

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STAVEBNÍ**

**KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV**



**STUDIE ŘEŠENÍ OSVĚTLENÍ UČEBEN S DŮRAZEM NA VYSOKÝ  
ZRAKOVÝ KOMFORT**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Vypracoval:**

**Ing. arch. Jan Marx**

**Vedoucí práce:**

**Ing. arch. Lenka Maierová, Ph.D.**

**2018/19**





ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební


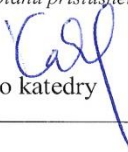
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

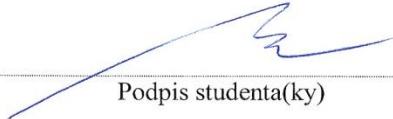
### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Marx	Jméno: Jan	Osobní číslo: 399057
Zadávací katedra: 125 TZB		
Studijní program: Budovy a prostředí		
Studijní obor: TZB		

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Studie řešení osvětlení učeben s důrazem na vysoký zrakový komfort	
Název diplomové práce anglicky: Design of lighting for classrooms with demands on high visual comfort	
Pokyny pro vypracování:	
Zpracujte návrh a posouzení osvětlovacího systému středoškolské kmenové učebny, s důrazem na dosažení vysokého zrakového komfortu.	
Proveďte kritickou rešerši současných normativních požadavků na osvětlení (denní, umělé, sdružené) ve školách. Vytvořte virtuální model kmenové učebny a kalibrujte jej pomocí měření vůči skutečnému prostoru.	
V modelu navrhnete umístění a typy osvětlovacích těles. Při navrhování zohledněte všechny světelné zdroje, které se v učebnách používají, včetně zobrazovací a projekční techniky. Návrh vyhodnoťte a optimalizujte z hlediska osvětlenosti na referenčních plochách, kontrastů a jasů v zorném poli, rizika oslnění, barevného podání atd. Pro zvolenou variantu vytvořte projektovou dokumentaci. Popište způsob vhodného řízení systému.	
Seznam doporučené literatury: ČSN EN 12464-1 až 2, Osvětlení pracovních prostor. Jiří Habel a kolektiv, Světlo a osvětlování, FCC Public 2013. Peter R. Boyce, Human Factors in Lighting, third edition, CRC Press 2014	
Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. arch. Lenka Maierová, Ph.D.	
Datum zadání diplomové práce: 1. 10. 2018	Termín odevzdání diplomové práce: 7.1.2019
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku	
 Podpis vedoucího práce	 Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<i>Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.</i>	
<u>1. 10. 2018</u> Datum převzetí zadání	 Podpis studenta(ky)

Poznámka.: Na konci přílohy se nachází potvrzení o posunutí termínu odevzdání diplomové práce k datu 15.2.2019 v elektronické a 18.2.2019 v tištěné podobě.





**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a podkladů.

V Almere, Nizozemí

dne 15.2.2019

## Obsah

1	Úvod .....	- 1 -
2	Teoretická část .....	- 2 -
2.1	Teorie intenzity osvětlení .....	- 2 -
2.2	Teorie jasu a oslnění.....	- 7 -
2.2.1	Definice a význam oslnění .....	- 7 -
2.2.2	Zorné pole.....	- 10 -
2.2.3	Výpočet oslnění a výpočetní modely.....	- 13 -
2.2.4	Metoda hodnocení UGR .....	- 17 -
2.2.5	Opatření proti vzniku oslnění .....	- 18 -
2.2.6	DSE (display screen equipment) ve školním prostředí .....	- 20 -
2.3	Teorie barevného spektra a podání barev .....	- 21 -
2.3.1	Teplota chromatičnosti .....	- 22 -
2.3.2	Kvalita podání barev .....	- 23 -
2.3.3	Další požadavky normy.....	- 23 -
2.4	Zásady měření osvětlení a jasových poměrů .....	- 24 -
2.4.1	Příprava měření .....	- 24 -
2.4.2	Výchozí podklady.....	- 25 -
2.4.3	Průběh měření.....	- 27 -
2.4.4	Protokol a zpráva o měření .....	- 28 -
3	Praktická část.....	- 29 -
3.1	Popis měřeného prostoru.....	- 29 -
3.2	Jasová analýza učeben.....	- 30 -
3.2.1	Popis měření.....	- 30 -
3.2.2	Hodnocení UGR .....	- 32 -
3.3	Velikost kritického detailu .....	- 36 -
3.4	Čitelnost a kontrast barev na interaktivní tabuli.....	- 38 -
3.5	Měření intenzity osvětlení a současné osvětlení prostoru .....	- 40 -
3.6	Spektrální analýza současného zdroje.....	- 41 -
4	Návrhová část .....	- 44 -
4.1	DIALux model a jeho kalibrace .....	- 44 -
4.2	Popis navrhovaných svítidel a zdrojů .....	- 47 -
4.3	Optimalizace počtu svítidel .....	- 48 -

4.4	Optimalizace horizontálního rozvržení vzhledem k osové vzdálenosti svítidel .....	- 49 -
4.5	Optimalizace rozvržení vzhledem k výškové pozici svítidel .....	- 50 -
4.6	Interpretace výsledků z nově navržených svítidel.....	- 52 -
4.7	Výsledné rozložení a projektová dokumentace .....	- 54 -
5	Závěr .....	- 63 -
7	Zdroje.....	- 65 -
7.1	Literatura: .....	- 65 -
7.2	Internetové zdroje:.....	- 65 -
8	Přílohy.....	- 66 -
9	Seznamy.....	- 94 -
9.1	Symboly .....	- 94 -
9.2	Pojmy.....	- 94 -
9.3	Obrázky.....	- 94 -
9.4	Rovnice .....	- 95 -
9.5	Grafy .....	- 96 -

## Anotace

Tato práce se zaměřuje na parametry vizuálního komfortu ve školských prostorách. Analyzuje nežádoucí zrakové jevy a poskytuje možná řešení pro jejich eliminaci, či potlačení. Záměrem práce je ukázat důležitost změny principu navrhování osvětlovacích soustav z minimálního standardu vyžadovaného normou na optimální světelné podmínky pro dané zrakové činnosti.

Využitou metodikou je měření jasu na povrchu, výpočet kontrastních poměrů v zorném poli, měření osvětlenosti a spektrální analýza světla na konkrétním příkladu dvou učeben střední školy. V jedné z učeben je nainstalována interaktivní obrazovka (smart board) a v druhé projektor. V učebnách byla stanovena technická doporučení použitelná pro projektanty při navrhování školských zařízení a uživatelská doporučení pro učitele.

Práce obsahuje tři části. První, teoretická, popisuje metodiku návrhu a měření na základě vlivu světelného prostředí na člověka s přihlédnutím na české a evropské normy. Praktická část je složena z měření jasovým analyzátořem, luxmetřem a spektřometřem. Interpretuje výsledky a komentuje postup řešení. Poslední část je návrhová. Na základě naměřených hodnot je vytvořen vlastní návrh formou digitálního modelu, s ohledem na předešlá zjištění.

## Klíčová slova

Umělé osvětlení, Zrakový komfort, Oslnění, HDR snímek.

## Annotation

This work focuses on the parameters of visual comfort in classrooms. It analyses undesirable visual phenomena and provides possible solutions for eliminating or suppressing them. The aim of the thesis is to illustrate the first step to understanding the importance of reorienting the design of lighting systems from standard limits to ideal visual conditions.

The methodologies used are measurements of luminous ratios and illumination, and spectral analysis on a specific example. These measurements are based on two model classrooms. One contains a DSE screen and the other one a projector. In each room, the glare maximum is measured from four places during different light scenes. Luminance sections and contrast ratios, defining the legibility of the boards, are performed. On the basis of the achieved results, recommendations applicable to designs of school facilities are set. Advice for teachers themselves are also provided.

The work consists of three parts. Firstly a theoretical part which describes the methodology of design and measurement based on human influence; taking into account Czech and European standards. Secondly, the practical part consists of luminous analyser measurements, a lux meter, and a spectrometer. Interpretation of the results and commentary on solutions are discussed. Thirdly, the design is examined. Based on the values measured, a customised proposal is created in the form of a digital model, taking into account individual findings

## Key words

Artificial lighting, Visual comfort, Glare, HDR image.

## Poděkování:

Mé hluboké poděkování patří paní Ing. arch. Lence Maierové, Ph.D. za vedení mé diplomové práce i nad rámec běžného vedoucího. Děkuji za trpělivost při konzultacích, měřeních a celkové ochoty při hledání správného řešení. Právě bez ochoty práci vést, i přesto že byla zpracována po většinu času ze zahraničí, by tato diplomová práce nemohla vzniknout.

Poděkování patří také všem, kteří se podíleli méně či více na tom, aby mohla být tato práce být napsána. Zejména pak:

kolektivu společnosti ARTEMIDE s.r.o., jmenovitě panu Hynku Medřickému za poskytnutí prototypu svítidel vhodných pro měření,

Ing. Václavíčkovi za pomoc při měření jasovým analyzátozem a představení softwaru Lumidisp,

společnosti ELKOVO ČEPELÍK s.r.o., jmenovitě Petru Niesigovi za měření křivek svítivosti jednoho z prototypů svítidel,

Ing. Marku Bálskému, Ph.D. zaměstnanci elektrotechnické fakulty ČVUT za měření křivek svítivosti jednoho z prototypů svítidel,

Ing. Danielu Adamovskému, Ph.D. za možnost zpracovávat diplomovou práci ve spolupráci s výzkumným centrem UCEEB.

# 1 Úvod

Existuje mnoho prací týkajících se návrhu osvětlovacích soustav. Většina se zaměřuje na způsoby hodnocení osvětlovacích systémů, a interpretuje normativní požadavky. Již méně se jich však zaměřuje na hledisko kvality vizuálního komfortu. Lze namítnout, že komfort je přeci zajištěn dodržáním normativních hodnot. Dodržáním požadavků normy předcházíme použití způsobů řešení, které se v minulosti ukázaly jako nevhodné. Neříká však, jak navrhovat, aby světelné prostředí bylo pro zrak optimální. Norma je minimální přípustná kvalita a není nástrojem pro komfortní řešení.

Požadavky na světelné prostředí ve školách jsou odlišné od běžného prostředí v administrativních budovách. Při návrhu umělého osvětlení v učebnách je třeba zohlednit mnoho specifických faktorů. Například stále se vyvíjející zrak uživatelů – studentů v období dospívání. Při výuce dochází k pravidelnému střídání pohledu na tabuli a do sešitu. Opakované rychlé změny míst zrakového úkolu a osvětlenost obou těchto ploch je tedy třeba řešit v jejich souvislosti. Nejen v historických školních budovách bývá v učebnách světlá výška až kolem čtyř metrů. Tomu je třeba přizpůsobit distribuci světla a instalovaný výkon. V neposlední řadě se dnes ve výuce stále častěji využívají moderní vyučovací prostředky, jako jsou elektronické interaktivní tabule a světelné projekce, které přinášejí nové požadavky.

Současná technologie nám dnes umožňuje daleko více možností, než ve skutečnosti využíváme. Virtuální modelování prostoru v kombinaci s přesným a správným vyhodnocením zrakového komfortu může vést k optimálnímu návrhu. Tím nejenže získáme komfortní zrakové podmínky, ale také nijak zásadně nezvýšíme spotřebu energie.

Nové technologické možnosti by bylo vhodné promítnout do zlepšení úrovně technického vybavení tříd a učebních pomůcek. Zaměřit se na zkvalitnění podmínek, ve kterých se studenti učí a ve kterých tráví většinu času. Vědecké studie prokazují, že kvalita osvětlení v učebnách má dopad na efektivitu učení, ale i na zdraví a tím i kvalitu života jako takovou. V publikaci profesora Habela [2] *Jiří Habel a kolektiv, Světlo a osvětlování, FCC Public 2013., č. str. 373*], předního českého odborníka na osvětlení se v kapitole 16.7.3. Školní a vzdělávací zařízení doslova uvádí: „Výzkumy účinků osvětlení na intelektuální výkon ukázaly, že zvýšení kvality osvětlení má významný vliv na zlepšení činností souvisejících s intelektem, jako je zapamatování si, logické myšlení, koncentrace nebo inteligenční úroveň.“. Vytvořením vhodných světelných podmínek pro učení umožníme studentům udržet delší pozornost a vyloučením nežádoucího oslnění se zmírní nejen únava očí, ale patrně i předchází rozvoji případných očních vad.

Práce si dává za úkol vytvořit návrh osvětlovacího systému, který bude využívat současné technologie tak, aby vzniklo světelné prostředí odpovídající požadavkům na zdravé a kvalitní osvětlení v učebnách. S tímto záměrem jsou nejdříve v teoretické rovině detailně zkoumány podmínky zrakového komfortu. Následně je měřením zmapován současný stav. Na základě těchto zjištění je vytvořen návrh kvalitního osvětlení pro školní prostředí.

## 2 Teoretická část

### 2.1 Teorie intenzity osvětlení

Všeobecné normové požadavky na kvalitu a intenzitu osvětlení je možné najít v normě ČSN EN 12 464 Světlo a osvětlení. Tato norma definuje také parametry vztahující se přímo na vzdělávací zařízení.

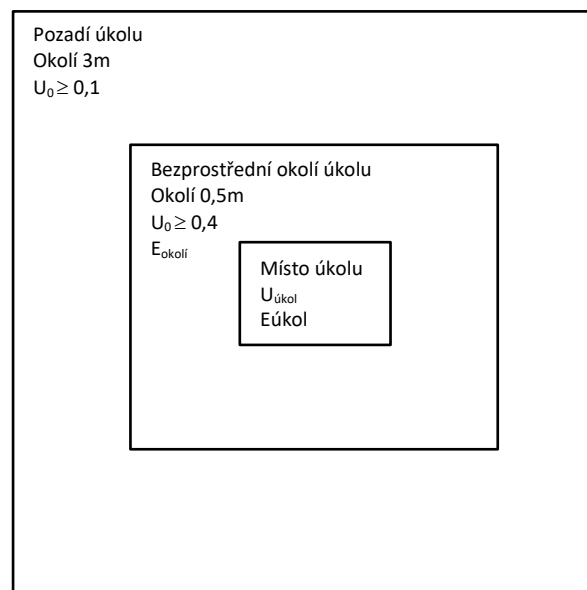
Osvětlenost na srovnávací rovině je základní fotometrickou veličinou posuzovanou při návrhu osvětlení prostoru. Dobrá osvětlenost nám pomáhá pro orientaci v prostoru, umožňuje odhad vzdáleností a při jejím nedostatku nejsme prakticky bez adaptace oka schopni vykonávat požadovanou činnost. Je definována na metr plochy, na kterou dopadá. Matematicky se dá vyjádřit jako derivace světelného toku, podle plochy.

$$E = \frac{d\Phi}{dS} [\text{lx}] \quad [\text{Rovnice 1}]$$

$\Phi$  je světelný tok dopadající na plochu [lm],

$S$  je plocha, na kterou tok dopadá [m<sup>2</sup>].

Velikost pracovní plochy, kterou je nutné z hlediska normy posuzovat se odvíjí od činnosti, jež má být na daném pracovišti vykonávána. Pro typy zařízení, ve kterých tato plocha není jasně definována samotnou činností, nabízí norma obecné rozvržení posuzovaných oblastí v místě vykonávaného úkonu.



Obr. 1 Schéma oblastí zrakového úkonu a jejich limitní hodnoty rovnoměrnosti osvětlení  $U_0$ .

Školská zařízení mají specifické činnosti, které jsou různé dle typu zrakového úkolu. Nejběžněji se jedná o psaní a čtení. Při nich se stává místem zrakového úkolu sešit studenta, jeho bezprostředním okolím je lavice a pozadím je podlaha. Při výkladu učitele a zapojením tabule do výuky je zrakovým úkolem četba. Část tabule je tedy jeho místem úkolu, bezprostředním okolím jsou zbylé části tabule a doplněk do  $60^\circ$  pohledu studenta (Obr. 20). Zbytek do  $90^\circ$  od osy pohledu je pozadím.

Z hlediska světelně technického posouzení tedy student vykonává činnosti charakteru podobnému kancelářím. Ve školském prostředí dochází ovšem k pravidelné změně zrakového úkolu. Žák mění polohu hlavy a očí, mění zorný úhel a tomu je nutné přizpůsobit podmínky v učebně. Zde je nutná rychlá a častá adaptace oka. Střídavá změna ostřicí vzdálenosti a změna z vertikální na horizontální rovinu vede k rychlé únavě očí. Světelné podmínky by neměly být v horizontální rovině příliš odlišné od vertikální, tak aby podmínky činnosti zůstávaly při obou úkonech podobné. Již z tohoto faktu se dá vyvodit, že správně by se ve školách měla využívat kombinace rozptýleného a přímého světla.

Požadavky se tedy ve školských stavbách vztahují přímo na pracovní stůl každého žáka a tabuli. U profesora je to na katedru a tabuli. V těchto místech se zkoumají a navrhuje jak kvantitativní, tak kvalitativní parametry. U lavic je důležitou podmínkou směřování světelného toku a jeho velikost. U tabule jsou důležitějším faktorem odrazivé vlastnosti jejího povrchu a směr dopadu světla na ni.

Pro lepší orientaci a nastavení pravidel je v normě zakotvena stupnice osvětlenosti, kde každý stupeň představuje vnímatelný rozdíl pro člověka. Tyto hodnoty jsou pouze doporučené. Když existuje předpoklad, že by student měl na daném místě provozovat neobvykle dlouhý zrakový úkol, pak se doporučuje zvýšit požadavek o jeden stupeň. Pokud by naopak byla místa, kde žák tráví neobvykle krátkou dobu (sklady, venkovní osvětlení, úklid), nebo kritické detaily na které student ostří jsou rozměrné (tělocvična), či detaily mají vysoký kontrast, pak je možné hodnotu i o stupeň snížit.

Osvětlenost E [lx]

20 – 30 – 50 – 100 – 150 – 200 – 300 – 500 – 750 – 1000 – 1500 – 2000 – 3000 – 5000

Co se týče okolí pracovního prostředí, norma [zdroj 1] doporučuje dodržet předepsanou osvětlenost mezi bezprostředním okolím úkolu a úkolem samotným. Cílem je snížit namáhání zraku a zabránit potenciálním oslněním z nevyvážení jasů.

