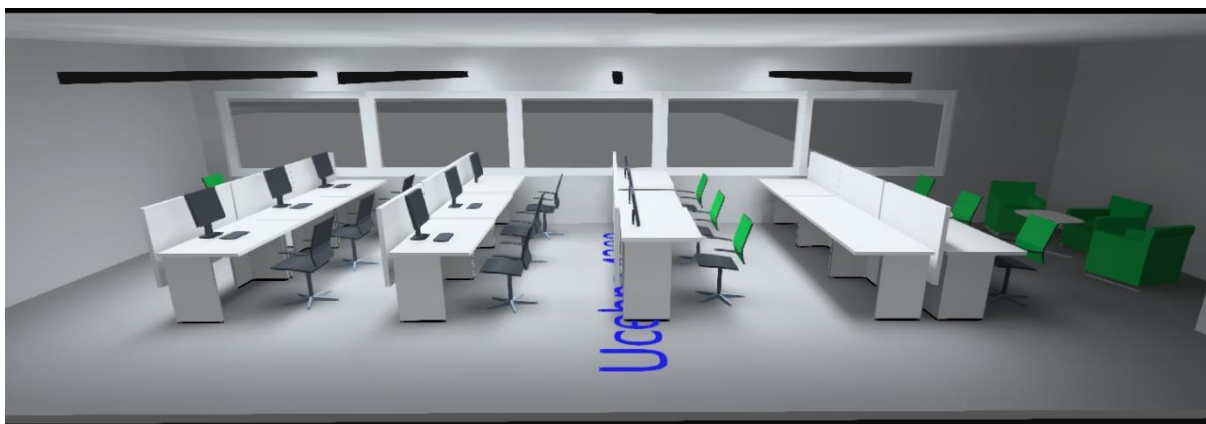
Obr. 17. Místnost 3 (Učebna) - půdorys v programu Dialux



Obr. 18. Místnost 3 (Učebna) - půdorys v programu Relux

V učebně se také dávala pozornost na osvětlenost na pracovní ploše, tzn osvětlenost na kancelářských stolech. Jednotlivý stoly měli nastavené různé výšky, které byly zaznamenány a potom vzaty v úvahu ve výpočtu. Měřeny jsou hodnoty osvětlenosti v bodech od sebe posunutých o 0,5 m.

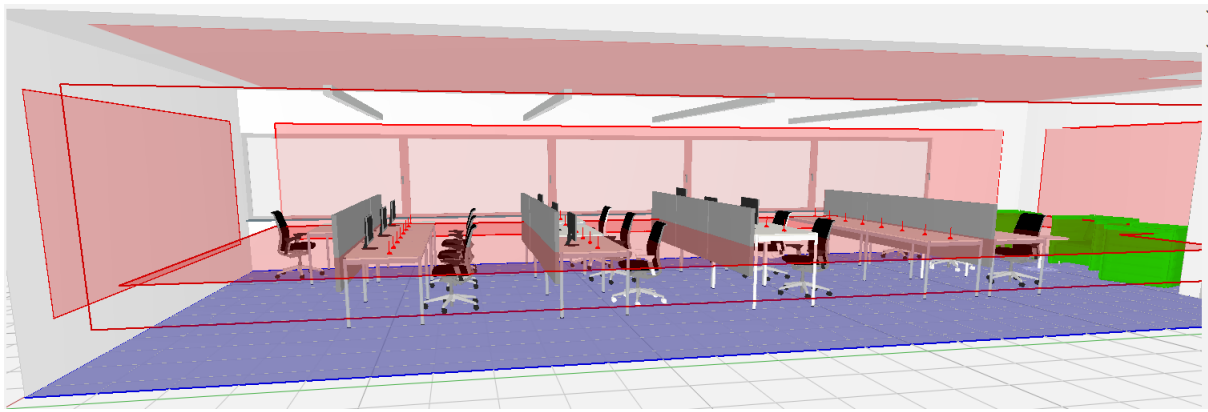
Cévkový vzhled v 3D je znázorněn na obrázcích 19, 20 a 21.



