

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra energetiky a technické ekologie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Realizace umělého osvětlení v moderní posluchárně

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Ondřej MACHATÝ**
Osobní číslo: **E15N0109P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektroenergetika**
Název tématu: **Realizace umělého osvětlení v moderní posluchárně**
Zadávající 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 :

Zhodnoťte stávající umělé osvětlení posluchárny v nově postavené univerzitní budově ZČU NTIS a navrhňte možná vylepšení s ohledem na světelnou pohodu osob zde přednášejících a studujících při respektování příslušných norem.

1. Stručně popište příslušnou teorii denního, sdruženého a umělého osvětlení včetně odpovídajících veličin a norem.
2. Naznačte problematiku osvětlování interiéru budov (konstrukční prvky, svítidla, uvažované světelné zdroje).
3. Posuďte současný stav osvětlovací soustavy použité v moderní posluchárně měřeními a počítačovou simulací ve vhodném simulačním programu.
4. Uveďte možná vylepšení s ohledem na světelnou pohodu přítomných osob.
5. Porovnejte nově navržené možnosti osvětlení s osvětlením původním a zhodnoťte technické a ekonomické aspekty zvoleného řešení.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 40 - 60 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

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

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Oldřich Kroupa, Ph.D.

Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce:

14. října 2016

Termín odevzdání diplomové práce:

19. května 2017

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



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

V Plzni dne 14. října 2016

Anotace

Tato práce se zaměřuje na zhodnocení stávajícího umělého osvětlení v moderní posluchárně a dále k návrhu nového systému osvětlení s ohledem na možné zlepšení. Práce je rozdělena do pěti bodů. V prvním bodě práce je uvedena příslušná teorie týkající se světelně technických veličin a jednotlivých druhů osvětlení. Ve druhém bodě je řešena problematika osvětlování interiérů budov. Ve třetím bodě je posouzen současný stav osvětlovací soustavy moderní posluchárny z hlediska měření a počítačové simulace v programu DIALux. Ve čtvrtém bodě jsou uvedené možné vylepšení. V posledním bodě je provedené porovnání variant osvětlení a jejich technicko-ekonomické zhodnocení.

Klíčová slova

Umělé osvětlení, sdružené osvětlení, denní osvětlení, posluchárna, svítidlo, zdroj, návrh, ekonomické zhodnocení.

Abstract

This paper is concerned with the evaluation of the existing lighting in the modern auditorium and further to the proposal of a new lighting system with regard to possible improvement. The work is divided into five points. The first section presents the relevant theory of different kinds of lighting. The lighting issue of building interiors is presented in the second point. The current state of the lighting system is assessed in the third section, into this part falls the measurement and computer simulation. The possible improvements are listed in the fourth point. The comparison of lighting variations and their technical-economic evaluation is done in the last point.

Key words

Artificial lighting, associated lighting, daylighting, auditorium, lighting, source, design, economic evaluation.

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 17.5.2017

Ondřej Machatý

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Oldřichu Kroupovi, Ph. D. za cenné rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Lence Rakové, Ph. D. za cenné profesionální rady a konzultace. V neposlední řadě bych také rád poděkoval své rodině za podporu a trpělivost během mého studia.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	11
ÚVOD	13
1 UVEDENÍ DO PROBLEMATIKY	14
1.1 ZÁKLADNÍ FOTOMETRICKÉ VELIČINY A JEDNOTKY.....	14
1.1.1 Světelný tok Φ	14
1.1.2 Prostorový úhel Ω	15
1.1.3 Svítivost I	15
1.1.4 Osvětlenost E	16
1.1.5 Jas svazku světelných paprsků L	16
1.1.6 Světlení M	16
1.2 DENNÍ OSVĚTLENÍ	16
1.2.1 Činitel denní osvětlenosti	17
1.3 UMĚLÉ OSVĚTLENÍ	18
1.4 SDRUŽENÉ OSVĚTLENÍ.....	19
1.5 KVALITATIVNÍ A KVANTITATIVNÍ PARAMETRY OSVĚTLENÍ.....	19
1.5.1 Udržovaná osvětlenost	20
1.5.2 Oslnění	21
1.5.3 Rovnoměrnost osvětlení.....	22
1.5.4 Podání barev a chromatičnost světla.....	22
1.5.5 Směrovost světla a stínění	23
1.5.6 Stálost osvětlení	24
1.5.7 Rozložení jasu	24
1.5.8 Normy týkající se denního osvětlení.....	25
2 PROBLEMATIKA OSVĚTLOVÁNÍ INTERIÉRŮ BUDOV	27
2.1 SVĚTELNÉ ZDROJE.....	27
2.1.2 Žárovky.....	28
2.1.3 Halogenidové žárovky.....	29
2.1.4 Světelné zdroje výbojkové vysokotlaké.....	30
2.1.5 Nízkotlaké výbojky.....	33
2.1.6 Luminiscenční zdroje	35
2.2 SVÍTIDLA	36
2.3 ROZDĚLENÍ SVÍTIDEL.....	36
2.4 OSVĚTLOVÁNÍ INTERIÉRŮ BUDOV	39
2.4.1 Osvětlování kanceláří a učeben.....	41
3 POSLUCHÁRNA US-217	43
3.1 VLASTNÍ POSLUCHÁRNA	43
3.2 PŮVODNÍ OSVĚTLENÍ POSLUCHÁRNY	45
3.2.1 Hlavní osvětlovací soustava	45
3.2.2 Soustava dekorativního osvětlení.....	46

3.3	PROMĚŘENÍ UMĚLÉHO OSVĚTLENÍ POSLUCHÁRNY	47
3.3.1	<i>Orientační měření</i>	47
3.3.2	<i>Proměření kompletního umělého osvětlení v US-217</i>	49
3.4	SIMULACE UMĚLÉHO OSVĚTLENÍ V PROGRAMU DIALUX	51
3.4.1	<i>Určení udržovacího činitele původní osvětlovací soustavy.....</i>	52
3.4.2	<i>Zpracování pracovních rovin</i>	52
3.4.3	<i>Zpracování výpočtových rovin rušivého oslnění UGR.....</i>	53
3.5	VÝSTUPY ZE SIMULACE A MĚŘENÍ UMĚLÉHO OSVĚTLENÍ V US-217	54
3.6	POROVNÁNÍ VÝSTUPŮ Z BUILDINGDESIGNU A DIALUXU	58
3.6.1	<i>Výstupy z porovnání výpočetních programů a orientačního měření</i>	60
4	NOVĚ NAVRŽENÁ OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVA	64
4.1	ZVOLENÁ SVÍTIDLA	64
4.1.1	<i>Určení udržovacího činitele nově navržené osvětlovací soustavy.....</i>	67
4.1.2	<i>Výstupy simulace nově navržené osvětlovací soustavy.....</i>	68
5	DENNÍ OSVĚTLENÍ.....	71
5.1.1	<i>Rozmístění ploch pro výpočet koeficientu denního osvětlení</i>	71
5.1.2	<i>Rozmístění a velikost oken.....</i>	72
5.1.3	<i>Výstupy ze simulace denního osvětlení z výpočetních programů</i>	73
6	NOUZOVÉ OSVĚTLENÍ	77
6.1.1	<i>Svítlidla nouzového osvětlení v US-217</i>	78
6.1.2	<i>Provedení únikových cest</i>	80
6.1.3	<i>Nově navržená soustava nouzového osvětlení</i>	81
7	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ OSVĚTLOVACÍCH SOUSTAV.....	84
7.1.1	<i>Ceny svítidel původní osvětlovací soustavy.....</i>	84
7.1.2	<i>Ceny svítidel nově navržené osvětlovací soustavy</i>	84
7.2	VÝPOČET PRO PŮVODNÍ OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVU:.....	85
7.2.1	<i>Celkový instalovaný příkon svítidel KANNAL a TAMARA</i>	85
7.2.2	<i>Celkové pořizovací náklady.....</i>	85
7.2.3	<i>Spotřebovaná energie za rok</i>	85
7.2.4	<i>Náklady na energii za rok.....</i>	86
7.2.5	<i>Poměrná životnost zdrojů za rok</i>	86
7.2.6	<i>Poměrné náklady na zdroje za rok.....</i>	87
7.2.7	<i>Celkové náklady na výměnu zdrojů za rok</i>	87
7.2.8	<i>Celkové náklady na provoz za rok</i>	87
7.2.9	<i>Celkové náklady po deseti letech</i>	88
7.3	VÝPOČET PRO NOVĚ NAVRŽENOU OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVU.....	88
7.3.1	<i>Celkový instalovaný příkon svítidel Zumtobel.....</i>	88
7.3.2	<i>Celkové pořizovací náklady.....</i>	88
7.3.3	<i>Spotřebovaná energie za rok</i>	89
7.3.4	<i>Náklady na energii za rok.....</i>	89
7.3.5	<i>Poměrná životnost zdrojů za rok</i>	89
7.3.6	<i>Celkové náklady na zdroje za rok a výměnu zdrojů za rok</i>	89
7.3.7	<i>Celkové náklady na provoz za rok</i>	89

7.3.8	<i>Celkové náklady po deseti letech</i>	89
7.4	VÝPOČET EKONOMICKÉHO ZHODNOCENÍ V PŘÍPADĚ NIŽŠÍHO VYUŽITÍ POSLUCHÁRNY	92
7.4.1	<i>Celkový instalovaný příkon svítidel KANNAL a TAMARA</i>	92
7.4.2	<i>Celkové pořizovací náklady</i>	93
7.4.3	<i>Spotřebovaná energie za rok</i>	93
7.4.4	<i>Náklady na energii za rok</i>	93
7.4.5	<i>Poměrná životnost zdrojů za rok</i>	93
7.4.6	<i>Poměrné náklady na zdroje za rok</i>	93
7.4.7	<i>Celkové náklady na výměnu zdrojů za rok</i>	93
7.4.8	<i>Celkové náklady na provoz za rok</i>	94
7.4.9	<i>Celkové náklady po deseti letech</i>	94
7.4.10	<i>Celkový instalovaný příkon svítidel Zumtobel</i>	94
7.4.11	<i>Celkové pořizovací náklady</i>	94
7.4.12	<i>Spotřebovaná energie za rok</i>	94
7.4.13	<i>Náklady na energii za rok</i>	95
7.4.14	<i>Poměrná životnost zdrojů za rok</i>	95
7.4.15	<i>Celkové náklady na provoz za rok</i>	95
7.4.16	<i>Celkové náklady po deseti letech</i>	95
8	ZÁVĚR	97
	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	98
	SEZNAM OBRÁZKŮ	101
	SEZNAM TABULEK	102
	SEZNAM ROVNIC	102
	SEZNAM PŘÍLOH	103
	SEZNAM PŘÍLOH POUZE V ELEKTRONICKÉ PODOBĚ	103

Seznam symbolů a zkratek

Φ	světelný tok (lm)
λ	vlnová délka (nm)
Φ_e	zářivý tok ($W \cdot m^{-1}$)
$K(\lambda)$	světelná účinnost monochromatického záření ($lm \cdot W^{-1}$)
$V(\lambda)$	poměrná světelná účinnost (-)
Ω	prostorový úhel (sr)
I_γ	svítivost (cd)
L_γ	jas svazku světelných paprsků L ($cd \cdot m^{-2}$)
M	světlení ($lm \cdot m^{-2}$)
D_o	rovnoměrnost denního osvětlení (-)
D_m	průměrný činitel denního osvětlení (%)
D_{min}	minimální činitel denního osvětlení (%)
E_m	udržovaná osvětlenost (lx)
E_{min}	minimální osvětlenost (lx)
R_a	index podání barev (-)
T_c	teplota chromatičnosti (K)
U_o	rovnoměrnost osvětlení (-)
UGR_L	činitel rušivého oslnění (-)
<i>osv</i>	osvětlení
<i>ref</i>	referenční
<i>svít</i>	svítidlo
<i>r</i>	poloměr (m)
<i>zdr</i>	zdroj
<i>A</i>	plocha (m^2)
<i>IP</i>	stupeň krytí
<i>LLWF</i>	činitel světelného toku
<i>LWF</i>	činitel svítidla

RMF	.....	činitel prostoru
LLF	.....	činitel životnosti světleného zdroje
MF	.....	udržovací činitel
LED	.....	dióda emitující světlo
N_p	.....	cena svítidla (Kč)
N_z	.....	cena zdroje (Kč)
N_s	.....	cena instalace svítidla (Kč)
n	.....	počet svítidel (-)
n_z	.....	počet zdrojů ve svítidle (-)
I_n	.....	investice do osvětlovací soustavy (Kč)
P_C	.....	celkový instalovaný příkon (kW)
P	.....	příkon svítidla (W)
t_d	.....	denní provoz soustavy (h)
t_r	.....	roční provoz soustavy (d)
E_{spotr}	.....	spotřebovaná elektrická energie za rok (kWh)
$N_{n/r}$	.....	náklady na energii za rok (Kč)
N_E	.....	cena za jenu kWh (Kč)
t_z	.....	životnost zdroje svítidla (h)
t_{pz}	.....	poměrná životnost zdroje/rok (-)
$N_{z/r}$	.....	poměrné náklady na zdroje/rok (Kč)
$N_{vz/r}$	.....	celkové náklady na výměnu zdrojů za rok (Kč)
N_{vzs}	.....	náklady na výměnu zdroje ve svítidle (Kč)
$N_{prov/r}$	.....	celkové náklady na provoz za rok (Kč/rok)
$N_{celk_prov/r}$	.....	celkové náklady za rok pro obě osvětlovací soustavy (Kč)
$N_{celk/10r}$	.....	celkové náklady za 10 let (Kč)
$N_{celk_nakl/10r}$	.....	celkové náklady za 10 let pro obě osvětlovací soustavy (Kč)

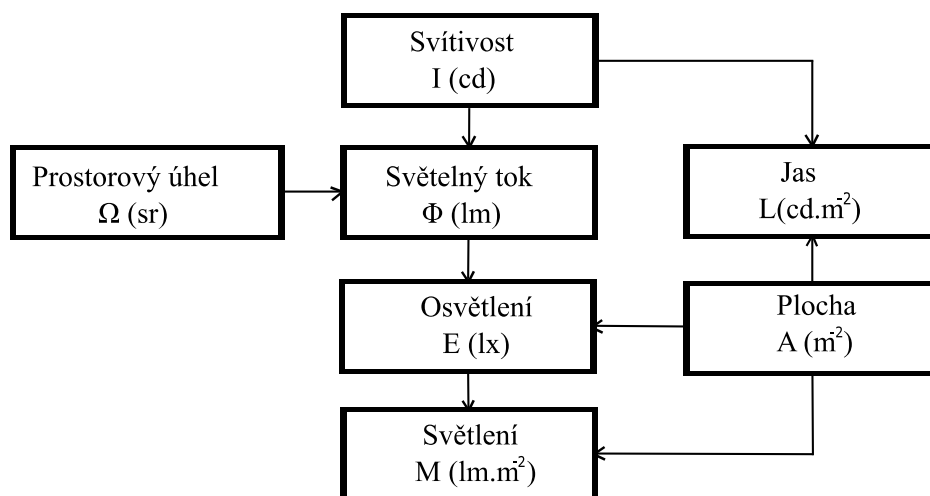
Úvod

Předkládaná práce se zabývá problematikou vnitřního osvětlování budov ve stanoveném školním objektu. Práce je zaměřena na zhodnocení stávajícího stavu osvětlovací soustavy v moderní posluchárně a dále na návrh nové osvětlovací soustavy s ohledem na možné zlepšení světelných parametrů. S rostoucími parametry osvětlení dochází ke zvyšování produktivity práce, poklesu únavy a v neposlední řadě také ke zvýšení bezpečnosti. Pro dosažení zrakového výkonu či zrakové pohody je zapotřebí dodržet kvalitativní a kvantitativní parametry, které předepisuje norma pro daný typ zrakové činnosti, popřípadě prostor, kde k této činnosti dochází. Hlavním cílem návrhu nové osvětlovací soustavy nebo úpravy stávající by mělo být vytvoření optimálních zrakových podmínek vedoucích k zrakové pohodě. Osvětlení v budovách a školních zařízeních musí vytvářet zdravé a příjemné prostředí, které vyhovuje technickým, hygienickým a estetickým požadavkům. Důležitá je také kvalita jednotlivých prvků osvětlovací soustavy, protože při použití kvalitních svítidel klesají náklady na jejich údržbu a případné opravy. V dnešní době se neustále zvyšují požadavky na kvalitu, komfort, ekologii, ekonomičnost a pořizovací náklady. Všechny uvedené nároky na osvětlovací soustavu se musí zohlednit při návrhu umělého, denního a nouzového osvětlení každé budovy či objektu.

1 Uvedení do problematiky

1.1 Základní fotometrické veličiny a jednotky

Lidský zrak nedokáže vnímat souhrnné působení světla za určitou dobu. Pro vidění není relevantní celkové množství světelné energie, jež bylo vyzářené zdroji za určitý čas. Rozhodující je výkon (zářivý tok zdrojů) a jeho prostorové rozdělení. U hodnocení kvality osvětlení se v osvětlovací technice jako prostředku podmiňujícího úroveň informace, která je přijímána zrakem, sledují důsledky působení záření na zrakový orgán a na zrakový vjem. Z tohoto důvodu se v osvětlovací technice neposuzují energetické veličiny jako např. zářivost, zářivý tok atd., ale pracuje se s veličinami a pojmy fotometrickými, které respektují proměnlivou citlivost oka pozorovatele k záření o různých vlnových délkách. Kvůli zajištění jednotnosti světelně technických výpočtů je počítáno s hodnotami spektrální citlivosti oka normálního fotometrického pozorovatele. [1] Přehledpoužívaných fotometrických veličin je na Obr.1.



Obr. 1: Soustava fotometrických veličin

1.1.1 Světelný tok Φ

Je světelně technická veličina, odpovídá zářivému toku a vyjadřuje schopnost zářivého toku vyvolat zrakový vjem. Světelný tok se udává v jednotce jeden lumen (lm). Světelný tok Φ monochromatického záření s vlnovou délkou λ a zářivým tokem Φ_e , se určí ze vztahu: [1]

$$\Phi(\lambda) = K(\lambda)\Phi_e(\lambda) = K_m V(\lambda)\Phi_e(\lambda) = 683V(\lambda)\Phi_e(\lambda) \quad (\text{lm}; \text{lm} \cdot \text{W}^{-1}, -, \text{W}). \quad (1-1)$$

Veličina $K(\lambda)$ ($\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$) je světelná účinnost monochromatického záření a je rovna poměru světelného toku a jemu příslušného zářivého toku. K_m je maximum veličiny $K(\lambda)$, které bylo stanoveno relativně přesnými měřeními a výpočty při fototypickém vidění pro případ normálního fotometrického pozorovatele a záření o základní vlnové délce $\lambda = \lambda_m = 555,155 \text{ nm}$ a činní $K_m = 683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$. [1] Poměrná světelná účinnost $V(\lambda)$ monochromatického záření se určí ze vztahu:

$$V(\lambda) = \frac{K(\lambda)}{K_m} = \frac{K(\lambda)}{683} \quad (-; \text{lm} \cdot \text{W}^{-1}, \text{lm} \cdot \text{W}^{-1}). \quad (1-2)$$

Z pohledu individuálního pozorovatele je výše uvedená veličina totožná s poměrnou spektrální citlivostí pozorovatele. [1]

1.1.2 Prostorový úhel Ω

Užívá se ve světelné technice, jako důležitá geometrická veličina. Jednotka prostorového úhlu je jeden steradián (sr). Velikost je určena velikostí plochy, která je vyřatá obecnou kuželovou plochou na povrch koule o jednotkovém poloměru, jejíž střed (vrchol prostorového úhlu) je identický s vrcholem uvažované kuželové plochy. [1] Prostorový úhel Ω , pod kterým je ze středu koule o poloměru r vidět plocha A , která je vyřatá na povrchu této koule. [1] Prostorový úhel se stanoví ze vztahu:

$$\Omega = \frac{A}{r^2} \quad (\text{sr}; \text{m}^2, \text{m}). \quad (1-3)$$

Prostorový úhel nabývá největší hodnoty $\Omega_{\max} = 4\pi$ pro plochu A , která je rovná povrchu koule, tj. $A = 4\pi r^2$. [1]

1.1.3 Svítivost I

Je prostorová hustota světelného toku. Jednotka svítivosti je kandela (cd). Svítivost I_γ bodového zdroje má směr určen úhlem γ a je rovna světelnému toku, který je obsažen v jednotkovém prostorovém úhlu. [1] Svítivost je definována následovně:

$$I_{\gamma} = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (\text{cd}; \text{lm}, \text{sr}). \quad (1-4)$$

1.1.4 Osvětlenost E

Intenzita osvětlení (osvětlenost E) rovinné plošky dA , tj. plošná hustota světelného toku $d\Phi$, který dopadl na plošku dA . Jednotkou osvětlenosti je jeden lux (lx). [1] Osvětlenost se určí ze vztahu:

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad (\text{lx}; \text{lm}, \text{m}^2). \quad (1-5)$$

1.1.5 Jas svazku světelných paprsků L

Tato veličina je vázána na určitý směr a je definována jako plošná a prostorová hustota světelného toku. Jednotkou jasu je kandela na metr čtvereční ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$). Na tuto veličinu reaguje zrakový orgán bezprostředně. [1] Je definována vztahem:

$$L_{\gamma} = \frac{d^2\Phi}{d\Omega_2 \cos \gamma dA_1} \quad (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}; \text{lm}, \text{m}^2, \text{sr}). \quad (1-6)$$

1.1.6 Světlení M

Veličina je definována jako plošná hustota světelného toku $d\Phi_v$, který je vyzařován z plochy dA . [1] Určí se ze vztahu:

$$M = \frac{d\Phi_v}{dA} \quad (\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}; \text{lm}, \text{m}^2). \quad (1-7)$$

1.2 Denní osvětlení

Denní osvětlení je chápáno jako přirozené osvětlení tvořené slunečním i oblohovým světlem. Světlo proniká do místnosti osvětlovacími otvory, buď osvětlovacími otvory v obvodovém plášti budovy - boční osvětlení, nebo osvětlovacími otvory umístěnými ve střeše - horní osvětlení, případně kombinace bočního a horního osvětlení - kombinované osvětlení. Osvětlení přírodním světlem se bere jak přímé, tak i odražené od vnitřních

a vnějších povrchů. Denní světlo se během dne a roku mění. U bočního osvětlení dochází k vytvoření specifického podání prostorových objektů a rozložení jasů, tento aspekt vede ke zrakové pohodě. Osvětlenost denním světlem se vyjadřuje činitelem denní osvětlenosti. Základní význam pro zrakovou pohodu má v případě denního osvětlení rozložení jasů ploch v zorném poli uživatele. Pokud jsou v jeho zorném poli značné jasové rozdíly, vzniká únava a dochází k pocitu světelného nepohodlí. Nejčastěji k tomu dochází u otvorů s přímým průhledem na oblohu, protože její jas je několikanásobně vyšší než jas pozorovaného předmětu. Z tohoto důvodu je nezbytné pamatovat na regulaci přímého denního světla. Ta je realizována pevnými nebo pohyblivými clonami. Mezi pevné clony patří: stříšky, lamely a markýzy, přičemž jejich montáž je na vnější straně oken. K pohyblivým clonám patří: rolety, žaluzie a závěsy, ty se umísťují na vnitřní stranu oken. Nepříznivým jevem denního osvětlení je oslnění, které vzniká odrazem světla od lesklých povrchů. Z tohoto důvodu se nedoporučuje jejich užití pro pracovní plochy (desky stolů) a povrchy podlah. [1]

1.2.1 Činitel denní osvětlenosti

V případě projektování osvětlovací soustavy je kromě charakteru objektu nutné znát úroveň a rovnoměrnost denního osvětlení, zda je hladina denní osvětlenosti dostatečná nebo bude potřeba použití umělého nebo sdruženého osvětlení. Požadavky na úroveň denního osvětlení jsou dány činitelem denní osvětlenosti. Ten je s ohledem na proměnnost denního světla udáván v poměrných jednotkách (procentech). Vypočítá se jako podíl osvětlenosti E srovnávací roviny v kontrolním bodě místnosti a srovnávací osvětlenosti E_h na necloněné horizontální venkovní rovině, viz rce. (1-8). Další možností výpočtu je součet tří složek činitele denní osvětlenosti, oblohovou D_s (%), vnější odraženou D_e (%) a vnitřní odraženou složku D_i (%). [1], [5]

$$D = \frac{E}{E_h} \cdot 100 = D_s + D_e + D_i \quad (\%;lx,lx;\%;\%;\%) \quad (1-8)$$

Pro stanovení hodnot oblohové a vnější odražené složky činitele denní osvětlenosti se používá Daniljukova metoda. Úroveň denního osvětlení potřebná jako minimální pro danou zrakovou činnost v určeném místě vnitřního prostoru, se zjišťuje a hodnotí za venkovní situace (pokud není výslovně uvedeno jinak). Ta je charakterizována pro případ zimního období, kdy je malá intenzita denního světla, v případě uvažování tmavého terénu s činitelem

odrazu světla v mezích 0,05 až 0,2 a za předpokladu rovnoměrně zatažené oblohy. U míst, kde se předpokládá dlouhotrvající sněhová pokrývka, tj. u budov v nadmořské výšce 600 m a výše se úroveň denního osvětlení zjišťuje, také při zasněženém terénu s činitelem odrazu světla v mezích od 0,5 do 0,85 a rovnoměrně zatažené obloze. [5]

1.3 Umělé osvětlení

Soustavy umělého osvětlení zajišťují podmínky pro zrakovou činnost v případě nedostatku denního osvětlení v prostorech, u kterých je zanedbatelné (minimální) denní osvětlení nebo v bezokenních prostorech. Umělé osvětlení se dělí podle zdroje proudu a provozního účelu na normální osvětlení, poruchové osvětlení a technologické osvětlení. [1]

Normální osvětlení je pro činnost v bezporuchovém stavu napájecí soustavy. Dělí se dále na hlavní, pomocné a bezpečnostní osvětlení. Hlavní osvětlení funguje za běžných provozních podmínek. Pomocné osvětlení slouží mimo hlavní provoz pro pomocné práce, například údržba a úklid. Bezpečnostní osvětlení se používá při mimořádných událostech, kupříkladu v případě poruchy technologického zařízení nebo při výpadku napájení objektu. [1]

Poruchové osvětlení je rozděleno na náhradní, nouzové (únikové) a protiúrazové. Náhradní osvětlení se používá pro nezbytné dokončení činnosti (zajištění minimálních požadavků na technologické osvětlení), aby nedošlo k úrazu a škodám. Nouzové osvětlení se používá pro osvětlení únikových cest a důležitých manipulačních míst při ztrátě napájení z elektrorozvodné soustavy. Protiúrazové osvětlení se používá k zajištění bezpečnosti při úrazově rizikové práci, například při doběhu strojů. [1]

Hlavní osvětlení je možné rozdělit podle způsobu zajištění a rozložení v prostoru na: celkové, odstupňované a kombinované. Celkové osvětlení je zpravidla realizováno rovnoměrně rozmístěnými svítidly po celém prostoru, výsledkem je horizontální osvětlenost. Odstupňované osvětlení se realizuje jako méně nákladné a energeticky úspornější varianta celkového osvětlení (světlo je soustředěné na jednotlivé pracoviště). Kombinované osvětlení je kombinací obou předešlých typů, používá se v případech, kdy se z technických či ekonomických důvodů nedá dosáhnout požadovaných světelných parametrů na některých pracovištích pomocí celkového nebo odstupňovaného osvětlení. [1]

1.4 Sdružené osvětlení

Sdružené osvětlení je účelná kombinace denního a doplňujícího umělého osvětlení. Jeho použití je ve vnitřních prostorech, nebo jejich funkčně vymezených částech, kde není dostatečná intenzita denního osvětlení pro požadovanou činnost. Sdružené osvětlení je navrhováno, tak aby se využilo co nejehospodárněji denní světlo. [1]

Doplňující umělé osvětlení se navrhuje tak, aby byly dodrženy veškeré požadavky na dobré vidění a zrakovou pohodu, za každého stavu oblohy během roku. Prioritně musí být zabezpečena požadovaná úroveň sdruženého osvětlení, vhodné rozložení světelného toku a směr osvětlení podle rozmístění a charakteru zrakových činností. Dále aby byla zachována rovnoměrnost osvětlení a rozložení jasu v zorném poli uživatelů, kvůli zabránění vzniku oslnění. Pro doplňující umělé osvětlení je doporučeno používat energeticky úsporné výbojové zdroje s velkým měrným výkonem. [1]

Doplňující umělé osvětlení se navrhuje v závislosti na soustavě umělého osvětlení v době bez denního světla tak, aby bylo v případě možnosti použito stejných svítidel pro obě soustavy. Tyto dvě soustavy se navrhují kvůli možnosti regulovat umělé i doplňkové osvětlení podle využití vnitřního prostoru a momentální potřeby. V případě sdruženého osvětlení při bočním denním osvětlení, kdy je doplňující umělé osvětlení potřebné pro danou činnost v denní době, se soustava umělého osvětlení navrhuje v pásech svítidel, které jsou rovnoběžné s okenní stěnou tak, aby se docílilo postupným vypínáním jednotlivých pásů potřebné úrovně osvětlenosti. Regulace doplňujícího umělého osvětlení se navrhuje vždy tak, aby byla zabezpečena zraková pohoda a přitom bylo osvětlení co nejúspornější. [1]

1.5 Kvalitativní a kvantitativní parametry osvětlení

Osvětlení vnitřního prostoru má zajistit optimální podmínky pro zrakovou činnost a docílit odpovídající zrakové pohody pozorovatelů při práci i odpočinku. K vytvoření těchto podmínek je potřeba celá řada faktorů, mezi které patří:

- udržovaná osvětlenost,

- oslnění,

- rovnoměrnost osvětlení,
- podání barev a chromatičnost světla,
- směr světla a stínění,
- stálost osvětlení,
- rozložení jasů.

Je důležité zmínit, že podcenění nebo nerespektování některého z ukazatelů může negativně ovlivnit celkové působení osvětlení na člověka. Při návrhu osvětlení by měla platit poučka: nikdy se nedává přednost úspoře elektrické energie před požadavky světelně technických parametrů. [1]

1.5.1 Udržovaná osvětlenost

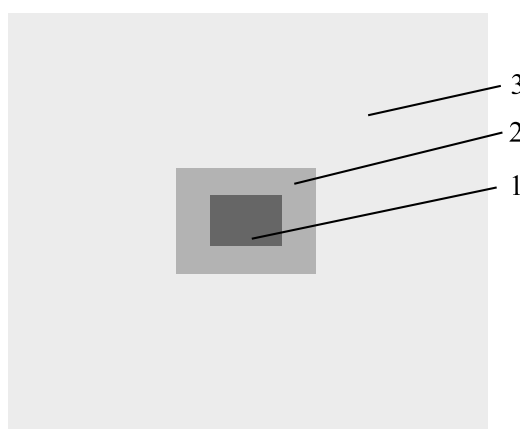
Udržovaná osvětlenost E_m patří mezi základní kvantitativní parametry osvětlení. Její rozložení v místě zrakového úkolu a v jeho bezprostředním okolí má velký dopad na zrakové vnímání osoby, například jak rychle, pohodlně a bezpečně osoba vykonává zrakový úkon. Doporučované hodnoty udržované osvětlenosti pro jednotlivé prostory a činnosti jsou uvedené v normě ČSN EN 12464-1 Vnitřní pracovní prostory. Hodnoty udržované osvětlenosti jsou uvedeny pro vzdělávací zařízení v Tab. 2.

Hodnoty osvětlenosti místa zrakového úkolu a bezprostředního okolí úkolu na srovnávací rovině jsou uvedena v Tab. 1. Vyobrazení místa zrakového úkolu s bezprostředním okolím úkolu a pozadím úkolu je na Obr. 2. Osvětlenost pozadí úkolu Obr. 2 je plocha, s šířkou alespoň 3 m, která přiléhá k bezprostřednímu okolí úkolu a musí být osvětlena minimálně na hodnotu 1/3 udržované osvětlenosti bezprostředního okolí úkolu. [2]

Tab. 1: Poměry osvětleností zřakového úkolu

<i>Osvětlenost úkolu (lx)</i>	<i>Osvětlenost bezprostředního okolí úkolu (lx)</i>
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	$E_{\text{úkolu}}$

Na Obr. 2, je vyobrazeno místo zřakového úkolu 1, bezprostřední okolí úkolu (pás šířky alespoň 0,5 m kolem místa zřakového úkolu uvnitř zorného pole) 2, pozadí zřakového úkolu (alespoň 3 m široká plocha přilehlá k bezprostřednímu okolí úkolu v mezích prostoru) 3.

**Obr. 2: Rozložení okolí kolem místa zřakového úkolu**

1.5.2 Oslnění

Oslnění je vjem způsobený jasnými povrchy nacházejícími se v zorném poli. Patří sem osvětlené povrchy, části svítidel, okna, světlíky. Oslnění se musí omezit, aby nedošlo k únavě, chybám a nehodám. Pozorovatel může oslnění pociťovat jako rušivé nebo jako omezující oslnění. Rušivé osvětlení UGR je způsobené přímo svítidly osvětlovací soustavy vnitřního prostoru. Je stanoveno tabulkovou metodou, která je založená na jednotném hodnocení podle CIE. Pro UGR jsou doporučené mezní hodnoty odstupňované podle patrných změn v oslnění. Řada UGR je: 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28. Viz norma ČSN EN 12464-1 Vnitřní pracovní prostory. Pro vzdělávací zařízení jsou hodnoty rušivého oslnění uvedeny v Tab. 2. Závoje oslnění a oslnění odrazem, odrazy světla vznikající v místě zřakového úkolu mohou měnit viditelnost zřakového úkolu. Ve většině případů dochází k jejímu zhoršení. [2]

Závojevé oslnění a oslnění odrazem může být zmenšeno, případně může být zamezeno jejich vzniku: uspořádáním svítidel a pracovních míst, omezením jasů svítidel, světlým stropem a světlými stěnami, povrchovou úpravou (zmatnění povrchů) nebo zvětšením svíticí plochy svítidla. [2]

1.5.3 Rovnoměrnost osvětlení

Rovnoměrnost osvětlení U_o je kvalitativní parametr osvětlení. Na srovnávací rovině udržované osvětlenosti nesmí být rovnoměrnost osvětlení menší než minimální hodnoty určené pro jednotlivé prostory, úkoly nebo činnosti uvedené v tabulkách normy ČSN EN 12464-1 Vnitřní pracovní prostory. Rovnoměrnost osvětlení v případě osvětlování umělým světlem nebo světlíky je pro bezprostřední okolí úkolu $U_o \geq 0,40$ a pro pozadí úkolu je hodnota $U_o \geq 0,10$. Hodnoty rovnoměrnosti osvětlení pro vzdělávací zařízení jsou uvedeny v Tab. 2. [2]

1.5.4 Podání barev a chromatičnost světla

Pro zrakový výkon a zrakovou pohodu je nutné přirozené a věrné podání barev v daném prostředí. Pro objektivní popis vlastností světelných zdrojů se z hlediska podání barev používá index podání barev. Ten se značí R_a a jeho maximální hodnota je 100. Pro jednotlivé typy prostorů a zrakových činnosti jsou uvedené minimální hodnoty všeobecného indexu podání barev v normě ČSN EN 12464-1 Vnitřní pracovní prostory. Hodnoty R_a pro vzdělávací zařízení jsou uvedeny v Tab. 2. [2]

Tab. 2: Vzdělávací zařízení, školské budovy

Ref. číslo	Druh prostoru, úkolu nebo činnosti	E_m (lx)	UGR (-)	U_o (-)	R_a (-)
5.36.1	učebny, konzultační místnosti	300	19	0,6	80
5.36.3	auditoria a posluchárny	500	19	0,6	80
5.36.4	černé, zelené a bílé tabule	500	19	0,7	80
5.36.5	demonstrační stůl	500	19	0,7	80
5.36.8	kreslírny pro technické kreslení	750	16	0,7	80
5.36.13	počítačové učebny	300	19	0,6	80

Teplota chromatičnosti T_c , je světlo určité barevné teploty. Má barvu tepelného záření vydávané černým tělesem zahřátým na tuto teplotu. Je doporučeno dodržet teplotu chromatičnosti v závislosti na osvětlenosti, viz Tab. 3. [2]

Tab. 3: Teplota chromatičnosti v závislosti na osvětlenosti

<i>Teplota chromatičnosti</i>	<i>Osvětlenost</i>	<i>Barevný tón světla</i>	<i>Světelné zdroje</i>
$< 3300 K$	$E_m \leq 500 lx$	<i>teple bílý</i>	<i>žárovky, halog. žárovky, zářivky teple bílé, sodíkové výbojky, vysokotlaké halog. Výbojky</i>
$3300 \text{ až } 5000 K$	$E_m = 300 \text{ až } 150 lx$	<i>bílý</i>	<i>halog. výbojky, rtuťové výbojky s luminoforem, zářivky bílé</i>
$> 5000 K$	$E_m > 500 lx$	<i>denní</i>	<i>halog. výbojky, rtuťové výbojky čiré, zářivky denní</i>

1.5.5 Směrnost světla a stínění

Směrnost je vlastnost osvětlení, která charakterizuje převažující směr světla v daném prostoru. Určuje ji světelný vektor. Směr osvětlení pracovního místa se většinou volí tak, aby světlo do místa zrakového úkolu dopadalo převážně shora a zleva. Jestli je to možné, tak zároveň zezadu přes rameno. Stínivost je schopnost vytvářet na předmětech stíny, to je důležité pro prostorové rozlišení detailů. Jsou upřednostňovány tzv. měkké stíny. To zabraňuje vzniku ostrým, tmavým, vrženým stínům a celkovému zhoršení prostorového vidění. Velikost stínivosti se určí podle vztahu (1-9). Pro lepší vystižení směrnosti, stínivosti a kvality počítka trojrozměrných předmětů v osvětlovacích soustavách se v současné době využívá činitele podání tvaru, který se vypočte podle vztahu (1-10). Podání tvaru je vyváženost mezi difúzním a směrovaným světlem. Toto kritérium jakosti je platné prakticky ve všech typech pracovních prostorů. Celkový dojem vnitřního prostoru se dá zlepšit, pokud jsou v něm stavební tvary, předměty a osoby osvětleny tak, aby se jejich tvar a povrch jevil příjemně a jasně. Tato situace nastává, když má světlo převážně jeden směr. Stíny, které jsou základem dobrého podání tvaru, se pak tvoří bez problémů. [9]

Výpočet hloubky a ostrosti stínů, přímo určujících stínivost v osvětlovací soustavě, probíhá dle vztahu (1-9), jedná se o Nordenův stupeň stínivosti.

$$S_N = \frac{E_p}{E_p + E_o} \quad (-) \quad (1-9)$$

E_p je střední hodnota osvětlenosti odpovídající světelnému toku, který dopadá přímo ze zdroje na uvažovanou plochu, jde tedy o přímou složku osvětlenosti. E_o je střední hodnota osvětlenosti odpovídající světelnému toku, který dopadá na uvažovanou plochu až po odrazu (od stropu, stěn a předmětů), jedná se o odraženou složku osvětlenosti. Pro návrhy osvětlení se doporučuje, aby byl činitel S_n v mezích 0,2 až 0,8.

Činitel podání tvaru se vypočte podle vztahu (1-10).

$$\vec{P} = \frac{\vec{\varepsilon}}{E_{4\pi}} \quad (-) \quad (1-10)$$

Směr veličiny P je určen orientovaným vektorem ε . $E_{4\pi}$ je střední kulová osvětlenost.

1.5.6 Stálost osvětlení

Jedná se o rychlé časové změny osvětlenosti a světelného toku. Jsou způsobené kolísáním napětí v síti nebo mechanickými příčinami. Rušivě ovlivňují zrakový vjem, navíc může dojít ke vzniku stroboskopického efektu. Tomu lze zabránit použitím elektronických předřadníků, připojením sousedních svítidel na různé fáze nebo v případě svítidel s více zdroji zajištěním vhodného fázového posuvu mezi proudy jednotlivých zdrojů. [11]

1.5.7 Rozložení jasu

Rozložení jasu v zorném poli určuje úroveň přizpůsobení zraku, ta ovlivňuje viditelnost úkolu. Příliš velké jasy mohou způsobovat oslnění. V případě velkých kontrastů jasů vede k neustálé readaptaci zraku, která může způsobovat únavu. Pokud jsou u povrchů vnitřního prostoru příliš malé jasy a kontrasty jasů dochází k monotónnímu a nestimulujícímu pracovnímu prostředí. Projektant musí volit vhodné činitele odrazu, doporučené hodnoty dané

normou ČSN EN 12464-1 jsou pro podlahu: 0,2 až 0,4; pro stěny: 0,5 až 0,8; pro strop: 0,7 až 0,9. [2]

Všechny tabulky uvedené v této práci byly vypracovány v programu Microsoft Office Excel. Z důvodu nedostupnosti daných tabulek. Data k nim byla čerpána z norem a publikací [1], [2], [4], [5] a [6].

1.5.8 Normy týkající se denního osvětlení

Norma ČSN 73 0580-1 Denní osvětlení budov část 1: Základní požadavky, doporučuje následující hodnoty denního osvětlení pro jednotlivé třídy zrakové činnosti, viz Tab. 4.

Tab. 4: Třídění zrakových činností a hodnoty činitele denní osvětlenosti

Třída zrakové činnosti	Charakteristika zrakové činnosti	Poměrná pozorovací vzdálenost	Příklady zrakové činnosti	Hodnota č. denní osv. v (%)	
				D_{min}	D_m
I	mimořádně přesná	3330 a větší	Nejpřesnější zraková činnost s omezenou možností použití zvětšení, s požadavkem na vyloučení chyb v rozlišení	3,5	10
II	velmi přesná	1670 až 3330	velmi přesné činnosti při výrobě a kontrole, velmi přesné při rýsování, ruční rytí s velmi malými detaily	2,5	7
III	přesná	1000 až 1670	Přesná výroba a kontrola, rýsování, technické kreslení, obtížné laboratorní práce, náročné vyšetření	2	6
IV	středně přesná	500 až 1000	Středně přesná výroba a kontrola, čtení psaní (rukou i strojem), obsluha strojů, běžné laboratorní práce, vyšetření	1,5	5
V	hrubší	100 až 500	Hrubší práce, manipulace s předměty a materiálem, konzumace jídla a obsluha, oddechové činnosti	1	3

Je nutné, aby bylo dosaženo minimálních hodnot D_{min} ve všech kontrolních bodech či funkčně vymezených částech vnitřního prostoru. Průměrné hodnoty D_m musí být splněny pouze u prostorů s horním osvětlením nebo s kombinovaným osvětlením, kde je podíl horního osvětlení na průměrné hodnotě D_m roven minimálně jedné polovině. [5]

Norma ČSN 73-0580-3 Denní osvětlení školních budov, udává požadavky na denní osvětlení ve vzdělávacích zařízeních, viz Tab. 5.

