

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Posouzení kvality denního osvětlení vnitřních prostorů

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Stanislav RYCHETSKÝ**
Osobní číslo: **E16N0090P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Technická ekologie**
Název tématu: **Posouzení kvality denního osvětlení vnitřních prostorů**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

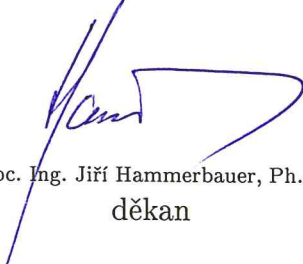
Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Stručně shrňte možnosti a požadavky na denní, umělé a sdružené osvětlení vnitřních prostorů.
2. Analyzujte legislativní prostředí v ČR z hlediska denního a umělého osvětlení vnitřních prostorů.
3. Ve vybraných místnostech posuďte kvalitu denního osvětlení a navrhnete opatření pro zlepšení stávajících světelných podmínek.
4. Navrženou změnu osvětlovací soustavy ekonomicky a energeticky zhodnoťte a vyhodnoťte dopad na životní prostředí.


Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah kvalifikační práce: **40 - 60 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:
Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Lenka Raková, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **10. října 2017**
Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2018**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




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

V Plzni dne 10. října 2017

Abstrakt

Cílem této diplomové práce je přiblížit problematiku a požadavky na soustavu denního osvětlení. V této práci je nejprve uvedena příslušná teorie týkající se světelně technických veličin, osvětlovacích soustav a na ně kladené požadavky norem. Dále je v této práci ve třech různých místnostech zhodnocena denní osvětlovací soustava, která byla naměřena a výsledky z měření byly porovnány s počítačovou simulací v programu BuildingDesign. V zasedací místnosti, ve které bylo naměřeno nedostatečné denní osvětlení, byla hodnocena i umělá osvětlovací soustava a u ní byly provedeny dva návrhy na modernizaci pomocí LED svítidel. Oba tyto návrhy byly následně porovnány se současným stavem osvětlovací soustavy z energetického a ekonomického hlediska a je uveden vliv na životní prostředí.

Klíčová slova

Měření osvětlenosti, denní osvětlení, umělé osvětlení, světelně technické veličiny, činitel denní osvětlenosti.

Abstract

The aim of this diploma thesis is to approach the problems and requirements of the daylight system. At first, in this thesis is mentioned the relevant theory concerning photometric quantities, lighting systems and requirements on them by Czech standards. Further, in three different rooms are evaluated the daylight systems, which were measured and the results of the measurements were compared with the computer simulation by BuildingDesign. In the meeting room, where insufficient daylight was measured, an artificial lighting system was also evaluated and two designs for modernization with the usage of LED lights were made. Both of these designs were then compared with the current state of the artificial lighting system with an energy and economic point of view and the impact on the environment was assessed.

Key words

Measuring of illumination, daylighting, artificial lighting, photometric quantities, daylight factor.

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 23. 5. 2018

Stanislav Rychetský

Poděkování

Děkuji své vedoucí práce paní Ing. Lence Rakové, Ph.D. za odborné vedení diplomové práce a za cenné rady, které mi poskytla při jejím zpracování. Zároveň děkuji své rodině za psychickou a finanční podporu během celého mého studia.

Obsah

OBSAH	7
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	8
ÚVOD	10
1 SVĚTELNĚTECHNICKÉ VELIČINY	11
2 OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY	16
2.1 DENNÍ OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVA	16
2.1.1 Činitel denní osvětlenosti	18
2.1.2 Oslnění	19
2.1.3 Daniljukova metoda	20
2.2 UMĚLÁ OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVA	22
2.2.1 Stručný přehled světelných zdrojů a svítidel	22
2.2.2 Hodnocení umělé osvětlovací soustavy	26
2.3 SDRUŽENÁ OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVA	31
3 ANALÝZA LEGISLATIVY PRO DENNÍ A UMĚLÉ OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY	33
3.1 MĚŘENÍ OSVĚTLENÍ	33
3.2 DENNÍ OSVĚTLENÍ BUDOV	34
3.3 UMĚLÉ OSVĚTLENÍ BUDOV	40
4 POSOUZENÍ KVALITY OSVĚTLENÍ VYBRANÝCH MÍSTNOSTÍ	42
4.1 PŘEDSTAVENÍ POSUZOVANÝCH MÍSTNOSTÍ.....	42
4.2 MĚŘENÍ DENNÍHO A UMĚLÉHO OSVĚTLENÍ V MÍSTNOSTI EK 319 (MÍSTNOST A).....	43
4.2.1 Měření umělé osvětlenosti	44
4.2.2 Měření denní osvětlenosti	47
4.3 MĚŘENÍ DENNÍHO OSVĚTLENÍ PRACOVNÍHO PROSTORU V MÍSTNOSTI EK 318 (MÍSTNOST B)	49
4.4 MĚŘENÍ DENNÍHO OSVĚTLENÍ CHODBY A SCHODIŠTĚ (MÍSTNOST C).....	53
5 SIMULACE A ANALÝZA OSVĚTLENÍ VYBRANÝCH MÍSTNOSTÍ	58
5.1 SIMULACE OSVĚTLENÍ MÍSTNOSTI EK 319 (MÍSTNOSTI A)	58
5.2 SIMULACE OSVĚTLENÍ MÍSTNOSTI EK 318 (MÍSTNOST B)	62
5.3 SIMULACE OSVĚTLENÍ CHODBY A SCHODIŠTĚ (MÍSTNOST C)	64
6 NÁVRH OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY V MÍSTNOSTI EK319	67
6.1 PRVNÍ NÁVRH OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY	67
6.2 DRUHÝ NÁVRH OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY.....	68
6.3 POROVNÁNÍ ŘEŠENÝCH NÁVRHŮ OSVĚTLOVACÍCH SOUSTAV	68
7 ZHODNOCENÍ NÁVRHŮ UMĚLÉ OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY V EK319 (MÍSTNOST A)	71
7.1 ENERGETICKÉ ZHODNOCENÍ NÁVRHŮ OSVĚTLOVACÍCH SOUSTAV	71
7.2 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ NÁVRHŮ OSVĚTLOVACÍCH SOUSTAV	72
7.3 DOPAD NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ.....	75
ZÁVĚR	77
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	79
SEZNAM PŘÍLOH	83

Seznam symbolů a zkratk

D	Činitel denní osvětlenosti (%)
D_e	Vnější odražená složka činitele denní osvětlenosti (%)
D_i	Vnitřní odražená složka činitele denní osvětlenosti (%)
D_m	Průměrná hodnota činitele denní osvětlenosti (-)
D_s	Oblohová složka činitele denní osvětlenosti (%)
E	Osvětlenost (lx)
E_0	Osvětlenost soustavy v novém stavu (lx)
$E_{4\pi}$	Střední kulová osvětlenost (lx)
$E_{E/r}$	Spotřebovaná elektrická energie za rok (kW)
E_h	Venkovní osvětlenost (lx)
E_{hz}	Střední polokulová osvětlenost (lx)
E_m	Udržovaná osvětlenost (lx)
E_{sz}	Střední poloválcová osvětlenost (lx)
E_w	Osvětlenost vnějšího zasklení okna (lx)
E_z	Střední válcová osvětlenost (lx)
I	Svítivost (cd)
k_m	Korekční činitel (-)
k_u	Korekční činitel (-)
L	Jas svazku světelných paprsků ($cd \cdot m^{-2}$)
L_z	Jas oblohy v zenitu ($cd \cdot m^{-2}$)
L_γ	Jas oblohy ve výšce úhlu γ ($cd \cdot m^{-2}$)
M	Světlení ($lm \cdot m^{-2}$)
$N_{celk/10r}$	Celkové náklady po deseti letech (Kč)
$N_{E/r}$	Náklady na elektrickou energii za rok (Kč)
$N_{prov/r}$	Náklady na provoz za rok (Kč)
$N_{úspora}$	Úspora financí za provoz (Kč)
$N_{vz/r}$	Náklady na výměnu zdrojů za rok (Kč)
$N_{z/r}$	Poměrné náklady na světelné zdroje za rok (Kč)

P	<i>Elektrický příkon (W)</i>
r	<i>Rovnoměrnost (-)</i>
R_a	<i>Index podání barev (-)</i>
u_A	<i>Nejistota typu A (%)</i>
u_B	<i>Nejistota typu B (%)</i>
u_C	<i>Kombinovaná nejistota (%)</i>
U	<i>Napětí (V)</i>
t_d	<i>Počet hodin využití osvětlovací soustavy během jednoho dne (-)</i>
t_n	<i>Doba návratnosti osvětlovací soustavy (rok)</i>
t_{pz}	<i>Poměrná životnost zdrojů za rok (-)</i>
t_r	<i>Počet dní využití osvětlovací soustavy v roce (-)</i>
ε	<i>Světelný vektor (-)</i>
η_{SV}	<i>Měrný výkon světelných zdrojů (lm/W)</i>
η_{SZ}	<i>Měrný výkon světelných zdrojů (lm/W)</i>
τ	<i>Činitel prostupu světla</i>
Φ	<i>Světelný tok (lm)</i>
Ω	<i>Prostorový úhel (sr)</i>
$\check{C}PS$	<i>Činitel prostupu světla</i>
KEE	<i>Katedra elektroenergetiky a ekologie</i>
LED	<i>Light-emitting diode</i>
$LLMF$	<i>Činitel stárnutí světelných zdrojů (-)</i>
LMF	<i>Činitel stárnutí svítidel (-)</i>
LSF	<i>Činitel funkční spolehlivosti (-)</i>
MF	<i>Udržovací činitel (-)</i>
OS	<i>Osvětlovací soustava</i>
$RSMF$	<i>Činitel stárnutí povrchů (-)</i>
UGR	<i>Index oslnění (unified glare rating)</i>
$RICE$	<i>Regionální inovační centrum elektrotechniky</i>

Úvod

Dynamika denního osvětlení je pro člověka velice důležitá, ovlivňuje totiž fyziologické, biologické, biochemické a psychologické funkce organismu. Ve vnitřních prostorech by měly být uspokojeny tři základní lidské potřeby, kterými jsou zraková pohoda, zrakový výkon a bezpečnost. Zraková pohoda v prostředí je důležitá zejména pro psychologickou pohodu. Zrakový výkon umožňuje lidskému oku dosahovat potřebné ostrosti vidění, rozlišování tvaru, barev a urychluje vnímání při co nejnižší únavě. Bezpečnost v prostředí má za úkol zabránit vzniku oslnění, stroboskopického jevu, nebo rušivých stínů. [1]

Předkládaná práce je zaměřena na problematiku denního osvětlení ve vzdělávacím zařízení a je rozdělena do sedmi kapitol. V první kapitole jsou uvedeny světelnotechnické veličiny, které se v oblasti osvětlování využívají. Ve druhé kapitole je uvedena příslušná teorie denní, umělé a sdružené osvětlovací soustavy. Také je zde shrnuto, podle jakých parametrů se tyto soustavy hodnotí. Ve třetí kapitole je provedena analýza norem týkající se měření denní a umělé osvětlovací soustavy. Ve čtvrté kapitole je provedeno orientační měření denního osvětlení v kontrolních bodech ve srovnávací rovině ve třech různých místnostech. Každá z těchto místností je využívána k jinému účelu a platí pro ně tak jiné požadavky. V první místnosti, kterou je zasedací místnost na Katedře elektroenergetiky a ekologie je posuzováno i umělé osvětlení. Druhou místností je sekretariát této katedry a třetí posuzovanou místností je chodba a část schodiště. V páté kapitole je provedena v programu BuildingDesign simulace těchto místností a hodnoty z těchto simulací jsou porovnány s hodnotami z měření. V šesté kapitole jsou provedeny dva návrhy na modernizaci současné umělé osvětlovací soustavy v zasedací místnosti. V sedmé kapitole jsou zhodnoceny oba návrhy modernizace vzhledem k původní osvětlovací soustavě z ekonomického a energetického hlediska a dále je zhodnocen možný dopad na životní prostředí.

1 Světelnětechnické veličiny

Světelný tok

Světelný tok je světelně technická veličina, která vyjadřuje kolik světelné energie vyzáří zdroj do svého okolí. Značí se řeckým písmenem Φ a jeho jednotka je lumen (lm), tato hodnota je jednou ze štitkových hodnot světelných zdrojů. Světelný tok Φ monochromatického záření s vlnovou délkou λ a zářivým tokem Φ_e lze vyjádřit rovnicí [1]:

$$\Phi(\lambda) = K(\lambda) \cdot \Phi_e(\lambda) = K_m \cdot V(\lambda) \cdot \Phi_e(\lambda) \quad (\text{lm; lm} \cdot \text{W}^{-1}, - , \text{W}). \quad (1.1)$$

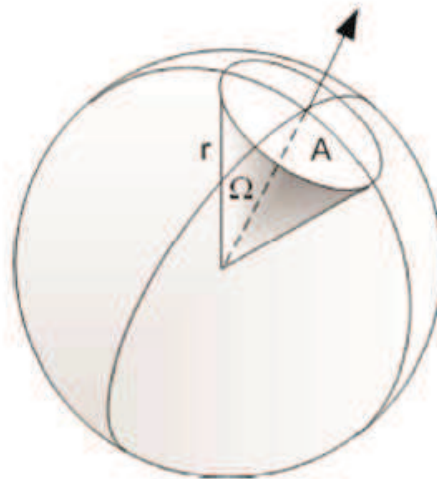
Zářivý tok Φ_e vyjadřuje veškeré elektromagnetické vlnění vyzářované z daného tělesa. Část tohoto záření, na které reaguje lidský zrak je charakterizován výše uvedeným světelným tokem. Množství světelného toku, které lze lidským okem postřehnout závisí na absolutní spektrální citlivosti značené jako $K(\lambda)$. Hodnota této veličiny je trochu odlišná pro každého jedince, neboť citlivost lidského oka je subjektivní. Pro možnost hodnocení světelných podmínek v dané osvětlovací soustavě byla experimentálně stanovena průměrná hodnota $K(\lambda)$. Absolutní spektrální citlivost dosahuje maximální hodnoty ($K_m = 683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$) pro vlnovou délku $\lambda = 555 \text{ nm}$. Tato hodnota odpovídá fotopickému (dennímu) vidění. [1]

Prostorový úhel

Prostorový úhel je důležitou geometrickou veličinu, která se používá při výpočtech ve světelné technice. Představuje část prostoru, který je vyřatý kuželovou plochou na povrchu koule o jednotkovém poloměru. Střed koule a kuželové plochy je totožný. Jeho jednotkou je steradián (sr) a stanoví se ze vztahu [2]:

$$d\Omega = \frac{dA}{r^2} \quad (\text{sr; m}^2, \text{m}), \quad (1.2)$$

kde $d\Omega$ je velikost prostorového úhlu, dA je plocha, kterou vytvoří kužel pro daný prostorový úhel a r je poloměr koule, tzn. vzdálenost od světelného zdroje k místu světelného toku. Grafické znázornění prostorového úhlu je uvedeno na Obr. 1.1.



Obr. 1.1: Vymezení prostorového úhlu [2]

Tento úhel může dosahovat maximální hodnoty $\Omega_{MAX} = 4\pi$, pro plochu, která je rovna povrchu celé koule ($A = 4\pi r^2$). [2]

Svítivost

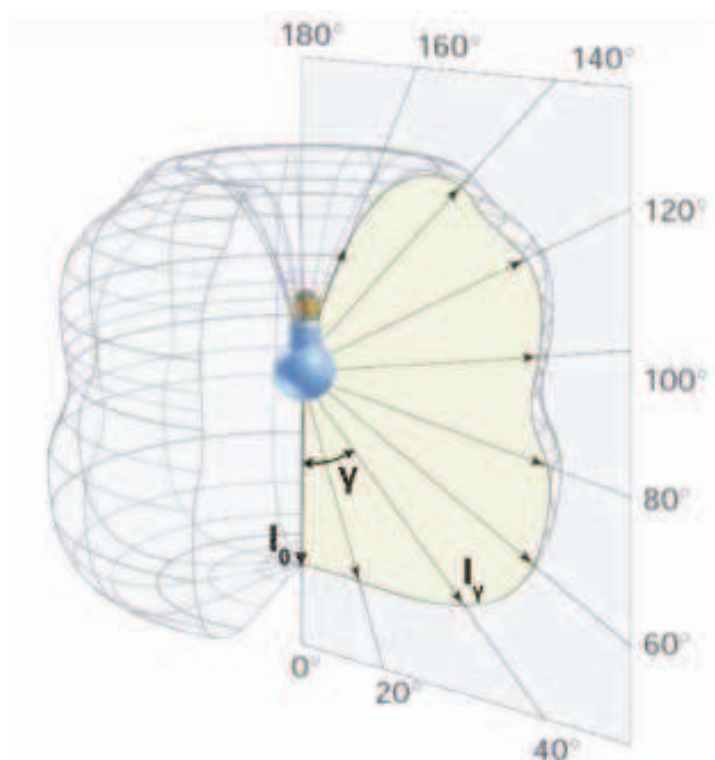
Svítivost popisuje rozložení světelného toku do prostoru a udává, kolik světelného toku zdroj vyzáří v prostorovém úhlu do určitého směru. Svítivost se značí písmenem I a její jednotkou je kandela (cd). Velikost 1 kandel je rovna svítivosti zdroje, který vyzářuje v určitém směru monochromatické záření o frekvenci $540 \cdot 10^{12}$ Hz se zářivostí zdroje v tomto směru $1/683 \text{ W} \cdot \text{sr}^{-1}$. Svítivost I světelného zdroje ve směru $d\Omega_{\gamma\zeta}$, který určují úhly γ a ζ , pro vyzářovaný světelný tok $d\Phi$ je definována vztahem [2]:

$$I_{\gamma\zeta} = \frac{d\Phi}{d\Omega_{\gamma\zeta}} \quad (\text{cd; lm, sr}). \quad (1.3)$$

Svítivost se určuje pro přímkový, plošný i bodový zdroj světla. Pro bodový zdroj světla platí, že svítící plocha zdroje má zanedbatelné rozměry vzhledem ke vzdálenosti pozorovatele, kritického detailu či kontrolního bodu, ke kterému je prováděno kontrolní měření. Kritický detail je definován jako předmět, na který je zaměřen lidský zrak, nebo je na něj soustředěn světelný tok ze světelného zdroje. Vzdálenost světelného zdroje od kontrolního bodu je v rovnici (1.4) označena písmenem l a největší rozměr světelného zdroje je označen písmenem a . Aby byl světelný zdroj brán jako bodový, musí být poměr těchto veličin větší než 5 [2].

$$\frac{l}{a} > 5 \quad (1.4)$$

Po změření svítivosti ve všech směrech prostoru okolo zdroje a vynesemím hodnot vektorů lze vyjádřit prostorové rozložení svítivosti zdroje, tzn. izokandelovým diagramem. Příklad tohoto diagramu je uveden na Obr. 1.2. V praxi se spíše využívá řezů touto plochou, ze kterých lze dostat křivky svítivosti, které se vynášejí v polárních či kartézských souřadnicích. Zobrazení křivek svítivosti v polárních souřadnicích je častější a pro projektanty lépe přehledné. Naproti tomu z křivek svítivosti v kartézských souřadnicích je odečít hodnot přesnější. Křivky s konstantní svítivostí se nazývají izokandely. [2]



Obr. 1.2: Křivka svítivosti celého fotometrického prostoru a řezu [2]

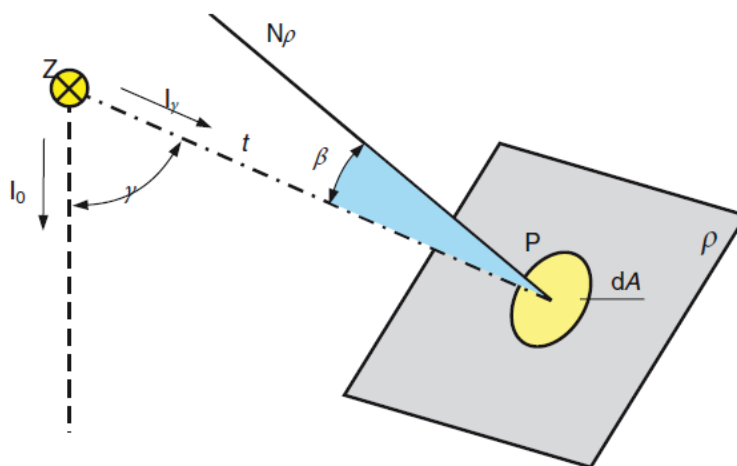
Ekvivalentní prostorový úhel představuje úhel, do kterého by bodový zdroj světelného záření vyzářil všechn svůj světelný tok Φ , kdyby byla jeho svítivost ve všech směrech stejná a rovnala by se vztažné svítivosti I_0 , tzn. maximální hodnotě svítivosti daného světelného zdroje či svítidla.

$$\Omega_e = \frac{\Phi}{I_0} \quad (\text{sr; lm, cd}) \quad (1.5)$$

Osvětlenost

Osvětlenost, nazývaná také jako plošná intenzita osvětlení, se značí písmenem E a její jednotkou je lux (lx). Osvětlenost udává množství světelného toku $d\Phi$ dopadajícího na plochu dA podle následujícího vztahu [2]:

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad (\text{lx; lm, m}^2). \quad (1.6)$$



Obr. 1.3: Osvětlenost bodového zdroje [2]

Na Obr. 1.3 je na rovině ρ vyznačena plocha dA se středem v bodě P . Normála této roviny svírá s paprskem světla úhel β . Pokud známe i svítivost zdroje, můžeme vyjádřit osvětlenost také podle rovnice (1.7), která definuje Lambertův kosinový zákon. [2]

$$E = \frac{I_V \cdot \cos \beta}{l^2} \quad (\text{lx; cd, m}^2) \quad (1.7)$$

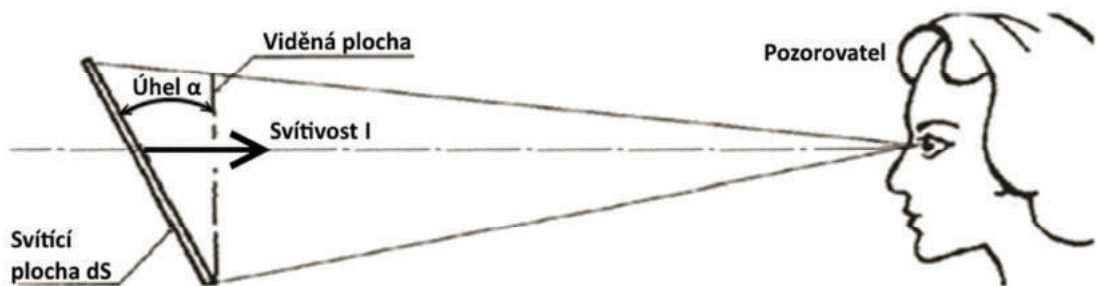
Z tohoto vztahu vyplývá, že osvětlenost klesá, pokud se zvětší vzdálenost osvětlované plochy. Naopak se zvětšující svítivostí zdroje a s menším dopadajícím úhlem se osvětlenost zvyšuje. Největší hodnoty osvětlenosti dosáhne, pokud bude normála roviny rovnoběžná s dopadajícími paprsky světla, úhel β bude tedy nulový a $\cos \beta$ je tedy roven 1. Tato hodnota se nazývá normálová osvětlenost E_N . [2]

Jas svazku světelných paprsků

Jas svazku světelných paprsků je veličina, na kterou přímo reaguje zrakový orgán, je určena plošnou a prostorovou hustotou světelného toku. Mění se s polohou a směrem pohledu pozorovatele. Označuje se písmenem L a jeho jednotkou je kandela na metr čtvereční ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$). Je určen ze vztahu [1]:

$$L = \frac{dI}{dS \cdot \cos \alpha} \quad (\text{cd}/\text{m}^2; \text{cd}, \text{m}^2). \quad (1.8)$$

Jednotlivé veličiny z rovnice (1.8) jsou názorně zobrazeny na Obr. 1.4.



Obr. 1.4: Definice jasu [2]

V homogenním, nepohlcujícím a nerozptylujícím prostředí je jas svazku světelných paprsků po jeho dráze všude stejný, nezávisí tedy na vzdálenosti od zdroje světla. [2]

Světlení

Světlení je fotometrická veličina, která se značí písmenem M a její jednotkou je lumen na metr čtvereční ($\text{lm}\cdot\text{m}^{-2}$). Světlení definuje plošnou hustotu světelného toku $d\Phi$, který je vyzařován z plochy dA [2]:

$$M = \frac{d\Phi_V}{dA} \quad (\text{lm}\cdot\text{m}^{-2}; \text{lm}, \text{m}^2). \quad (1.9)$$

2 Osvětlovací soustavy

Osvětlovací soustavy se podle primárního zdroje světla rozdělují na denní, sdružené a umělé. Jelikož lidský organismus je přizpůsoben vývojem na denní osvětlení, je tento typ osvětlovací soustavy upřednostňován. Všechny osvětlovací soustavy jsou hierarchicky dle doporučení norem hodnoceny v následujícím pořadí: denní, sdružené, umělé. Osvětlovací soustava musí splňovat tři základní lidské potřeby:

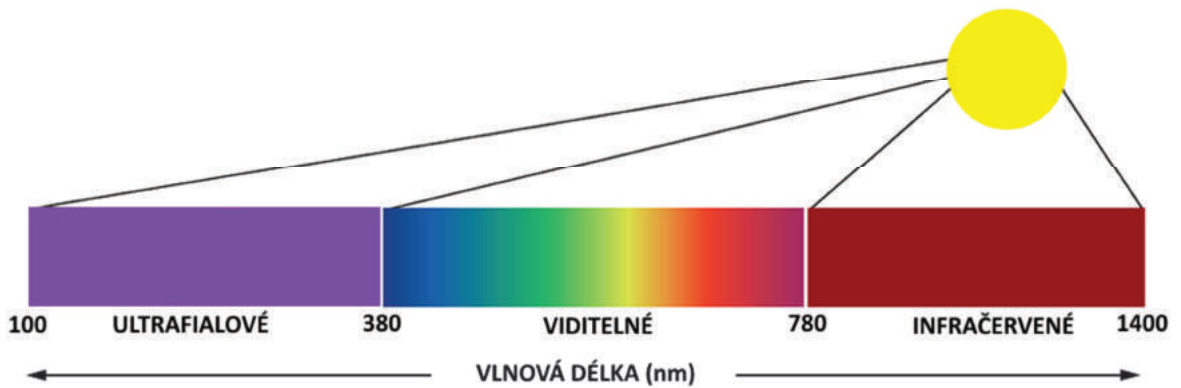
- zrakovou pohodu,
- zrakový výkon,
- bezpečnost.

Zrakové pohody lze docílit optimálním návrhem osvětlení pro zrakové činnosti konané ve vnitřním prostoru. Téměř každá aktivita člověka, prováděná nejen ve vnitřním prostoru, vyžaduje získávat zrakové informace. Množství světla ve vnitřním prostoru, jeho prostorové rozložení, spektrální složení vyzařovaného světla ze světelného zdroje a světelné poměry v zorném poli rozhodují o zrakové pohodě. Denní osvětlení se upřednostňuje před umělými a sdruženými osvětlovacími soustavami zejména z důvodů ekonomických, energetických, zdravotních a ekologických. U prostorů, které jsou určeny pro trvalý pobyt lidí, se musí v souladu s jejich funkcí co nejvíce využívat denního osvětlení. V normách jsou přesně stanoveny hodnoty parametrů osvětlovacích soustav pro jednotlivé zrakové činnosti a aplikační oblasti, viz kapitola 3.[1]

2.1 Denní osvětlovací soustava

Za denní osvětlení je považováno všechno sluneční světlo, které dopadá na Zemi jako přímé sluneční světlo a také světlo rozptýlené atmosférou, tj.: oblohové světlo. Využitím denního osvětlení dochází k přímému využití sluneční energie, není potřeba její transformace ani akumulace, to znamená, že tato soustava má minimální ztráty a náklady a nezatěžuje životní prostředí odpady. Zdrojem denního světla je Slunce, které vyzařuje spojitě elektromagnetické záření v širokém rozsahu vlnových délek od kosmického záření s vlnovou délkou 10^{-13} m, až po rádiové vlny s vlnovou délkou 10 a více metrů. Velká část tohoto záření je pohlcena atmosférou nebo odkloněna magnetickým polem Země a na povrch tak dopadá jen část záření vyzařovaného Sluncem o vlnových délkách přibližně od 100 do 1 400 nm. Část záření je v ultrafialové oblasti (100 až 380 nm), které má baktericidní účinky (dezinfekce

prostoru) a může také přispívat k nežádoucím fyzikálním a chemickým změnám materiálů. Viditelné záření v oblasti 380 až 780 nm má pozitivní vliv na psychiku lidí. Infračervené záření (760 až 1 400 nm) má především tepelný účinek, který v chladnějších měsících přispívá ke zlepšení teplotní bilance budovy. Rozdělení jednotlivých vlnových délek je názorně zobrazeno na Obr. 2. 1. [1], [4]



Obr. 2.1: Rozdělení spektra vlnových délek

Denní světlo bylo po staletí využíváno jako hlavní zdroj světla v interiérech. Během dne nahrazuje umělé osvětlení a snižuje tak spotřebu elektrické energie. V prostorech s trvalým pobytem lidí je považováno za nenahraditelné, kvůli jeho pozitivnímu vlivu na lidské zdraví (zejména zajištění správné funkce cirkadiánních rytmtů) a komfort. Dále by měl být v těchto prostorech zajištěn nerušený výhled osvětlovacími otvory do okolí umožňující relaxaci očí. Za trvalý pobyt lidí se považuje pobyt přesahující 4 hodiny ve vnitřním prostoru během jednoho dne, který se opakuje více než jedenkrát týdně. U ostatních vnitřních prostorů se využívá denního osvětlení tak, aby to bylo účelné a hospodárné. Denní světlo má dynamický charakter a během dne i roku se výrazně mění. To je způsobeno změnou polohy Slunce a změnou oblačnosti na obloze. Ve sluneční den může dosahovat osvětlenosti až 100 000 lx a může tak narušovat zrakovou pohodu velkým kontrastem jasů mezi osvětlenými a neosvětlenými povrchy, případně odrazem od lesklých povrchů, proto musí být zajištěny podmínky zrakové pohody při všech stavech oblohy. Denní osvětlení se navrhuje podle zrakových činností prováděných v prostorech budovy. V případě, že jsou dané zrakové činnosti omezeny jen na část vnitřního prostoru, lze denní osvětlení odstupňovat a to tak, že se v projektové dokumentaci ohraničí dané části vnitřního prostoru a v těchto částech prostoru se uvede účel, požadované zrakové činnosti a s tím i požadované hodnoty činitele denní osvětlenosti. Denní osvětlovací soustavy denního osvětlení se dle přístupu světla do interiéru dělí na přímé, nepřímé a kombinované či dle umístění osvětlovacích otvorů na boční, horní,

kombinované a sekundární. U nepřímé či sekundární osvětlovací soustavy je daná místnost osvětlena pronikajícím světelným tokem z jiné místnosti. V této konkrétní místnosti není osvětlovací otvor, proto je osvětlena například světlíkem či prosklenou stěnou z jiné místnosti, kde osvětlovací otvor je. [1], [3]

2.1.1 Činitel denní osvětlenosti

K hodnocení denního osvětlení se využívá činitel denní osvětlenosti, viz vztah (2.1). Ten je roven podílu osvětlenosti v konkrétním bodě srovnávací roviny v interiéru přímým i odraženým oblohovým světlem E a současné srovnávací osvětlenosti venkovní nezastíněné roviny E_h . Při měření osvětleností nesmí být čidlo luxmetru osvětleno přímým slunečním světlem. Proto se při světelně technických výpočtech a měření činitel denní osvětlenosti určuje při nejméně příznivém stavu, tzn.: zcela zatažená obloha v zimě, kdy venkovní osvětlenost dosahuje přibližně hodnoty 5 000 lx. V hodnotě činitele denní osvětlenosti jsou zahrnuty i vlivy zasklení a nečistot. Minimální hodnoty činitele denní osvětlenosti udává norma ČSN 360011-2 pro různé zrakové činnosti, které jsou uvedeny v kapitole 3.2 v Tab. 5. [2]

$$D = \frac{E}{E_h} \cdot 100 \quad (\%, \text{lx}, \text{lx}) \quad (2.1)$$

Hodnotu činitele denní osvětlenosti lze stanovit třemi způsoby:

- měřením v konkrétním prostoru,
- měřením na modelu,
- výpočtovou metodou.