Obr. 19. 3D ztvárnění místnosti 3 v programu Dialux Evo



Obr. 20. 3D ztvárnění místnosti 3 v programu Dialux



Obr. 21. 3D ztvárnění místnosti 3 v programu Relux

3. Výsledky výpočtu

V kapitole 3 jsou ukázány výsledky jednotlivých světelně výpočtových programů a jejich odchylka od skutečných naměřených hodnot.

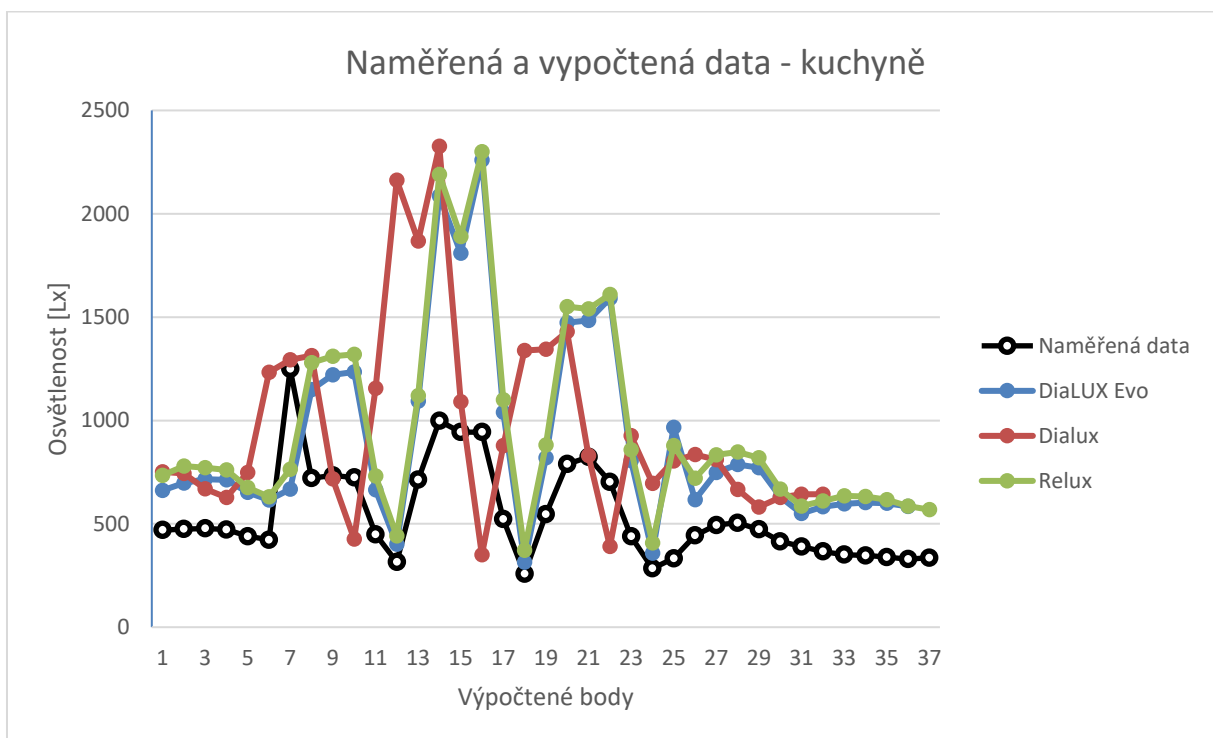
3.1. Místnost 1

V místnosti 1, která se používá jako kuchyně, do všech třech programů byla přidána svítidla, která se nacházela v reálné místnosti, a bylo cílem zadat takovou místnost, která by co nejvíce možné odpovídala reálné místnosti, jak je vidět v předchozí kapitole. Nicméně, výsledky, které se dostaly výpočtem se výrazně liší od reálné situace. Především, kolem stole a na samém stole. Porovnání výsledků je vidět v tabulce 7 a 8, a také na obrázcích 22 a 23. Tabulka 8 a graf na obrázku 23. popisují výsledky z dodatečných měření na konferenčním stole, na kterém je vytvořena jemnější síť kontrolních bodů, se vzdálenosti 0,5 m mezi body.