Tab. 5: Požadavky na denní osvětlení ve školách

<i>Druh vnitřního prostoru</i>	<i>Trvalý pobyt</i>	<i>Třída zrakové činnosti</i>	<i>Hodnota činitele denní osvětlenosti v (%)</i>		<i>Rovnoměrnost bočního denního osvětlení</i>
			<i>D_{min}</i>	<i>D_m</i>	
<i>Učebny víceúčelové a kmenové posluchárny, družiny</i>	+	<i>IV</i>	<i>1,5</i>	<i>5</i>	<i>0,2</i>
<i>Studovny, čítárny</i>	-	<i>IV</i>	<i>1,5</i>	<i>5</i>	<i>0,2</i>
<i>Rýsovný, pracovní výtvarné výchovy</i>	-	<i>III</i>	<i>2</i>	<i>6</i>	<i>0,2</i>
<i>Ostatní odborné pracovní a učebny, velké učebny</i>	-	<i>IV</i>	<i>1,5</i>	<i>5</i>	<i>0,2</i>
<i>Kabinety, pracovní vyučujících</i>	-	<i>IV</i>	<i>1,5</i>	<i>5</i>	<i>0,2</i>
<i>Shromažďovací prostory, auly</i>	-	<i>V</i>	<i>1</i>	<i>3</i>	<i>0,15</i>

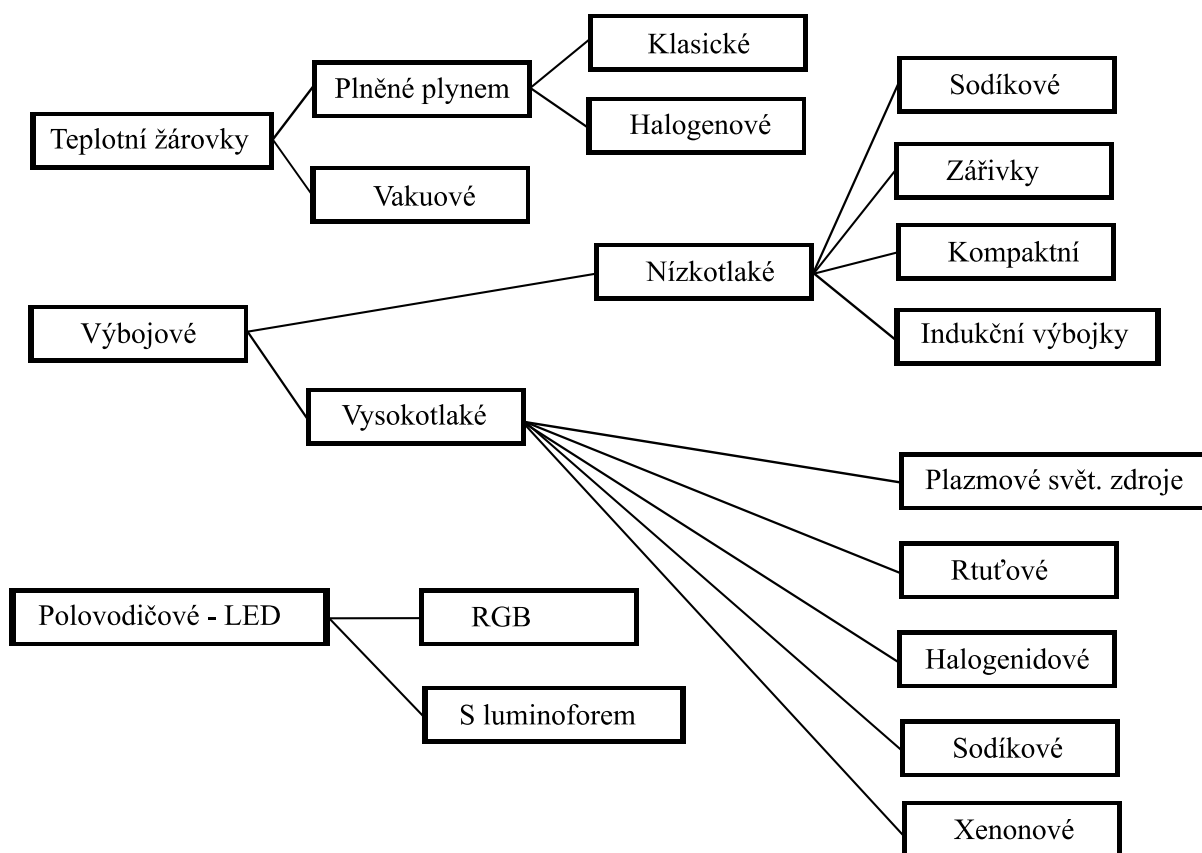
2 Problematika osvětlování interiérů budov

2.1 Světelné zdroje

Jedná se o zařízení, které vysílá optické, obvykle viditelné záření (světlo). Mohou být přírodní (slunce, blesk) nebo umělé (např. žárovka, svíčka, výbojka). Sekundární světelný zdroj, je předmět či povrch, který vysílá světlo tím, že světelné paprsky alespoň z části propouští nebo odráží. Umělý světelný zdroj je aparát určený k přeměně některého druhu energie na světlo. Světelný zdroj je základním prvkem osvětlovací soustavy. Pro osvětlování mají největší význam umělé zdroje, napájené elektrickou energií. Jedná se tedy o elektrické světelné zdroje. [1]

2.1.1.1 Druhy elektrických světelných zdrojů

Elektrické světelné zdroje se dělí v zásadě podle vzniku světla a to na teplotní, výbojové a elektroluminiscenční kam spadají světelné diody LED a laserové diody. Rozdělení světelných zdrojů je patrné z Obr. 3. [10]



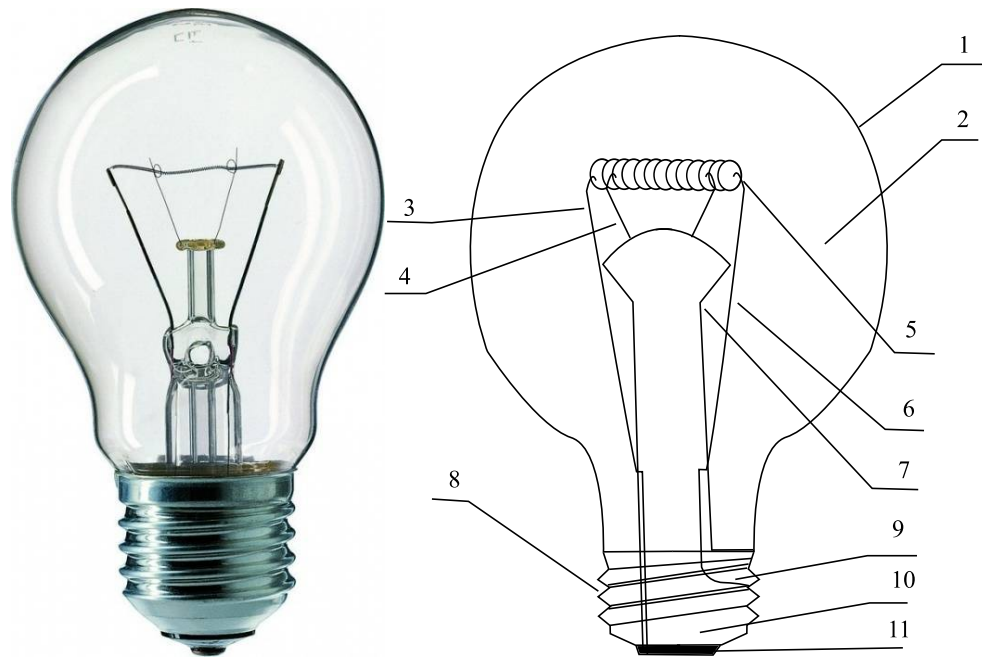
Obr. 3: Základní rozdělení elektrických světelných zdrojů

Vznik světla je zajištěn vybuzením elementárních částic. V případě teplotních zdrojů dochází vlivem průchodu elektrického proudu k zahřátí kovu (vodivé pevné látky) na teplotu, při které tepelný pohyb vytváří potřebnou budící energii. Tato energie se přenáší částicím, schopným vybuzení. Ty se pak stávají elementárními zdroji světla. Spektrum teplotního záření je spojitě. Výbojové světelné zdroje fungují na principu elektrických výbojů v plynech a párách (kovů) a využívají přeměny elektrické energie na kinetickou energii elektronů, které se pohybují ve výbojovém prostoru. Při srážkách elektronů s atomy plynů a kovových par se jejich energie mění na optické záření. Spektrum záření je čárové. Elektroluminiscence je jev, během něhož dochází k přeměně elektrické energie ve světlo při průchodu vhodným materiálem (luminoforem). Pokud prochází elektrický náboj luminoforem, excitované elektrony uvolňují svou energii ve formě fotonů - světla. V případě diody LED, prochází-li přechodem P-N elektrický proud v propustném směru, přechod emituje (vyzařuje) nekoherentní světlo s úzkým spektrem. [1]

Níže uvedená schémata zdrojů svítidel jsem čerpal z publikací [1] a [10]. Z důvodu dostupnosti špatné kvality těchto obrázků (skenované nebo kopírované), byly všechny překresleny vektorově v programu Inkscape. Tímto způsobem byly překresleny i další obrázky a schémata uvedené v této práci.

2.1.2 Žárovky

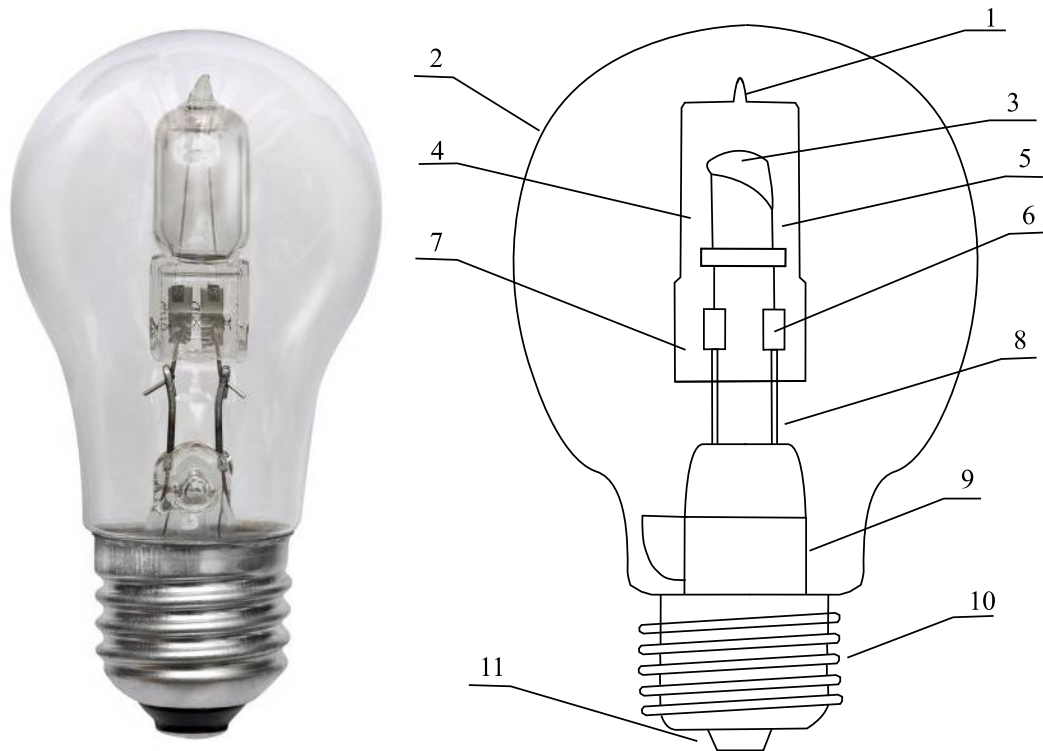
Žárovky s wolframovým vláknem patří mezi světelné zdroje s nejnižší hodnotou světelného výkonu a krátkou životností. Z hlediska kvality světla se řadí k nejlepším druhům osvětlení. Jednoduchost a nízká cena je řadí k stále velmi rozšířeným světelným zdrojům. Jsou využívány např. v prostorách, kde je důležitá kvalita světelného mikroklimatu. Popis schématu je následující: 1- skleněná baňka, 2- nízkotlaký inertní plyn, 3- kontaktní vlákno, 4- kontaktní vlákno, 5- wolframové vlákno, 6- podpůrná vlákna, 7- držák (sklo), 8- závit pro objímku, 9- kontaktní vlákno, 10- izolace, 11- elektrický kontakt fáze, viz Obr 4. [1], [10]



Obr. 4: Ukázka žárovky (vlevo) [12], vpravo je schéma

2.1.3 Halogenidové žárovky

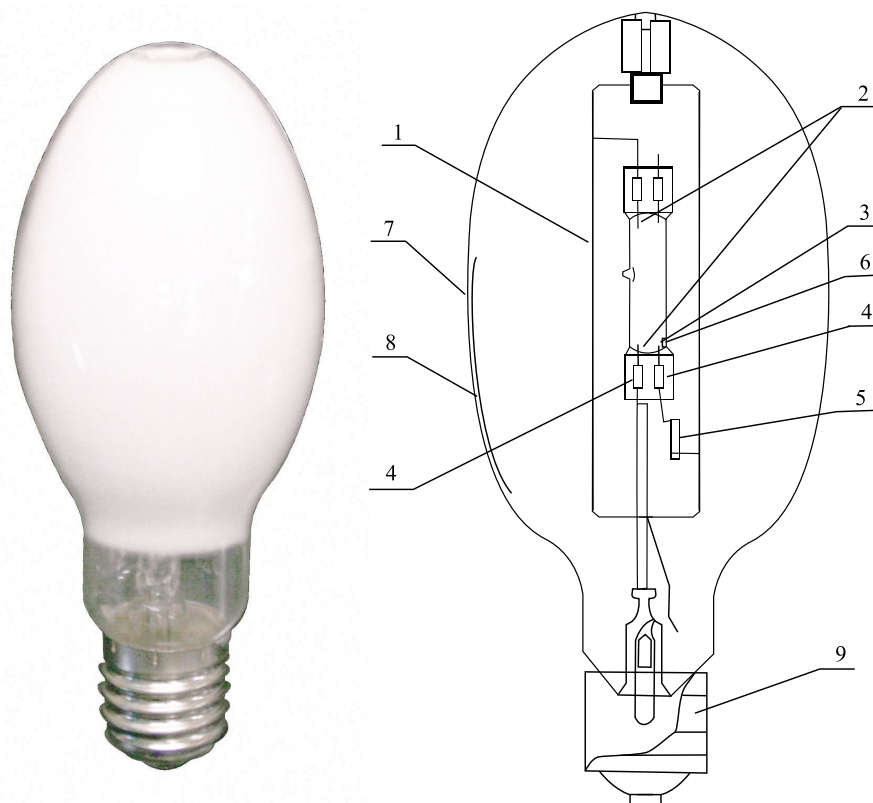
V plynné náplni halogenidových žárovek je příměs halogenů nebo jejich sloučenin. Ty při určité teplotě a konstrukčním uspořádání umožňují vytvoření wolfram-halogenového regeneračního cyklu. Výhodou halogenidových žárovek je vyšší účinnost přeměny elektrické energie na světelnou, delší životnost a kompaktní rozměry žárovky. Nevýhodou je vyšší cena a značná závislost jejich parametrů na napájecím napětí. Oblast použití je vymezena díky jejich nízké energetické účinnosti na bytové osvětlení, dekorativní nebo scénické osvětlení (galerie, muzea) nebo u automobilového osvětlení. Popis schématu: 1- odpalek čerpací trubičky, 2- baňka, 3- wolframové vlákno, 4- plynná náplň, 5- konečky vlákna, 6- molybdenová fólie, 7- stisk, 8- kolík, 9- keramická patice, 10- závit, 11- elektrický kontakt fáze, viz Obr 5. [1], [10]



Obr. 5: Ukázka halogenidové žárovky (vlevo) [13], vpravo je vyobrazeno schéma

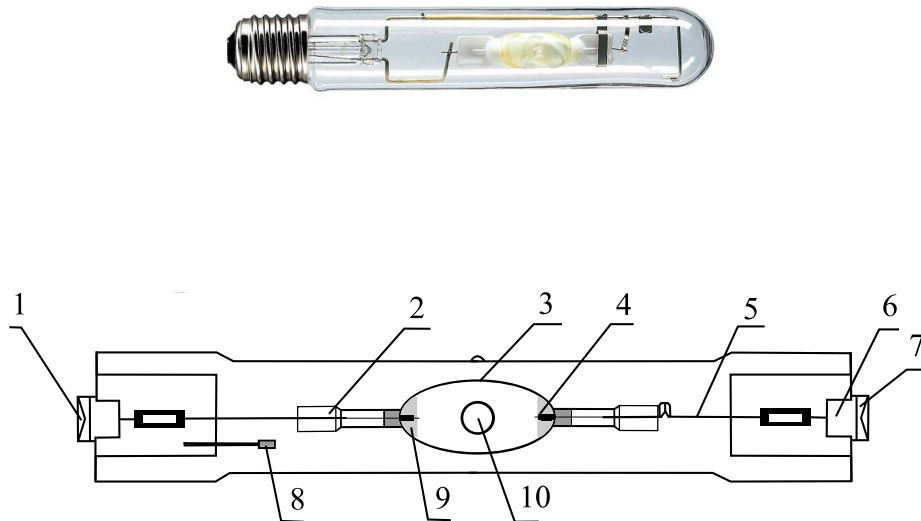
2.1.4 Světelné zdroje výbojkové vysokotlaké

Vysokotlaké rtuťové výbojky, u tohoto zdroje světlo vzniká obloukovým výbojem v párách rtuti při tlaku cca 10^5 MPa. Většinou jsou vyráběny s luminoforem, ten zajišťuje převod UV světla na viditelné. Dále zvyšuje měrný výkon a zlepšuje barevné podání. U těchto zdrojů je nutné počítat s náběhovou dobou 3 – 5 minut, před opakovaným zapnutím 5 – 7 minut. Používají se v prostorách, kde není potřeba kvalitního rozlišení barev, např. osvětlení sportovišť, vnitřních a vnějších průmyslových provozů a komunikací. Popis schématu: 1- rámeček (nosný), 2- hlavní elektrody, 3- pomocná elektroda, 4- molybdenová folie, 5- odpor, 6- rtuť, 7- vnější baňka, 8- vrstva luminoforu, 9- patice, viz Obr 6. [1], [10]



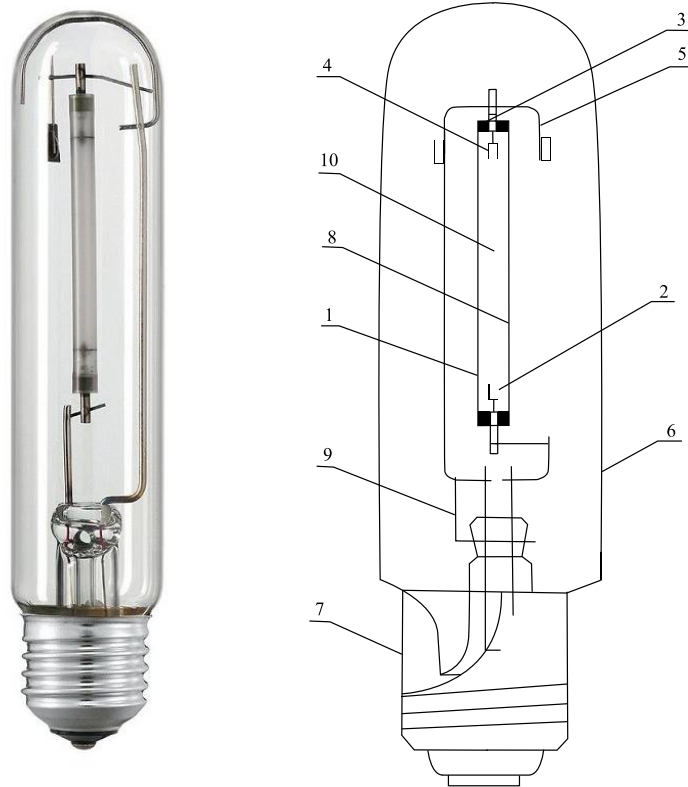
Obr. 6: Ukázka vysokotlaké rtuťové výbojky (vlevo) [14], vpravo je její schéma

Vysokotlaké halogenidové výbojky jsou vysokotlaké rtuťové výbojky, ale princip vzniku světla u nich není založen jen na záření par rtuti, ale převážně na záření produktů štěpení halogenidů. Sloučením halogenidových prvků se sodíkem, galiem, thaliem apod. Tím se získá podstatné zvýšení měrného výkonu při dobrém podání barev. I zde je potřeba počítat s náběhovou dobou. Použití je u prostorů, kde je potřeba velkých intenzit osvětlení a zároveň dobrého podání barev. Popis schématu: 1- kontaktní destička, 2- molybdenová folie, 3- výbojka, 4- elektroda, 5- přívodní kabel, 6- základna, 7- kontaktní destička, 8- getr, 9- halogenidy kovů, 10- obloukový výboj, viz Obr 7.



Obr. 7: Ukázka vysokotlaké halogenidové výbojky [15], dole její schéma

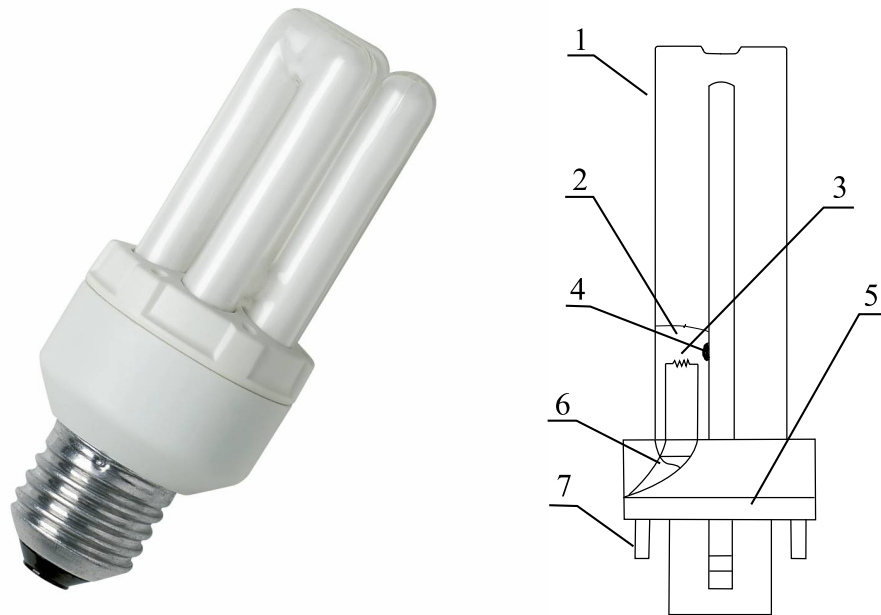
Vysokotlaké sodíkové výbojky, sodíkové páry u tohoto zdroje mají tlak cca $2 \cdot 10^4$ Pa. Spektrum u těchto výbojek není pouze čárové, ale obsahuje i souvislé spektrální pásmo barev. Mají poměrně velký měrný výkon ($180 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$), díky kterému se nejčastěji používají pro venkovní osvětlení a osvětlení vysokých výrobních a sportovních hal. Oproti rtuťovým výbojkám mají větší schopnost znovu zapálení světelného výboje. Popis schématu: 1- korundová trubička, 2- elektroda, 3- niobová průchodka, 4- pájecí kroužek, 5- nosný rámeček, 6- vnější baňka, 7- patice, 8- amalgám sodíku, 9- getr, 10- plynová náplň, viz Obr 8. [1], [10]



Obr. 8: Ukázka vysokotlaké sodíkové výbojky (vlevo) [16], vpravo je schéma

2.1.5 Nízkotlaké výbojky

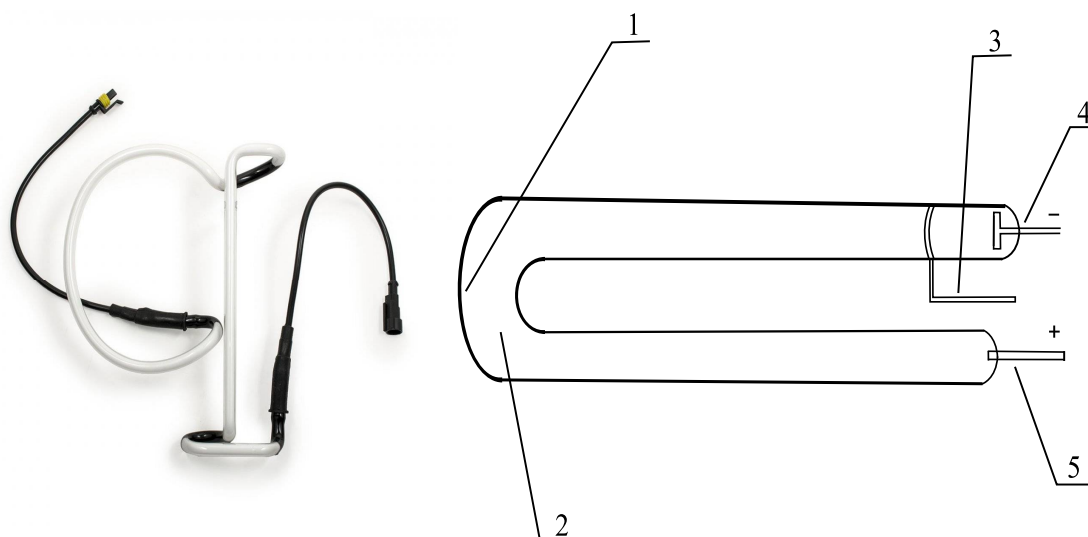
Zářivky jsou nízkotlaké výbojky s žhavicími elektrodami. Část elektrické energie je převáděna výbojem mezi elektrodami na viditelné světlo cca 2 %, viditelné světlo vzniká i přeměnou ultrafialového záření v luminoforu cca 20 %. Zářivky mají nevýhodu v pulsaci světla, ta vzniká jako následek periodického zhášení výboje při provozu ze střídavé sítě. Tím může dojít ke stroboskopickému jevu. V případě zářivek dochází k velkému rozdílu v kvalitě podání barev. Rozdílné podání barev ovlivňuje skladba luminoforu s obsahem plynové náplně. Nejrozšířenější jsou zářivky lineární, ty se vyrábějí v různých délkách a výkonech. Dalším typem jsou zářivky kompaktní, kterými lze nahradit žárovku ve stávajících žárovkových svítidlech. Daná kompaktní zářivka musí mít závit E27. Popis schématu: 1- trubice, 2- plyná náplň, 3- elektroda, 4- rtuť, 5- plastový díl patice, 6- čerpací trubička, 7- kolík patice, viz Obr 9. [1], [10]



Obr. 9: Ukázka kompaktní zářivky (vlevo) [17], vpravo je uvedené schéma

Sodíkové výbojky lze srovnat se zářivkami, vyznačují se vysokým měrným výkonem. Při svícení mají sodíkové páry tlak cca 0,5 Pa. Jejich nevýhodou je vyzařování pouze monochromatického světla, tím mají velice nízký index podání barev. Použití je u venkovních komunikací.

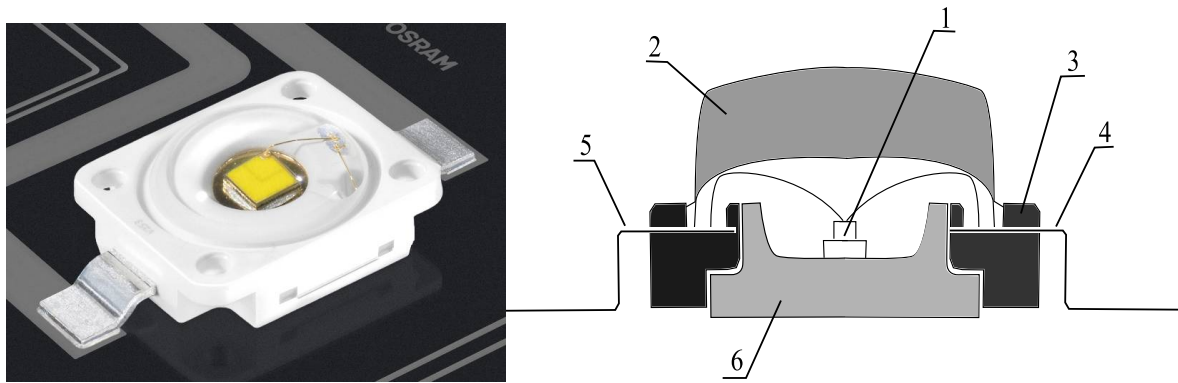
Doutnavkové, v těchto svíticích trubicích dochází jen k doutnavkovému výboj mezi elektrodami. Barva světla závisí na plynové náplni trubic (argon, neon nebo směs). Kvůli velkým délkám trubic a z té vyplývající velké vzdálenosti mezi elektrodami jsou tyto trubice napájeny vysokým napětím. Použití je pro dekorální a reklamní účely. Popis schématu: 1- skleněná trubice, 2- xenonový plyn, 3- vysoko napěťová spoušť, 4- záporná elektroda, 5- kladná elektroda, viz obr. 10. [1], [10]



Obr. 10: Ukázka doutnavkového svítidla [18], vpravo je schéma

2.1.6 Luminiscenční zdroje

Elektroluminiscenční dioda (světelná dioda), je polovodičová součástka obsahující přechod PN, ten emituje optické záření, pokud je buzen průchodem elektrického proudu. Svícení LED diody pracuje na principu vyzařování viditelného záření z rozhraní dvou polovodičů. V jednom polovodiči vedou napětí záporně nabité elektrony (polovodič typu N) a ve druhém jsou to kladně nabité díry (polovodič typu P). Pokud se přivede elektrický proud na rozhraní dvou polovodičů, tak se z jedné strany šíří elektrony a z druhé díry. Na rozhraní dojde k potkání elektronů a děr. Elektron přejde do díry a ztratí část své energie, tato ztracená energie je vyzářena ve formě viditelného fotonu (světla). Diody je možné rozdělit podle výkonu na diody o malém výkonu ($I \leq 2 \text{ mA}$), standardní diody ($I \geq 20 \text{ mA}$) a tzv. vysoko výkonné diody ($I \geq 350 \text{ mA}$). Výhodou diod je jejich snadná regulace, možnost variabilního uspořádání, dlouhá životnost, energetická úspornost a mechanicky odolná konstrukce. Popis schématu: 1- LED čip, 2- plastová čočka, 3- tělo, 4- katoda, 5- anoda, 6- chladič, viz Obr 11. [21]



Obr. 11: Ukázka světelné diody (vlevo) [19], vpravo je schéma power LED

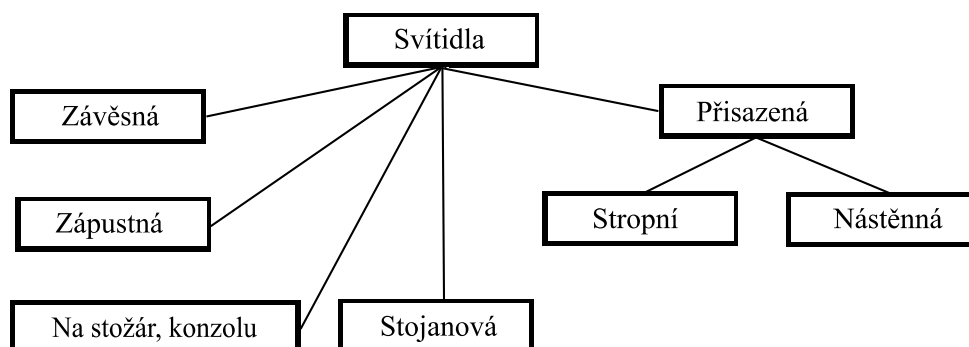
2.2 Svítidla

Světelné zdroje obvykle nejsou samy o sobě vhodné k osvětlovacím účelům, z důvodu nevhodného rozložení světelného toku, příliš vysokého jasu a nízké odolnosti proti různým vlivům prostředí. Z výše uvedených důvodů se světelné zdroje umísťují do svítidel. Svítidlo je zařízení tvořící hlavní prvky osvětlovacích soustav. Svítidla jsou určena primárně k úpravě prostorového rozložení světelného toku zdrojů, dále slouží k napájení zdrojů elektrickou energií, jejich fixaci a ochraně před nepříznivými vlivy okolního prostředí. Vhodnou konstrukcí svítidel lze docílit snížení jasu zdrojů v určitých směrech a k odstranění vzniku oslnění. Svítidla se skládají ze dvou základních částí: světelně činných a konstrukčních. Světelně činné části se dělí na reflektory, refraktory, čočky, rozptylovače, filtry a stínidla. Slouží ke změně rozložení světelného toku, k rozptylu toku nebo ke změně spektrálního rozložení světla. Dále se používají ke snížení jasu nebo zabránění oslnění. Konstrukční části svítidla se používají k fixaci světelného zdroje a světelně činných částí. Dále slouží ke krytí před vniknutím cizích těles a vody. Svítidlo musí vyhovovat z hlediska ochrany před nebezpečným dotykovým napětím. Do této kategorie patří tělo svítidla, patice světelného zdroje, upevňovací části, svorkovnice, případě předradník, přívodní kabely a další elektrorozvodné prvky. Svítidla by měla splňovat podmínky jednoduché montáže, údržby, dlouhé životnosti a spolehlivosti. V neposlední řadě by se neměly zanedbávat estetické požadavky kladené na vzhled svítidel. [1]

2.3 Rozdělení svítidel

Základní rozdělení svítidel je podle jejich použití následující na vnitřní, venkovní a speciální. Mezi vnitřní svítidla spadají bytová, kancelářská, průmyslová a osvětlení krytých

sportovišť. Venkovní svítidla se dále dělí na osvětlení komunikací, parková, architektonická, osvětlení sportovišť a reflektorová. V případě speciálních svítidel to jsou důlní svítidla, ruční svítilny a automobilové osvětlení. Další používané rozdělení je na Obr. 12.



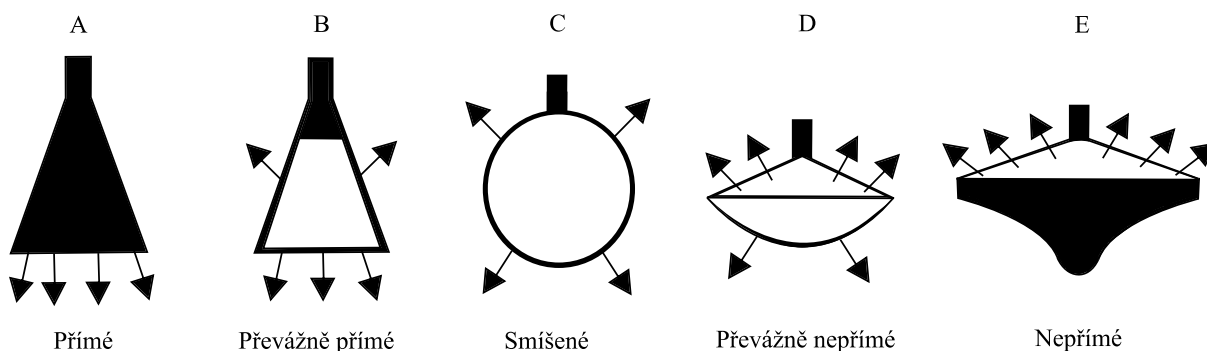
Obr. 12: Dělení svítidel podle typu montáže

Nejjednodušší světelně technické rozřídění svítidel je založeno na prostorovém rozdělení horního a dolního poloprostoru, viz Tab. 6.

Tab. 6: Rozdělení podle světelného toku svítidel

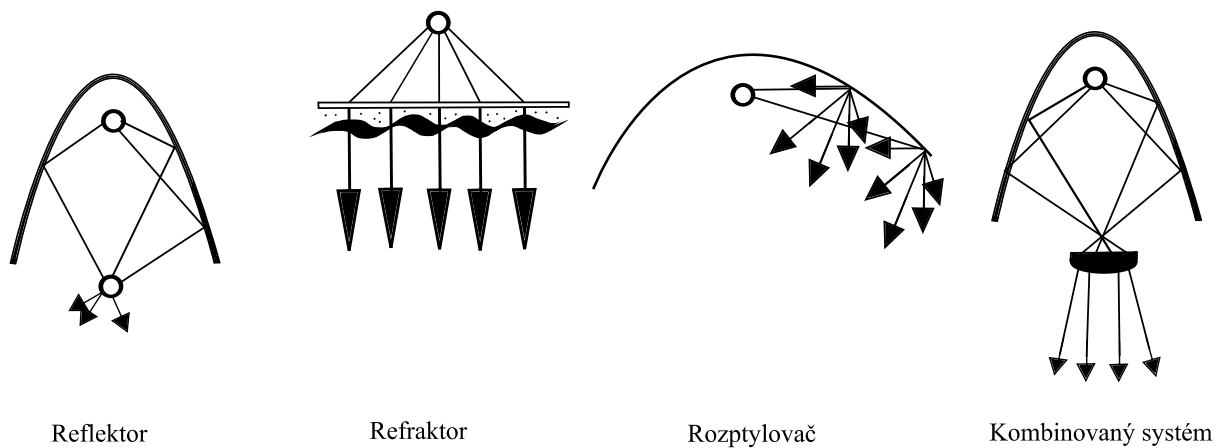
Označení svítidla	Světelný tok do dolního poloprostoru (%)	Světelný tok do horního poloprostoru (%)	Znač. dle DIN 5040
<i>Přímé</i>	90 až 100	0 až 10	A
<i>Převážně přímé</i>	60 až 90	10 až 40	B
<i>Smišené</i>	40 až 60	40 až 60	C
<i>Převážně nepřímé</i>	10 až 40	60 až 90	D
<i>nepřímé</i>	0 až 10	90 až 100	E

Na Obr. 13, je znázorněno grafické rozdělení podle světelného toku svítidel, to je ovlivněno typem a konstrukcí světelně činných částí svítidla.



Obr. 13: Rozdělení svítidel podle rozložení světelného toku

Přímá svítidla se používají pro vysoké průmyslové haly a venkovní osvětlení, osvětlují pouze prostor pod sebou. Převážně přímá svítidla osvětlují jak prostor pod sebou, tak částečně i prostor nad sebou. Smíšené svítidlo osvětluje celý prostor, z toho plyne vznik rovnoměrného osvětlení. Používají se v kancelářích a bytových prostorech. Převážně nepřímé svítidlo osvětluje převážně strop a vrchní části stěn. Nepřímá svítidla osvětlují pouze strop, tím je vyloučené oslnění a vznik stínů, používá se u nemocničních pokojů. Porovnání svítidel podle typu optických částí. Optické systémy svítidel jsou založeny na světelně technických vlastnostech materiálů. Dle způsobu odrazu nebo prostupu světelného toku existuje zrcadlový, rozptylný nebo smíšený odraz či průstup, popřípadě je možný lom světla, viz Obr. 14.



Obr. 14: Druhy světelně činných částí

Usměrnění světelného toku se realizuje za pomoci těchto optických prvků nebo jejich kombinací. Reflektor mění rozložení světelného toku prostřednictvím zrcadlových odrazů. Při výrobě se používají slitiny hliníku potažené kovy s příměsí stříbra, povrchy mají zrcadlovou úpravu. Tyto reflektory jsou z hlediska dosažených parametrů svítidel, nejlepší volbou. Jejich účinnost je až 95 %. Refraktor upravuje rozložení světelného toku podle zákona lomu. Refraktory svítidel jsou nejčastěji vyrobeny z PMMA (polymethylmethakrylát), polystyrenu nebo skla. Difuzor rozptyluje světelný tok odrazem nebo průstupem. Světelný tok se vyzařuje jako rovnoměrně rozptylná plocha. Difuzory jsou dvojího typu, buď s rozptylným odrazem, nebo s rozptylným průstupem. Kombinované systémy jsou kombinace výše uvedených způsobů usměrňování světelného toku. Obsahuje zároveň reflektory, refraktory a rozptylovače. Světelný tok je obvykle několikrát zpracován nebo odražen, než opustí svítidlo. Čím nastane více odrazů, tím dojde k větším ztrátám a o to se zmenší účinnost svítidla.