Vztah (2. 1) se využívá zejména při určení činitele denní osvětlenosti pomocí metody měření osvětleností. Při výpočtech a simulacích se vychází i z druhého definičního vztahu činitele denní osvětlenosti, který je dán jako součet jeho tří složek, tzn. přímé oblohové složky, vnější odražené složky a vnitřní odražené složky činitele denní osvětlenosti, viz vztah (2.4). Při teoretických výpočtech a simulacích se využívá například tzv. Daniljukova metoda, která je stručně vysvětlena v kapitole 2.1.3.

Pro zajištění zrakové pohody ve vnitřním prostředí jsou kromě umožnění přístupu dostatečného množství světla důležité i kvalitativní parametry osvětlovací soustavy. U

denního osvětlení boční osvětlovací soustavy je rovnoměrnost denního osvětlení definována poměrem minimální a maximální hodnoty činitele denní osvětlenosti ve vodorovné rovině.

$$r = \frac{D_{min}}{D_{max}} \quad (-, lx, lx) \quad (2.2)$$

Rozložení světelného toku popisuje směr světelného toku a jeho difuzitu. Směr osvětlení musí být v souladu se zrakovou činností volen tak, aby nedocházelo ke stínění osobou, nebo předměty. Nejčastěji se tak dává přednost osvětlení zleva, nebo zleva a zepředu. Zároveň vhodnost osvětlení rozptýleným světlem či směrovou složkou světla závisí na dané zrakové činnosti. Pro čtení či psaní je lepší rozptýlené světlo, naopak pro rozpoznávání 3D předmětů je výhodnější směrové osvětlení. Schopnost rozlišovat předměty je definována činitelem podání tvaru. Šířením světla osvětlovacími otvory dochází ke světelným ztrátám, které závisí na materiálu zasklení, znečištění vnitřní i vnější strany osvětlovacího otvoru, záclonami a na neprůsvitných částech konstrukce. Tyto ztráty popisuje činitel prostupu světla, který se značí τ a je dán poměrem světelného toku, který projde osvětlovacím otvorem, a světelného toku dopadajícího na osvětlovací otvor. Pokud je v osvětlovacím otvoru více vrstev skleněných materiálů oddělených vzduchem tak výsledný činitel prostupu světla je součinem jednotlivých činitelů prostupu světla. Jeho velikost závisí také na úhlu dopadu světelného toku na osvětlovací otvor. [5]

2.1.2 Oslnění

Rozložení jasu ploch v zorném poli je důležité zejména kvůli oslnění a fototropickému reflexu, při kterém se zrak nevědomě obrací na nejvíce jasné a kontrastní místo v zorném poli. Z toho důvodu je žádoucí vyloučení rušivých jasů a kontrastů v zorném poli, při kterém může docházet k oslnění. Oslnění je nepříznivý stav zraku, který narušuje zrakovou pohodu, vidění se stává namáhavým a případně zcela znemožňuje vidění. Dochází k němu tehdy, pokud je sítnice oka vystavena rozdílným nebo vyšším jasům, než na které je adaptována a musí být omezeno, aby se předešlo chybám, únavě a nehodám. Oslnění může být omezující nebo rušivé. Pokud jsou dodrženy limity rušivého oslnění, nebývá omezující oslnění problémem. Vliv oslnění je větší, pokud působí blízko osy zorného pole, nebo pokud působí zdola, například odrazem od stolu nebo podlahy. Ve vnitřních prostorech může být oslnění způsobeno přímo zdroji světla, svítidly, nebo odrazy od lesklých povrchů. Rušivé oslnění je bráno jako oslnění, které budí u člověka nepříjemný pocit, ale nemusí nutně zhoršovat činnost

zraku. Oslnění se hodnotí indexem oslnění UGR, který musí být stanoven tabulkovou metodou založenou na jednotném hodnocení oslnění, vycházející ze vztahu:

$$UGR = 8 \log \left(\frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right), \quad (2.3)$$

kde L_b je jas pozadí, L je jas svítících částí každého svítidla ve směru k oku pozorovatele, ω je prostorový úhel, pod nímž pozorovatel vidí svítící části každého svítidla a p je činitel polohy pro každé svítidlo podle jeho odklonu od směru pohledu. Doporučené mezní hodnoty UGR tvoří řadu, jejíž stupně odpovídají patrným změnám v oslnění. Požadované hodnoty UGR jsou uvedeny v ČSN EN 12464-1 a jednotlivé řady jsou 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28. Hodnocení se provádí ve výšce očí osoby, pro sedící osobu je to 120 cm, pro stojící osobu 150 cm. [6], [7]

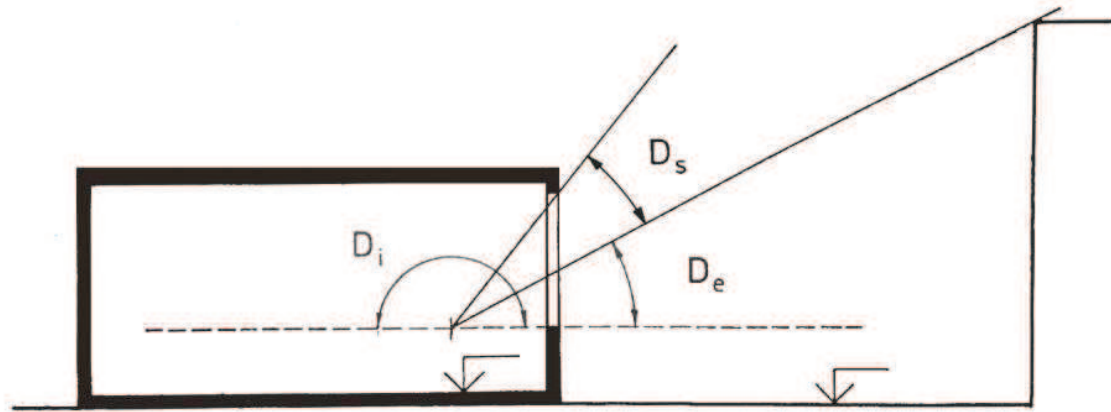
2.1.3 Daniljukova metoda

Daniljukova metoda je metoda určená pro výpočet oblohové a vnější odražené složky činitele denní osvětlenosti pro případy bez zastínění osvětlovacích otvorů při libovolném sklonu srovnávací roviny a pravoúhlého osvětlovacího otvoru. U této metody se využívá grafické pomůcky – Daniljukových diagramů, které jsou uvedeny v Příloze 16. Jeden diagram se používá při práci v řezu a druhý při práci v půdorysu osvětlované místnosti.

Podstatou této metody je rozdělení polokoule oblohy na plošné úseky, které mají stejný činitel denní osvětlenosti. Je nutné, aby všechny úseky měly stejné průměty na rovině, proto je dle Daniljuka polokoule rozdělena na 10 000 úseků stejné světelné účinnosti (100 poledníků a 100 rovnoběžek). Každý z těchto úseků vytváří osvětlení 10 000 krát menší, než je vnější horizontální osvětlení od celé polokoule oblohy, činitel oblohy od jedné plošky v kontrolním bodě je pak 0,01 %. Diagram je navržený pro výpočty s oblohou s konstantním jasem a není v něm uvažováno zasklení osvětlovacích otvorů. To se dále provádí pomocí korekce, při které může vzniknout určitá chyba. [31]

Na Obr. 2.2 jsou znázorněny jednotlivé složky činitele denní osvětlenosti, které svým součtem udávají výslednou hodnotu činitele denní osvětlenosti ve vztahu (2.4), kde D_s je oblohová složka, D_e je vnější odražená složka a D_i je vnitřní odražená složka.

$$D = D_s + D_e + D_i \quad (2.4)$$



Obr. 2.2: Složky činitele denní osvětlenosti [22]

Činitel oblohy D_s se určuje ze vztahu (2.5). Ve svislém řezu budovy se vyznačí sít kontrolních bodů na srovnávací rovině a kontrolní bod P se spojí se spodní a s horní vnější hranou osvětlovacího otvoru. Následně se přiloží Daniljukův diagram pro práci v řezu do kontrolního bodu a v celých či polovičních číslech se určí počet dílků n_1 mezi krajními paprsky osvětlovacího otvoru. Dále se určí efektivní řezové těžiště T ve středu okna (polovina dílků n_1) a změří se úhel mezi paprskem procházejícím tímto středem a srovnávací rovinou. Z toho se pomocí diagramu určí korekce jasů oblohy q . Pro určení počtu paprsků n_2 je nutné upravit polohu posuzovaného bodu P na P'. Ten se v půdorysu místnosti posune o vzdálenost, která je mezi těžištěm T a bodem P. Tento bod P' se obdobně spojí s krajními hranami osvětlovacího otvoru, přiloží se Daniljukův diagram pro půdorys a stanoví se počet paprsků n_2 . $\tau_{0,\psi}$ je činitel světelných ztrát zasklení. [32]

$$D_s = 0,01 \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot q \cdot \tau_{0,\psi} \quad (2.5)$$

Pokud obloha není zastíněna venkovní překážkou, je vnější odražená složka D_e na vodorovné srovnávací rovině rovna nule. V případě stínění se provádí pomocí korekčního činitele k_m , který je dán poměrem jasů překážky a jasů oblohy, kterou překážka zastiňuje, viz vztah (2.6). Počet dílků n_{1p} a n_{2p} se určuje obdobně jako u oblohové složky, ale neurčují se mezi krajními paprsky osvětlovacího otvoru, ale jen v jeho části, která způsobuje stínění oblohy. [32]

$$k_m = \frac{L_p}{L_m} \quad (2.6)$$

$$D_e = 0,01 \cdot n_{1p} \cdot n_{2p} \cdot k_m \cdot \tau_0 \quad (2.7)$$

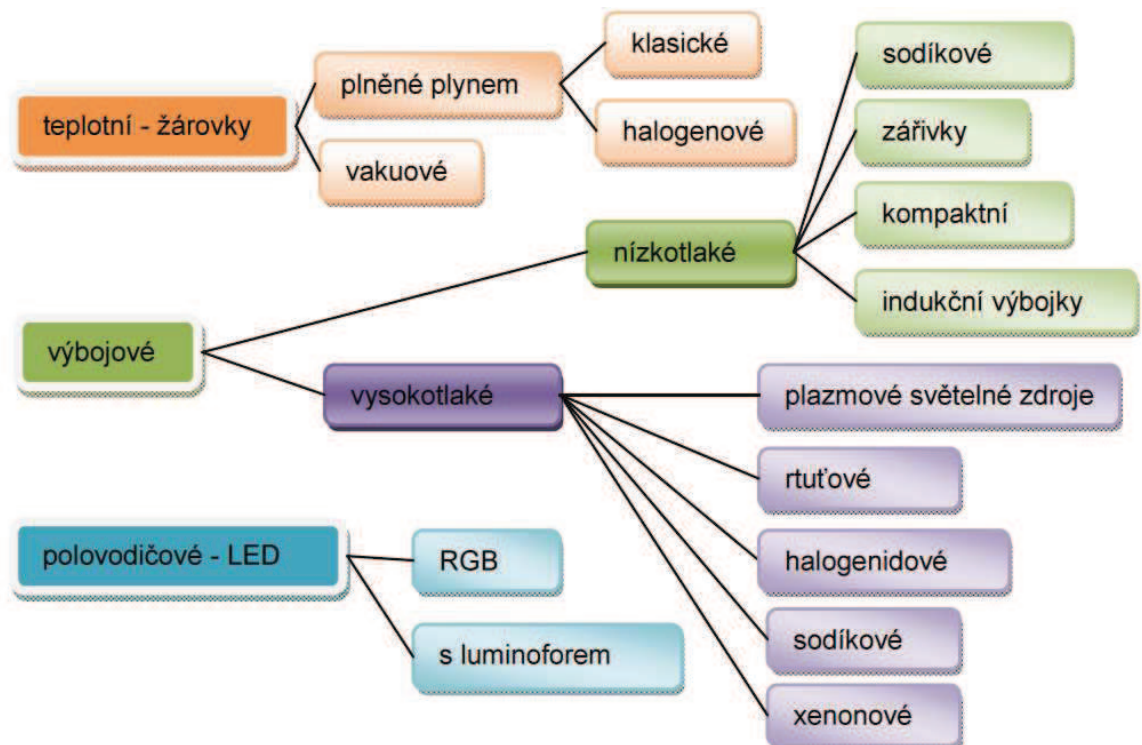
2.2 Umělá osvětlovací soustava

Umělá osvětlovací soustava se používá ve vnitřních prostorech, kde není zajištěna dostatečná osvětlenost pomocí denního osvětlení. Používá se při dotváření či umožnění vnímání prostorů a k zajištění zrakové pohody. Dále má vliv na bezpečnost a produktivitu práce. Umělé osvětlení se rozděluje do čtyř kategorií:

- celkové – rovnoměrné osvětlení prostoru bez ohledu na zvláštní požadavky,
- odstupňované – v části prostoru kde je vykonávána činnost je vyšší intenzita,
- místní – doplňuje celkové osvětlení, lze ho samostatně ovládat,
- nouzové – určeno pro použití v případě poruchy normálního osvětlení. [8]

2.2.1 Stručný přehled světelných zdrojů a svítidel

Ve světelných zdrojích dochází k přeměně různých forem energie na elektromagnetické záření ve viditelné oblasti spektra. Tyto zdroje se dle fyzikálního principu transformace energie rozdělují do tří hlavních kategorií – teplotní, výbojové a polovodičové. Jejich rozdělení je zobrazeno na Obr. 2.3.



Obr. 2.3: Přehled světelných zdrojů [2]

Teplotní světelné zdroje

Teplotní, někdy označované jako tepelné, světelné zdroje patří mezi největší a nejstarší skupinu. Vyznačují se velmi malou účinností, protože většina energie je spotřebována na zahřátí látky, která pak vyzařuje světelnou energii. Mezi teplotní zdroje se řadí především žárovky, ale i všechny druhy plamene – oheň, svíčky, louče, olejové a petrolejové lampy. Světlo u klasických i halogenových žárovek vzniká průchodem elektrického proudu kovovým (wolframovým) vláknem. Teplotní zdroje se vyznačují spojitým spektrem vyzařovaného světla v celém rozsahu viditelného záření. [1]

Výbojové světelné zdroje

Ve výbojových zdrojích světla vzniká světlo zářením plynů nebo kovových par. Skládají se z křemenné trubice, která má dvě elektrody a na ně je přivedeno elektrické napětí. To vede ke vzniku elektrického výboje a mezi elektrodami pak začne procházet elektrický proud. Nosiči proudu jsou elektrony nebo ionty, které při srážkách s atomy vytvářejí optické záření. Uvolněné elektromagnetické záření je v oblasti ultrafialového záření. Pro vznik elektrického výboje je potřeba přivést napětí o určité velikosti, toto napětí se nazývá zápalným napětím. Jeho velikost určuje vzdálenost elektrod, tlak plynu v baňce, druh plynu, průměr baňky a tvar elektrod. Po zapálení výboje se zvětšuje vodivost plynu a tím se zvětšuje i procházející proud, ten by mohl vést ke zničení výbojky. Proto se do napájecího obvodu zapojuje ještě omezovač proudu. Pro střídavé napětí to bývá tlumivka, případně tlumivka a kondenzátor, u stejnosměrného napětí rezistor. Tyto světelné zdroje dosahují vysoké účinnosti přeměny elektrické energie na světelnou a jsou spolehlivé po dlouhou dobu provozu. Dále jsou popsány dva typy výbojových světelných zdrojů, které jsou nejčastěji využívány k osvětlování vnitřních prostorů, viz Obr. 2.4. [9]

- ***Lineární zářivky***

Jedná se o nízkotlaké rtuťové výbojky v kombinaci s předradníkem, ten je použit z důvodu omezení proudu v zářivce a stabilizaci. Spektrum vyzařovaného elektromagnetického záření je ultrafialové a nelze ho lidským okem spatřit, proto je na vnitřní straně trubice nanášena vrstva, či několik vrstev luminoforu, které mění ultrafialové záření na viditelné. Podle použitého druhu luminoforu lze dostat různé barvy světla. Zářivky jsou

vyráběny pro napájení 230 V. Díky jejich většímu povrchu je vyzařované světlo difuznější a méně směrové než u bodových zdrojů. Mají dlouhou dobu života (až 20 000 hodin), velmi dobrý index barevného podání a minimální pokles světelného toku. Mezi jejich další výhody patří nízké pořizovací náklady a jsou proto vhodné pro osvětlování větších prostor jako kancelářské, průmyslové a veřejné budovy. Jsou vhodné pro použití, kde nedochází k častému spínání, protože při jejich častém spínání dochází k odpařování wolframu z elektrod a tím se snižuje jejich životnost. Z hlediska použití nejsou vhodné pro venkovní osvětlovací soustavy, protože mají světelný tok silně závislý na okolní teplotě. Vzhledem k tomu, že obsahují rtuť, představují při rozbití zdravotní riziko, proto je nutné je likvidovat jako nebezpečný odpad. [9]

- ***Kompaktní zářivky***

Kompaktní zářivky, často nazývané jako úsporné zářivky pracují na stejném principu jako lineární zářivky. Odstraňují hlavní nevýhodu lineárních zářivek a to jejich velikost. Ta je u kompaktních zářivek podstatně menší a lze jimi nahrazovat energeticky náročné žárovky. Oproti nim mají o 80 % menší spotřebu elektrické energie a výrazně delší dobu života (až 20 000 hodin). [10]



Obr. 2.4 – Lineární zářivka (vlevo) a kompaktní zářivka (vpravo) [11]

Polovodičové světelné zdroje

Polovodičové světelné zdroje jsou nejperspektivnějším zdrojem světla a v dnešní době rozsáhle nahrazují ostatní zdroje světla. Rozdělují se na světelné diody (LED) a organické

světelné diody (OLED), které jsou stále ve fázi vývoje a jejich největší komerční využití je v displejích pro mobilní telefony či televizní obrazovky. Světelná dioda je polovodičový prvek, který vyzařuje světlo, infračervené, nebo ultrafialové záření průchodem elektrického proudu. Vyzařované světlo může být monochromatické, to znamená, že vyzařuje světlo v úzkém rozsahu vlnové délky. Barvu vyzařovaného světla ovlivňuje typ polovodiče. V osvětlování nejčastěji používanou bílou barvu lze získat třemi způsoby:

- pc-LED, která je složená z modré LED a luminoforu, který doplňuje spektrum o červenou a zelenou oblast spektra.
- hy-LED, která je složená také z modré LED a luminoforu, který doplňuje spektrum pouze o zelenou oblast spektra, červené spektrum je doplněno pomocí červené LED.
- cm-LED, která je složená z modré, červené a zelené LED, bílé světlo pak vznikne mísením jednotlivých barev. [12]

Jejich účinnost dosahuje až 40 %, což je téměř dvakrát více než účinnost zářivek a třináctkrát více než u klasické žárovky. Délka života je také výrazně vyšší a je udávána minimálně 50 000 hodin. [13]

Svítilna

Světelné zdroje vyzařují světlo, které je velmi často potřeba zpracovat, usměrnit či přizpůsobit podmínkám, ve kterých se bude daný světelný zdroj využívat. Proto se osazují do svítidel, které slouží k vhodnému rozložení prostorového světelného toku, omezení jasu a zvýšení odolnosti světelných zdrojů proti působení okolního prostředí. Dále umožňují jejich mechanické upevnění, napájení elektrickou energií a zajišťují ochranu před úrazem elektrickým proudem a elektromagnetickou kompatibilitu. U svítidel se musí udávat stupeň ochrany IP, který značí ochranu svítidla proti vniknutí prachu, pevných těles a vody. Svítidla se na rozdíl od světelných zdrojů mohou rozdělovat do velkého množství kategorií a lze je třídit podle druhu světelného zdroje, oblasti použití, způsobu montáže, účelu či zrakového úkolu. Často platí, že jeden typ svítidla lze použít ve více oblastech. Nejčastěji se však rozdělují podle účelu do tří základních skupin:

- technická svítidla, která slouží k osvětlování prostorů, kde není dostatečné denní osvětlení,

- dekorační svítidla, která mohou být sama o sobě vizuálně zajímavá, či svými světelnými účinky vytvářejí světelné efekty a navozují tak příjemnou atmosféru. Příklad dekorativního svítidla je na Obr. 2.5. Dekorační svítidla (např. lustry) slouží velmi často také k celkovému osvětlení prostoru a nahrazují tak funkci technických svítidel,
- orientační a signalizační svítidla, která zajišťují orientaci a bezpečnost za normálních i nebezpečných situací.[1]



Obr. 2.5: Příklad dekorativního svítidla v interiéru [14]

2.2.2 Hodnocení umělé osvětlovací soustavy

Pro hodnocení umělého osvětlení se využívá intenzity osvětlení, tj. osvětlenosti E . Pro bodový zdroj světla se svítivostí I , vzdáleností l od osvětlované plochy a s dopadajícími paprsky pod úhlem β se tato intenzita v kontrolním bodě srovnávací roviny vypočte dle vztahu [8]:

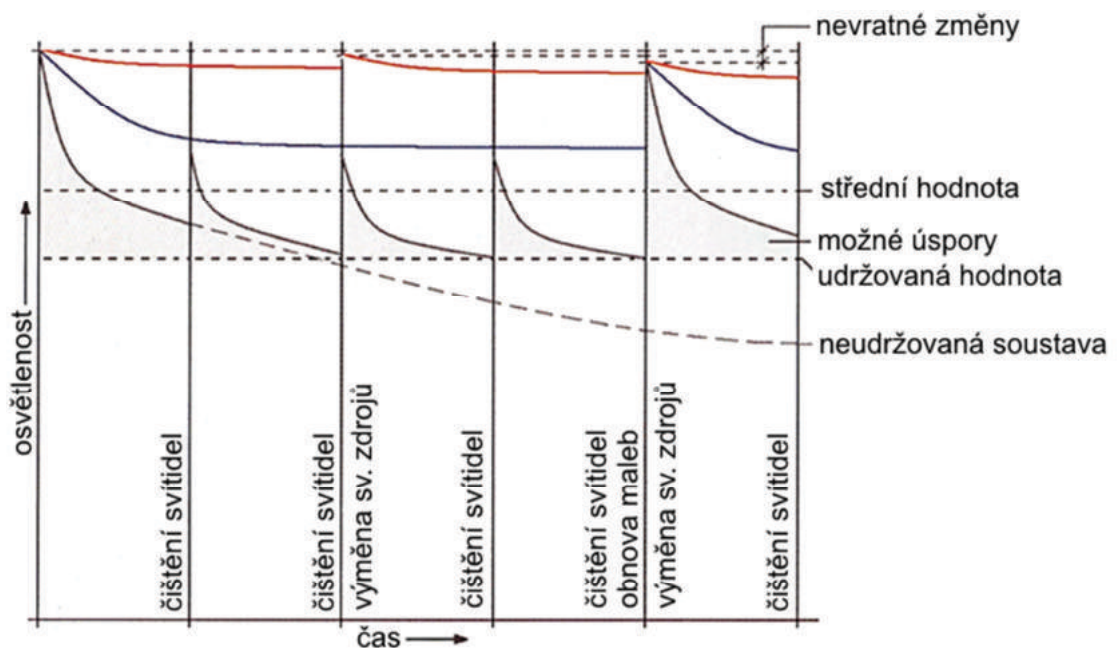
$$E = I \cdot \cos \beta \cdot \frac{a}{l^2} \quad (lx, cd, ^\circ, m). \quad (2.8)$$

Na každou osvětlovací soustavu působí různé faktory, například znečištění svítidel a prostoru, stárnutí světelných zdrojů a svítidel, spolehlivost světelných zdrojů či snížení odrazu světla, které pak způsobují pokles osvětlenosti. Často se tedy osvětlovací soustava navrhuje jako předdimenzovaná, aby na konci životnosti osvětlovací soustavy byla zachována patřičná

osvětlenost. Ztráty, které vzniknou poklesem osvětlenosti lze obecně rozdělit na vratné a nevratné. Nevratné ztráty nelze běžnou údržbou zlepšit, nebo to není ekonomicky výhodné, avšak podíl těchto ztrát na výsledném poklesu osvětlenosti nebývá příliš významný. [1]

Vratné ztráty lze vyjádřit pomocí udržovacího činitele, jehož průběh je znázorněn na Obr 2.6. Ten je definován rovnicí (2.9) jako poměr udržované osvětlenosti \bar{E}_m a průměrné osvětlenosti \bar{E}_0 osvětlovací soustavy v novém stavu. Také je v něm zahrnut vliv stárnutí světelných zdrojů (LLMF) a svítidel (LMF), stárnutí povrchů (RSMF) a jejich funkční spolehlivost (LSF). Každý z těchto parametrů je vyjádřen hodnotou v rozmezí 0 a 1. Udržovací činitel má velký vliv na energetickou účinnost. [1]

$$MF = \frac{\bar{E}_m}{\bar{E}_0} = LLMF \cdot LMF \cdot RSMF \cdot LSF \quad (2.9)$$



Obr. 2.6: Průběh udržovacího činitele [15]

Činitel stárnutí světelného zdroje (LLMF) popisuje průběh poklesu světelného toku zdroje, který klesá u všech světelných zdrojů. Lze ho vyjádřit jako poměr vyzařovaného světelného toku zdroje po určité době provozu k počátečnímu světelnému toku. [15]

Udržovací činitel svítidla (LMF) charakterizuje změny optických vlastností svítidel a světelných zdrojů, ke kterým dochází v průběhu času. K těmto změnám dochází především vlivem nečistot usazovaných na světelných zdrojích a částech svítidla. Na jeho velikost má

vliv materiál, konstrukce svítidla, poloha, orientace, povrchová teplota, proudění vzduchu, stupeň znečištění a charakter nečistot obsažených ve vzduchu. [1]

Udržovací činitel povrchů (RSMF) závisí na rozměrech místnosti, činitelích odrazu všech povrchů a na rozložení světelného toku svítidel. Znečištěním a fyzikálně-chemickými změnami dochází ke snížení odraznosti stěn a stropu. Po obnově malby těchto ploch se vlastnosti prostoru vrací do původního stavu. Čisté povrchy pak přispívají k jasové rovnováze prostředí. [15]

Činitel funkční spolehlivosti světelného zdroje (LSF) popisuje, jak velká část světelných zdrojů ze zkušební vzorku bude po určité době stále funkční. Doba, po kterou je funkčních 50 % zdrojů z tohoto vzorku, je nazývána průměrný život světelného zdroje. Bere se v úvahu pouze v případě skupinové výměny světelných zdrojů. Při individuální výměně je roven jedné. [1]

Na osvětlenost v dané osvětlovací soustavě působí i další faktory, které ji mohou ovlivňovat. Mezi tyto faktory patří napětí v síti, okolní teplota, výskyt osob a další. Pro účely hygieny se pak hodnocení úrovně umělého osvětlení interiérů provádí pomocí veličiny, která je nazvaná udržovaná osvětlenost \bar{E}_m (lx). Jedná se o průměrnou hodnotu osvětlenosti po určité době provozu soustavy. Po uplynutí této doby, obvykle po 2 letech, je požadováno provedení údržby. Udržovaná osvětlenost se hodnotí ve srovnávací rovině. Srovnávací rovina se pak volí v takové výšce, ve které obvykle probíhá pracovní úkol. Může mít různý sklon i orientaci. Nejčastěji se volí ve výšce 20 cm nad podlahou pro chodby, nebo tělocvičny. Pro pracovní děti v mateřských školách se volí ve výšce 45 cm nad podlahou a pro administrativní prostory a školy se volí ve výšce 85 nebo 75 cm nad podlahou. Mezi další požadavky na umělé osvětlení patří rovnoměrnost osvětlení. U umělého osvětlení je rovnoměrnost dána poměrem minimální a průměrné osvětlenosti povrchu. V bezprostředním okolí úkolu by měla být rovnoměrnost osvětlení nejméně 0,4 a v pozadí úkolu vyšší než 0,1. Požadované hodnoty udržované osvětlenosti, indexu oslnění, indexu podání barev a rovnoměrnosti jsou uvedeny v ČSN EN 12464-1. Pro vybrané úkoly, činnosti a prostory jsou tyto hodnoty uvedeny v Tab. 1. [6], [8]

Tab. 1: Požadavky na udržovanou osvětlenost vybraných prostorů, úkolů nebo činností [6]

Prostor, úkol, činnost	Udržovaná osvětlenost \bar{E}_m (lx)	Index oslnění UGR (-)	Index podání barev R_a (-)	Rovnoměrnost osvětlení r (-)
Učebny, konzultační místnosti	300	19	80	0,6
Kreslírny pro technické kreslení	750	16	80	0,7
Posluchárny	500	19	80	0,6
Školní jídelny	200	22	80	0,4
Kuchyně	500	22	80	0,6
Herny v mateřských školách	300	22	80	0,4
Psaní, čtení v administrativních prostorech	500	19	80	0,6
Zakládání dokumentů, kopírování	300	19	80	0,4
Archivy	200	25	80	0,4
Šatny, koupelny, toalety	200	25	80	0,4
Sportovní haly, plavecké bazény	300	22	80	0,6
Komunikační prostory a chodby	100	25	80	0,4
Schodiště	150	25	80	0,4
Vstupní haly	200	22	80	0,4

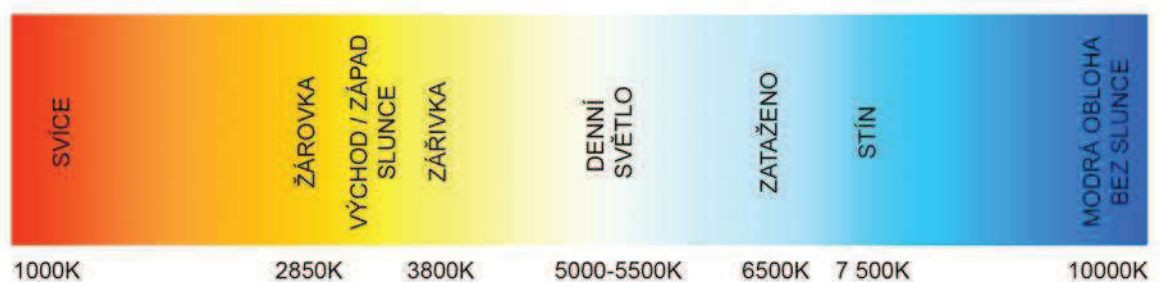
Index podání barev

Index podání barev (CRI) vyjadřuje schopnost vnímat pod daným světelným zdrojem barvy osvětleného objektu více či méně shodně jako pod bílým smluvním světlem. Může nabývat hodnot v rozmezí od 0 do 100. Maximální hodnota 100 pak vyjadřuje ideální podání barev světla. Naopak při nulové hodnotě indexu podání barev není možné lidským okem rozeznat barvy. Ve všech interiérech by většinou měl být index podání barev v rozmezí 80 až 85. [16]

Teplota chromatičnosti

Teplota chromatičnosti, nazývaná také jako barevná teplota, udává termodynamickou teplotu černého tělesa, při které vyzařované světlo z tohoto tělesa vzbuzuje v lidském oku stejný barevný vjem, jako daný světelný zdroj. Teplota chromatičnosti je udávána v Kelvinech. Čím je tato hodnota větší, tím barva světla přechází do bílého až modrého charakteru, což je znázorněno na Obr. 2.7. Barevná teplota denního světla se během dne mění. Teplé bílé světlo s hodnotou přibližně do 3 300 K odpovídá světlu při východu či západu slunce a je využíváno pro nastolení příjemné a uvolňující atmosféry. To vyvolává u člověka pocit klidu, odpočinku a relaxace. Teplota chromatičnosti v rozmezí od 3 300 K do 5 000 K

označuje neutrální bílé světlo, které se podobá nejvíce běžnému dennímu světlu, proto je vhodné umisťovat světelné zdroje s touto teplotou chromatičnosti do obytných prostor. Díky své neutrální barvě má vysoký index podání barev. Chladné denní světlo s hodnotami nad 5 000 K svítí lehce do modra a u člověka podporuje soustředění a aktivitu, proto je vhodné umisťovat takové zdroje světla do všech pracovních prostor. Teplota chromatičnosti světelných zdrojů se určuje z trichromatického trojúhelníku barev, konkrétně u teplotních zdrojů z čáry teplotních zářičů. U ostatních světelných zdrojů se určuje pomocí speciálních diagramů tzv. náhradní teplota chromatičnosti. [17]



Obr. 2.7: Rozdělení teploty chromatičnosti od nejteplejší po nejstudenější [18]

Měrný výkon světelných zdrojů

Měrný výkon udává kolik elektrické energie je přeměněno na světelnou energii. Jeho jednotkou je lumen na watt (lm/W) a je dán podílem světelného toku Φ a elektrického příkonu P . Pro světelné zdroje bez předřadníku (žárovky) je udáváný příkon stejně velký jako odebíraný výkon ze sítě, avšak u světelných zdrojů s předřadníkem (výbojky, zářivky) je část výkonu spotřebována i v předřadníku. Proto je zde definován měrný příkon (příkon svítidla), který je součtem spotřebovaného výkonu předřadníkem a měrného výkonu světelného zdroje. [2]

$$\eta_P = \frac{\Phi}{P} \quad (\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}, \text{lm}, \text{W}) \quad (2.10)$$

Pro hodnocení umělé osvětlovací soustavy se dále využívá hodnocení oslnění, které je detailněji popsáno dříve v kapitole 2.1.2.