Osvětlenost místa zrakového úkolu [lx]	Osvětlenost bezprostředního okolí úkolu [lx]
$\geq 750$	500
500	300
300	200
200	150
150	$E_{\text{úkol}}$
100	$E_{\text{úkol}}$
$\leq 50$	$E_{\text{úkol}}$

Tabulka 1.: Normová tabulka vyvážení jasu mezi zrakovým úkolem a jeho bezprostředním okolím E [lx]



Pro ideální rovnoměrnost osvětlení je definován následující vztah

$$U_0 = \frac{E_{min}}{E_m} [-] \quad [Rovnice 2]$$

$E_{min}$  je minimální hodnota udržované osvětlenosti [lx]

$E_m$  je střední hodnota udržované osvětlenosti [lx]

Průměrná osvětlenost se musí v místě zrakového úkonu udržovat bez ohledu na stáří, či stav osvětlovací soustavy. Je tedy potřeba ve výpočtech vzít v potaz stárnutí zdroje a snížení jeho účinnosti vzhledem k času.

Normově dané hodnoty berou v potaz hned několik důležitých faktorů přímo ovlivňujících osvětlovací soustavu. Jsou to:

- Psychologická hlediska, zraková a celková pohoda
- Požadavky dle různých činností pro zabezpečení zrakové pohody
- Zraková ergonomie
- Praktické zkušenosti z historie a z výzkumů
- Provozní bezpečnost
- Hospodárnost

Jak bylo již zmíněno, ve školách jsou důležité osvětlenosti jak horizontální, tak vertikální. Vertikální hraje důležitou roli jak při čtení z tabule, tak i z hlediska neverbální komunikace. Zde je důležitý vjem obličeje, například při přednášce. Ve školách je dobré posoudit, zda se při návrhu řídit normovými hodnotami, či zda raději návrh bude obsahovat vyšší standardy. Lepší osvětlenost totiž není jen o příjemném pocitu, lidé také mají větší motivaci k práci a cítí se čilejší. Zejména se to projevuje v zimním období, kdy škola začíná ještě za tmy a pro některé žáky i za tmy končí. Pokud učebnu navštěvují i starší osoby v rámci výuky dospělých, tak je dobré mít možnost zvýšit osvětlenost, a to dle podmínek a stavu studujících osob.

Druh prostoru, úkolu nebo činnosti	$E_m$ [lx]	UGR [-]	$U_0$ [-]	$R_a$ [-]	Specifické požadavky
Učebny, konzultační místnosti	300	19	0,6	80	Osvětlení má být regulovatelné
Učebny pro večerní studium a vzdělávání dospělých	500	19	0,6	80	Osvětlení má být regulovatelné
Auditoria a posluchárny	500	19	0,6	80	Osvětlení má být regulovatelné, aby splňovalo požadavky na prostory pro audiovizuální prezentace
Černé, zelené a bílé tabule	500	19	0,7	80	Zrcadlovým odrazům je nutno zabránit. Přednášející musí být osvětlen vhodnou vertikální osvětleností
Demonstrační stůl	500	19	0,7	80	V přednáškových sálech 750lx
Místnosti pro výtvarnou výchovu	500	19	0,6	80	
Místnosti pro výtvarnou výchovu v uměleckých školách	750	19	0,7	90	5000K < $T_{CP}$ 6500K
Kreslírny pro technické kreslení	750	19	0,7	80	
Místnosti pro praktickou výuku a laboratoře	500	19	0,6	80	
Místnosti pro ruční práce	500	19	0,6	80	
Učební dílny	500	19	0,6	80	
Místnosti pro hudební cvičení	300	19	0,6	80	
Počítačové učebny (s volitelným programem)	300	19	0,6	80	Práce s displeji
Jazykové laboratoře	300	19	0,6	80	
Přípravny a dílny	500	22	0,6	80	
Vstupní haly	200	22	0,4	80	
Komunikační prostory a chodby	100	25	0,4	80	
Schodiště	150	25	0,4	80	
Společenské místnosti a shromažďovací haly pro studenty a žáky	200	22	0,4	80	
Místnosti vyučujících	300	19	0,6	80	
Knihovny – police	200	19	0,6	80	
Knihovny – čítárny/místa pro čtení	500	19	0,6	80	
Sklady učebních materiálů	100	25	0,4	80	
Sportovní haly, tělocvičny, plavecké bazény	300	22	0,6	80	Podmínky pro trénink viz EN 12193
Školní jídelny	200	22	0,4	80	
Kuchyně	500	22	0,6	80	

Tabulka 2.: Normová tabulka<sup>1</sup> hodnot osvětlenosti  $E$  [lx], oslnění UGR [-], rovnoměrnosti osvětlení  $U_0$  [-] a indexu podání barev  $R_a$  [-]

<sup>1</sup> hodnoty uvedené v této tabulce jsou udržované osvětlenosti v místě zraťového úkonu a na srovnávací rovině, která může být i vertikální, či nakloněná

S ohledem na hospodárnost řešení můžeme využít národní přílohu osvětlovací normy [zdroj7]. Jsou zde popsány možné způsoby zohlednění ekonomického faktoru a navržená další úsporná opatření ve vzdělávacích institucích.

Důležitou roli v energetických úsporách hraje čas. Délka zrakového úkolu je rovna době provozu svítidel. Za neobvykle dlouhou dobu vykonávání úkolu bere norma 4 hodiny s nedostatečným denním osvětlením (může to být i součet dílčích časů). Na těchto místech je nutné zvýšit požadovanou osvětlenost na minimální hodnotu 300 lx. Následující pravidlo je výjimkou z hygienického minima, které se vztahuje na veškeré další prostory. V prostorách, kde se zdržujeme kratší dobu (cca 10 minut), může být osvětlenost jen pouhých 200lx. Na základě tohoto předpokladu lze stanovit ekonomické zhodnocení se zohledněním možné návratnosti v poměru ke snížení zrakové pohody. Následující tabulka shrnuje úsporná opatření pro vzdělávací zařízení.

Úsporná opatření	Popis	Odhad kapacity úsporných opatření
Využití denního světla	Pro $2\% > D \geq 1\%$ , $E=300$ lx	0 – 40 %
	Pro $3\% > D \geq 2\%$ , $E=300$ lx	0 – 55 %
	Pro $2\% > D \geq 1\%$ , $E=500$ lx	0 – 30 %
	Pro $3\% > D \geq 2\%$ , $E=500$ lx	0 – 40 %
Kontrola přítomností osob	Učebny, přednáškové sály	0 – 40 %
	Prostory pro zaměstnance	0 – 40 %
Kontrola dimenzování soustavy	Udržovací činitel a výkonové řady	0 – 15 %
Zavedení časových režimů	Centrální vypnutí na konci pracovní doby	0 – 5 %
Změna technických prostředků	Záměna svítidel s elektromagnetickými předřadníky se staršími typy trubic za svítidla s elektronickými předřadníky s novými typy trubic	0 – 30 %
Změna osvětlovací soustavy	Nevyužívá se	0 %

Tabulka 3.: Ukazatele úsporných opatření a odhad jejich účinnosti dle národní přílohy ČSN EN 12464-1, ČSN 12464 -2

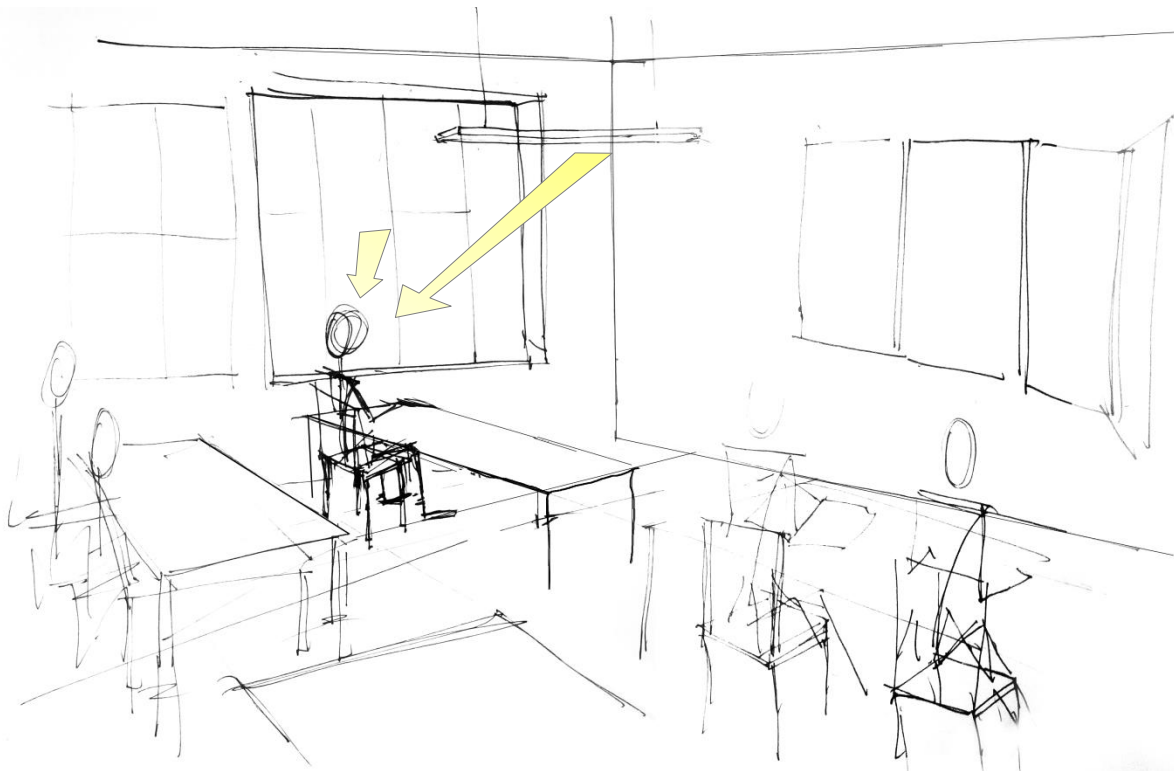
Veliký vliv na energetickou účinnost má udržovací činitel. Stanovený činitel se udává dohromady s přehledem všech předpokladů přijatých pro odvození jeho velikosti. Čím vyšší je, tím lepší. Musí se stanovit kompletní plán údržby, včetně intervalů výměny světelných zdrojů, či způsobu a četnosti jejich čištění.

## 2.2 Teorie jasu a oslnění

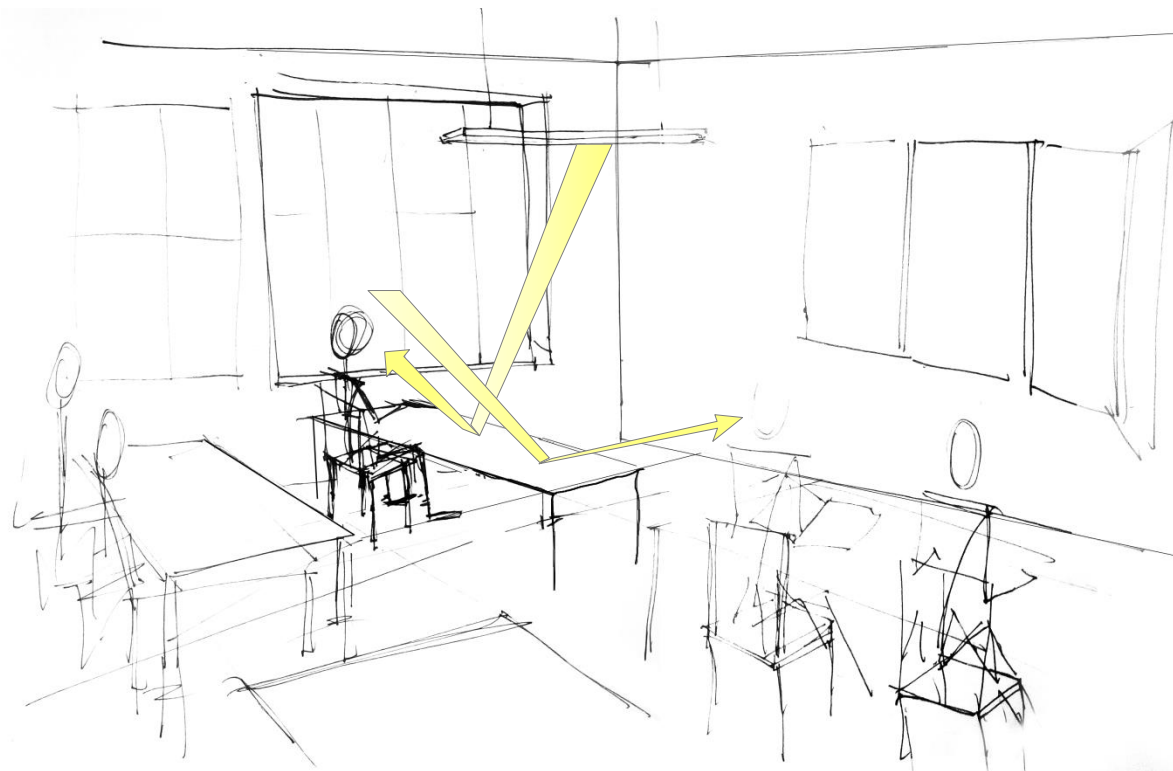
### 2.2.1 Definice a význam oslnění

Podmínky osvětlení v místnosti mohou vytvořit situaci, která snižuje kvalitu vidění a způsobuje vizuální diskomfort. Jedna z těchto situací se nazývá oslnění. Lze charakterizovat podle reakce chování člověka, který je mu vystaven. Všeobecnou přirozenou obranou je odvrácení pohledu do méně oslňujících míst, zvýšené mrkání, snaha si stínit oči jinou částí těla a také nadměrná únava, či bolest hlavy. Oslnění bylo vědecky charakterizováno jako optický fenomén poprvé v roce 1910, kdy bylo označeno jako více či méně vážné nepohodlí pro uživatele. Tato nejasná definice byla později dále rozšířena o stupnici od dočasného vizuálního nepohodlí až po extrémní situace, jako je například poškození sítnice oka. Dnes již rozumíme druhům oslnění založených na prostorových a časových vazbách k okolnímu prostředí a jsme lépe schopni určit jejich rozsah a vážnost.

„Oslnění je nepříznivý stav zraku, k němuž dochází, je-li sítnice nebo její část vystavena jasů vyššímu, než na který je oko adaptováno“ [zdroj 2]. Tento efekt má výrazný vliv na zrakový výkon a zrakovou pohodu. Oslnění ve vnitřních prostorech může být způsobeno buď přímo, a to nejčastěji zdroji umělého osvětlení, nebo sluncem, či nepřímo. Nepřímé oslnění vzniká odrazy od lesklých povrchů okolních předmětů (obrazovka počítače, lakovaná deska stolu apod.). Absolutní oslnění pak nastane, je-li v zorném poli tak veliký jas, že se mu oko není schopné adaptací přizpůsobit. Při denním světle se jedná o jas  $2 \cdot 10^5 \text{ cd/m}^2$  [zdroj 1]



Obr. 2 Schéma přímého oslnění způsobeného vysokým jasným zdrojem světla, které se nachází v zorném poli pozorovatele



Obr. 3. Schéma nepřímého oslnění způsobeného odrazy od lesklého povrchu lavice.

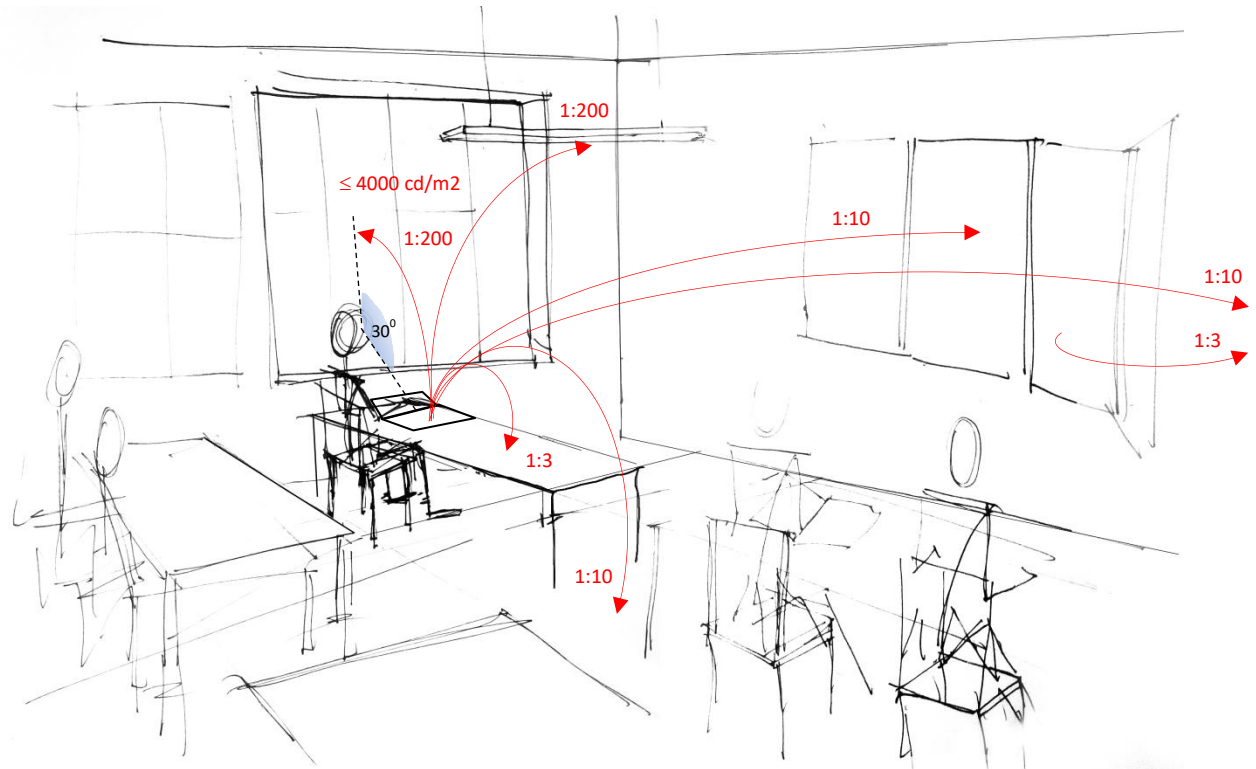
Zraková pohoda je narušena při kontrastu vyšším než 1:10 a k oslnění dochází při poměru 1:100 [zdroj 5]. Častou chybou při navrhování denního osvětlení je oslnění kontrastem. To může být například z osvětlovacího otvoru. Efekt se může dokonce znásobit, je-li otvor zasklen materiálem, který mění směr procházejících světelných paprsků například matné sklo, či skleněné tvarovky [zdroj2].