2.4 Osvětlování interiérů budov

Proces návrhu osvětlení je souhrnem činností, které začínají zadáním, shromážděním a rozbořením základních podkladů a požadavků, končí vyhotovením technického popisu a technické dokumentace osvětlovací soustavy. Navrhování osvětlení je zároveň vědou a uměním. Při omezení návrhu výhradně na rozbor a doplnění základních požadavků zadání, stanovení požadovaných světelných parametrů osvětlovací soustavy, volbu druhu osvětlení a typu osvětlovacích prostředků (světelných zdrojů a svítidel), výběr rozložení a rozmístění svítidel a způsob napájení a ovládání svítidel, zůstává osvětlovacímu technikovi rozsáhlá činnost mezioborového charakteru. Kromě znalostí a zkušeností, které bezprostředně souvisejí s osvětlováním, musí také alespoň částečně ovládat obory navazující, jako je konstrukce budov, architektura, elektrotechnika, tepelná technika, ekonomika a další, aby mohl buď sám sladit problematikou těchto profesí se světelným návrhem, nebo kvalifikovaně komunikovat s příslušnými odborníky. Obecně má osvětlení splňovat požadavky kladené na spolehlivé vnímání zrakových úkolů (tzv. funkční požadavky). Dále na správné vnímání daného vnitřního prostoru (tzv. požadavky prostorové skladby) a na adekvátní příjemné vnímání interiéru (tzv. požadavky psychologické). Posloupnost důležitosti zmíněných požadavků je podmíněna zaměřením, účelem prostoru a předpokládaným charakterem uživatelů. K optimálnímu výsledku je potřeba přijatelné řešení všech výše zmíněných záležitostí. Nastíněný postup lze rozdělit do několika fází. [1]

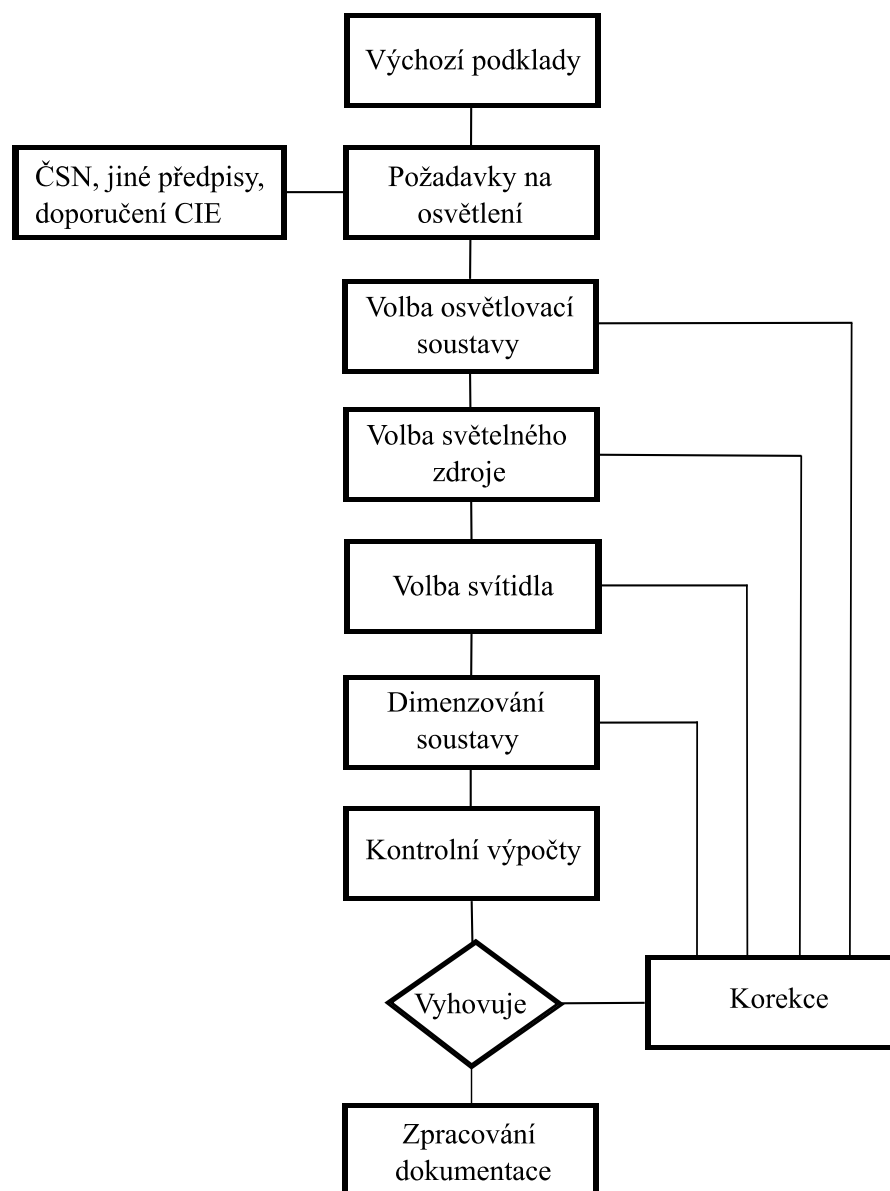
V první fázi jde o prostudování výchozích podkladů o prostoru. Ze stanovení účelu a provozu daného prostoru se stanovují světelně technické požadavky podle požadovaných zrakových činností, příslušných norem a předpisů. V této fázi se zvažují všechny poklady poskytnuté ostatními profesemi i požadavky uživatele. Jedná se například o technologii a její plánované změny, provozní režimy s aspektem na dobu pobytu a činnost všech uživatelů prostoru. Jedním ze základních pokladů je expertiza denního osvětlení. Z té vyplývá, jak bude řešena osvětlovací soustava. Zda jako typ umělého nebo sdruženého osvětlení, nebo v případě, že se jedná o vysoké hladiny osvětlenosti, tak soustava integrovaná s klimatizačním systémem. [1]

Ve druhé fázi se volí typ osvětlovací soustavy, kam spadá výběr světelných zdrojů, svítidel a jejich rozmístění. Dále se zde předběžně stanovuje počet svítidel na základě

požadované hodnoty osvětlenosti. K tomu se využívá toková metoda a poté dochází k zpřesnění pomocí bodové metody. [1]

Ve třetí fázi se zpřesňují počty svítidel a jejich rozmístění na základě výpočtů pro všechny požadované parametry, mezi které patří: osvětlení ve všech provozních režimech, na všech pracovních rovinách, rovnoměrnosti osvětlení a hodnot činitele oslnění. Současně se prakticky ověřuje přijaté pojetí řešení. Pokud nedojde ke splnění požadovaných parametrů v přijatých tolerancích, úpravou v rámci zvolené koncepce. Musí dojít k přepracování druhé fáze postupu a poté znovu ověřit výsledky. V některých případech je nezbytné dokonce znovu ověřit základní podmínky a požadavky, respektive je po dohodě s uživatelem a odborníky z ostatních profesí upravit. [1]

Do čtvrté fáze patří výsledná volba řešení, výpočet technicko-ekonomických ukazatelů a jejich zhodnocení. Přesnost a rozsah zpracování jednotlivých fází návrhu osvětlení závisí na úrovni projektové přípravy a na důležitosti a významu osvětlovaného objektu. Na Obr. 15, je nastíněn postup při návrhu osvětlení. [1]



Obr. 15: Diagram znázorňující postup při návrhu osvětlení

2.4.1 Osvětlování kanceláří a učeben

Typické společné činnosti ve školách a administrativě jsou: čtení, psaní, kreslení. Uvedené činnosti jsou stále častěji realizovány za použití výpočetní techniky. Doporučované hodnoty osvětleností pro učebny a kanceláře jsou u nás 300 lx až 500 lx, přičemž stupeň jakosti podání barev má mít hodnotu 80. V případě užití vyšších hodnot osvětleností je nutné věnovat zvýšenou pozornost omezení oslnění. Pro zábranu vzniků odlesků na obrazovkách monitorů je potřeba s maximální hodnotou jasu $200 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ pro úhly nad $50^\circ - 60^\circ$ od svislice. Strop by při použití nepřímého osvětlení rovněž neměl mít vyšší jas. Typ osvětlovací

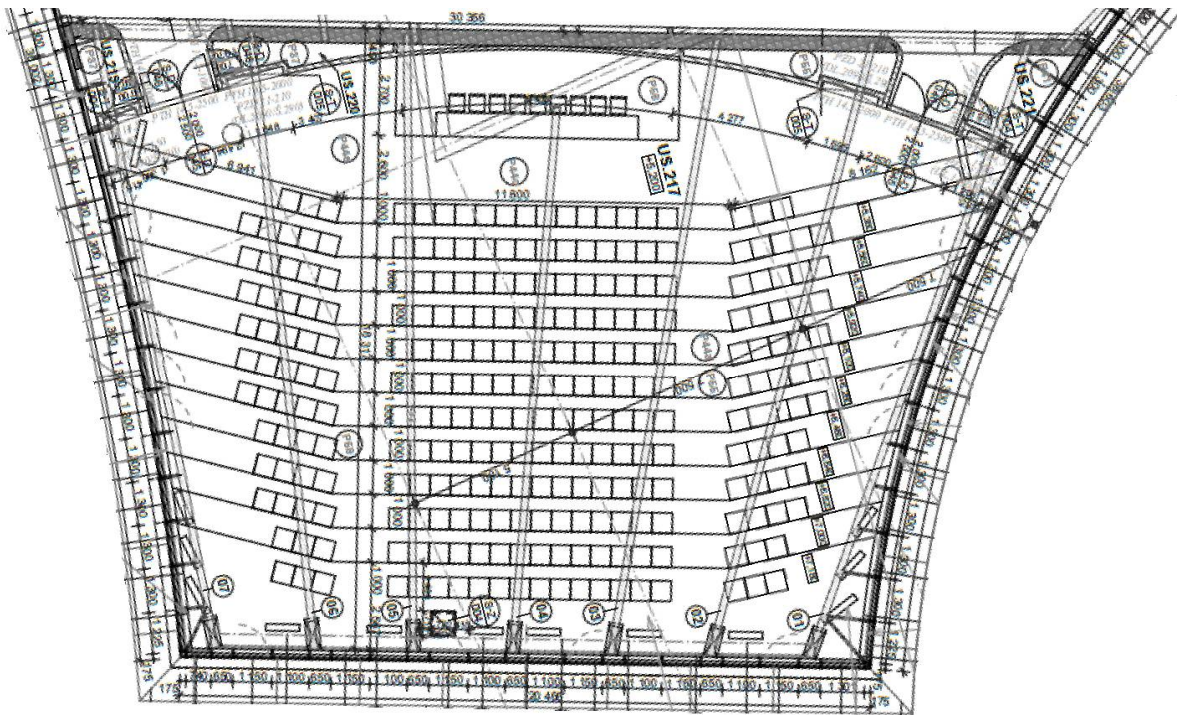
soustavy, světelné zdroje a svítidla se volí se zřetelem na převažující zrakové úkoly prováděné na vodorovné rovině (lavicích). Aktuálně se používají většinou zářivková svítidla nebo různé zářivkové systémy, ty řeší celkové nebo odstupňované osvětlení. V učebnách je důležité zajistit dostatečné osvětlení tabule, jeho hodnota musí být minimálně stejná jako na lavicích. Při rozmísťování svítidel a celých zářivkových pásů se je potřebné vyhnout kritické oblasti na stropě a nerozmísťovat svítidla podélně svislé roviny proložené směrem pohledu. Svítidla s prizmatickými kryty (s příčnou motýlovou čarou svítivosti) nebo s parabolickými zrcadlovými mřížkami se rozmísťují po stranách lavic, aby na pracovní plochu dopadalo světlo převážně ze stran. [11]

3 Posluchárna US-217

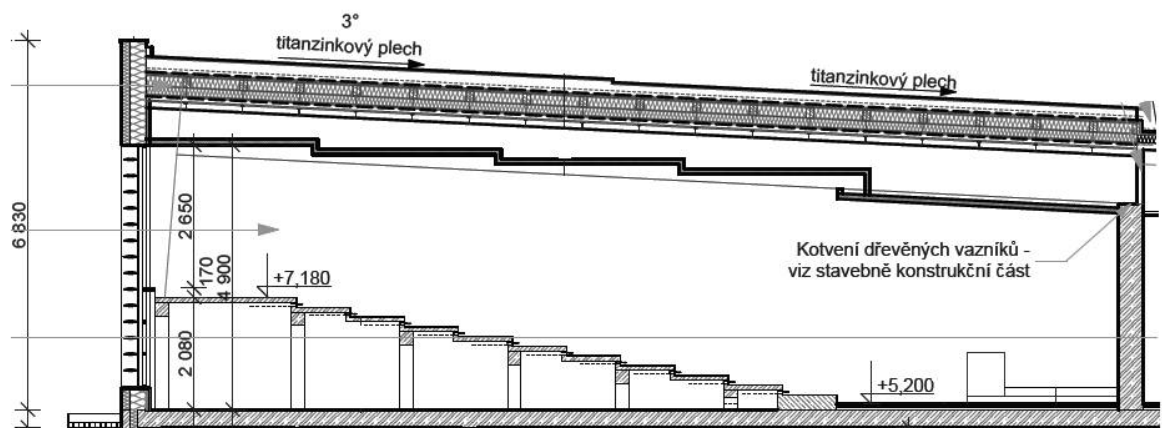
Jedním z hlavních cílů této diplomové práce je zhodnocení stávající osvětlovací soustavy v moderní posluchárně US-217. Stávající osvětlovací soustava je vyhodnocována pomocí měření a výsledků z výpočetních programů. Na základě analýzy, bylo rozhodnuto o návrhu nové osvětlovací soustavy.

3.1 Vlastní posluchárna

Nachází se v budově NTIS, je to jedna ze dvou poslucháren v nově postavené budově FAV. Posluchárna nese označení US-217, kapacita posluchárny je 250 lidí. Na Obr. 19 je vidět celkový pohled od pravých dveří.



Obr. 16: Půdorys posluchárny US-217



Obr. 17: Bokorys posluchárny US-217

Rozměry místnosti jsou následující: spodní prosklená stěna má délku 20,446 m, horní oblouk má délku 28,88 m, boční prosklené stěny mají stejnou délku 15,7 m. Na Obr. 16 a Obr. 17 je vidět půdorys a bokorys řešené posluchárny, z uvedených obrázků je patrný nepravidelný tvar posluchárny.

Činitele odrazu jsou: pro strop $\rho_1 = 0,85$, pro stěny $\rho_2 = 0,52$ a pro podlahu $\rho_3 = 0,34$. V Tab. 7 jsou uvedeny činitele odrazů běžných povrchů podle normy ČSN 73 0580-1.

Tab. 7: Směrné hodnoty činitele odrazu světla běžných povrchů

Druh materiálu		Činitel odrazu světla - ρ
Povrch konstrukce	bílý	0,75 až 0,8
	krémový, béžový	0,6 až 0,7
	světle žlutý	0,6 až 0,7
	světle červený	0,4 až 0,5
	světle zelený	0,45 až 0,65
	světle modrý	0,40 až 0,6
Dřevo	světlé	0,4 až 0,5
	tmavé	0,3 až 0,5

Lavice v posluchárně jsou atypické a to ve formě výklopných stolečků. Každé sedadlo má vlastní výklopný stolek o rozměru: 45 × 32 cm, který se vyklápí ze sedadla umístěného před ním, viz Obr. 18. Tento systém je použit u sedadel v řadách 2 až 12. První řada sedadel má tento systém stolků odlišný kvůli absenci sedadel před ní, z tohoto důvodu se stolky vyklápí z opěrky sedadla. Z výše uvedených různých řešení stolků je i rozdílná výška srovnávacích rovin. V první řadě jsou stolky ve výšce 0,65 m nad podlahou a ostatní řady mají stolky ve výšce 0,75 m nad podlahou.



Obr. 18: Ukázka lavic a sedaček, pohled zepředu

3.2 Původní osvětlení posluchárny

Původní osvětlení posluchárny je řešené zapuštěnými zářivkovými svítidly do stropních podhledů a dekorativním osvětlením mezi podhledy a trámy, které je rovněž řešené zářivkovými svítidly.

3.2.1 Hlavní osvětlovací soustava

V případě hlavní osvětlovací soustavy se jedná o zapuštěné svítidlo KANNAL 2 × 35 W od firmy Hormen, viz Obr. 20. Jako zdroj je použita lineární fluorescenční zářivka T5. Světelný tok svítidla je 3 855 lm a světelný tok zdroje je 6 600 lm. Optický systém svítidla je mikroprismatický difuzor. Distribuce světla je u tohoto svítidla přímá, těleso je z lakovaného ocelového plechu (bílá RAL 9 003). Elektrická výbava: elektronický předřadník DALI. Stupeň ochrany je IP 20. Svítidla je možné stmívat až do 1 %. Svítidla jsou uvedena v kusovníku svítidel, viz Příl. 2.



Obr. 19: Posluchárna US-217, pohled od vstupu vpravo

3.2.2 Soustava dekorativního osvětlení

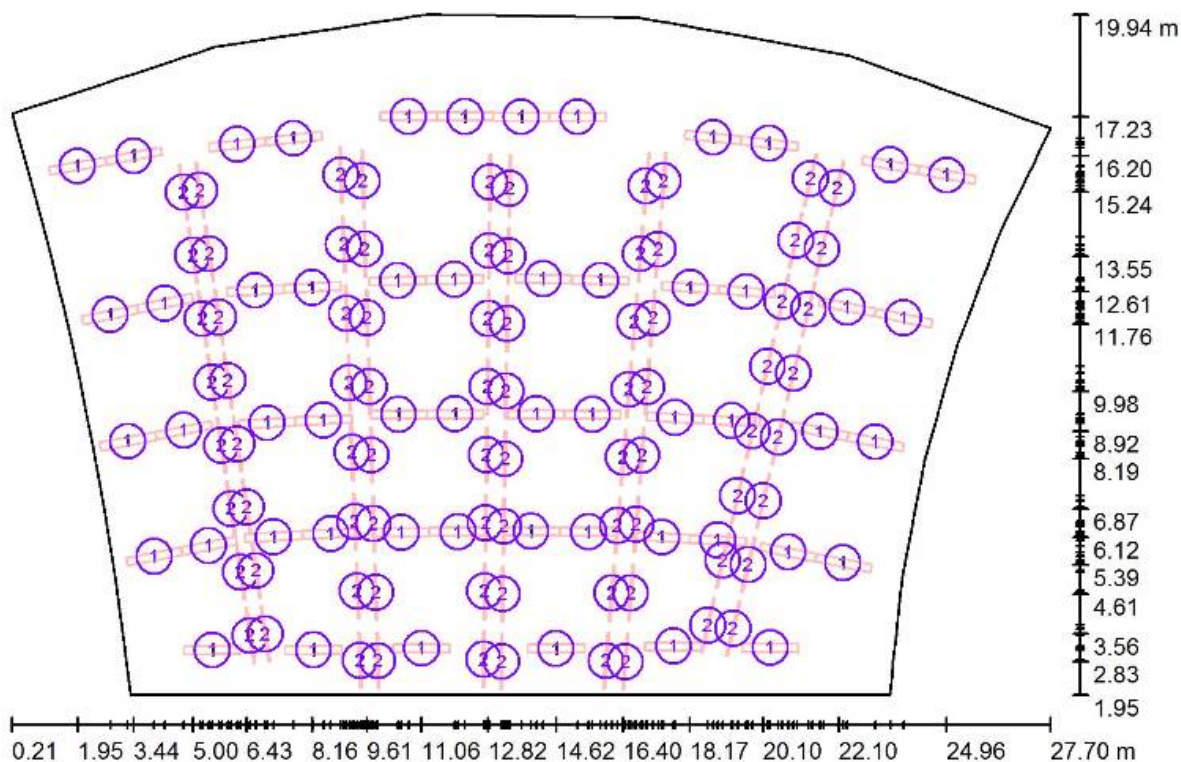
U pomocné osvětlovací soustavy, tedy dekorativního osvětlení je použité svítidlo TAMARA T5 1 × 35W EVG IP20, viz Obr. 20. Světelný tok svítidla je 3 342 lm a světelný tok zdroje je 3 300 lm. Distribuce světla je přímá, těleso svítidla je z lakovaného ocelového plechu. Svítidla jsou uvedena v kusovníku svítidel, viz Příl. 2.



Obr. 20: Svítidlo KANNAL (vpravo) [20], vlevo svítidlo Tamara [22]

Svítidla hlavní osvětlovací soustavy jsou rozložena symetricky v liniích, které kopírují prohnutí jednotlivých podhledů. Podhledy jsou výškově odstupňovány a opticky vytvářejí schody, to je patrné z bokorysu viz Obr. 17. Těmito podhledy vedou trámy, které prochází

jednotlivými podhledy a příčně oddělují strop do šesti částí, viz půdorys na Obr. 16. Dekorativní osvětlení je umístěné podél trámů a svítidla jsou přisazena na strop, viz Obr. 25. Umělé osvětlení je tvořené 54 svítidly KANNAL 2×35 W a 80 svítidly TAMARA 1×35 W. Situační plán vyobrazující rozložení svítidel je na Obr. 21. Svítidla KANNAL jsou označeny číslicí jedna a svítidla TAMARA jsou označeny číslicí dva.



Obr. 21: Situační plán původního umělého osvětlení

3.3 Proměření umělého osvětlení posluchárny

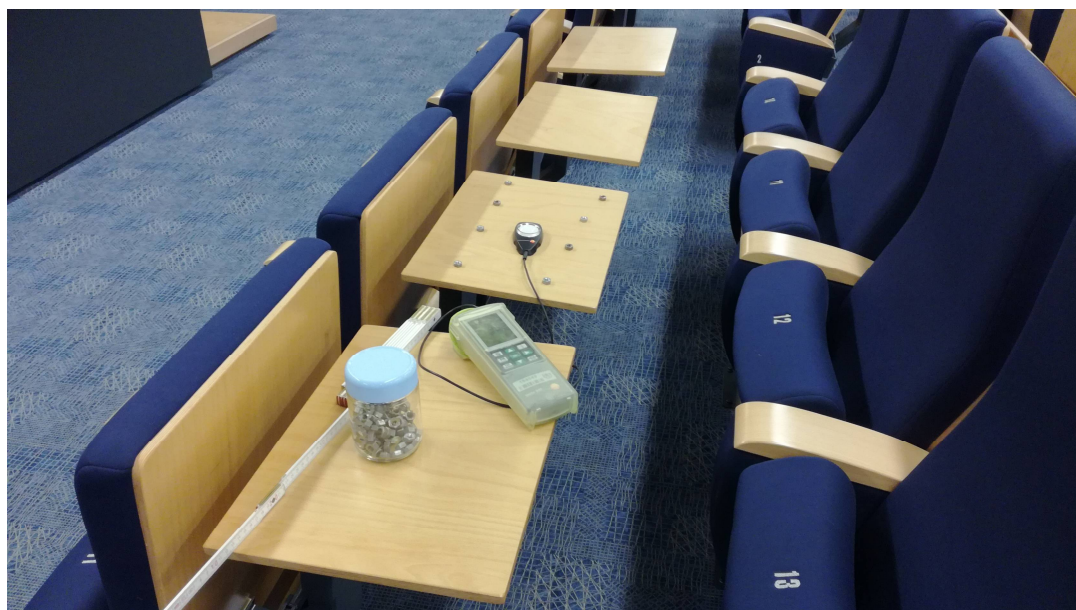
3.3.1 Orientační měření

Při prvním měření (orientačním) byla proměřena hlavní osvětlovací soustava umělého osvětlení v posluchárně US-217. Při měření bylo rozsvíceno 54 svítidel KANNAL, dekorativní osvětlení tvořené zářivkami TAMARA nebylo uvažováno. Toto měření proběhlo z důvodu vyzkoušení techniky a pro porovnání výpočetních programů DIALux 4.13 a BuildingDesign. Měření proběhlo v pátek 20. 1. 2017 brzy ráno. Hodnoty z orientačního měření jsou uvedeny v Příl.10. Sít' bodů byla stanovena podle normy ČSN EN 12464-1, viz Tab. 8.

Tab. 8: Doporučený počet bodů sítě

<i>Délka plochy (m)</i>	<i>Maximální vzdálenost bodů sítě (m)</i>	<i>Minimální počet bodů sítě</i>
0,4	0,15	3
0,6	0,2	3
1	0,2	5
2	0,3	6
5	0,6	8
10	1	10
25	2	12
50	3	17
100	5	20

Vzhledem k velikosti posluchárny a rozložení sedadel se stolky, byla brána menší vzdálenost bodů sítě od sebe, než předepisuje norma. Díky tomu je výsledná síť bodů hustší. Maximální vzdálenost bodů od sebe je tedy 0,6 m a počet bodů sítě je 248 bodů. Měření proběhlo při teplotě 22,5 °C a napětí 231,3 V v síti.

**Obr. 22: Měření umělého osvětlení posluchárny a detail stolků**

Dále bylo detailně proměřeno několik vybraných lavic a to: lavice 30, lavice 108, lavice 118, lavice 127, lavice 238 a demonstrační stůl. Z důvodu rozměru lavice 45cm × 32 cm, byla rozteč bodů po 10 cm a síť měla 8 bodů. Demonstrační stůl má rozměr 600 cm × 60 cm, rozteč bodů byla 20 cm a počet bodů sítě je 24. Na Obr. 22, je vidět použitý luxmetr s fotonkou a rozteč bodů při detailním měření osvětlenosti lavice, pro naznačení bodů sítě

byly použity matičky. Na Obr. 23 je vidět demonstrační stůl, prostor s tabulí a informační obrazovkou.



Obr. 23: Demonstrační stůl

3.3.2 Proměření kompletního umělého osvětlení v US-217

Při druhém měření došlo k proměření hlavního i dekorativního osvětlení v moderní posluchárně. Obě soustavy svítily zároveň, hlavní osvětlení tvořené zářivkovými svítidly KANNAL se zapíná na ovládacím panelu umístěném u dveří vpravo i vlevo. Vedle ovládacího panelu na obou stranách je rovněž umístěn ovladač pro žaluzie. Osvětlení zářivkami TAMARA se ovládá z tabletového pultu na demonstračním stole Obr. 23. Zde je také možnost stmívání, ovládání projektorů, zobrazovacích zařízení nebo vzduchotechniky.

Síť bodů byla stejná, jako při orientačním měření to znamená, že byly rovněž proměřeny středy stolků, čímž vznikla síť 248 bodů. Znovu byly detailně proměřeny lavice 30, lavice 108, lavice 118, lavice 127 a lavice 238. Měření proběhlo 5. 4. 2017 večer, při teplotě 22 °C a v síti bylo napětí 234,3 V. Měřicí tým byl ve složení Ing. Phd. Oldřich Kroupa, Bc. Jakub Lochman a Bc. Ondřej Machatý. Oldřich kroupa dohlížel na správnost měření, Jakub Lochman měl na starost zápis hodnot a Ondřej Machatý měřil luxmetrem testo 545. Hodnoty z měření jsou uvedeny v Příl. 11.

Na Obr. 24 jsou vidět obě soustavy umělého osvětlení v provozu. Dekorativní osvětlení vytváří při pohledu z boku subjektivně příjemné prostředí.



Obr. 24: Ukázka provozu hlavní a dekorativní soustavy svítidel

Na Obr. 24 je vidět rozložení zobrazovací techniky v podobě dvou velkých projektorů a monitorů, v učebně se nachází šest těchto obrazovek. Jedna je za demonstračním stolem a zbytek je mezi osmou, devátou a desátou řadou lavic. Na Obr. 25 je vidět dekorativní osvětlení nad lavicemi vlevo.



Obr. 25: Ukázka rozložení svítidel TAMARA u dekorativního osvětlení

V posluchárně není umístěna klasická tabule, v původních plánech s ní bylo uvažováno, ale poté byla vypuštěna ve prospěch dvou promítacích ploch, které jsou vidět na Obr. 26.



Obr. 26: Ukázka řešení tabule

Z Obr. 26 plyne, že tabule je řešena klasickou mobilní tabulí pro použití fixů s bílou plochou. Plocha tabule není přisvětlena, žádným lokálním zdrojem světla. Na Obr. 27 je vidět provedení celkové osvětlovací soustavy v programu DIALux. Nejbližší umístěná svítidla k prostoru s tabulí jsou nad demonstračním stolem. Jedná se o 4 svítidla KANNAL 2×35 W, toto řešení je použito z důvodu správného zobrazování na promítacích plochách. Je počítáno s tím, že klasická tabule bude využívána minimálně.

3.4 Simulace umělého osvětlení v programu DIALux

DIALux je software pro design a návrh osvětlení určený pro projektanty, osvětlovací designéry a architekty. Byl vyvinutý německou společností se sídlem v Lüdenscheid. Program je volně šiřitelný, dostupnost je ve 24 jazycích. V této práci byla k simulaci použita verze DIALux 4.13.

Postup pro simulaci ve výpočtovém programu byl následující, nejdříve byl podle plánů NTISU proveden půdorys posluchárny US-217 v programu AutoCAD 2016, ten byl převeden do programu DIALux 4.13 a v něm následně proveden kompletní 2D a 3D model posluchárny. Na Obr. 27 jsou vidět jednotlivé výpočtové plochy pro umělé osvětlení, dále výpočtové plochy pro vyhodnocení koeficientu denního osvětlení a pro určení hodnot

rušivého oslnění UGR. Z půdorysu je také patrné rozložení oken, lavic a sádkartonových podhledů.

Z důvodu nedostupnosti eulumdat pro svítidla TAMARA 1 × 35 W, bylo vybráno velmi podné svítidlo SITECO 1 × T16 35 W se stejným světelným tokem 3 342 lm.

3.4.1 Určení udržovacího činitele původní osvětlovací soustavy

Výpočet udržovacího činitele proběhl následovně: jako druh prostředí je zvoleno čisté s intervalem údržby po třech letech. Typ svítidla je uzavřené IP 2X s charakteristikou svítidla přímou a intervalem údržby jednou ročně. Světelný zdroj je zářivka T5 lineární s elektronickým předřadníkem a intervalem údržby jednou ročně, za předpokladu 3 000 provozních hodin ročně. Samozřejmostí je, že nefunkční zdroje budou okamžitě vyměněny.

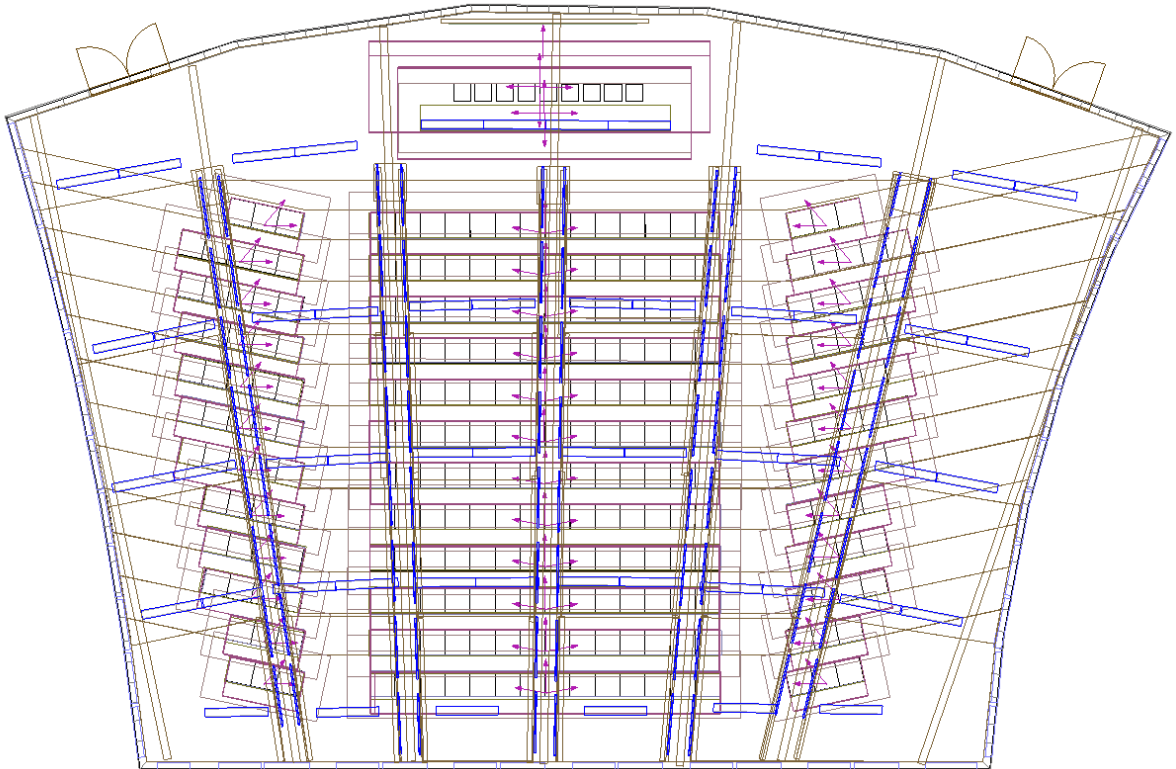
$$RMF \cdot LWF \cdot LLF \cdot LLWF = MF \quad (3-1)$$

RMF je činitel prostoru s hodnotou 0,94. LWF je činitel svítidla s hodnotou 0,88 a LLW je činitel životnosti světelného zdroje o velikosti 1. LLWF je činitel světelného toku o hodnotě 0,95 a MF pak udržovací činitel. Ten vyšel po dosazení do vztahu (3-1) následovně: $RMF(0,94) \cdot LWF(0,88) \cdot LLF(1) \cdot LLWF(0,95) = 0,79$.

3.4.2 Zpracování pracovních rovin

Srovnávací rovina pro umělé osvětlení je ve výšce 75 cm, to platí pro demonstrační stůl a lavice ve druhé až dvanácté řadě, pro první řadu lavic je výška srovnávací roviny 65 cm, z důvodu rozdílného systému vyklápěcích stolků. Výška jednotlivých srovnávacích rovin narůstá současně s výškou jednotlivých stupňů, na kterých jsou umístěné lavice, výška jednoho stupně je 18 cm. Těchto schodů je jedenáct, začínají druhou řadou sedadel (první řada sedadel je ve výšce 0 m) a končí na dvanácté řadě sedadel, kde je vytvořena plošina, viz Obr. 27 a Obr. 28. Výpočtové plochy pro umělé osvětlení jsou umístěné na lavicích a jsou brány jako pracoviště, kolem každého pracoviště je uvažována oblast bezprostředního okolí úkolu a přesahuje pracoviště na každou stranu o 0,5 m. První řada lavic (výpočtových ploch) je ve výšce 0,650 m, druhá řada je ve výšce 0,930 m, třetí řada je ve výšce 1,110 m, čtvrtá řada je ve výšce 1,290 m, pátá řada je ve výšce 1,470 m, šestá řada je ve výšce 1,650 m, sedmá řada je ve výšce 1,830 m, osmá řada je ve výšce 2,010 m, devátá řada je ve výšce

2,190 m, desátá řada je ve výšce 2,370 m, jedenáctá řada je ve výšce 2,550 m a dvanáctá řada je ve výšce 2,730 m.



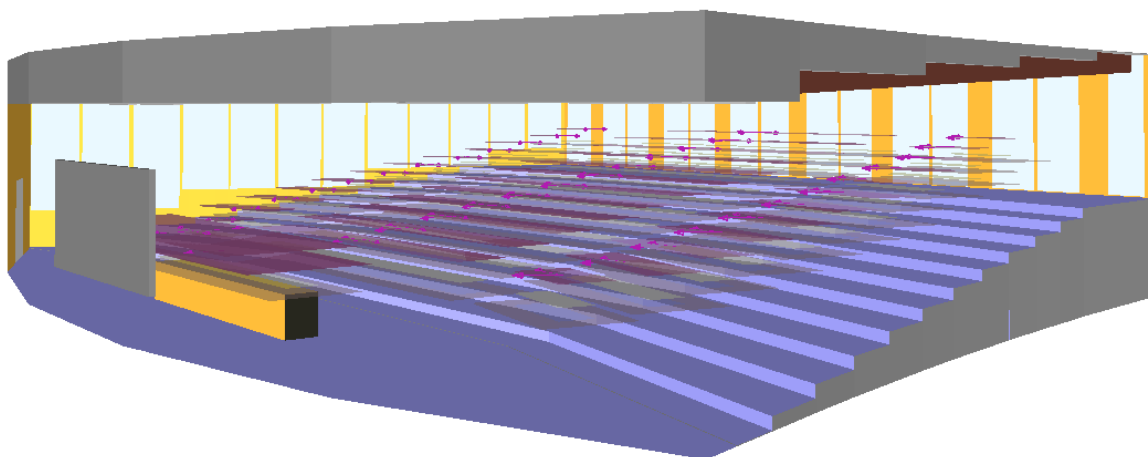
Obr. 27: 2D model US-217 s celkovým umělým osvětlením v DIALuxu

3.4.3 Zpracování výpočtových rovin rušivého oslnění UGR

Výpočtové plochy rušivého oslnění UGR jsou umístěné podle normy ve výšce 1,2 m pro sedícího člověka a ve výšce 1,6 m pro stojícího. Vzhledem k určení posluchárny a zrakových úkolů v ní probíhajících jsou pro lavice střed určeny výpočtové plochy rušivého oslnění ve výšce 1,2 m a pro směry pozorovatele 10° , 90° a 170° . Pro lavice vpravo jsou výpočtové plochy rušivého oslnění rovněž ve výšce 1,2 m a jsou určeny pro pozorovatele ve směru 130° a 180° . Pro lavice vlevo jsou výpočtové plochy umístěné také ve výšce 1,2 m a jsou určeny pro směr pozorovatele 0° a 50° . Výpočtové plochy UGR zabírají prostor lavice a sedadla. Pro prostor kolem demonstračního stolu, kam spadá rovněž prostor tabule, a sedadla přednášejících jsou výpočtové plochy rušivého oslnění umístěné ve výšce 1,2 m a 1,6 m. Směry pozorovatele jsou následující: pro 1,2 m je to 0° , 90° , 180° , 270° a pro 1,6 m je to 0° , 90° , 180° , 270° . Viz Obr. 27 a Obr. 28, plochy UGR jsou vyznačeny fialovou barvou a šipkami určujícími směr pozorovatele. Výpočtové plochy UGR jsou pro lavice v první řadě ve výšce 1,2 m, pro lavice ve druhé řadě ve výšce 1,38 m, pro lavice ve třetí řadě ve výšce 1,56 m, pro lavice ve čtvrté řadě ve výšce 1,74 m, pro lavice v páté řadě ve výšce 1,92 m, pro

lavice v šesté řadě ve výšce 2,1 m, pro lavice v sedmé řadě ve výšce 2,28 m, pro lavice v osmé řadě ve výšce 2,46 m, pro lavice v deváté řadě ve výšce 2,64 m, pro lavice v desáté řadě ve výšce 2,82 m, pro lavice v jedenácté řadě ve výšce 3 m a pro lavice ve dvanácté řadě je ve výšce 3,18 m.

Výrobce u daných svítidel uvádí použití mikroprismatického difuzoru, tak jak je to řešené v posluchárně US-217. S jeho použitím výrobce deklaruje UGR v hodnotách < 19 . Bohužel u svítidla KANNAL jsou dostupná pouze eulumdata (soubory s fotometrickými daty) bez difuzoru. Z tohoto důvodu nabývá UGR hodnot od 19 do 24, což je více než připouští norma.

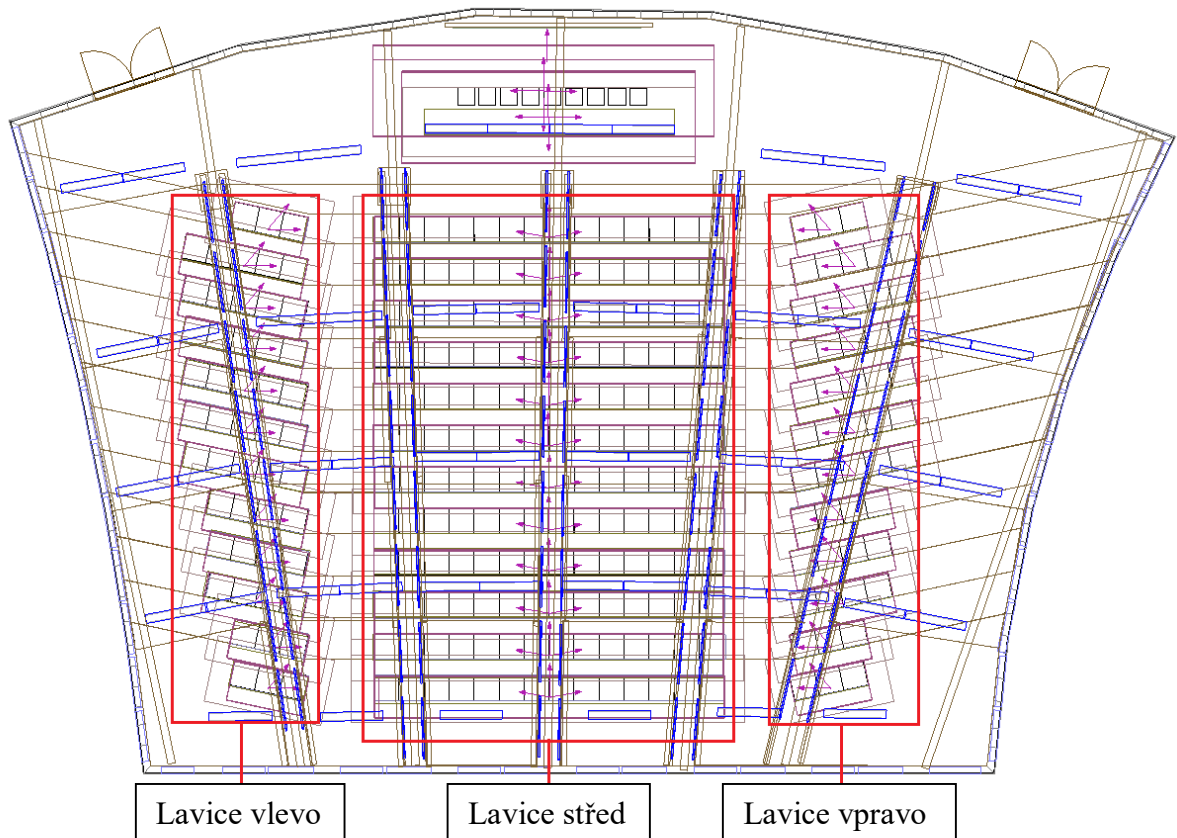


Obr. 28: 3D model US-217 v DIALuxu s vyobrazením výpočtových ploch

Z důvodu rozdílných výšek podhledů jsou svítidla hlavní osvětlovací soustavy KANNAL v různých montážních výškách. První řada svítidel je ve výšce 4,050 m, druhá řada svítidel je ve výšce 4,430 m, třetí řada je ve výšce 4,650 m, čtvrtá řada je ve výšce 4,850 m a pátá řada svítidel je ve výšce 5,040 m. Dekorativní osvětlení realizované zářivkami TAMARA (v simulaci nahrazené svítidly SITECO) je na rozdíl od hlavního osvětlení v jedné montážní výšce 4,9 m. Není zapuštěno do podhledů, ale přisazené na strop.