2.3 Sdružená osvětlovací soustava

Ve sdružené osvětlovací soustavě dochází ke kombinaci umělého a denního osvětlení. To se provádí v případech, kdy není pro danou zrakovou činnost zajištěno dostatečné denní osvětlení, často se jedná o rekonstrukce starších objektů, nebo části objektu kde nelze z konstrukčních důvodů dosáhnout vyhovujícího denního osvětlení. Sdružené osvětlení je z hlediska působení na člověka příznivější, než pouze umělé osvětlení, ale není rovnocenné dennímu osvětlení, proto se navrhuje tak, aby bylo co nejehospodárněji využito denního světla, s ohledem na nepříznivé vlivy přímého slunečního světla (oslnění) a nadměrný kontrast jasů. Hodnoty osvětlenosti sdruženým osvětlením jsou součtem hodnot denní osvětlenosti a doplňující umělé složky. Sdružené osvětlení lze rozdělit dle doby používání na:

- trvalé, kdy je využíváno umělého světla celý den,
- přechodné, kdy je využíváno umělého světla jen daných v časových úsecích, např. při svítání.
- Druhé rozdělení sdruženého osvětlení je podle jeho rozsahu:
- celkové, kdy dochází ke kombinaci denního a umělého osvětlení v celém prostoru, nebo v jeho podstatné části,
- místní, při kterém je umělým světlem přisvětlená jen část prostoru, ve které není dostatečné denní osvětlení nebo zde dochází k náročnější zrakové činnosti a denní osvětlení není vyhovující. [5]

Úroveň denní složky sdruženého osvětlení je pro jednotlivé třídy zrakových činností uvedena v Tab. 2 hodnotou činitele denní osvětlenosti. Pro boční osvětlení prostoru (boční osvětlovací soustavu) musí být splněny minimální hodnoty činitele denní osvětlenosti D_{\min} . V případě horního osvětlení musí být splněny průměrné hodnoty D_m pro dané třídy zrakových činností. Průměrná hodnota činitele denní osvětlenosti alespoň 1 % musí být splněna u všech tříd při bočním nebo kombinovaném osvětlení. Úroveň doplňujícího umělého osvětlení je pak volena tak, aby během celého dne i během roku a za každého stavu oblohy byly splněny požadavky na rozložení světelného toku (využití čidel), převažující směr osvětlení, rovnoměrnost osvětlení a rozložení jasů v zorném poli osob. Pro sdružené osvětlovací soustavy se doporučuje, aby teplota chromatičnosti zdrojů umělého osvětlení byla vyšší než 4000 K a blížila se tak dennímu světlu, vhodné je proto využití bílých zářivek. V prostorech, kde nedochází k efektivnímu promísení denního a umělého světla se volí zdroje umělého osvětlení se spektrálním složením blízké dennímu světlu. [1], [19]

Tab. 2: Hodnoty činitele denní osvětlenosti pro sdružené osvětlení [19]

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

3 Analýza legislativy pro denní a umělé osvětlovací soustavy

Níže je uveden přehled legislativy zabývající se těmito osvětlovacími soustavami:

- ČSN 36 0011-1: Měření osvětlení prostorů: Část 1: Základní ustanovení,
- ČSN 36 0011-2: Měření osvětlení prostorů: Část 2: Měření denního osvětlení,
- ČSN 36 0011-3: Měření osvětlení prostorů: Část 3: Měření umělého osvětlení vnitřních prostorů,
- ČSN 73 0580-1: Denní osvětlení budov: Část 1: Základní požadavky.

3.1 Měření osvětlení

Měření osvětlenosti patří mezi nejčastější fotometrické úlohy v laboratořích i mimo ně. Měření se provádí pro zjištění podmínek zrakové pohody během užívání osvětlovací soustavy a ověření zda jsou v osvětlovací soustavě dodrženy základní požadavky na úroveň a rovnoměrnost hladiny osvětlenosti. Před samotným měřením je potřeba zajistit všechny podmínky, aby měření probíhalo bez závad a údaje z měřících přístrojů byly poskytovány v požadované kvalitě. Proto je nutné zkontrolovat stav a funkčnost přístrojů a případně provést jejich očištění a údržbu. Výška srovnávací roviny se nejčastěji volí ve výšce 0,85 m nad podlahou, pokud není pro danou činnost v prostoru požadována jiná výška. Kontrolní body se umísťují 1 m od vnitřních povrchů stěn, a ostatní body se rozmístí v pravidelných vzdálenostech tak, aby výsledky měření dávaly dostatečnou představu o průběhu osvětlení. Ve vnitřních prostorech se vzdálenost a počet bodů rozmístí tak, aby od sebe byly vzdáleny 0,5 m až 2 m a tvořily co nejpravidelnější a nejrovnoměrnější síť. [20]

V kontrolních bodech se měří hodnoty osvětlenosti a zároveň je potřeba měřit i jasy ploch v zorném poli osob, pro které je prostor určen. Pro měření těchto veličin se používají luxmetry, jasoměry a jasové analyzátoři. Všechny přístroje musí být kalibrovány, nebo ověřovány podle zvláštního právního předpisu, podle doporučení výrobce, nebo dle typu přesnosti přístrojů. U přístrojů pro přesné měření je maximální lhůta kalibrace 2 roky, u přístrojů pro provozní měření je tato lhůta 3 roky a u přístrojů pro orientační měření je lhůta kalibrace 5 let. V Tab. 3 jsou uvedeny přípustné chyby jednotlivých typů přístrojů. [20]

Tab. 3: Přípustné celkové chyby luxmetrů, jasoměrů a jasových analyzátorů [20]

Přesnost měření	Přípustná celková chyba v (%)	
	Luxmetry	Jasoměry a jasové analyzátory
Přesné	±5	±7,5
Provozní	±10	±10
Orientační	±15	±15

Při měření osvětlení vnitřního prostoru se osvětlovací soustava a prostředí uvede do běžného stavu, při kterém je prostor využíván a je potřeba zajistit aby měřený prostor nebyl osvětlován cizími zdroji světla a osoba provádějící měření neovlivňovala měření stíněním či odrazem světla. Čidlo luxmetru, které měří hodnotu osvětlenosti v kontrolních bodech, musí být ve správné poloze, kterou lze zajistit pomocí:

- stojanu, který zabezpečí správnou výšku čidla a jeho polohu,
- kardanového závěsu, který stabilizuje polohu,
- vodováhy k nastavení vodorovné či svislé polohy.

Výsledky měření se zapisují do tabulek tím způsobem, aby bylo u každé hodnoty možné najít podle výkresu místo měření. Rozložení světla na srovnávací rovině je možné graficky znázornit v jeho půdorysu pomocí izofot u denního světla a pomocí izolux u umělého osvětlení. Hodnoty zjištěné z měření se porovnají s požadovanými hodnotami pro daný druh prostoru a vyhodnotí se míra splnění požadavků. [20]

3.2 Denní osvětlení budov

Postup měření denního osvětlení budov je následující:

- kontrola funkce přístrojů a jejich příprava na měření,
- popis situace – rozmístění osvětlovacích otvorů, stínění,
- výběr kontrolních bodů v měřeném prostoru a zvolení místa pro měření venkovní srovnávací osvětlenosti,
- kontrola jasu oblohy
- současné měření venkovní i vnitřní osvětlenosti,
- vyhodnocení měření a provedení výpočtů,
- odhad standartní nejistoty měření,
- protokol z měření.

Úroveň denního osvětlení se zjišťuje při nejméně příznivém stavu oblohy, za který se považuje rovnoměrně zatažená obloha v zimních měsících, kdy je vyloučen přístup přímých slunečních paprsků a předpokládá se okolní tmavý terén s činitelem odrazu světla v rozmezí 0,05 až 0,2. V případě zasněženého venkovního terénu se při rovnoměrně zatažené obloze předpokládá činitel odrazu světla v rozmezí od 0,5 do 0,85. Pokud se budova nachází v lokalitě nad 600 m n. m, tak se dle normy provede měření jak pro tmavý, tak i pro zasněžený terén. [22]

Denní osvětlení budov se posuzuje podle těchto parametrů.

- činitel denní osvětlenosti,
- rovnoměrnost osvětlení,
- oslnění,
- rozložení světelného toku a převažující směr světla,
- další jevy, které mohou ovlivňovat zrakovou pohodu (např. barva světla).

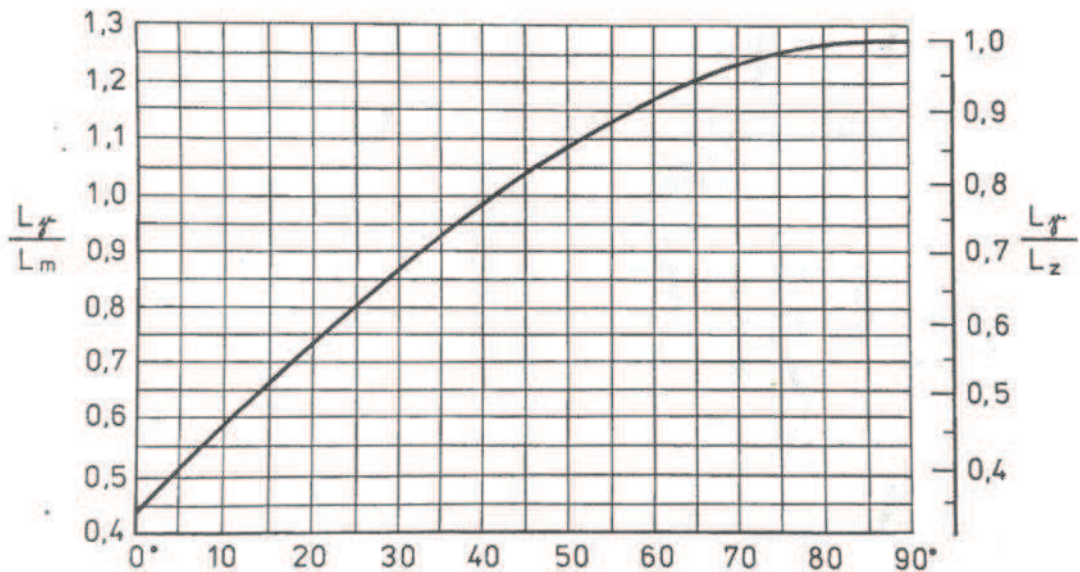
Mezi hlavní měřené veličiny při denním osvětlení patří:

- osvětlenost v měřících bodech ve vnitřním prostoru stavby E (lx),
- osvětlenost venkovní nezacloněné vodorovné roviny E_h (lx) nebo jas oblohy,
- vertikální osvětlenost na rovině vnějšího zasklení okna E_w (lx),
- jasy ploch, které ovlivňují zrakovou pohodu ve vnitřním prostoru v zorném poli pozorovatele a jasy osvětlovacích otvorů při průhledu na oblohu a okolní objekty.

Před měřením a po jeho skončení se zjišťuje rovnoměrné zatažení oblohy kontrolou rozložení jasu oblohy. Ten se měří v elevačních úhlech 15° , 45° a 90° nad horizontem ve svislých rovinách, které jsou rovnoběžné i kolmé s osami osvětlovacích otvorů. Pokud jsou osvětlovací otvory umístěny pouze na jedné straně, lze kontrolovat rozložení jasu jen na polovině oblohy, která ovlivňuje denní osvětlení budovy. Pro elevační úhel 15° je přípustné rozmezí poměru jasu oblohy k jasům oblohy v zenitu 0,3 až 0,6 (při zasněženém terénu 0,7) a pro elevační úhel 45° je rozmezí tohoto poměru 0,7 až 0,85 (při zasněženém terénu až 0,9). Pro měření osvětlenosti v měřících bodech a měření osvětlenosti venkovní vodorovné roviny se používají buď dva samostatně ověřené luxmetry, nebo jeden speciální luxmetr se dvěma měřícími hlavicemi, které umožňují současné měření na dostatečně vzdálených místech.

Venkovní osvětlenost se měří na střeše budovy nebo volném nezastíněném prostranství a zjišťuje se v intervalu nejvýše 30 s současně s vnitřní osvětleností. [21]

Na Obr. 3.1 je znázorněno rozložení jasu na rovnoměrně zatažené obloze při tmavém terénu od horizontu (0°) k zenitu (90°). Na levé svislé ose jsou hodnoty poměru L_γ a L_m , kde L_γ je jas oblohy ve výšce úhlu γ a L_m je průměrný jas oblohy. Na pravé svislé ose jsou hodnoty poměru L_γ a L_z , kde L_γ je opět jas oblohy ve výšce úhlu γ a L_z je jas oblohy v zenitu.



Obr. 3.1: Rozložení jasu na rovnoměrně zatažené obloze při tmavém terénu od horizontu k zenitu [22]

Při měření denního osvětlení se pro posuzování kvality měří činitel prostupu světla. Ten je možné změřit na oboustranně vyčištěném materiálu dvěma způsoby. Prvním způsobem je měření osvětlenosti pomocí čidla luxmetru přiloženého na vnitřní stranu osvětlovacího otvoru a bezprostředně po tom změření osvětlenosti ve stejné poloze, ale s otevřeným osvětlovacím otvorem. Činitel prostupu světla je pak dán podílem obou osvětleností. Druhým způsobem je měření jasu jasoměrem kolmo k povrchu materiálu a následné změření stejného pozadí s otevřeným osvětlovacím otvorem. Hodnota činitele prostupu světla je opět dána podílem těchto hodnot. V Tab. 4 jsou uvedeny hodnoty činitele prostupu světla pro vybrané materiály při kolmém dopadu světelného toku. [22]

Tab. 4: Hodnoty činitele prostupu světla u vybraných materiálů [22]

Materiál	Činitel prostupu světla τ [-]
Čiré tabulkové sklo 3 až 4 mm	0,92
Surové sklo	0,88
Vzorované sklo	0,85 až 0,90
Drátové sklo 6 až 7 mm	0,60 až 0,86
Akrylát - čirý	0,85 až 0,92
Akrylát - rozptýlený	0,60 až 0,80
Reflexní sklo	0,55 až 0,65
Netermální sklo	0,35 až 0,70
Skleněné tvárnice - jednovrstvé	0,85 až 0,89
Skleněné tvárnice - dvouvrstvé	0,55 až 0,62
Záclony	0,50 až 0,75

Mezi další měřené parametry pro posouzení kvality denního osvětlení patří činitel znečištění výplně osvětlovacích otvorů. Ten se měří zvláště pro vnitřní i vnější povrch. Průběh měření probíhá podobně jako u měření činitele prostupu světla a to buď pomocí luxmetru, jehož čidlo je umístěno na vnitřní straně osvětlovacího otvoru, nebo pomocí jasoměru ve směru kolmo k povrchu. Nejprve se měří při materiálu oboustranně znečištěném, poté při materiálu s vyčištěnou vnější stranou a nakonec na oboustranně vyčištěném materiálu. Z těchto hodnot je možné stanovit činitele znečištění vnějšího povrchu, který je roven podílu hodnot osvětleností při oboustranném znečištění a při vyčištění vnější strany osvětlovacího otvoru. Obdobně se pak určuje činitel znečištění vnitřní strany, který je podílem osvětleností při vyčištění vnější strany materiálu a při oboustranně vyčištěném materiálu. Celková hodnota činitele znečištění je rovna podílu osvětleností naměřených při oboustranně znečištěném materiálu a při oboustranně vyčištěném materiálu. Všechny hodnoty by měly být naměřeny s co nejkratším časovým rozestupem, aby se odstranil vliv proměnlivosti denního světla. [21]

V nově navrhovaných budovách musí být denní osvětlení vždy vyhovující v obytných místnostech, ložnicích a pokojích pro dlouhodobé ubytování, místnostech v zařízeních pro předškolní výchovu, učebnách škol (kromě speciálních učeben a poslucháren), vyšetřovných a lůžkových místnostech zdravotnických zařízení, místnostech pro oddech a jídelny. Denní osvětlení vnitřních prostorů budov se navrhuje podle zrakových činností prováděných v prostoru. Pokud v těchto prostorech dochází k více zrakovým činnostem, musí denní osvětlení vyhovovat těm, které mají největší požadavky na osvětlení. Pokud jsou dané

zrakové činnosti omezeny jen na část vnitřního prostoru, lze denní osvětlení vhodně odstupňovat a to tak, že se v projektové dokumentaci ohraničí dané části vnitřního prostoru a v těchto částech prostoru se uvede účel, požadované zrakové činnosti a s tím i požadované hodnoty činitele denní osvětlenosti. Činitel denní osvětlenosti se dle vztahu (2.1) spočte jako poměr osvětleností venkovního a vnitřního prostoru v kontrolních bodech ve srovnávací rovině. Minimální hodnoty činitele denní osvětlenosti musí vyhovovat dle Tab. 5 dle zrakové činnosti ve všech kontrolních bodech interiéru, nebo jeho funkčně vymezené části.

Tab. 5: Hodnoty činitele denní osvětlenosti pro různé třídy zrakových činností [22]

Třída zrakové činnosti	Charakteristika zrakové činnosti	Poměrná pozorovací vzdálenost	Příklady zrakových činností	Činitele denní osvětlenosti	
				D_{\min} (%)	D_{\max} (%)
I	Mimořádně přesná	3330 a větší	Nejpřesnější zraková činnost s požadavkem na vyloučení chyb v rozlišení	3,5	10
II	Velmi přesná	1670 až 3330	Velmi přesná výroba a kontrola, velmi přesné rýsování, velmi jemné umělecké práce	2,5	7
III	Přesná	1000 až 1670	Výroba a kontrola, obtížné laboratorní práce, náročné vyšetření, vyšívání	2	6
IV	Středně přesná	500 až 1000	Čtení, psaní, obsluha strojů, vyšetření, příprava jídel	1,5	5
V	Hrubší	100 až 500	Manipulace s předměty, konzumace jídla, oddechové činnosti	1	3
VI	Velmi hrubá	menší než 100	Sprchování, převlékání, chůze po komunikacích	0,5	2
VII	Celková orientace	-	Chůze, doprava materiálu, skladování	0,25	1

Průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti musí vyhovovat pouze u vnitřních prostorů, u kterých je horní denní osvětlení nebo kombinované denní osvětlení. Průměrná hodnota činitele denní osvětlenosti se určí jako aritmetický průměr hodnot ve všech kontrolních bodech, nebo jen ve funkčně vymezené části prostoru. Rovnoměrnost denního osvětlení u bočního osvětlovacího systému se určuje jako podíl nejmenší a největší hodnoty činitele denní osvětlenosti zjištěných z kontrolních bodů v měřeném prostoru a neměla by u zrakových činností I až IV menší než 0,2 a u třídy V menší než 0,15. Pro většinu pracovních činností je doporučeno, aby byl převažující směr osvětlení zleva (případně zleva zepředu) a doplněn

dostatečným přímým nebo odraženým světlem z ostatních směrů. Osvětlovací otvory by měly být navrženy, aby byly co nejúčinnější, tedy aby splňovaly požadavky na úroveň a kvalitu denního osvětlení s co nejmenší plochou otvorů, dále by neměli měnit spektrální složení spektra, pokud to není vyžadováno. U bočního osvětlení by měla být horní hrana osvětlovacího otvoru umístěna co nejvýše. Regulační prostředky denního osvětlení, sloužící zejména k zabránění oslnění, by měli být navrhovány tak, aby ho při nedostatku světla co nejméně omezovali. Činitel odrazu regulačních zařízení by měl být přibližně stejně velký jako činitel odrazu okolních stěn. [22]

Při měření hodnot se do měření vnáší chyby měření, které mohou mít několik příčin jako např. špatné odečítání hodnot z přístrojů, jejich rozsah, nepřesná kalibrace a další faktory. Z toho důvodu se u měření odhadují standardní nejistoty měření, které udávají, jak se měřená hodnota odchyluje od pravé hodnoty. U měření osvětlení se tyto nejistoty udávají v procentech.

Nejistota u_A udává směrodatnou odchylku střední hodnoty ze souboru dat. Tato nejistota, pro výběrové soubory dat větší než 20, je dána vztahem (3.1), ve kterém je x_i naměřená hodnota, \bar{x} je průměrná hodnota ze souboru dat a n je počet opakovaných měření.

$$u_A = \frac{100}{\bar{x}} \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3.1)$$

Nejistota u_B pro nezávislé parametry je dle vztahu (3.2) dána odmocninou ze součtu druhých mocnin jednotlivých parametrů, které ovlivňují přesnost měření.

$$u_B = \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + u_{B3}^2 + \dots + u_{Bn}^2} \quad (3.2)$$

Odhad dílčí nejistoty měření typu B k určité chybě se zjistí podle vztahu (3.3), ve kterém je Z_{MAX} maximální velikostí chyby v daném intervalu a χ je bezrozměrný koeficient, který je daný pravděpodobností statistického rozdělení této chyby (pro Normální – Gaussovo rozdělení je jeho hodnota 3).

$$u = \frac{Z_{MAX}}{\chi} \quad (3.3)$$

Z těchto nejistot lze dále vypočítat kombinovanou nejistotu u_c dle vztahu:

$$u_c = \sqrt{u_a^2 + u_b^2} \quad (3.4)$$

Při měření místností v nadcházející kapitole 4 nebyly nejistoty odhadovány, protože se jednalo pouze o orientační měření, nikoliv o přesné. Proto mohou být výsledné hodnoty částečně zkreslené.

3.3 Umělé osvětlení budov

Postup měření umělého osvětlení budov probíhá velmi podobně jako u měření denního osvětlení, pouze s tím rozdílem, že není potřeba odečítat hodnoty venkovní osvětlenosti a měřit jas oblohy. Nejprve se zkontroluje funkce přístrojů a připraví se na měření, dále se popíše situace (umístění svítidel, stínění, atd.), a zvolí se síť kontrolních bodů, která může být stejná jako pro měření denního osvětlení. Následně se v kontrolních bodech odečtou z luxmetru hodnoty osvětleností.

Před samotným měřením intenzity umělého osvětlení je nutné zabránit přístupu denního světla do měřené místnosti či prostoru. To lze provést regulačními prostředky denního osvětlení jako např. žaluzie, rolety, závěsy, uzavřením oken, nebo se měření provádí v době bez denního světla. U zdrojů umělého osvětlení musí být dodržena minimální doba předběžného stárnutí, to znamená, že žárovky musí svítit celkem alespoň 10 hodin a výbojové zdroje (včetně jiných zdrojů s luminofory) alespoň 100 hodin. Dále je potřeba před samotným měřením zapnutí světelných zdrojů s předstihem, aby se mohl světelný tok stabilizovat. U výbojových zdrojů se potřebný čas pro stabilizaci světelného toku považuje doba 20 minut. U otevřených svítidel je měří i jas světelného zdroje. Pro přesné a provozní měření umělého osvětlení se měří další faktory, které mohou ovlivňovat osvětlení, mezi ně patří zejména teplota vzduchu a napájecí napětí světelného obvodu.

Kromě měření intenzity umělého osvětlení lze ve vnitřních prostorech určených pro náročnější zrakové činnosti měřit ještě další parametry, které charakterizují podmínky osvětlení a zrakové pohody:

- střední kulová osvětlenost $E_{4\pi}$ (lx),
- střední polokulová osvětlenost E_{hz} (lx),
- střední válcová osvětlenost E_z (lx),

- střední poloválcová osvětlenost E_{sz} (lx),
- světelný vektor ϵ ,
- teplotu chromatičnosti CCT (K), index podání barev R_a (-),
- napájecí napětí světelného obvodu U (V).

Pro měření střední kulové osvětlenosti se používá luxmetr s kulovým nástavcem, pro střední polokulovou osvětlenost luxmetr s polokulovým nástavcem, pro měření střední válcové osvětlenosti luxmetr s válcovým nástavcem a pro měření střední poloválcové se používá luxmetr s poloválcovým nástavcem. Světelný vektor se měří speciálním měřicím přístrojem, nebo orientačně luxmetrem s fotonkou umístěnou na bocích elementární krychle s následným výpočtem veličiny. Při všech těchto měřeních by měření nemělo být ze žádné strany zastíněno (například měřící osobou). Tyto nástavce nahrazují předměty, které se mohou vyskytovat v místě pozorování. Souhrnně se tyto veličiny nazývají integrální charakteristiky světelného pole a určují střední hodnotu osvětlenosti těchto povrchů. [23]

Při vyhodnocování měření se výsledky měření korigují podle napětí, tato korekce se při malých odchylkách provádět nemusí. Tato chyba, která vznikne rozdílem napětí, se zahrnuje do odhadu nejistoty. Korekci na odchylku skutečného napětí napájecí sítě svítidel od běžného napětí v síti lze provést podle údajů výrobce zdrojů, nebo podle vztahu (3.5), kdy se naměřené hodnoty napětí vynásobí korekčním faktorem k_u . Tento korekční faktor závisí na poměru běžného provozního napětí U_n a skutečného napětí při měření U_m . Exponent c je závislý na druhu světelného zdroje dle Tab. 6. [23]

$$k_u = \left[\frac{U_n}{U_m} \right]^c \quad (3.5)$$

Tab. 6 – Hodnoty exponentu pro různé světelné zdroje [23]

Druh světelného zdroje	Exponent c
Žárovky pro všeobecné použití	3,6
Zářivky - induktivní zapojení	1,4
Zářivky - kapacitní zapojení	0,6
Zářivky - s elektronickým předřadníkem	0,0
Zdroje se stabilizovaným světelným tokem (LED)	0,0
Rtuťové vysokotlaké výbojky	2,5
Sodíkové nízkotlaké výbojky	0,0
Sodíkové vysokotlaké výbojky	1,7
Halogenidové výbojky	3,0

4 Posouzení kvality osvětlení vybraných místností

4.1 Představení posuzovaných místností

Všechny tři zvolené místnosti, ve kterých má být v rámci této diplomové práce zhodnoceno denní osvětlení se nacházejí ve třetím patře budovy Fakulty elektrotechnické na Západočeské univerzitě v Plzni.