Tabulka 7. Naměřené a vypočtené hodnoty osvětlenosti v místnosti 1 - kuchyně

	Naměřená osvětlenost (lx)	Vypočtená osvětlenost (lx)		
		DIALux Evo vypoč	Dialux	Relux
1.	470	662	708	735
2.	475	698	736	780
3.	478	716	751	772
4.	472	713	744	761
5.	440	653	669	676
6.	423	615	627	630
7.	1250	668	749	764
8.	721	1149	1233	1280
9.	734	1220	1293	1310
10.	724	1234	1313	1320
11.	449	665	717	732
12.	315	401	427	441
13.	713	1094	1156	1120
14.	998	2086	2163	2190
15.	944	1810	1868	1890
16.	944	2260	2326	2300
17.	523	1039	1090	1100
18.	258	315	350	372
19.	546	819	879	881
20.	789	1473	1339	1550
21.	823	1484	1344	1540
22.	703	1591	1430	1610
23.	439	806	831	858
24.	284	358	390	408
25.	333	966	927	878
26.	444	616	696	720
27.	494	748	804	833

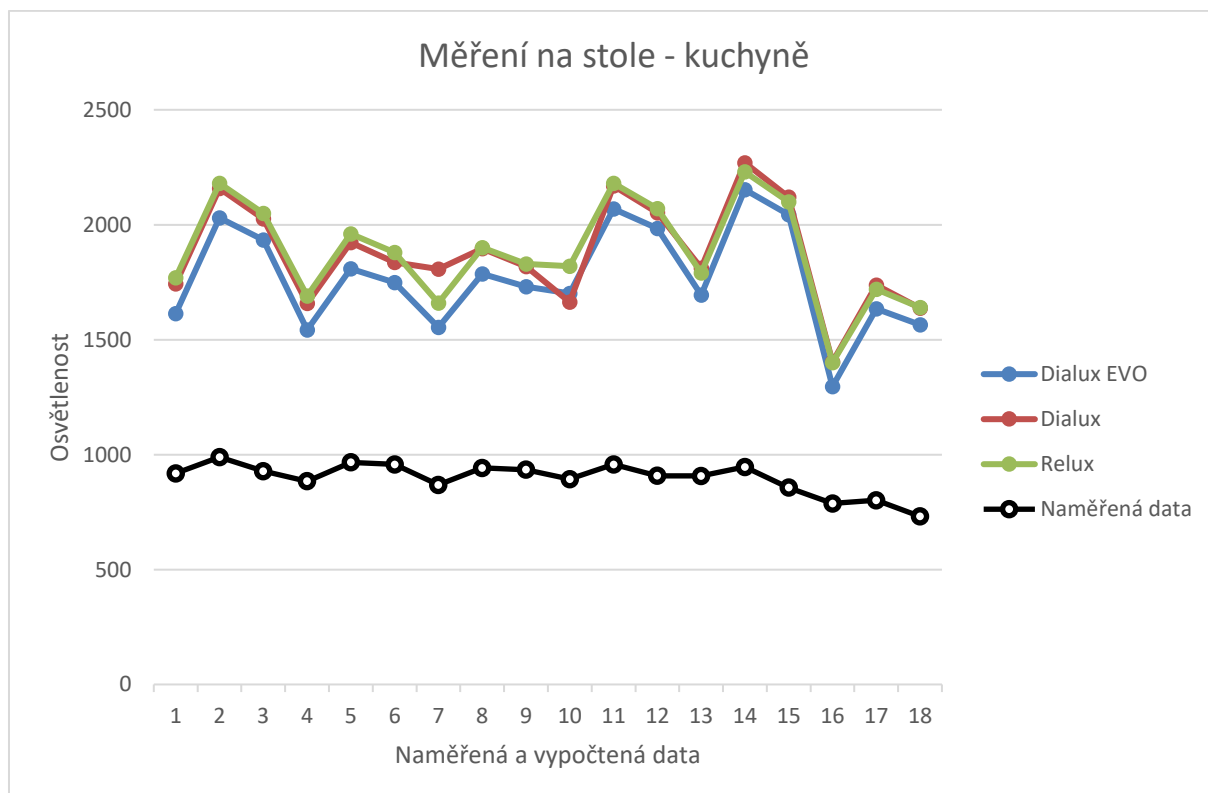
28.	505	787	835	847
29.	473	771	811	819
30.	415	630	667	668
31.	390	550	581	585
32.	366	583	627	611
33.	351	596	643	635
34.	347	603	643	632
35.	339	599	627	616
36.	329	584	577	586
37.	336	563	554	568