Z hlediska rozložení jasu v prostoru pozorovatele nám norma ČSN 730580-1 doporučuje dodržet tyto mezní hodnoty

- |   |   |             |
|---|---|-------------|
| • Pozorovaný předmět – pozadí                 | → | 1:1 až 1:3  |
| • Pozorovaný předmět – vzdálené tmavé plochy  | → | 1:1 až 10:1 |
| • Pozorovaný předmět – vzdálené světlé plochy | → | 1:1 až 1:10 |

Okna by neměla oslňovat ve směru pozorujícího úhlu. Vztahuje se k tomu limitní poměr jasu 1:200. Nejsvětlejší část, tedy obloha v okně by neměla převýšit 200 násobek jasu pozorovaného předmětu (např. sešit na lavici). Toto pravidlo však platí pouze do úhlu  $60^\circ$  od osy výhledu. Samotný jas okna by neměl překročit  $4000 \text{ cd/m}^2$ .

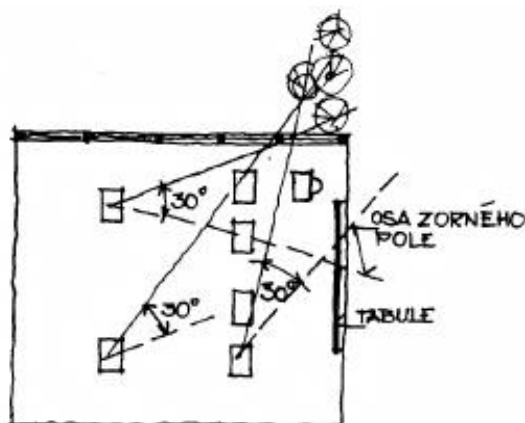
Vlivu jasu pozadí na výsledné oslnění v metodě hodnocení UGR popisuje Škoda, J. ve svém článku [zdroj 9][9]. Zároveň řeší problematiku hodnocení v případě, že se zdroj nachází na okraji zorného pole. V případě že se zdroj pak nachází v dolní oblasti vidění je nutné poupravit způsob výpočtu (více v kapitole 2.2.3 Výpočet oslnění a výpočetní modely)



Obr. 4 Schéma rozložení jasů ve třídě. [zdroj 5]

Výrazným doporučením ve třídách je využívat světlé nátěry okenních rámců a co nejmenší velikost meziokenních pilířů, tak aby plocha stěny byla světelně co nejrovnoměrnější. Naopak tmavý nátěr v prostoru s tabulí může pomoci k lepšímu kontrastu. Samotná tabule může mít tmavě šedou, či tmavozelenou barvu, ne však černou! Pokud by měla tabule černou barvu, pak by se žákům, kteří mají ve svém zorném úhlu i okna, adaptovaly oči na vyšší jas (okna) a o to větší námahu by museli vyvinout pro koncentraci na tabuli.

Zajímavé řešení pro eliminaci vysokého jasu předních oken ve školních třídách nabízí prof. Kaňka ve svých skriptech [zdroj 5]. "Eliminace oslnění okenními otvory může být vytvořena vzrostlou zelení v úrovni prvního okna třídy směrem od tabule." Tím vyřeší problém rozdílných kontrastů pro většinu žáků ve třídě. Pokud využití zeleně není možné, pak lze alternativně umístit záclony, či žaluzie pro odstínění a zmírnění jasu.

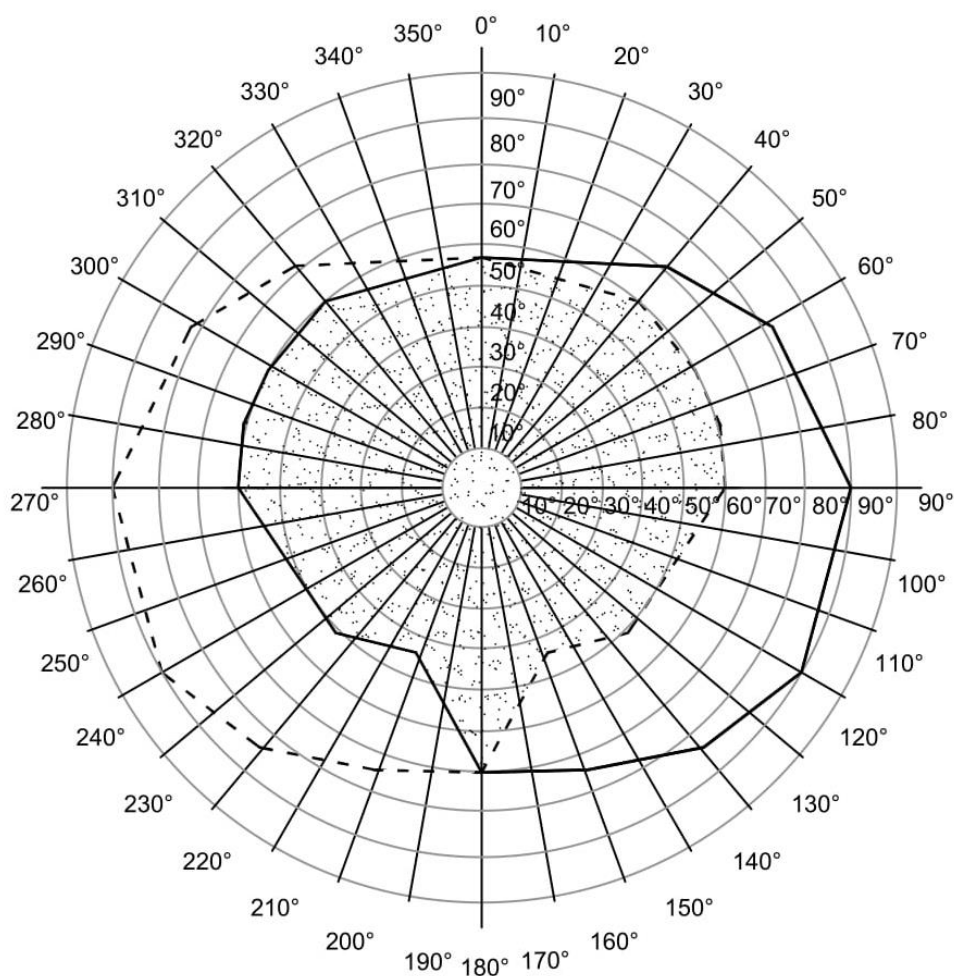


Obr. 5 Schéma možného řešení na zabránění oslnění většiny studentů ve třídě pomocí vzrostlé zeleně. Řešení dle prof. Kaňky. [zdroj 5]

### 2.2.2 Zorné pole

Zorné pole je rozsah vidění člověka bez nutnosti pohybu hlavy a očí. (Obr. 6) Při pohybu očí se jedná o pohledové pole a při zapojení i hlavy je to obhledové pole. Přesné vidění je pro člověka  $8^\circ$  ve vodorovné a  $6^\circ$  ve svislé rovině. Nejostřejší je oblast opsaná  $1,5^\circ$ . Když se snižuje jas, pak se zmenšuje i velikost zorného pole.

Zraková náročnost je závislá na kritickém detailu, který je umístěn v centru zorného pole oka. Je to nejmenší podrobnost kterou musí zrak při dané činnosti rozlišit. V našem případě je kritickým detailem velikost a tloušťka písma na tabuli. Pro rozlišení kritického detailu je velice důležité jeho bezprostřední okolí, které tvoří oblast opsanou vrcholovým úhlem o asi  $20^\circ$ . Část zorného pole mezi  $20^\circ$  a  $60^\circ$  je pozadí a od  $60^\circ$  k okrajům se jedná o vzdálené pozadí.



Obr. 6 Binokulární oblast zorné pole (tečkovaná oblast), monokulární oblast pravého oka (plná čára), monokulární oblast levého oka (přerušovaná čára). [zdroj 5]

Rozlišovací schopnost zraku je závislá na rozdílu jasů. Pro čitelnost psaného textu ve třídě požadujeme co nejvyšší rozdíl jasů. V případě trojrozměrného prostředí pak záleží na kontrastu stínů, čili na jejich měkkosti či tvrdosti.

Na základě poměru jasů kritického detailu a jeho okolí lze stanovit tzv. stupeň rozeznatelnosti, který je daný kontrastem jasů. Nejmenší rozlišitelný kontrast se nazývá prahový a závisí na adaptačním jasů a velikosti kritického detailu.

$$k = \frac{|L_s - L_b|}{L_b} [-] \quad [Rovnice 3]$$

$L_s$  je jas kritického detailu [ $cd/m^2$ ]

$L_b$  je jas pozadí kritického detailu [ $cd/m^2$ ]

Kontrast jasů  $k$  [-]

- Velmi dobrá rozlišitelnost  $K > 0,8$
- Dobrá rozlišitelnost  $0.5 < K < 0,8$
- Špatná rozlišitelnost  $K < 0,5$

Pro velikost kritického detailu se řídíme činností, dle které norma ČSN 730580-1 řadí třídy dle poměrné pozorovací vzdálenosti. Ta se vypočte jako podíl pozorovací vzdálenosti ku velikosti kritického detailu.

$$P = \frac{D}{d} [-] \quad [Rovnice 4]$$

$D$  je vzdálenost pozorovatele od kritického detailu [ $m$ ]

$d$  je velikost kritického detailu [ $m$ ]

Například v poslední řadě sedící student je vzdálený 8m od tabule. Učitel píše na tabuli velikostí písma 5 cm. Výsledná poměrná pozorovací vzdálenost  $P_v$  je rovna 160 [-] a řadí se do páté třídy zrakové činnosti. Vyhovuje tak zrakové činnosti psaní a čtení z tabule. Je možné velikost písma zmenšit až na hranici optima 4 cm. Dle tohoto postupu je možné říci, že má učitel i určitou toleranci a může si dovolit písmo zmenšit, či může posunout zadní řadu studentů více dozadu. Také může snížit kontrast interaktivní obrazovky.

Pro potřeby měření kritického detailu se využívá výška velkého písmene  $H$ . Za minimální se pokládá hodnota 16 obloukových minut, optimálních je 20 - 22 obloukových minut. [zdroj 13]



Třída	Název	Pv [-]	Příklad činnosti	Kritický detail $d_{cr}$ [mm] při	
				d = 0,25m	D = 10m
I	Mimořádně přesná	>3330	Nejpřesnější činnost s omezenou možností použití zvětšení	< 0,075	>3
II	Velmi přesná	3330 – 1670	Ruční rytí, velmi jemná umělecká práce	0,075-0,15	3-5
III	Přesná	1670 – 1000	Obtížné laboratorní práce, náročné vyšetření, jemné šití, vyšívání	0,15-0,25	8-10
IV	Středně přesná	1000 – 500	Čtení, psaní, obsluha strojů, šití, příprava jídel, žehlení, sport	0,25-0,5	10-20
V	Hrubší	500 – 100	Manipulace s předměty, konzumace jídla, čekání	0,5-2,5	20-100
VI	Velmi hrubá	< 100	Udržování čistoty, mytí, převlékání, chůze v neznámém prostoru	>2,5	> 100
VII	Celková orientace	-	Chůze ve známém prostoru, celkový dohled	-	-

Tab 4.: Tabulka tříd rozdělených dle kritického detailu a činnosti

### 2.2.2.1 Směrnost osvětlení

Kromě snahy vyhnout se oslnění, je důležité se také vyvarovat nevhodným stínům. Aby si studenti při psaní nestínili vlastní rukou, potřebují opačný směr světla než je ruka, kterou píšou. Většina studentů píše pravou rukou, proto je přirozené osvětlení ve třídách orientováno na levou stranu učebny. V rámci umělého osvětlení je možné se rušivým stínům vyvarovat vhodným uspořádáním svítidel do řad, z nichž světlo dopadá do místa zrakového úhlu z požadovaného směru a pokud možno, tak z několika řad najednou. Při řešení nechtěných stínů je dobré mít na jejich provázanost s činitelem kontrastu a také s oslněním odrazem.

### 2.2.2.2 Druhy oslnění

Oslnění se dají z hlediska dopadu na lidské zdraví rozdělit a rozlišit na oslnění od záblesku, paralyzující oslnění, rozptylující oslnění a oslnění poškozující sítnici. Na rozdíl od výše jmenovaných jsou oslnění přechodové, závojové a oslnění kontrastem již probádané a existuje k nim definice a specifický výpočetní postup.

Profesor Habel v [zdroj 2] shrnuje výše jmenované typy do několika skupin a uvádí rozdělení oslnění dle jeho vlivu na:

- oslnění psychologické
  - o pozorovatelné
  - o rušivé
- oslnění fyziologické
  - o omezující
  - o oslepující

Norma [zdroj 1] se zaměřuje na omezení rušivého oslnění. Pokud je dodržen její požadavek, pak omezující oslnění nebývá problémem.

### 2.2.3 Výpočet oslnění a výpočetní modely

Míra oslnění se dlouhodobě měřila metodou negativních ohlasů zkoušených respondentů. Na základě mnoha takovýchto studií se vyvinuly matematické modely pracující formou hodnocení PPD a hodnotící předpokládaný vizuální komfort v uzavřeném vnitřním prostoru. Každý z těchto modelů hodnotí oslnění jiným způsobem. Zakládají se však na stejném principu a vycházejí ze stejných fyzikálních veličin. Těmi jsou: jas ( $L_s$ ), prostorový úhel mezi zdrojem oslnění a výchozím bodem oka ( $\omega_s$ ), parametr zavádějící míru citlivosti na zdroj vzhledem k jeho umístění a vzhledem k uživatelem pozorované rovině, či bodu ( $P_i$ ), Jasová adaptace ( $L_a$ ) a model specifikující parametry ( $e_1, e_4$ ).

$$\text{Míra oslnění} = \frac{L_s^{e_1} \cdot \omega_s^{e_2}}{L_a^{e_3} \cdot P_i^{e_4}} \quad [\text{Rovnice 5}]$$

$L_s$	Jas zdroje oslnění [cd/m <sup>2</sup> ]
$\omega_s$	Prostorový úhel mezi okem a zdrojem oslnění [sr]
$L_a$	Jasová adaptace
$P_i$	Poziční parametr podle Gutha pro každé světlo podle odklonu od směru pohledu
$e_1, e_4$	model specifikující parametry > 0

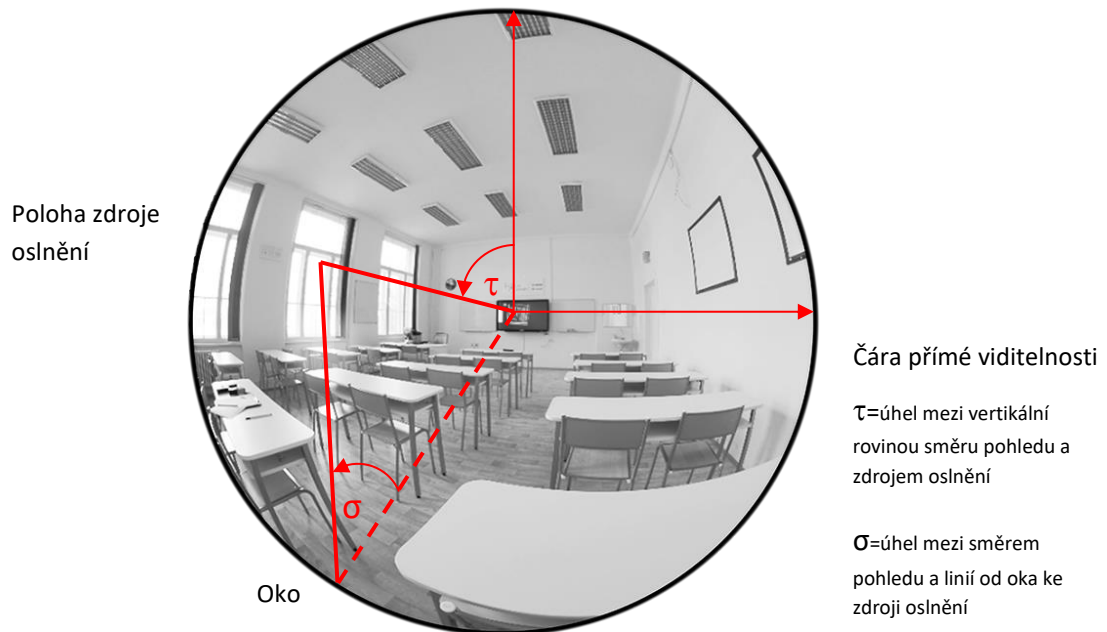
Ve výpočtu oslnění se nachází veličina charakterizovaná jako poziční index. Tento parametr se v obecně používané metodice hodnocení UGR (využívaná od roku 1995) stanovuje dle diagramů vytvořených podle práce Luckeishe a Gutha.

Pro jeho výpočet se dá využít také empirických vztahů. Ve článku z Lux Europa 2013 Proceedings jsou podrobně popsány rozdílné výsledky získané z Guthových diagramů a z empirických vzorců.