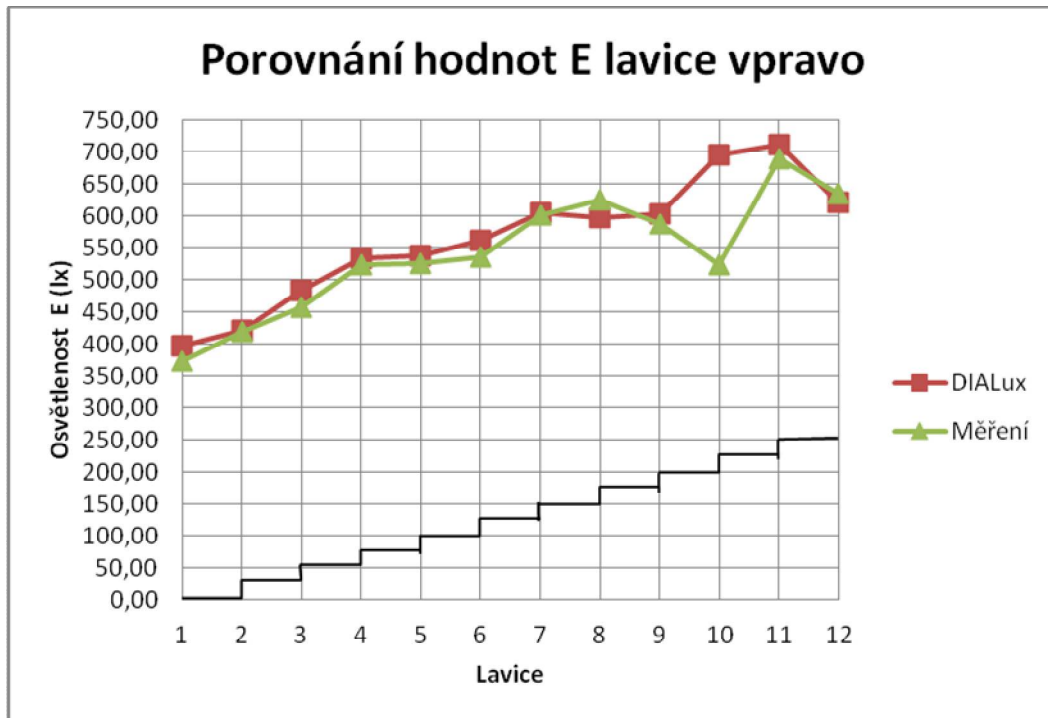
3.5 Výstupy ze simulace a měření umělého osvětlení v US-217

Obr. 29 slouží jako přehledový, je na něm vidět rozdělení lavic (výpočtových ploch) na 3 skupiny a to lavice vpravo, střed a vlevo. Toto řešení bylo použito z důvodu větší přehlednosti a usnadnění orientace v grafech viz níže.



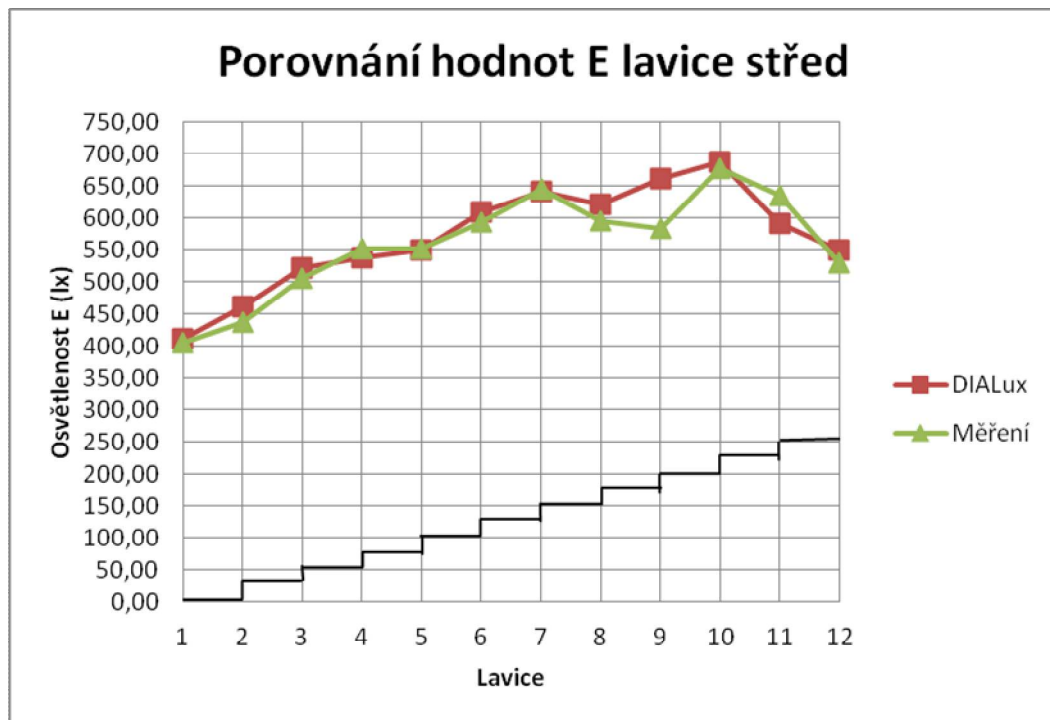
Obr. 29: Půdorys posluchárny s vyznačenými lavicemi DIALux

Na Obr. 30, je vidět grafické porovnání naměřených a nasimulovaných hodnot osvětlenosti pro lavice vpravo. Černá křivka u grafu na Obr. 30, Obr. 31 a Obr. 32 znázorňuje výškové odstupňování lavic. Číselné hodnoty naměřených hodnot a simulace jsou uvedené v Příl. 11 a Příl. 7. Z grafu je patrné, že hodnoty simulace jsou vyšší než naměřené hodnoty. To je zapříčiněno tím, že simulace je provedena s udržovacím činitelem nové osvětlovací soustavy a nebere se v úvahu stáří stávající osvětlovací soustavy, což je 2 - 3 roky, to samé platí i pro grafy na Obr. 31 a Obr. 32. Na grafu je vidět zvětšující se rozdíl naměřených hodnot od simulace, který začíná od lavic v deváté řadě a nejmarkantnější je na desáté řadě lavic. Tento rozdíl je zapříčiněn stíněním velkých obrazovek, které jsou umístěné v tomto prostoru, viz Obr. 24. Při návrhu světelné soustavy se nebere vliv interiérového vybavení, z tohoto důvodu byl při simulaci umělého osvětlení vliv stínění obrazovek zanedbán.



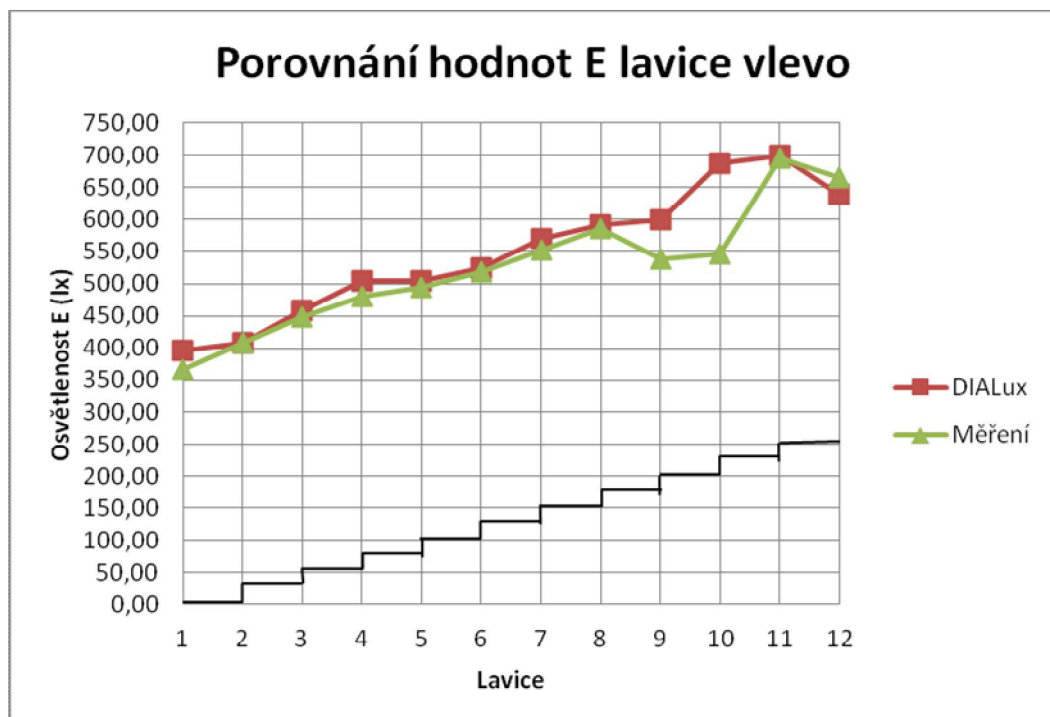
Obr. 30: Porovnání hodnot osvětlenosti na lavicích vpravo

Na Obr. 31, je vidět graf porovnání naměřených a nasimulovaných hodnot osvětlenosti pro lavice střed. Číselné hodnoty naměřených hodnot a simulace jsou uvedené v Příl. 11 a Příl. 7. Na grafu je vidět opět výrazný pokles naměřených hodnot od simulace, ale nyní začíná již od lavic v osmé řadě a projevuje se až k deváté řadě lavic. Jako v předchozím případě je na vině stínění velkých obrazovek umístěných v tomto prostoru, viz Obr. 24. Pokles se projevil dříve než u lavic vpravo nebo vlevo, protože v případě lavic střed jsou obrazovky umístěny níže.



Obr. 31: Porovnání osvětlenosti na lavicích střed

Na Obr. 32, je uveden graf porovnání naměřených a nasimulovaných hodnot osvětlenosti pro lavice vlevo. Číselné hodnoty naměřených hodnot a simulace jsou uvedené v Příl. 11 a Příl. 7.



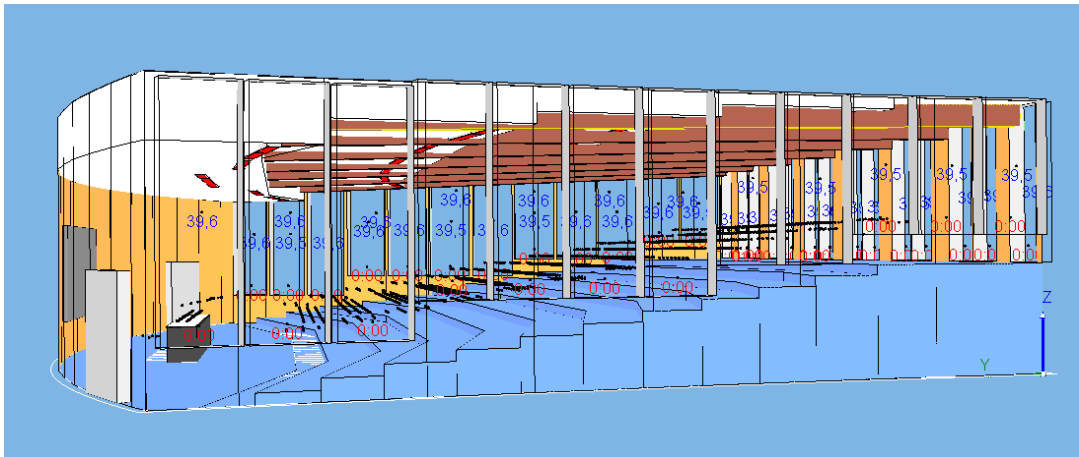
Obr. 32: Porovnání osvětlenosti na lavicích vlevo

3.6 Porovnání výstupů z BuildingDesignu a DIALuxu

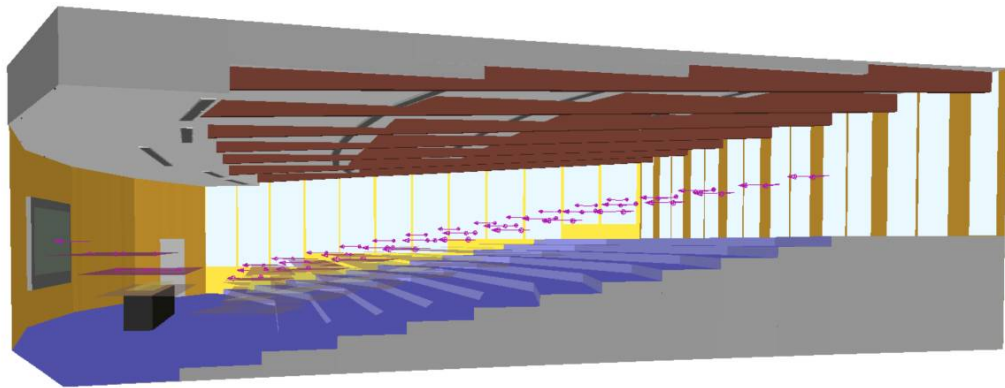
Pro ověření výstupů z programu DIALux, který byl zvolen jako stěžejní simulační program v této práci, byla simulace umělého a denního osvětlení provedena ještě v programu BuildingDesign. Z toho důvodu byly zhotoveny dva identické modely, u kterých došlo k porovnání umělého osvětlení a denního osvětlení. Na Obr. 33 a Obr. 34 je vidět boční pohled obou 3D modelů. Při porovnání těchto modelů jsou patrné některé změny zapříčiněné různými zobrazeními výpočetních programů a následně některými rozdíly v namodelování daného objektu. Rozdíly v namodelování objektu nejsou pro výpočet podstatné. To je dáno tím, že vznikly na plochách, které nejsou součástí výpočtu. Do tohoto seznamu patří boky jednotlivých řad lavic a boky podhledů sousedících se stěnou.

Porovnání obou programů je zaměřené na simulaci umělého osvětlení hlavní osvětlovací soustavy, tedy svítidel KANNAL 2×35 W. Soustava dekorativního osvětlení do porovnání nebyla uvažována z důvodu nekompatibility eulumdat svítidel SITECO 1×35 W (nahrazující svítidlo TAMARA) s výpočetním softwarem BuildingDesign. Porovnávány byly jen parametry osvětlenosti. Činitel UGR nebyl uvažován z důvodu nedostupnosti eulumdat s mikroprismatickým difuzorem, se kterým výrobce deklaruje UGR v hodnotách < 19 . K porovnání uvedených výpočetních programů je přidáno první orientační měření, které vzniklo z důvodu odzkoušení techniky a porovnání naměřených a nasimulovaných hodnot právě pro hlavní osvětlovací soustavu.

Oba dva modely byly vytvořeny obdobným postupem, jaký je popsán v kapitole 3.4. Rozdíly nastaly až při tvorbě modelů v jednotlivých výpočetních programech z důvodu různě řešených pracovních prostředí a různé úrovně uživatelské přívětivosti použitých programů. Modely mají stejně nastavené odrazné plochy. Rovněž je stejné umístění výpočetních ploch a svítidel. U obou modelů je použit stejný udržovací činitel. Model pro porovnání v DIALuxu se liší od modelu pro simulaci kompletního umělého osvětlení jen v absenci úpravy prostoru pro svítidla TAMARA (SITECO).



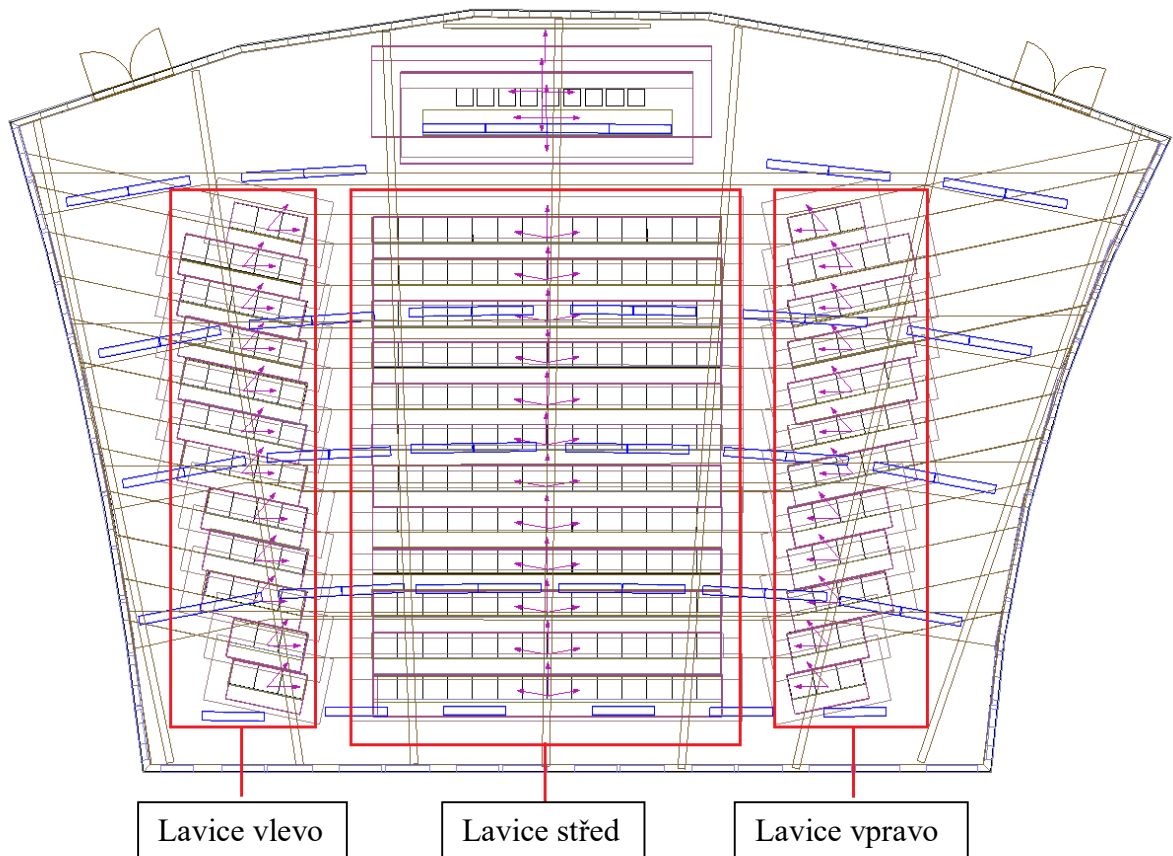
Obr. 33: 3D model v BuildingDesignu



Obr. 34: 3D model v DIALuxu

Protože umělého osvětlení bylo navrženo tak, aby svítily obě soustavy společně, nebylo dosaženo hodnot osvětlenosti uvedených v normě ČSN EN 12464-1. Na Obr. 37, Obr. 38 a Obr. 39 je vidět grafické porovnání nasimulovaných a naměřených hodnot osvětlenosti v závislosti na použitém programu a výsledků měření. Osa x značí řady lavic, osa y popisuje osvětlenost a černá křivka vyznačuje výškové odstupňování lavic a s tím související rozdílné výšky srovnávacích rovin.

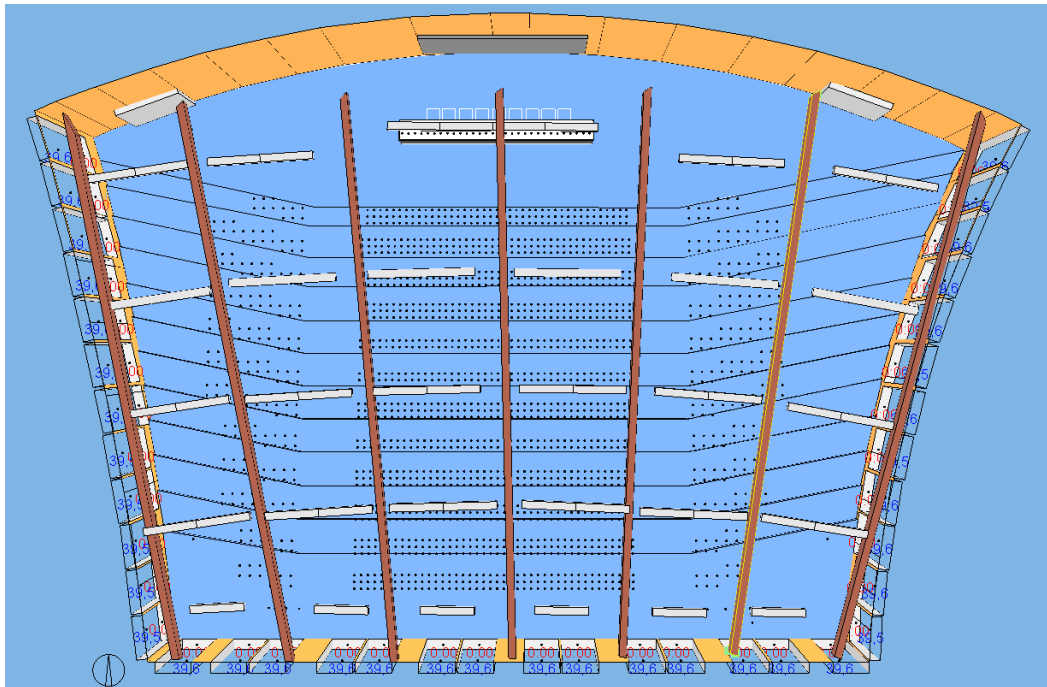
3.6.1 Výstupy z porovnání výpočetních programů a orientačního měření



Obr. 35: Půdorys posluchárny US-217 s vyznačenými lavicemi DIALux

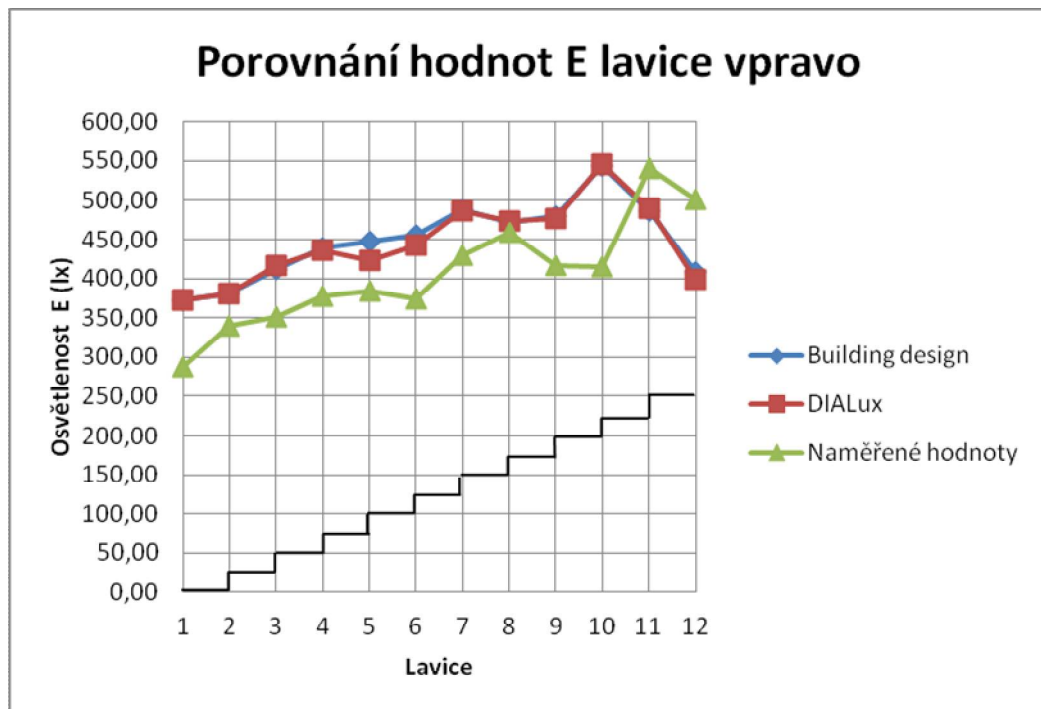
Na Obr. 35 je vidět rozdělení lavic (výpočtových ploch) na 3 skupiny a to lavice vpravo, střed a vlevo. Toto řešení bylo použito v celé práci z důvodu větší přehlednosti a usnadnění orientace v grafech uvedených níže.

Na Obr. 36 je vidět půdorys US-217 v programu BuildingDesign. Z Obr. 35 a Obr. 36 je vidět rozdílné zpracování výpočtových ploch. V případě DIALuxu jsou vyobrazeny jako obdélníky a samotné body nejsou v klasickém zobrazení vidět. BuildingDesign má výpočtové body vidět přímo v pracovním prostředí. Rastry podle kterých vytvářejí síť bodů ve výpočtové rovině si oba výpočetní programy dělají automaticky.



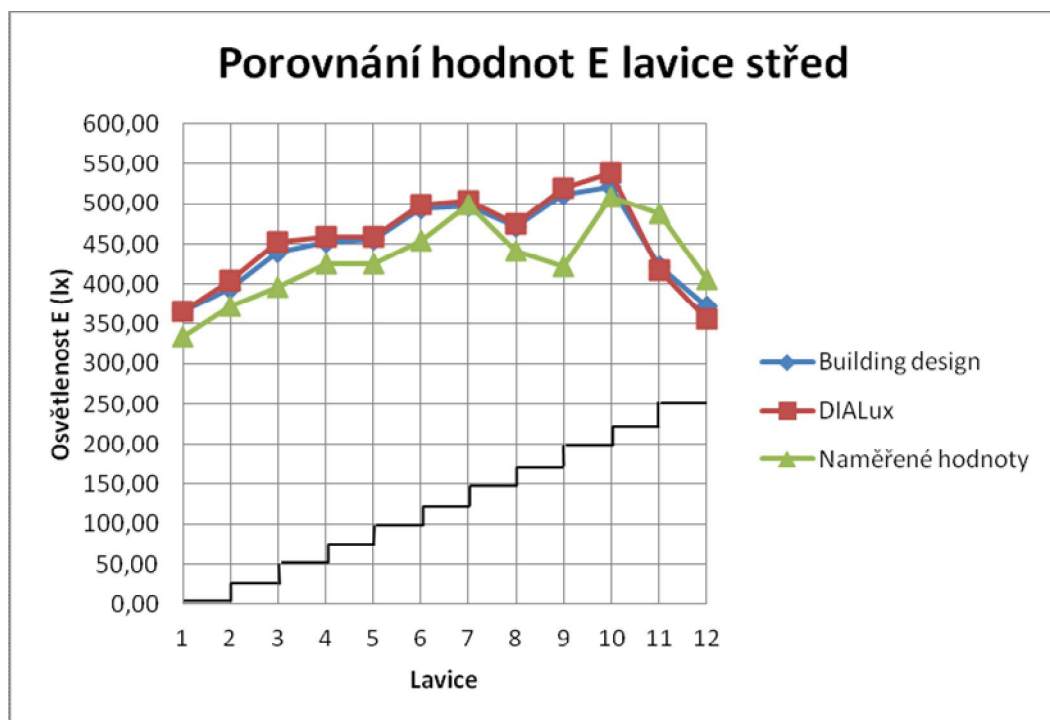
Obr. 36: Půdorys US-217 v programu BuildingDesign

Na Obr. 37 je vidět grafické porovnání naměřených a nasimulovaných hodnot osvětlenosti pro lavice vpravo. Černá křivka znázorňuje výškové odstupňování lavic. Číselné hodnoty naměřených hodnot a simulace jsou uvedené v Příl. 8, Příl. 9 a Příl. 10. Z grafu je patrné, že hodnoty simulace jsou vyšší než naměřené hodnoty. Při porovnání výpočetních programů lze konstatovat, že provedené simulace dosáhly prakticky totožných výsledků. Z grafu popisujícího osvětlenost lavic vpravo je patrný rozdíl simulací u páté a šesté lavice, který nejpravděpodobněji vznikl nepřesností modelů.



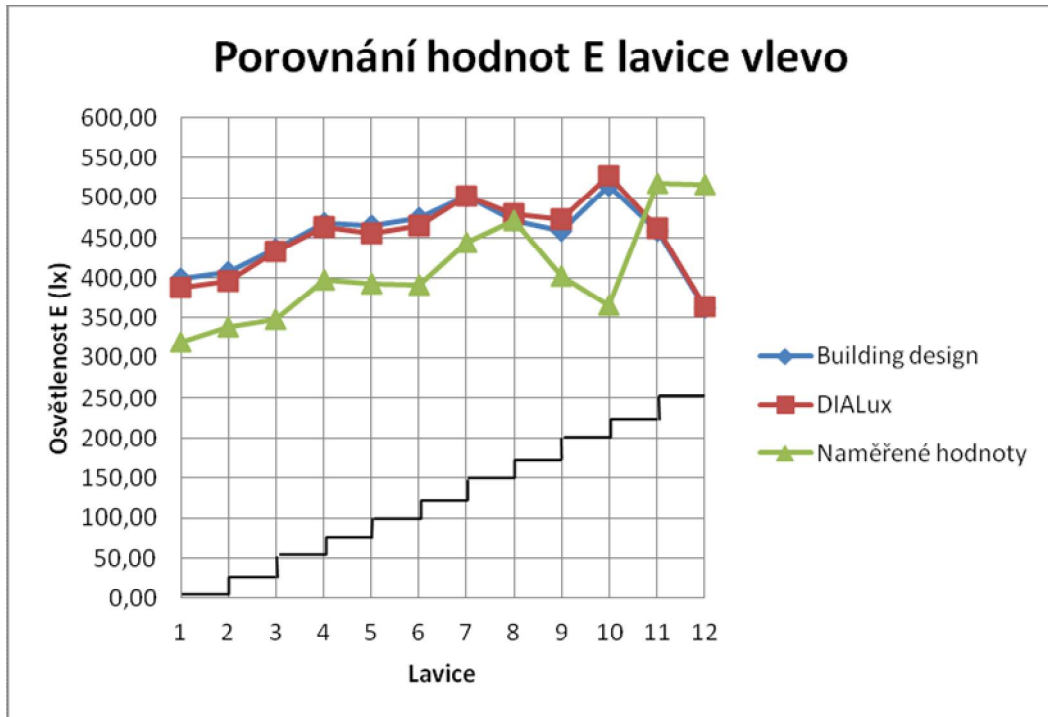
Obr. 37: Porovnání hodnot osvětlenosti lavice vpravo

Z Obr. 38 je patrné, že oba softwary pro výpočet osvětlení dospěly k prakticky totožným výsledkům. Číselné hodnoty osvětlení z programu BuildingDesign a DIALux jsou uvedeny v Příl. 8, Příl. 9 a Příl. 10.



Obr. 38: Porovnání hodnot osvětlenosti lavice střed

Z Obr. 39. je patrné, že oba softwary dospěly ke stejným výstupům. U naměřené hodnoty v případě dvanácté lavice se s velkou pravděpodobností jedná o chybu měření. Číselné hodnoty osvětlení z orientačního měření, programu BuildingDesign a DIALux jsou uvedeny v Příl. 8, Příl. 9 a Příl. 10.



Obr. 39: Porovnání hodnot osvětlenosti lavice vlevo

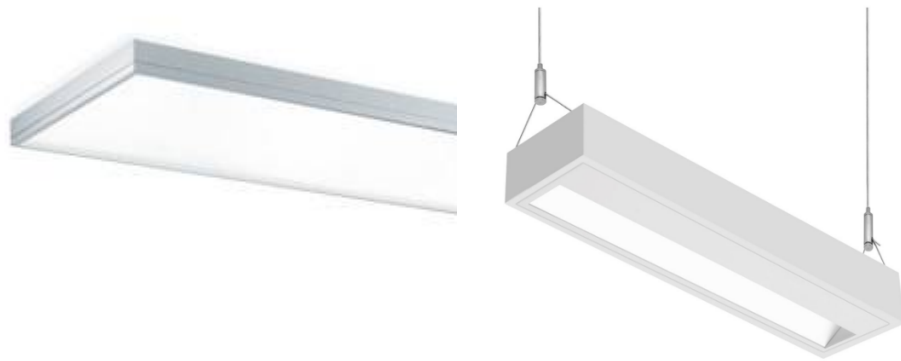
4 Nově navržená osvětlovací soustava

U původní osvětlovací soustavy bylo analýzou naměřených a nasimulovaných hodnot zjištěno nedostatečné osvětlení na první a druhé řadě lavic, u lavic vpravo a vlevo dokonce i na třetí řadě lavic. Kdy průměrná osvětlenost E_m nedosahuje hodnot předepsaných normou ČSN EN 12464-1. Úpravou stávající osvětlovací soustavy by bylo velice obtížné dosáhnout hodnot uvedených v normě z důvodu negativního ovlivnění promítacích pláten za demonstračním stolem. Proto byla navržena nová osvětlovací soustava, která by celkově zlepšila světelně technické parametry v dané posluchárně.

V uvažované posluchárně je projektant omezen odstupňovanými podhledy, trámy a promítacími plochami za demonstračním stolem. Novou osvětlovací soustavou odpadne potřeba provozovat dvě soustavy svítidel. Tím dojde k podstatnému snížení svítidel v posluchárně.

4.1 Zvolená svítidla

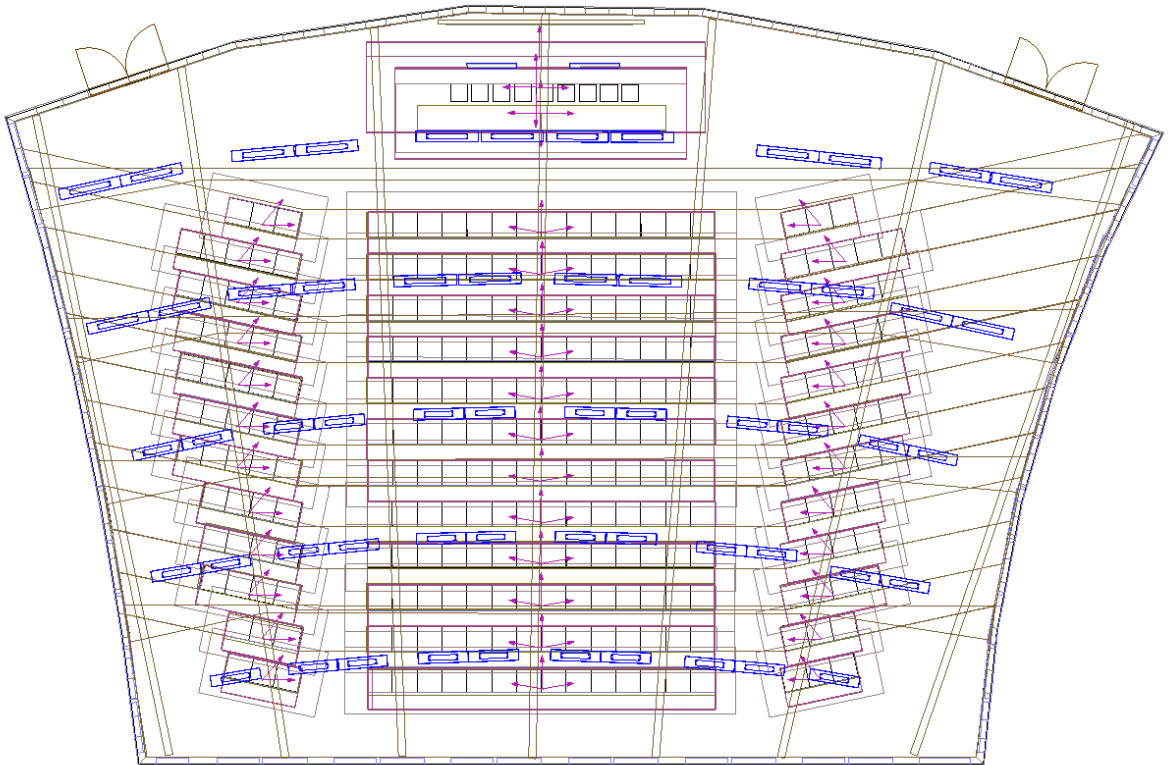
Pro novou osvětlovací soustavu byla zvolena svítidla od firmy Zumtobel. Jedná se o ploché stropní LED svítidlo řady LIFE A LED. Teplota chromatičnosti je 3 000 K, střední dimenzovaná životnost je 50 000h L90 při 25 °C. Barevné vykreslování $R_a > 80$. Svítidla jsou stmívatelná do 1% přes DALI. Řízení světla je založeno na technice vlnovodu LitePrint a na vícevrstvé mikropyramidové optice s definovaným světelným efektem pro distribuci bez oslnění s $UGR < 19$ a $L65 < 1\,500 \text{ cd} / \text{m}^2$ podle EN 12464-1. Snížení jasu při strmých úhlech, které jsou speciálně navrženy tak, aby zabránily oslnění na nakloněných displejích a umožňovali maximální flexibilitu. Díky hladkému vnějšímu difuzoru je dosaženo nízkého hromadění nečistot a snadného čištění. Uzavřený optický systém obsahuje ochranný kryt pro LED moduly, aby se zabránilo poškození vlivem elektrostatického výboje. Hmotnost svítidla je 10 kg. Svítidlo je vyobrazeno na Obr. 40. Svítidla jsou uvedena v kusovníku svítidel, viz Příl. 3.



Obr. 40: Svítidlo Zumtobel LIFE A LED [23], svítidlo EDAN ASYM REF [26]

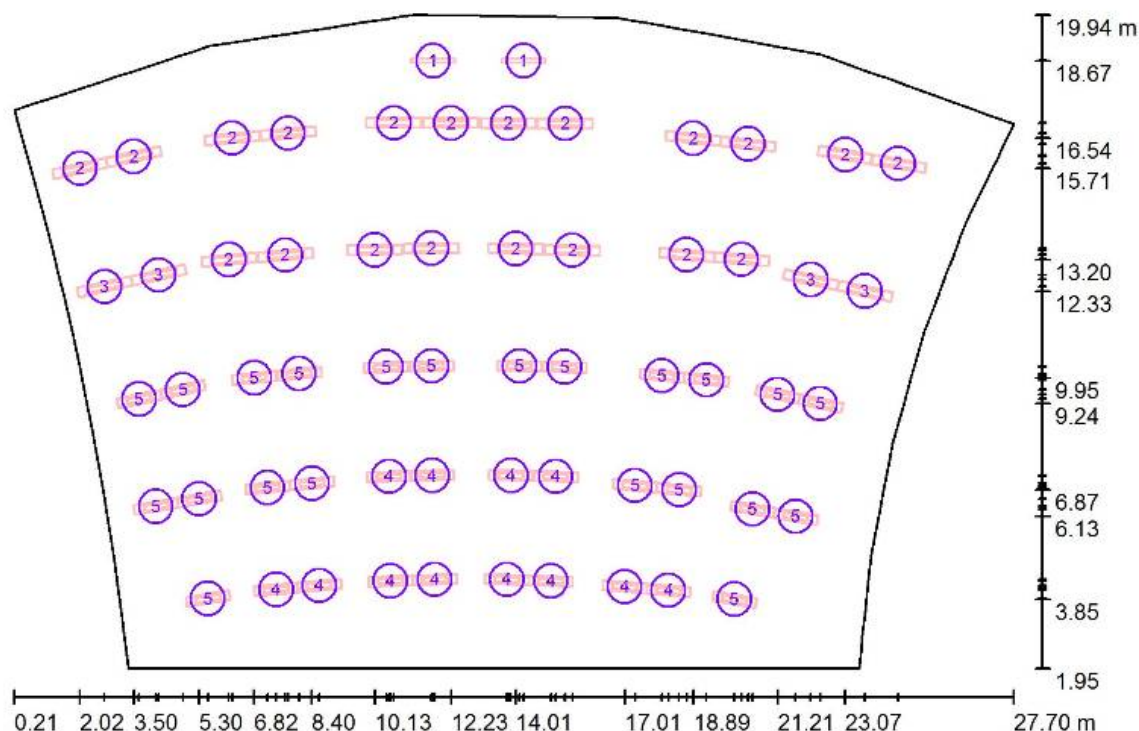
Kvůli architektonické dispozici posluchárny US-217, bylo pro osvětlení zvoleno několik zdrojů, aby došlo k pokud možno co nejrovnoměrnějšímu osvětlení. 20 Kusů Zumtobel LIFE A LED 4 600 LDO SRE se světelným tokem svítidla 4 590 lm a příkonem svítidla 37,9 W. 4 Kusy Zumtobel LIFE A LED 4 400 LDO SRE se světelným tokem svítidla 4 450 lm a příkonem svítidla 37,9 W. 22 Kusů Zumtobel LIFE A LED 3 800 LDO SRE se světelným tokem svítidla 3 770 lm a příkonem svítidla 31,3 W. 12 Kusů Zumtobel LIFE A LED 3 600 LDO SRE se světelným tokem svítidla 3 650 lm a příkonem svítidla 31,3 W. Pro osvětlení tabule bylo zvoleno LED svítidlo od firmy OMS s.r.o. EDAN SUSPENDED MATT ASYM REF 39 W v počtu 2 kusů. Více informací uvedeno v kusovníku svítidel, viz Příl. 3.

Na Obr. 41 je uveden půdorys posluchárny US-217 s LED svítidly Zumtobel. Při porovnání s původním řešením osvětlovací soustavy je patrné odlišné rozvržení svítidel.



Obr. 41: Půdorys nové osvětlovací soustavy se svítidly Zumtobel

Na Obr. 42 je uveden situační plán se svítidly Zumtobel. Z plánu je patrné umístění jednotlivých svítidel. Číslem jedna jsou označena svítidla pro osvětlení tabule, jedná se o svítidlo od firmy OMS s.r.o. EDAN SUSPENDED MATT ASYM REF 39 W. Číslem dva je označeno svítidlo Zumtobel LIFE A LED 4 600 LDO SRE. Číslem tři je označeno svítidlo Zumtobel LIFE A LED 4 400 LDO SRE. Číslem čtyři je označeno svítidlo Zumtobel LIFE A LED 3 600 LDO SRE. Číslem pět je označeno svítidlo Zumtobel LIFE A LED 3 800 LDO SRE.



Obr. 42: Situační plán svítidel Zumtobel

Z důvodu rozdílných výšek podhledů jsou svítidla nově navržené osvětlovací soustavy rovněž umístěné v různých montážních výškách. První řada svítidel je ve výšce 3,9 m, druhá řada svítidel je ve výšce 4,3 m, třetí řada je ve výšce 4,5 m, čtvrtá řada je ve výšce 4,7 m a pátá řada svítidel je ve výšce 4,9 m.

Výpočtové plochy pro umělé osvětlení a pro činitel rušivého osvětlení jsou umístěné stejně jako u předchozích modelů z výpočtového programu DIALux.