Obr. 22. Graf porovnání naměřených a vypočtených hodnot v místnosti 1 - kuchyně

Tabulka 8. Naměřené a vypočtené hodnoty dodatečného měření na stole v místnosti 1 - kuchyně:

	Naměřená osvětlenost (lx)	Vypočtená osvětlenost (lx)		
		Dialux Evo	Dialux	Relux
1.	918	1613	1743	1770
2.	884	2030	2158	2180
3.	868	1934	2026	2050
4.	893	1542	1658	1690
5.	907	1808	1923	1960
6.	787	1748	1836	1880
7.	989	1554	1807	1660
8.	966	1786	1896	1900
9.	942	1730	1818	1830
10.	957	1701	1664	1820
11.	946	2069	2169	2180
12.	801	1984	2052	2070
13.	928	1695	1811	1790
14.	957	2153	2270	2230
15.	934	2044	2120	2100
16.	908	1296	1403	1400
17.	856	1635	1737	1720
18.	731	1565	1637	1640



Obr. 23. Graf porovnání naměřených a vypočtených hodnot dodatečného měření na stole v místnosti 1 - kuchyně

Jak je vidět z obrázku a tabulek, výsledky výpočtu světelnými programy jsou až dva krát větší než naměřené hodnoty. Průměrná naměřená hodnota osvětlení a vypočítána relativní chyba (%) jsou dány v tabulce 9.

Tabulka 9. Průměrné hodnoty osvětlenosti a relativní chyba v místnosti 1 - kuchyně

	Průměrná hodnota osvětlení (lx)	Průměrná relativní chyba (%)
Naměřené hodnoty	541,54	-
Dialux Evo	895,27	67,15
Dialux	928,25	84,10
Relux	946,43	76,20