[zdroj 8]

## Výpočet pozičního indexu nad čarou přímé viditelnosti

$$\text{Index } P_i = \left( 35,2 - 0,31889\tau - 1,22e^{-\frac{2\tau}{9}} \right) \cdot 10^{-3} \cdot \sigma + (21 + 0,26667\tau - 0,002963\tau^2) \cdot 10^{-5} \cdot \sigma^2$$



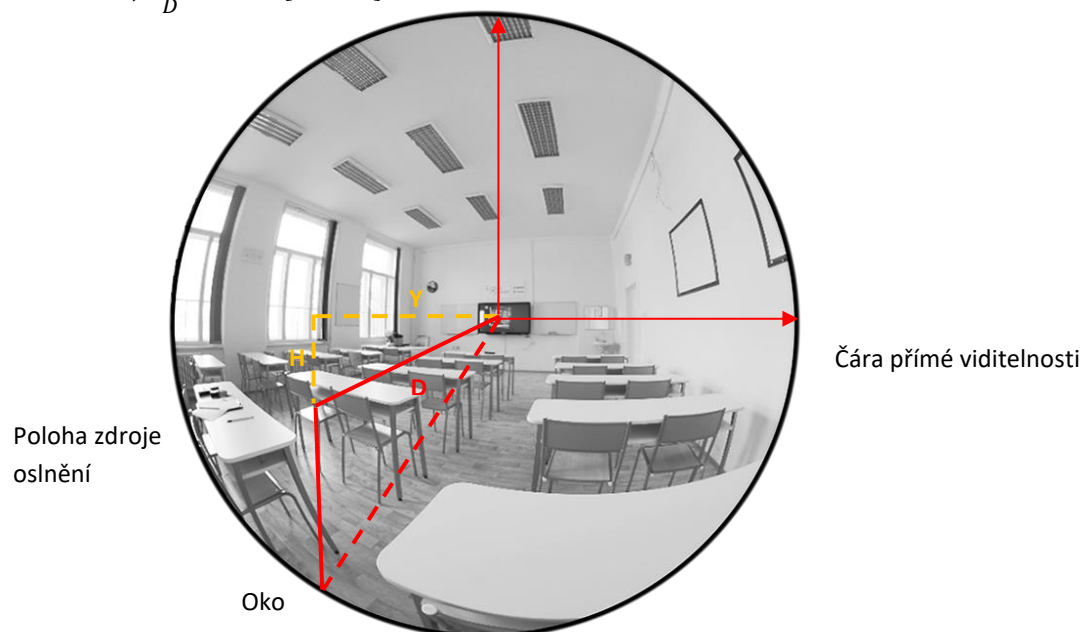
Obr. 7 Výpočet pozičního indexu pod čarou přímé viditelnosti (Model od Toshie Iwaty 1997 rozšířen profesorem Einhornem) [zdroj 6].

$$\text{index}P_i = 1 + 0,8 \frac{R}{D} \quad [R < 0.6D]$$

Kde,

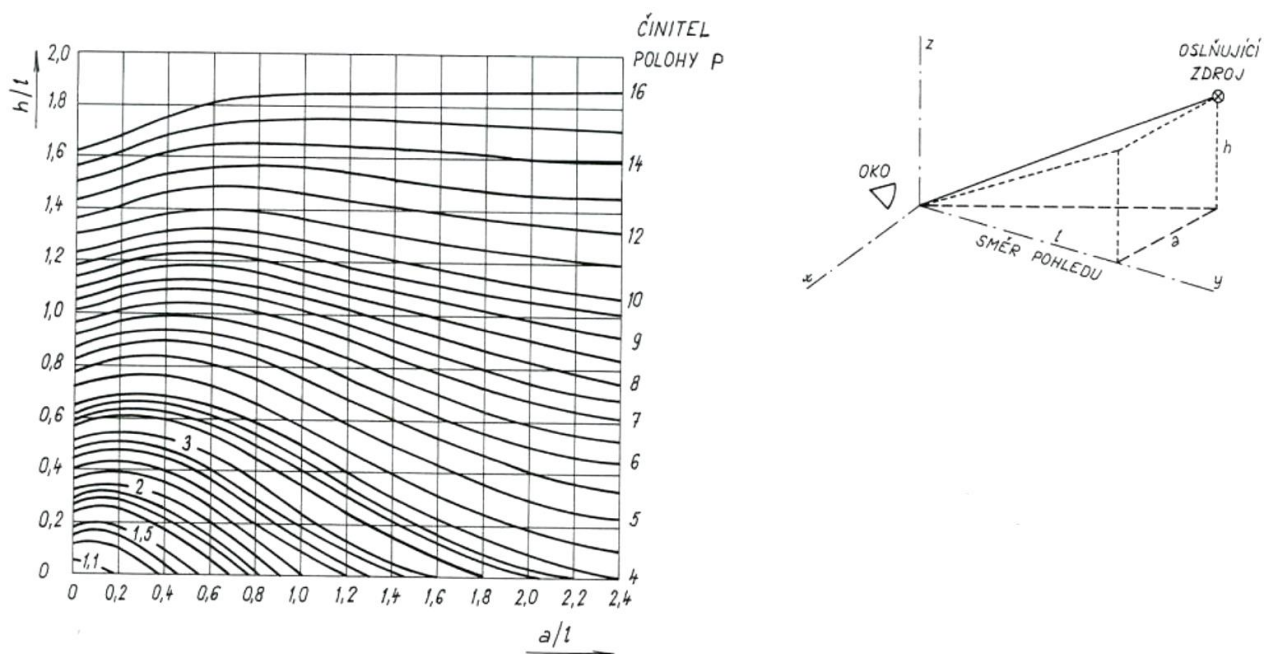
$$R = \sqrt{H^2 + Y^2}$$

$$\text{index}P_i = 1 + 1,2 \frac{R}{D} \quad [R \geq 0.6D]$$



Obr. 8 Poziční index: Y je horizontální vzdálenost mezi zdrojem a směrem pohledu [mm], H je vertikální vzdálenost mezi zdrojem a pohledem [mm] a D je vzdálenost od oka k rovině zdroje oslnění [zdroj 6].

Poziční index lze také stanovit podle Guthova diagramu, který z výpočtu vychází.



Obr. 9 Guthův diagram pro stanovení pozičního indexu na výpočet oslnění [zdroj 5].

Dle schématu pozice a směru oslnění je zřejmé, že je nutné v hodnocení předpokládat i možné oslnění zdola, či na přecházející hranici mezi horním a dolním polem vidění. Jako výsledek studií založených na této problematice, byl uvedený index  $P_i$  rozšířen Toshie Iwatou a Miwako Tokuraou [zdroj 6] z japonského technologického institutu i pro spodní část pole. Zároveň se tím dokázalo, že vnímání a reakce člověka pro spodní a horní oblast vidění je odlišná. H.D. Einhorn [zdroj 6] následně doplnil tato zjištění i geometricko-matematickým vzorcem uvedeným výše. Limita platnosti tohoto vzorce je však na hranici, kdy úhel mezi oslněním a směrem pohledu překročí  $30^\circ$ . Na tento nedostatek se zaměřili ve své práci Wonwoo Kim, Hyunjoo Han, a Jeong Tai Kim, kteří se snaží najít rozšíření platnosti tohoto vzorce na celé zorné pole výhledu [zdroj 6].

Ve skutečnosti je spodní část pole výrazně citlivější na oslnění než horní. Rozdíl se ještě zvětšuje, když posuneme zdroj směrem dále od čáry přímé viditelnosti tj. směr, kterým musí pozorovatel hledat, aby mohl vidět určitý předmět. Hranice mezi pohodlím a nepohodlím v zorném poli se příliš neliší od Guthova původního měření  $2844 \text{ cd/m}^2$  a vychází  $2590 \text{ cd/m}^2$ .

Mezní jasy svítidel jsou definovány vztahem k prostorovému úhlu  $\omega$ . Například z úhlu  $2 \cdot 10^{-4} \text{ sr}$ , který nám říká, že zdroj nacházející se ve vzdálenosti 3 m má průměr 0,05 m byla stanovena pocitová hodnota jasu zdroje na  $1000 - 10000 \text{ cd/m}^2$ . Když zachováme stejnou vzdálenost a zvětšíme průměr zdroje na 1,5 m, tedy úhel 0,2 sr, posune se hodnota jasu podle respondentů na  $100 - 1000 \text{ cd/m}^2$ . Z toho vyplývá, že zvýšením jasu pozadí za zdrojem se nám hodnota oslnění snižuje. Z hlediska zorného pole a umístění zdroje oslnění je vyšší citlivost na osově oslnění, než na okrajové až periferní. Zvláště citlivý je pak zrak na spodní oslnění, které může vznikat od odrazů a odlesků podlah, či stolů. Citlivý je také na čistě horizontální rovinu, ve které se často nacházejí osvětlovací otvory s přirozeným osvětlením. Naopak umělá světla, která se nacházejí nad střední osou výhledu, jsou často eliminována samotnou anatomii těla pomocí nadočnicového oblouku.

ZKRATKA	CELÝ NÁZEV	OBJEVITEL	TYP OSVĚTLENÍ	FAKTA ZALOŽENÁ NA VÝZKUMECH	MATEMATICKÉ VYJÁDRĚNÍ
BGI	British glare index	Hopkinson, Petherbridge, 1950	Umělé	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nepočítá s efektem adaptace,</li> <li>Dá se použít pro malé zdroje pouze limitovaně (<math>L_s = \omega_s</math>)</li> </ul>	$BGI = 10 \log_{10} 0,478 \sum_{i=1}^n \left( \frac{L_s^{1,6} \cdot \omega_s^{1,6}}{L_b \cdot P_i^{1,6}} \right)$
DGI	Daylight glare index	Hopkinson, Chauvel, 1972	Denní	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vytvořeno pro výpočty předpokládaných oslnění od přirozeného světla,</li> <li>Založen na systému BGI s méně než 10 účastníky,</li> <li>Funguje dobře v korelaci s umělým osvětlením,</li> <li>Nefunguje pokud je okno rovnoběžné s úhlem pohledu,</li> <li>Vypočtené hodnoty jsou vyšší než přímé vjemy</li> </ul>	$DGI = 10 \log_{10} 0,48 \sum_{i=1}^n \left( \frac{L_s^{1,6} \cdot \Omega_s^{1,6}}{L_b + 0,07 \omega_s^{0,5} \cdot P_i} \right)$
CGI	CIE glare index	Einhorn 1969, 1979	Umělé	<ul style="list-style-type: none"> <li>Založen na systému BGI aby dokázal zohlednit více zdrojů,</li> <li>Všeobecně aplikovatelné na umělé zdroje</li> </ul>	$CGI = 8 \log_{10} 2 \frac{[1 + \frac{E_d}{500}] \sum_{i=1}^n \left( \frac{L_s^{1,6} \cdot \Omega_s^{1,6}}{L_b + 0,07 \omega_s^{0,5} \cdot P_i} \right)}$
UGR	CIE's unified glare rating systém	CIE, 1992	Umělé	<ul style="list-style-type: none"> <li>Založen na systému CGI a BGI pro hodnocení oslnění od umělých zdrojů</li> </ul>	$UGR = 8 \log_{10} \frac{0,25}{L_b} \sum_{i=1}^n \left( \frac{L_s^2 \cdot \omega_s}{P_i^2} \right)$
VCP	Visual Comfort probability	IESNA, 1993	Umělé	<ul style="list-style-type: none"> <li>VCP nemůže být aplikován na velmi malé zdroje stejně tak na veliké atypické zdroje oslnění</li> </ul>	$VCP = 279 - 110 [\log_{10} \left[ \sum_{i=1}^n \left( \frac{0,5 L_s (20,4 \omega_s + 1,52 \omega_s^{0,2} - 0,075)}{P_i} \right) \right] ]^{n^{-0,0914}}$ $F_{avg} = \left( \frac{L_w \omega_w + L_f \omega_f + L_c \omega_c + L_s \omega_s}{5} \right)$
DGI <sub>N</sub>	New daylight glare index	Nazzal, 2005	Denní	<ul style="list-style-type: none"> <li>Matematický model pro odhad založený na DGI, je nutné znát geometrii místnosti</li> </ul>	$DGI_N = 8 \log_{10} 0,25 \left[ \frac{\sum_{i=1}^n L_{ext}^2 \cdot \Omega_{pN}}{L_{adapt} + 0,07 (\sum_{i=1}^n L_{okno}^2 \omega_N)} 0,5 \right]$
DGP		Wienold, Christofersen, 2006	Denní	<ul style="list-style-type: none"> <li>Založen na vertikálním osvětlení na oku,</li> <li>Využívá CCD kamery a HDR zobrazování,</li> <li>Směr pohledu je vždy ve středu snímku,</li> <li>Nebere v potaz oslnění z nadměrného kontrastu</li> </ul>	$DGP = 5,87 x E_v + 9,18 x 10^{-2} x \log \left( 1 + \sum_i \frac{L_{s,i}^2 x \omega_{s,i}}{E_v^{1,87} x P_{i,i}^2} \right) + 0,16$
<b>Legenda</b>					
$L_s$ - jas zdroje [cd/m <sup>2</sup> ]		$\Omega_s$ - prostorový úhel modifikovaný dle Guthova pozičního indexu [Str]			
$\omega_s$ - prostorový úhel zdroje		$L_w$ - okno [jas oblohy, přidaný Chauvalem 1982 pro započtení denního světla] [cd/m <sup>2</sup> ]			
$L_a$ - adaptační jas [cd/m <sup>2</sup> ]		$L_f$ - jas podlahy [cd/m <sup>2</sup> ]			
$P_i$ - poziční index		$L_c$ - jas stropu [cd/m <sup>2</sup> ]			
		$E_v$ - jas na vertikální rovině oka [lux]			
		$\Omega_{pN}$ - prostorový úhel zdroje modifikovaný se zahrnutím konfigurace okna a pozorovaného bodu ve vztahu k oknu [Str]			

Tabulka 4.: Výpočetní modely pro hodnocení oslnění

### 2.2.4 Metoda hodnocení UGR

Pro hodnocení míry oslnění se od roku 2004 u nás používá jednotný systém zvaný UGR (Unified glare rating). V normě se uvádí jednotná výpočtová řada pro oslnění, s krokem takovým, aby byl rozdíl pozorovatelný okem. Díky tomu je dále určena a definována normová maximální hodnota oslnění pro různé činnosti.

1 0 – 1 3 – 1 6 – 1 9 – 2 2 – 2 5 – 2 8

Systém UGR není univerzální a je možné jej využít jen ve specifických případech zdrojů světla. Nejdůležitější z omezení je platnost UGR hodnocení pouze pokud se jedná o tzv. běžná svítidla. Svítidla, která jsou vidět pod prostorovým úhlem od  $3 \cdot 10^{-4}$  – 0,3sr (vyzařovací plocha  $5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$  – 1,5  $\text{m}^2$ ). Jedná se o normální známá svítidla. Co však metodou UGR není vhodné hodnotit, jsou malé zdroje, na které je tato metoda zbytečně přísná či naopak velké zdroje na které je příliš mírná. Mezi zdroje větší než 0,3 sr mohou patřit svítící stropy, či okno s přirozeným světlem. UGR tedy není vhodné pro hodnocení oslnění od denního světla. [zdroj 5]

Subjektivní hodnocení oslnění	UGR		Prostory
Právě rozeznatelné	10		
Právě přijatelné	16	16	Rýsovný
		19	Kanceláře, školy
Právě nepříjemná	22	22	Jemná průmyslová výroba
		25	Běžná průmyslová výroba
Právě nesnesitelná	28	28	Hrubá průmyslová výroba

Tabulka 5.: Tabulka vztahu mezi hodnotami UGR a subjektivním hodnocením

## 2.2.5 Opatření proti vzniku oslnění

Opatřením jsou nejčastěji prvky zabraňující přímému oslnění. Jsou to například clonící prvky svítidel, clonící mřížky, difuzory, speciální optické systémy, polarizace světla. U nepřímého oslnění se všeobecně podceňuje význam odrazů od lesklých povrchů v okolí pracovní plochy. Preventivním opatřením může být už i pouhý vhodný výběr matných povrchů, či antireflexní úpravy. Všechny tyto opatření však mají, negativní vliv na účinnost osvětlovací soustavy a tudíž znamenají zvýšení energetické náročnosti.

### 2.2.5.1 Difuzory

Difuzory jsou materiály sloužící k pozitivní distribuci světla v osvětlovaném prostoru. Upravují tvar fotometrické plochy svítidla a zvyšují rovnoměrnost osvětlení, čímž snižují riziko oslnění uživatele. Může se jednat o přírodní materiály (opálové sklo) i umělé (polystyren, akrylát). Jak již bylo řečeno, difuzory negativně ovlivňují výkon a účinnost svítidel. Tím jsou tedy nevýhodné u bodových svítidel s vysokým povrchovým jasem.

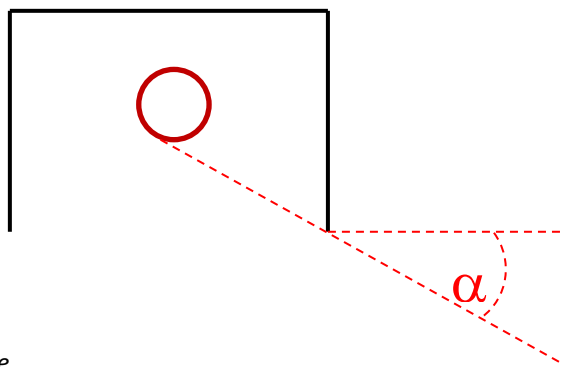
Difuzní reflektory slouží jako obecné difuzory k rozptylu světla. Na rozdíl od nich však využívají difuzního odrazu paprsků světla od zdroje k jeho usměrnění do spodního poloprostoru na pracovní rovinu. Většinou mají tvar rotačního tělesa, jehož vnitřní povrch je následně opatřen buď bílým, nebo kovovým nátěrem. Tento způsob je sice rychlejší na výrobu a tedy i levnější, nicméně se nám výrazně omezuje možnost změny tvaru křivky svítivosti a také jejich účinnost distribuce je nižší. Dalšími způsoby může být využití refraktorů, nebo čoček. Využití je však již jen ve velmi specifických případech (úzkouhlé reflektory aut, osvětlení ulic apod).

### 2.2.5.2 Clonící prvky

V normě [zdroj 1] je přímo řečena nutnost clonění světelného zdroje v určitém minimálním úhlu clonění. V tabulce níže jsou uvedena normová kritéria.

Jas světelného zdroje [kcd/m <sup>2</sup> ]	Minimální úhel clonění
20 až < 50	15
50 až < 500	20
≥500	30

Tab 6.: Tabulka minimálního clonění vzhledem k jasům světelného zdroje.

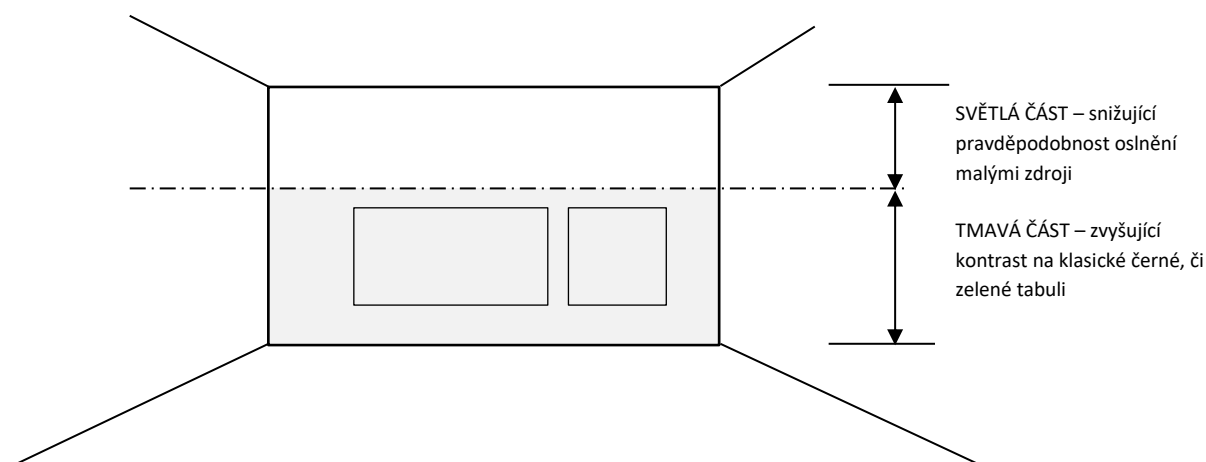


Obr. 10 Úhel Clonění světelného zdroje

Pro omezení oslnění odrazem uvádí norma pouze několik doporučení:

- vhodné uspořádání pracovních míst vzhledem ke svítidlům, oknům a světlíkům,
- vhodná povrchová úprava předmětů (matné povrchy),
- omezení jasu svítidel, oken a světlíků,
- světlá barva stropu a stěn.