První posuzovaná místnost EK 319 (dále označována jako místnost A) se nachází v prostorách Katedry elektroenergetiky a ekologie (KEE) a slouží jako místnost k poradám, konzultacím, konání zkoušek a případně i k vyučování. Vlivem postavení budovy kanceláří a Regionálního inovačního centra elektrotechniky (RICE) mezi lety 2014 až 2015 dochází k částečnému zastínění budovy a tedy k menšímu prostupu přímé složky denního světla osvětlovacími otvory, viz Obr. 4.1. V Příloze č. 1 je na letecké mapě znázorněna situace před a po postavení budovy RICE. Jedním z hlavních cílů méj diplomové práce je posouzení výstavby této budovy na denní osvětlení uvnitř místnosti EK 319.



Obr. 4.1: Zobrazení měřené místnosti EK 319 a postaveného centra RICE [24]

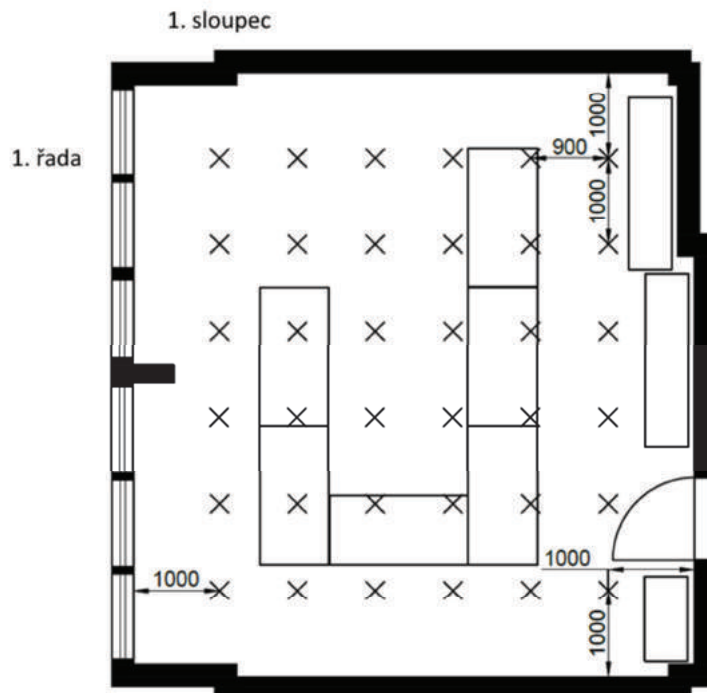
Druhá místnost EK 318 (dále označovaná jako místnost B) je využívána jako administrativní a je zde sekretariát KEE. Většina zřakově náročnějších činností v této místnosti probíhá u pracovního stolu, a proto zde bylo měřeno jeho osvětlení a osvětlení blízkého okolí.

Třetí měřenou místností (místnost C), je chodba, která spojuje katedru KEE a nově postavenou budovu Regionálního inovačního centra elektrotechniky (RICE) a schodiště vedoucí na vyšší patro.

4.2 Měření denního a umělého osvětlení v místnosti EK 319 (místnost A)

V místnosti EK 319 byla hodnocena jak denní osvětlovací soustava, tak i soustava umělého osvětlení. Uprostřed této místnosti je umístěno 6 lavic a v úvahu byly vzaty i tři velké skříně, které mohou svými odrazovými vlastnostmi působit na rozložení osvětlenosti v místnosti. Dále je v blízkosti oken umístěna klimatizace. Měření proběhlo dne 18. ledna 2018 při rovnoměrně zatažené venkovní obloze. Měření probíhalo při vnitřní teplotě 20,8 °C, napětí sítě 226,4 V a vlhkosti vzduchu 26,5 %. Při vyhodnocování měření umělého osvětlení se výsledky nekorigují dle napětí na svítidlech, protože korekční činitel k_U je roven jedné pro zářivky s elektronickým předřadníkem se stabilizací.

Nejprve bylo třeba navrhnout rozložení kontrolních bodů rozmístěných v pravoúhlé síti po celé srovnávací rovině v celém prostoru místnosti, viz Obr. 4.2. V kontrolních bodech byly umístěny matice. Výška referenční srovnávací roviny byla zvolena dle normy 0,85 m nad podlahou.



Obr. 4.2: Rozmístění kontrolních bodů v místnosti A

Krajní řady kontrolních bodů umístěných na vodorovné srovnávací rovině byly umístěny 1 m od vnitřních povrchů stěn. Jejich rozpětí by mělo být v obou osách stejné, nebo podobné, proto bylo zvoleno rozpětí 1 m a 0,9 m, aby byla navržená síť co nejrovnoměrnější s ohledem na konstrukční parametry. Tato síť byla stejná pro měření denního i umělého osvětlení místnosti. Na Obr. 4.3 je vidět rozmístění vybavení interiéru měřené místnosti.



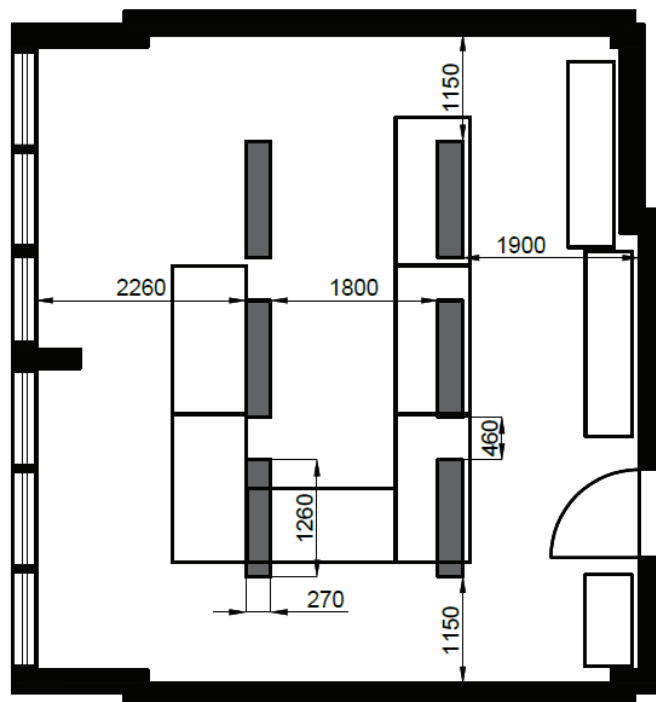
Obr. 4.3 : Panoramatický pohled na místnost EK319

4.2.1 Měření umělé osvětlenosti

V této místnosti je umístěno 6 svítidel typu MODUS LLX236AL. Každé svítidlo je osazeno dvojicí lineárních zářivek OSRAM L 36W/840 G13 a elektronickým předřadníkem. Technické parametry tohoto svítidla jsou uvedeny v Příloze č. 12. Zářivkové trubice mají průměr 26 mm (typ T8), příkon 36 W, světelný tok 3350 lm, index podání barev 80, teplotu chromatičnosti 4 000 K a výrobcem udávanou životnost 20 000 hodin. Měrný výkon jednoho světelného zdroje η_{SZ} je 93 lm/W dle vztahu (4.1) a měrný výkon jednoho svítidla η_{SV} je 56 lm/W, dle vztahu (4.2). Při měrném výkonu svítidla je uvažován příkon předřadných zařízení P_p jako nulový, protože není výrobcem udáván, a účinnost svítidla je uvažována jako 0,6. Tato hodnota byla převzata z katalogu svítidel v programu BuildingDesign. Celkový příkon osvětlovací soustavy je pak 432 W. Rozměry a rozmístění svítidel jsou znázorněny na Obr. 4.4.

$$\eta_{SZ} = \frac{\Phi_{SZ}}{P_{SZ}} = \frac{3350}{36} \doteq 93 \text{ lm/W} \quad (4.1)$$

$$\eta_{SV} = \frac{(\Phi_{SZ1} + \Phi_{SZ2}) \cdot \eta}{P + P_p} = \frac{(3350 + 3350) \cdot 0,6}{2 \cdot 36} \doteq 56 \text{ lm/W} \quad (4.2)$$



Obr. 4.4: Rozměry a umístění svítidel v místnosti A

Před samotným měřením umělé osvětlenosti bylo třeba místnost na měření připravit. Světelné zdroje, bylo nutné nechat před měřením svítit po takovou dobu, aby se ustálil jejich světelný tok. Norma v tomto případě předepisuje u výbojových zdrojů alespoň 20 minut. Pomocí regulačních prostředků – rolet a žaluzií, bylo zamezeno přístupu denního světla do místnosti. Následně byly v kontrolních bodech odečteny hodnoty osvětlenosti. Ty jsou znázorněny v Tab. 7. Označení řádků a sloupců odpovídá popisku v Obr. 4.2.

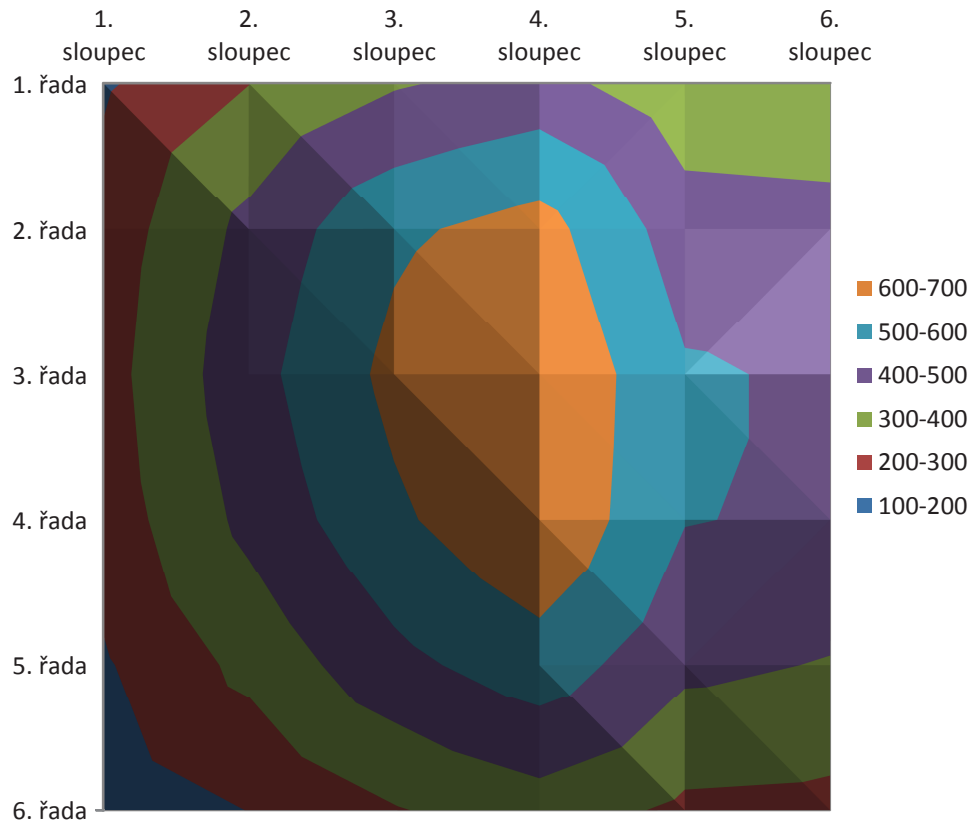
Tab. 7: Hodnoty umělé osvětlenosti v kontrolních bodech v místnosti A

Hodnoty umělé osvětlenosti v (lx)						
	1. sloupec	2. sloupec	3. sloupec	4. sloupec	5. sloupec	6. sloupec
1. řada	187	298	390	437	328	318
2. řada	242	428	582	639	450	440
3. řada	261	464	627	725	511	486
4. řada	243	427	582	689	504	486
5. řada	189	328	471	558	423	394
6. řada	135	202	293	356	280	271

Nejvyšší hodnota umělé osvětlenosti 725 lx byla v bodě [3,4], tedy přibližně uprostřed místnosti. Nejmenší hodnota 135 lx byla v bodě [6,1], který je umístěn v rohu a nejdále od svítidel. Rozložení světla v této místnosti je graficky znázorněno na Obr. 4.5 pomocí izolux. Z Tab. 1 vyplývá, že pro činnosti psaní a čtení, které jsou hlavními činnostmi prováděnými

v této místnosti, je požadována průměrná (udržovaná) osvětlenost alespoň 300 lx. Ta byla v dané srovnávací rovině 406,78 lx. Z ní lze dále určit rovnoměrnost osvětlení osvětlovací soustavy, která by měla dosahovat v místě provádění úkolu hodnoty 0,7, v celém prostoru pak 0,3. U této osvětlovací soustavy je rovnoměrnost 0,33 a je tedy vyhovující.

$$r = \frac{E_{min}}{E_{stř}} = \frac{135}{406,78} = 0,33 \quad (4.3)$$



Obr. 4.5: Plošný graf průběhu izolux v místnosti A (hodnoty jsou udávány v luxech)

Dalším měřeným parametrem umělého osvětlení místnosti bylo měření střední poloválčové osvětlenosti E_{sz} a střední polokulové osvětlenosti E_{hs} . Střední polokulová osvětlenost udává střední hodnotu osvětlenosti povrchu půlkoule, střední poloválčová osvětlenost udává hodnotu osvětlenosti povrchu pláště půlválce. K jejich změření byl použit luxmetr se speciálním poloválčovým a polokulovým nástavcem. Výsledné hodnoty jsou shrnuty v Tab. 8.

Tab. 8: Hodnoty střední poloválčové a střední polokulové osvětlenosti

						Průměr
E_{sz} (lx)	230	280	220	183	116	228,3
E_{hs} (lx)	187	98	121	92	116	122,8

4.2.2 Měření denní osvětlenosti

Pro měření denní osvětlenosti je požadováno, aby měření probíhalo v co nejméně příznivém stavu oblohy, za který se považuje rovnoměrně zatažená obloha v zimě. Pro měření byly minimalizovány vlivy regulačních prostředků denního osvětlení vytažením rolet a žaluzií. Při měření bylo použito dvou luxmetrů, které měřily osvětlenost v kontrolních bodech ve vodorovné srovnávací rovině v místnosti a zároveň venkovní osvětlenost na nezacloněné ploše mimo budovu. Dále byl použit jasoměr pro zjištění hodnot jasu oblohy na začátku měření a dále v několika bodech v místnosti.

Tab. 9: Hodnoty jasu oblohy před samotným měřením

						Průměr
Jas (cd/m ²)	2 814	3 045	3 833	3 204	3 296	3 238,4

Tab. 10: Hodnoty jasu povrchů v místnosti

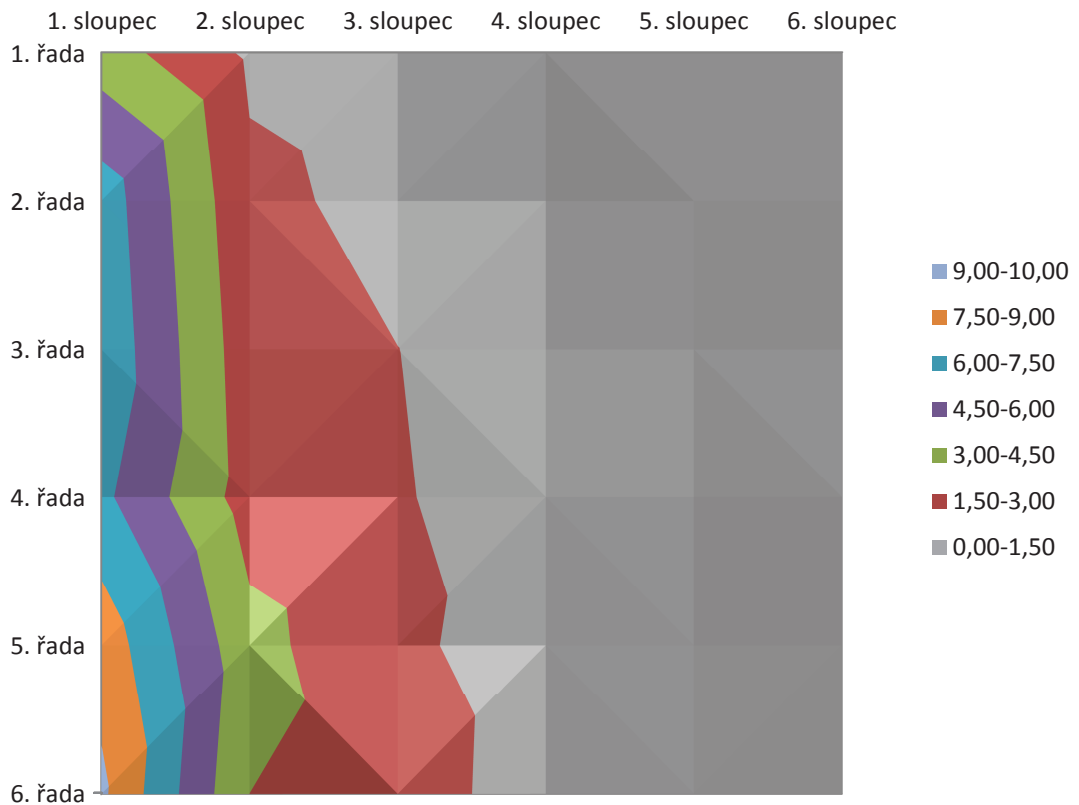
						Průměr
Jas tabule (cd/m ²)	38,08	40,49	42,22	40,26		40,26
Jas zdi (cd/m ²)	59,51	53,17	46,36	53,01		53,01
Jas lavice (cd/m ²)	139,2	122,2	92,16	117,85		117,85

Naměřené hodnoty obou osvětleností jsou uvedeny v tabulkách v Příloze 2. V Tab. 11 a na Obr. 4.6 jsou uvedeny výsledné hodnoty činitele denního osvětlení v kontrolních bodech, které jsou vypočteny podle vzorce (4.4): Pro příklad výpočtu je uveden výpočet činitele denní osvětlenosti pro bod [1,1]:

$$D = \frac{E}{E_h} \cdot 100 = \frac{110}{2950} \cdot 100 \doteq 3,73 \% \quad (4.4)$$

Tab. 11: Hodnoty činitele denního osvětlení v kontrolních bodech v místnosti A

Činitel denního osvětlení v (%)						
	1. sloupec	2. sloupec	3. sloupec	4. sloupec	5. sloupec	6. sloupec
1. řada	3,73	1,25	0,90	0,78	0,61	0,47
2. řada	6,84	1,82	1,10	0,69	0,64	0,54
3. řada	7,13	2,13	1,51	0,82	0,59	0,44
4. řada	6,35	2,32	1,57	1,00	0,65	0,58
5. řada	8,43	3,48	1,75	0,86	0,57	0,47
6. řada	9,30	3,00	2,20	0,81	0,54	0,41



Obr. 4.6: Plošný graf průběhu izofot v místnosti A (hodnoty jsou udávány v %)

Nejvyšší hodnota činitele denního osvětlení je 9,3 % v bodě [6,1], který je umístěn v řadě u okna a nejdále od budovy kanceláří RICE, která způsobuje částečné zastínění místnosti. Nejnižší hodnota je v bodě [6,6] umístěném v řadě nejdále od oken v rohu a to 0,41%. Rovnoměrnost denního osvětlení se určuje jako podíl minimální a maximální hodnoty činitele denní osvětlenosti.

$$r = \frac{D_{min}}{D_{max}} = \frac{0,41}{9,3} = 0,04 \quad (4.5)$$

V této místnosti dochází ke zrakovým činnostem třídy IV (čtení, psaní) a je zde požadován činitel denní osvětlenosti D_{min} alespoň 1,5%, dle normy ČSN 73 0580-1. Jak lze vidět z Obr. 4.6 tak více než v polovině místnosti tato podmínka daná normou splněna není – šedá barva. Dále tato norma udává, že rovnoměrnost denního osvětlení pro danou zrakovou třídu by neměla být menší než 0,2, v tomto případě je rovnoměrnost osvětlení 0,04. Denní osvětlení tedy není vyhovující a mělo by být pro dané zrakové činnosti použito sdruženého osvětlení.

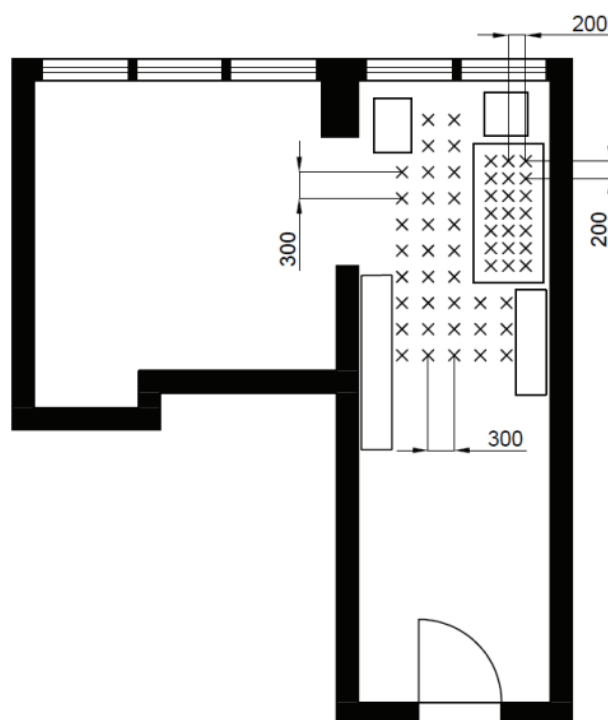
Dále byly změřeny osvětlenosti z vnější a vnitřní stany osvětlovacího otvoru pro určení činitele prostupu světla τ . Velikost činitele prostupu světla je dána poměrem osvětleností za osvětlovacím otvorem a před ním. Pro přesnější hodnotu bylo provedeno 5 měření a výsledný činitel prostupu světla s hodnotou 0,69 byl vypočten z průměrných hodnot osvětleností.

Tab. 12: Hodnoty osvětleností před a za osvětlovacím otvorem místnosti A

	1. měření	2. měření	3. měření	4. měření	5. měření	Průměr	τ
Vnitřní strana	1 480 lx	1 650 lx	1 806 lx	1 760 lx	1 670 lx	1 673,2 lx	0,69
Vnější strana	2 400 lx	2 290 lx	2 440 lx	2 420 lx	2 540 lx	2 418,0 lx	

4.3 Měření denního osvětlení pracovního prostoru v místnosti EK 318 (místnost B)

Měření v místnosti EK 318 proběhlo 15. března 2018 za rovnoměrně zatažené oblohy. V této místnosti byly navrženy dvě sítě kontrolních bodů ve stejné výšce srovnávací roviny, která byla zvolena shodně s výškou stolu 74 cm. První síť kontrolních bodů byla zvolena v okolí pracovního stolu s rozpětím bodů 30 cm. Druhá síť, umístěná na povrchu pracovního stolu, byla zvolena s jemnějším krokem 20 cm, kvůli vhodnému zobrazení v grafu. Rozložení kontrolních bodů v této místnosti je zobrazeno na Obr. 4.7. Na dalším Obr. 4.8 je reálný pohled na měřený prostor. Z tohoto pohledu lze vidět, že tiskárna vlevo od pracovního stolu je umístěna výše a způsobuje tak mírné stínění, které ale nemá příliš výrazný vliv na osvětlení pracovní plochy.



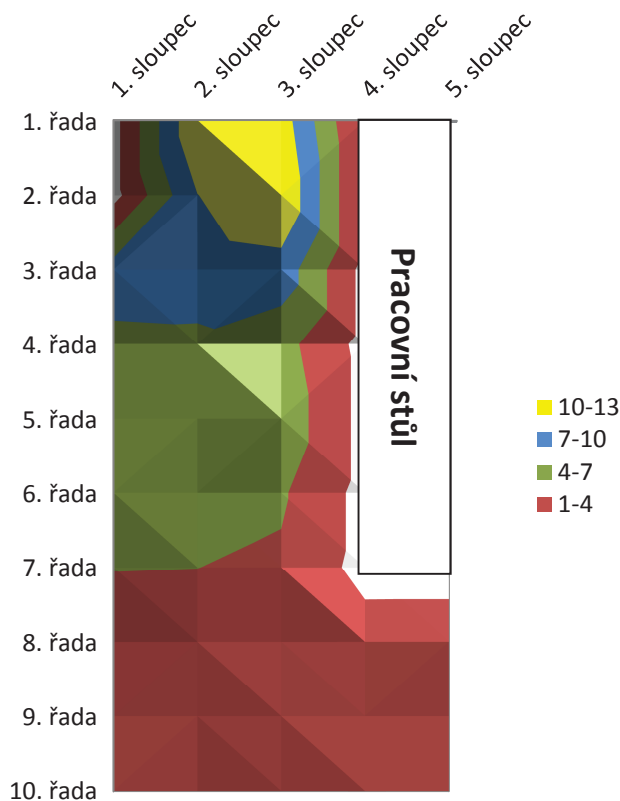
Obr. 4.7: Rozložení kontrolních bodů v místnosti B



Obr. 4.8: Fotografie měřeného prostoru místnosti B

Tab. 13: Hodnoty činitele denního osvětlení v kontrolních bodech v místnosti B

Hodnoty činitele denního osvětlení v okolí pracovního stolu v (%)					
	1. sloupec	2. sloupec	3. sloupec	4. sloupec	5. sloupec
1. řada	Skříňka	12,83	11,53	Tiskárna	
2. řada		9,94	12,93		
3. řada	8,28	8,18	8,82	Pracovní stůl	
4. řada	6,41	6,54	5,09		
5. řada	5,79	5,85	5,94		
6. řada	5,27	4,80	4,37		
7. řada	4,06	4,02	3,60		
8. řada	2,86	3,01	2,58	2,31	2,34
9. řada	2,26	2,18	2,15	1,97	1,80
10. řada	1,85	1,49	1,69	1,95	1,78

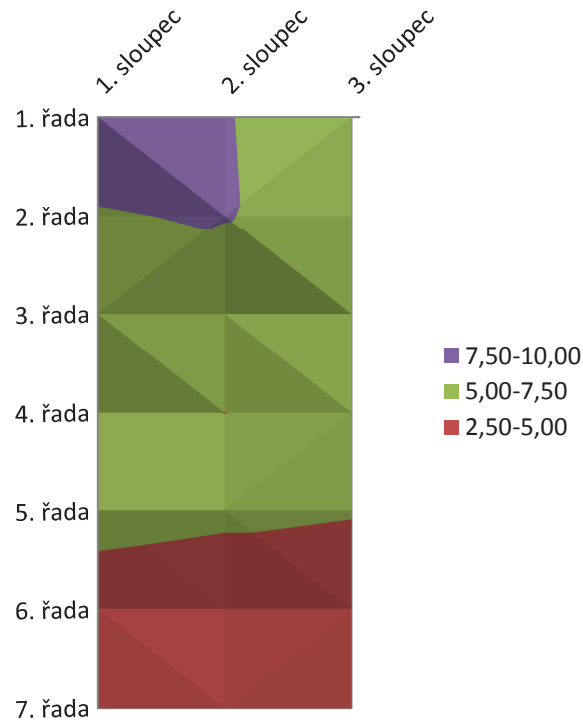


Obr. 4.9: Průběh izofot v místnosti B (hodnoty jsou udávány v %)

Nejnižší hodnota osvětlenosti v měřeném prostoru v okolí pracovního stolu 1,49 % je naměřena v bodě [10,2], tedy nejdále od osvětlovacích otvorů. Nejvyšší hodnota 12,93 % je v bodě [2,4]. Rovnoměrnost denního osvětlení v okolí pracovního stolu získaná z poměru nejvyšší a nejnižší hodnoty činitele denního osvětlení odpovídá hodnotě 0,12.

Tab. 14: Hodnoty činitele denního osvětlení v kontrolních bodech na pracovním stole

Pracovní stůl			
	1. sloupec	2. sloupec	3. sloupec
1. řada	8,46	7,59	6,51
2. řada	7,39	7,64	6,10
3. řada	6,65	5,62	5,19
4. řada	5,20	5,00	5,20
5. řada	5,58	5,31	5,11
6. řada	4,17	3,93	3,92
7. řada	4,04	4,01	3,58



Obr. 4.10: Průběh izofot na pracovním stole v místnosti B (hodnoty jsou udávány v %)

Nejvyšší hodnota činitele denní osvětlenosti desky pracovního stolu je 8,46 % a je v bodě [1,1]. Nejnižší hodnota 3,58 % je na opačné straně stolu v bodě [7,3]. Rovnoměrnost denního osvětlení na pracovním stole odpovídá hodnotě 0,42. Podle ČSN 73 0580-1 je pro zrakové činnosti IV (čtení, psaní) požadována rovnoměrnost denního osvětlení alespoň 0,2 a minimální hodnota činitele denní osvětlenosti 1,5 %, což je v tomto případě splněno. Z Tab. 14 a Obr. 4.10 lze pozorovat mírný pokles hodnot v pravé části stolu vlivem stínění tiskárny.