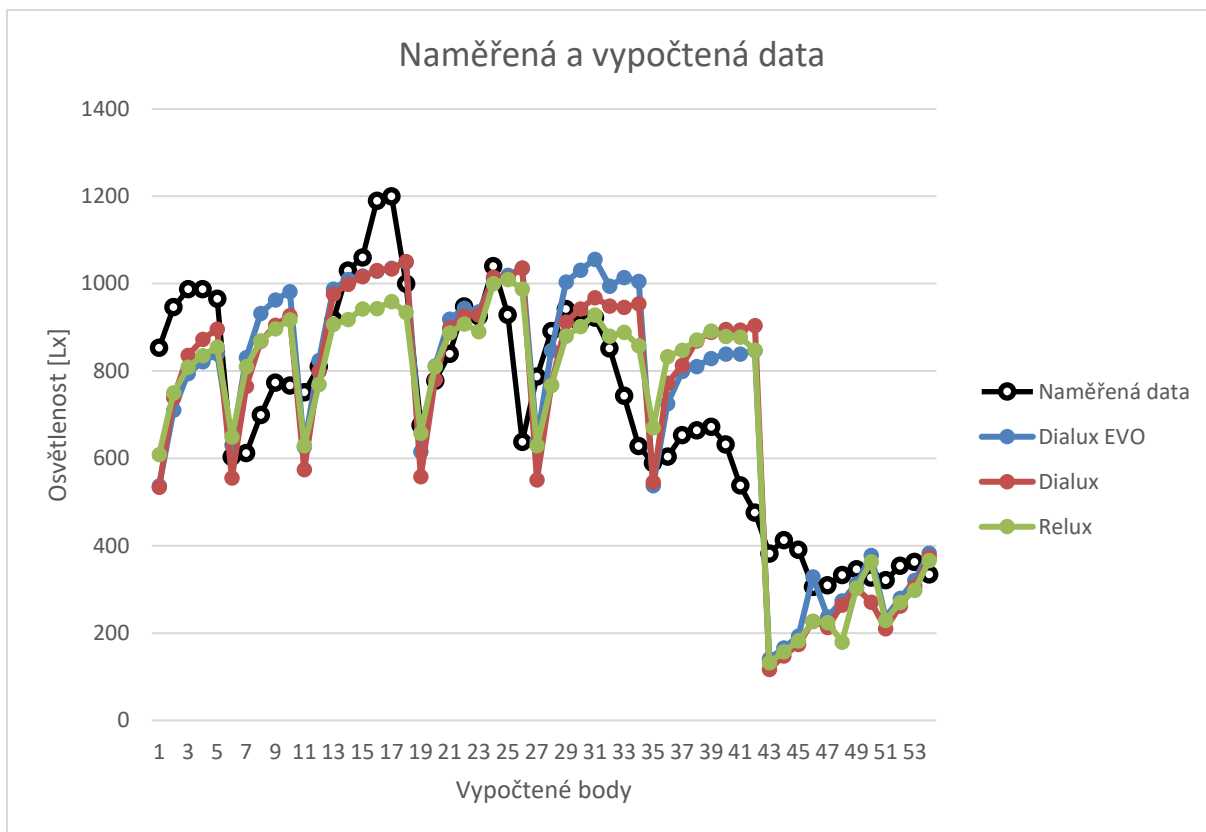
3.2. Místnost 2

Porovnání výsledků výpočtu a měření v místnosti 2 je dáno v tabulce 10 a je zobrazeno grafem na obrázku 24.

Tabulka 10. Naměřené a vypočtené hodnoty osvětlenosti v místnosti 2 - otevřená kancelář

	Naměřená osvětlenost (lx)	Vypočtená osvětlenost (lx)		
		DIALux Evo	Dialux	Relux
1.	853	537	534	609
2.	946	711	739	750
3.	987	794	836	809
4.	987	821	873	835
5.	965	840	896	855
6.	603	631	555	649
7.	612	831	765	810
8.	699	932	868	869
9.	773	963	905	897
10.	767	982	927	917
11.	751	626	574	629
12.	810	824	799	769
13.	917	988	976	907
14.	1030	1010	999	918
15.	1060	1018	1016	942
16.	1190	1029	1030	943
17.	1200	1035	1034	959
18.	1000	1049	1051	934
19.	676	615	558	658
20.	778	812	780	810
21.	839	919	898	887
22.	948	944	926	908

23.	925	936	928	890
24.	1040	1012	1015	1000
25.	929	1019	1012	1010
26.	638	1035	1036	988
27.	787	640	551	629
28.	891	847	768	767
29.	942	1004	912	880
30.	910	1031	942	902
31.	922	1056	968	928
32.	852	994	949	880
33.	743	1014	946	889
34.	628	1005	954	858
35.	589	538	546	670
36.	604	725	772	833
37.	653	799	813	848
38.	664	810	869	871
39.	672	829	889	892
40.	632	839	895	879
41.	538	839	894	878
42.	476	847	904	848
43.	382	141	117	132
44.	413	166	148	157
45.	391	193	174	182
46.	306	329	227	227
47.	309	237	213	224
48.	333	274	264	179
49.	346	313	303	303
50.	327	378	271	363
51.	321	236	210	229
52.	354	280	262	270
53.	363	321	307	298
54.	334	383	374	366



Obr. 24. Graf porovnání naměřených a vypočtených hodnot v místnosti 2 - otevřená kancelář

Následující tabulka (tab. 11) udává průměrné hodnoty osvětlenosti (naměřené a vypočtené) a průměrné relativní chyby výpočtu ve programech.