Z výše zmiňovaného obecného vzorce oslnění a jeho parametrů [Rovnice 5] se dá vyvodit, že světlejší a delší zdroj oslnění ve vysoce kontrastní místnosti, který je odchýlen o  $10^0$  a méně (nesplývající však se zdrojem oslnění, čili větší úhel než  $0^0$ ) nám zvyšuje riziko nespokojenosti. Z toho pro nás plyne, že se nesmí umísťovat nestíněné zdroje moc blízko oknům či promítacím plánům a podobným eventuálním zdrojům možného oslnění. Podle exponentů vztahu pak platí, že vyšší jas pozadí nám snižuje nežádoucí efekt oslnění od malých světelných zdrojů. Z tohoto faktu je možné vyvodit závěr, že třídy s tmavým obložením stěn až do úrovně tabule mají v této úrovni vyšší kontrast mezi pozadím a tabulí. Také záleží na výši kontrastu znaků vůči ploše tabule, Následně může být obsah pro žáky čitelnější. Pozor, ale obklad může mít i opačný negativní dopad, a to, když budeme využívat interaktivní obrazovku s bílým pozadím, či white board tabuli. Zde pak dojde k nežádoucímu oslnění.



Obr. 11 Rozdělení přední stěny za tabulí pro snížení pravděpodobnosti oslnění malými zdroji

Jedním z hlavních zdrojů nepohodlí pro uživatele, je vnímání kontrastu světla a stínu v prostoru. Ostré přechody kontrastů mezi světlem a stíny nám mohou podpořit efekt prostorovosti. V opačném případě eliminací stínů můžeme prostor zploštit. Kde však leží ideální hranice pro tento poměr, není zatím definováno. Výzvou do budoucna v tomto odvětví je fakt, že se jedná o subjektivní reakci bez bezprostředního následného negativního efektu a bez zjevného fyziologického původu [zdroj 6].



## 2.2.6 DSE (display screen equipment) ve školním prostředí

Ve školách jsou v dnešní době běžně specializované učebny vybavené výpočetní technikou s obrazovkami. Pro práci na těchto zařízeních požadujeme dle normy omezení závojevých odrazů a oslnění odrazy. Závojevná oslnění nastávají, pokud se před pozorovaným objektem nachází jiný předmět s vyšším jasem.<sup>2</sup>

V těchto učebnách je nutné stanovit dovolené oblasti pro montáž svítidel, aby nedocházelo k nežádoucím jevům. Pokud jsou svítidla mimo tyto oblasti, pak je nutné, aby jejich jas nepřekročil v kritických směrech mezní jasy uvedené v následující tabulce. Mezní jasy jsou směrodatné pro svítidla s jasy v úhlech od 65° výše, měřeno od svislice, azimutálně ve směru pracovních míst žáků. Obrazovky pak musí být umístěny vertikálně, nebo do 15° sklonu [zdroj 2].

Typ zobrazovací jednotky	Zobrazovací jednotky s vysokým jasem $L > 200 \text{ cd/m}^2$	Zobrazovací jednotky se středním jasem $L < 200 \text{ cd/m}^2$
Pozitivní polarita a běžné požadavky na detail a barvy (kanceláře, učebny, apod.)	$\leq 3000 \text{ cd/m}^2$	$\leq 1500 \text{ cd/m}^2$
Negativní polarita, větší požadavky na detail a barvy (CAD pracoviště, apod.)	$\leq 1500 \text{ cd/m}^2$	$\leq 1000 \text{ cd/m}^2$

Tabulka 6.: Tabulka mezních jasů DSE.

Pro dnes velmi populární Interaktivní tabule používané při výuce platí stejná pravidla. Pro tento případ je doporučeno svítidla v přední části třídy připojit na vlastní okruh a přiřadit mu možnost regulace aby mohl učitel nastavit intenzitu jasu dle vlastní potřeby.

<sup>2</sup> Například oslnění od mlhy před reflektory auta

## 2.3 Teorie barevného spektra a podání barev

Vjem barvy je ačkoli zdánlivě jednoduchý, ve skutečnosti velice komplexní fyziologicko psychologický proces. Do tohoto procesu se promítá hned několik vstupních parametrů ovlivňujících výsledný vjem barvy: Barevná vlastnost světla (chromatičnost), spektrální složení barevného podnětu (kolorita) a spektrální citlivost zraku pozorovatele. Vnímání určitého barevného tónu je u každého pozorovatele poněkud odlišné, proto existuje pojem normální kalorimetrický pozorovatel, podle kterého se přiřadil ke každé barvě rozsah vlnových délek, na kterých může být viděna pro většinu lidí.

Rozmezí vlnových délek (nm)	Spektrální tón
380 – 430	Fialová
430 – 465	Modrofialová
465 – 490	Modrá
490 – 500	Modrozelená
500 – 560	Zelená
560 – 575	Zelenožlutá
575 – 585	Žlutá
585 – 620	Oranžová
620 – 770	červená

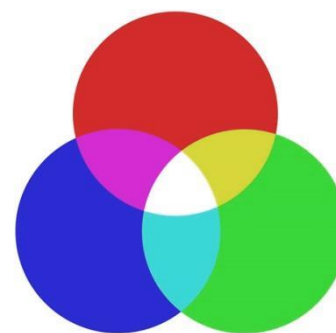
Tabulka 7.: Tabulka barev a jejich adekvátních vlnových délek.

Lidské oko nevnímá jednotlivé barvy stejnou citlivostí. Záleží především na typu vidění. Při přechodu mezi fotopickým (denním) a skotopickým (nočním) viděním je spektrální citlivost čípků přeorientována. Dochází k potlačení jasu červeného světla a naopak ke zvýraznění světla modrého. Posun citlivosti ve vyjádření pomocí vlnové délky je o 50nm. Tento jev se nazývá Purkyňův.

Paletu základních barev získáme odfiltrováním jednotlivých vlnových délek ze spektra slunečního záření. Tak například zjistíme, že odstraněním zelené oblasti je zbývající záření purpurové apod. Tímto způsobem se dobereme ke třem základním barvám tzv. RGB a jejich směrům. Barvy můžeme dále rozlišit podle tzv. teploty na teplé (červená, žlutá, oranžová) a studené (zelená, modrá, tyrkysová). V tabulce níže je uveden jejich vliv na člověka. Pro nás je důležité vědět, že zatímco teplé barvy pociťujeme jako příjemné při osvětlenosti do 2000lx, studené se nám naopak zdají nepřírozené a stanou se příjemnými až od 2000lx výše.

Vliv na	Účinek barvy	
	Oranžové	Modrozelené
Fyzickou aktivitu	tlumící	Povzbuzující
	Pasivní	Aktivní
Jasově optický	Světlý	Temný
	Vystupující	Odstupující
Citový (psychologický) dojem	Teplý	Studený
	Suchý	Vlažný
	Zdůrazňující	Uklidňující
	Aktivní (povzbuzující)	Pasivní (tlumící)
	Dráždivý	Uklidňující

Tabulka 8.: Tabulka barev a jejich možného vlivu na člověka.

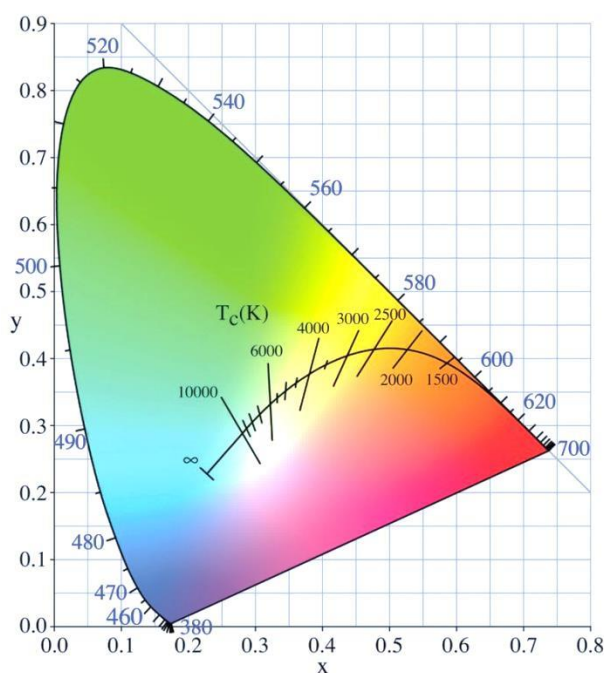


Obr. 12 Způsob míchání barev

K popisu barev a jasnému zařazení byla vytvořena trichromatická soustava. Je tvořena třemi osami, kde každá osa slouží k vynesení různé charakteristické veličiny. Libovolný barevný podnět je následně možné nahradit adiční směsí tří vhodně zvolených barevných podnětů. Těmito třemi údaji může být barevný tón, sytost barvy a intenzita. K veličinám pak jen přiřadíme osy trichromatické soustavy X, Y, Z, které je možné znázornit v trojrozměrné soustavě. Následně je možné popsat barevný podnět konkrétní kolorimetrickou rovnicí. Součet trichromatických souřadnic je vždy roven jedné. Pokud bychom hodnotili barvu pouze z hlediska tónu a sytosti a nikoliv dle intenzity, pak je možné problém přenést do dvourozměrného prostoru.

Všeobecně užívané soustavy bylo nutné normalizovat a dnes se využívají dvě hlavní soustavy, CIE LUV a CIE LAB. Zatímco LUV se využívá ve světelných zdrojích, televizích, fotografiích a všeobecně v digitálních zařízeních, LAB je zase jedinou možnou soustavou pro hodnocení barevnosti textilií. Tyto soustavy jsou mezi sebou nepřevoditelné!

Dalším způsobem mimo kolorimetrických soustav jsou atlasy barev. Nejznámější se nazývá Munsellův, který byl sestaven na základě pozorovaných předmětů na denním světle. Tyto atlasy mají většinou papírovou formu s natištěnou barvou a kódovým označením.



Obr. 13 Teplota chromatičnosti v barevném spektru znázorněná v trichromatické soustavě

### 2.3.1 Teplota chromatičnosti

K vystižení barevných vlastností světla vyzařovaného teplotními zářiči lze využít také teplotu chromatičnosti. Teplota chromatičnosti je rovna teplotě černého zářiče vyzařujícího záření o stejné chromatičnosti jako uvažované záření samotné. Jednotkou vyjadřující chromatičnost je kelvin. Ve školském prostředí se doporučuje v České republice volit teplotu chromatičnosti 4000 K. Všeobecně se pak dodržuje pravidlo, že pro výrobní a kancelářské prostory se volí teplota  $T_{cp} = 4000$  K a pro bydlení  $T_{cp} = 3000$  K nebo 2700 K. Lidskému organismu by bylo nejbližší řízení teploty chromatičnosti podle denní doby. Přes den 4000 K a navečer přechod do co nejteplejších barev. Není-li však striktně předepsáno jaká teplota musí být v jakých prostorách, pak je to čistě na rozhodnutí projektanta.

Barevný tón světla	Náhradní teplota chromatičnosti $T_{cp}$ [K]
Teple bílý	Do 3300
Neutrálně bílý	3300 – 5300
Chladně bílý	Nad 5300

Tabulka 9.: Tabulka barevného tónu a její náhradní teploty chromatičnosti.

### 2.3.2 Kvalita podání barev

K podání kvalitního zrakového výkonu je zapotřebí umožnit přirozené vnímání barev co nejpodobnější přírodnímu světlu. Pro hodnocení indexu podání barev se využívá stupnice CRI (colour rendering index) od 0 do 100<sub>Ra</sub>. Tato stupnice značí procentuální chybovost světelného zdroje v kvalitě podání barev vůči dennímu světlu. 95<sub>Ra</sub> tedy znamená, že 5% barev které pod světlem uvidíme, nemají správný odstín, jaký bychom dostali na přírodním světle. Nejvěrněji barvy podávají (mimo denního světla 100%) teplotní zdroje. Naopak monochromatické žluté nízkotlaké sodíkové výbojky mají podání barev 0. V současnosti se většina obytných a pracovních prostorů navrhuje na hodnotu 80<sub>Ra</sub>. Tranzitní prostory jsou v tomto hledisku méně náročné, a proto je možné na chodby a komunikace mít podání jen 40<sub>Ra</sub>. Ve školách, je ve většině místností požadováno 80<sub>Ra</sub>, výjimku tvoří pracovní výtvarné výchovy, kde se doporučuje 90<sub>Ra</sub> viz *Tabulka 2*.

### 2.3.3 Další požadavky normy

Kromě výše jmenovaných parametrů se norma [zdroj 1] zmiňuje o nutnosti zohlednění několika dalších faktorů. Kvalita podání tvaru, směrované osvětlení a střední válcová osvětlenost jsou důležitými prvky pro usnadnění vizuální komunikace. Slouží ke zvýraznění předmětů, rozlišení textury a zlepšení rozlišení osob v prostoru. Udržovaná střední válcová osvětlenost, čili průměrná osvětlenost svislé roviny ve vnitřních prostorách nesmí klesnout pod 50lx, při  $U_0 \geq 0,1$  na vodorovné rovině ve stanovené výšce (1,2 m pro sedícího a 1,6 m pro stojícího člověka). V kancelářích a zasedacích místnostech se doporučuje 150 lx při  $U_0 \geq 0,1$ . Je nutné se zaměřit na to, aby v prostoru nebylo příliš bodové osvětlení, které nám vytváří ostré stíny a naopak příliš difúzní osvětlení, které opticky redukuje hloubku prostoru eliminací stínů. Poměr mezi difúzním a přímým osvětlením by tedy měl být vyvážený.

Míhání, neboli stroboskopický jev, je spíše odpovědnost výrobce nežli projektanta. Může způsobovat zdravotní a psychické problémy, či může na některých pracovištích zapříčinit dezorientaci. Tento efekt se nesmí vyskytovat například v provozech s točivými stroji, kde z důvodu změněného vnímání pohybu těchto strojů může dojít k nebezpečným situacím. Míhání se dá zabránit výměnou elektromagnetických předřadníků za vysokofrekvenční elektrické předřadníky.

## 2.4 Zásady měření osvětlení a jasových poměrů

Lidské oko je schopné s jistou přesností určit ze dvou zdrojů současně pozorovaných ten jasnější. Podmínkou je, že oba musejí mít stejnou teplotu chromatičnosti. Co však naše oči nedokáží, je stanovit absolutní hodnotu veličin daného zdroje. Může za to naše schopnost adaptace, proto je nutné se nespolehat pouze na lidský zrak, který nás občas klame a je nutné využít mechanických přístrojů k přesnému měření.

### 2.4.1 Příprava měření

Pro měření umělého osvětlení se zpravidla ve všech měřeních snažíme absolutně eliminovat vliv přirozeného světla. Měření osvětlenosti se tedy provádí po setmění, případně se musí zatemnit veškeré osvětlovací otvory, okna, světlíky, či prosklené dveře. Toto neplatí při měření poměru jasů, které je nutné provádět za podmínek stejných jako při vykonávání dané činnosti.

Typy měření se dají podle [zdroj 2] rozdělit na tři základní druhy

#### *Přesná*

- Pro posuzování náročných osvětlovacích soustav, či pro výzkumnou činnost
- Nejistota měření pod 8%

#### *Provozní*

- Slouží pro obvyklé ověřování a porovnávání parametrů zdrojů, svítidel a osvětlovacích soustav
- Nejistota měření mezi 8 - 14%

#### *Orientační*

- Kontrola vybraných základních částí, ověření základních podmínek zrakové pohody
- Nejistota měření mezi 14 - 20%

#### 2.4.1.1 Kontrolní síť bodů pro měření osvětlení

V rámci přípravy před samotným měřením je důležité připravit schéma měřených bodů. Jejich pozice a vzdálenost mezi krajem místnosti a body, či mezi body samotnými, je udána v normě [1]. Síť bodů umístíme do oblasti zrakového úhlu. Upřednostňuje se čtvercová síť, u obdélníkového tvaru se pak musí dodržet poměr 1 : 0,5 – 1 : 2, přičemž maximální velikost buňky sítě je dána vztahem:

$$p = 0,2 \cdot 5^{\log_{10} d} \quad [\text{Rovnice 6}]$$

Kde

$$p \leq 10$$

*d* je delší rozměr plochy (m), je-li však podíl delší strany ke kratší roven 2 nebo je větší, je *d* kratším rozměrem plochy,

*p* je maximální rozměr buňky sítě (m)

Výsledný počet bodů je nejbližší celé číslo z podílu  $d/p$ . S výslednou vzdáleností poté stanovíme počet bodů v kratší straně sítě, z čehož vyplyne i poměr k delší straně blízký 1. Oblast 0,5m od okrajových částí místnosti do výpočtu nezahrnujeme. Vyjímkou je, pokud se v této oblasti nachází přímo naše oblast zrkovného úkolu. Tyto pravidla platí také pro stanovení osvětlení na stěnách a na stropu. Body sítě se všeobecně snažíme rozmísťovat tak, aby se jejich rozteč neshodovala s roztečí svítidel. Následující tabulka popisuje nejčastější hodnoty roztečí kontrolních bodů

Délka plochy [m]	Maximální vzdálenost bodů sítě [m]	Minimální počet bodů sítě
0,40	0,15	3
0,60	0,20	3
1,00	0,20	5
2,00	0,30	6
5,00	0,60	8
10,00	1,00	10
25,00	2,00	12
50,00	3,00	17
100,00	5,00	20

Tab 11.: Tabulka bodů výpočetní sítě vzhledem k délce zkoumané oblasti.