Kromě měření osvětleností ve vybraných bodech byl také měřen jas oblohy na začátku a na konci měření ke kontrole rozložení jasu oblohy. Každá hodnota byla měřena třikrát a výpočet rozložení jasu oblohy byl vypočítán z průměrné hodnoty těchto jasů podle vztahu (4.6), kde L_γ je jas v elevační úhlu γ (15° , 45°) a L_z je jas oblohy v zenitu. Jako příklad výpočtu je uveden výpočet pro elevační úhel 15° v poměru k zenitu na začátku měření. Dle ČSN 36 0011-2 by měl být poměr jasu oblohy pro 15° v poměru k jasu oblohy pro 90° v rozmezí 0,3 až 0,6, v čase měření byl tento poměr 0,49 na začátku měření a 0,39 na konci měření. Dále pro elevační úhel 45° by měl být poměr k jasu oblohy v zenitu v rozmezí hodnot 0,7 až 0,85. Při měření byl tento poměr 0,72 na začátku měření a na konci 0,71.

$$\frac{L_Y}{L_Z} = \frac{962,67}{1946,67} \doteq 0,49 \quad (4.6)$$

Tab. 15 – Hodnoty jasu oblohy na začátku a na konci měření místnosti B

Jas oblohy na začátku měření v (cd/m ²)			Průměr	Poměr k zenitu	
15°	1 043	872	973	962,67	0,49
45°	1 390	1 378	1 414	1 394,00	0,72
90°	2 068	1 840	1 932	1 946,67	
Jas oblohy na konci měření v (cd/m ²)			Průměr	Poměr k zenitu	
15°	823	842	867	844,00	0,39
45°	1 612	1 407	1 557	1 525,33	0,71
90°	2 092	2 218	2 129	2 146,33	

Dalším měřeným parametrem byl činitel prostupu světla τ (ČPS) a činitel znečištění výplně osvětlovacích otvorů. Činitel prostupu světla je dán poměrem osvětleností vnitřní a vnější strany osvětlovacího otvoru, ve vztahu (4.7) je uveden výpočet pro činitele prostupu světla před vyčištěním osvětlovacího otvoru. Z Tab. 16 vyplývá, že po vyčištění skla se činitel prostupu nezměnil, osvětlovací otvor tedy nebyl znečištěn tak, aby bránil prostupu světla do vnitřních prostor.

$$\tau = \frac{E_{VNITŘNÍ}}{E_{VNĚJŠÍ}} = \frac{979}{1458} \doteq 0,67 \quad (4.7)$$

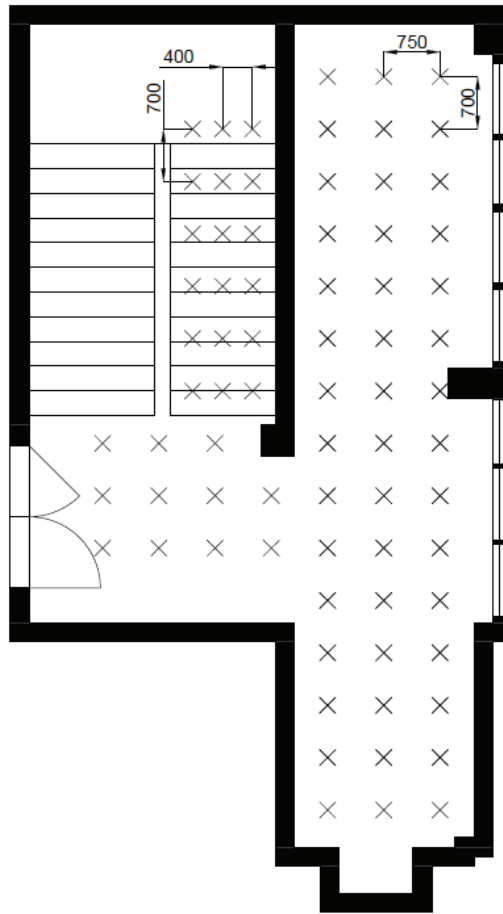
Tab. 16 – Hodnoty osvětleností před a za osvětlovacím otvorem v místnosti B

Činitel prostupu světla (ČPS)	1. měření	2. měření	3. měření	Průměr	τ
Vnitřní strana	902 lx	1 028 lx	1 006 lx	979 lx	0,67
Vnější strana	1 515 lx	1 377 lx	1 481 lx	1 458 lx	
ČPS s vyčištěnou vnější stranou skla	1. měření	2. měření	3. měření	Průměr	τ
Vnitřní strana	1 104 lx	1 107 lx	1 069 lx	1 093 lx	0,67
Vnější strana	1 585 lx	1 620 lx	1 675 lx	1 627 lx	
ČPS s oboustranně vyčištěným sklem	1. měření	2. měření	3. měření	Průměr	τ
Vnitřní strana	1 216 lx	1 191 lx	1 327 lx	1 245 lx	0,67
Vnější strana	1 740 lx	1 802 lx	2 018 lx	1 853 lx	

4.4 Měření denního osvětlení chodby a schodiště (místnost C)

Měření prostoru chodby a schodiště proběhlo 15. března 2018. Obě tyto části byly měřeny zvláště z důvodu změn parametrů sítě kontrolních bodů. Na chodbě byla navržena síť kontrolních bodů s rozestupy v x-ose 75 cm a v y-ose 70 cm. Na schodišti byl zvolen menší rozestup kontrolních bodů a to 40 cm v x-ose a 70 cm v y-ose. Srovnávací rovina byla zvolena ve výšce 20 cm nad podlahou v obou případech. Detailní rozložení kontrolních bodů

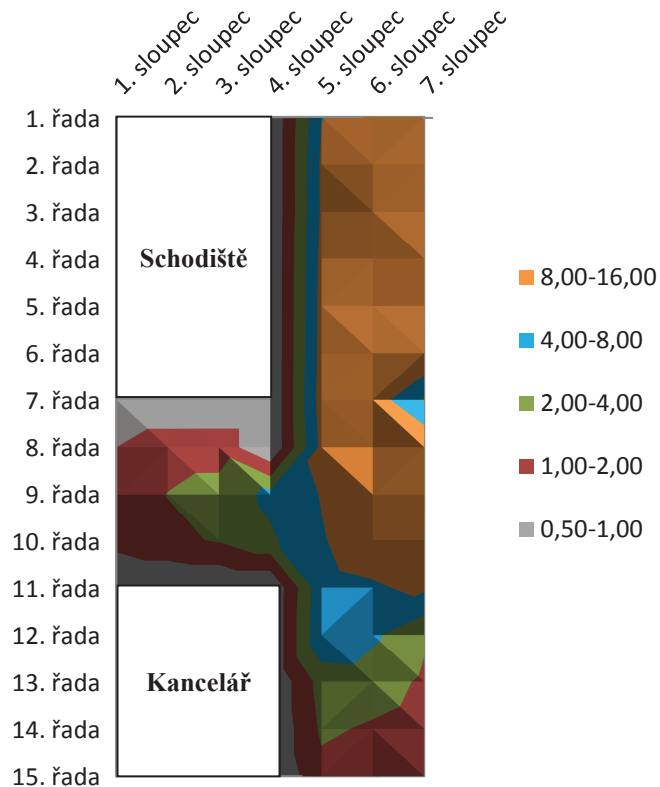
je zobrazeno na Obr. 4.11. Výsledné hodnoty činitelů denní osvětlenosti v jednotlivých bodech srovnávací roviny jsou uvedeny v Tab. 17 a na Obr. 4.12.



Obr. 4.11: Rozložení kontrolních bodů v místnosti C

Tab. 17: Hodnoty činitele denního osvětlení v kontrolních bodech na chodbě v místnosti C

Hodnoty činitele denního osvětlení v (%)							
	1. sloupec	2. sloupec	3. sloupec	4. sloupec	5. sloupec	6. sloupec	7. sloupec
1. řada	SCHODIŠTĚ ↓		↑ SCHODIŠTĚ		6,53	8,44	11,08
2. řada					7,42	9,93	12,12
3. řada					7,30	10,36	11,62
4. řada					7,99	9,74	11,75
5. řada					8,41	9,72	11,39
6. řada					8,57	10,62	13,13
7. řada					9,04	9,73	3,22
8. řada	0,95	1,44	1,45	SLOUP	8,00	8,69	12,55
9. řada	1,31	1,85	2,22	4,16	6,84	10,08	12,71
10. řada	1,19	1,57	1,94	3,09	6,39	9,29	11,23
11. řada	KANCELÁŘ				5,54	6,21	7,53
12. řada					6,19	3,93	2,00
13. řada					2,35	2,48	1,66
14. řada					2,02	1,68	1,39
15. řada					1,51	1,19	1,09



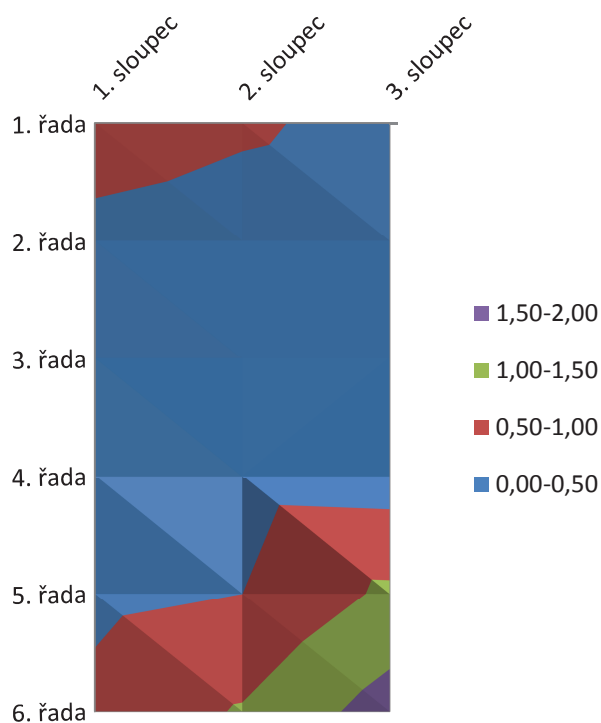
Obr. 4.12: Průběh izofot v místnosti C (hodnoty jsou udávány v %)

Nejnižší hodnota činitele denní osvětlenosti na chodbě byla v bodě [8,1] a to 0,95 %, nejvyšší hodnota 13,13 % byla v bodě [6,7]. Rovnoměrnost denního osvětlení z poměru těchto hodnot činitelů denního osvětlení odpovídá hodnotě 0,07. Dle ČSN 73 0580-1 je pro zrakové činnosti prováděné na chodbách a na schodišti třídy VII pro celkovou orientaci v prostoru požadována minimální hodnota činitele denní osvětlenosti 0,25 %, která je ve všech bodech splněna. V bodě [7,7], v Tab. 17 vyznačen žlutě, je výrazná změna hodnoty oproti okolním bodům, to je způsobeno konstrukčním provedením, kdy byl kontrolní bod umístěn velmi blízko sloupu, který způsobil stínění.

Výsledné hodnoty D zjištěných na schodišti jsou prezentovány pomocí Tab. 18 a Obr. 4.13.

Tab. 18: Hodnoty činitele denního osvětlení v kontrolních bodech na schodišti v místnosti C

Hodnoty činitele denního osvětlení schodiště v (%)			
	1. sloupec	2. sloupec	3. sloupec
1. řada	0,60	0,53	0,42
2. řada	0,44	0,39	0,35
3. řada	0,37	0,33	0,29
4. řada	0,33	0,30	0,26
5. řada	0,37	0,50	1,10
6. řada	0,65	1,04	1,73



Obr. 4.13: Průběh izofot na schodišti v místnosti C (hodnoty jsou udávány v %)

Na schodišti jsou výrazně nižší hodnoty činitele denní osvětlenosti než na chodbě. Nejnižší hodnota 0,26 % je v bodě [4,3], nejvyšší hodnota 1,73 % pak v bodě [6,3]. Rovnoměrnost denního osvětlení na schodišti je 0,56. Dle ČSN 73 0580-1 je pro zrakové činnosti prováděné na chodbě a na schodišti třídy VII pro celkovou orientaci v prostoru požadována minimální hodnota činitele denní osvětlenosti 0,25 %. Norma pro tuto třídu zrakové činnosti neudává požadovanou hodnotu rovnoměrnosti denního osvětlení.

Při tomto měření byl stejně jako u předchozí místnosti měřen jas na začátku a na konci měření dle vztahu (4.6). Hodnoty byly měřeny třikrát a výsledný poměr k zenitu byl vypočítán z průměrných hodnot.

Tab. 19: Hodnoty jasů oblohy na začátku a na konci měření místnosti B

Jas oblohy na začátku měření v (cd/m ²)				Průměr	Poměr k zenitu
15°	2 600	2 537	2 450	2 529,00	0,30
45°	6 587	6 443	6 067	6 365,67	0,75
90°	8 616	7 892	8 943	8 483,67	
Jas oblohy na konci měření v (cd/m ²)				Průměr	Poměr k zenitu
15°	2 340	2 275	2 080	2 231,67	0,43
45°	3 732	4 034	3 830	3 865,33	0,74
90°	4 819	5 399	5 506	5 241,33	

Posledním měřeným parametrem byl činitel prostupu světla τ a činitel znečištění výplně osvětlovacích otvorů, stejně jako u předchozí místnosti dle vztahu (4.7). Jak lze z tabulky vidět, tak pouze po vyčištění skla z obou stran se činitel prostupu světla zvýšil o 0,01, čili o 1 %. Vyčištění skla tedy nemá v tomto případě zvlášť velký vliv na změnu osvětlení v prostoru.

Tab. 20: Hodnoty osvětlenosti před a za osvětlovacím otvorem v místnosti C

Činitel prostupu světla (ČPS)	1. měření	2. měření	3. měření	Průměr	τ
Vnitřní strana	2 895 lx	2 828 lx	2 874 lx	2866 lx	0,49
Vnější strana	5 871 lx	5 874 lx	5 796 lx	5847 lx	
ČPS s vyčištěnou vnější stranou skla	1. měření	2. měření	3. měření	Průměr	τ
Vnitřní strana	3 229 lx	3 245 lx	3 393 lx	3289 lx	0,49
Vnější strana	6 569 lx	6 665 lx	6 737 lx	6657 lx	
ČPS s oboustranně vyčištěným sklem	1. měření	2. měření	3. měření	Průměr	τ
Vnitřní strana	3 513 lx	3 355 lx	3 421 lx	3430 lx	0,50
Vnější strana	6 860 lx	6 895 lx	6 842 lx	6866 lx	

5 Simulace a analýza osvětlení vybraných místností

Pro porovnání hodnot z měření byl k simulaci zvolen program BuildingDesign. BuildingDesign je program vyvinutý českou společností Astra MS Software a slouží k projektování budov a místností. Program v sobě slučuje moduly výpočtů pro umělé osvětlení (Wils), denní osvětlení (Wdls), proslunění (Sunlis) a aktivního hromosvodu (Keraun). Program obsahuje tabulky požadavků na osvětlení z norem EN 12-464-1 a EN 12464-2 a pravidelně aktualizovanou databázi svítidel a světelných zdrojů. Dále podporuje spolupráci s CAD systémy a to i včetně exportu a importu soustav svítidel do něj. Mezi jeho další vlastnosti patří intuitivní ovládání a výběr z pěti jazyků (čeština, slovenština, angličtina, polština a němčina).

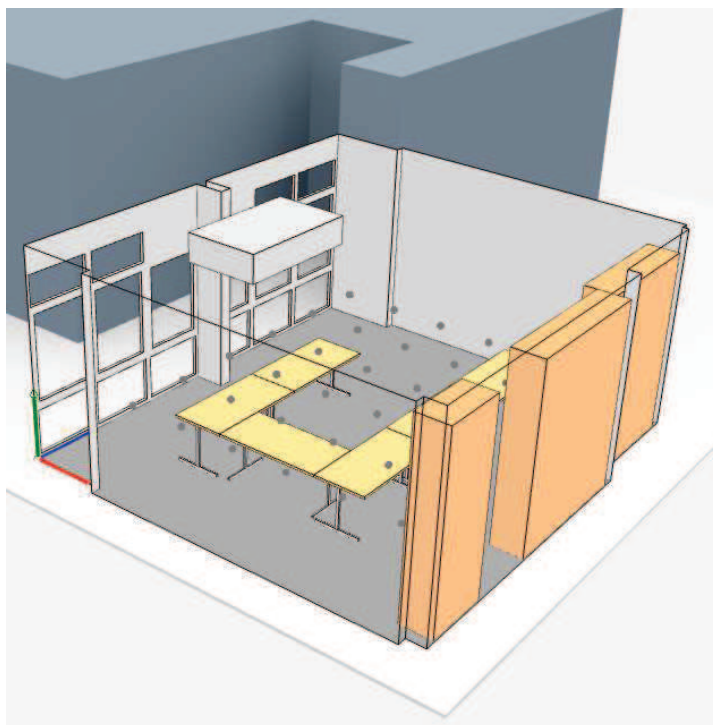
Z rozměrů místností byly nejprve v rámci této diplomové práce provedeny 2D modely místností v programu AutoCAD, které pak byli importovány do programu BuildingDesign a převedeny na 3D model. Do místností byly přidány objekty, které mohou působit na rozložení světla v místnosti. Následně byly do místností přidány osvětlovací otvory a svítidla tak, aby co nejvíce odpovídaly reálnému provedení.

5.1 Simulace osvětlení místnosti EK 319 (místnosti A)

Model místnosti A je zobrazen na Obr. 5.1. Do této místnosti byly zahrnuty i pracovní stoly, skříně a klimatizace, protože svými odrazovými vlastnostmi ovlivňují danou osvětlovací soustavu. Činitelé odrazu byly zvoleny ve všech modelech shodně a to tak, že činitel odrazu stropu byl zvolen 0,7, stěn 0,5 a podlahy 0,3.

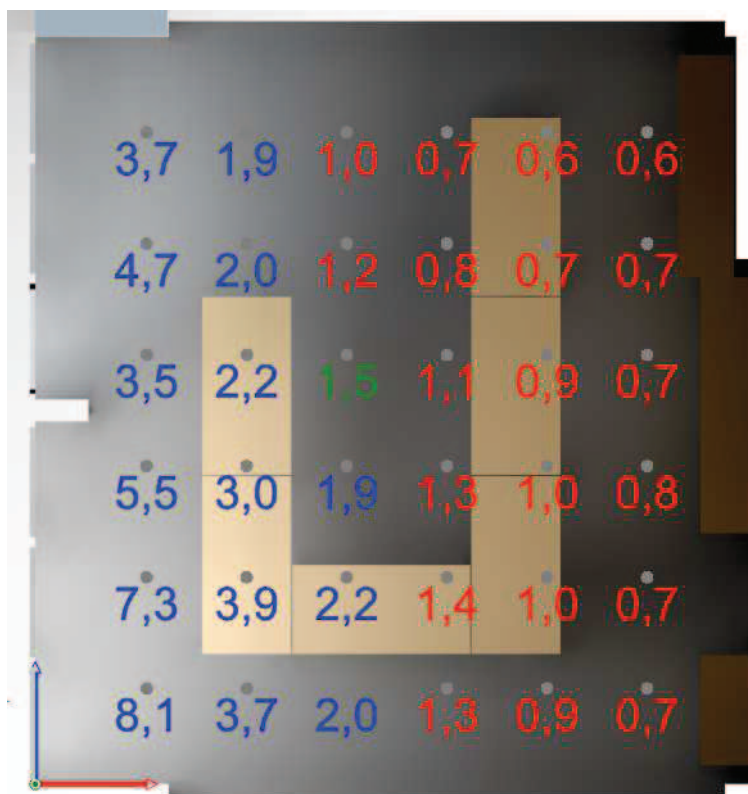
Simulovaná osvětlovací soustava umělého osvětlení obsahuje reálná svítidla a světelné zdroje, které jsou v současné době využívány. Model byl vytvořen tak, aby co nejlépe odpovídal reálné situaci a tím mohly být porovnány naměřené hodnoty umělého i denního osvětlení s hodnotami z programu BuildingDesign.

Vedle této místnosti byla namodelována část vedlejší budovy, která způsobuje stínění. Rozměry a vzdálenost vedlejší budovy RICE byly odhadnuty pomocí vizualizace leteckých snímků v mapách dostupných na internetových stránkách, neboť by bylo obtížné měřit konkrétní rozměry v této výšce ve třetím patře.

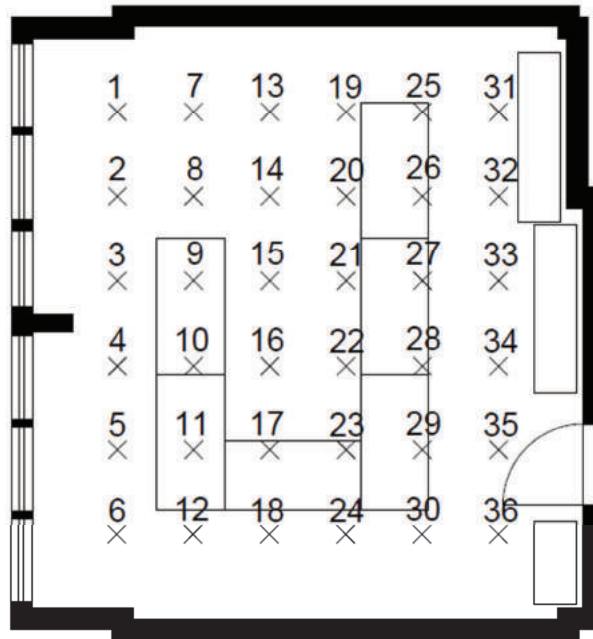


Obr. 5.1: 3D model místnosti A

Hodnoty činitele denní osvětlenosti ze simulace denního osvětlení v kontrolních bodech jsou uvedeny v Obr. 5.2. V Obr. 5.3 je znázorněno číslování jednotlivých kontrolních bodů v této místnosti, ve kterých jdou dále porovnány hodnoty ze simulace denního a umělého osvětlení s naměřenými hodnotami z kapitoly 4.2.2 v Obr. 5.4.

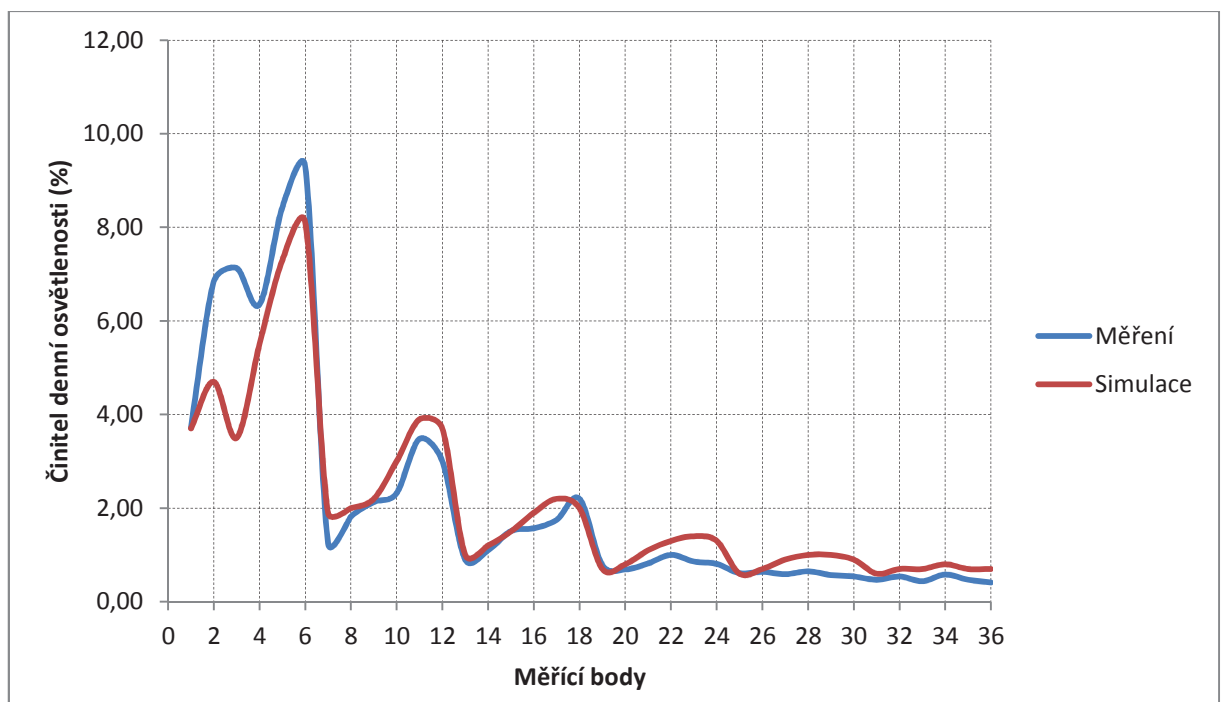


Obr. 5.2: Hodnoty činitele denní osvětlenosti v % ze simulace denního osvětlení místnosti A



Obr. 5.3: Číslování kontrolních bodů v místnosti A

Hodnoty činitele denní osvětlenosti se při měření liší zejména ve 2. bodě o 2,14 % a ve 3. bodě o 3,63 %, což může být způsobeno nepřesným namodelováním vedlejší stínící budovy, nebo nepřesností odečítání hodnot při měření. Z Obr. 5.4 je patrné, že se hodnoty činitelů denní osvětlenosti ze simulace téměř shodují s hodnotami získanými pomocí měření. Průměrná odchylka těchto hodnot je 0,49 %. Proto lze dané hodnoty považovat za verifikované.

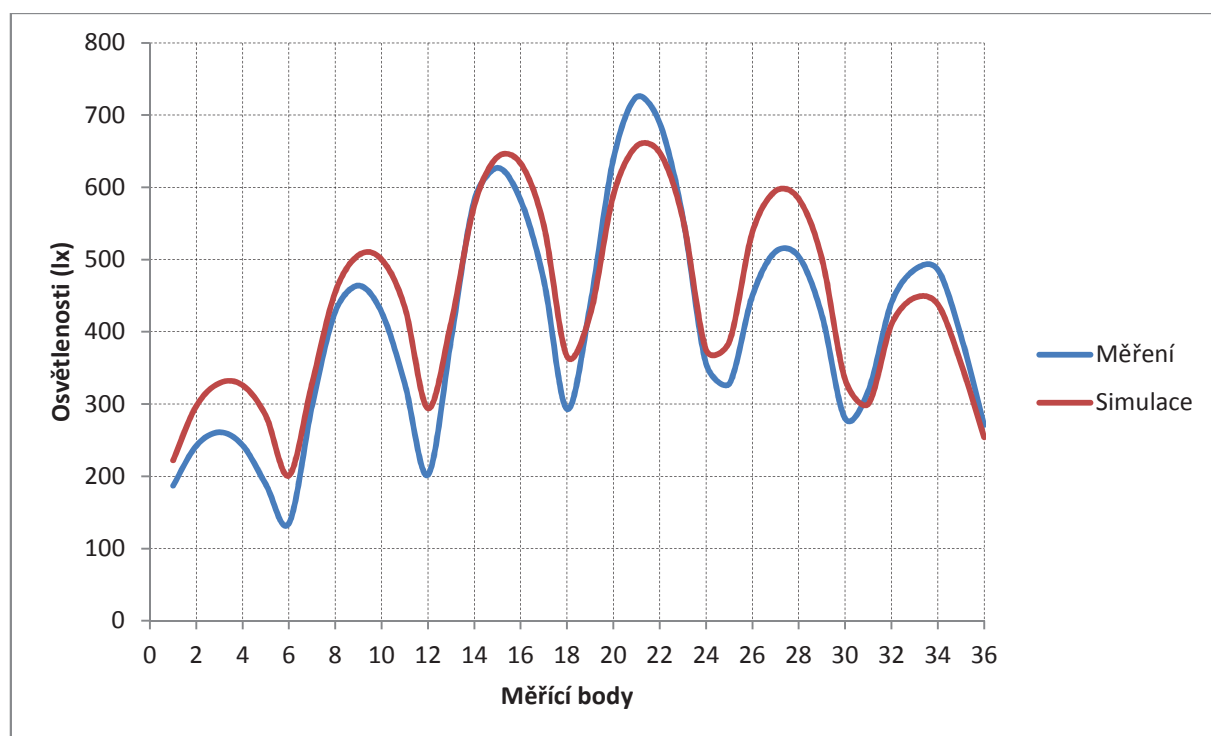


Obr. 5.4: Porovnání hodnot činitele denní osvětlenosti místnosti A

Hodnoty osvětleností ze simulace umělého osvětlení jsou uvedeny v Obr. 5.5, číslování bodů je stejné jako pro simulaci denního osvětlení dle Obr. 5.3. Na dalším Obr. 5.6 je v grafu zobrazeno porovnání hodnot osvětleností při umělém osvětlení místnosti, kde největší odchylka od hodnot z měření v 11. bodě je 106 lx a v 5. bodě je 95 lx. Ostatní hodnoty se mírně rozcházejí, což může být zapříčiněno znečištěním svítidel, prostoru, stárnutím světelných zdrojů či odrazovými vlastnostmi povrchů. Průměrná odchylka hodnot je 51 lx.



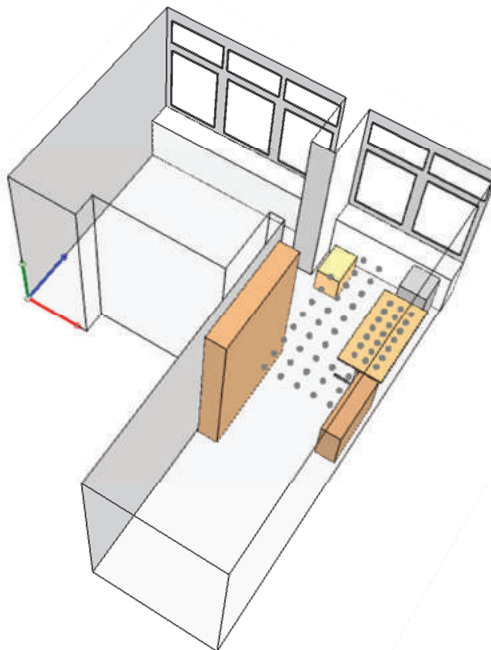
Obr. 5.5. Hodnoty osvětleností v simulaci umělého osvětlení místnosti A



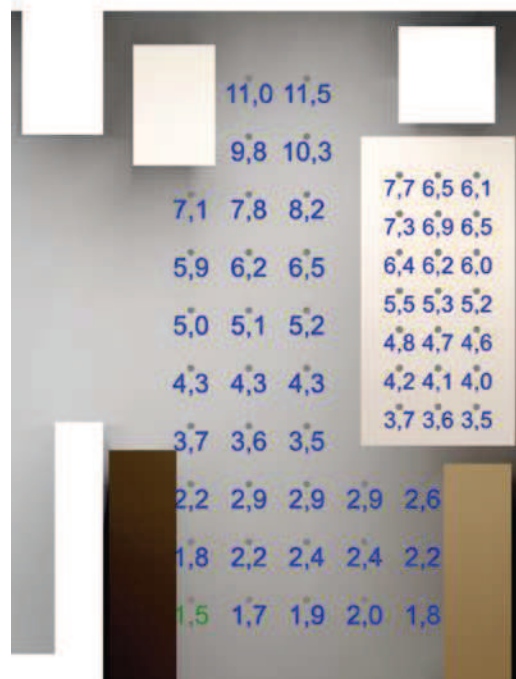
Obr. 5.6: Porovnání hodnot osvětlenosti při umělém osvětlení v místnosti A

5.2 Simulace osvětlení místnosti EK 318 (místnost B)

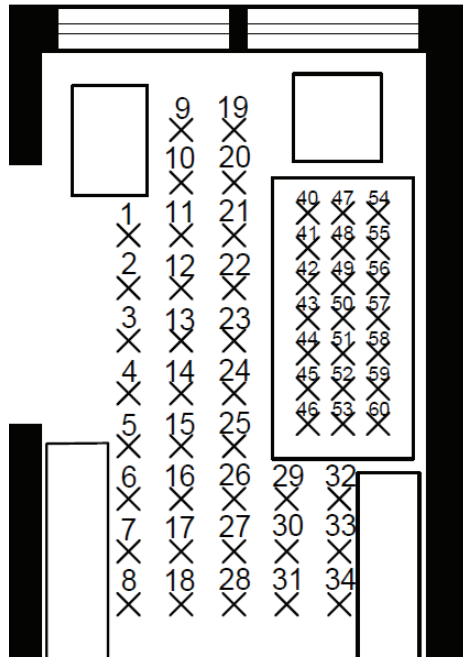
V místnosti EK 318 (místnost B) byly kromě pracovního stolu a tiskárny přidány do modelu i blízké skříně a skříňky, to je znázorněno na 3D modelu místnosti na Obr. 5.7. Hodnoty činitele denní osvětlenosti z této simulace jsou uvedeny na Obr. 5.8 a číslování těchto bodů je uvedeno na Obr. 5.9. V okolí stolu je 34 kontrolních bodů a na stole je 20 kontrolních bodů, které jsou v tomto obrázku číslovány od 40 do 60 a vloženy do stejného grafu na Obr. 5.10, kde jsou porovnány s hodnotami z měření z kapitoly 4.3.