Tabulka 11. Průměrné hodnoty osvětlenosti a relativní chyba v místnosti 2 - otevřená kancelář

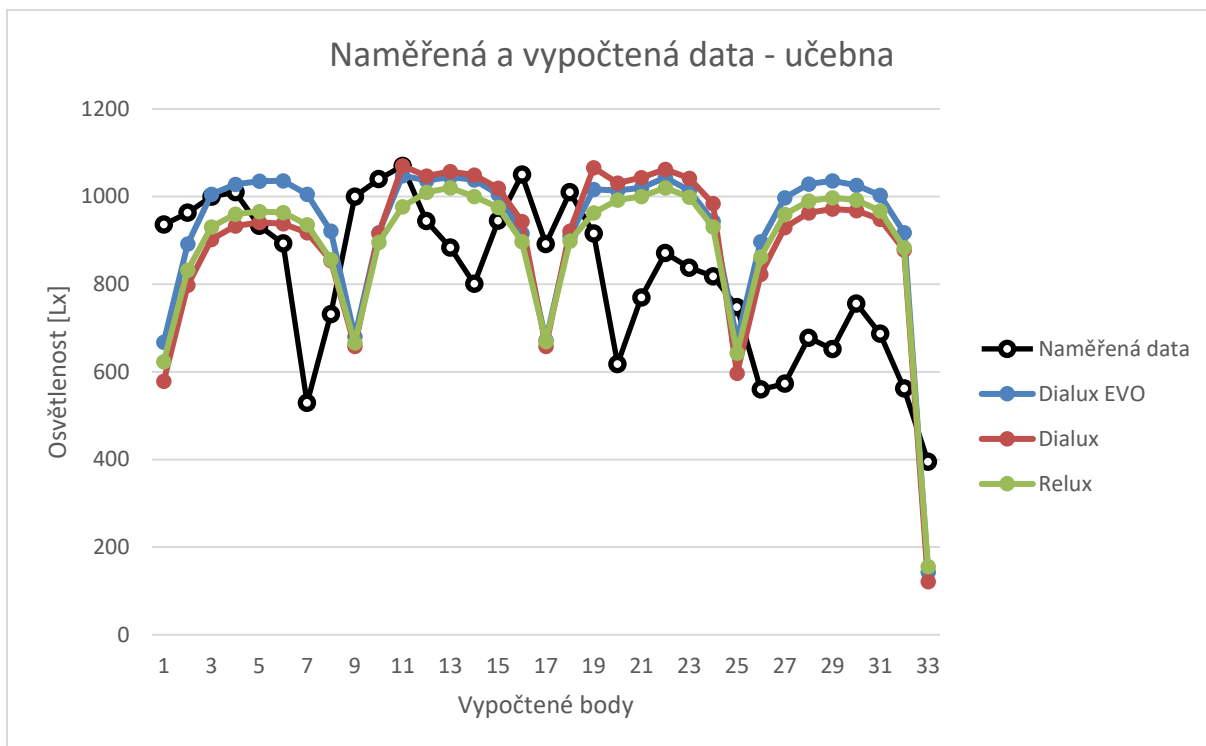
	Průměrná hodnota osvětlení (lx)	Průměrná relativní chyba (%)
Naměřené hodnoty	714,91	-
Dialux Evo	740,39	20,79
Dialux	721,70	22,08
Relux	713,59	22,84

3.3. Místnost 3

Porovnání naměřených a vypočtených dat je dáno v tabulce 12 a zobrazeno grafem na obrázku 25.