Pro možné hodnocení shody s požadavky na osvětlenost je nutné dbát na stejné rozdělení bodů sítě pro měření a pro následný návrh. Ověřování se musí týkat relevantního kritéria a dbát aby se provedlo měření ve správné rovině pracovního úkolu

## 2.4.2 Výchozí podklady

Měření a následné ověřování musí proběhnout vzhledem k projektovým předpokladům. Je nutné si opatřit technickou dokumentaci osvětlovací soustavy, zjistit jejich stáří, udržovací činitel, typ předřadníku a teprve na základě těchto informací je možné změřit a posoudit současný stav osvětlenosti. Předpoklady činitelů odrazů je vhodné porovnat k reálným hodnotám a ty použít pro kalibraci modelu nového návrhu.

Mezi výchozí podklady se tak dají zařadit následující dokumenty:

- Údaje a účel využití objektu
- Stavební výkresy
- Rozmístění technologických zařízení a vybavení místností
- Druh prostředí a z hlediska požadavků na osvětlovací soustavu
- Údaje o povrchových úpravách místností a jejich vybavení
- Údaje o denním osvětlení
- Možnosti řešení údržby
- Zvláštní požadavky na osvětlovací soustavu

Mezi výchozí podklady patří také technická dokumentace použitých zdrojů. Ty jsou zpravidla charakterizovány svou křivkou svítivosti. Ta zobrazuje celkový světelný tok a prostorový úhel, pod kterým zdroj vyzářuje světlo do svého okolí. Tato fotometrická plocha se zjišťuje vynesemím (směrem

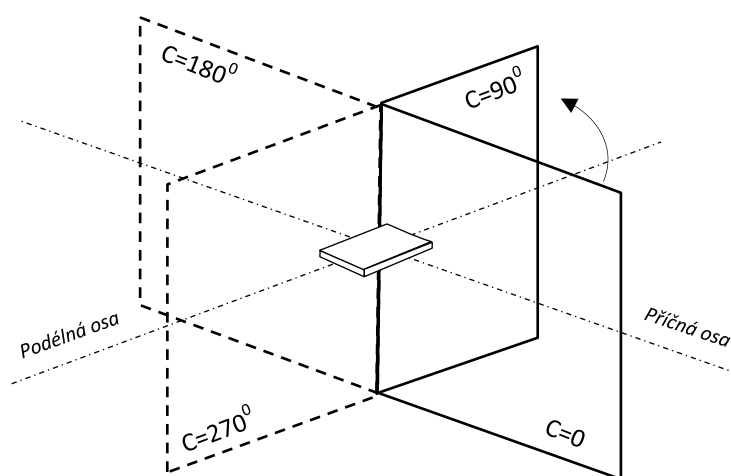
od středu svítidla) naměřených hodnot v prostoru. Tyto radiusvektory pak následným spojením vytvoří tvar křivky svítivosti.

Křivky svítivosti lze matematicky obecně popsat

$$I_y = I_0 \cdot f_t(y) \text{ [cd]}$$

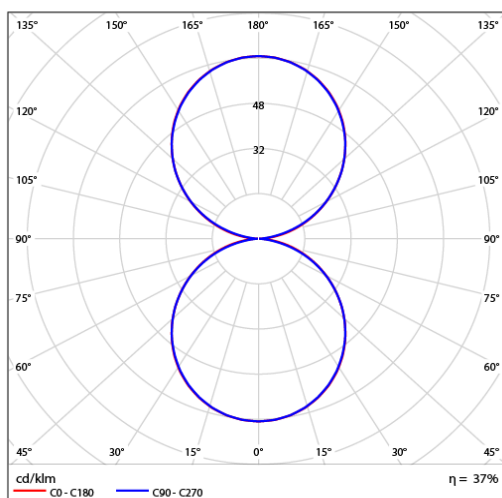
Kde je

- $I_y$  svítivost přečtená z uvažovaného diagram svítivosti, pod úhlem  $y$  od vztažného směru,
- $I_0$  svítivost uvažovaného zdroje ve vztažném směru. Obvykle ve směru kolmém k hlavní vyzařovací ploše svítidla,
- $f_t(y)$  charakterická funkce svítivosti, tj. funkce matematicky popisující uvažovanou křivku svítivosti; nejčastěji se k aproximaci využívá funkce  $\cos''y$ ,  $\sin y$ ;  $\sin y \cos''y$  a zejména pak různých lineárních kombinací uvedených funkcí.



Obr. 14 Příčná rovina protínající svítidlo 0-180° a Podélná rovina řezu 92-270°

Křivka svítivosti se zobrazuje v polárním diagramu. Důležité jsou dvě roviny, pro které se většinou křivky zpracovávají. Podélná osa se značí C90-C270 (na obrázku vyznačeno modře), příčná je otočená o 90° s označením C0-C180 a červenou barvou (v tomto konkrétním případě se křivky pro oba řezy překrývají).



Obr. 15 Polární diagram vyjadřující křivku svítivosti

### **2.4.2.1 Kalibrace přístrojů**

Pro měření je nutné použít luxmetr, spektrometr, jasoměr<sup>3</sup>, jasový analyzátor a další přístroje pouze s platnou kalibrací. Pro dosažení přesnosti luxmetru  $\pm 10\%$  je nutné zajistit korekci fotonky kosínovou korekcí, určenou ke korekci světla dopadajícího šikmo na fotonku. Údaje o intervalech kalibrace jsou udávány výrobcem.

### **2.4.2.2 Zahoření zářivek**

Před měřením je nutné, pokud se jedná o zářivkový typ zdroje, nechat napřed zdroj stabilizovat. Stačí vyčkat 20 minut. V případě, že se jedná o nové zdroje, pak je nutné vyčkat na zahoření zářivek, trvající minimálně 100 hodin v kuse, než proběhne samotné měření. Po tuto dobu je nutné udržovat ventilaci prostoru. Při realizaci se často stává, že u dvoutrubicových svítidel, se neorientují jejich patice s potiskem na stejnou stranu a následně se přehřátím „cold spotu“ snižuje účinnost i životnost zdrojů. Před měřením je vhodné je tedy zkontrolovat.

### **2.4.3 Průběh měření**

Měření je nutné provádět systematicky a je nutné na základě měření vyhotovit protokol, splňující normy ČSN 360011, který je důležitý pro kolaudační řízení. Měření indexu rušivého oslnění UGR se většinou neprovádí z důvodu časové náročnosti měřící metody a jejímu následnému hodnocení.

Před použitím luxmetru je nutné nejprve fotonku exponovat po minimální dobu 5-15 minut, aby se docílilo stabilizace hodnot. Při odečítání hodnot je nutné se ujistit, že na fotonku nedopadá žádný stín a proto je vhodné nastavit zpožděné snímání luxmetru.

Pravidla, která jsou při měření nutná dodržet, se dají shrnout do následujících bodů:

- Měření nesmí být ovlivněno difuzním světlem, které není předmětem měření,
- Optické části fotometrů musí být nezaprášené a nestíněné,
- Fotometrická vzdálenost, tedy vzdálenost fotonky od zdroje, musí být nejlépe 10 krát větší než největší rozměr vyzařovací plochy zdroje,
- Stabilita přístrojů během měření,
- Ponechat dostatečnou dobu na zahoření, žárovky asi 5 min, výbojky 20 min

---

<sup>3</sup> Článek [zdroj 12] hodnotí dosavadní způsoby měření kontrastů a popisuje výhody, využití jasového analyzátoru oproti jasoměru. Kriticky komentuje dosavadní způsoby hodnocení v oblasti měření světla. Uvádí, jak pomocí moderní měřící techniky lze rozšířit pole využití a zpřesnění získaných výsledků oproti starší metodice



#### 2.4.4 Protokol a zpráva o měření

Zpracování výsledků měření spočívá v souhrnné zprávě popisující podmínky, za kterých bylo měření uskutečněno. Stanoví se nejistota měření a porovnává se, zda změřená hodnota po chybové korekci je nad limitními požadavky normativních hodnot.

Obecně by se protokol měl držet těchto bodů, zmíněných profesorem Habelem v [zdroj 2]:

- Označení a charakteristiku kontrolovaného prostoru,
- Účel měření a jeho přesnost (odhad nejistoty měření je třeba na požádání prokázat),
- Popis a náčrt osvětlovací soustavy s vyznačením svítidel, srovnávací roviny a kontrolních míst,
- Údaje o použitých světelných zdrojích a svítilnách s uvedením jejich provozního stavu,
- Popis způsobu měření,
- Údaje o napájecím napětí a teplotě okolí v průběhu měření,
- Tabele zpracované (popř. do výkresu zaznamenané) naměřené a korigované hodnoty osvětlenosti s uvedením a odůvodněním použitých korekcí,
- Porovnání výsledků měření (u nových osvětlovacích soustav po vynásobení udržovacím činitelem uvažovaným v projektu) s požadavky norem,
- Zhodnocení výsledků měření s přihlédnutím k nejistotám měření a s uvedením, zda kontrolovaná osvětlovací soustava vyhovuje platným normám, popř. zda zjištěné parametry odpovídají projektu, s případným návrhem na úpravu osvětlovací soustavy,
- Soupis použitých přístrojů s údaji o jejich přesnosti a kalibraci,
- Datum a hodinu měření a jména, adresy a kvalifikace pracovníků, kteří měření prováděli, jména osob, které byly při měření přítomny a podpis osoby odpovědné za měření

Měřicí přístroje vyžadují poměrně značné investice a trvá déle, než si je uživatel osvojí. Pokud tedy není k dispozici jasoměr, lze jas stanovit z difuzně odražených povrchů. V tomto případě je nutné znát činitel odrazivosti  $\rho$ [-] daného povrchu a hodnotu osvětlenosti  $E$ [lx] v daném bodě. Rovnice pro jas je následně definována takto:

$$L = (\rho/\pi) E \quad \text{[Rovnice 7]}$$

$L$	Jas [cd/m <sup>2</sup> ]
$E_d$	Osvětlenost [lx]
$\rho$	Odrazivost [-]

Tento vzorec je možné reverzně aplikovat také na stanovení hodnot osvětlenosti v prostoru. Potřebuje k tomu jen jedno měření luxmetrem a jedno měření odrazivosti povrchu. Následně pak z jasové analýzy HDR snímku můžeme zjistit osvětlenost. Pokud bychom chtěli měření ještě zjednodušit (se vzrůstající chybou měření), pak je možné na zjištění odrazivosti povrchu využít i luxmetr. Nejdříve změříme obvyklým způsobem osvětlenost  $E_d$  a poté fotonku luxmetru umístíme proti danému povrchu. Musíme luxmetr umístit do takové vzdálenosti od povrchu, aby jeho hodnoty byly ustálené a tím se vyloučilo možné zastínění a chyba měření. Tímto stanovíme podíl odraženého světla od povrchu. Hledaný činitel odrazu je tedy roven podílu odražené složky ku původní osvětlenosti  $E_d$ .

### 3 Praktická část

Cílem praktické části je zmapování jasových podmínek na konkrétním příkladu. Ukazují zde, jaké jsou současné podmínky a možnosti práce s prostorem a světlem v něm. Následně vyhodnocuji měření a předkládám možná pravidla. Tyto pravidla nejsou určena pouze učitelům vykonávající svou činnost právě v měřených kmenových učebnách. Jsou to všeobecná pravidla, která mohou sloužit i v dalších školských zařízeních.

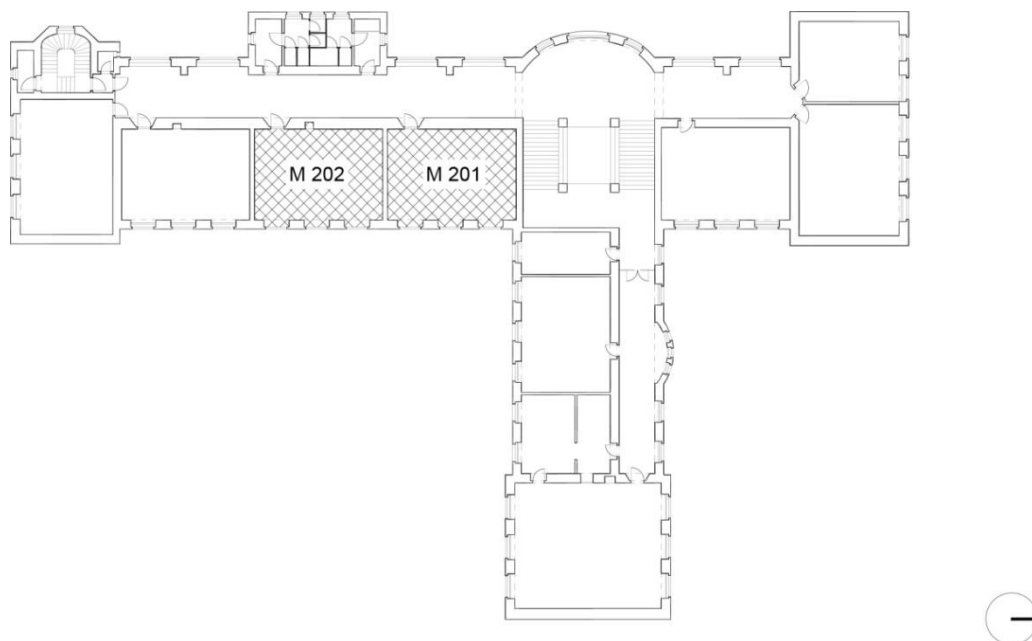
Pro praktické měření jsem zvolil gymnázium U Libeňského zámku nacházející se na Praze 8. Vedení školy mi zpřístupnilo pro měření kmenové učebny žáků ve třetím nadzemním podlaží. Tam jsem prováděl měření jasových poměrů a osvětlenosti. Jelikož v době měření již probíhal školní rok, bylo nutné se přizpůsobit časovému rozvrhu školy. Všechna měření byla proto prováděna ve dnech 4. a 5.9.2018 mezi 16-19 hod.

#### 3.1 Popis měřeného prostoru

Gymnázium se nachází ve svažitém terénu. Ze západní části je lemováno Thomayerovými sady a z východu ulicí Zenklova. Svým umístěním a 4 nadzemními podlažími s podkrovím převyšuje okolní zástavbu.

Měření jsem prováděl ve kmenových učebnách číslo 201 a 202 ve třetím nadzemním podlaží školy. Obě třídy mají půdorysný rozměr cca 9x6m. Místnosti jsou vysoké 4m a mají orientována okna na východní stranu. Okna nejsou stíněna zelení. Okna s výškou parapetu 1m jsou vysoká 2,9m až ke stropu místnosti. V prostoru je 5 řad lavic uspořádaných ve třech sloupcích. První sloupec má o jednu lavici navíc.

S ohledem na odrazivost a barevné řešení je většina třídy v bílé barvě, a to i meziokenní sloupy a rámy oken jsou natřeny na bílo. Od parapetu dolů je po celém obvodu místnosti 201 tmavší obklad s imitací dřeva. Učebna 202 tento obklad nemá. Lavice v místnosti 202 mají lesklou povrchovou úpravu v bílé barvě. V místnosti 201 jsou lavice dřevěné. Podlaha je v obou místnostech z linolea v barvě dřevěných lamel.



Obr. 16 Schéma půdorysu Gymnázia U Libeňského zámku a vyznačení měřených místností

## 3.2 Jasová analýza učeben

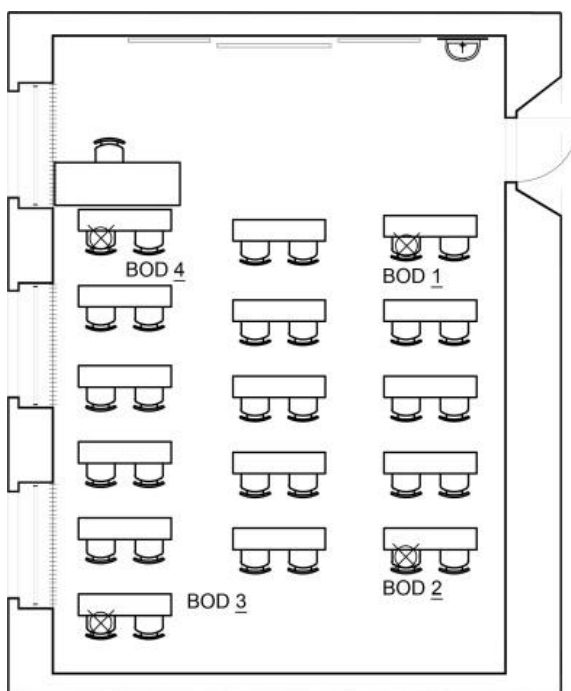
### 3.2.1 Popis měření

K měření jsem využil systém LDA (Luminance Distribution Analyzer) určený pro hodnocení jasu pomocí metadat digitální fotografie. Jasový analyzátor je v principu precizně zkalibrováný zrcadlový fotoaparát s objektivem na 180° pohled. V případě hodnocení jasu pomocí digitální fotografie je dále nutné znát spektrální vlastnosti snímacího senzoru fotoaparátu pro určení výsledné korekce<sup>4</sup>. Dále jsou důležité geometrie objektivu a mechanická citlivost samotného foťáku. K mému měření jsem použil fotoaparát značky Nikon typ D7200 se snímačem CMOS, 23,5mmx15,6mm. Nastavil jsem zaostření mezi 1 a 3. Míru citlivosti ISO na 100 a clonu na 4.

Ke správnému měření a následnému porovnání výsledků bylo nutné zafixovat výšku čočky objektivu. Výška byla zvolena co nejbližší 1,2m, což odpovídá normové výšce oka sedícího člověka. Měření jsem prováděl celkem ve 4 měřících bodech. Ty jsem rozmístil v místnosti tak, aby zachytily extrémní stavy viz *Obr. 17*.