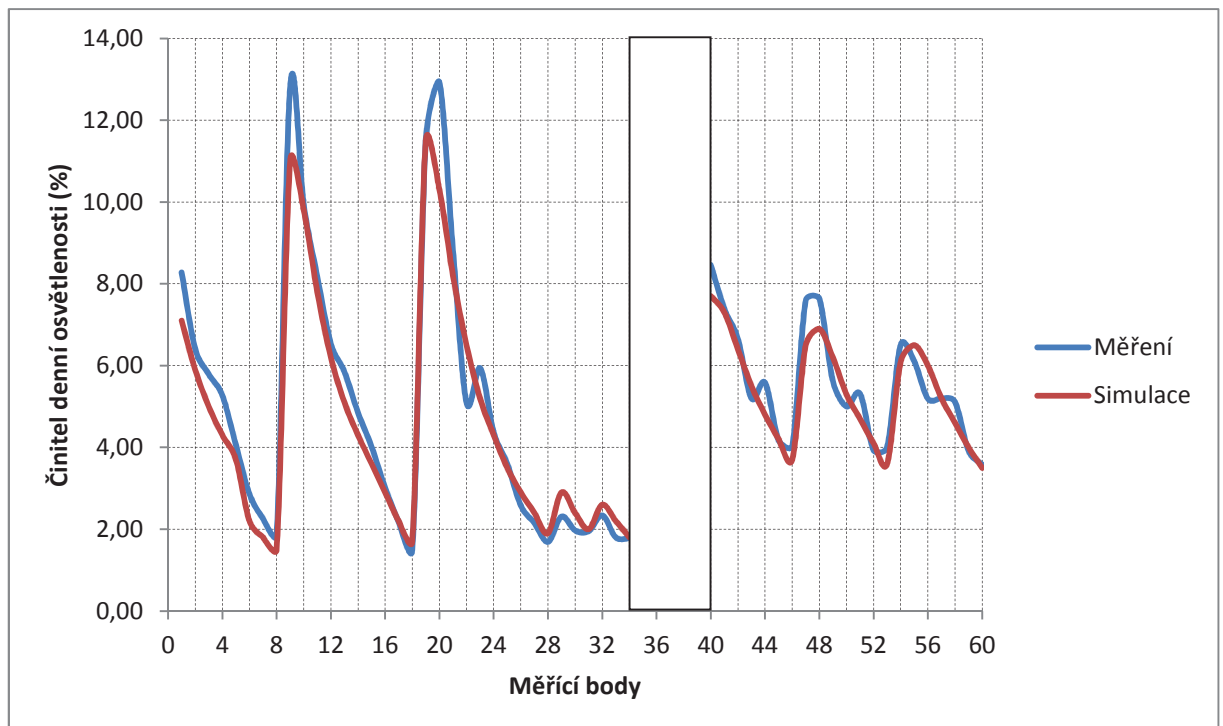
Obr. 5.7: 3D Model místnosti B



Obr. 5.8. Hodnoty činitele denní osvětlenosti v % ze simulace denního osvětlení místnosti B



Obr. 5.9: Číslování kontrolních bodů v místnosti B

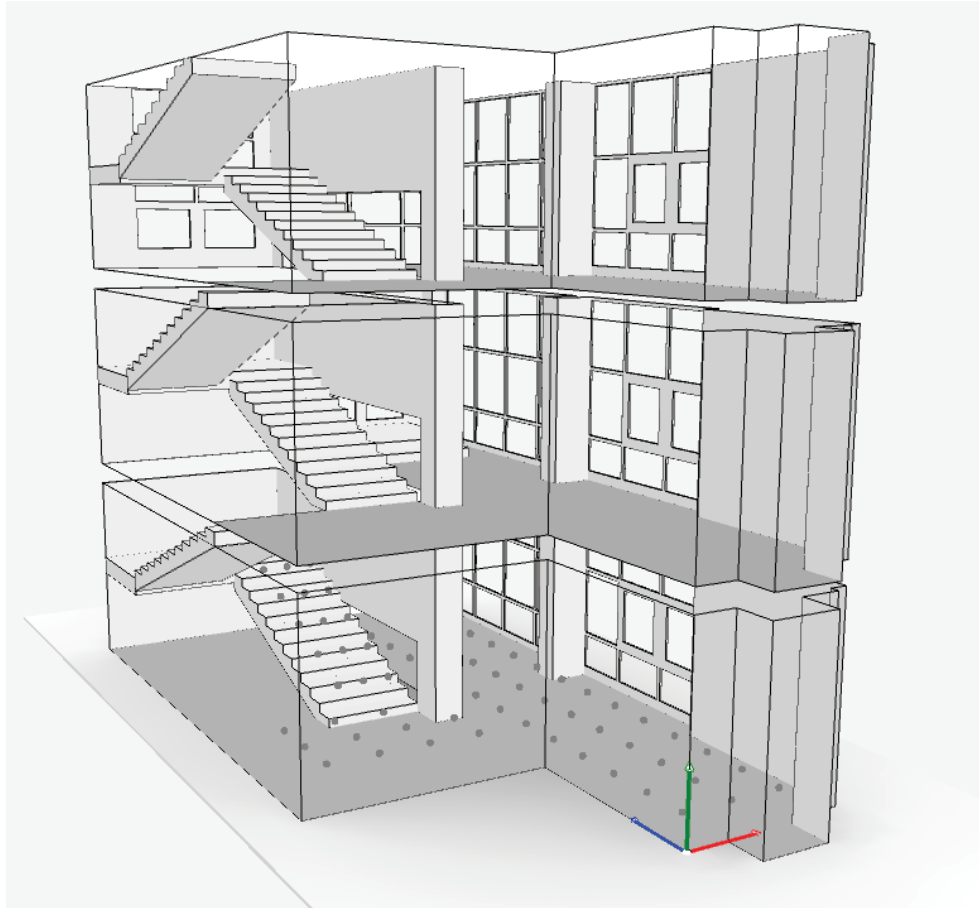


Obr. 5.10: Porovnání hodnot činitele denní osvětlenosti v okolí pracovního stolu (vlevo) a na pracovním stole (vpravo)

Největší odchylka v okolí pracovního stolu od naměřených hodnot je ve 20. bodě o 2,63 % a v 9. bodě o 1,83 %. Průměrná odchylka všech hodnot je 0,53 %. Na pracovním stole je největší odchylka ve 47. bodě a to 1,09%, průměrná odchylka těchto hodnot od hodnot z měření je 0,41%. Všechny tyto body jsou umístěny velmi blízko zdi, u kterých byly pouze odhadnuty odrazové vlastnosti. Proto se hodnoty v některých bodech mírně rozcházejí.

5.3 Simulace osvětlení chodby a schodiště (místnost C)

V případě modelování chodby a schodiště bylo třeba namodelovat i další dvě vyšší patra, které také přispívají k osvětlení na schodišti. Model této situace je zobrazen na Obr. 5.11. Hodnoty činitele denní osvětlenosti z této simulace jsou uvedeny na Obr. 5.13.

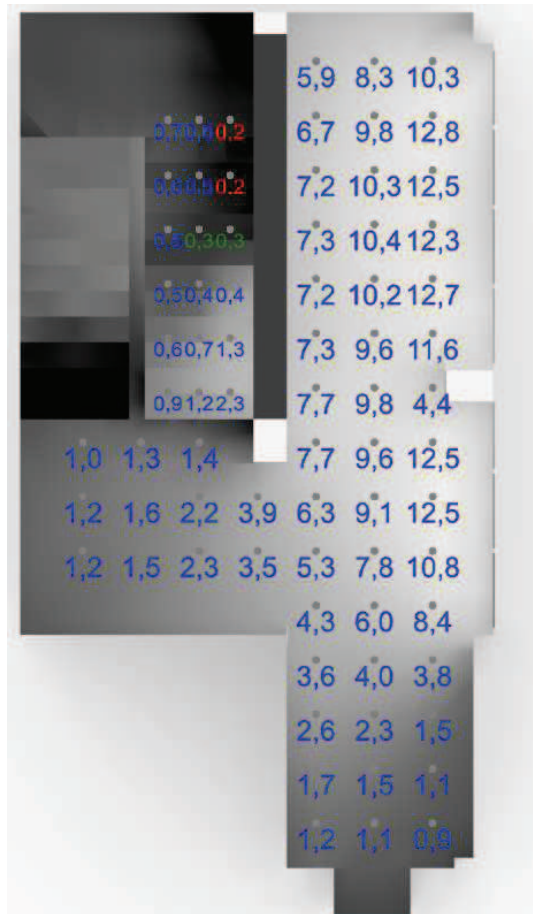


Obr. 5.11: 3D model místnosti C

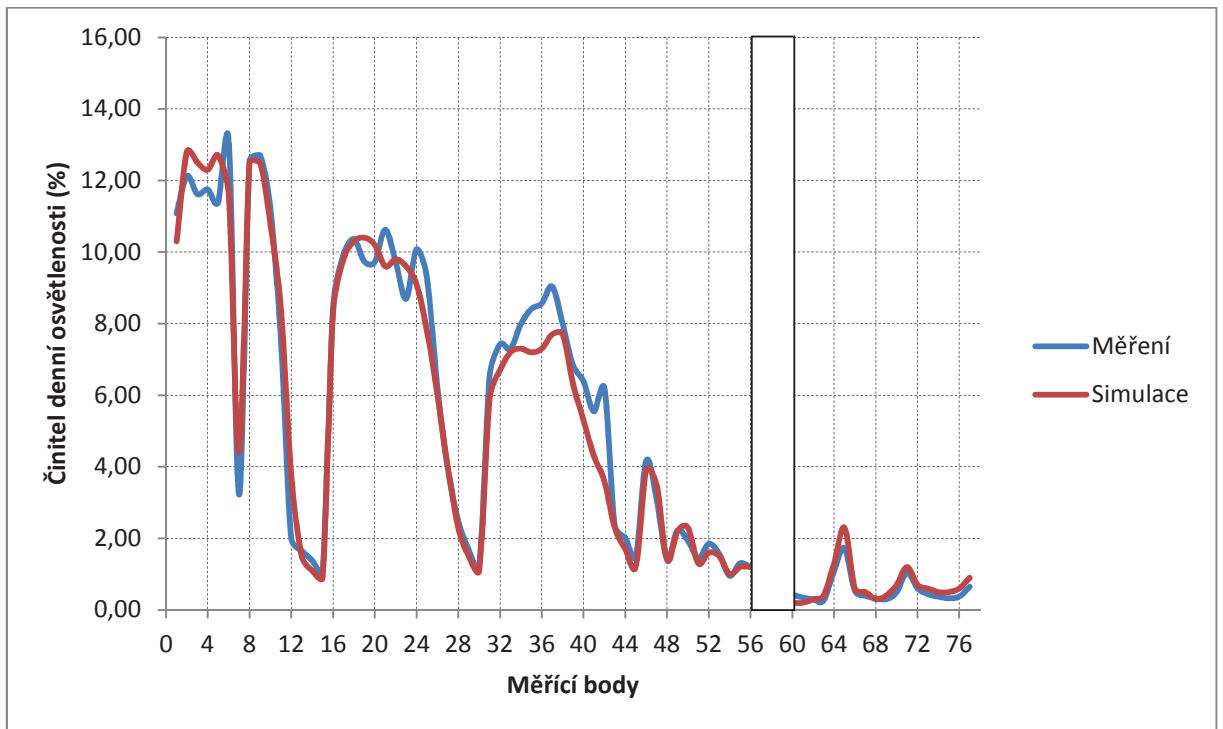
Hodnoty činitele denní osvětlenosti v kontrolních bodech číslováných dle Obr. 5.12 jsou porovnány s naměřenými hodnotami této místnosti z kapitoly 4.4 v Obr. 5.14. V tomto obrázku jsou porovnány kontrolní body z chodby, které jsou číslovány od 1 do 56, a kontrolní body umístěné na schodišti, které jsou číslovány od 60 do 77. Největší odchylka v prostoru chodby je ve 42. bodě a to 2,59 %, průměrná odchylka od naměřených hodnot je pak 0,57 %. Na schodišti je největší odchylka v 65. bodě a to 0,57 %, průměrná odchylka od naměřených hodnot je 0,17 %.



Obr. 5.12: Číslování kontrolních bodů v místnosti C



Obr. 5.13. Hodnoty činitele denní osvětlenosti v % ze simulace denního osvětlení místnosti C



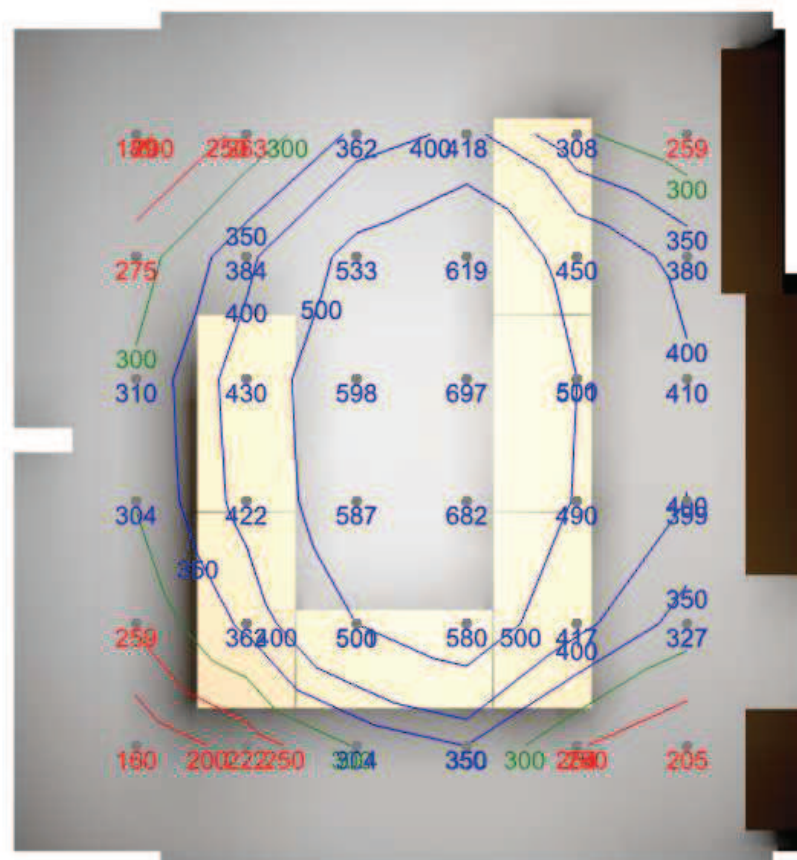
Obr. 5.14: Porovnání hodnot činitele denní osvětlenosti na chodbě (vlevo) a na schodišti (vpravo)

6 Návrh osvětlovací soustavy v místnosti EK319

Z důvodu nevyhovující denní osvětlovací soustavy v zasedací místnosti na Katedře elektroenergetiky a ekologie, by mělo být pro dané zrakové činnosti použito sdruženého osvětlení. Současná osvětlovací soustava umělého osvětlení dle normy vyhovuje. Součástí této diplomové práce je návrh na modernizaci současné osvětlovací soustavy. V Tab. 20 je porovnána současná osvětlovací soustava s dvěma dalšími návrhy, které jsou v programu BuildingDesign nasimulovány pro zjištění hodnot osvětleností v kontrolních bodech na srovnávací rovině.

6.1 První návrh osvětlovací soustavy

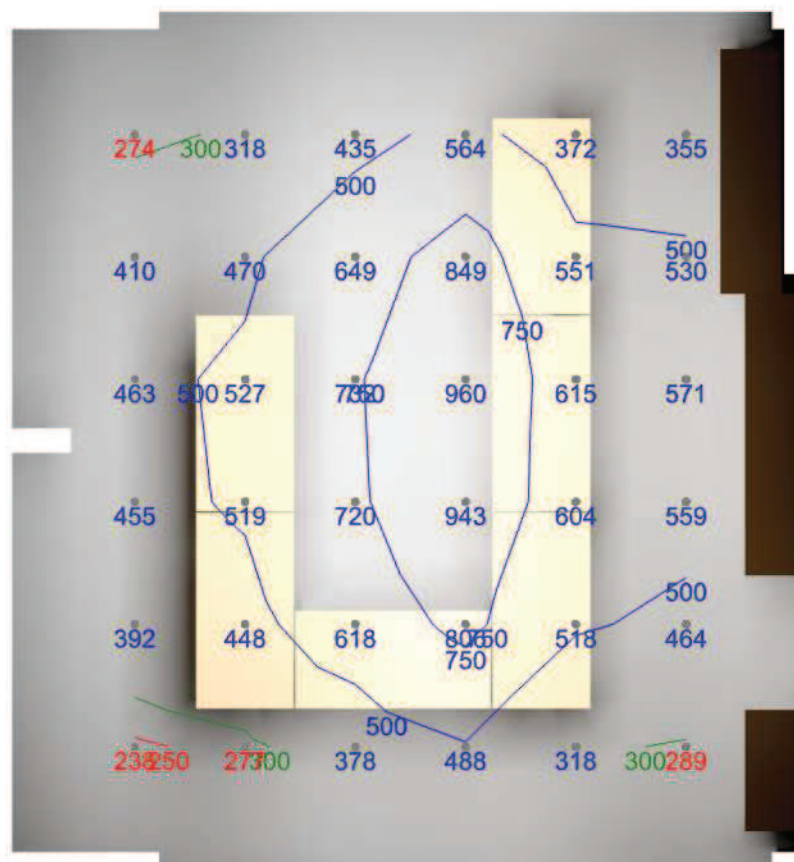
V prvním návrhu jsou původní svítidla nahrazena svítidly LLL3000RM2KVM4ND od firmy MODUS. Počet a rozmístění svítidel bylo zachováno dle původní osvětlovací soustavy. Toto svítidlo je od výrobce vybavené integrovaným LED světelným zdrojem, proto se při poruše nebo výměně musí měnit celé svítidlo. Technické parametry tohoto svítidla jsou uvedeny v Příloze č. 14. Na Obr. 6.1 jsou uvedeny hodnoty osvětleností v kontrolních bodech.



Obr. 6.1: Hodnoty osvětleností v kontrolních bodech prvního návrhu umělé osvětlovací soustavy

6.2 Druhý návrh osvětlovací soustavy

Ve druhém návrhu je původní svítidlo nahrazeno novým svítidlem AREL3000RM2KV4ND také od firmy MODUS. Počet a rozmístění svítidel bylo zachováno dle původní osvětlovací soustavy. Toto svítidlo je od výrobce vybavené integrovaným LED světelným zdrojem. Technické parametry tohoto svítidla jsou uvedeny v Příloze č. 15. Hodnoty osvětleností v kontrolních bodech jsou výrazně vyšší, než v původním i prvním návrhu osvětlení, viz Obr. 6.2 v porovnání s Obr. 5.5 a s Obr. 6.1.



Obr. 6.2: Hodnoty osvětlenosti v kontrolních bodech druhého návrhu umělé osvětlovací soustavy

6.3 Porovnání řešených návrhů osvětlovacích soustav

V Tab. 21 jsou porovnány parametry jednotlivých návrhů osvětlovacích soustav s původní osvětlovací soustavou. Oba návrhy využívají LED zdrojů a mají tak výrazně vyšší životnost, měrný výkon a nižší příkon. Měrné výkony světelných zdrojů a svítidel byly vypočítány dle vztahů (4.1) a (4.2). Ostatní parametry byly převzaty od výrobce a z katalogu svítidel v BuildingDesignu.

Tab. 21: Návrhy osvětlovacích soustav

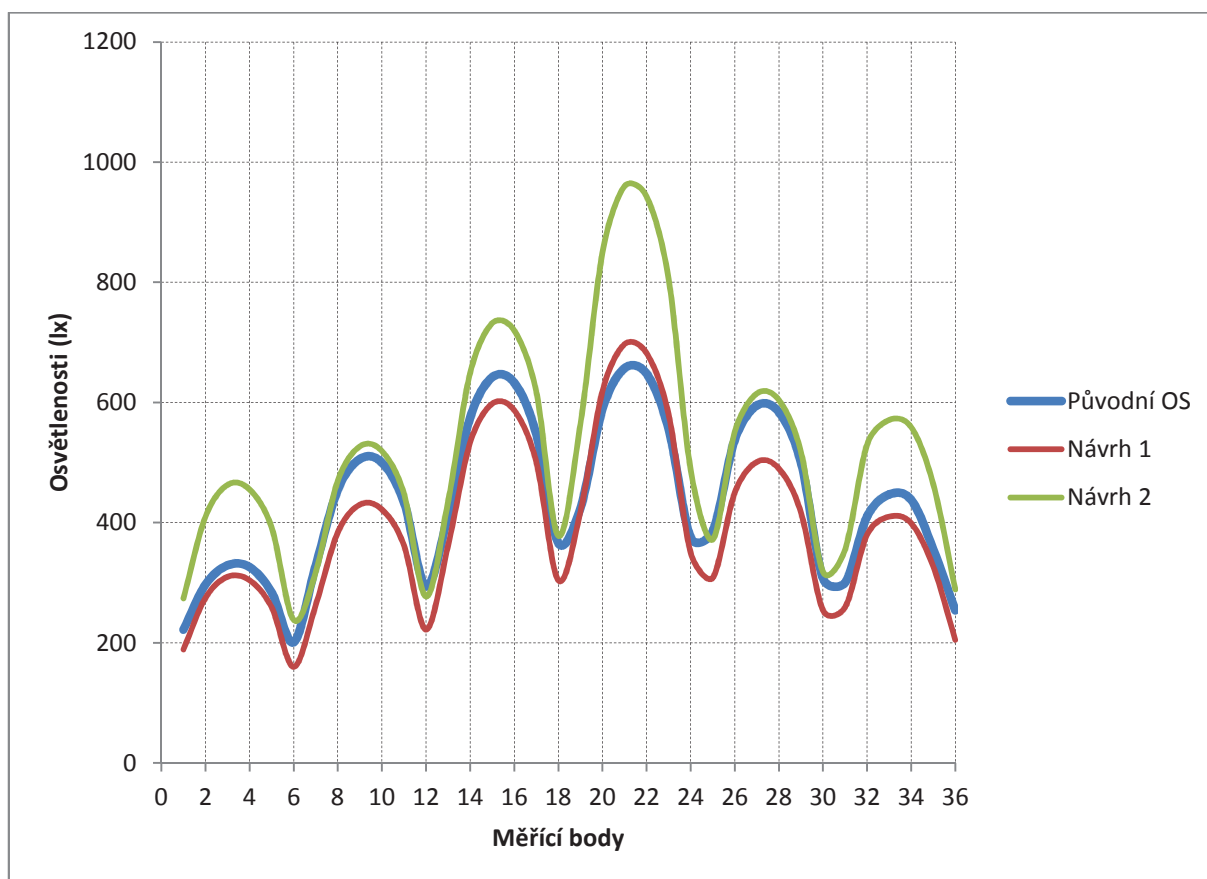
	Původní OS	Návrh 1	Návrh 2
Typ svítidla	MODUS LLX236AL	MODUS LLL3000RM2KVM4ND	MODUS AREL4000RM2KV
Typ světelného zdroje	OSRAM L 36W/840		
Příkon světelného zdroje (W)	36	26	39
Světelný tok světelného zdroje (lm)	3 350	3 200	4 100
Životnost (hod)	20 000	80 000	80 000
Index podání barev (-)	80	80-89	80-89
Teplota chromatičnosti (K)	4 000	4 000	4 000
Měrný výkon sv. zdroje (lm/W)	93	123,08	105
Počet světelných zdrojů ve svítidle (-)	2	1	1
Příkon svítidla (W)	72	26	39
Světelný tok svítidla (lm)	4 020	3 200	4 100
Měrný výkon svítidla (lm/W)	56,0	123,08	105

Osvětlovací soustava by měla být navrhována jako předdimenzována pro zajištění dostatečné kvality osvětlenosti i po delší době provozu a při poklesu udržovacího činitele. Norma ČSN EN 12464-1 udává požadovanou normálovou osvětlenost v učebnách ve vzdělávacích zařízeních 300 lx, což splňují všechny návrhy, viz Obr. 6.3.

Na Obr. 6.4 jsou porovnány hodnoty osvětlenosti v kontrolních bodech z jednotlivých simulací. Z tohoto obrázku je vidět, že první návrh osvětlovací soustavy má velmi podobné hodnoty jako původní osvětlovací soustava. Druhý návrh pak má pak vyšší hodnoty osvětlenosti a uprostřed místnosti v bodech 19, 20 a 21 pak dochází k velmi výraznému skokovému růstu hodnot. To by mohlo mít neblahý vliv na zrakovou pohodu v místnosti, proto by bylo vhodné u tohoto návrhu zvolit jiné rozmístění svítidel, pro zvýšení rovnovážnosti osvětlení.

	Minimální hodnota	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Rovnoměrnost
Původní OS				
Normálová osvětlenost	201 lx	437 / 300 lx ✓	657 lx	0,46 / 0,3 ✓
Návrh 1				
Normálová osvětlenost	160 lx	395 / 300 lx ✓	697 lx	0,41 / 0,3 ✓
Návrh 2				
Normálová osvětlenost	238 lx	519 / 300 lx ✓	960 lx	0,46 / 0,3 ✓

Obr. 6.3: Kvalita umělého osvětlení místnosti A jednotlivými osvětlovacími soustavami



Obr. 6.4: Porovnání hodnot osvětleností jednotlivých osvětlovacích soustav

7 Zhodnocení návrhů umělé osvětlovací soustavy v EK319 (místnost A)

Uvažované využití učebny během roku bylo stanoveno na 250 dní a předpokládá se 8 hodinový provoz učebny. Za rok tedy bude osvětlovací soustava využívána přibližně 2000 hodin.

7.1 Energetické zhodnocení návrhů osvětlovacích soustav

V původní osvětlovací soustavě jsou v každém svítidle umístěny dva světelné zdroje, celkový příkon svítidla je pak jejich součtem. U všech osvětlovacích soustav je zanedbán příkon předřadných zařízení, protože není výrobcem udáván. Celkový příkon osvětlovací soustavy $P_{SOUSTAVY}$ je počítán jako součin příkonu jednoho svítidla P_{SV} s počtem svítidel, který je u všech osvětlovacích soustav stejný a to 6 svítidel. Dále je počítána celková spotřebovaná energie osvětlovacích soustav za rok $E_{S/r}$, ta je dána součinem příkonu osvětlovací soustavy $P_{SOUSTAVY}$ a doby využití osvětlovací soustavy t . Posledním počítaným parametrem jsou náklady na energii za rok $N_{E/r}$, které jsou dané součinem spotřebované energie za rok a cenou 3,82 Kč za 1 kW, která je převzata z [26]. Níže uvedené vztahy platí pro původní osvětlovací soustavu, pro návrhy jsou výsledky zpracovány v Tab. 22.

$$P_{SOUSTAVY} = P_{SV} \cdot 6 = 72 \cdot 6 = 432 \text{ W} \quad (7.1)$$

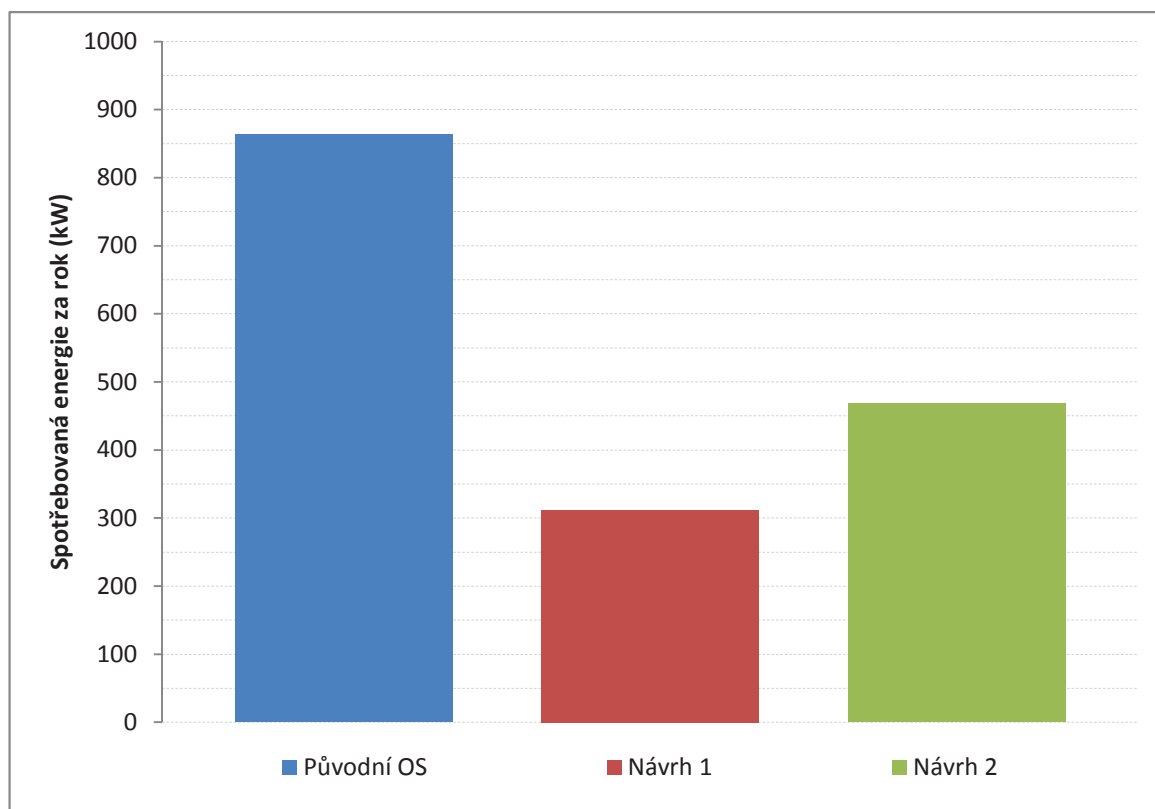
$$E_{S/r} = P_{SOUSTAVY} \cdot t = 432 \cdot 2\,000 = 864\,000 \text{ W} = 864 \text{ kW} \quad (7.2)$$

$$N_{E/r} = E_{S/r} \cdot N_E = 864 \cdot 3,82 = 3\,300,48 \text{ Kč} \quad (7.3)$$

Tab. 22: Energetické využití osvětlovacích soustav

	Původní OS	Návrh 1	Návrh 2
Příkon světelného zdroje (W)	36	26	39
Příkon svítidla P_{SV} (W)	72	26	39
Počet svítidel v soustavě (-)	6	6	6
Celkový příkon soustavy $P_{SOUSTAVY}$ (W)	432	156	234
Využití učebny (hod)	2 000	2 000	2 000
Spotřebovaná energie za rok $E_{S/r}$ (kW)	864	312	468
Náklady na energii za rok $N_{E/r}$ (Kč)	3 300,48	1 191,84	1 787,76

Na Obr. 7.1 je vidět, že oba návrhy s využitím LED zdrojů vykazují značnou energetickou úsporu oproti původnímu osvětlení s klasickými zářivkami. První návrh má roční úsporu na energii oproti původní osvětlovací soustavě o 63,9 %. Druhý návrh má trochu vyšší spotřebu elektrické energie a proto je roční úspora jen 45,8 %.