Tabulka 12. Naměřené a vypočtené hodnoty osvětlenosti v místnosti 3 - učebna

	Naměřená osvětlenost (lx)	Vypočtená osvětlenost (lx)		
		DIALux Evo vypoč	Dialux	Relux
1.	936	668	579	623
2.	963	892	798	832
3.	1000	1005	902	931
4.	1010	1028	933	960
5.	933	1035	941	966
6.	893	1036	938	964
7.	529	1005	918	936
8.	732	921	854	856
9.	1000	680	658	666
10.	1040	918	916	896
11.	1070	1048	1070	977
12.	944	1037	1047	1010
13.	884	1045	1057	1020
14.	801	1038	1049	1000
15.	945	1005	1019	975
16.	1050	916	943	897
17.	892	672	658	669
18.	1010	910	921	899
19.	916	1016	1066	963
20.	618	1014	1031	992
21.	770	1020	1043	1000
22.	871	1043	1062	1020
23.	838	1014	1042	999
24.	818	944	984	931
25.	748	672	597	643
26.	560	897	823	862
27.	573	997	929	959
28.	678	1029	963	990
29.	652	1036	972	997
30.	756	1026	968	992
31.	687	1003	948	967
32.	562	918	878	883
33.	395	143	121	156



Obr. 25. Graf porovnání naměřených a vypočtených hodnot v místnosti 3 - učebna

Následující tabulka (tab. 13) udává průměrné hodnoty osvětlenosti (naměřené a vypočtené) a průměrné relativní chyby výpočtu ve programech.

Tabulka 13. Průměrné hodnoty osvětlenosti a relativní chyba v místnosti 3 - učebna

	Průměrná hodnota osvětlení (lx)	Průměrná relativní chyba (%)
Naměřené hodnoty	820,42	-
Dialux Evo	905,45	27,74
Dialux	875,97	26,82
Relux	922,76	27,46

3.4. Hodnocení výsledků

V kapitole 2.2. jsou detailně popsány metody výpočtů jednotlivých programů. Důležité je tady zdůraznit, že je v Reluxu používána standardní metoda, tj. metoda radiosity. Metoda Ray Tracing (sledování paprsků), která také byla popsána musí být zvolena uživatelem před výpočtem, což se v tomto případě nestalo. To by znamenalo, že Dialux a Relux vypočítají stejnou metodou - metodou radiosity. Vyskytují se, ale ve výsledcích mezi Dialuxem a Reluxem odchylky. Přestože používají stejnou metodu výpočtu, Dialux a Relux neposkytují uživatelům stejné možnosti. Např. katalog barev a textur ve dvou programech se výrazně liší, ale také i katalog nábytku. Avšak, Dialux a Dialux Evo mají stejný katalogy. To znamená, že je v Dialuxu a Dialuxu Evo používán stejný nábytek a stejné barvy a textury, a v Reluxu jsou zvoleny ty, které se nejvíc blížily těm, které jsou použity v dalších dvou programech. Samozřejmě, zvoleny textury, barvy a nábytek musely co nejvíc odpovídat reálné situaci.

4. Vliv nepřesně stanovených vstupních dat na správnost výsledků výpočtu a návrh metodiky pro kontrolu správnosti vstupních dat

Jeden z parametrů, které nejvíce ovlivňují výsledky světelně výpočetních programů je udržovací činitel. Po zadání všech detailů interiéru do světelně technických programů zadán je udržovací činitel 0.8, který se běžně používá jako udržovací činitel pro čisté prostředí. Potom byl udržovací činitel nepřesně stanoven na 0.72 chybou ve výpočtu, a průměrná relativní chyba se o předchozí případ lišila o 20 až 30 %. Pak je udržovací činitel stanoven na 0.82 a jeho dopad na výsledky můžete vidět na obrázcích v předchozí kapitole. Z toho vyplývá, že hodnota udržovacího činitele významně ovlivňuje výsledky výpočetních programů. Což znamená, že ovlivňuje i počet svítidel, nezbytných k zajištění stanovené osvětlenosti.

Výsledky, které vyšly z této práce se, jak je vidět z kapitoly 3, hodně lišily od naměřených hodnot. Z grafů je vidět ve kterých výpočetních bodech se výsledky liší od reality. Např z obrázku 25, který popisuje výsledky v místnosti 3 - učebně je jasně vidět kde začíná nová řada stolů (tzn. nova řada výpočetních bodů). Vidíme, že je právě v těch bodech vypočtená osvětlenost mnohem menší než naměřená – méně světelného toku dopadá na ten výpočtový bod. Dále to znamená, že buď výpočtový bod nebo svítidlo není umístěno přesně jak je to v realitě. Je potřeba zajistit, kterou z dvou chyb jsme udělali, a potom je upravit v software.