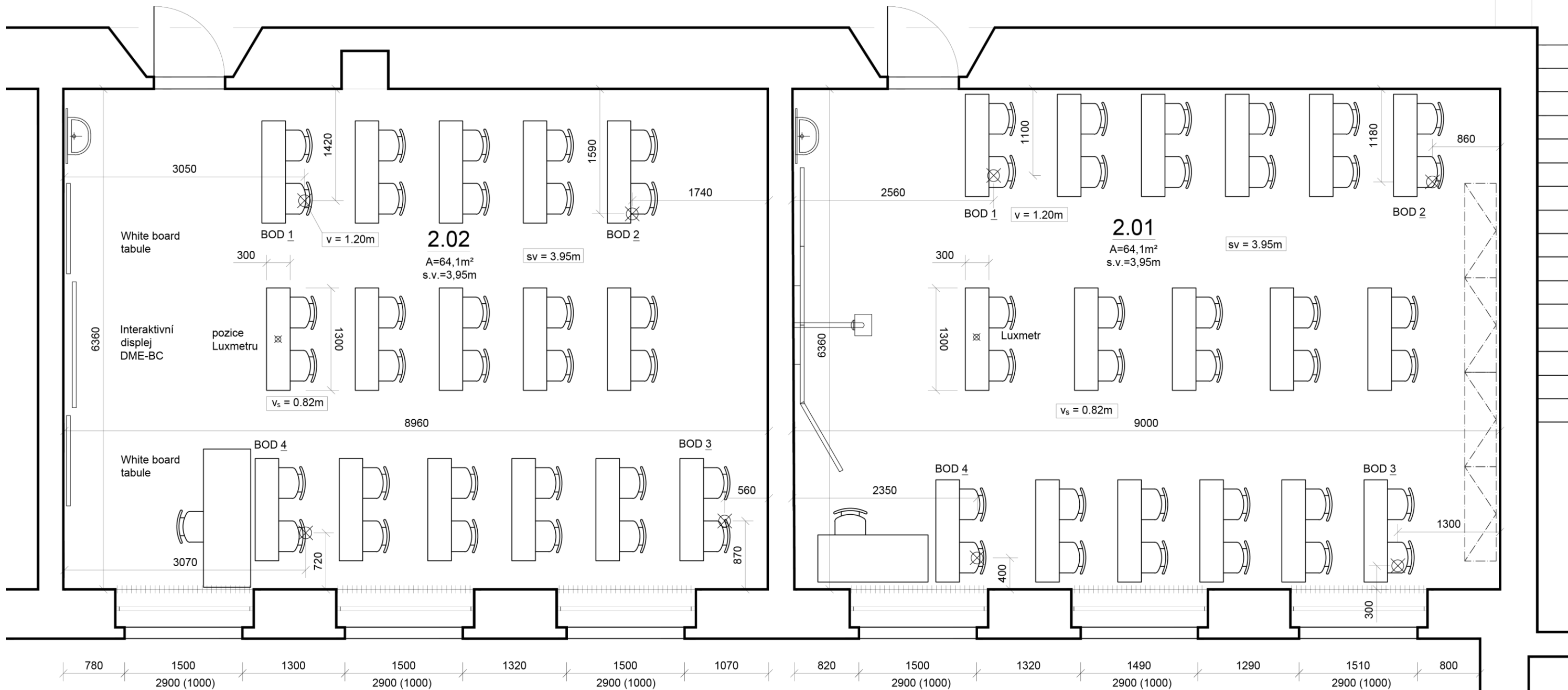
#### 3.2.1.1 Popis výběru bodů

- Bod 1 Student je při pohledu na tabuli potenciálně oslněn přirozeným světlem z prvního okna a odrazy z lesklých povrchů lavic.
- Bod 2 V případě studenta sedícího v zadní lavici u stěny může docházet k oslnění umělými zdroji osvětlení, či světelnými odrazy přirozeného světla na lavicích a židlích.
- Bod 3 Výhled studenta na tabuli zahrnuje značnou část okna, u kterého sedí. Může dojít k oslnění přirozeným světlem.
- Bod 4 Část studentova výhledu je cloněna obrazovkou profesorova počítače. Může také docházet k oslnění ze směru okna.



*Obr. 17* Vyznačení měřících bodů v učebnách 201 a 202

<sup>4</sup> Systém LDA a jeho výhody oproti jasoměru popisuje podrobněji článek [zdroj 11].



NÁZEV AKCE	Půdorys učeben 201 a 202		
PŘEDMĚT	DIPLOMOVÁ PRÁCE GULZ		
KONZULTANT	Ing. arch. Lenka Maierová, PhD.	VYPRACOVAL	JAN MARX
Orientace			
DATUM			15. 2. 2019
Číslo výkresu			1
Měřítko			M 1:50

Dále jsem zvolil 4 různé světelné scény, jaké mohou při vyučování nastat *Tabulka 10*.

- Scéna 0AL60NL znamená, že v místnosti jsou vypnuté umělé zdroje osvětlení (artificial light) a přední okno u tabule je zavřené žaluziemi.
- Scéna 0AI 100NL má všechny žaluzie oken otevřené.
- Scéna 100AL ONL má zapnuté pouze umělé osvětlení a okna jsou zakrytá.
- Scéna 100AL 100NL je kombinace maximálního možného osvětlení, tedy otevřené žaluzie a zapnutá světla.

Skupiny	Rozvržení světelné scény	
	AL	NL
1	0	60
2	0	100
3	100	0
4	100	100

*Tabulka 10 Typy scén pro měření jasovým analyzátozem*

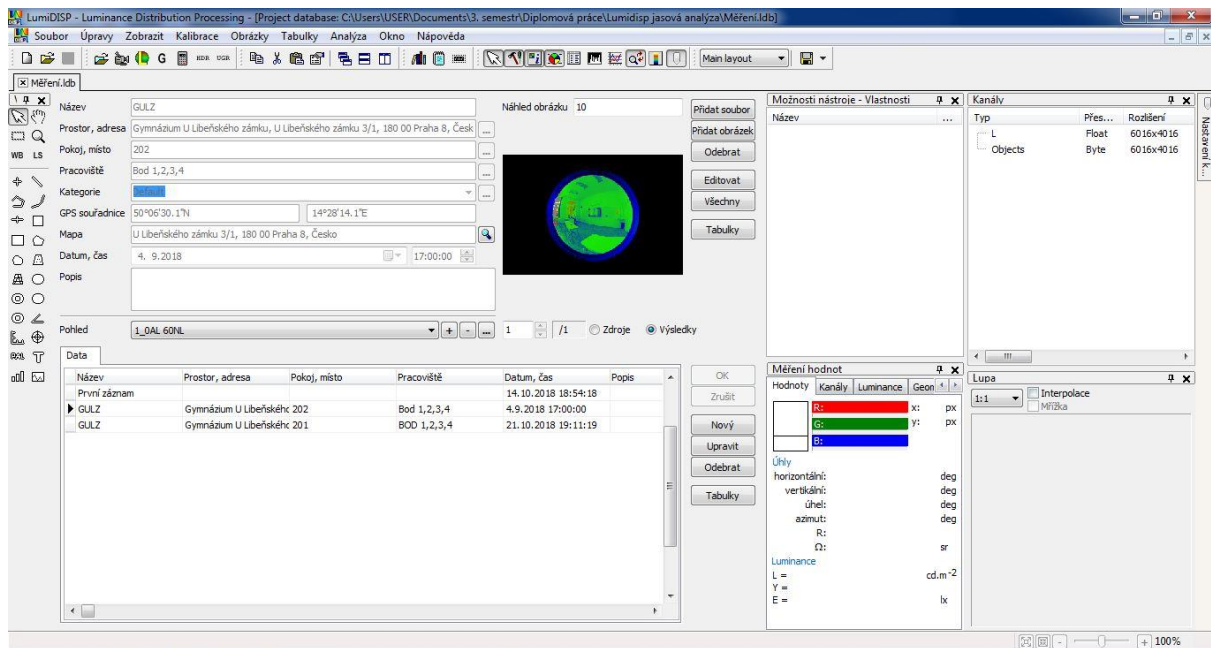
Pro každý kontrolní bod jsem následně vytvořil 4 různé snímky na složení HDR obrazu. Snímky byly zachyceny s rychlostí závěrky 1/6400 s, 1/250 s, 1/10 s, 1/1,3. Poměrový krok byl zvolen 1:25. Přičemž 1/6400s zachytila ty nejsvětlejší části zkoumané oblasti (zdroje světla - výbojky a okna) a naopak 1/1,3s zachytila ty nejtmaší (stíny mezi černými tělesy).



*Obr. 18 Foto autor*

### 3.2.2 Hodnocení UGR

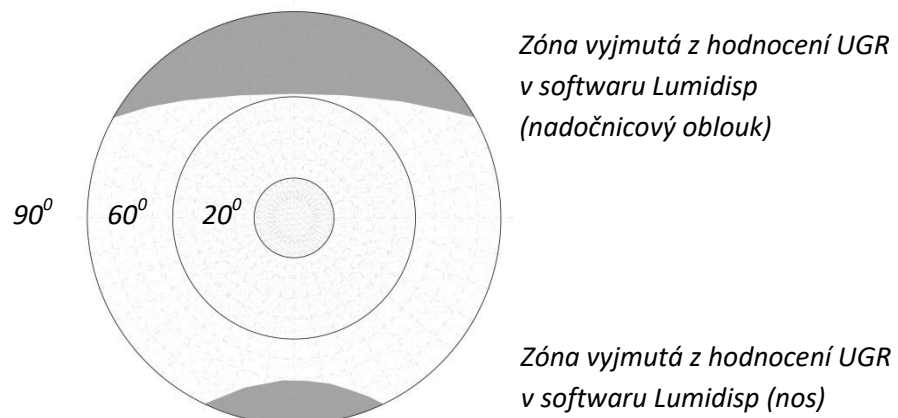
Na vyhodnocení oslnění metodou UGR je nejdříve zapotřebí vytvoření HDR snímku. Pro tento účel jsem použil software Lumidisp z Vysokého učení technického v Brně [reference Lumidisp]. Vytvořil jsem pro každý kontrolní bod a každou scénu jasový kanál a zadal jsem pozici a velikost zdrojů světla. V programu jsem na základě toho získal hodnotu oslnění UGR a také jsem mohl dále pracovat s HDR snímkem. Získat jasové řezy, průměrné jasy v konkrétní oblasti, zjistit odrazivosti okolních ploch, prostorové úhly, či vzdálenosti mezi objekty.



Obr. 19 Printscreen prostředí softwaru Lumidisp

V rámci hodnocení oslnění jsem zvolil metodu UGR. Do ní jsem však zahrnul i složku přirozeného osvětlení, což není úplně korektní postup, jelikož UGR se používá výhradně jen pro umělé osvětlení. Vhodnějším výpočtním nástrojem by byl výpočtní model DGI, který funguje i pro sdružené osvětlení. Jediné na co by tento nástroj nefungoval, by byl kontrolní bod 3 pro scény 0AL60NL, 0AL100NL a 100AL100NL a to kvůli téměř rovnoběžnému směru pohledu s přilehlým oknem. Z důvodu dostupnosti a relativní jednoduchosti jsem však zvolil UGR hodnocení, s tím, že jsem si vědom chyb v měření.

V softwaru Lumidisp byla při všech měřeních nastavena hodnotící zóna. Tato zóna nezahrnuje části HDR snímku, které se nachází mimo zorné pole. Jsou to dvě oblasti. Horní zónu nevidíme díky nadočnicové klenbě, která zabraňuje oslnění od oblohy ve venkovním prostředí. Spodní je oblast, kterou nevnímáme přes oblast nosu.

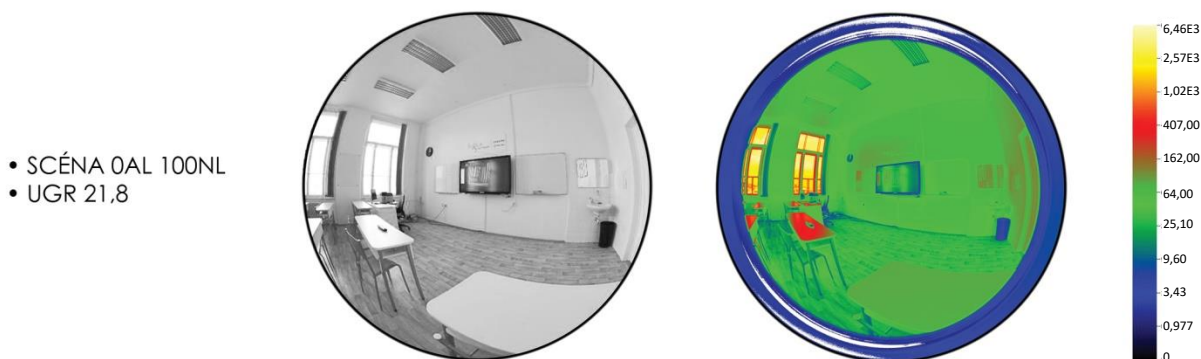


Obr. 20 Oblasti vyjmuté z měření UGR softwaru Lumidisp a rozložení oblastí dle zaměření zraku. 20° místo zrakového úkolu, 60° bezprostřední okolí úkolu, 90° okolí zrakového úkolu

### 3.2.2.1 Místnost 202

Učebna 202 je vybavena interaktivním displejem Samsung DME-BC. Jedním z předmětů měření tedy byl vliv této pomůcky na oslnění studentů. Ve vedlejší třídě se nachází projektor promítající buď na whiteboardovou tabuli, nebo na klasickou zelenou tabuli určenou na psaní křídou.

Nejvyšší naměřené hodnoty oslnění byly u žáka sedícího v první lavici u dveří. Pokud učitel nechá nezastíněné přední okno, pak dojde k oslnění UGR 22 (viz 1\_OAL100NL Příloha 10 HRD snímky bodu 1.), což již značí vážný diskomfort z hlediska dlouhodobého trvání. Přitom je vidět z 1\_OAL60NL, že pouhým zastíněním předního okna se nám hodnota výrazně sníží z 22 na 14. Při bližším zkoumání HDR snímku je vidět, že oslnivě nepůsobí jen samotný zdroj oslnění (okno), ale také odrazy na lavici sousedního studenta.

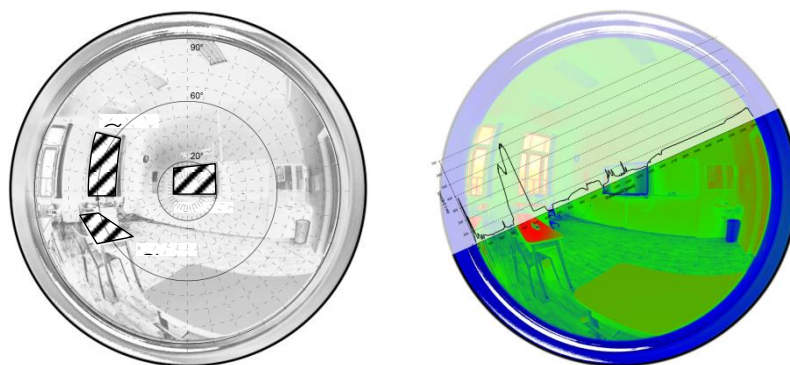


Obr. 21 Kontrolní bod 1 - Pozice studenta v přední lavici u stěny. Nepřímé oslnění odrazem na lavici

Pouze u dvou dalších snímků se pohybuje hodnota na normovém okraji UGR 19. Jsou jimi scény 2\_OAL60NL a 2\_OAL100NL (Příloha 11 HRD snímky bodu 2.. Z výše zmíněné nevhodnosti využití systému hodnocení oslnění pomocí UGR je možné tuto odchylku akceptovat. Důležité je si ovšem v tomto případě všimnout zdroje oslnění. Jsou jimi odrazy od přirozeného osvětlení z oken na lesklých bílých stolech.

Umělé osvětlení nám v tomto případě nezpůsobuje oslnění, naopak nám zesvětlením celé scény sníží přechody kontrastů a tím i sníží UGR. Důležitým zjištěním je, že oslnění nepřichází z interaktivní tabule.

Doporučením je v budoucnu volit matné zařizovací předměty. Při výuce zastínit přední okno a využít umělé osvětlení.



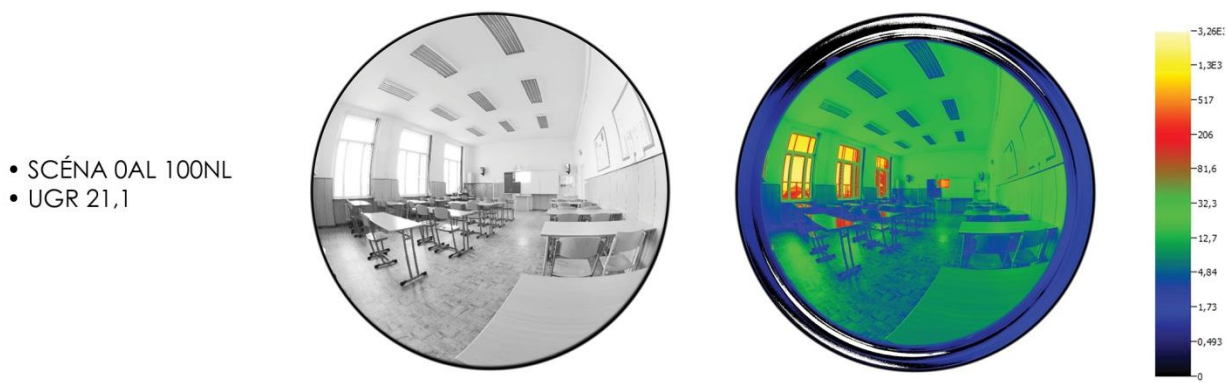
Obr. 22 Rozdíly jasů v zorném poli studenta. Příloha 7 a Příloha 10



### 3.2.2.2 Místnost 201

Měření z této učebny se bohužel nedá označit za průkazné z důvodu špatného nastavení projektoru. Během vyučování jsou tím pádem pravděpodobně jiné podmínky, než které byly při měření.

I přesto se dá z HDR snímků mnohé vyvodit. Učitel by nikdy neměl využívat promítání na whiteboardovou tabuli. Tento materiál má vysoce lesklou povrchovou úpravu a tudíž je následně silným zdrojem oslnění pro studenty. Promítáním na zelenou křídovou část tabule jsou zas velice nízké přechody kontrastu, čímž klesá rozpoznatelnost obrazu. Optimálním je, aby si učitel do výuky nosil promítací plátno a na tabuli jej v případě promítání zavěsil.



Obr. 23 Kontrolní bod 2 – oslnění odrazem o lavici

Ze snímku je dále zřejmé, že oslnění (mimo projektor) znovu přichází z odraženého světla z povrchu lavice stejně jako v místnosti 202. Řešením je buď změnit pracovní plochy stolů na více matnou povrchovou úpravu, či zvolit úplně jiný druh s mírně skloněnou deskou. Jednoznačně se však vyvarovat lavicím s bílými lesklými deskami stolů!