Obr. 7.1: Spotřebovaná energie za rok jednotlivými osvětlovacími soustavami

7.2 Ekonomické zhodnocení návrhů osvětlovacích soustav

V Tab. 23 je uvedena cena jednotlivých svítidel, cena světelných zdrojů a celková cena osvětlovací soustavy. V obou návrzích umělé osvětlovací soustavy je světelný zdroj (LED páska a čipy) integrovaný do svítidla, proto se bere cena svítidla a světelného zdroje jako celek. Ceny byly převzaty z internetu a z internetových stránek firmy MODUS [27] [28] [29] [30].

Tab. 23: Ceny osvětlovacích soustav

	Původní OS	Návrh 1	Návrh 2
Cena svítidla	823 Kč	2 178 Kč	2 299 Kč
Cena světelného zdroje	57 Kč		
Celková cena osv. soustavy	5 622 Kč	13 068 Kč	13 794 Kč

Dále uvedené výpočty platí pro původní osvětlovací soustavu. Výpočty pro navržené osvětlovací soustavy byly provedeny v programu MS Excel a jsou uvedeny v Tab. 24.

Poměrná životnost zdrojů za rok

Životnost světelných zdrojů v každé osvětlovací soustavě je různá. Pro původní osvětlovací soustavu je to 20 000 hodin, pro první a druhý návrh je to 80 000 hodin. Z toho lze spočítat poměrnou životnost zdrojů za rok t_{pz} , dosazením do vztahu (7.4) za t_r počet dní využití osvětlovací soustavy v roce, za t_d počet hodin využití osvětlovací soustavy během jednoho dne a za t_z životnost zdroje v hodinách.

$$t_{pz} = \frac{t_r \cdot t_d}{t_z} = \frac{250 \cdot 8}{20\,000} = 0,1 \quad (7.4)$$

Poměrné náklady na světelné zdroje za rok

Poměrné náklady na světelné zdroje za rok $N_{z/r}$ jsou vypočítány ze součinu poměrné životnosti za rok t_{pz} , ceny světelného zdroje N_{zk} , počtu zdrojů ve svítidle n_z a počtu svítidel n .

$$N_{z/r} = t_{pz} \cdot N_{zk} \cdot n_z \cdot n = 0,1 \cdot 57 \cdot 2 \cdot 6 = 68,4 \text{ Kč} \quad (7.5)$$

Náklady na výměnu zdrojů za rok

Náklady na výměnu zdrojů za rok $N_{vz/r}$ jsou vypočítány ze součinu poměrné životnosti za rok t_{pz} , nákladů na výměnu zdroje ve svítidle N_{vz} a počtu svítidel v soustavě n .

$$N_{vz/r} = t_{pz} \cdot N_{vz} \cdot n = 0,1 \cdot 57 \cdot 6 = 34,2 \text{ Kč} \quad (7.6)$$

Náklady na provoz za rok

Náklady na provoz za rok $N_{prov/r}$ jsou součtem nákladů za energie za rok $N_{E/r}$, celkových nákladů na výměnu zdrojů za rok $N_{vz/r}$ a poměrných nákladů na světelné zdroje za rok $N_{z/r}$.

$$N_{prov/r} = N_{E/r} + N_{vz/r} + N_{z/r} = 3\,300,48 + 34,2 + 68,4 = 3\,403,08 \text{ Kč} \quad (7.7)$$

Celkové náklady po deseti letech

Celkové náklady po deseti letech $N_{\text{celk}/10r}$ jsou vypočítány z pořizovacích nákladů I_N celkových nákladů na provoz za rok $N_{\text{prov}/r}$ a počtem let, tedy 10.

$$N_{\text{celk}/10r} = I_N + N_{\text{prov}/r} \cdot 10 = 5\,622 + 3403,08 \cdot 10 = 39\,653 \text{ Kč} \quad (7.8)$$

Tab. 24: Ekonomické zhodnocení jednotlivých osvětlovacích soustav

	Původní OS	Návrh 1	Návrh 2
Celková pořizovací cena osv. soustavy I_N	5 622 Kč	13 068 Kč	13 794 Kč
Náklady na energii za rok $N_{E/r}$	3 300,48 Kč	1 191,84 Kč	1 787,76 Kč
Poměrná životnost zdrojů za rok t_{pz}	0,1	0,025	0,025
Poměrné náklady na světelné zdroje za rok $N_{z/r}$	68,40 Kč	326,70 Kč	344,85 Kč
Náklady na výměnu zdrojů za rok $N_{vz/r}$	34,20 Kč	326,70 Kč	344,85 Kč
Náklady na provoz za rok $N_{\text{prov}/r}$	3 403,08 Kč	1 845,24 Kč	2 477,46 Kč
Celkové náklady po deseti letech $N_{\text{celk}/10r}$	39 652,8 Kč	31 520,40 Kč	38 568,60 Kč

Z Tab. 24 vyplývá, že druhý návrh osvětlovací soustavy má nejvyšší pořizovací náklady. Poměrné náklady na světelné zdroje za rok a celkové náklady na výměnu zdrojů za rok jsou nejnižší u původní osvětlovací soustavy, protože je u ní možné vyměnit pouze světelný zdroj. U obou návrhů osvětlovacích soustav se počítá s výměnou celého svítidla. Původní osvětlovací soustava má však nejvyšší energetickou spotřebu a proto jsou celkové náklady na provoz za rok u této soustavy nejvyšší. V celkových nákladech po deseti letech byla vzata v úvahu i pořizovací cena osvětlovací soustavy.

Úspora financí za provoz

Oba návrhy mají nižší provozní náklady za rok, než původní osvětlovací soustava, proto lze spočítat úsporu financí, která je dána rozdílem celkových ročních nákladů na provoz původní a nové osvětlovací soustavy.

$$N_{\text{úspora1}} = (N_{0\text{prov}/r} - N_{1\text{prov}/r}) = 3\,403,08 - 1\,845,24 = 1\,557,84 \text{ Kč} \quad (7.9)$$

$$N_{\text{úspora2}} = (N_{0\text{prov}/r} - N_{2\text{prov}/r}) = 3\,403,08 - 2\,477,46 = 925,62 \text{ Kč} \quad (7.10)$$

Z úspory financí za provoz lze dále spočítat dobu návratnosti z úspory peněz. Dobu návratnosti t_n lze vyjádřit podílem celkových pořizovacích nákladů I_N a úsporou financí za provoz oproti původní osvětlovací soustavě $N_{\text{úspora}}$.

$$t_{n1} = \frac{I_{N1}}{N_{\text{úspora1}}} = \frac{13\,068}{1\,557,84} = 8,4 \text{ roku} \quad (7.11)$$

$$t_{n2} = \frac{I_{N2}}{N_{\text{úspora1}}} = \frac{13\,794}{925,62} = 14,9 \text{ roku} \quad (7.12)$$

V případě prvního návrhu činí doba návratnosti 8,4 roku, u druhého 14,9 roku. Pořizovací náklady jsou u obou návrhů velmi podobné, ale první návrh má menší spotřebu elektrické energie, jak lze vidět na Obr. 7.1, tudíž se více ušetří na nákladech za tuto energii a doba návratnosti je kratší.

7.3 Dopad na životní prostředí

U světla vyzařovaného zářivkami dochází k tzv. stroboskopickému efektu neboli blikání způsobeného nestabilitou výboje v závislosti na kmitočtu síťového napájení. To je u člověka považováno za jeden z únavových faktorů. LED světelné zdroje vyzařují stabilní, homogenní světlo. Navrhované osvětlovací soustavy mají další výhody, jako např. životnost, která je u obou návrhů 4x vyšší než u původní osvětlovací soustavy. LED zdroje jsou odolnější vůči teplotám, nárazům a vyžadují nižší údržbu. Nebezpečím u zářivek je obsah těžkých kovů, především rtuti, která se při jejich rozbití odpařuje. Proto zářivky nelze po ukončení jejich života likvidovat současně s komunálním odpadem, ale je nutné je likvidovat jako nebezpečný odpad. Průměrná hodnota rtuti v zářivce se pohybuje okolo 5 mg a toto množství může při uvolnění zamořit až 30 000 litrů vody. [33], [34]

Tím, že oba návrhy využívají LED světelných zdrojů s menším příkonem, tudíž mají výrazně nižší roční energetickou spotřebu, snižují tím celkovou produkci emisí CO_2 a tím celkový dopad na životní prostředí. V Tab. 25 je uvedeno množství emisí na výrobu jedné kWh pro jednotlivé elektrárny a je zde i rozdělen podíl jednotlivých elektráren na výrobě

celkové elektrické energie v ČR za rok 2016. Při výrobě elektřiny je množství emisí CO₂ závislé na typu elektrárny, ale i na podílu jednotlivých elektráren na celkové výrobě elektrické energie. Množství výsledných emisí CO₂ na vyrobenou jednotku kWh lze vypočítat ze vztahu (7.13) dosazením hodnot emisí CO₂ a podílem na výrobě elektrické energie. Tato hodnota odpovídá 596,5 g/kWh. V Tab. 26 je uvedeno množství vypuštěného CO₂ do atmosféry na výrobu elektřiny za rok pro jednotlivé varianty osvětlovacích soustav, které je součinem množství vypuštěných emisí na jednotku kWh m_{CO_2} a spotřebou elektrické energie dané osvětlovací soustavou. Dále je v této tabulce uvedeno množství ušetřeného CO₂ na výrobě elektřiny při použití LED zdrojů vzhledem k současné osvětlovací soustavě. Pro první variantu tato úspora činí 328,72 kg, pro druhou variantu 235,82 kg.

Tab. 25: Množství emisí CO₂ produkované elektrárnami a jejich podíl na výrobě elektrické energie [35],[36]

Typ elektrárny	CO ₂ (g/kWh)	Podíl na výrobě elektrické energie (%)
Tepelná - hnědé uhlí	1 100	43,91
Tepelná - černé uhlí	930	6,97
Tepelná - ropa	720	0,05
Tepelná - zemní plyn	460	8,4
Solární	65	2,77
Jaderná	25	30,36
Vodní	17	1,15
Větrná	12	0,77
Ostatní		5,62

$$\begin{aligned}
 m_{CO_2} &= m_{CO_2HU} \cdot p_{\%HU} + m_{CO_2\check{C}U} \cdot p_{\%\check{C}U} + m_{CO_2R} \cdot p_{\%R} + m_{CO_2ZP} \cdot p_{\%ZP} + m_{CO_2S} \cdot p_{\%S} + \\
 & m_{CO_2J} \cdot p_{\%J} + m_{CO_2VO} \cdot p_{\%VO} + m_{CO_2VE} \cdot p_{\%VE} = 1\,100 \cdot \frac{43,91}{100} + 930 \cdot \frac{6,97}{100} + 720 \cdot \frac{0,05}{100} + \\
 & 460 \cdot \frac{8,40}{100} + 65 \cdot \frac{2,77}{100} + 25 \cdot \frac{30,36}{100} + 17 \cdot \frac{1,15}{100} + 12 \cdot \frac{0,77}{100} = 596,5 \text{ g/kWh} \quad (7.13)
 \end{aligned}$$

Tab. 26: Množství vypuštěného CO₂ elektrárnami pro pokrytí spotřeby jednotlivých osvětlovacích soustav

	Původní OS	Návrh 1	Návrh 2
Spotřebovaná energie za rok (kW)	864	312	468
Množství vypuštěného CO ₂ za rok (kg)	514,51	185,80	278,69
Množství ušetřeného CO ₂ za rok (kg)		328,72	235,82

Závěr

Cílem předložené diplomové práce bylo posouzení kvality denního osvětlení u třech vybraných místností. První posuzovanou místností je zasedací místnost na Katedře elektroenergetiky a ekologie, druhou místností je sekretariát této katedry a třetí místností je část schodiště a chodba vedoucí do vedlejší budovy Regionálního inovačního centra elektrotechniky (RICE). Tyto místnosti byly nejprve orientačně změřeny a následně porovnány s hodnotami osvětlenosti ze simulace v programu BuildingDesign.

V zasedací místnosti bylo naměřeno nevyhovující denní osvětlení, z hlediska minimální požadované hodnoty činitele denní osvětlenosti i z hlediska rovnoměrnosti, které bylo potvrzeno simulací v programu BuildingDesign. To je částečně způsobeno tím, že vedle budovy byla postavena další budova výzkumného střediska RICE, které svou konstrukcí stíní a zabraňuje efektivnímu prostupu světla do místnosti. Pro dané zrakové činnosti, jako je čtení a psaní, by mělo být v této místnosti využíváno sdruženého osvětlení. Dále byla v této místnosti měřena i umělá osvětlovací soustava, která je z hlediska požadavků norem vyhovující. Z výsledků měření a ze simulací z programu BuildingDesign bylo stanoveno, že v místnosti sekretariátu a chodby se schodištěm je denní osvětlení vyhovující. Hodnoty ze simulací osvětlení všech výše uvedených místností se v několika bodech mírně rozcházejí, což může být způsobeno různými odraznými vlastnostmi povrchů podlahy, stěn, stropu, objektů nacházejících se v místnosti nebo nepřesným měřením.

V šesté kapitole je proveden návrh na modernizaci současné umělé osvětlovací soustavy v zasedací místnosti katedry. Rozmístění a počet svítidel je u obou navržených osvětlovacích soustav stejný jako u té původní. Při navrhování umělých osvětlovacích soustav bylo využito LED zdrojů, které svými vlastnostmi převládají nad klasickými zářivkami. U klasických zářivek se snižuje jejich životnost častým spínáním, ale LED zdrojům vyšší četnost spínání nevadí. Dalším kladným parametrem u LED zdrojů je jejich životnost. U obou navržených osvětlovacích soustav s LED zdroji je udávaná životnost světelných zdrojů 80 000 hodin, u zářivek je to pouze 20 000 hodin. LED zdroje mají také vyšší měrný výkon, jsou odolnější vůči teplotám, nárazům a vyžadují nižší údržbu. Hlavní nevýhodou LED zdrojů je hlavně jejich vyšší pořizovací cena. Nebezpečím u zářivek je pak obsah těžkých kovů, především rtuti, která se při jejich rozbití odpařuje. LED zdroje neobsahují žádné toxické látky.

První návrh osvětlovací soustavy má podobné, či trochu nižší hodnoty osvětlenosti v kontrolních bodech než původní osvětlovací soustava, ale stále jsou s určitou rezervou splněny podmínky dané normou na toto osvětlení. Druhý návrh má pak v kontrolních bodech vyšší hodnoty osvětlenosti, ale zároveň vyšší energetickou spotřebu než první návrh. Uspořena elektrická energie oproti původní osvětlovací soustavě je u prvního návrhu 63,9 % a u druhého návrhu 45,8 %. Pořizovací cena obou návrhů je velmi podobná, kde první návrh osvětlovací soustavy má pořizovací náklady 13 068 Kč a druhý návrh 13 794 Kč. V této ceně nejsou zahrnuty příplatky za dopravu a instalaci, jedná se pouze o cenu svítidel. Dále byla z úspory na energii vypočítána návratnost pořizovacích nákladů na obě navržené osvětlovací soustavy. U první varianty je doba návratnosti 8,4 roku, u druhé je to 14,9 roku. Vzhledem k vysoké životnosti LED zdrojů je při odhadnutém ročním využití této soustavy 2 000 hodin přibližná délka života světelných zdrojů 40 let.

Posledním hodnoceným parametrem bylo množství produkce emisí CO₂ elektráren na pokrytí spotřeby jednotlivých variant osvětlovacích soustav. Na pokrytí roční spotřeby původní osvětlovací soustavy se celkem vypustí 514,51 kg CO₂, u prvního návrhu je to 185,8 kg CO₂ a u druhého návrhu 278,69 kg CO₂. Při provozu prvního návrhu osvětlovací soustavy se tedy ušetří 328,78 kg CO₂ a při provozu druhého 235,82 kg CO₂. S ohledem na všechny posuzované aspekty se zdá být nejvhodnější použití první navrhované varianty modernizace.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] HABEL, Jiří et al. *Světlo a osvětlování*. Praha: FCC Public, 2013. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [2] SOKANSKÝ, Karel. *Světelná technika*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04941-9.
- [3] KRÁLOVÁ, Magda. Technika Osvětlování. *Eduportál* [online]. [cit. 2017-12-13]. Dostupné z: <http://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/svetlo/hygiena-osvetlovani/technika-osvetlovani>
- [4] KAŇKA, Jan. Denní osvětlení obytných místností. *Odborné časopisy: Světlo* [online]. Stavební fakulta ČVUT v Praze, 01/2010 [cit. 2018-01-10]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/denni-osvetleni-obytnych-mistnosti--15411>
- [5] Denní a sdružené osvětlení. *Ústav fyziky a materiálového inženýrství* [online]. 06/2010 [cit. 2018-01-18]. Dostupné z: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_08.pdf
- [6] ČSN EN 12464-1. Světlo a osvětlování - Osvětlení vnitřních pracovních prostorů - Část 1: Vnitřní pracovní prostory: Česká technická norma. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [7] TNI 36 0450. *Rušivé oslnění při osvětlení vnitřních prostorů*. Technická normalizační informace. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [8] ZWIENER, Viktor. Umělé osvětlení z pohledu projektanta. *Eduportál* [online]. 2011 [cit. 2018-01-18]. Dostupné z: <https://atelier-dek.cz/umele-osvetleni-z-pohledu-projektanta-203>
- [9] Výbojové zdroje světla. *Materiály do školy* [online]. [cit. 2018-01-18]. Dostupné z: <http://www.materialy-do-skoly.cz/maturitni-otazky/elektro/vybojove-zdroje-svetla-2/>
- [10] KOŠTÁL, Jozef. Kompaktní zářivky aneb co o nich (ne)víme. *Odborné časopisy: Elektro* [online]. [cit. 2018-01-18]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/kompaktni-zarivky-aneb-co-o-nich-ne-vime--1067911>
- [11] [online]. [cit. 2018-01-18]. Dostupné z: <https://www.zarivky.cz/obrazky/11746/rabalux-linearni-zarivka-t4-8w-827-g5->

- original.jpg, <https://www.zarovsky.cz/obrazky/11746/rabalux-linearni-zarivka-t4-8w-827-g5-original.jpg>
- [12] HABEL, Jiří, ŽÁK, Petr. Terminologie LED světelných zdrojů. *Odborné časopisy: Světlo* [online]. 08/2017 [cit. 2018-01-19]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/terminologie-led-svetelnych-zdroju--2435>
- [13] POULEK, Vladislav, LIBRA, Martin. Světelné zdroje nové generace na bázi diod LED. *Odborné časopisy: Světlo* [online]. 02/2004 [cit. 2018-01-19]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/svetelne-zdroje-nove-generace-na-bazi-diod-led--16589>
- [14] In: *Biggreen club* [online]. [cit. 2018-01-19]. Dostupné z: <http://biggreen.club/wp-content/uploads/2017/12/light-decor-for-bedroom-led-bedroom-wall-lights-home-design-interior-and-exterior-spirit-for-led-bedside-wall-lights-decor-light-grey-carpet-bedroom-ideas.jpg>
- [15] MAIXNER, Tomáš. Údržba osvětlovacích soustav - opomíjený zdroj úspor. *TZB-info* [online]. 02/2007 [cit. 2018-02-26]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/3891-udrzba-osvetlovacich-soustav-opomijeny-zdroj-uspor>
- [16] INDEX PODÁNÍ BAREV, CRI / RA. *SMD LED Žárovky* [online]. [cit. 2018-02-26]. Dostupné z: <https://www.smdledzarovsky.cz/nas.radce/index.podani.barev>
- [17] Teplota chromatičnosti. *Led svítí* [online]. [cit. 2018-02-26]. Dostupné z: <https://www.ledsviti.cz/teplota-chromaticnosti/>
- [18] ZEMAN, Jan. Ovládněte barvy fotografie: Vyvážení bílé. *Milujeme fotografii* [online]. [cit. 2018-02-26]. Dostupné z: <https://www.milujemefotografii.cz/ovladnete-barvy-fotografie-vyvazeni-bile>
- [19] ČSN 36 0020. Sdružené osvětlení: Česká technická norma. 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007.
- [20] ČSN 36 0011-1. *Měření osvětlení prostorů: Část 1: Základní ustanovení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [21] ČSN 36 0011-2. *Měření osvětlení prostorů: Část 2: Měření denního osvětlení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.

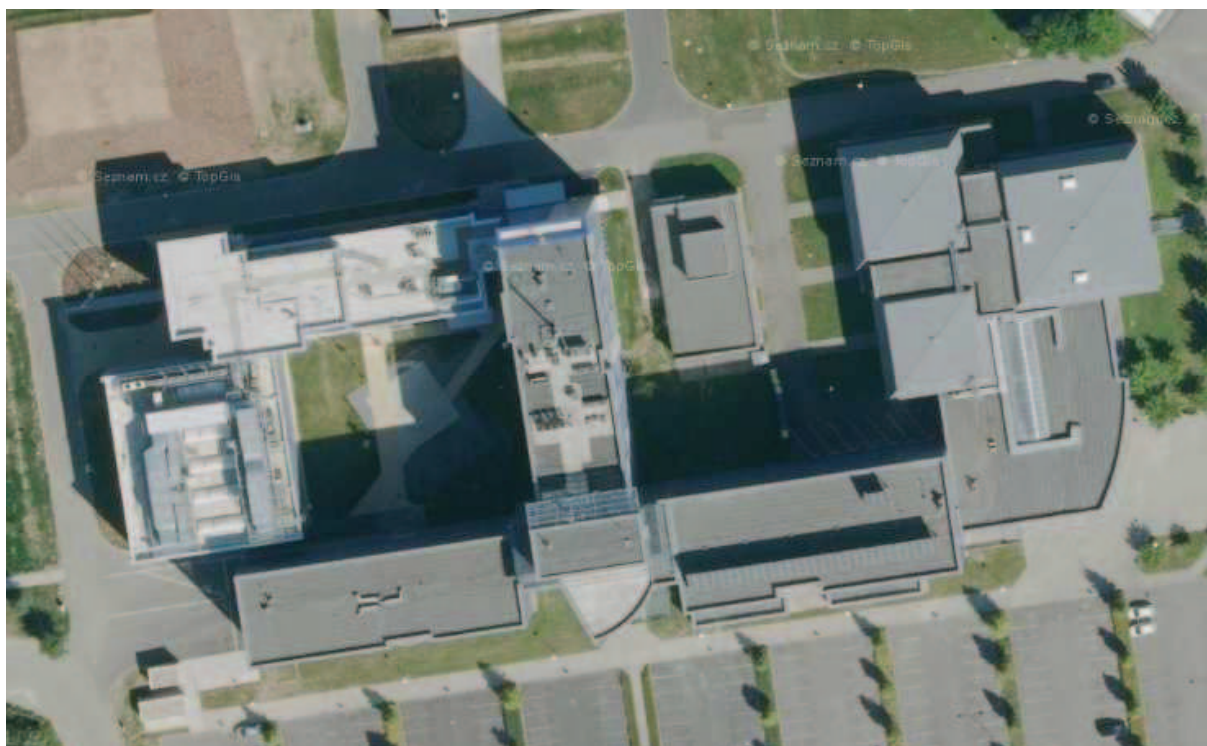
- [22] ČSN 73 0580-1. *Denní osvětlení budov: Část 1: Základní požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [23] ČSN 36 0011-3. *Měření osvětlení prostorů: Část 3: Měření umělého osvětlení vnitřních prostorů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [24] [online]. [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: maps.google.com
- [25] [online]. [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: mapy.cz
- [26] Cena 1kW elektřiny (aktuálně). *Energie123* [online]. [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <https://www.energie123.cz/elektrina/ceny-elektricke-energie/cena-1-kwh/>
- [27] MODUS LLX 2x36 W hliník, nízké. In: *Modus* [online]. [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <http://www.modus.cz/modus-llx-2x36-w-hlinik-nizke>
- [28] MODUS AREL, 2x LED , obdélník,1200mm, mřížka AL, přisazené/závěsné, LED 840, NONSELV 350mA, nestmívatelný. In: *Modus.cz* [online]. [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <http://www.modus.cz/modus-arel-2x-led-obdelnik1200mm-aldp+-omega-profil-prisazene/zavesne-4000k-zdroj-1400ma-nestmivatelny/>
- [29] MODUS LLL, 2x LED , 1200mm, mřížka MAT DP, přisazené, LED 840, NONSELV 250mA. In: *Modus.cz* [online]. [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <http://www.modus.cz/modus-lll-2x-led-1200mm-nizke-matdp+-omega-profil-prisazene-4000k-nonselv-230ma/>
- [30] OSRAM lumilux L 36W/840 G13. In: *Žárovky* [online]. [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <https://www.zarovky.cz/osram-lumilux-l-36w-840-g13/>
- [31] RYBÁR, Peter a Olga PARADEISEROVÁ. *Kurz osvětlovací techniky XI: Výpočet denního osvětlení*. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Česká společnost pro osvětlování - regionální skupina Ostrava, 1995.
- [32] RAKOVÁ, Lenka. *Přednášky z předmětu Elektrické světlo*. 2016.
- [33] Žářivky jsou nebezpečný odpad. Pozor na zdravotní rizika při rozbití! Enviweb [online]. 2012 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/90850>
- [34] Po žárkách umírají už i trubicové žářivky. Enviweb [online]. 2010 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/83403>

- [35] ŠURKALA, Milan. Emise CO₂ u elektromobilů: Tesla horší než BMW?. Světmobilně [online]. 2016 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.svetmobilne.cz/emise-co2-u-elektromobilu-tesla-horsi-nez-bmw/4645-2>
- [36] Národní energetický mix. OTE [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.ote-cr.cz/statistika/narodni-energeticky-mix/narodni-energeticky-mix>

Seznam příloh

- Příloha č. 1: Letecká mapa Fakulty elektrotechnické ZČU před a po postavení budovy RICE
- Příloha č. 2: Naměřené hodnoty denní osvětlenosti v místnosti A
- Příloha č. 3: Naměřené hodnoty denní osvětlenosti v místnosti B
- Příloha č. 4: Naměřené hodnoty denní osvětlenosti v místnosti C
- Příloha č. 5: 3D simulace denního osvětlení v místnosti A
- Příloha č. 6: 3D simulace umělého osvětlení v místnosti A
- Příloha č. 7: 3D simulace denního osvětlení v místnosti B
- Příloha č. 8: 3D simulace denního osvětlení v místnosti C
- Příloha č. 9: Fotografie místnosti A
- Příloha č. 10: Fotografie místnosti B
- Příloha č. 11: Fotografie místnosti C
- Příloha č. 12: Použité měřicí přístroje
- Příloha č. 13: Technické parametry svítidla LLX236AL
- Příloha č. 14: Technické parametry svítidla LLL3000RM2KVM4ND
- Příloha č. 15: Technické parametry svítidla AREL4000RM2KV
- Příloha č. 16: Daniljukovy diagramy pro řez a pro půdorys

Příloha č. 1: Letecká mapa Fakulty elektrotechnické ZČU před a po postavení budovy RICE



Příloha č. 2: Naměřené hodnoty denní osvětlenosti v místnosti A

Hodnoty vnitřní a venkovní osvětlenosti v kontrolních bodech v (lx)							
		1. sloupec	2. sloupec	3. sloupec	4. sloupec	5. sloupec	6. sloupec
1. řada	Uvnitř	110	40	28	23	19	15
	Venku	2950	3190	3110	2960	3110	3170
2. řada	Uvnitř	277	82	38	25	23	18
	Venku	4050	4500	3470	3610	3590	3350
3. řada	Uvnitř	296	93	53	38	28	21
	Venku	4150	4360	3510	4660	4720	4760
4. řada	Uvnitř	358	128	76	49	30	27
	Venku	5640	5525	4830	4910	4640	4660
5. řada	Uvnitř	440	217	110	68	45	35
	Venku	5220	6240	6270	7910	7890	7410
6. řada	Uvnitř	477	170	108	60	40	31
	Venku	5130	5670	4910	7440	7370	7540

Příloha č. 3: Naměřené hodnoty denní osvětlenosti v místnosti B

Hodnoty vnitřní a venkovní osvětlenosti v okolí pracovního stolu v(lx)						
		1. sloupec	2. sloupec	3. sloupec	4. sloupec	5. sloupec
1. řada	Venku	Skříňka	4052	4078	Tiskárna	
	Uvnitř		520	470		
2. řada	Venku		4983	4021		
	Uvnitř		406	520		
3. řada	Venku	3975	3971	3979	Pracovní stůl	
	Uvnitř	329	325	351		
4. řada	Venku	3994	4008	4029		
	Uvnitř	256	262	205		
5. řada	Venku	4093	4173	4211		
	Uvnitř	237	244	250		
6. řada	Venku	4251	4292	4325		
	Uvnitř	224	206	189		
7. řada	Venku	4383	4382	4497		
	Uvnitř	178	176	162		
8. řada	Venku	4515	4525	4541	4543	4536
	Uvnitř	129	136	117	105	106
9. řada	Venku	4523	4494	4472	4457	4433
	Uvnitř	102	98	96	88	80
10. řada	Venku	4384	4351	4312	4260	4223
	Uvnitř	81	65	73	83	75