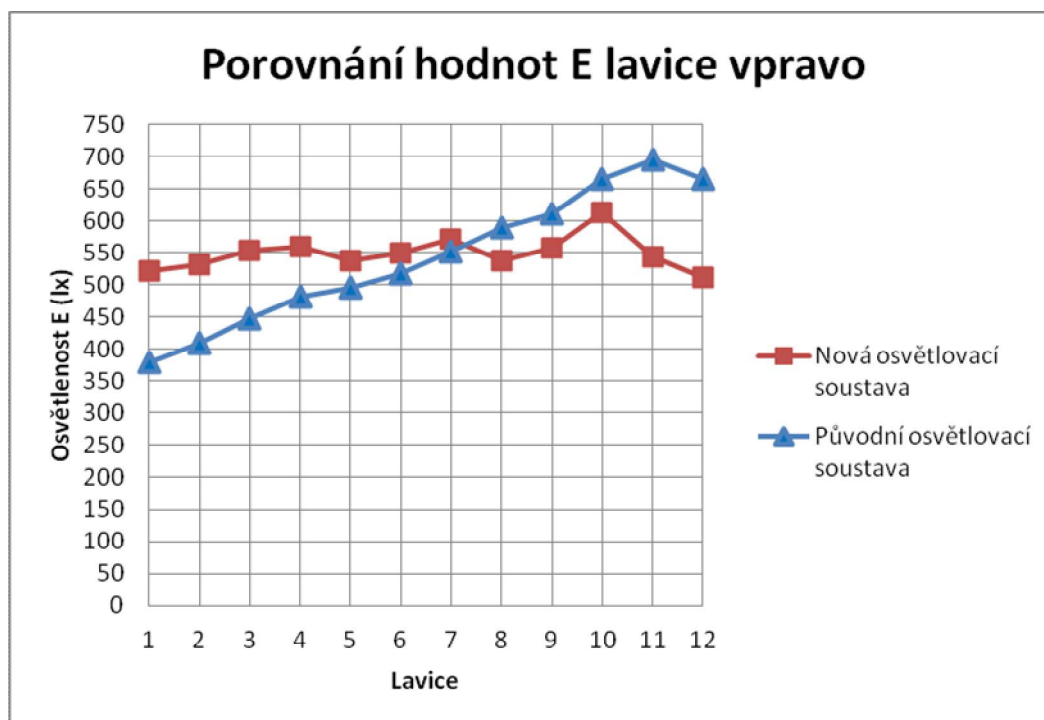
4.1.1 Určení udržovacího činitele nově navržené osvětlovací soustavy

Výpočet udržovacího činitele pro novou osvětlovací soustavu proběhl následovně: jako druh prostředí je zvoleno čisté s intervalem údržby po třech letech. Typ svítidla je uzavřené IP 2X s charakteristikou svítidla přímé a intervalem údržby jednou ročně. Světelný zdroj je LED s elektronickým předřadníkem a intervalem údržby po třech letech, za předpokladu 3 000 provozních hodin ročně. Výpočet proběhl dosazením do vztahu (3-1). Udržovací činitel pro nově navrženou soustavu tvořenou výhradně LED svítidly vyšel následovně: $RMF(0,94) \cdot LWF(0,88) \cdot LLF(1) \cdot LLWF(0,90) = 0,74$.

RMF je činitel prostoru s hodnotou 0,94. LWF je činitel svítidla s hodnotou 0,88 a LLW je činitel životnosti světelného zdroje o velikosti 1. LLWF je činitel světelného toku o hodnotě 0,90 a MF pak udržovací činitel, který vyšel 0,74.

4.1.2 Výstupy simulace nově navržené osvětlovací soustavy

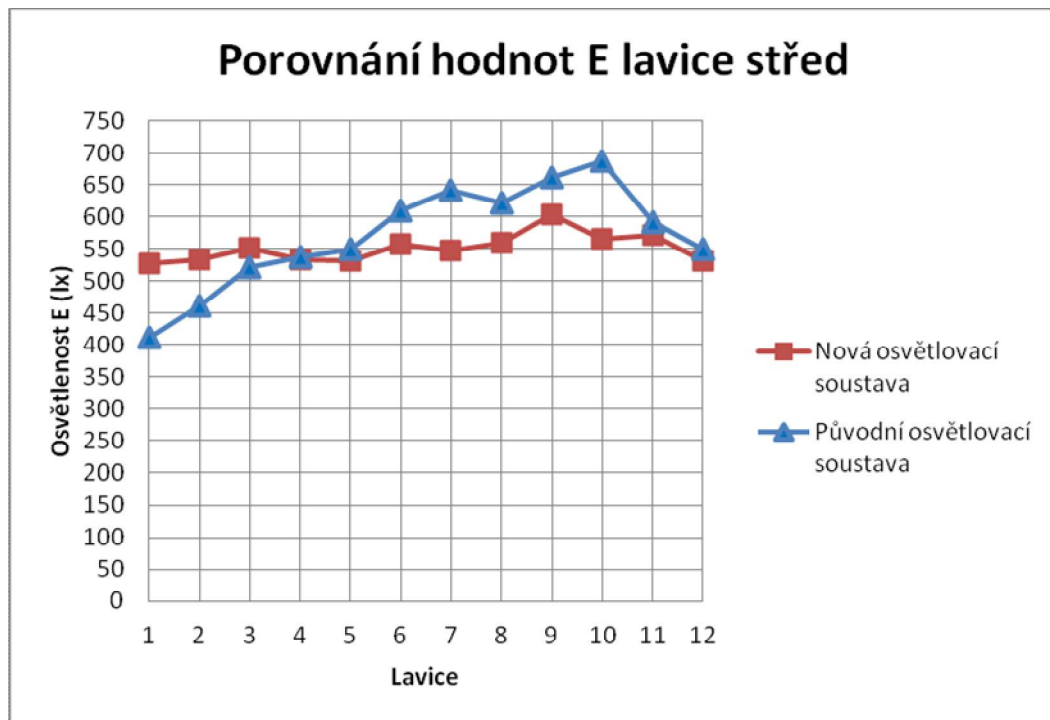
Na Obr. 43 je vidět grafické porovnání původní a nově navržené osvětlovací soustavy pro lavice vpravo. Z porovnání plyne, že křivka reprezentující nově navrženou soustavu má poměrně konstantní průběh, což je patrné rovněž z grafů na Obr. 44 a Obr. 45 pro lavice střed a vlevo. To je dáno rozdílným rozmístěním svítidel a především použitím odstupňovaných zdrojů ve svítidlech viz. Obr. 42. Tím je eliminována situace, kdy se snižující vzdáleností stropu od lavic stoupá osvětlenost, to je vidět z průběhu původní osvětlovací soustavy. V průběhu nové osvětlovací soustavy je patrná špička, která vznikla na desáté lavici. Je to dáno nízkou vzdáleností lavic od stropu a použitím dvou silnějších svítidel nad desátou lavicí a pouze jedním svítidlem v dvanácté řadě, viz Obr. 41. Toto řešení je kompromis jak dosáhnout hodnot uvedených v normě. Číselné výstupy jsou uvedeny v Příl. 7 a Příl. 12.



Obr. 43: Porovnání osvětlenosti původní a nové osvětlovací soustavy (vpravo)

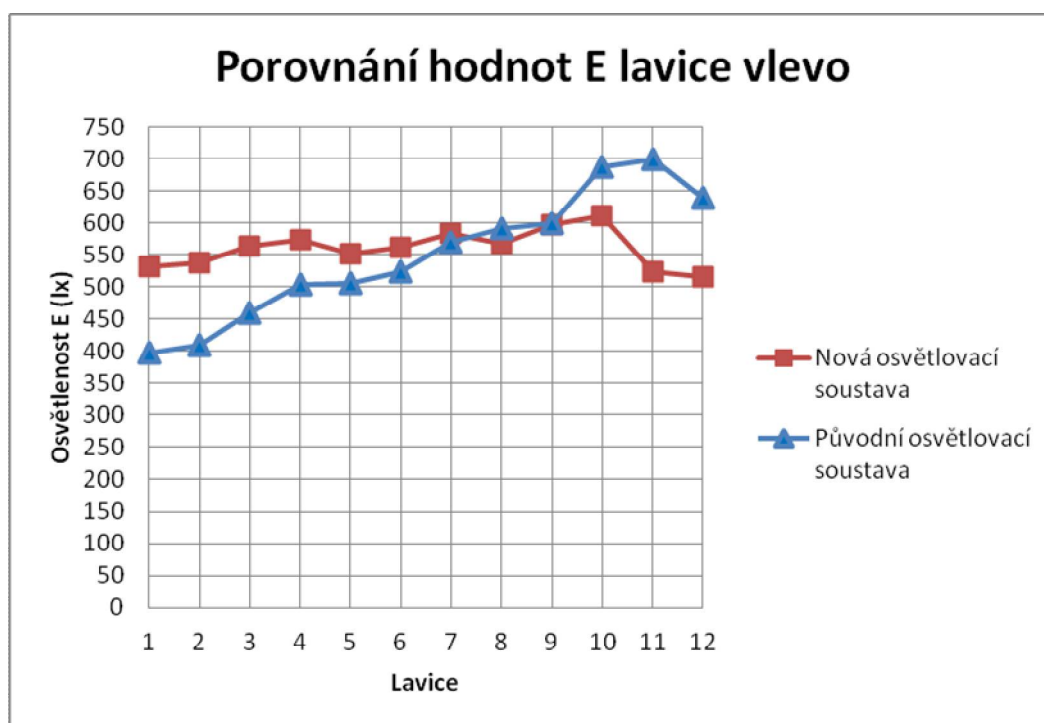
Na Obr. 44 je vyobrazen graf porovnávající osvětlenost původní a nově navržené soustavy pro lavice střed. Z porovnání plyne, že u nové soustavy v prostoru lavic střed vznikla špička, konkrétně nad lavicemi v deváté řadě. To je zapříčiněno použitím silnějších

svítidel na pomyslných bocích deváté řady, viz Obr. 42. Číselné výstupy jsou uvedeny v Příl. 7 a Příl. 12.



Obr. 44: Porovnání osvětlenosti původní a nové osvětlovací soustavy (střed)

Na Obr. 45 je vyobrazen graf porovnávající osvětlenost původní a nově navržené soustavy pro lavice vlevo. Pokles hodnot osvětlenosti u jedenácté a dvanácté řady je zapříčiněn použitím stejného rozmístění svítidel jako u lavic vpravo, viz Obr. 42. Jedná se o kompromis jak dosáhnout hodnot uvedených v normě a zbytečně nepřesvětlovat okolní prostor. Číselné výstupy jsou uvedeny v Příl. 7 a Příl. 12.



Obr. 45: Porovnání osvětlenosti původní a nové osvětlovací soustavy (vlevo)

5 Denní osvětlení

Součástí práce je také simulace denního osvětlení, simulace proběhla rovněž ve výpočetních programech BuildingDesign a DIALux. V posluchárně US-217 se jedná o osvětlení boční, z důvodu pronikání oblohového světla do místnosti okny v obvodovém plášti budovy.



Obr. 46: Boční osvětlení realizované okny vpravo a vzadu

5.1.1 Rozmístění ploch pro výpočet koeficientu denního osvětlení

Výpočtové plochy pro denní osvětlení jsou umístěné ve výšce 0,85 m nad podlahou. První řada lavic má výpočtové plochy pro denní osvětlení ve výšce 0,85 m, druhá řada lavic ve výšce 1,03 m, třetí řada lavic má výpočtové plochy pro denní osvětlení ve výšce 1,21 m, čtvrtá řada lavic ve výšce 1,39 m, pátá řada lavic má výpočtové plochy pro denní osvětlení ve výšce 1,57 m, šestá řada má výpočtové plochy pro denní osvětlení lavic ve výšce 1,75 m, sedmá řada lavic má výpočtové plochy pro denní osvětlení ve výšce 1,93 m, osmá řada lavic má výpočtové plochy pro denní osvětlení ve výšce 2,11 m, devátá řada lavic má výpočtové plochy pro denní osvětlení ve výšce 2,290 m, desátá řada lavic má výpočtové plochy pro denní osvětlení ve výšce 2,47 m, jedenáctá řada lavic má výpočtové plochy pro denní osvětlení ve výšce 2,65 m a dvanáctá řada lavic je má ve výšce 2,83 m.

5.1.2 Rozmístění a velikost oken

Na Obr. 46 a Obr. 47 je vidět rozmístění oken. Uvedené rozměry jsou ve formátu výška × šířka. Vpravo je dvanáct oken o rozměrech: $3 \times 3,9 \text{ m} \times 1,3 \text{ m}$, $4 \times 3,4 \text{ m} \times 1,3 \text{ m}$, $3 \times 2,9 \text{ m} \times 1,3 \text{ m}$, $1 \times 2,4 \text{ m} \times 1,3 \text{ m}$, $1 \times 2,4 \text{ m} \times 1,225 \text{ m}$. Vlevo jsou okna v počtu dvanácti kusů o rozměrech: $3 \times 3,9 \text{ m} \times 1,3 \text{ m}$, $4 \times 3,4 \text{ m} \times 1,3 \text{ m}$, $2 \times 2,9 \text{ m} \times 1,3 \text{ m}$, $2 \times 2,4 \text{ m} \times 1,3 \text{ m}$ s výjimkou posledního okna, kde je rozměr $1 \times 2,4 \text{ m} \times 1,225 \text{ m}$. V prostoru za poslední řadou sedadel je 14 oken o rozměrech: $6 \times 2,9 \text{ m} \times 1,1 \text{ m}$ a $6 \times 2,9 \text{ m} \times 1,15 \text{ m}$. Změna nastává u okna v pravém kraji, kde je rozměr $2,9 \text{ m} \times 1,3 \text{ m}$ a okna v levém kraji, kde je rozměr $2,9 \text{ m} \times 0,740 \text{ m}$.



Obr. 47: Boční osvětlení realizované okny vlevo a vzadu

Při simulaci denního osvětlení byl zohledněn činitel snížení prostupu zasklení vlivem znečištění. Činitel denního světla pro okna byl zvolen jako typický skleněný materiál s prostupem světla 90 % (převodní stupeň). Činitel znečištění byl zvolen jako - typického okolí znečištění s hodnotou prostupu světla 80 %. Činitel rozčlenění byl vybrán jako typický druh oken s prostupem světla 85 %. Faktor snížení při jiném než kolmém dopadu světla 80 %. Hodnoty činitele prostupu jsou brány z normy ČSN 73 0580-1, viz Tab. 9.

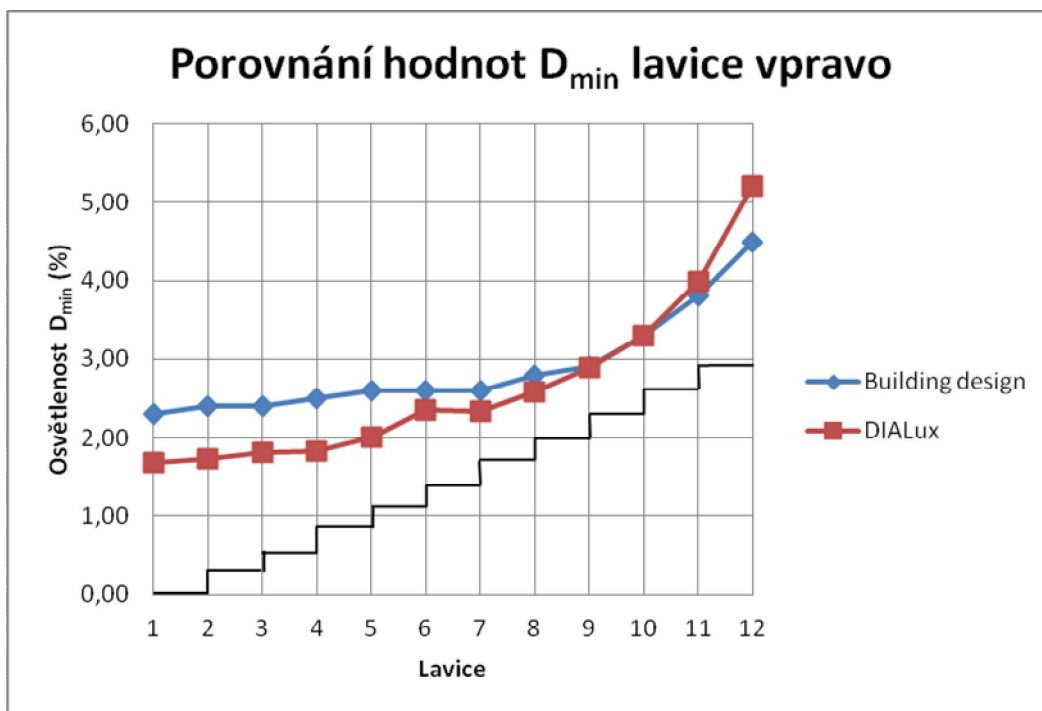
Tab. 9: Směrné hodnoty činitele prostupu světla

<i>Druh materiálu</i>	<i>Činitel prostupu světla τ_s, nor</i>		
<i>Čiré tabulové sklo 3mm až 4mm</i>	<i>0,92</i>		
<i>Surové sklo (nevzorované)</i>	<i>0,88</i>		
<i>Vzorované sklo</i>	<i>0,85</i>	<i>až</i>	<i>0,9</i>
<i>Drátované sklo 6 mm až 7 mm</i>	<i>0,6</i>	<i>až</i>	<i>0,86</i>
<i>Mdlené sklo</i>	<i>0,75</i>	<i>až</i>	<i>0,8</i>
<i>Laminát se skelným vláknem</i>	<i>0,35</i>	<i>až</i>	<i>0,85</i>
<i>Akrylát čirý</i>	<i>0,85</i>	<i>až</i>	<i>0,92</i>
<i>Akrylát rozptylný</i>	<i>0,6</i>	<i>až</i>	<i>0,8</i>
<i>Determinální skla</i>	<i>0,35</i>	<i>až</i>	<i>0,7</i>
<i>Reflexní skla</i>	<i>0,55</i>	<i>až</i>	<i>0,65</i>
<i>Skleněné tvárnice jednovrstvé</i>	<i>0,85</i>	<i>až</i>	<i>0,95</i>
<i>Skleněné tvárnice dvouvrstvé</i>	<i>0,55</i>	<i>až</i>	<i>0,62</i>
<i>Záclony</i>	<i>0,5</i>	<i>až</i>	<i>0,75</i>

5.1.3 Výstupy ze simulace denního osvětlení z výpočetních programů

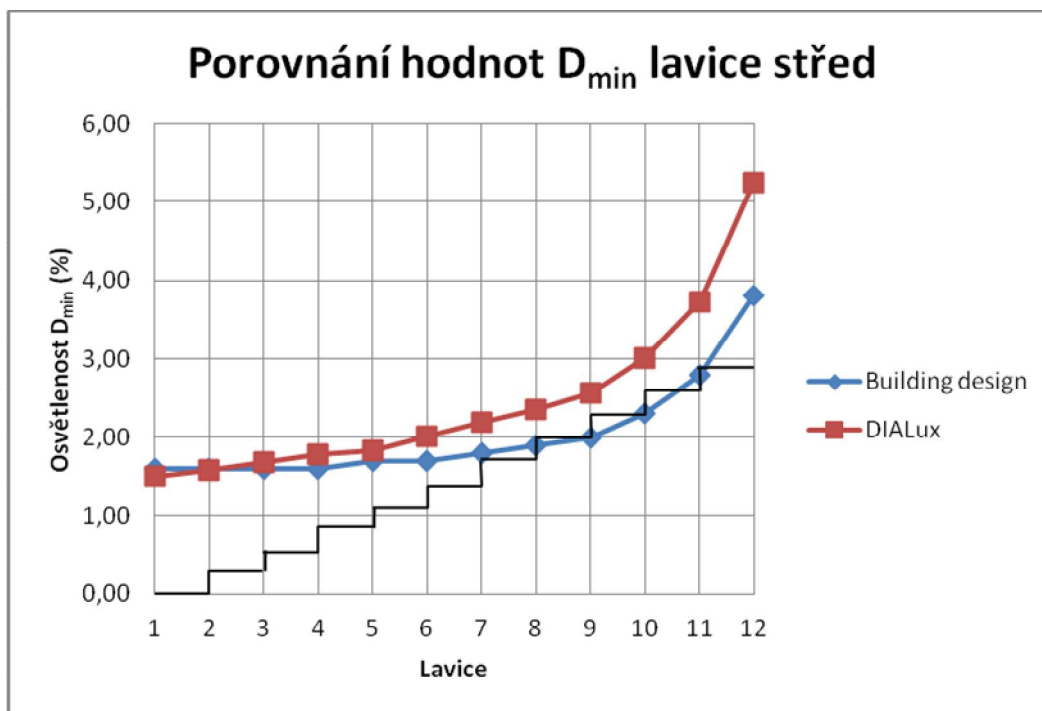
Posluchárna US-217 je brána jako jednoúčelová budova, kde za celou dobu jejího užívání nedojde ke změně zrakové činnosti. Parametry výpočtu: nastavena rovnoměrně zatažená obloha, zohledněno denní osvětlení a následný výpočet koeficientů denního osvětlení. Scény, ve kterých jsou počítány koeficienty denního světla, nesmí obsahovat umělé světlo. Z tohoto důvodu byla při simulaci denního osvětlení vypnuta všechna svítidla. Datum bylo zvoleno 11. 3. 2017 v 10:30. Intenzita horizontálního osvětlení ve volném prostředí E_v byla 10 248 lx. Toto nastavení výpočtu bylo použito pro oba výpočetní programy.

Na Obr. 48, Obr. 49 a Obr. 50 jsou porovnány minimální hodnoty koeficientu denní osvětlenosti z BuildinDesignu a DIALuxu. Osa x popisuje lavice, osa y představuje minimální hodnoty koeficientu denní osvětlenosti a černá křivka představuje výškové odstupňování lavic. Z Obr. 48 je vidět rozdíl mezi hodnotami nasimulovanými v BuildingDesignu a DIALuxu, u prvních čtyř řad lavic se rozdíl nasimulovaných hodnot pohybuje v průměru o jeden procentní stupeň minimální hodnoty denní osvětlenosti a poté se tento rozdíl začne snižovat. Rozdíl mezi simulacemi nastal nejpravděpodobněji rozdílným natočením (orientací) místnosti v BuildingDesignu a DIALuxu. Číselné výstupy jsou uvedeny v Příl. 5 a Příl. 6.



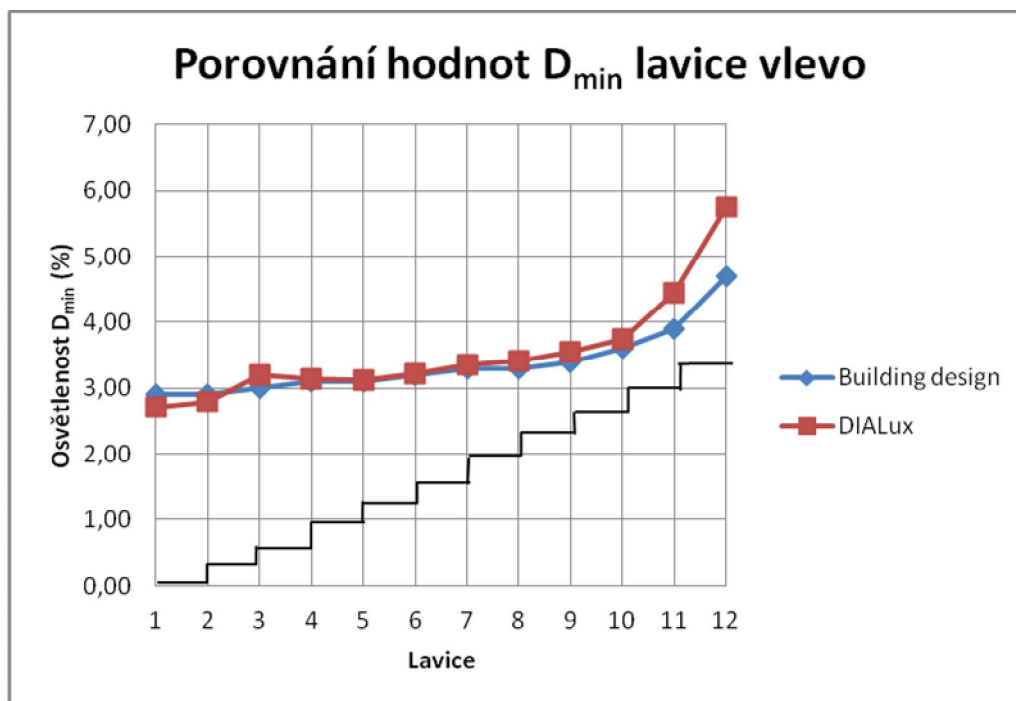
Obr. 48: Průměrná hodnota činitele denní osvětlenosti lavice vpravo

Z Obr. 49 je patrné, že minimální hodnoty koeficientu denní osvětlenosti pro lavice střed jsou v obou programech podobné a mají rostoucí charakter. Je zde vidět, jak se minimální hodnota činitele denní osvětlenosti zvyšuje směrem k oknům umístěným v zadní stěně. Číselné výstupy jsou uvedeny v Příl. 5 a Příl. 6.



Obr. 49: Průměrná hodnota činitele denní osvětlenosti lavice střed

Z Obr. 50 je zřejmé, že minimální hodnoty koeficientu denní osvětlenosti jsou téměř totožné. Výraznější rozdíl nasimulovaných hodnot začíná až od jedenácté lavice. Dále je znovu vidět jak osvětlenost stoupá s ubývající vzdáleností od zadní stěny. Číselné výstupy jsou uvedeny v Příl. 5 a Příl. 6.



Obr. 50: Průměrná hodnota činitele denní osvětlenosti lavice vlevo

Při porovnání výstupu denního osvětlení uvedených v Příl. 5 a Příl. 6 s normou ČSN 73 0580-1 viz Tab. 5, je zřejmé, že všechny hodnoty splňují parametry normy. Minimální hodnoty činitele denní osvětlenosti vyhovují u všech výpočtových ploch reprezentujících lavice pro IV. třídu zrakové činnosti. Problém nastává u demonstračního stolu, kde má hodnota D_{min} velikost pouze 1,3 % a norma předepisuje hodnotu $D_{min} = 1,5$ %. Jelikož je denní osvětlení v posluchárně řešeno pouze bočním osvětlením je důležitý pouze parametr D_{min} a rovnoměrnost denního osvětlení, ta má mít pro IV. třídu zrakové činnosti hodnotu větší než 0,2. Toto kritérium je rovněž splněno u všech výpočtových ploch.

Z důvodu nedostatečného denního osvětlení na demonstračním stole bylo přistoupeno ke sdruženému osvětlení. Podle normy ČSN 36 0020, která se zabývá sdruženým osvětlením je možné použít sdružené osvětlení u nově navrhovaných staveb pouze v odůvodněných případech. To znamená při závažných příčinách jako jsou: (stavebně konstrukční, technologické, provozní, mikroklimatické či urbanistické), kdy není možné bez dosažení škody u ostatních společensky důležitých činitelů stavby dosáhnout vyhovujícího denního

osvětlení. Přičemž se nenadřazují ekonomická a technická hlediska nad hlediska hygienická. [7]

Tab. 10: Hodnoty činitele denní osvětlenosti v % pro sdružené osvětlení

<i>Třída zrakové činnosti</i>	<i>Hodnota činitele denní osvětlenosti v %</i>	
	<i>Minimální D_{min}</i>	<i>Průměrná D_m</i>
<i>I, II</i>	<i>1</i>	<i>2,5</i>
<i>III</i>	<i>0,7</i>	<i>2</i>
<i>IV</i>	<i>0,5</i>	<i>1,5</i>
<i>V až VII</i>	<i>0,5</i>	<i>1</i>

V případě rozsáhlých staveb a prostorách s větším množstvím lidí (školy, průmysl) je doporučené ovládání doplňujícího umělého osvětlení pomocí čidel, na základě sledování stavu denního osvětlení. Tím je docíleno potřebné úrovně i kvality osvětlení a zároveň hospodárné využití energie. Ovládání může být manuální nebo automatické. Automatické ovládání je technicky a investičně náročnější. Manuální ovládání je na základě signalizace z čidel. V případě automatického ovládání se vždy zachová i možnost ručního. [7]

Požadavky na osvětlení ve školách je pro školy a školské zařízení při sdruženém osvětlení následující: pro posluchárny $D_{min} = 0,5 \%$ a $D_m = 1,5 \%$ a osvětlenost doplňujícím umělým světlem 400 lx. Tento parametr byl splněn jak v případě původní osvětlovací soustavy, tak i nově navržené.

6 Nouzové osvětlení

Nouzové osvětlení se zřizuje pro případ, že by došlo k výpadku normálního osvětlení. Z tohoto důvodu je napájeno ze zdroje nezávislého na tom, který napájí normální osvětlení. Hlavním účelem nouzového osvětlení je umožnění bezpečného úniku osob při výpadku normálního napájení. V posluchárně US-217 je kombinace nouzového osvětlení únikových cest s použitím nouzového osvětlení bezpečnostních značek. [6]

Smyslem nouzového osvětlení únikových cest je usnadnit osobám bezpečné opuštění daného prostoru zajištěním vhodných podmínek pro vidění a určení směru úniku. Dále na určených místech zajistit snadnou dosažitelnost a použití veškerých prostředků požární ochrany a bezpečnostních zařízení. Účelem nouzového osvětlení bezpečnostních značek je poskytnout vyhovující podmínky pro vidění a určení směru na únikových cestách. Důležitým parametrem je jejich rozlišitelnost a správná funkce. [6]

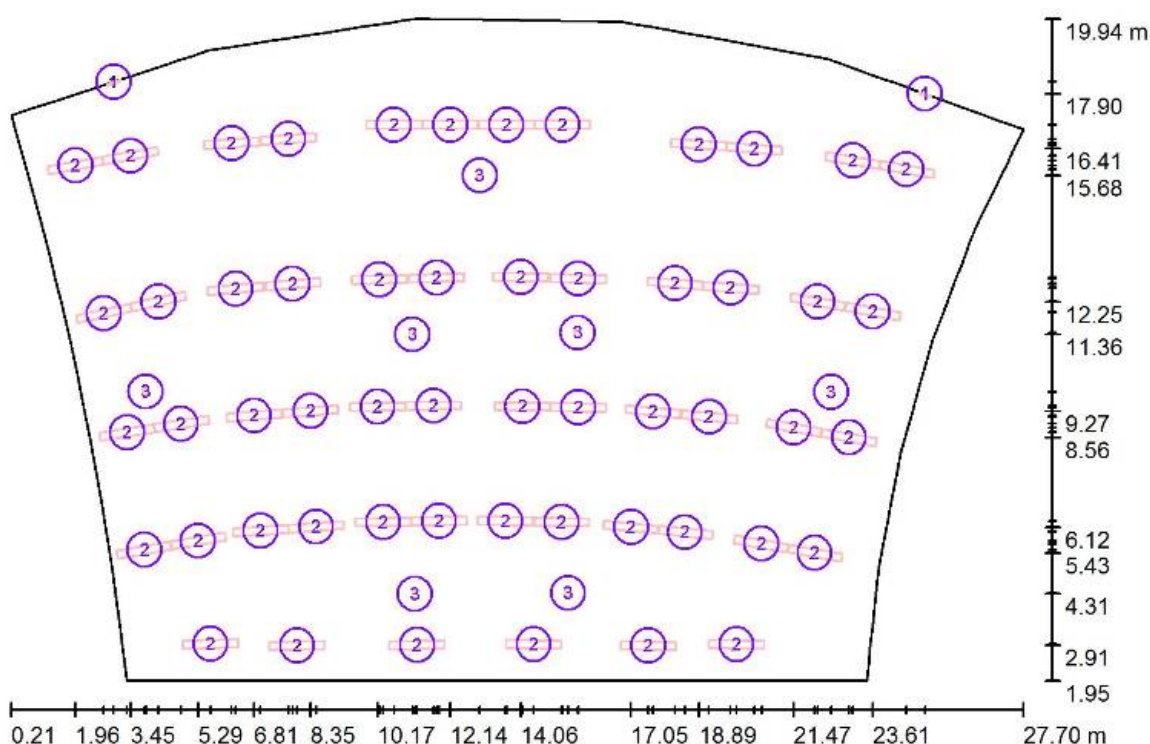
Nouzové osvětlení se jako součást požárního zařízení řídí samostatně, napájení probíhá buď autonomními akumulátory umístěnými ve svítidlech nebo z centrální baterie. V případě budovy NTIS je napájení nouzového osvětlení realizováno z centrální baterie. Spouštění nouzového osvětlení reaguje pouze na pokyn od zařízení elektrické požární signalizace. Spouštění nouzového osvětlení únikových cest probíhá při výpadku napájení objektu. Pro osvětlení únikových cest se používají svítidla, které dokážou osvětlit únikovou cestu i případný piktogram s vyobrazeným směrem úniku. Úkolem svítidel s označením únikových cest, tedy podsvětlených piktogramů není osvětlit únikovou cestu, ale viditelně a jasně ukázat směr úniku. Nouzové osvětlení se z hlediska napájení dělí na dvě skupiny:

- 1) Soustava - svítidla s autonomním zdrojem.
- 2) Soustava - svítidla napájena centrálním akumulátorovým zdrojem.

Svítidla napájena z centrálního akumulátorového zdroje jsou napojena na centrální monitorovací systém. Uvedené řešení umožňuje z jednoho bodu řídit svítidla nouzového osvětlení, současně provádět vyhodnocování, zaznamenávat testy funkčnosti a zjišťovat poruchy u svítidel.

6.1.1 Svítidla nouzového osvětlení v US-217

Provedení současné soustavy nouzového osvětlení je patrné ze situačního plánu na Obr. 51. Z plánu je vidět rozmístění jednotlivých svítidel. Pro nouzové osvětlení jsou použita svítidla s označením jedna a tři. Svítidla označena číslem dva jsou svítidla KANNAL. Pod číslem jedna se jedná o svítidla ESSYSTEM OP20-G1 a pod číslem tři o svítidla INOTEC BN 2 100 LED. Simulace nouzového osvětlení proběhla v programu DIALux, z důvodu nedostatku výpočetního výkonu pracovní stanice HP-PAVILION (CPU i5-6 200; 2,4 GHz; 8 GB RAM) bylo nutné nouzové osvětlení implementovat do modelu bez dekorativního osvětlení, aby daný model nebyl tak náročný na výkon počítače.



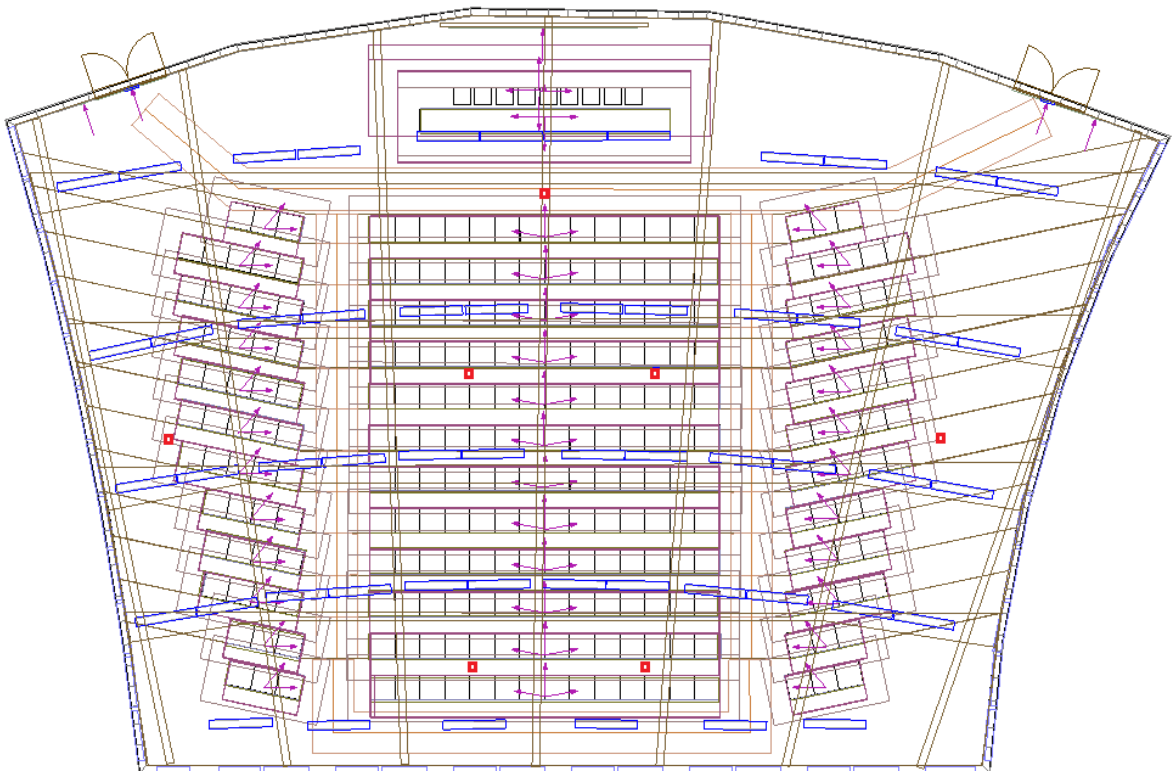
Obr. 51: Situační plán s nouzovým osvětlením DIALux

Na Obr. 53 je vyobrazen půdorys posluchárny US-217 s nouzovým osvětlením. Z půdorysu jsou patrné únikové cesty, kdy jedna prochází mezi východem umístěným vpravo a vlevo. Druhá úniková cesta prochází mezi lavicemi vpravo a střed a třetí úniková cesta se nachází mezi lavicemi střed a vlevo. Hodnoty nouzového osvětlení jsou uvedeny v Příl. 15.



Obr. 52: Svítidlo ESSYSTEM OP20-G1[24] a INOTEC BN 2100 LED [25]

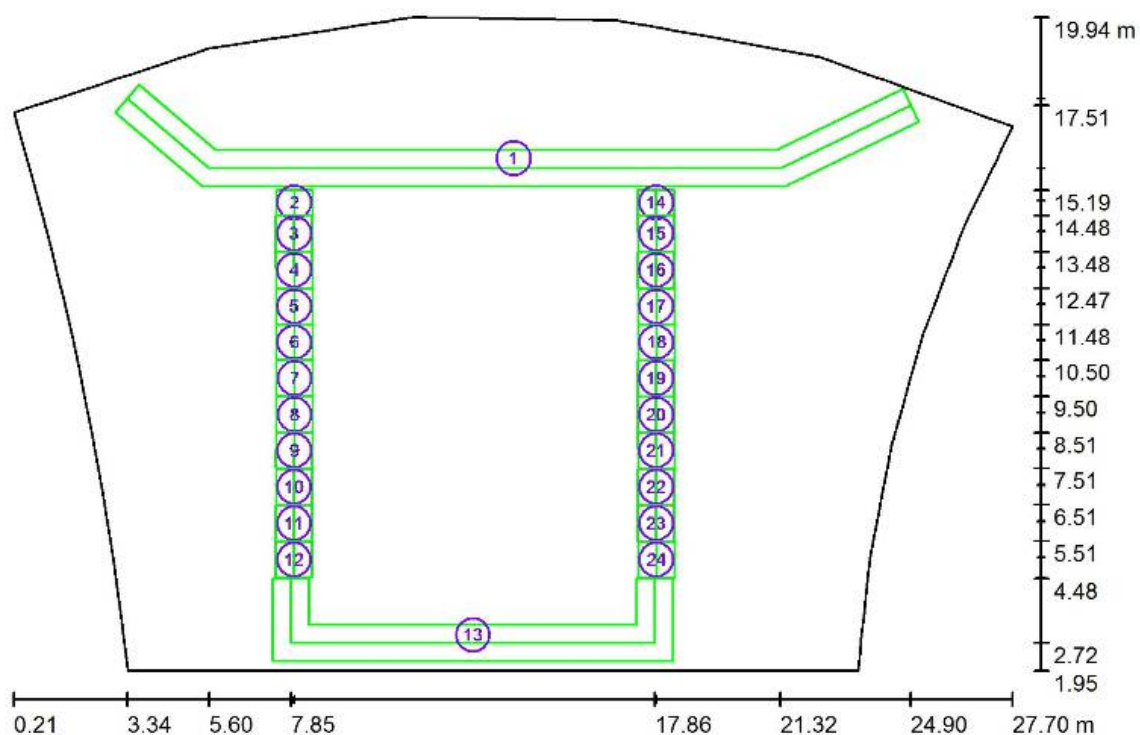
Nade dveřmi jsou umístěná svítidla ESSYSTEM OP20-G1 se světelným tokem 160 lm a příkonem 1,2 W s rozlišitelností 20 m, viz Obr. 52 vlevo. Jsou v montážní výšce 2,42 m. Na stropu posluchárny jsou umístěny svítidla INOTEC BN 2100 LED se světelným tokem 281 lm a příkonem 5 W, viz Obr. 52 vpravo. Svítidla jsou v montážní výšce 3,9 m; 4,5 m a 4,89 m, řazeno od demonstračního stolu. Svítidla jsou uvedena v kusovníku svítidel, viz Příl. 2.



Obr. 53: 2D model původního nouzového osvětlení

6.1.2 Provedení únikových cest

Výpočtové plochy únikových cest jsou umístěné na podlaze a jednotlivých stupních (schodech), viz Obr. 54. Číslování únikových cest uvedené ve schématu je následující: v kulaté závorce je číslo odpovídající schématu a před závorkou je uvedené jméno a pozice výpočtové plochy. Úniková cesta dole (1) je ve výšce 0 m, úniková cesta stupeň nula (2, 14) je ve výšce 0 m, úniková cesta stupeň jedna (3, 15) je ve výšce 0,18 m, úniková cesta stupeň dva (4, 16) je ve výšce 0,36 m, úniková cesta stupeň tři (5, 17) je ve výšce 0,54 m, úniková cesta stupeň čtyři (6, 18) je ve výšce 0,72 m, úniková cesta stupeň pět (7, 19) je ve výšce 0,90 m, úniková cesta stupeň šest (8, 20) je ve výšce 1,08 m, úniková cesta stupeň sedm (9, 21) je ve výšce 1,26 m, úniková cesta stupeň osm (10, 22) je ve výšce 1,44 m, úniková cesta stupeň devět (11, 23) je ve výšce 1,62 m, úniková cesta stupeň deset (12, 24) je ve výšce 1,8 m a úniková cesta stupeň jedenáct (13) je ve výšce 1,98 m. Všechny únikové cesty mají šířku 1 m.