Z grafu 24 (místnost 2 - otevřená kancelář) je vidět, že se výpočet neschází v poslední řadě stolu (výpočetní body 37-41) a v bodech mezi stoly (42-54), což ukazuje na špatné umístění svítidel anebo pracovních stolů (výpočetních bodů) a je potřeba je upravit.

5. ZÁVĚR

Když pracujeme s výpočtovými programy, je nemožné představit situaci přesně tak jaká je v reálu, protože jsou parametry, na které nemáme vliv, a s kterými počítač neumí pracovat. Proto se vždy bude vyskytovat určitý odhad mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami, anebo mezi reální a ideální situací. Je proto důležité stanovit velikost odhadu na který nemáme vliv. Potom se může upravovat výpočet, nebo zadané parametry, a zkusit najít lidskou chybu, pokud taková je. Při tom je velmi důležité dobře se seznámit s každým světelně výpočetním programem a jeho zpracováním dat.

Cílem této práce bylo ukázat na vliv jednotlivých parametrů na výsledky světelně výpočetních programů. Bylo ukázáno, že hodnota udržovacího činitele významně ovlivňuje výsledky výpočetních programů. Na konci je popsáno jak se zkusilo dosáhnout naměřených hodnot, ale po několika pokusech úprav zadaných parametrů nedošlo k požadovaným výsledkům. Závěrem je, že je udělána závadná chyba při samém zadání jiných parametrů, a kterou jsem bohužel nemohla najít.

6. LITERATURA

- [1] *DIALux 4 with new improved calculation kernel*, DIAL GmbH. Dostupné na: <https://dialux4.support-en.dial.de/support/solutions/articles/9000066353-how-does-the-calculation-kernel-work->
- [2] WITZEL, Daniel. *DIALux evo – New calculation method*. DIAL GmbH. Dostupné na: https://www.dial.de/fileadmin/documents/dialux/DIALux_downloads/DIALux_evo-_New_calculation_method.pdf
- [3] IVERSEN, Anne; ROY, Nicolas; HVASS, Mette; JØRGENSEN, Michael; CHRISTOFFERSEN, Jens; OSTERHAUS, Werner; JOHNSEN Kjeld. *Daylight calculations in practice: An investigation of the ability of nine daylight simulation programs to calculate the daylight factor in five typical rooms*. Copenhagen: Danish Building Research Institute, Aalborg University Copenhagen, 2013, SBI 2013:26. ISBN: 9788792739490. Dostupné na: https://www.researchgate.net/publication/283357163_Daylight_calculations_in_practice_An_investigation_of_the_ability_of_nine_daylight_simulation_programs_to_calculate_the_daylight_factor_in_five_typical_rooms
- [4] www.erco.com/en/guide/simulation-and-calculation/rendering-2685
- [5] HABEL, Jiří; DVOŘÁČEK, Karel; DVOŘÁČEK, Vladimír; ŽÁK, Petr. *Světlo a osvětlení*. Praha: FCC Public, 2013. ISBN: 9788086534213
- [6] https://cs.wikipedia.org/wiki/Prostorov%C3%BD_%C3%BAhel
- [7] HABEL, Jiří; ŽÁK, Petr. *Elektrické světlo 1*. Praha: ČVUT, Fakulta elektrotechnická, magisterský studijní program Inteligentní budovy. Praha, 2009. Dostupné na: <https://docplayer.cz/15757832-Ceske-vysoke-uceni-technicke-v-praze-fakulta-elektrotechnicka-magistersky-studijni-program-inteligentni-budovy-elektricke-svetlo-1.html>
- [8] DORSEY, Beverly. *LED & Maintenance Factors*. Lancashire, UK: Whitecroft Lighting. 2013. Dostupné na: <https://silo.tips/download/led-maintenance-factors>