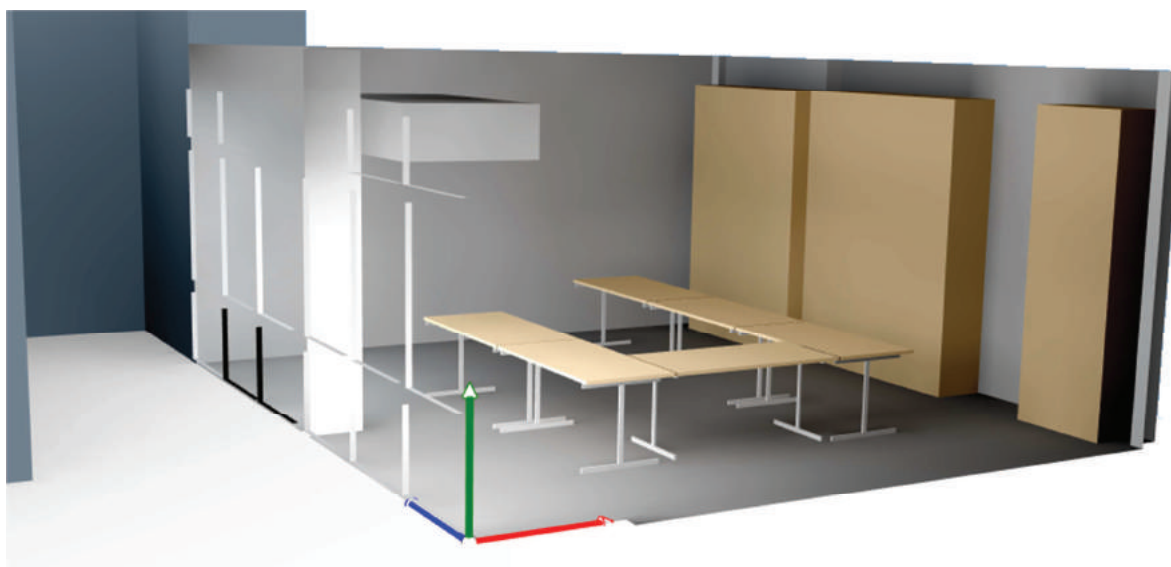
Pracovní stůl				
		1. sloupec	2. sloupec	3. sloupec
1. řada	Venku	5772	5853	5954
	Uvnitř	376	444	504
2. řada	Venku	5572	5629	5696
	Uvnitř	340	430	421
3. řada	Venku	5339	5447	5502
	Uvnitř	277	306	366
4. řada	Venku	5169	5205	5696
	Uvnitř	269	260	296
5. řada	Venku	4952	5044	5110
	Uvnitř	253	268	285
6. řada	Venku	4876	4806	4917
	Uvnitř	191	189	205
7. řada	Venku	4779	4661	4804
	Uvnitř	171	187	194

Příloha č. 4: Naměřené hodnoty denní osvětlenosti v místnosti C

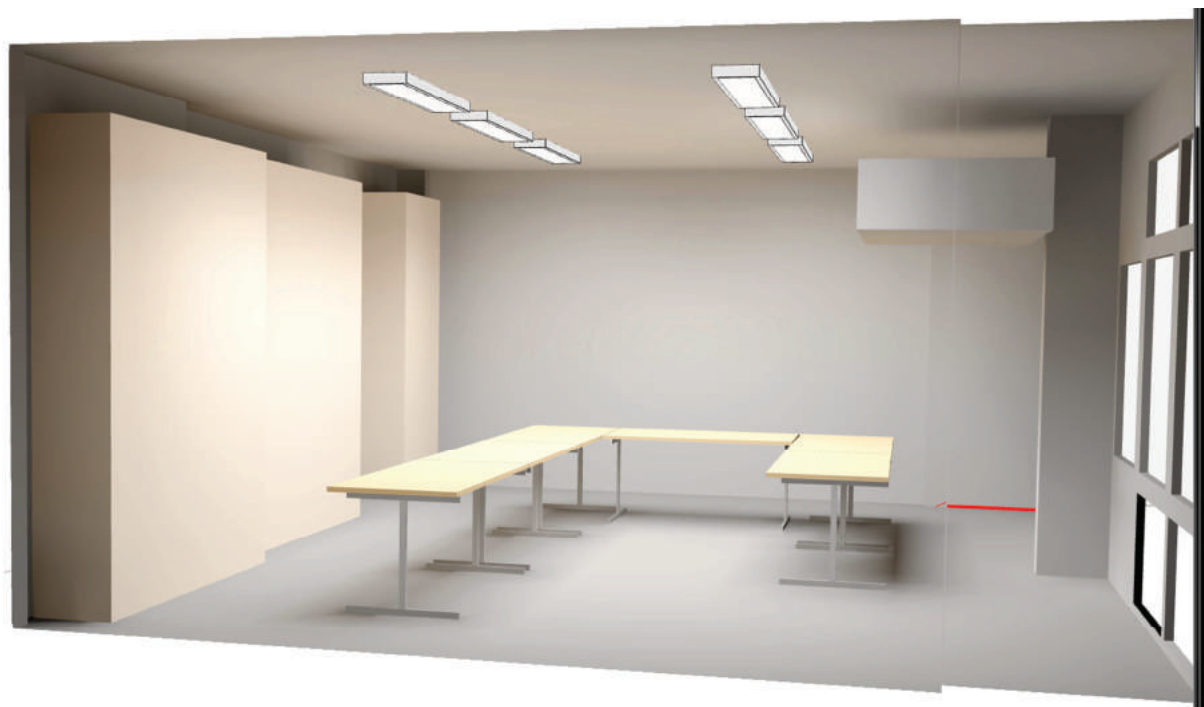
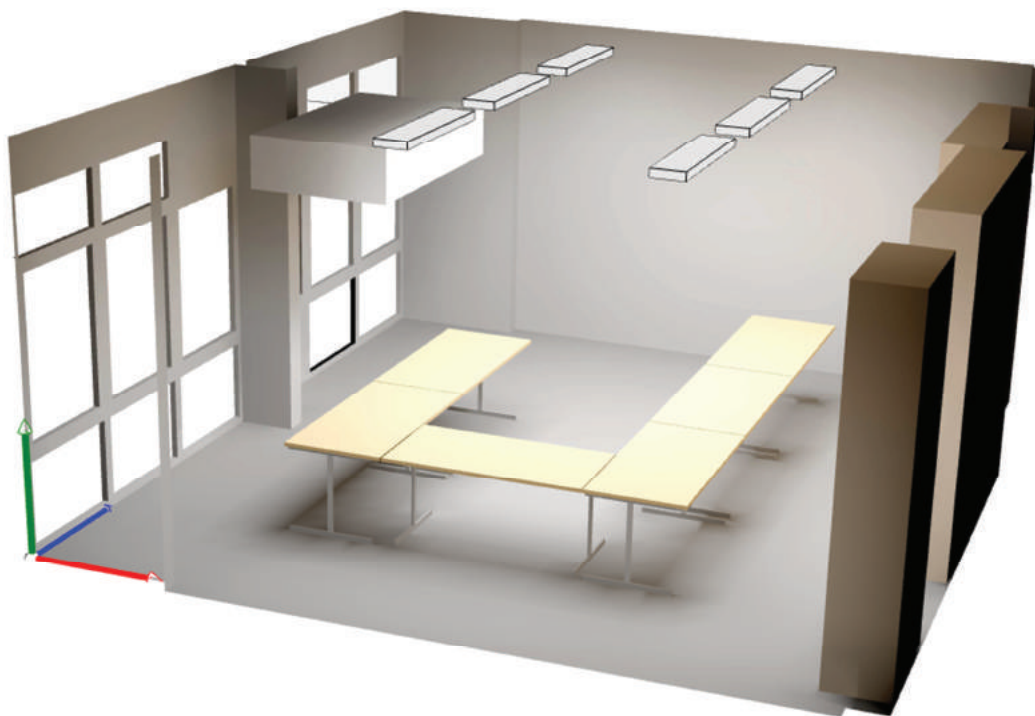
Hodnoty vnitřní a venkovní osvětlenosti v kontrolních bodech v (lx)																		
	1. sloupec		2. sloupec		3. sloupec		4. sloupec		5. sloupec		6. sloupec		7. sloupec					
	Venku	Uvnitř	Venku	Uvnitř	Venku	Uvnitř	Venku	Uvnitř	Venku	Uvnitř	Venku	Uvnitř	Venku	Uvnitř				
1. řada	SCHODIŠTĚ ↓						↑ SCHODIŠTĚ						17602	1150	18157	1532	18412	2040
2. řada													19670	1460	19547	1941	19877	2410
3. řada													19942	1455	19876	2060	19882	2310
4. řada													19804	1583	19618	1910	19407	2280
5. řada													19204	1615	19052	1852	18960	2160
6. řada													18631	1596	18534	1969	18352	2410
7. řada													18118	1637	17907	1743	17696	570
8. řada													17446	1395	17311	1505	17137	2150
9. řada	9022	86	8396	121	8475	123	SLOUP		16943	1159	16671	1680	16684	2120				
10. řada	8651	113	8371	155	8564	190	8871	369	16584	1059	16342	1518	16320	1832				
11. řada	8474	101	8426	132	8681	168	9021	279	16249	901	16940	1052	15793	1190				
12. řada	KANCELÁŘE						15943	987	15912	626	15717	314						
13. řada							15442	363	15155	376	14549	241						
14. řada							14112	285	13769	232	13244	184						
15. řada							10331	156	10250	122	10104	110						

SCHODIŠTĚ ↑						
	1. sloupec		2. sloupec		3. sloupec	
	Venku	Uvnitř	Venku	Uvnitř	Venku	Uvnitř
1. řada	9933	60	10303	55	10656	45
2. řada	11344	50	11709	46	11991	42
3. řada	12224	45	12723	42	13041	38
4. řada	13472	44	13708	41	13914	36
5. řada	14170	53	14445	72	14592	160
6. řada	14692	95	14417	150	14724	254

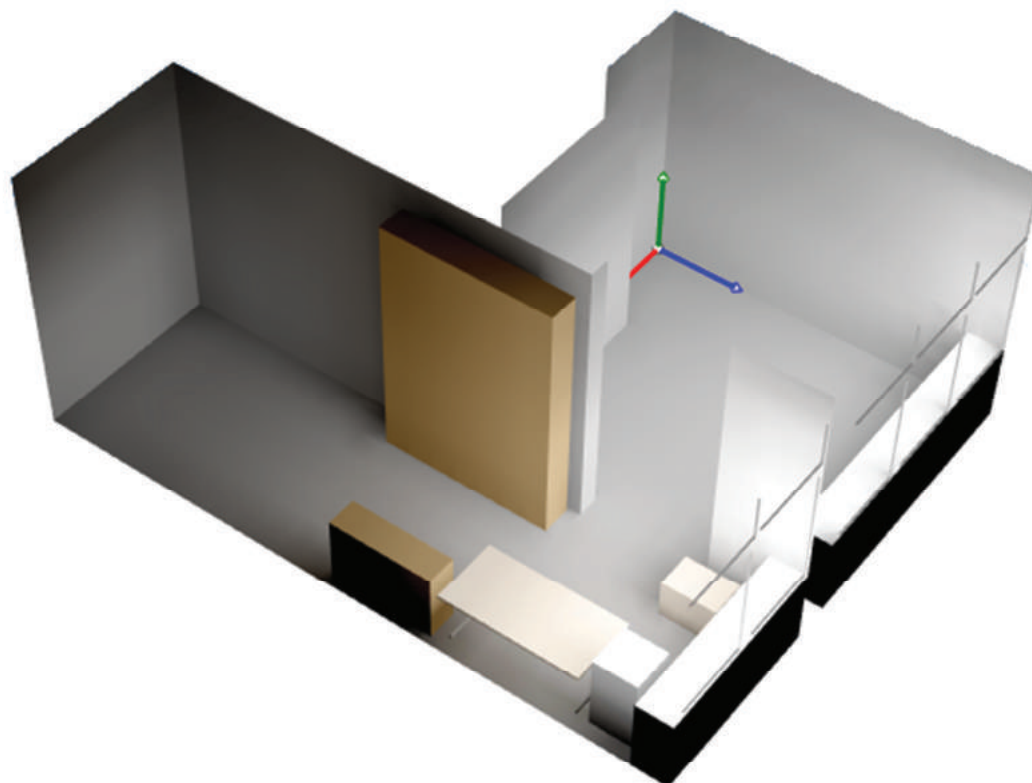
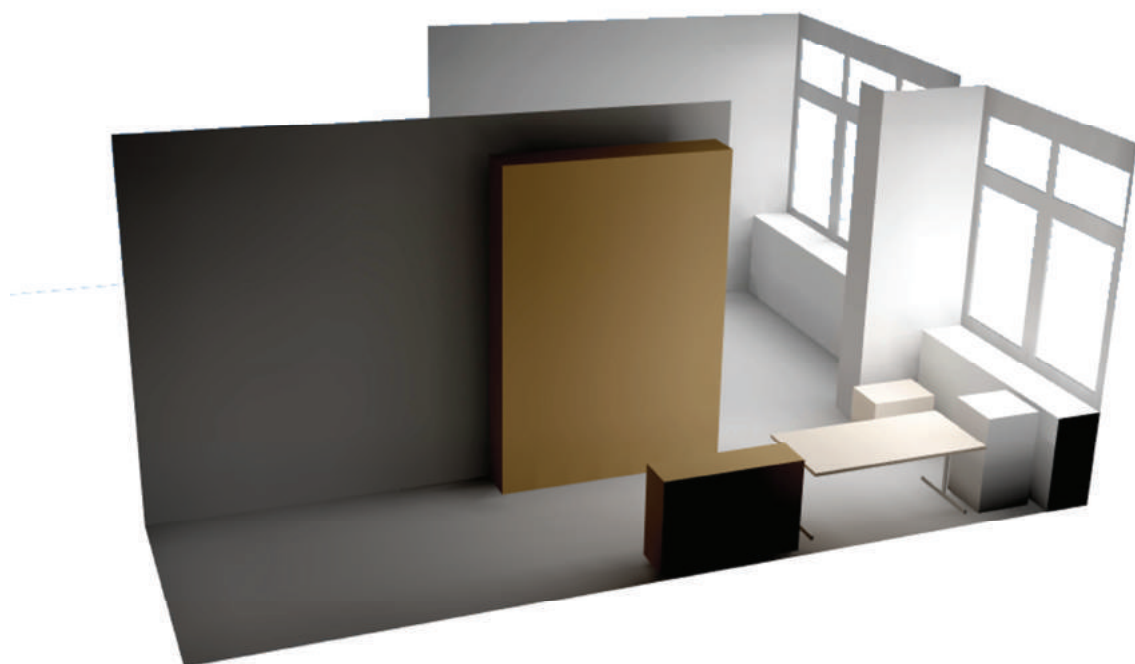
Příloha č. 5: 3D simulace denního osvětlení v místnosti A



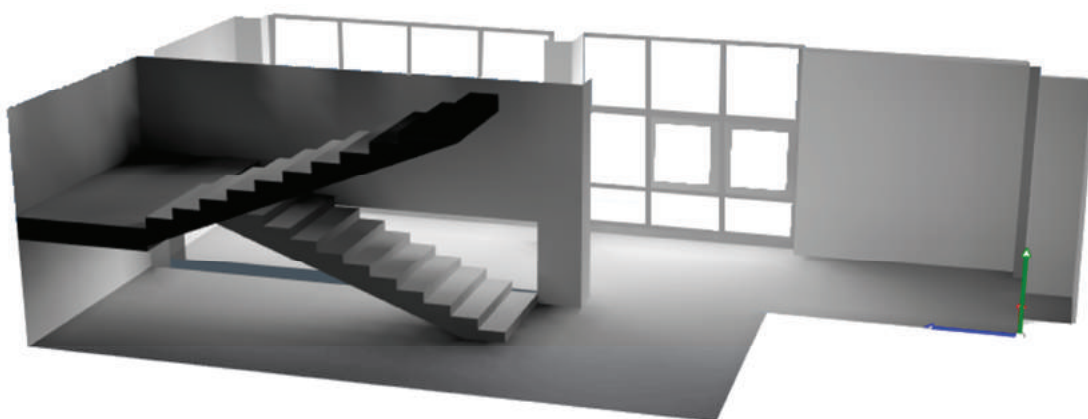
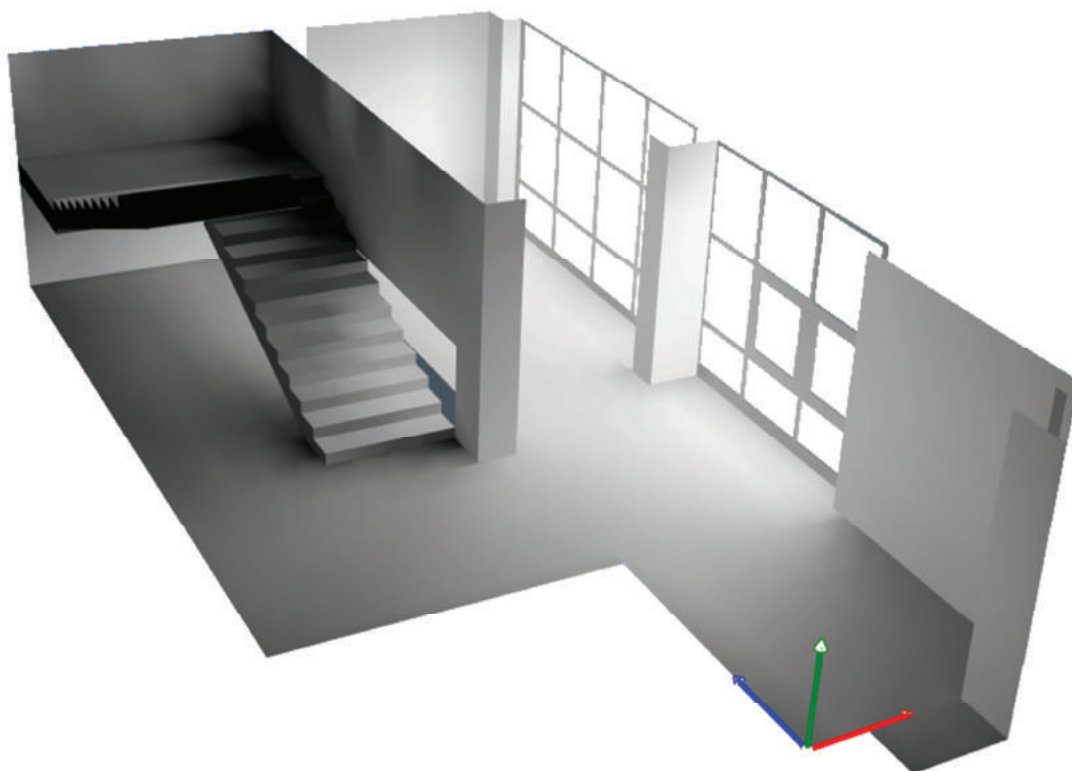
Příloha č. 6: 3D simulace umělého osvětlení v místnosti A



Příloha č. 7: 3D simulace denního osvětlení v místnosti B



Příloha č. 8: 3D simulace denního osvětlení v místnosti C



Příloha č. 9: Fotografie místnosti A



Příloha č. 10: Fotografie místnosti B



Příloha č. 11: Fotografie místnosti C



Příloha č. 12: Použité měřicí přístroje



Příloha č. 13: Technické parametry svítidla LLX236AL**MODUS LLX236AL**

Zářivkové, AL lešt. mříž, přisazené, elektronický předř.

**Technické**

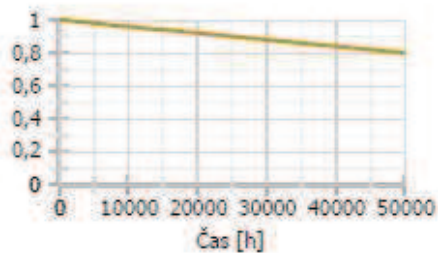
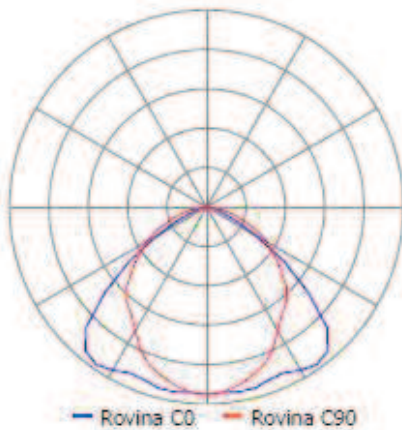
Krytí IP	IP 20
Blok ElProCADu	L146
Přepočítací koeficient	1,00
Maximální svítivost	244 cd/klm
Elektronický předřadník	Ano
Účinnost	60,0 %
Vypočítaná účinnost	64,6 %
CIE Flux Code	52 86 98 100 65
Symetrie svítidla	Symetrické podle rovin C0 a C90

Rozměry

Šířka x Hloubka x Výška	1260 x 266 x 65 mm
Svíticí plocha Šířka x Hloubka x Výška	1235 x 210 x 0 mm
Závěsná výška	65,0 mm

Světelné zdroje

2x 20 W, 2640 lm, Ra 85, 3000K

Označení svítidla : Y

Příloha č. 14: Technické parametry svítidla LLL3000RM2KVM4ND

MODUS LLL3000RM2KVM

Závěsné/přisazené, LED svítidlo, matná AL mřížka



 MODUS
**Technické**

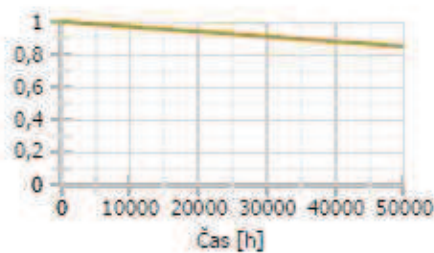
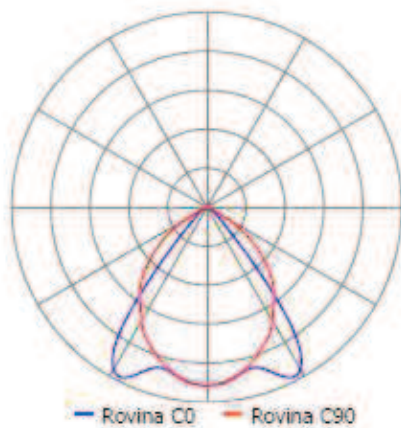
Krytí IP	IP 20
Přepočítací koeficient	1,00
Maximální svítivost	616 cd/klm
Elektronický předřadník	Ano
Účinnost	100,0 %
Vypočítaná účinnost	100,0 %
CIE Flux Code	75 98 100 100 100
Poměr toku do dolního poloprostoru	100
Symetrie svítidla	Symetrické podle rovin C0 a C90

Rozměry

Šířka x Hloubka x Výška	1210 x 238 x 52 mm
Svítilicí plocha Šířka x Hloubka x Výška	1185 x 185 x 0 mm
Závěsná výška	52,0 mm

Světelné zdroje

1x 26 W, 3300 lm, Ra 80, 4000K

Označení svítidla : _

Příloha č. 15: Technické parametry svítidla AREL4000RM2KV

MODUS AREL4000RM2KV
Závěsné/přisazené, LED svítidlo, leštěná AL mřížka



Technické

Krytí IP	IP 20
Přepočítací koeficient	1,00
Maximální svítivost	749 cd/klm
Elektronický předřadník	Ano
Účinnost	100,0 %
Vypočítaná účinnost	100,0 %
CIE Flux Code	78 99 100 100 100
Poměr toku do dolního poloprostoru	100
Symetrie svítidla	Symetrické podle rovin C0 a C90

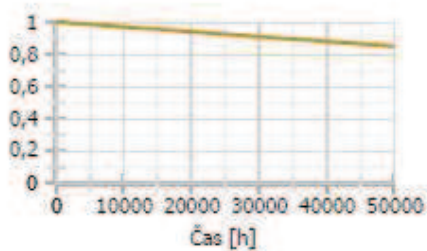
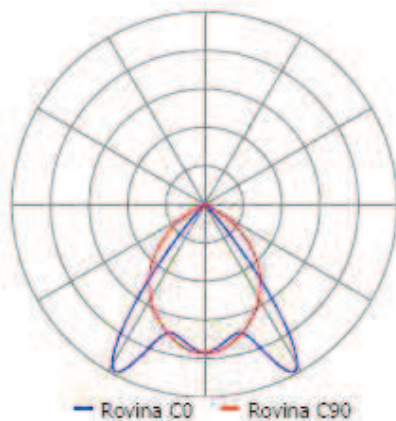
Rozměry

Šířka x Hloubka x Výška	1245 x 245 x 55 mm
Svitící plocha Šířka x Hloubka x Výška	1185 x 185 x 0 mm
Závěsná výška	55,0 mm

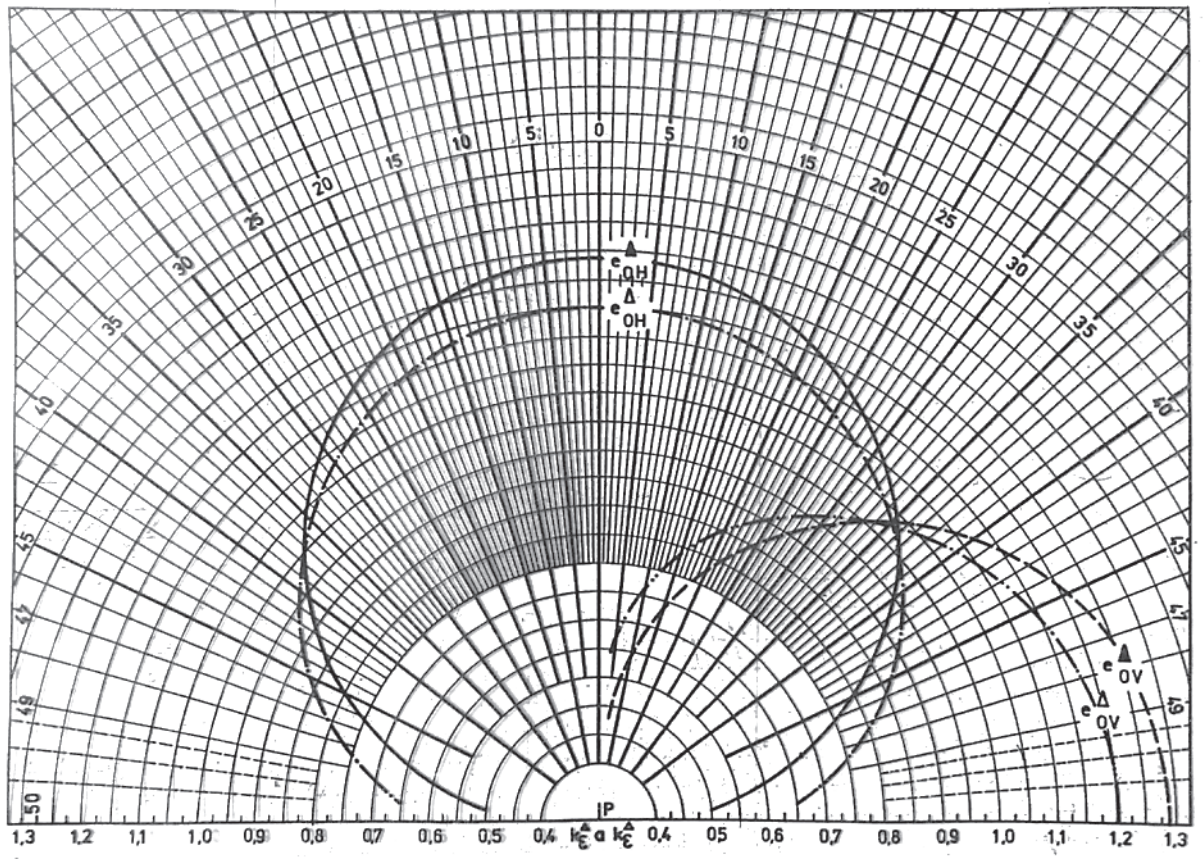
Světelné zdroje

1x 39 W, 4100 lm, Ra 80, 4000K

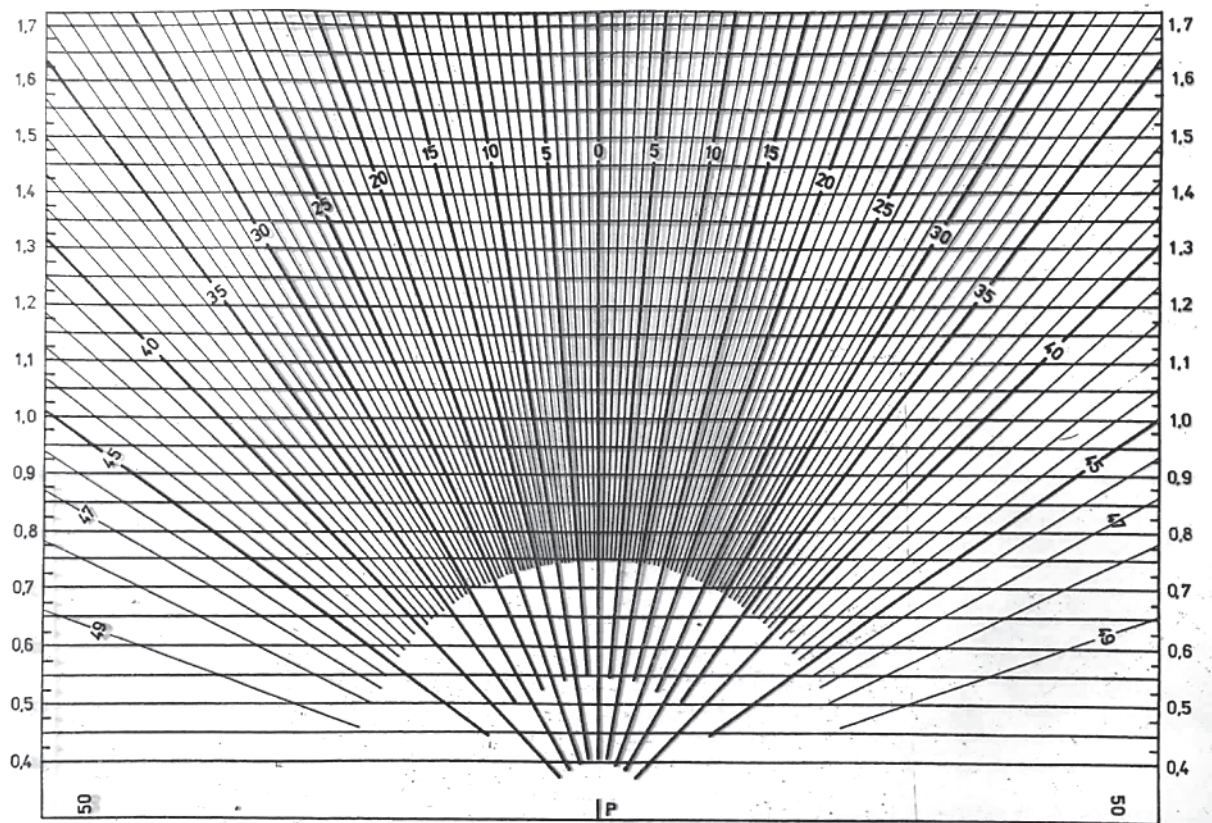
Označení svítidla : Z



Příloha č. 16: Daniljukovy diagramy pro řez a pro půdorys



P I DANILJUKOVA UHLOVÁ SIŤ PRE REZ MIESTNOSTI



P II DANILJUKOVA UHLOVÁ SIŤ PRE PŮDORYS MIESTNOSTI