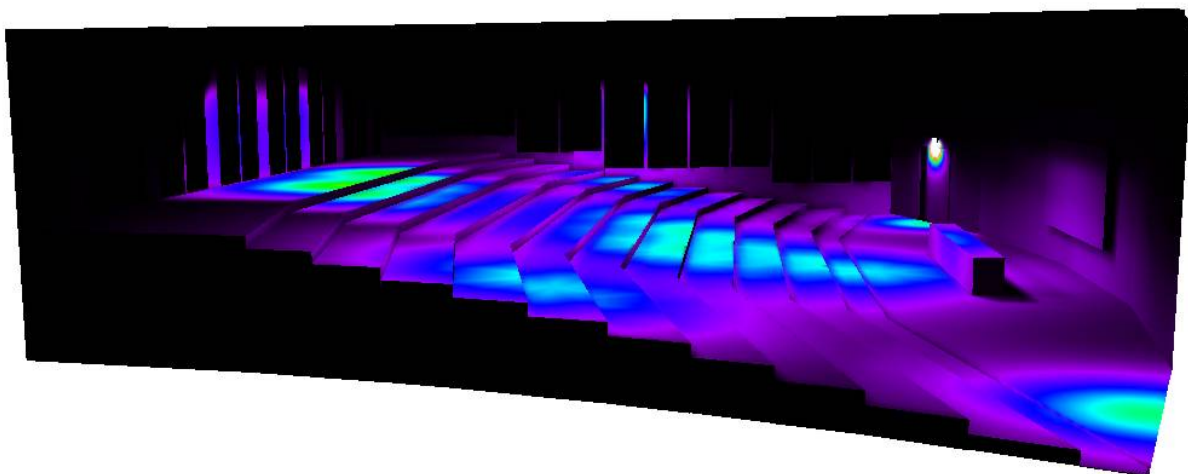
Obr. 54: Schéma únikových cest pro původní i nově navržené nouzové osvětlení

Dle normy ČSN EN 1838 nesmí být horizontální osvětlenost na podlaze únikové cesty do šíře 2 m podél osy únikové cesty menší než 1 lx a středový pás široký minimálně polovinu šíře cesty musí být osvětlen na 50 % této hodnoty. Rovnoměrnost extrémů osvětlení U_d je

dána poměrem minimální a maximální osvětlenosti a musí být větší než 1:40 podél osy únikové cesty. [4]

Z nasimulovaných hodnot nouzového osvětlení je patrné, že nouzové osvětlení vychází pro všechny únikové cesty.

Na Obr. 55 je vidět simulace nouzového osvětlení v nepravých barvách. Interpolace byla nastavena pro bílou bavu na 20 lx, pro červenou 17,5 lx, pro oranžovou 15 lx, pro žlutou 12,5 lx, pro zelenou 10 lx, světle modrou 7,5 lx, modrou 5 lx, fialovou 2,5 lx a černou 0 lx.

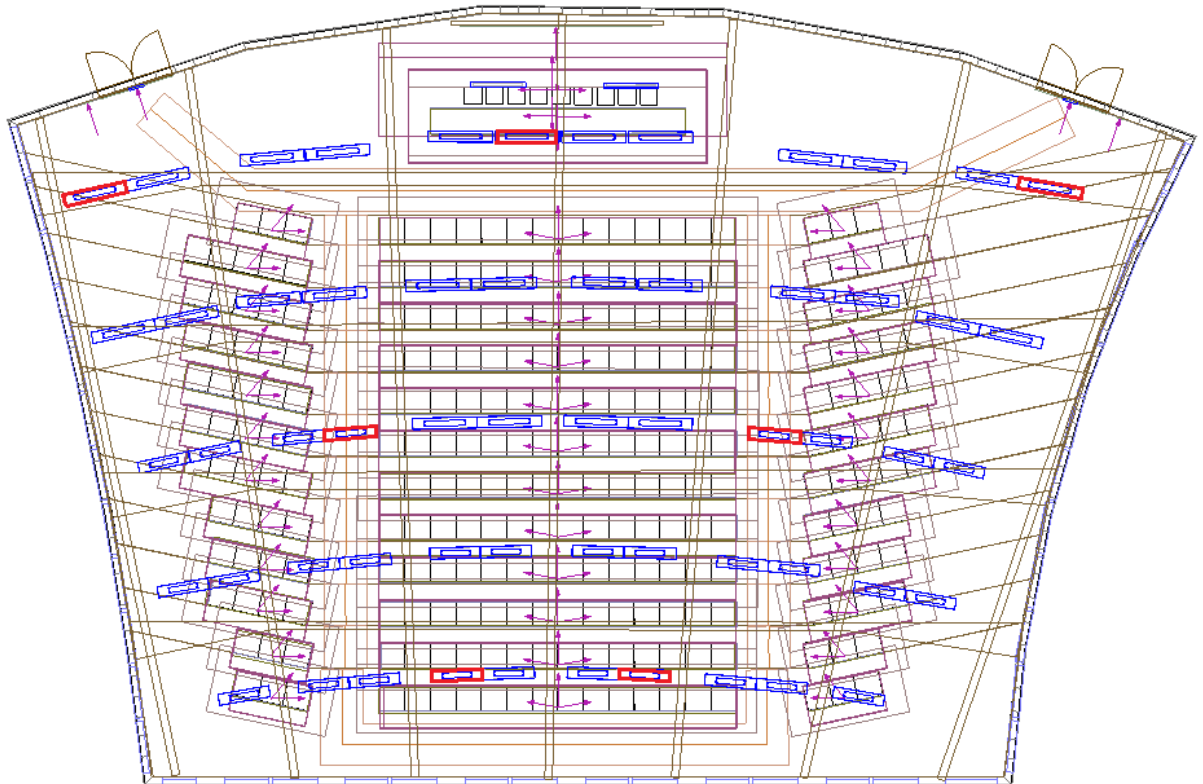


Obr. 55: Intenzita původního nouzového osvětlení v nepravých barvách

6.1.3 Nově navržená soustava nouzového osvětlení

S nově navrženou soustavou umělého osvětlení bylo navrženo i nové nouzové osvětlení. To je realizováno nouzovým modulem umístěným ve vybraných svítidlech, viz Obr. 56. Svítidlo vybavené nouzovým modulem svítí na 15 % a světelný tok nouzového osvětlení je 689 lm, 566 lm a 548 lm, odstupňování světelného toku je zapříčiněno použitím různě výkonných svítidel. Svítidla nade dveřmi byly ponechány z důvodu nevhodnosti použití a vybavení svítidla Zumtobel LIFE A LED příslušným piktogramem, tudíž je zde použito rovněž svítidlo ESSYSTEM OP20-G1 se světelným tokem 160 lm a příkonem 1,2 W s rozlišitelností 20 m. Hodnoty nouzového osvětlení jsou uvedeny v Příl. 16.

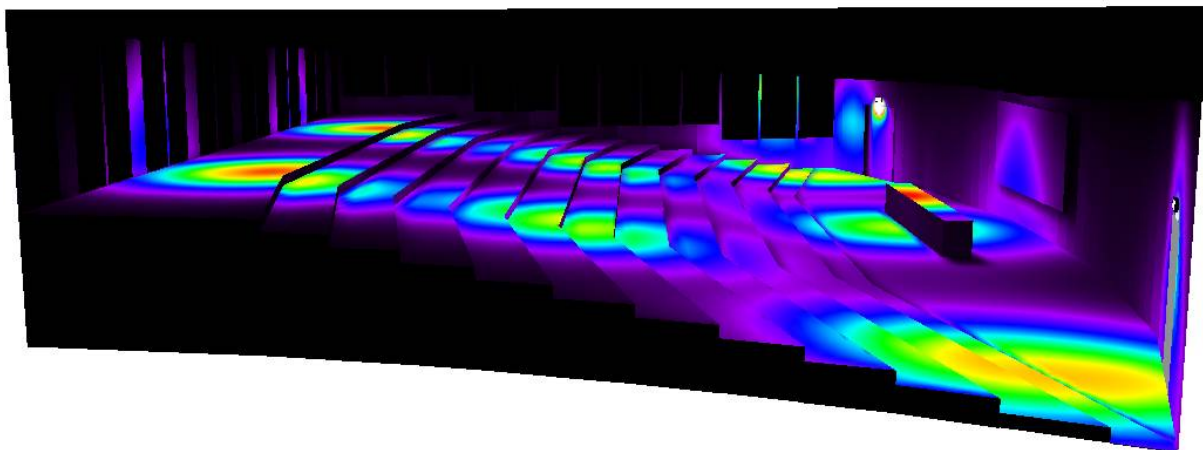
Únikové cesty zůstaly stejné jako v případě původního nouzového osvětlení viz Obr. 54.



Obr. 56: Model nově navrženého nouzového osvětlení

Z nasimulovaných hodnot nouzového osvětlení je zřejmé, že nouzové osvětlení vychází rovněž pro všechny únikové cesty.

Na Obr. 57 je vidět simulace nově navrženého nouzového osvětlení v nepravých barvách. Interpolace byla nastavena pro bílou bavu na 30 lx, pro červenou 26,25 lx, pro oranžovou 22,5 lx, pro žlutou 18,75 lx, pro zelenou 15 lx, světle modrou 11,25 lx, modrou 7,5 lx, fialovou 3,75 lx a černou 0 lx. Při porovnání s původní osvětlovací soustavou jsou patrné vyšší hodnoty osvětlení.



Obr. 57: Intenzita nově navrženého nouzového osvětlení v nepravých barvách

7 Ekonomické zhodnocení osvětlovacích soustav

Fotometrické parametry stávající a nově navržené osvětlovací soustavy jsou uvedené v Příl. 7 a Příl. 12. Mezi důležité ukazatele osvětlovací soustavy patří: instalovaný příkon, náklady na spotřebovanou elektrickou energii, celkové provozní náklady a náklady na údržbu osvětlovací soustavy.

7.1.1 Ceny svítidel původní osvětlovací soustavy

Cena svítidla KANNAL 2 × 35 W je následující: svítidlo se skládá ze dvou částí (tělo svítidla + vkládací lišta). Tělo svítidla KANNAL 1,5 m je za 5 495 Kč a vkládací lišta 2 × 35 W, 1 368 × 1 625 mm za 2 395 Kč. Celková cena svítidla je tedy 7 890 Kč. Cena svítidla TAMARA 1 × 35W je 969 Kč.

7.1.2 Ceny svítidel nově navržené osvětlovací soustavy

Se zjištěním ceny svítidel původní osvětlovací soustavy nebyl problém, po kontaktování výrobce jsem obdržel ceník svítidel. Bohužel po zaslání několika emailů českému zastoupení firmy Zumtobel s dotazem na cenu svítidel LIFE A LED, jsem nedostal žádnou odpověď. Z tohoto důvodu jsem vybral svítidlo s podobnými parametry od firmy Hormen a převzal jeho cenu, která by se mohla blížit ceně použitých svítidel od firmy Zumtobel. Cena byla převzata od svítidla EDDGE LED SURF s cenou 15 449 Kč pro svítidla se světelným tokem 4 590 lm a 4 450 lm, cena pro svítidla se světelným tokem 3 770 lm a 3 650 lm je 14 449 Kč .

U nově navržené soustavy osvětlení byla přidána dvě svítidla pro osvětlení tabule, která jsou nezávislá na hlavní osvětlovací soustavě. Jedná se o dva asymetrické LED reflektory od firmy OMS s.r.o. Cena jednoho svítidla je 4 500 Kč.

Ceny svítidel jsou uvedené bez DPH, ceny jsou maloobchodní a při odběru jednoho kusu. Je pravděpodobné, že při odběru více kusů by došlo ke snížení ceny. Výpočet ekonomické návratnosti probíhá bez elektronických předřadníků, jejichž ceny jsou pro uvažovaná svítidla podobná. V případě ekonomického zhodnocení nebylo počítáno se stmíváním, ačkoliv jsou ho výše zmíněné osvětlovací soustavy schopné. Všechny použité svítidla jsou uvedena v přílohách, viz Příl. 1-3 v kusovníku svítidel.

Provoz posluchárny vychází z předpokladu, že bude využívána i ostatními fakultami a bude fungovat i o prázdninách, z důvodu konání akcí typu letní univerzity či přednášek pro veřejnost. Proto byl zvolen denní provoz posluchárny jako 8 hodinový s ročním provozem v počtu 345 dnů.

7.2 Výpočet pro původní osvětlovací soustavu:

7.2.1 Celkový instalovaný příkon svítidel KANNAL a TAMARA

Do výpočtu celkového instalovaného příkonu je nutné zavést všechna svítidla posuzované soustavy. Při výpočtu jsou uvažovány příkony světelných zdrojů svítidel. Celkový instalovaný příkon stávající osvětlovací soustavy se vypočte následovně:

$$P_C = n_K \cdot P_K + n_T \cdot P_T \quad (W; -, W). \quad (7-1)$$

n_K - je počet svítidel soustavy KANNAL, n_T - je počet svítidel soustavy TAMARA a P_K s P_T jsou příkony svítidel KANNAL a TAMARA. Dosazením do rovnice (7-1) získáme:
 $P_C = 54 \cdot 70 + 80 \cdot 35 = 6,58 \text{ kW}$.

7.2.2 Celkové pořizovací náklady

V celkových pořizovacích nákladech je zahrnuta cena svítidla, celková cena zdrojů ve svítidle, počet svítidel a náklady na instalaci. Výpočet je podle vztahu (7-2):

$$I_n = (N_{pK} + N_{sK} + N_{zK}) \cdot n_K + (N_{pT} + N_{sT} + N_{zT}) \cdot n_T \quad (Kč; Kč, Kč, Kč, -). \quad (7-2)$$

N_{pK} - je cena svítidla KANNAL, N_{sK} - je cena instalace svítidla KANNAL, N_{zK} - je cena zdrojů ve svítidle KANNAL, n_K - je počet svítidel v soustavě. N_{pT} - je cena svítidla TAMARA, N_{sT} - je cena instalace svítidla TAMARA, N_{zT} - je cena zdrojů ve svítidle TAMARA, n_T - je počet svítidel v dané soustavě. Po dosazení do rovnice vyjde:
 $I_n = (7\,890 + 500 + 202) \cdot 54 + (969 + 200 + 109) \cdot 80 = 566\,208 \text{ Kč}$.

7.2.3 Spotřebovaná energie za rok

Zde je zahrnuta celková spotřeba stávající osvětlovací soustavy, tvořené svítidly KANNAL a TAMARA. Spotřebovaná elektrická energii E_{spotr} za rok se určí ze vztahu:

$$E_{spotr} = (P_C \cdot t_d) \cdot t_r \text{ (kWh; kW, hod, dny)}. \quad (7-3)$$

P_C - je celkový instalovaný příkon, t_d - denní provoz soustavy, t_r - roční provoz soustavy, dosazením do vztahu (7-3) vyjde: $E_{spotr} = (6,580 \cdot 8) \cdot 345 = 18\,161 \text{ kWh}$.

7.2.4 Náklady na energii za rok

Cena elektrické energie za jednu kWh byla stanovena jako aktuální průměrná 3,71 Kč. Provozní doba osvětlovací soustavy se uvažuje na 3 000 hod za rok. Náklady na energii $N_{E/r}$ za rok se spočtou ze vztahu (7-4):

$$N_{E/r} = E_{spotr} \cdot N_E \text{ (Kč; kWh, Kč} \cdot \text{kWh}^{-1}\text{)}. \quad (7-4)$$

$N_{E/r}$ - jsou náklady na elektrickou energii za rok, N_E - cena za jednu kWh. Dosazením do vztahu (7-4) vyjde: $N_{E/r} = 18\,161 \cdot 3,71 = 67\,377,31 \text{ Kč}$.

7.2.5 Poměrná životnost zdrojů za rok

Z důvodu, že se původní osvětlení skládá z hlavní osvětlovací soustavy a z dekorativního osvětlení s různými světelnými zdroji. Oba typy světelných zdrojů jsou tvořeny zářivkami T5, ale jejich životnost je odlišná. Pro svítidla KANNAL je to 20 000 hod a pro svítidla TAMARA je to 15 000 hod. Z tohoto důvodu je poměrná životnost zdrojů t_{pz} počítána pro každý typ zdroje. Vypočte se ze vztahu (7-5):

$$t_{pz} = \frac{t_r \cdot t_d}{t_z} \text{ (-; dny, h, h)}. \quad (7-5)$$

t_{pz} - je poměrná životnost zdrojů za rok, t_r - roční provoz soustavy, t_d - denní provoz soustavy a t_z je životnost zdroje. Dosazením do vztahu (7-5) vyjde pro svítidlo KANNAL následovně: $t_{pz} = \frac{345 \cdot 8}{20\,000} = 0,138$ a pro svítidlo TAMARA: $t_{pz} = \frac{345 \cdot 8}{15\,000} = 0,184$.

7.2.6 Poměrné náklady na zdroje za rok

Tento výpočet je nutný provést pro oba typy svítidel z důvodu jiných cen zdrojů a rozdílného počtu zdrojů a svítidel. Vypočtou se ze vztahu (7-6):

$$N_{z/r} = t_{pz} \cdot N_{zK} \cdot n_z \cdot n \quad (\text{Kč; -, Kč, -, -}). \quad (7-6)$$

t_{pz} - je poměrná životnost zdrojů za rok, N_{zK} - cena světelného zdroje, n_z - počet zdrojů ve svítidle a n je počet svítidel soustavy. Dosazením do vztahu (7-6) vyjde pro svítidla KANNAL následovně: $N_{z/r} = 0,138 \cdot 101 \cdot 2 \cdot 54 = 1505,30 \text{ Kč}$ a pro soustavu TAMARA: $N_{z/r} = 0,184 \cdot 109 \cdot 1 \cdot 80 = 1604,48 \text{ Kč}$.

7.2.7 Celkové náklady na výměnu zdrojů za rok

Výpočet je nutný provést pro obě osvětlovací soustavy zvlášť, tyto celkové náklady na výměnu zdrojů za rok $N_{vz/r}$ se vypočtou ze vztahu:

$$N_{vz/r} = t_{pz} \cdot N_{vz} \cdot n \quad (\text{Kč; -, Kč, -}). \quad (7-7)$$

t_{pz} - je poměrná životnost zdrojů za rok, N_{vz} - náklady na výměnu zdroje ve svítidle, n - je počet svítidel v soustavě. Dosazením do vztahu (7-7) vyjde pro svítidla KANNAL následovně: $N_{vz/r} = 0,138 \cdot 200 \cdot 54 = 1490,4 \text{ Kč}$, pro svítidla TAMARA je to: $N_{vz/r} = 0,184 \cdot 200 \cdot 80 = 2944 \text{ Kč}$.

7.2.8 Celkové náklady na provoz za rok

Celkové náklady na provoz za rok $N_{prov/r}$, je potřeba vypočítat pro každou soustavu zvlášť, dle následujícího vztahu (7-8):

$$N_{prov/r} = N_{E/r} + N_{vz/r} + N_{z/r} \quad (\text{Kč; Kč, Kč, Kč}). \quad (7-8)$$

$N_{E/r}$ - jsou náklady na energii za rok, $N_{vz/r}$ - celkové náklady na výměnu zdrojů za rok, $N_{z/r}$ - jsou poměrné náklady na zdroje za rok. Pro soustavu svítidel KANNAL je to:

$N_{prov/r} = 41\,731,2 + 1\,490,4 + 1\,505,3 = 44\,726,90 \text{ Kč}$, pro soustavu řešenou svítidly TAMARA je to: $N_{prov/r} = 30\,912 + 2\,944 + 1\,604,48 = 35\,460,48 \text{ Kč}$.

Pro celkovou původní osvětlovací soustavu jsou náklady na provoz za rok následující:
 $N_{celk_prov/r} = N_{prov/r}(KANNAL) + N_{prov/r}(TAMARA) = 44\,726,9 + 35\,460,48 = 80\,187,38 \text{ Kč}$.

7.2.9 Celkové náklady po deseti letech

Celkové náklady po deseti letech $N_{celk/10r}$ se vypočtou po dosazení do vztahu (7-9). Výpočet proběhne pro každou osvětlovací soustavu zvlášť.

$$N_{celk/10r} = I_n + N_{prov/r} \cdot 10 \text{ (Kč; Kč, Kč, -)} \quad (7-9)$$

I_n - jsou celkové pořizovací náklady, $N_{prov/r}$ - celkové náklady na provoz za rok, 10 - je konstanta, reprezentuje dobu provozu 10 let. Pro soustavu tvořenou svítidly KANNAL je výstup následující: $N_{celk/10r} = 463\,968 + 44\,726,9 \cdot 10 = 911\,237 \text{ Kč}$ a pro soustavu tvořenou svítidly TAMARA je to: $N_{celk/10r} = 102\,240 + 35\,460,48 \cdot 10 = 456\,844,80 \text{ Kč}$.

Pro celkovou původní osvětlovací soustavu jsou náklady po deseti letech následující:
 $N_{celk_nakl/10r} = N_{celk/10r}(KANNAL) + N_{celk/10r}(TAMARA) = 911\,237 + 456\,844,8 = 1\,368\,081,80 \text{ Kč}$.

7.3 Výpočet pro nově navrženou osvětlovací soustavu

7.3.1 Celkový instalovaný příkon svítidel Zumtobel

Do výpočtu celkového instalovaného příkonu se zavedou všechna svítidla posuzované soustavy a následně dosadí do vztahu (7-1): $P_C = 34 \cdot 31,3 + 24 \cdot 37,9 = 1,974 \text{ kW}$.

7.3.2 Celkové pořizovací náklady

V celkových pořizovacích nákladech je zahrnuta cena svítidla, celková cena zdrojů ve svítidle, počet svítidel a náklady na instalaci, viz vztah (7-2). Protože jsou použita svítidla s odstupňovaným světelným tokem, bude soustava rozdělena na dvě, podle velikosti příkonu svítidel: $I_n = (15\,449 + 500) \cdot 24 + (14\,449 + 500) \cdot 34 + (4\,500 + 500) \cdot 2 = 901\,042 \text{ Kč}$.

7.3.3 Spotřebovaná energie za rok

Zde je zahrnuta celková spotřeba nově navržené osvětlovací soustavy, tvořené svítidly Zumtobel. Spotřebovaná elektrická energie E_{spotr} za rok se určí z výše uvedeného vztahu (7-3).

$$E_{spotr} = (1,974 \cdot 8) \cdot 345 = 5\,448,24 \text{ kWh} .$$

7.3.4 Náklady na energii za rok

Cena elektrické energie za jednu kWh byla stanovena jako aktuální průměrná 3,71 Kč. Provozní doba osvětlovací soustavy se uvažuje na 3 000 hod za rok. Náklady na energii $N_{E/r}$ za rok se spočtou ze vztahu (7-4). Po dosazení vyjde: $N_{E/r} = 5\,448,24 \cdot 3,71 = 20\,212,97 \text{ Kč} .$

7.3.5 Poměrná životnost zdrojů za rok

Se vypočte se ze vztahu (7-5). Pro svítidla Zumtobel vyjde poměrná životnost zdrojů

následovně: $t_{pz} = \frac{345 \cdot 8}{50\,000} = 0,055 .$

7.3.6 Celkové náklady na zdroje za rok a výměnu zdrojů za rok

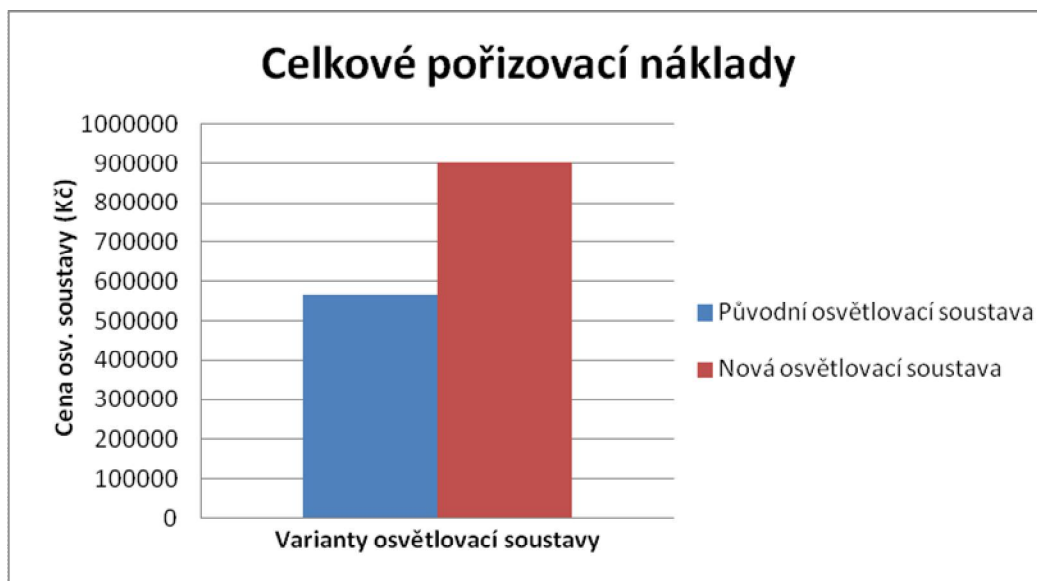
Tyto náklady nejsou uvažovány z důvodu velmi dlouhé životnosti životnosti LED zdrojů. Předpokládá se, že po skončení životosti dané osvětlovací soustavy dojde k pořízení nové osvětlovací soustavy.

7.3.7 Celkové náklady na provoz za rok

Celkové náklady na provoz za rok $N_{prov/r}$, vyjdou po dosazení do vztahu (7-8) pro nově navrženou osvětlovací soustavu svítidel Zumtobel následovně: $N_{prov/r} = 20\,212,97 \text{ Kč} .$

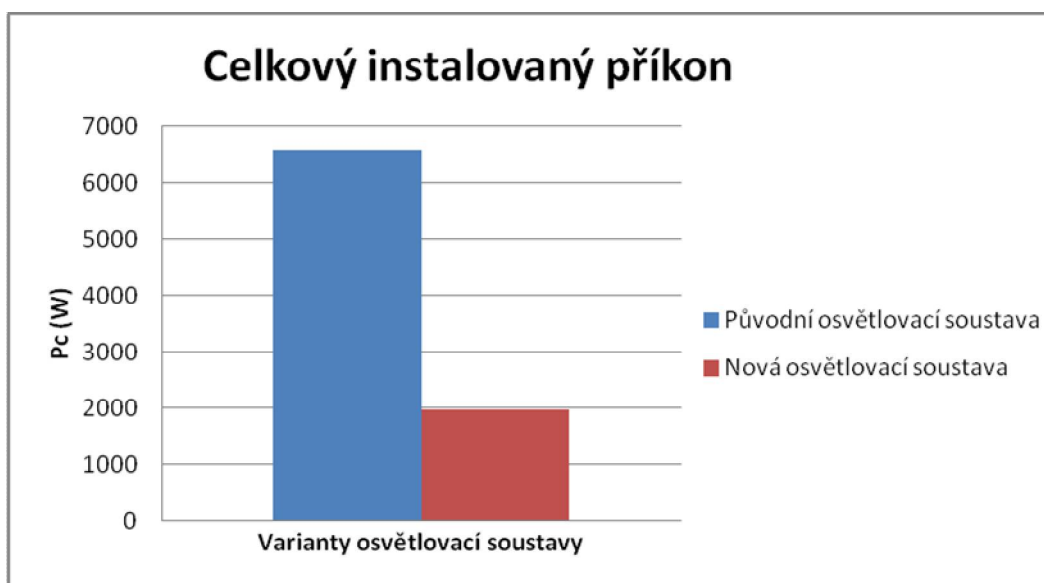
7.3.8 Celkové náklady po deseti letech

Celkové náklady po deseti letech $N_{celk/10r}$ se vypočtou po dosazení do vztahu (7-9). Výpočet proběhne pro každou osvětlovací soustavu zvlášť. Pro nově navrženou soustavu je výstup následující: $N_{celk/10r} = 90\,1042 + 20\,212,97 \cdot 10 = 1\,103\,171,70 \text{ Kč} .$



Obr. 58: Porovnání celkových pořizovacích nákladů

Na Obr. 58 je vyobrazen graf popisující porovnání pořizovacích nákladů kompletního původního osvětlení a nově navržené osvětlovací soustavy.



Obr. 59: Porovnání celkového instalovaného příkonu

Na Obr. 59 je uveden graf znázorňující porovnání celkového instalovaného příkonu původní osvětlovací soustavy s nově navrženou osvětlovací soustavou.



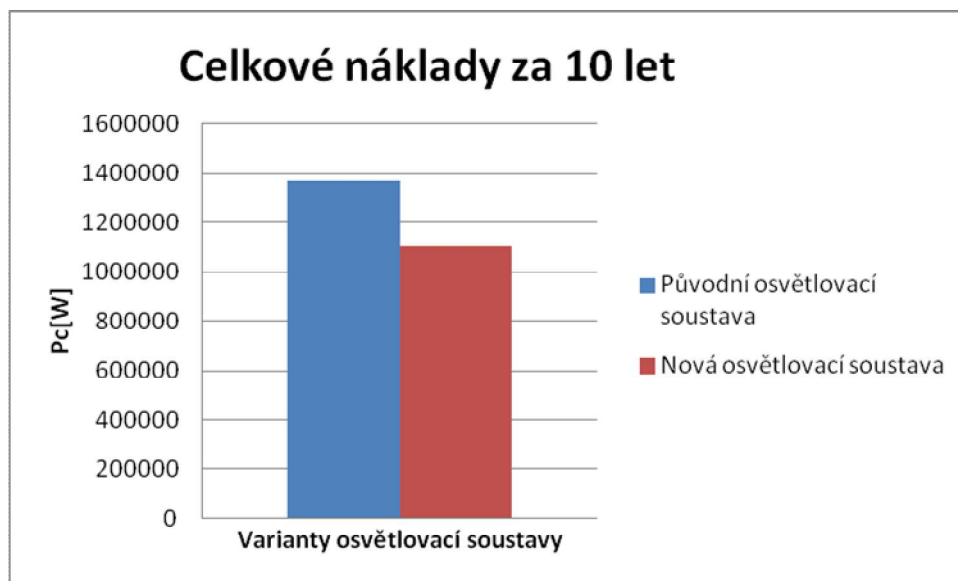
Obr. 60: Porovnání nákladů na elektrickou energii za rok

Na Obr. 60 je vyobrazen graf znázorňující porovnání nákladů na elektrickou energii za rok původní osvětlovací soustavy a nově navržené.



Obr. 61: Porovnání celkových nákladů za rok

Na Obr. 61 je vyobrazen graf porovnávající celkové provozní náklady původní a nově navržené osvětlovací soustavy.



Obr. 62: Porovnání celkových nákladů za deset let

Na Obr. 62 je uveden graf srovnávající celkové náklady za deset let provozu původní a nově navržené osvětlovací soustavy. Na grafu se projevila velká cena pořizovací soustavy tvořené moderními led svítidly. Po šesti letech provozu by došlo k vyrovnání nákladů mezi původní a nově navrženou osvětlovací soustavou.

7.4 Výpočet ekonomického zhodnocení v případě nižšího využití posluchárny

V tomto případě se předpokládá provoz posluchárny pouze v akademickém roce a s nižším denním využitím posluchárny. Roční provoz posluchárny bude 266 dnů a denní využití posluchárny bude 6 hodin. Porovnána bude znovu původní a nově navržená osvětlovací soustava.

Na Obr. 63, Obr. 64 a Obr. 65 jsou uvedeny grafy porovnávající uvažované využití posluchárny se sníženým.

7.4.1 Celkový instalovaný příkon svítidel KANNAL a TAMARA

Celkový instalovaný příkon původní osvětlovací soustavy se nezmění a zůstává na hodnotě 6,58 kW.

7.4.2 Celkové pořizovací náklady

Celkové pořizovací náklady původní osvětlovací soustavy zůstaly rovněž nezměněny s cenou 566 208 Kč.

7.4.3 Spotřebovaná energie za rok

Spotřebovaná energie za rok vyjde dosazením do vztahu (7-3) následovně:
 $E_{spotr} = (6,580 \cdot 6) \cdot 266 = 10\,501,68 \text{ kWh}$.

7.4.4 Náklady na energii za rok

Cena elektrické energie za jednu kWh zůstala na 3,71 Kč. Provozní doba osvětlovací soustavy se nyní uvažuje na 2 000 hod za rok. Náklady na energii za rok jsou: $N_{E/r} = 10\,501,68 \cdot 3,71 = 38\,961,23 \text{ Kč}$.

7.4.5 Poměrná životnost zdrojů za rok

Poměrná životnost zdrojů se změní na hodnoty: $t_{pz} = \frac{266 \cdot 6}{20\,000} = 0,08$ pro svítidlo

KANNAL a pro svítidlo TAMARA na: $t_{pz} = \frac{266 \cdot 6}{15\,000} = 0,106$.

7.4.6 Poměrné náklady na zdroje za rok

Po úpravě vstupních paramerů bylo dosaženo těchto výsledků, pro osvětlovací soustavu tvořenou svítidly KANNAL: $N_{z/r} = 0,08 \cdot 101 \cdot 2 \cdot 54 = 872,64 \text{ Kč}$ a pro soustavu svítidel TAMARA: $N_{z/r} = 0,106 \cdot 109 \cdot 1 \cdot 80 = 924,32 \text{ Kč}$.

7.4.7 Celkové náklady na výměnu zdrojů za rok

Po přepočítání bylo dosaženo těchto výsledků: u svítidel KANNAL je to $N_{vz/r} = 0,08 \cdot 200 \cdot 54 = 864 \text{ Kč}$, a u svítidel TAMARA: $N_{vz/r} = 0,106 \cdot 200 \cdot 80 = 1\,696 \text{ Kč}$.

7.4.8 Celkové náklady na provoz za rok

Celkové náklady na provoz za rok v případě nižšího využití posluchárny vyšly pro soustavu svítidel KANNAL: $N_{prov/r} = 23\,021,47 + 864 + 872,64 = 24\,758,11 \text{ Kč}$, u svítidel TAMARA je to: $N_{prov/r} = 17\,052,97 + 1\,696 + 924,32 = 19\,672,29 \text{ Kč}$.

Pro celkovou původní osvětlovací soustavu jsou náklady na provoz za rok následující:
 $N_{celk_prov/r} = N_{prov/r}(KANNAL) + N_{prov/r}(TAMARA) = 24\,758,11 + 19\,672,29 = 44\,430,4 \text{ Kč}$.

7.4.9 Celkové náklady po deseti letech

Celkové náklady vyšly v případě nižšího využití posluchárny následovně:
 $N_{celk/10r} = 463\,968 + 24\,758,11 \cdot 10 = 711\,549,1 \text{ Kč}$ v případě svítidel KANNAL a u svítidel TAMARA je to: $N_{celk/10r} = 102\,240 + 19\,672,29 \cdot 10 = 298\,962,9 \text{ Kč}$.

Pro celkovou původní osvětlovací soustavu jsou náklady po deseti letech následující:
 $N_{celk_nakl/10r} = N_{celk/10r}(KANNAL) + N_{celk/10r}(TAMARA) = 711\,549,1 + 298\,962,9 = 1\,010\,512 \text{ Kč}$.

7.4.10 Celkový instalovaný příkon svítidel Zumtobel

Celkový instalovaný příkon osvětlovací soustavy zůstal nezměněn:
 $P_C = 34 \cdot 31,3 + 24 \cdot 37,9 = 1,974 \text{ kW}$.

7.4.11 Celkové pořizovací náklady

Pořizovací náklady zůstaly rovněž zachovány:
 $I_n = (15\,449 + 500) \cdot 24 + (14\,449 + 500) \cdot 34 + (4\,500 + 500) \cdot 2 = 901\,042 \text{ Kč}$.

7.4.12 Spotřebovaná energie za rok

Spotřebovaná energie za rok se po snížení provozní doby posluchárny snížila na:
 $E_{spotr} = (1,974 \cdot 6) \cdot 266 = 3\,150,5 \text{ kWh}$.

7.4.13 Náklady na energii za rok

Celkové náklady na energii za rok se rovněž snížily:
 $N_{E/r} = 5\,448,24 \cdot 3,71 = 11\,688,36 \text{ Kč}.$

7.4.14 Poměrná životnost zdrojů za rok

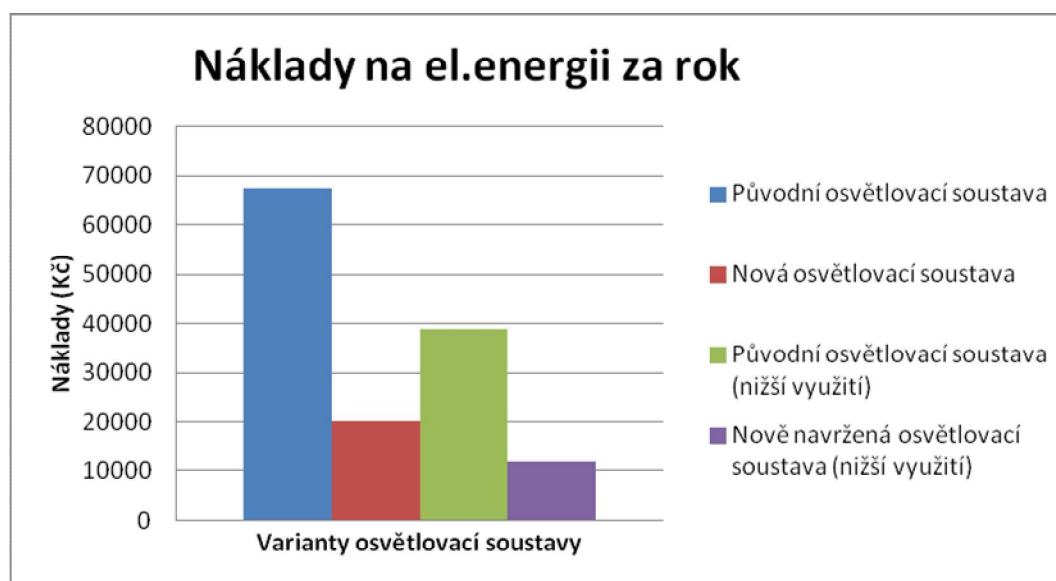
Po přepočtení na nižší dobu využití, vyšla poměrná životnost zdrojů následovně:
 $t_{pz} = \frac{266 \cdot 6}{50\,000} = 0,032.$

7.4.15 Celkové náklady na provoz za rok

Celkové náklady na provoz za rok vyjdou po přepočtení: $N_{prov/r} = 11\,688,355 \text{ Kč}.$

7.4.16 Celkové náklady po deseti letech

Celkové náklady vyšly po přepočtu na nižší provozní dobu využití posluchárny na:
 $N_{celk/10r} = 901\,042 + 11\,688,355 \cdot 10 = 1\,017\,925,55 \text{ Kč}.$



Obr. 63: Porovnání osvětlovacích soustav s uvažovaným a nižším využitím

Na Obr. 63 je uvedeno srovnání nákladů na elektrickou energii za rok v závislosti na projektovaném a sníženém využití posluchárny. Projektované využití bylo na 345 dní v roce s denní dobou provozu 8 hodin. Snížené využití je uvažováno jako akademický rok bez hlavních prázdnin, tedy 266 dní s denní dobou provozu 6 hodin.



Obr. 64: Porovnání nákladů provozu soustav za rok v závislosti na využití

Na Obr. 64 je uvedeno srovnání celkových nákladů na osvětlovací soustavu za rok v závislosti na projektovaném a sníženém využití posluchárny.



Obr. 65: Porovnání celkových nákladů za 10 let v závislosti na době provozu

Z grafu uvedeném na Obr. 65 je vidět porovnání osvětlovacích soustav v závislosti na době využití posluchárny, je zde patrný rozdíl, že při větším využití posluchárny se více vyplatí nově navržená LED soustava osvětlení oproti původní osvětlovací soustavě. V případě nižšího využití se návratnost nové osvětlovací soustavy projeví až v delším časovém horizontu než uvažovaných 10 let.

8 Závěr

V úvodu práce byl nastíněn stručný úvod do problematiky osvětlování s ohledem na aktuální normy, používané světelné zdroje a typy svítidel. Dále bylo v práci provedeno měření původní osvětlovací soustavy jak pro hlavní osvětlovací soustavu, tak pro kompletní soustavu umělého osvětlení. Poté byla provedena simulace kompletního osvětlení v programu DIALux. Pro ověření výstupů z programu DIALux bylo provedeno ještě orientační měření a pro porovnání vytvořena další simulace ve výpočetním programu BuildingDesign. Z důvodu nedosažení hodnot průměrné osvětlenosti v případě původní osvětlovací soustavy, byla navržena nová osvětlovací soustava. Dále bylo v práci nasimulováno denní osvětlení v programech DIALux a BuildingDesign. Poté bylo nasimulováno původní nouzové osvětlení v programu DIALux a navržené nové pro novou osvětlovací soustavu.

Po zhodnocení měření a simulace původní osvětlovací soustavy a nově navržené osvětlovací soustavy je patrné, že původní osvětlovací soustava umělého osvětlení nedosahuje hodnot uvedených v normě v případě průměrné osvětlenosti předních lavic. Jedná se o první až druhou řadu lavic, případně i třetí řadu lavic umístěných vlevo. K tomuto závěru došlo po zhodnocení výstupů ze simulace a z měření. Nižší hodnoty osvětlenosti na zmíněných lavicích jsou z důvodu naprojektování soustavy, tak aby svítidla negativně neovlivňovala promítací plátna, která jsou umístěna vpravo a vlevo od demonstračního stolu. Z tohoto důvodu není v tomto prostoru umístěné ani žádné lokální svítidlo pro osvětlení tabule. Nově navržená osvětlovací soustava měla za úkol přinést vylepšení s ohledem na světelnou pohodu přítomných osob. Po zhodnocení původní osvětlovací soustavy, bylo zvoleno řešení, aby se odstranila potřeba provozovat dvě osvětlovací soustavy. Byl zvolen jeden typ svítidla s výkonově odstupňovanými zdroji, aby bylo dosaženo větší rovnoměrnosti osvětlení, z důvodu proměnné výšky podlahy a stropu. Dalším zlepšením bylo přidání dvou závěsných asymetrických reflektorů k osvětlení tabule. Tato svítidla budou nezávislá na hlavní osvětlovací soustavě a budou sloužit výhradně pokud nebudou spuštěna promítací zařízení. Protože byla zvolena kvalitní svítidla, u kterých je minimalizován vliv na promítací plochy a displeje, došlo ke zvýšení průměrné osvětlenosti i na problematických lavicích, takže nyní všechny lavice splňují normu na hodnoty pro umělé osvětlení a rušivé oslnění. Při ekonomickém porovnání obou variant je vidět, že i přes třicetisedmi procentí nárůst počáteční investice dojde v průběhu deseti let k úspoře 264 910,10 Kč s novou osvětlovací soustavou.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] kolektiv, Jiří Habel a. *Světelná technika a osvětlování*. Praha : FCC PUBLIC, 1995. 80-901985-0-3.
- [2] ČSN EN 12464-1. *Světlo a osvětlování - Osvětlení vnitřních pracovních prostorů - Část 1: Vnitřní pracovní prostory: Česká technická norma*. 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [3] Kolektiv pracovníků EXX s. r. *Světlo časopis pro světlo a osvětlování*. <http://www.odbornecasopisy.cz/>. [Online] [Citace: 16. 4. 2014.] http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=39779.
- [4] ČSN EN 1838. *Světlo a osvětlování - Nouzové osvětlení: Česká technická norma*. 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
- [5] ČSN 73 0580-1. *Denní osvětlení budov - Část 1: Základní požadavky: Česká technická norma*. 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007.
- [6] ČSN EN 50172. *Systémy nouzového únikového osvětlení: Česká technická norma*. 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
- [7] ČSN 36 0020. *Sdružené osvětlení: Česká technická norma*. 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007.
- [8] Ing. Viktor Zwiener, Ph.D. *Umělé osvětlení z pohledu projektanta. Atelier-Dek*. [Online] [Citace: 4. 10. 2015.] <http://atelier-dek.cz/umele-osvetleni-z-pohledu-projektanta-203>.
- [9] Adriana Kolářová. CHARAKTERISTIKY PROSTOROVÝCH VLASTNOSTÍ OSVĚTLENÍ. Slideplayer. [online]. 15.11.2016 [cit. 2016-11-15]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/3197171/>
- [10] Karel Sokanský, Tomáš Novák, Marek Bálský, Zdeněk Bláha, Zbyněk Carbol, Daniel Diviš, Blahoslav Socha, Jaroslav Šnobl, Jan Šumpich, Petr Závada. *Světelná technika*. Praha : České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04941-9.

- [11] **Karel Sokanský a kolektiv.** Racionalizace v osvětlování kancelářských, školských a bytových prostor. csorsostrava. [online]. 17.11.2016 [cit. 2016-11-17]. Dostupné z: <http://www.csorsostrava.cz/publikace/racionalizace%20-%202004.pdf>
- [12] https://www.google.cz/search?q=%C5%BE%C3%A1rovka&biw=1536&bih=734&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwir9r6B7unRAhVCiRoKHRohBBcQ_AUIBigB#imgrc=Rwv398jogZ_4iM%3A
- [13] https://www.google.cz/search?q=halogenov%C3%A1+%C5%BE%C3%A1rovka&espv=2&biw=1536&bih=686&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjnq7259enRAhVJ0hoKHb6nBkkQ_AUIBigB#imgdii=DXWyUX1QwcICtM%3A%3BDXWyUX1QwcICtM%3A%3BT17HQqM5MFJbM%3A&imgrc=DXWyUX1QwcICtM%3A
- [14] https://www.google.cz/search?hl=cs&site=imghp&tbn=isch&source=hp&biw=1536&bih=686&q=vysokotlak%C3%A9+rtu%C5%A5ov%C3%A9+v%C3%BDbojky&oq=vysokotlak%C3%A9+rtu%C5%A5ov%C3%A9+v%C3%BDbojky&gs_l=img.3...1127.13231.0.13385.31.29.2.0.0.0.126.2760.15j13.28.0...0...1.1.64.img..1.13.1307...0j0i30k1j0i24k1.3IDPU3xIsq8#imgrc=Seits2tiAUGFM%3A
- [15] https://www.google.cz/search?hl=cs&site=imghp&tbn=isch&source=hp&biw=1536&bih=686&q=high+pressure+mercury+lamp&oq=high+pressure+mercury+lamp&gs_l=img.3..0i19k113j0i8i30i19k115.469.469.0.1671.1.1.0.0.0.136.136.0j1.1.0....0...1.1.64.img..0.1.135.jozPBs1JgAU#hl=cs&tbn=isch&q=vysokotlak%C3%A1+halogenidov%C3%A1+v%C3%BDbojka&imgrc=36-M7tBTLdOvwM%3A
- [16] https://www.google.cz/search?hl=cs&site=imghp&tbn=isch&source=hp&biw=1536&bih=686&q=high+pressure+mercury+lamp&oq=high+pressure+mercury+lamp&gs_l=img.3..0i19k113j0i8i30i19k115.469.469.0.1671.1.1.0.0.0.136.136.0j1.1.0....0...1.1.64.img..0.1.135.jozPBs1JgAU#hl=cs&tbn=isch&q=vysokotlak%C3%A1+halogenidov%C3%A1+v%C3%BDbojka&imgrc=uI2BSdf0UYe-tM%3A
- [17] https://www.google.cz/search?q=halogenov%C3%A1+%C5%BE%C3%A1rovka&biw=1536&bih=734&source=lnms&tbn=isch&sa=X&sqi=2&ved=0ahUKEwit55OmnPbRAhWKORoKHbVkc4Q_AUIBigB#tbn=isch&q=sh%C3%A9ma+line%C3%A1rn%C3%AD+z%C3%A1%C5%99ivky&imgrc=tN4DDB57flrUIM:

- [18] https://www.google.cz/search?hl=cs&site=img&tbm=isch&source=hp&biw=1536&bih=686&q=vysokotlak%C3%A9+rtu%C5%A5ov%C3%A9+v%C3%BDbojky&oq=vysokotlak%C3%A9+rtu%C5%A5ov%C3%A9+v%C3%BDbojky&gs_l=img.3...1127.13231.0.13385.31.29.2.0.0.0.126.2760.15j13.28.0...0...1.1.64.img..1.13.1307...0j0i30k1j0i24k1.3IDPU3xIsq8#hl=cs&tbm=isch&q=neon+lamp&imgrc=ZxIeCkj5IxwT_M%3A
- [19] [https://www.google.cz/search?q=Golden+dragon+\(Osram\)&espv=2&biw=1920&bih=901&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjm98fzs_nRAhWGuBoKHZJvCb4Q_AUIBigB&dpr=1#imgrc=IY1kKJhI33-3kM](https://www.google.cz/search?q=Golden+dragon+(Osram)&espv=2&biw=1920&bih=901&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjm98fzs_nRAhWGuBoKHZJvCb4Q_AUIBigB&dpr=1#imgrc=IY1kKJhI33-3kM)
- [20] <https://www.omslighting.com/products/type/RCZ>
- [21] SVĚTLO: časopis pro světlo a osvětlování [online]. Ing. Vladimír Dvořáček, S Lamp s. r. o. Panenské Břežany [cit. 2017-03-08]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/svetelne-zdroje-svetelne-diody--15723>
- [22] https://www.google.cz/search?q=sv%C3%ADtidlo+tamara&rlz=1C1AVFC_enCZ739CZ739&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiCtP6b2LDTAhWErRoKHcRKB9wQ_AUICcgB&biw=1536&bih=734#imgrc=Cdw5lcYXcL-H4M:
- [23] https://image.architonic.com/img_pro1-6/129/9457/light-fields-lfe-p-langfeld-anbau-sq.jpg
- [24] https://www.google.cz/search?q=ESSYSTEM+OP20-G1&rlz=1C2AVFC_enCZ739CZ739&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjE4frBh9HTAhVKChoKHYMqA0UQ_AUIBigB&biw=1918&bih=948#tbm=isch&q=ESSYSTEM+emergency+OP&imgrc=nf5pvZZflfBC7M:
- [25] http://www.inotec-licht.it/fileadmin/ipd/produkte/Einzelbatterie/BN%20Batterie-Notleuchte/016_ARCH_BN-2100_DSC0245-b-INT.jpg
- [26] <http://www.omslighting.com/data/products/files/type/466/cfakepathedan-ssd-m.jpg>

Seznam obrázků

OBR. 1: SOUSTAVA FOTOMETRICKÝCH VELIČIN	14
OBR. 2: ROZLOŽENÍ OKOLÍ KOLEM MÍSTA ZRAKOVÉHO ÚKOLU.....	21
OBR. 3: ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ ELEKTRICKÝCH SVĚTELNÝCH ZDROJŮ	27
OBR. 4: UKÁZKA ŽÁROVKY (VLEVO) [12], VPRAVO JE SCHÉMA.....	29
OBR. 5: UKÁZKA HALOGENIDOVÉ ŽÁROVKY (VLEVO) [13], VPRAVO JE VYOBRAZENO SCHÉMA	30
OBR. 6: UKÁZKA VYSOKOTLAKÉ RTUŤOVÉ VÝBOJKY (VLEVO) [14], VPRAVO JE JEJÍ SCHÉMA ...	31
OBR. 7: UKÁZKA VYSOKOTLAKÉ HALOGENIDOVÉ VÝBOJKY [15], DOLE JEJÍ SCHÉMA	32
OBR. 8: UKÁZKA VYSOKOTLAKÉ SODÍKOVÉ VÝBOJKY (VLEVO) [16], VPRAVO JE SCHÉMA	33
OBR. 9: UKÁZKA KOMPAKTNÍ ZÁŘIVKY (VLEVO) [17], VPRAVO JE UVEDENÉ SCHÉMA	34
OBR. 10: UKÁZKA DOUTNAVKOVÉHO SVÍTIDLA [18], VPRAVO JE SCHÉMA	35
OBR. 11: UKÁZKA SVĚTELNÉ DIODY (VLEVO) [19], VPRAVO JE SCHÉMA POWER LED	36
OBR. 12: DĚLENÍ SVÍTIDEL PODLE TYPU MONTÁŽE.....	37
OBR. 13: ROZDĚLENÍ SVÍTIDEL PODLE ROZLOŽENÍ SVĚTELNÉHO TOKU	37
OBR. 14: DRUHY SVĚTELNĚ ČINNÝCH ČÁSTÍ.....	38
OBR. 15: DIAGRAM ZNÁZORŇUJÍCÍ POSTUP PŘI NÁVRHU OSVĚTLENÍ.....	41
OBR. 16: PŮDORYS POSLUCHÁRNY US-217	43
OBR. 17: BOKORYS POSLUCHÁRNY US-217	44
OBR. 18: UKÁZKA LAVIC A SEDAČEK, POHLED ZEPŘEDU	45
OBR. 19: POSLUCHÁRNA US-217, POHLED OD VSTUPU VPRAVO	46
OBR. 20: SVÍTIDLO KANNAL (VPRAVO) [20], VLEVO SVÍTIDLO TAMARA [22].....	46
OBR. 21: SITUAČNÍ PLÁN PŮVODNÍHO UMĚLÉHO OSVĚTLENÍ	47
OBR. 22: MĚŘENÍ UMĚLÉHO OSVĚTLENÍ POSLUCHÁRNY A DETAIL STOLKŮ	48
OBR. 23: DEMONSTRAČNÍ STŮL	49
OBR. 24: UKÁZKA PROVOZU HLAVNÍ A DEKORATIVNÍ SOUSTAVY SVÍTIDEL	50
OBR. 25: UKÁZKA ROZLOŽENÍ SVÍTIDEL TAMARA U DEKORATIVNÍHO OSVĚTLENÍ.....	50
OBR. 26: UKÁZKA ŘEŠENÍ TABULE	51
OBR. 27: 2D MODEL US-217 S CELKOVÝM UMĚLÝM OSVĚTLENÍM V DIALUXU.....	53
OBR. 28: 3D MODEL US-217 V DIALUXU S VYOBRAZENÍM VÝPOČTOVÝCH PLOCH.....	54
OBR. 29: PŮDORYS POSLUCHÁRNY S VYZNAČENÝMI LAVICEMI DIALUX.....	55
OBR. 30: POROVNÁNÍ HODNOT OSVĚTLENOSTI NA LAVICÍCH VPRAVO	56
OBR. 31: POROVNÁNÍ OSVĚTLENOSTI NA LAVICÍCH STŘED	57
OBR. 32: POROVNÁNÍ OSVĚTLENOSTI NA LAVICÍCH VLEVO	57
OBR. 33: 3D MODEL V BUILDINGDESIGNU	59
OBR. 34: 3D MODEL V DIALUXU	59
OBR. 35: PŮDORYS POSLUCHÁRNY US-217 S VYZNAČENÝMI LAVICEMI DIALUX.....	60
OBR. 36: PŮDORYS US-217 V PROGRAMU BUILDINGDESIGN	61
OBR. 37: POROVNÁNÍ HODNOT OSVĚTLENOSTI LAVICE VPRAVO	62
OBR. 38: POROVNÁNÍ HODNOT OSVĚTLENOSTI LAVICE STŘED.....	62
OBR. 39: POROVNÁNÍ HODNOT OSVĚTLENOSTI LAVICE VLEVO	63
OBR. 40: SVÍTIDLO ZUMTOBEL LIFE A LED [23], SVÍTIDLO EDAN ASYM REF [26]	65
OBR. 41: PŮDORYS NOVÉ OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY SE SVÍTIDLY ZUMTOBEL.....	66
OBR. 42: SITUAČNÍ PLÁN SVÍTIDEL ZUMTOBEL.....	67
OBR. 43: POROVNÁNÍ OSVĚTLENOSTI PŮVODNÍ A NOVÉ OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY (VPRAVO) ...	68
OBR. 44: POROVNÁNÍ OSVĚTLENOSTI PŮVODNÍ A NOVÉ OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY (STŘED)	69
OBR. 45: POROVNÁNÍ OSVĚTLENOSTI PŮVODNÍ A NOVÉ OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY (VLEVO)	70
OBR. 46: BOČNÍ OSVĚTLENÍ REALIZOVANÉ OKNY VPRAVO A VZADU.....	71
OBR. 47: BOČNÍ OSVĚTLENÍ REALIZOVANÉ OKNY VLEVO A VZADU.....	72
OBR. 48: PRŮMĚRNÁ HODNOTA ČINITELE DENNÍ OSVĚTLENOSTI LAVICE VPRAVO	74
OBR. 49: PRŮMĚRNÁ HODNOTA ČINITELE DENNÍ OSVĚTLENOSTI LAVICE STŘED	74

OBR. 50: PRŮMĚRNÁ HODNOTA ČINITELE DENNÍ OSVĚTLENOSTI LAVICE VLEVO	75
OBR. 51: SITUAČNÍ PLÁN S NOUZOVÝM OSVĚTLENÍM DIALUX.....	78
OBR. 52: SVÍTIDLO ESSYSTEM 0P20-G1[24] A INOTEC BN 2100 LED [25].....	79
OBR. 53: 2D MODEL PŮVODNÍHO NOUZOVÉHO OSVĚTLENÍ	79
OBR. 54: SCHÉMA ÚNIKOVÝCH CEST PRO PŮVODNÍ I NOVĚ NAVRŽENÉ NOUZOVÉ OSVĚTLENÍ....	80
OBR. 55: INTENZITA PŮVODNÍHO NOUZOVÉHO OSVĚTLENÍ V NEPRAVÝCH BARVÁCH	81
OBR. 56: MODEL NOVĚ NAVRŽENÉHO NOUZOVÉHO OSVĚTLENÍ.....	82
OBR. 57: INTENZITA NOVĚ NAVRŽENÉHO NOUZOVÉHO OSVĚTLENÍ V NEPRAVÝCH BARVÁCH....	83
OBR. 58: POROVNÁNÍ CELKOVÝCH POŘIZOVACÍCH NÁKLADŮ	90
OBR. 59: POROVNÁNÍ CELKOVÉHO INSTALOVANÉHO PŘÍKONU.....	90
OBR. 60: POROVNÁNÍ NÁKLADŮ NA ELEKTRICKOU ENERGII ZA ROK	91
OBR. 61: POROVNÁNÍ CELKOVÝCH NÁKLADŮ ZA ROK.....	91
OBR. 62: POROVNÁNÍ CELKOVÝCH NÁKLADŮ ZA DESET LET	92
OBR. 63: POROVNÁNÍ OSVĚTLOVACÍCH SOUSTAV S UVAŽOVANÝM A NIŽŠÍM VYUŽITÍM.....	95
OBR. 64: POROVNÁNÍ NÁKLADŮ PROVOZU SOUSTAV ZA ROK V ZÁVISLOSTI NA VYUŽITÍ.....	96
OBR. 65: POROVNÁNÍ CELKOVÝCH NÁKLADŮ ZA 10 LET V ZÁVISLOSTI NA DOBĚ PROVOZU	96

Seznam tabulek

TAB. 1: POMĚRY OSVĚTLENOSTÍ ZRAKOVÉHO ÚKOLU	21
TAB. 2: VZDĚLÁVACÍ ZAŘÍZENÍ, ŠKOLSKÉ BUDOVY	22
TAB. 3: TEPLOTA CHROMATIČNOSTI V ZÁVISLOSTI NA OSVĚTLENOSTI	23
TAB. 4: TŘÍDĚNÍ ZRAKOVÝCH ČINNOSTÍ A HODNOTY ČINITELE DENNÍ OSVĚTLENOSTI	25
TAB. 5: POŽADAVKY NA DENNÍ OSVĚTLENÍ VE ŠKOLÁCH	26
TAB. 6: ROZDĚLENÍ PODLE SVĚTELNÉHO TOKU SVÍTIDEL	37
TAB. 7: SMĚRNÉ HODNOTY ČINITELE ODRAZU SVĚTLA BĚŽNÝCH POVRCHŮ	44
TAB. 8: DOPORUČENÝ POČET BODŮ SÍTĚ	48
TAB. 9: SMĚRNÉ HODNOTY ČINITELE PROSTUPU SVĚTLA	73
TAB. 10: HODNOTY ČINITELE DENNÍ OSVĚTLENOSTI V % PRO SDRUŽENÉ OSVĚTLENÍ	76

Seznam rovnic

RCE.(1-1) SVĚTELNÝ TOK.....	14
RCE. (1-2) POMĚRNÁ SVĚTELNÁ ÚČINNOST	15
RCE. (1-3) PROSTOROVÝ ÚHEL	15
RCE. (1-4) SVÍTIVOST.....	16
RCE. (1-5) OSVĚTLENOST	16
RCE. (1-6) JAS SVĚTELNÝCH PAPERKŮ	16
RCE. (1-7) SVĚTLENÍ	16
RCE. (1-8) ČINITELE DENNÍ OSVĚTLENOSTI	17
RCE. (1-9) VÝPOČET HLOUBKY A OSTROTI STÍNŮ	24
RCE. (1-10) ČINITELE PODÁNÍ TVARU	24
RCE. (3-1) VÝPOČET UDRŽOVACÍHO ČINITELE	52
RCE. (7-1) CELKOVÝ INSTALOVANÝ PŘÍKON	85
RCE. (7-2) CELKOVÉ POŘIZOVACÍ NÁKLADY	85
RCE. (7-3) SPOTŘEBOVANÁ ELEKTRICKÁ ENERGIE ZA ROK.....	86
RCE. (7-4) NÁKLADY NA SPOTŘEBOVANOU ENERGII ZA ROK.....	86
RCE. (7-5) POMĚRNÁ ŽIVOTNOST ZDROJŮ ZA ROK	86
RCE. (7-6) POMĚRNÉ NÁKLADY NA ZDROJE ZA ROK.....	87

RCE. (7-7) CELKOVÉ NÁKLADY NA VÝMĚNU ZDROJŮ ZA ROK.....	87
RCE. (7-8) CELKOVÉ NÁKLADY NA PROVOZ ZA ROK	87
RCE. (7-9) CELKOVÉ NÁKLADY PO DESETI LETECH	88

Seznam příloh

PŘÍL. 1: KUSOVNÍK SVÍTIDEL	1
PŘÍL. 2: KUSOVNÍK SVÍTIDEL PŮVODNÍ OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVA.....	2
PŘÍL. 3: KUSOVNÍK SVÍTIDEL NOVĚ NAVRŽENÁ OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVA	4
PŘÍL. 4: VÝSTUPY MĚŘENÍ A SIMULACE.....	5
PŘÍL. 5: DENNÍ OSVĚTLENÍ BUILDINGDESIGN	6
PŘÍL. 6: DENNÍ OSVĚTLENÍ DIALUX.....	7
PŘÍL. 7: CELKOVÉ UMĚLÉ OSVĚTLENÍ (PŮVODNÍ) DIALUX.....	8
PŘÍL. 8: HLAVNÍ OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVA DIALUX (POROVNÁNÍ PROGRAMŮ)	9
PŘÍL. 9: HLAVNÍ OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVA BUILDINGDESIGN (POROVNÁNÍ PROGRAMŮ).....	10
PŘÍL. 10: ORIENTAČNÍ MĚŘENÍ (PRO POROVNÁNÍ PROGRAMŮ).....	11
PŘÍL. 11: KOMPLETNÍ MĚŘENÍ UMĚLÉHO OSVĚTLENÍ	12
PŘÍL. 12: NÁVRH NOVÉ OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY ZUMTOBEL	13
PŘÍL. 13: HODNOTY UGR NOVÉ OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY ZUMTOBEL	14
PŘÍL. 14: ROZLOŽENÍ SVÍTIDEL NOVÉ OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY CAD	15
PŘÍL. 15: NOUZOVÉ OSVĚTLENÍ PŮVODNÍ	16
PŘÍL. 16: NOUZOVÉ OSVĚTLENÍ NOVĚ NAVRŽENÉ	19

Seznam příloh pouze v elektronické podobě

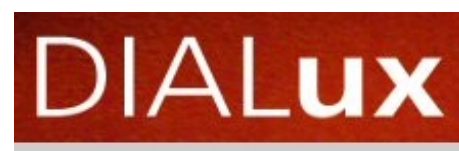
Data z měření, soubory CAD, vytvořené obrázky v programu Inkscape, modely z programu DIALux a BuildingDesign, vytvořené tabulky v programu Excel, výstupy z DIALuxu pro všechny simulace a grafy popisující ekonomickou situaci.



Kusovník svítidel

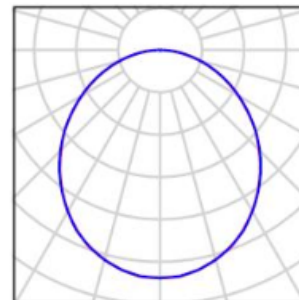
Posluchárna US-217

Následující informace jsou vzaty z výpočtového programu Dialux verze 4.13

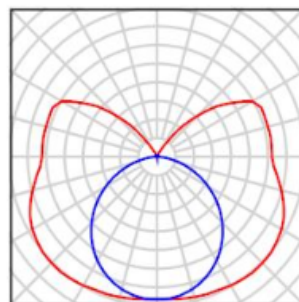


Původní soustava osvětlení

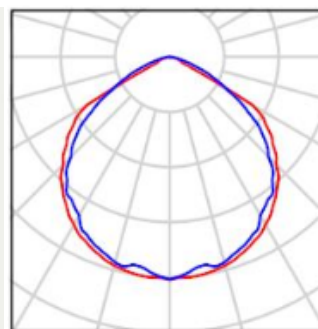
54 ks HORMEN CE a.s. KANNAL 2x35W
 C. výrobku: KANNAL 2x35W
 Světelný tok (Svítidlo): 3855 lm
 Světelný tok (Zdroje:): 6600 lm
 Výkon svítidla: 70.0 W
 Klasifikace svítidel dle CIE: 100
 Kód CIE Flux Code: 48 79 95 100 58
 Osazení: 2 x FH 35W/840 (Opravný faktor 1.000).



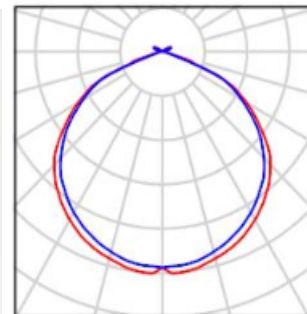
80 ks SITECO 2LJ102D1Q LJ 100
 C. výrobku: 2LJ102D1Q
 Světelný tok (Svítidlo): 3342 lm
 Světelný tok (Zdroje:): 3300 lm
 Výkon svítidla: 39.0 W
 Klasifikace svítidel dle CIE: 71
 Kód CIE Flux Code: 32 59 82 71 101
 Osazení: 1 x T16 35W/840 (Opravný faktor 1.000).



2 ks ESSYSTEM 8679960 OP20-G1,2TC3N
 C. výrobku: 8679960
 Světelný tok (Svítidlo): 0 lm
 Světelný tok (Zdroje:): 0 lm
 Výkon svítidla: 0.0 W
 Nouzové osvětlení: 160 lm, 1.2 W
 Klasifikace svítidel dle CIE: 100
 Kód CIE Flux Code: 54 90 99 100 100
 Osazení: 1 x LED (Opravný faktor 1.000).



7 ks INOTEC Sicherheitstechnik GmbH
 C. výrobku: INOTEC BN 2100 LED
 Světelný tok (Svítidlo): 0 lm
 Světelný tok (Zdroje:): 0 lm
 Výkon svítidla: 0.0 W
 Nouzové osvětlení: 281 lm, 5.0 W
 Klasifikace svítidel dle CIE: 97
 Kód CIE Flux Code: 49 84 98 97 100
 Osazení: 1 x LED Modul BN 2100 LED (Opravný faktor 1.000).



Nově navržená soustava osvětlení

2 ks OMS s.r.o EDAN SUSPENDED M MATT ASYM REF 39W 3600lm 4000K 80Ra

C. výrobku:

Světelný tok (Svítilno): 3615 lm

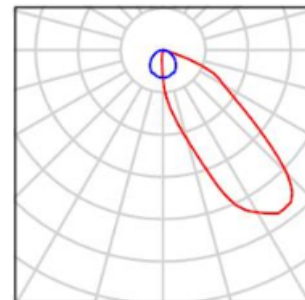
Světelný tok (Zdroje): 3615 lm

Výkon svítidla: 39.0 W

Klasifikace svítidel dle CIE: 100

Kód CIE Flux Code: 42 82 98 100 100

Osazení: 1 x LED 5630 (Opravný faktor 1.000).



20 ks Zumtobel 42182603 LFE A LED4600-840 L15 LDO SRE

C. výrobku: 42182603

Světelný tok (Svítilno): 4590 lm

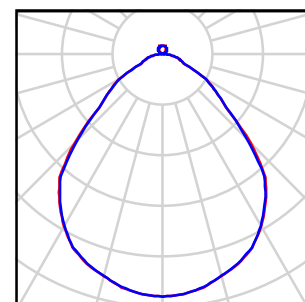
Světelný tok (Zdroje): 4590 lm

Výkon svítidla: 37.9 W

Klasifikace svítidel dle CIE: 95

Kód CIE Flux Code: 64 92 98 95 100

Osazení: 1 x LED-Z42182603 37C9W (Opravný faktor 1.000).



4 ks Zumtobel 42182837 LFE A LED4400-830 L15 LDO SRE

C. výrobku: 42182837

Světelný tok (Svítilno): 4450 lm

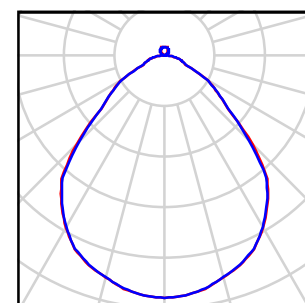
Světelný tok (Zdroje): 4450 lm

Výkon svítidla: 37.9 W

Klasifikace svítidel dle CIE: 95

Kód CIE Flux Code: 64 92 98 95 100

Osazení: 1 x LED-Z42182837 37C9W (Opravný faktor 1.000).



12 ks Zumtobel 42184801 LFE A LED3600-830 L12 LDO SRE

C. výrobku: 42184801

Světelný tok (Svítilno): 3650 lm

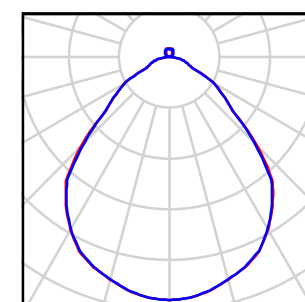
Světelný tok (Zdroje): 3650 lm

Výkon svítidla: 31.3 W

Klasifikace svítidel dle CIE: 95

Kód CIE Flux Code: 64 92 98 95 100

Osazení: 1 x LED-Z42184801 31C3W (Opravný faktor 1.000).



22 ks Zumtobel 42184802 LFE A LED3800-840 L12 LDO SRE

C. výrobku: 42184802

Světelný tok (Svítilno): 3770 lm

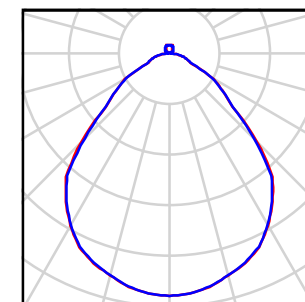
Světelný tok (Zdroje): 3770 lm

Výkon svítidla: 31.3 W

Klasifikace svítidel dle CIE: 95

Kód CIE Flux Code: 64 92 98 95 100

Osazení: 1 x LED-Z42184802 31C3W (Opravný faktor 1.000).



2 ks

ESSYSTEM 8679960 OP20-G1,2TC3N

C. výrobku: 8679960

Světelný tok (Svítilno): 0 lm

Světelný tok (Zdroje:): 0 lm

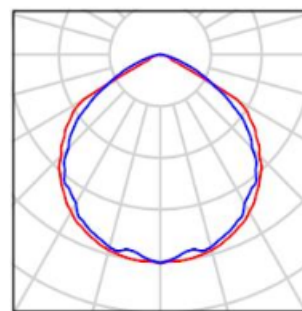
Výkon svítidla: 0.0 W

Nouzové osvětlení: 160 lm, 1.2 W

Klasifikace svítidel dle CIE: 100

Kód CIE Flux Code: 54 90 99 100 100

Osazení: 1 x LED (Opravný faktor 1.000).





Diplomová práce výstupy měření a simulace

Popis : Posluchárna US-217
Zákazník : ZČU
Vypracoval : Ondřej Machatý
Datum : 2. 5. 2017

Následující výpočty jsou vzaty z výpočtového programu Dialux verze 4.13



Denní osvětlení BuildingDesign

Lavice jsou řazeny po částech:	Průměrná hodnota D_m (%)	Minimální hodnota D_{min} (%)	Maximální hodnota D_{max} (%)	Rovnoměrnost D_0 (-)
LAV_vpravo_1	2,7	2,3	3	0,76
LAV_vpravo_2	3,1	2,4	4,1	0,6
LAV_vpravo_3	3,2	2,4	4,3	0,56
LAV_vpravo_4	3,4	2,5	4,5	0,56
LAV_vpravo_5	3,5	2,6	4,8	0,55
LAV_vpravo_6	3,6	2,6	5	0,52
LAV_vpravo_7	3,7	2,6	5,1	0,52
LAV_vpravo_8	3,6	2,8	4,6	0,61
LAV_vpravo_9	3,7	2,9	4,8	0,61
LAV_vpravo_10	4,1	3,3	5,2	0,63
LAV_vpravo_11	4,2	3,8	4,9	0,77
LAV_vpravo_12	5,2	4,5	5,9	0,76
LAV_střed_1	1,8	1,6	2,2	0,72
LAV_střed_2	1,8	1,6	2,3	0,69
LAV_střed_3	1,8	1,6	2,3	0,7
LAV_střed_4	1,8	1,6	2,3	0,68
LAV_střed_5	1,9	1,7	2,3	0,72
LAV_střed_6	1,9	1,7	2,3	0,74
LAV_střed_7	2	1,8	2,4	0,73
LAV_střed_8	2,1	1,9	2,5	0,76
LAV_střed_9	2,3	2	2,7	0,75
LAV_střed_10	2,7	2,3	3,1	0,76
LAV_střed_11	3,2	2,8	3,9	0,72
LAV_střed_12	4,5	3,8	5,3	0,71
LAV_vlevo_1	3,5	2,9	4,2	0,68
LAV_vlevo_2	4,2	2,9	6,1	0,47
LAV_vlevo_3	4,5	3	6,6	0,46
LAV_vlevo_4	4,8	3,1	7	0,44
LAV_vlevo_5	5	3,1	7,3	0,43
LAV_vlevo_6	5,2	3,2	7,9	0,41
LAV_vlevo_7	5,3	3,3	8,1	0,42
LAV_vlevo_8	4,8	3,3	7	0,47
LAV_vlevo_9	4,9	3,4	7,2	0,47
LAV_vlevo_10	5,1	3,6	7,2	0,5
LAV_vlevo_11	4,9	3,9	6	0,66
LAV_vlevo_12	5,7	4,7	6,6	0,71
Demonstrační stůl	1,4	1,3	1,6	0,85

Denní osvětlení DIALux

Lavice jsou řazeny po částech:	Průměrná hodnota D_m (%)	Minimální hodnota D_{min} (%)	Maximální hodnota D_{max} (%)	Rovnoměrnost D_0 (-)
LAV_vpravo_1	1,74	1,68	1,85	0,91
LAV_vpravo_2	1,96	1,73	2,19	0,79
LAV_vpravo_3	2,08	1,81	2,36	0,77
LAV_vpravo_4	2,25	1,83	2,76	0,66
LAV_vpravo_5	2,32	2,01	2,81	0,72
LAV_vpravo_6	2,57	2,32	3,23	0,72
LAV_vpravo_7	2,74	2,33	3,27	0,71
LAV_vpravo_8	2,84	2,58	3,28	0,79
LAV_vpravo_9	3,11	2,89	3,66	0,79
LAV_vpravo_10	3,56	3,3	4,13	0,8
LAV_vpravo_11	4,26	3,98	4,54	0,88
LAV_vpravo_12	5,71	5,21	6,32	0,82
LAV_střed_1	1,71	1,51	2,03	0,74
LAV_střed_2	1,79	1,59	2,23	0,71
LAV_střed_3	1,87	1,69	2,2	0,77
LAV_střed_4	1,96	1,78	2,37	0,75
LAV_střed_5	2,05	1,83	2,47	0,74
LAV_střed_6	2,2	2,01	2,6	0,77
LAV_střed_7	2,35	2,19	2,68	0,82
LAV_střed_8	2,54	2,35	2,94	0,8
LAV_střed_9	2,79	2,56	3,13	0,92
LAV_střed_10	3,26	3,01	3,65	0,92
LAV_střed_11	4,14	3,72	4,63	0,8
LAV_střed_12	6,04	5,24	6,89	0,76
LAV_vlevo_1	3,1	2,72	3,48	0,78
LAV_vlevo_2	3,8	2,79	5,15	0,54
LAV_vlevo_3	4,13	3,19	5,64	0,57
LAV_vlevo_4	4,25	3,15	5,92	0,53
LAV_vlevo_5	4,42	3,13	6,16	0,51
LAV_vlevo_6	4,53	3,22	6,57	0,49
LAV_vlevo_7	4,68	3,36	7,18	0,47
LAV_vlevo_8	4,32	3,42	5,69	0,6
LAV_vlevo_9	4,33	3,55	5,9	0,6
LAV_vlevo_10	4,6	3,75	6,11	0,82
LAV_vlevo_11	4,83	4,44	5,16	0,86
LAV_vlevo_12	6,16	5,75	6,58	0,874
Demonstrační stůl	1,4	1,29	1,6	0,81

Celkové umělé osvětlení (původní) DIALux

Lavice jsou řazeny po částech:	Průměrná hodnota	Minimální hodnota	Maximální hodnota	Rovnoměrnost
	E_m (lx)	E_{min} (lx)	E_{max} (lx)	U_0 (-)
LAV_vpravo_1	398	398	403	0,99
LAV_vpravo_2	422	399	451	0,95
LAV_vpravo_3	483	461	505	0,95
LAV_vpravo_4	534	488	580	0,91
LAV_vpravo_5	538	480	597	0,89
LAV_vpravo_6	561	519	611	0,93
LAV_vpravo_7	605	544	656	0,9
LAV_vpravo_8	598	564	628	0,94
LAV_vpravo_9	603	553	647	0,92
LAV_vpravo_10	696	589	765	0,85
LAV_vpravo_11	712	660	769	0,93
LAV_vpravo_12	621	549	671	0,89
LAV_střed_1	412	376	439	0,91
LAV_střed_2	461	419	489	0,91
LAV_střed_3	522	475	552	0,91
LAV_střed_4	537	479	593	0,89
LAV_střed_5	549	485	627	0,88
LAV_střed_6	609	535	706	0,88
LAV_střed_7	642	564	748	0,88
LAV_střed_8	621	537	743	0,87
LAV_střed_9	662	567	795	0,86
LAV_střed_10	687	573	843	0,83
LAV_střed_11	592	458	765	0,77
LAV_střed_12	550	423	714	0,77
LAV_vlevo_1	397	393	401	0,99
LAV_vlevo_2	409	387	422	0,95
LAV_vlevo_3	459	411	489	0,9
LAV_vlevo_4	504	455	539	0,9
LAV_vlevo_5	505	453	544	0,9
LAV_vlevo_6	524	453	595	0,87
LAV_vlevo_7	570	496	660	0,87
LAV_vlevo_8	592	536	651	0,91
LAV_vlevo_9	599	521	681	0,87
LAV_vlevo_10	688	594	777	0,86
LAV_vlevo_11	700	643	770	0,92
LAV_vlevo_12	640	577	698	0,9
Demonstrační stůl	405	340	443	0,84

Hlavní osvětlovací soustava DIALux (porovnání programů)

Lavice jsou řazeny po částech:	Průměrná hodnota E_m (lx)	Minimální hodnota E_{min} (lx)	Maximální hodnota E_{max} (lx)	Rovnoměrnost U_0 (-)
LAV_vpravo_1	372	364	378	0,98
LAV_vpravo_2	381	364	396	0,96
LAV_vpravo_3	416	384	442	0,92
LAV_vpravo_4	436	418	455	0,96
LAV_vpravo_5	423	408	436	0,97
LAV_vpravo_6	442	407	482	0,92
LAV_vpravo_7	487	457	511	0,94
LAV_vpravo_8	474	463	489	0,98
LAV_vpravo_9	477	450	516	0,94
LAV_vpravo_10	546	499	566	0,91
LAV_vpravo_11	490	436	552	0,89
LAV_vpravo_12	399	374	421	0,94
LAV_střed_1	366	336	382	0,92
LAV_střed_2	404	373	423	0,92
LAV_střed_3	452	422	471	0,93
LAV_střed_4	458	430	476	0,94
LAV_střed_5	458	430	477	0,94
LAV_střed_6	498	466	519	0,94
LAV_střed_7	504	478	530	0,95
LAV_střed_8	475	462	493	0,97
LAV_střed_9	519	490	552	0,94
LAV_střed_10	539	500	574	0,93
LAV_střed_11	417	364	468	0,87
LAV_střed_12	356	286	400	0,81
LAV_vlevo_1	388	379	397	0,98
LAV_vlevo_2	396	375	421	0,95
LAV_vlevo_3	433	396	469	0,91
LAV_vlevo_4	464	444	483	0,96
LAV_vlevo_5	456	445	468	0,98
LAV_vlevo_6	465	430	507	0,93
LAV_vlevo_7	502	468	528	0,93
LAV_vlevo_8	480	469	495	0,98
LAV_vlevo_9	473	442	517	0,93
LAV_vlevo_10	528	488	555	0,92
LAV_vlevo_11	462	411	525	0,89
LAV_vlevo_12	364	341	392	0,94
Demonstrační stůl	370	305	405	0,83

Hlavní osvětlovací soustava BuildingDesign (porovnání programů)

Lavice jsou řazeny po částech:	Průměrná hodnota	Minimální hodnota	Maximální hodnota	Rovnoměrnost
	E_m (lx)	E_{min} (lx)	E_{max} (lx)	U_0 (-)
LAV_vpravo_1	373	367	377	0,98
LAV_vpravo_2	380	355	400	0,93
LAV_vpravo_3	412	372	441	0,9
LAV_vpravo_4	440	410	456	0,93
LAV_vpravo_5	437	417	453	0,95
LAV_vpravo_6	455	414	496	0,91
LAV_vpravo_7	488	453	514	0,93
LAV_vpravo_8	472	461	482	0,98
LAV_vpravo_9	480	448	517	0,93
LAV_vpravo_10	544	518	572	0,95
LAV_vpravo_11	487	449	523	0,92
LAV_vpravo_12	408	388	426	0,95
LAV_střed_1	366	333	383	0,91
LAV_střed_2	394	359	417	0,91
LAV_střed_3	440	401	462	0,91
LAV_střed_4	452	424	472	0,94
LAV_střed_5	456	435	474	0,95
LAV_střed_6	494	466	515	0,94
LAV_střed_7	497	462	524	0,93
LAV_střed_8	471	448	483	0,95
LAV_střed_9	512	479	544	0,93
LAV_střed_10	521	471	558	0,9
LAV_střed_11	422	376	467	0,89
LAV_střed_12	373	332	404	0,89
LAV_vlevo_1	399	392	402	0,98
LAV_vlevo_2	407	386	425	0,95
LAV_vlevo_3	437	394	470	0,9
LAV_vlevo_4	468	439	485	0,94
LAV_vlevo_5	465	449	478	0,96
LAV_vlevo_6	474	440	509	0,93
LAV_vlevo_7	502	470	525	0,94
LAV_vlevo_8	472	455	486	0,96
LAV_vlevo_9	458	418	495	0,91
LAV_vlevo_10	514	474	538	0,92
LAV_vlevo_11	459	411	510	0,9
LAV_vlevo_12	363	316	403	0,87
Demonstrační stůl	368	302	406	0,82

Orientační měření (pro porovnání programů)

Lavice jsou řazeny po částech:	Průměrná hodnota E_m (lx)	Minimální hodnota E_{min} (lx)	Maximální hodnota E_{max} (lx)	Rovnoměrnost U_0 (-)
LAV_vpravo_1	287	223	320	0,78
LAV_vpravo_2	339	332	354	0,98
LAV_vpravo_3	351	341	369	0,97
LAV_vpravo_4	377	354	416	0,94
LAV_vpravo_5	383	373	400	0,97
LAV_vpravo_6	374	334	404	0,89
LAV_vpravo_7	429	380	497	0,89
LAV_vpravo_8	459	452	471	0,98
LAV_vpravo_9	416	398	437	0,96
LAV_vpravo_10	414	379	476	0,92
LAV_vpravo_11	540	526	563	0,97
LAV_vpravo_12	501	477	544	0,95
LAV_střed_1	334	289	373	0,87
LAV_střed_2	373	338	396	0,91
LAV_střed_3	396	371	409	0,94
LAV_střed_4	425	403	447	0,95
LAV_střed_5	425	406	445	0,96
LAV_střed_6	454	347	572	0,76
LAV_střed_7	499	482	529	0,97
LAV_střed_8	441	428	466	0,97
LAV_střed_9	422	400	457	0,95
LAV_střed_10	509	469	579	0,92
LAV_střed_11	488	443	533	0,91
LAV_střed_12	406	285	485	0,70
LAV_vlevo_1	320	304	330	0,95
LAV_vlevo_2	339	332	352	0,98
LAV_vlevo_3	349	320	375	0,92
LAV_vlevo_4	398	364	442	0,91
LAV_vlevo_5	393	369	417	0,94
LAV_vlevo_6	391	366	443	0,94
LAV_vlevo_7	444	390	506	0,88
LAV_vlevo_8	471	466	477	0,99
LAV_vlevo_9	403	381	435	0,95
LAV_vlevo_10	366	343	407	0,94
LAV_vlevo_11	518	506	520	0,98
LAV_vlevo_12	516	446	569	0,86
Demonstrační stůl	368	302	406	0,82

Kompletní měření umělého osvětlení

Lavice jsou řazeny po částech:	Průměrná hodnota E_m (lx)	Minimální hodnota E_{min} (lx)	Maximální hodnota E_{max} (lx)	Rovnoměrnost U_0 (-)
LAV_vpravo_1	374	370	382	0,99
LAV_vpravo_2	420	395	465	0,94
LAV_vpravo_3	458	434	482	0,95
LAV_vpravo_4	523	490	571	0,94
LAV_vpravo_5	525	486	570	0,93
LAV_vpravo_6	536	463	556	0,86
LAV_vpravo_7	601	482	699	0,80
LAV_vpravo_8	626	567	687	0,91
LAV_vpravo_9	588	538	680	0,91
LAV_vpravo_10	524	407	639	0,78
LAV_vpravo_11	690	599	828	0,87
LAV_vpravo_12	635	607	669	0,96
LAV_střed_1	405	354	480	0,87
LAV_střed_2	437	393	507	0,90
LAV_střed_3	505	450	582	0,89
LAV_střed_4	551	495	643	0,90
LAV_střed_5	552	493	648	0,89
LAV_střed_6	593	535	649	0,90
LAV_střed_7	645	588	706	0,91
LAV_střed_8	595	520	741	0,87
LAV_střed_9	584	515	705	0,88
LAV_střed_10	678	612	804	0,90
LAV_střed_11	636	571	760	0,90
LAV_střed_12	529	475	660	0,90
LAV_vlevo_1	367	354	392	0,96
LAV_vlevo_2	409	365	442	0,89
LAV_vlevo_3	448	416	473	0,93
LAV_vlevo_4	481	442	517	0,92
LAV_vlevo_5	495	450	554	0,91
LAV_vlevo_6	518	442	609	0,85
LAV_vlevo_7	551	435	652	0,79
LAV_vlevo_8	585	524	649	0,90
LAV_vlevo_9	538	476	590	0,88
LAV_vlevo_10	546	437	621	0,80
LAV_vlevo_11	695	613	818	0,88
LAV_vlevo_12	666	572	649	0,86
Demonstrační stůl	368	302	406	0,82

Návrh nové osvětlovací soustavy Zumtobel

Lavice jsou řazeny po částech:	Průměrná hodnota E_m (lx)	Minimální hodnota E_{min} (lx)	Maximální hodnota E_{max} (lx)	Rovnoměrnost U_0 (-)
LAV_vpravo_1	522	495	540	0,95
LAV_vpravo_2	531	512	546	0,96
LAV_vpravo_3	553	529	574	0,96
LAV_vpravo_4	559	509	581	0,91
LAV_vpravo_5	537	510	568	0,95
LAV_vpravo_6	549	517	574	0,94
LAV_vpravo_7	571	545	587	0,96
LAV_vpravo_8	538	514	569	0,96
LAV_vpravo_9	557	507	607	0,91
LAV_vpravo_10	613	583	634	0,95
LAV_vpravo_11	543	516	571	0,95
LAV_vpravo_12	512	432	579	0,84
LAV_střed_1	527	457	575	0,87
LAV_střed_2	533	457	564	0,86
LAV_střed_3	551	481	582	0,87
LAV_střed_4	533	475	562	0,89
LAV_střed_5	531	748	561	0,9
LAV_střed_6	557	506	585	0,91
LAV_střed_7	547	514	571	0,94
LAV_střed_8	560	521	592	0,93
LAV_střed_9	604	575	636	0,95
LAV_střed_10	566	545	596	0,96
LAV_střed_11	571	533	605	0,93
LAV_střed_12	532	452	598	0,85
LAV_vlevo_1	532	520	541	0,98
LAV_vlevo_2	538	518	552	0,96
LAV_vlevo_3	564	534	578	0,95
LAV_vlevo_4	574	543	591	0,95
LAV_vlevo_5	551	525	571	0,95
LAV_vlevo_6	561	527	588	0,94
LAV_vlevo_7	584	565	602	0,97
LAV_vlevo_8	567	542	585	0,96
LAV_vlevo_9	598	548	637	0,92
LAV_vlevo_10	612	576	640	0,94
LAV_vlevo_11	524	489	555	0,93
LAV_vlevo_12	516	455	586	0,88
Demonstrační stůl	512	425	570	0,83
Tabule	630	453	831	0,72

Hodnoty UGR nové osvětlovací soustavy Zumtobel

Uvedené hodnoty jsou maximální

Směr pozorovatele: 130°

LAV_vpravo_1	14
LAV_vpravo_2	15
LAV_vpravo_3	15
LAV_vpravo_4	16
LAV_vpravo_5	16
LAV_vpravo_6	15
LAV_vpravo_7	16
LAV_vpravo_8	16
LAV_vpravo_9	15
LAV_vpravo_10	17
LAV_vpravo_11	16
LAV_vpravo_12	17

Směr pozorovatele: 180°

LAV_vpravo_1	15
LAV_vpravo_2	16
LAV_vpravo_3	16
LAV_vpravo_4	16
LAV_vpravo_5	16
LAV_vpravo_6	16
LAV_vpravo_7	17
LAV_vpravo_8	16
LAV_vpravo_9	17
LAV_vpravo_10	17
LAV_vpravo_11	17
LAV_vpravo_12	17

Směr pozorovatele: 90°

LAV_střed_1	16
LAV_střed_2	15
LAV_střed_3	13
LAV_střed_4	16
LAV_střed_5	16
LAV_střed_6	14
LAV_střed_7	17
LAV_střed_8	16
LAV_střed_9	14
LAV_střed_10	18
LAV_střed_11	16
LAV_střed_12	17

Směr pozorovatele: 10°

LAV_střed_1	17
LAV_střed_2	16
LAV_střed_3	16
LAV_střed_4	16
LAV_střed_5	16
LAV_střed_6	16
LAV_střed_7	16
LAV_střed_8	16
LAV_střed_9	17
LAV_střed_10	16
LAV_střed_11	17
LAV_střed_12	18

Směr pozorovatele: 170°

LAV_střed_1	16
LAV_střed_2	16
LAV_střed_3	16
LAV_střed_4	16
LAV_střed_5	16
LAV_střed_6	16
LAV_střed_7	16
LAV_střed_8	16
LAV_střed_9	17
LAV_střed_10	16
LAV_střed_11	17
LAV_střed_12	17

Směr pozorovatele: 50°

LAV_vlevo_1	15
LAV_vlevo_2	15
LAV_vlevo_3	14
LAV_vlevo_4	16
LAV_vlevo_5	16
LAV_vlevo_6	15
LAV_vlevo_7	16
LAV_vlevo_8	16
LAV_vlevo_9	15
LAV_vlevo_10	17
LAV_vlevo_11	16
LAV_vlevo_12	17

Směr pozorovatele: 0°

LAV_vlevo_1	16
LAV_vlevo_2	16
LAV_vlevo_3	16
LAV_vlevo_4	16
LAV_vlevo_5	16
LAV_vlevo_6	17
LAV_vlevo_7	17
LAV_vlevo_8	17
LAV_vlevo_9	17
LAV_vlevo_10	17
LAV_vlevo_11	17
LAV_vlevo_12	18

Směr pozorovatele 90°

Demonstr. stůl1,2	/
Demonstr. stůl1,6	/

Směr pozorovatele 270°

Demonstr. stůl1,2	16
Demonstr. stůl1,6	17

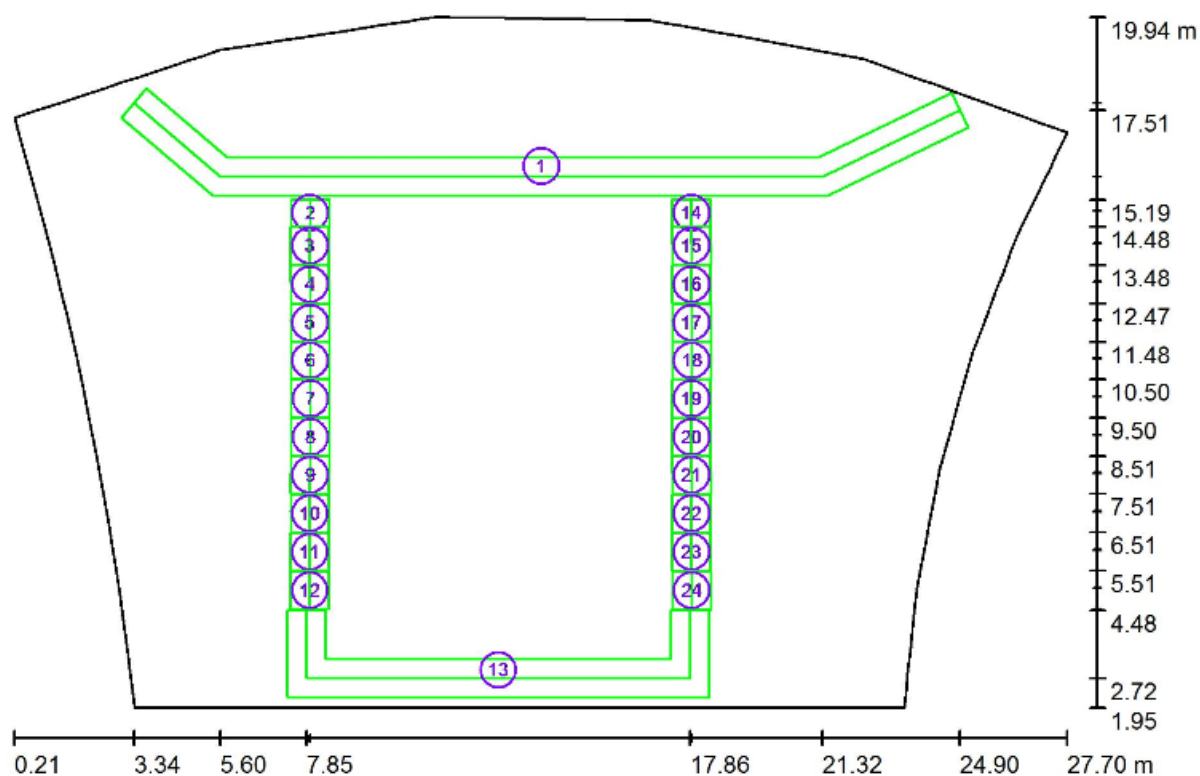
Směr pozorovatele 0°

Demonstr. stůl1,2	16
Demonstr. stůl1,6	16

Směr pozorovatele 180°

Demonstr. stůl1,2	16
Demonstr. stůl1,6	16

Původní nouzové osvětlení



Seznam záchranných cest

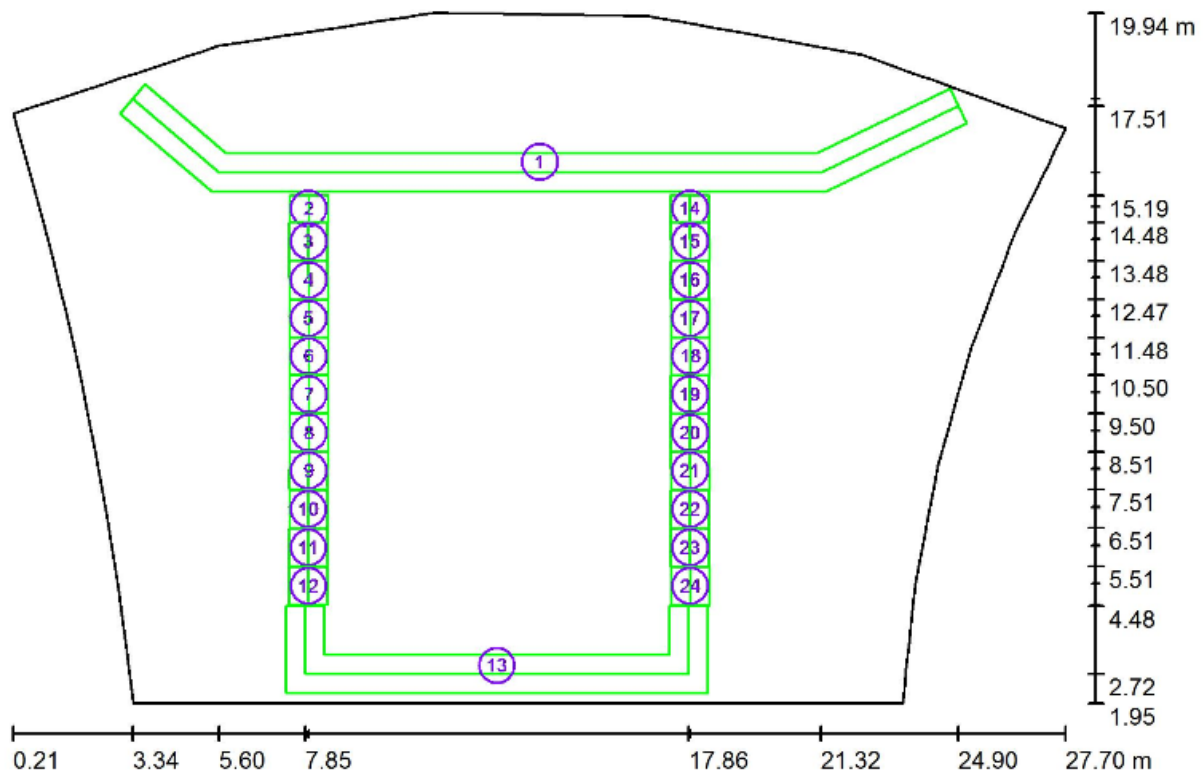
Č. označení	Rastr	$E_{\min}(\text{lx})$	E_{\min}/E_{\max}	$E_{\min}(\text{lx})$ osa	$i_{\text{in}}/E_{\max}(\text{osa})$	
1 Úniková cesta dole	128 x 128	1,22	0,14	1,23	0,14	(1:7,07)
2 Úniková cesta střed_levá_schod_0	8 x 8	1,25	0,52	1,35	0,60	(1:1,66)
3 Úniková cesta střed_levá_schod_1	8 x 8	1,31	0,47	1,50	0,59	(1:1,70)
4 Úniková cesta střed_levá_schod_2	8 x 8	1,13	0,35	1,31	0,45	(1:2,20)
5 Úniková cesta střed_levá_schod_3	8 x 8	2,21	0,59	2,71	0,79	(1:1,27)
6 Úniková cesta střed_levá_schod_4	8 x 8	2,82	0,71	3,07	0,84	(1:1,20)
7 Úniková cesta střed_levá_schod_5	8 x 8	2,83	0,74	2,84	0,79	(1:1,27)
8 Úniková cesta střed_levá_schod_6	8 x 8	2,30	0,67	2,30	0,70	(1:1,42)
9 Úniková cesta střed_levá_schod_7	8 x 8	1,46	0,53	1,47	0,56	(1:1,80)
10 Úniková cesta střed_levá_schod_8	8 x 8	0,98	0,39	0,99	0,43	(1:2,30)
11 Úniková cesta střed_levá_schod_9	8 x 8	1,24	0,48	1,38	0,63	(1:1,58)
12 Úniková cesta střed_levá_schod_10	8 x 8	1,41	0,49	1,38	0,79	(1:1,27)
13 Úniková cesta nahore	128 x 128	0,93	0,11	1,31	0,20	(1:4,90)
14 Úniková cesta střed_pravá_schod_0	8 x 8	0,97	0,34	1,31	0,57	(1:1,74)
15 Úniková cesta střed_pravá_schod_1	8 x 8	1,47	0,45	1,64	0,55	(1:1,81)
16 Úniková cesta střed_pravá_schod_2	8 x 8	1,50	0,37	2,15	0,58	(1:1,71)
17 Úniková cesta střed_pravá_schod_3	8 x 8	2,74	0,58	3,71	0,87	(1:1,15)
18 Úniková cesta střed_pravá_schod_4	8 x 8	3,37	0,65	3,75	0,81	(1:1,24)
19 Úniková cesta střed_pravá_schod_5	8 x 8	3,20	0,66	3,36	0,78	(1:1,28)
20 Úniková cesta střed_pravá_schod_6	8 x 8	2,38	0,58	2,44	0,65	(1:1,53)

21 Úniková cesta střed_pravá_schod_7	8 x 8	1,57	0,47	1,59	0,52	(1:1,91)
22 Úniková cesta střed_pravá_schod_8	8 x 8	1,04	0,34	1,04	0,38	(1:2,64)
23 Úniková cesta střed_pravá_schod_9	8 x 8	1,57	0,44	1,90	0,62	(1:1,62)
24 Úniková cesta střed_pravá_schod_10	8 x 8	2,07	0,49	2,54	0,74	(1:1,36)

Shrnutí výsledků:

E_{\min} :	0,93 lx	
E_{\min}/E_{\max} :	0,11	
E_{\min} (osa):	0,99 lx	
E_{\min}/E_{\max} (osa):	0,11	(1 : 8,72)

Nově navržené nouzové osvětlení



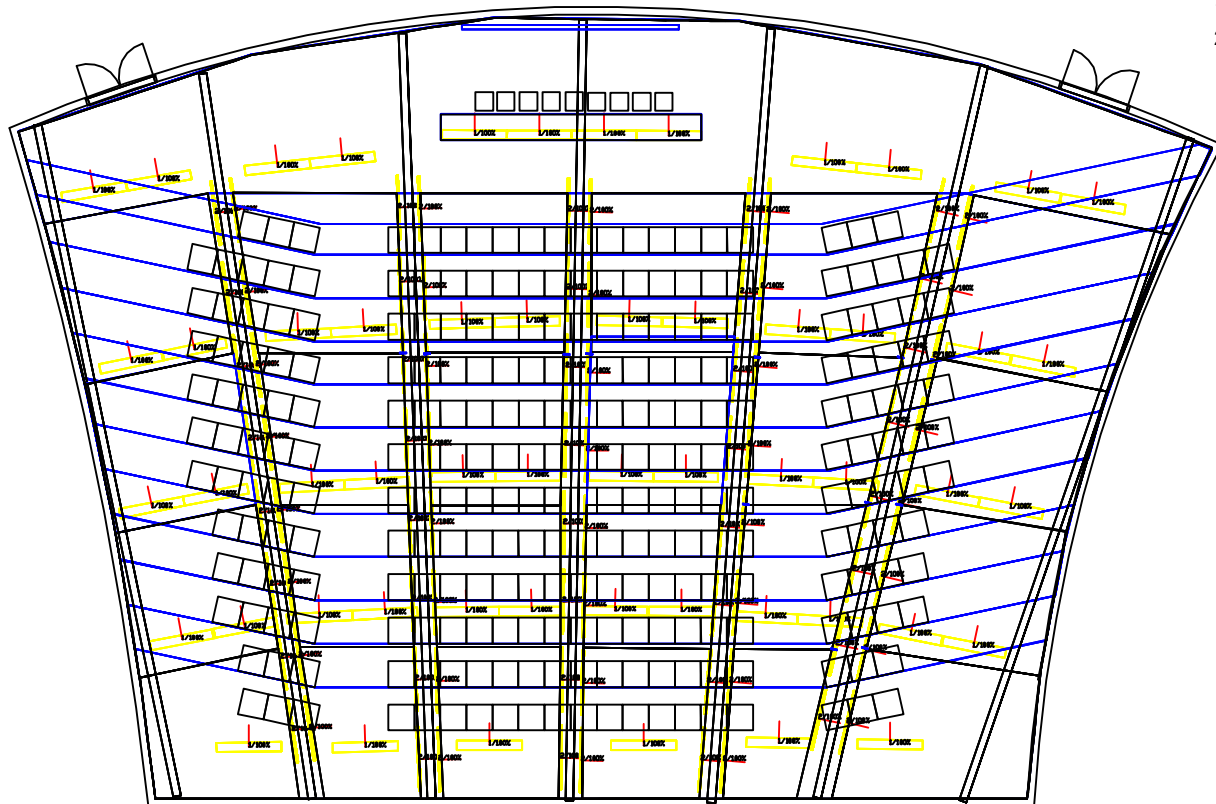
Seznam záchranných cest

Č. označení	Rastr	$E_{\min}(\text{lx})$	E_{\min}/E_{\max}	$E_{\min}(\text{lx})$ osa in	$E_{\max}(\text{osa})$	
1 Úniková cesta dole	128 x 128	1,73	0,09	1,86	0,10	(1:10)
2 Úniková cesta střed_levá_schod_0	8 x 8	1,89	0,52	1,96	0,59	(1:1,69)
3 Úniková cesta střed_levá_schod_1	8 x 8	2,55	0,64	2,63	0,68	(1:1,48)
4 Úniková cesta střed_levá_schod_2	8 x 8	3,48	0,61	3,52	0,62	(1:1,62)
5 Úniková cesta střed_levá_schod_3	8 x 8	5,74	0,63	7,42	0,82	(1:1,22)
6 Úniková cesta střed_levá_schod_4	8 x 8	10,00	0,76	10,00	0,78	(1:1,28)
7 Úniková cesta střed_levá_schod_5	8 x 8	14,00	0,87	15,00	0,95	(1:1,06)
8 Úniková cesta střed_levá_schod_6	8 x 8	12,00	0,73	12,00	0,75	(1:1,33)
9 Úniková cesta střed_levá_schod_7	8 x 8	7,25	0,59	7,51	0,61	(1:1,64)
10 Úniková cesta střed_levá_schod_8	8 x 8	3,59	0,46	4,22	0,56	(1:1,77)
11 Úniková cesta střed_levá_schod_9	8 x 8	3,48	0,52	4,14	0,77	(1:1,30)
12 Úniková cesta střed_levá_schod_10	8 x 8	3,91	0,48	4,86	0,89	(1:1,13)
13 Úniková cesta nahore	128 x 128	0,99	0,06	2,08	0,16	(1:6,25)
14 Úniková cesta střed_pravá_schod_0	8 x 8	1,17	0,51	1,19	0,53	(1:1,89)
15 Úniková cesta střed_pravá_schod_1	8 x 8	2,13	0,65	2,13	0,66	(1:1,53)
16 Úniková cesta střed_pravá_schod_2	8 x 8	3,14	0,59	3,29	0,60	(1:1,66)
17 Úniková cesta střed_pravá_schod_3	8 x 8	5,48	0,63	7,02	0,81	(1:1,24)
18 Úniková cesta střed_pravá_schod_4	8 x 8	9,82	0,76	10,00	0,79	(1:1,27)
19 Úniková cesta střed_pravá_schod_5	8 x 8	15,00	0,92	15,00	0,95	(1:1,05)
20 Úniková cesta střed_pravá_schod_6	8 x 8	12,00	0,74	13,00	0,76	(1:1,31)

21 Úniková cesta střed_pravá_schod_7	8 x 8	7,46	0,60	7,69	0,62	(1:1,61)
22 Úniková cesta střed_pravá_schod_8	8 x 8	3,40	0,46	4,00	0,57	(1:1,77)
23 Úniková cesta střed_pravá_schod_9	8 x 8	2,60	0,46	3,81	0,78	(1:1,28)
24 Úniková cesta střed_pravá_schod_10	8 x 8	2,25	0,36	2,95	0,61	(1:1,64)

Shrnutí výsledků:

E_{\min} :	0,99 lx	
E_{\min}/E_{\max} :	0,05	
E_{\min} (osa):	1,19 lx	
E_{\min}/E_{\max} (osa):	0,06	(1 : 16)



Legenda svítidel

- 1 54 x HORMEN CE a.s. KANNAL 2x35 W
- 2 80 x SITECO 2LJ102D1Q LJ 100

NTIS: posluchárna US-217

Původní osvětlovací soustava

Poznámky k legendám místností:

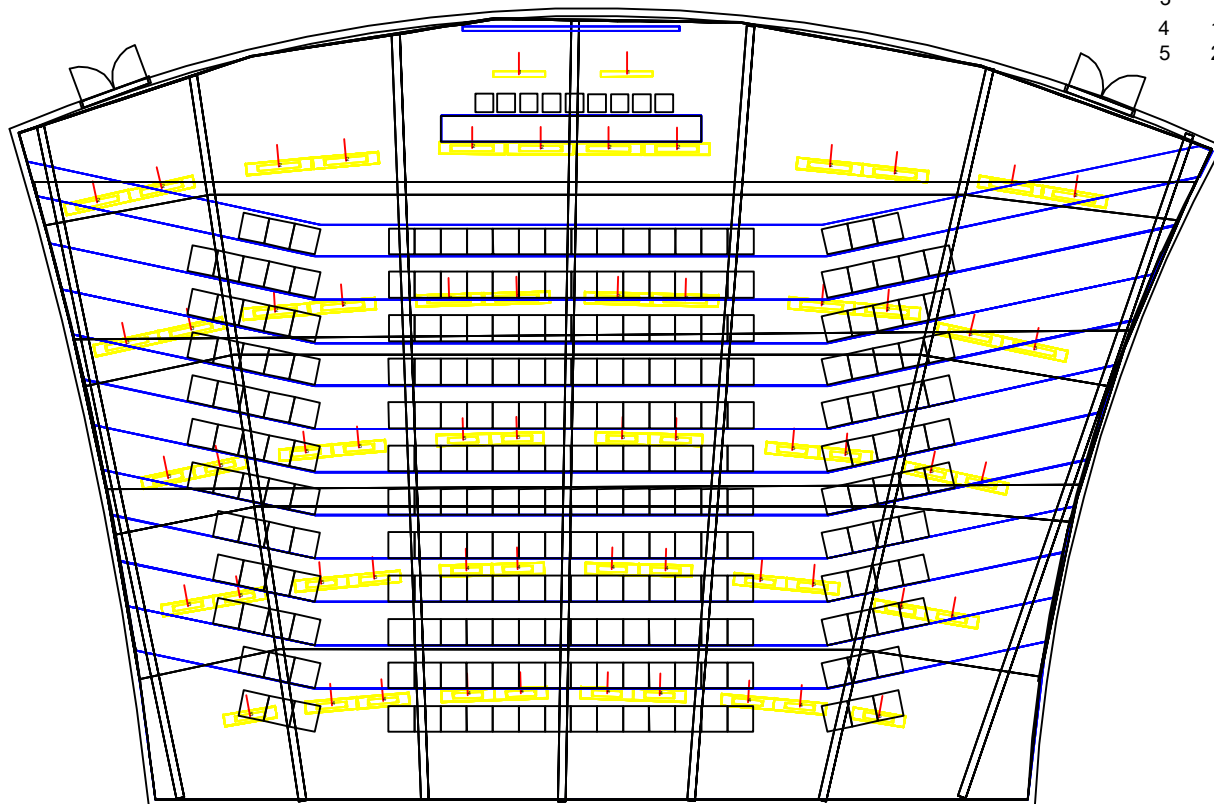
VEŠKERÉ DŘEVĚNÉ PRVKY BUDOU OPATŘENY DVOJNÁSOBNÝM 15% ROZTOKEM FUNGICIDNÍM BEZBARVÝM OCHRANNÝM NÁTĚREM, KOVOVÉ VIDITELNÉ PRVKY 1x ZÁKLADNÍM A 2x VRCHNÍM NÁTĚREM

OBJEMOVÁ ROZTAŽNOST DŘEVĚNÝCH VAZNÍKŮ NAD KONFERENČNÍM SÁLEM BUDE ŘEŠENA V RÁMCI KLUZNÉHO KOTVENÍ

STAVEBNĚ TECHNICKÉ A KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ MŮŽE BÝT UPRAVENO PO VÝBĚRU ZHOTOVITELE - DLE KONKRÉTNÍ DODANÉ TECHNOLOGIE

- Lavice, stěny, trámy, dveře, podhledy
- Schody, tabule
- Svítidla KANNAL a TAMARA

Vedoucí diplomové práce:	Zpracoval:	ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Ing. Ph.D. Oldřich Kroupa	Bc. Ondřej Machatý	
Diplomová práce:		Fakulta elektrotechnická
Realizace umělého osvětlení v moderní posluchárně		Osvětlení: svítidla KANNAL
ROZLOŽENÍ SVÍTIDEL		Objekt: posluchárna US-217
		Formát - A4
Situační přehled, zpracováno v programu AutoCAD		Datum : 3. 5. 2017
Katedra elektroenergetiky a ekologie		



Legenda svítidel

- 1 2 x OMS s.r.o. EDAN SUSPENDED MATT ASYM REF 39W 3600lm 4000k 80RA
- 2 20 x Zumtobel 42182603 LIFE A LED4600-840 L15 LDO SRE [STD]
- 3 4 x Zumtobel 42182603 LIFE A LED4400-830 L15 LDO SRE [STD]
- 4 12 x Zumtobel 42182603 LIFE A LED3600-830 L12 LDO SRE [STD]
- 5 22 x Zumtobel 42182603 LIFE A LED3800-840 L12LDO SRE [STD]

NTIS: posluchárna US-217

Návrh nové osvětlovací soustavy

Poznámky k legendám místností:

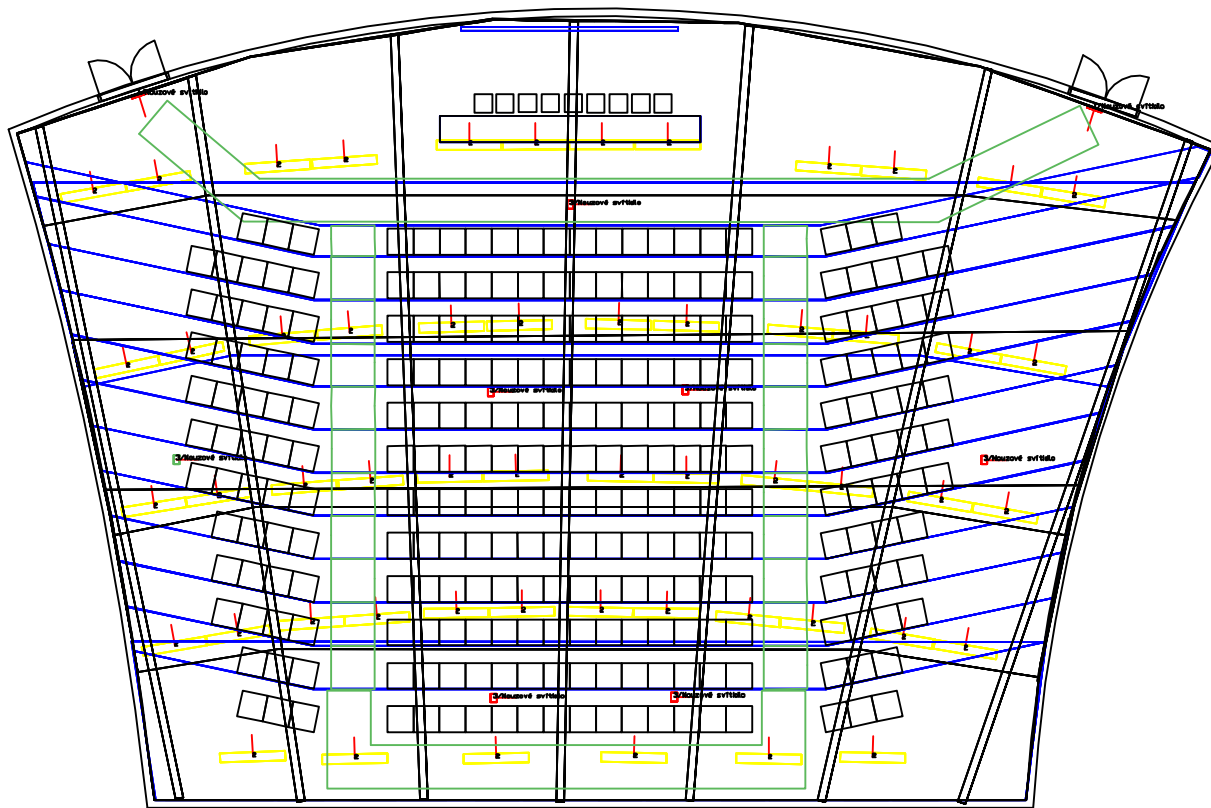
VEŠKERÉ DŘEVĚNÉ PRVKY BUDOU OPATŘENY DVOJNÁSOBNÝM 15% ROZTOKEM FUNGICIDNÍM BEZBARVÝM OCHRANNÝM NÁTĚREM, KOVOVÉ VIDITELNÉ PRVKY 1x ZÁKLADNÍM A 2x VRCHNÍM NÁTĚREM

OBJEMOVÁ ROZTAŽNOST DŘEVĚNÝCH VAZNÍKŮ NAD KONFERENČNÍM SÁLEM BUDE ŘEŠENA V RÁMCI KLUZNÉHO KOTVENÍ

STAVEBNĚ TECHNICKÉ A KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ MŮŽE BÝT UPRAVENO PO VÝBĚRU ZHOTOVITELE - DLE KONKRÉTNÍ DODANÉ TECHNOLOGIE

- Lavice, stěny, trámy, dveře, pohledy
- Schody, tabule,
- Svítidla ZUMTOBEL

Vedoucí diplomové práce:	Zpracoval:	ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Ing. Ph.D. Oldřich Kroupa	Bc. Ondřej Machatý	
Diplomová práce:		Fakulta elektrotechnická
Realizace umělého osvětlení v moderní posluchárně		Osvětlení: svítidla Zumtobel
ROZLOŽENÍ SVÍTIDEL		Objekt: posluchárna US-217
		Formát - A4
Situační přehled, zpracováno v programu AutoCAD		Datum : 3. 5. 2017
Katedra elektroenergetiky a ekologie		



Legenda svítidel

- 1 2 x ESSYSTEM 879960-G1,2TC3N
- 2 54 x HORMEN CE a.s. KANNAL 2x35 W
- 3 2 x INOTEC Sicherheitstechnik GmbH - INOTEC BN 2100 LED

NTIS: posluchárna US-217

Původní nouzové osvětlení

Poznámky k legendám místností:

Pro zjednodušení a přehlednost zanedbána svítidla TAMARA, osvětlovací soustavy umělého osvětlení

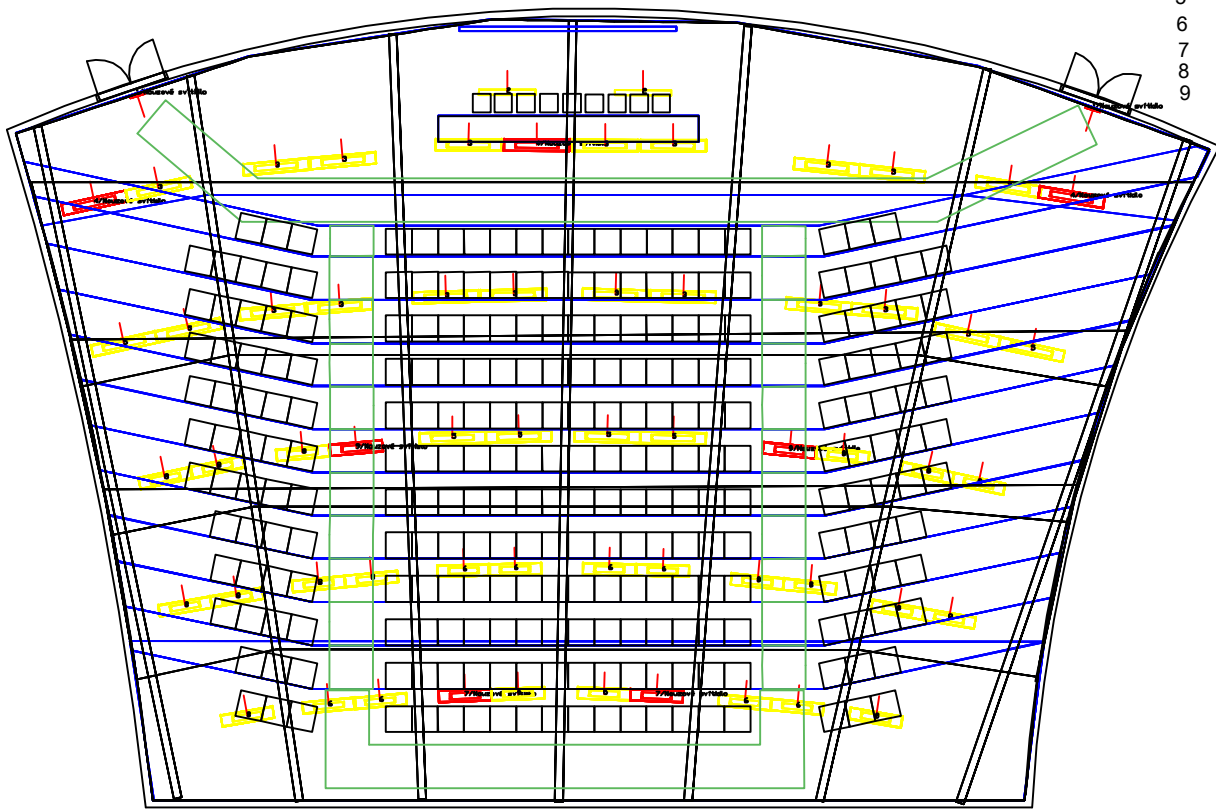
VEŠKERÉ DŘEVĚNÉ PRVKY BUDOU OPATŘENY DVOJNÁSOBNÝM 15% ROZTOKEM FUNGICIDNÍM BEZBARVÝM OCHRANNÝM NÁTĚREM, KOVOVÉ VIDITELNÉ PRVKY 1x ZÁKLADNÍM A 2x VRCHNÍM NÁTĚREM

OBJEMOVÁ ROZTAŽNOST DŘEVĚNÝCH VAZNÍKŮ NAD KONFERENČNÍM SÁLEM BUDE ŘEŠENA V RÁMCI KLUZNÉHO KOTVENÍ

STAVEBNĚ TECHNICKÉ A KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ MŮŽE BÝT UPRAVENO PO VÝBĚRU ZHOTOVITELE - DLE KONKRÉTNÍ DODANÉ TECHNOLOGIE

- Lavice, stěny, trámy, dveře, podhledy
- Schody, tabule
- Svítidla KANNAL
- Svítidla nouzového osvětlení ESSYSTEM a INOTEC
- Únikové cesty

Vedoucí diplomové práce:	Zpracoval:	ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Ing. Ph.D. Oldřich Kroupa	Bc. Ondřej Machatý	
Diplomová práce:		Fakulta elektrotechnická
Realizace umělého osvětlení v moderní posluchárně		Nouzové osvětlení
ROZLOŽENÍ SVÍTIDEL		Objekt: posluchárna US-217
		Formát - A4
Situační přehled, zpracováno v programu AutoCAD		Datum : 3. 5. 2017
Katedra elektroenergetiky a ekologie		



Legenda svítidel

- 1 2 x ESSYSTEM 879960-G1,2TC3N
- 2 2 x OMS s.r.o. EDAN SUSPENDED MATT ASYM REF 39W 3600lm 4000k 80RA
- 3 17 x Zumtobel 42182603 LIFE A LED4600-840 L15 LDO SRE [STD]
- 4 3 x Zumtobel 42182603 LIFE A LED4600-840 L15 LDO SRE [STD] NO. MODUL
- 5 8 x Zumtobel 42182603 LIFE A LED4400-830 L15 LDO SRE [STD]
- 6 10 x Zumtobel 42182603 LIFE A LED3600-830 L12 LDO SRE [STD]
- 7 2 x Zumtobel 42182603 LIFE A LED3600-830 L12 LDO SRE [STD] NO. MODUL
- 8 16 x Zumtobel 42182603 LIFE A LED3800-840 L12LDO SRE [STD]
- 9 2 x Zumtobel 42182603 LIFE A LED3800-840 L12LDO SRE [STD] NO. MODUL

NTIS: posluchárna US-217

Nově navržené nouzové osvětlení

Poznámky k legendám místností:

VEŠKERÉ DŘEVĚNÉ PRVKY BUDOU OPATŘENY DVOJNÁSOBNÝM 15% ROZTOKEM FUNGICIDNÍM BEZBARVÝM OCHRANNÝM NÁTĚREM, KOVOVÉ VIDITELNÉ PRVKY 1x ZÁKLADNÍM A 2x VRCHNÍM NÁTĚREM

OBJEMOVÁ ROZTAŽNOST DŘEVĚNÝCH VAZNÍKŮ NAD KONFERENČNÍM SÁLEM BUDE ŘEŠENA V RÁMCI KLUZNÉHO KOTVENÍ

STAVEBNĚ TECHNICKÉ A KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ MŮŽE BÝT UPRAVENO PO VÝBĚRU ZHOTOVITELE - DLE KONKRÉTNÍ DODANÉ TECHNOLOGIE

- Lavice, stěny, trámy, dveře, pohledy
- Schody, tabule,
- Svítidla ZUMTOBEL
- Svítidla nouzového osvětlení ESSYSTEM a ZUMTOBEL
- Únikové cesty

Vedoucí diplomové práce:	Zpracoval:	ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Ing. Ph.D. Oldřich Kroupa	Bc. Ondřej Machatý	
Diplomová práce:		Fakulta elektrotechnická
Realizace umělého osvětlení v moderní posluchárně		Nouzové osvětlení
ROZLOŽENÍ SVÍTIDEL		Objekt : posluchárna US-217
		Formát - A4
Situační přehled, zpracováno v programu AutoCAD		Datum : 3. 5. 2017
Katedra elektroenergetiky a ekologie		