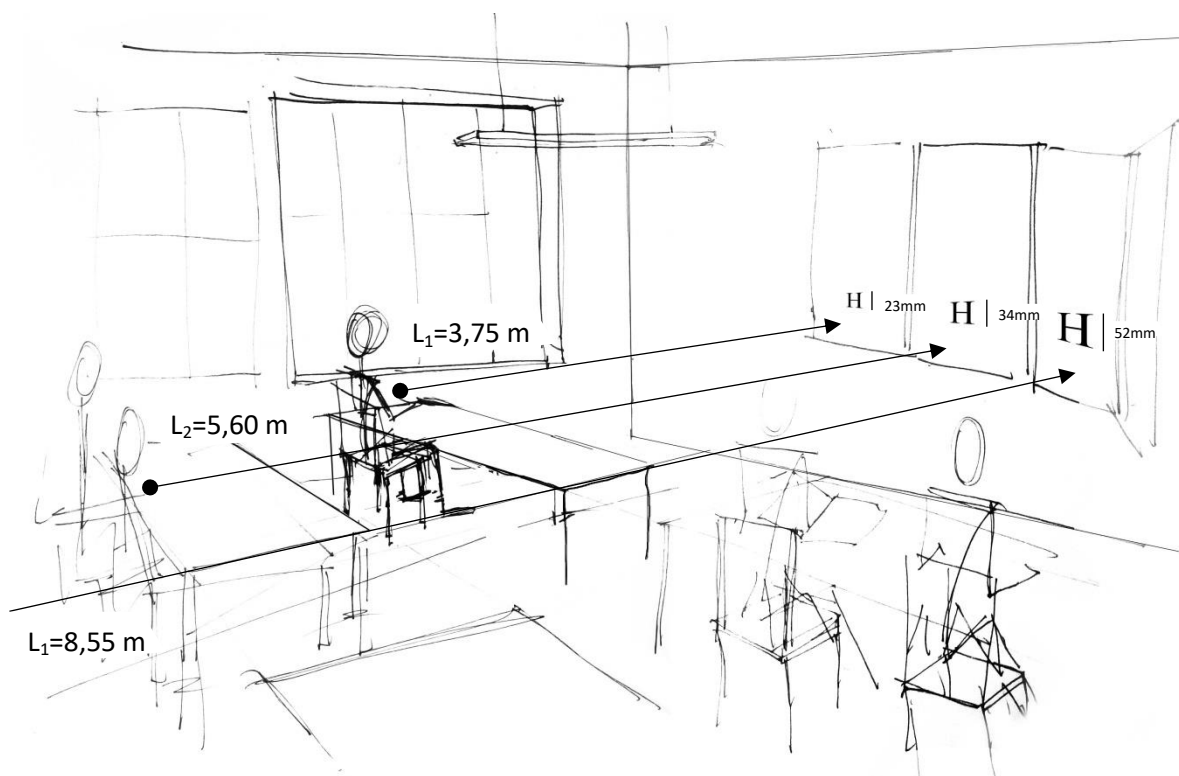
Obr. 24 Detail odrazu na bílé lesklé lavici. Příklad řešení pomocí šikmé jednomístné lavice.



### 3.3 Velikost kritického detailu

Pro správné určení minimální velikosti písma na tabuli stačí znát vzdálenost pozorovatele od předmětu jeho zájmu. V případě učeben gymnázia U Libeňského zámku jsem vybral 3 různé situace obsazenosti tříd 202 a 201. K nim pak následně stanovuji velikosti kritických detailů vzhledem k vzdálenostem pozorovatelů.

Nejběžnějším případem, který bude nastávat, je plně obsazená třída. Velikost požadovaného detailu je v tom případě určena vzdáleností žáků  $L_1$  v zadních řadách. Dle vztahu [Rovnice 4] uvedeného v teoretické části se snadno dopočítá, že potřebná minimální velikost kritického detailu je přibližně 40 mm. Optimální velikost je 52 mm. V praxi to znamená, že učitel píšící na křídovou tabuli, nebo na white board by měl myslet na velikost svého písma. Jakmile jeho poznámky (psaní a skici) jsou menší než cca 5cm, pak je pro žáky v poslední řadě náročné je přečíst. To následně způsobuje nepozornost a ztrátu koncentrace. Pro interaktivní tabuli se dají tyto hodnoty snadno převést na standartní výšku elektronického textu. Pokud by chtěl učitel zadat písemnou práci puštěním jejího zadání na DSE obrazovce, pak je optimální zvolit velikost písma cca 140 bodů. Při této velikosti je text čitelný pro všechny žáky. Minimální rozměr je 104 bodů.



Obr. 25 Vzdálenosti a jejich příslušné velikosti kritických detailů

Dalším případem je zpola obsazená třída. Tato situace může nastat při maturitních seminářích, kde se žáci profilují a dělí se na menší skupiny. Také se může jednat o večerní vyučování pro dospělé. Uvažuji obsazenost prvních třech řad (18 studentů). Poslední pozorovatelé jsou vzdáleni od tabule o  $L_2$  a definují potřebnou velikost detailu. Minimální velikost pro ně je 26 mm (68 bodů) a optimem 34 mm (90 bodů).

Poslední variantou je skupina žáků v prvních lavicích či jeden student. Pro učitele je tato situace reálná při zkoušení malé skupiny studentů, nebo při doučování jednotlivce. V tom případě je minimum cca 18 mm (46 bodů) a optimum 23 mm (60 bodů).

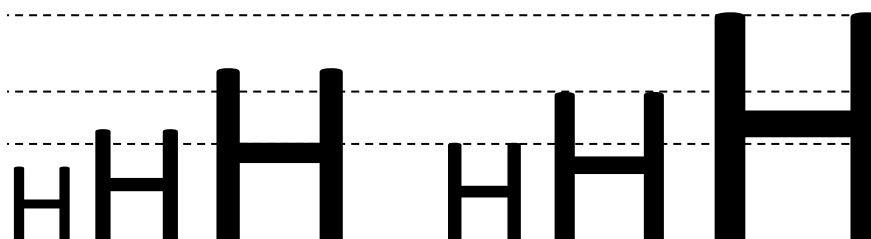
Maximální vzdálenost pozorovatele [m]	Minimální velikost detailu [mm]	Optimální velikost detailu [mm]	Minimální velikost písmen dle minimální velikosti detailu <sup>5</sup>	Doporučená velikost písmen dle optimální velikosti detailu <sup>2</sup>	Příklady způsobu výuky a možnosti obsazení třídy	
První řada	3,75	17,45	22,91	46 bodů	60 bodů	Individuální výuka, či doučování. Zkoušení skupiny žáků sedících v první řadě
První tři řady	5,60	26,06	34,21	68 bodů	90 bodů	Maturitní semináře o maximálně 18 studentech ve 3 prvních řadách. Večerní vyučování pro dospělé
Poslední řada	8,55	39,79	52,23	104 bodů	137 bodů	Klasické vyučování při zaplněné třídě

Tabulka 11 Velikosti kritických detailů při 3 různých vzdálenostech

Následující obrázek ukazuje v měřítku 1:1 minimální a optimální velikosti písmen elektronického textu.

Minimální velikost písma  
3,75m ; 5,60m ; 8,55m (zleva)

Optimální velikost písma  
3,75m ; 5,60m ; 8,55m (zleva)



Obr. 26 Velikosti písma v měřítku 1:1, minimální 46,68,104 bodů (zleva), optimální 60,90,137 bodů (zleva)

Pro čitelnost je kromě velikosti znaku, která definuje kritický detail, také důležitá tloušťka tahu. Ta by pro plně obsazenou třídu neměla být menší než 0,5cm. Důležitým faktorem je pak také kontrast mezi znakem a jeho pozadím (viz Obr. 27)



Obr. 27 Viditelnost tahu na interaktivní DSE při různých tloušťkách. Čáry jsou černé na bílém pozadí

<sup>5</sup> V českých zemích se používá Didotův typografický měrný systém 1 bod = 0,3759 mm (zkratka b); v Anglii a USA používají angloamerický typografický systém, kde místo bodů používají velikost point. 1 point = 0,3528 mm (zkratka pt)

### 3.4 Čitelnost a kontrast barev na interaktivní tabuli

V kapitole kritického detailu jsem řešil minimální tloušťku tahu pro jeho viditelnost. S dobrou čitelností textu na interaktivní obrazovce úzce souvisí také kontrast mezi písmem a pozadím. Ten je daný volbou barev a intenzitou jasu obrazovky.

Pro účely měření jsem na tabuli udělal tahy v sedmi různých barvách a ve třech různých tloušťkách. Následně jsem jasovým analyzátozem změřil průměrný jas pozadí a jasy jednotlivých barev. Celkem intuitivně lze předpokládat, že nejvyšší rozdíly kontrastu budou mezi tmavým pozadím a světlým tahem. To jsem také měřením podložil a získal konkrétní hodnoty. Pro rozšíření výzkumu jsem opakoval měření pro všechny 4 kontrolní body a pro všechny typy scén. Následující tabulka shrnuje výsledky.

Scéna osvětlení	Barva	Černé pozadí DSE interaktivní tabule		Bílé pozadí DSE interaktivní tabule	
		Jas [cd/m <sup>2</sup> ]	Poměrový kontrast [pozadí = 1]	Jas [cd/m <sup>2</sup> ]	Poměrový kontrast [pozadí = 1]
<b>0AL 60NL</b> (Vypnuté umělé osvětlení a zatažené žaluzie okna u tabule)	Bílá	125	8,3	-	1=212
	Černá	-	1=15	51	4,2
	Zelená	75	5	128	1,7
	Červená	32	2,1	73	2,9
	Žlutá	88	5,9	157	1,4
	Tyrkysová	89	5,9	142	1,5
	Fialová/růžová	42	2,8	83	2,6
	Tmavě modrá	17	1,1	60	3,5
<b>0AL 100NL</b> (Vypnuté umělé osvětlení a roztažené všechny žaluzie)	Bílá	132	7,0	-	1=223
	Černá	-	1=19	44	5,1
	Zelená	79	4,2	129	1,7
	Červená	34	1,8	85	2,6
	Žlutá	91	4,8	174	1,3
	Tyrkysová	100	5,3	173	1,3
	Fialová/růžová	41	2,2	93	2,4
	Tmavě modrá	-	-	72	3,1
<b>100AL 0NL</b> (zapnuté umělé osvětlení a zatažené žaluzie všech oken)	Bílá	157	4,0	-	1=242
	Černá	-	1=39	64	3,78
	Zelená	100	2,6	151	1,6
	Červená	55	1,4	126	1,92
	Žlutá	118	3,0	194	1,2
	Tyrkysová	123	3,2	203	1,2
	Fialová/růžová	60	1,5	114	2,1
	Tmavě modrá	-	-	92	2,6
<b>100AL 100NL</b> (Zapnuté umělé osvětlení a roztažené žaluzie všech oken)	Bílá	159	3,18	-	1=253
	Černá	-	1=50	77	3,3
	Zelená	106	2,1	161	1,6
	Červená	64	1,3	117	2,2
	Žlutá	121	2,4	183	1,4
	Tyrkysová	126	2,5	176	1,4
	Fialová/růžová	69	1,4	124	2,0
	Tmavě modrá	-	-	99	2,6

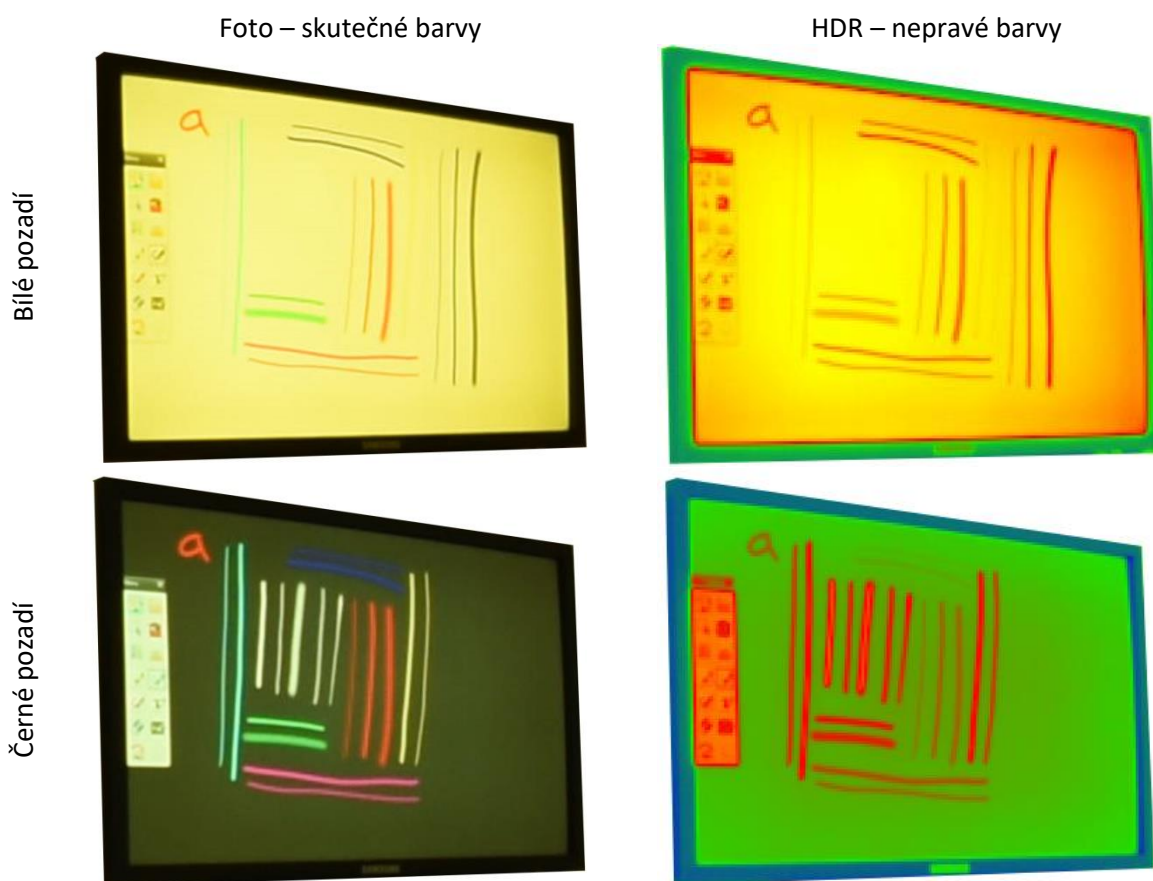
Tabulka 12 Jasy barev na rozdílném pozadí ve čtyřech scénách a ze čtyř kontrolních bodů

Nejvyšší poměrový kontrast tedy získáme, když nastavíme na interaktivní tabuli černé pozadí a budeme psát bílou barvou. Efektivitu zvýšíme zatažením žaluzií prvního okna od tabule a vypnutím osvětlení. Toto řešení i přes jeho průkazně nejlepší výsledky však nelze využít pokaždé. Při psaní potřebují žáci dostatečné osvětlení lavic, a proto je vhodnější v případě zatažené oblohy vybrat scénu OAL 100NL. Scéna OAL 60NL se nejvíce hodí při slunečné obloze, kdy nám přední žaluzie budou regulovat oslnění žáka v první lavici u dveří od odrazů.

Maximální přípustný kontrast není pro DSE obrazovky normově definován. Zjištěná maximální hodnota 1:8,3 lze porovnat nejlépe s kontrastem používaným při tvorbě webových stránek, kde zobrazovací jednotkou je následně monitor uživatele. Zde je stanovený minimální kontrast pro vysoký komfort rozlišovací schopnosti stanovený na 1:7 [zdroj 14].

Při využití černého pozadí interaktivní tabule lze jako doplňkové barvy kromě bílé použít také žlutou a tyrkysovou a případně zelenou. Tyto všechny barvy mají stále dobrý kontrast vůči obrazovce.

Zobrazení barev při scéně OAL 60NL



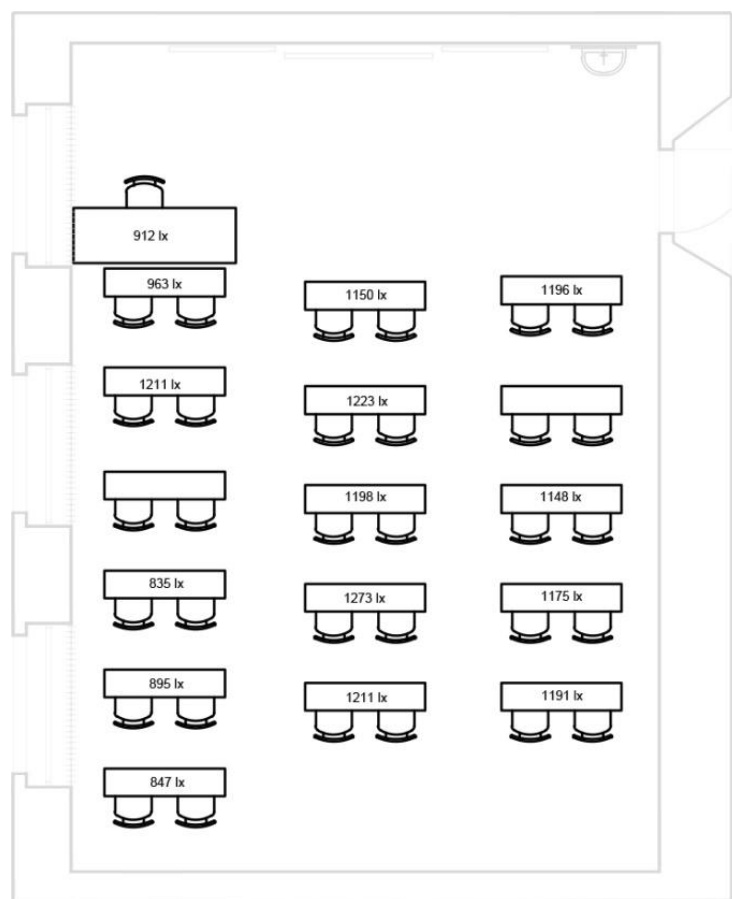
Obr. 28 Srovnání bílého a černého pozadí interaktivní tabule a viditelně vyšší rozdíl jasů barev na černém pozadí

### 3.5 Měření intenzity osvětlení a současné osvětlení prostoru

Učebny 201 a 202 jsou osvětleny svítidly, rozmístěnými ve třech řadách a třech sloupcích. Každé svítidlo má 4 výbojkové zdroje Philips TL-D s příkonem 36W a teplotou chromatičnosti 4000 K. Celkový příkon jednoho svítidla je 144W. V celé učebně pak 1296W.

Osvětlenost jsem změřil v prostřední řadě na první lavici. Měření proběhlo při scéně ONL 100Al. Pro určení osvětlenosti v dalších bodech jsem pak následně využil vztahu mezi odrazivostmi povrchů, jasu a osvětlenosti [Rovnice 7].

V případě nutnosti určení vzdálenosti mezi jednotlivými předměty se dá využít fotogrammetrických vztahů při znalosti rozměru některého z předmětů. Alternativní možnost popisuje Škoda, J. ve článku [zdroj 10[10]], kde je vzdálenost mezi předměty, či čočkou objektivu spočítána z metadat pořízené fotografie.



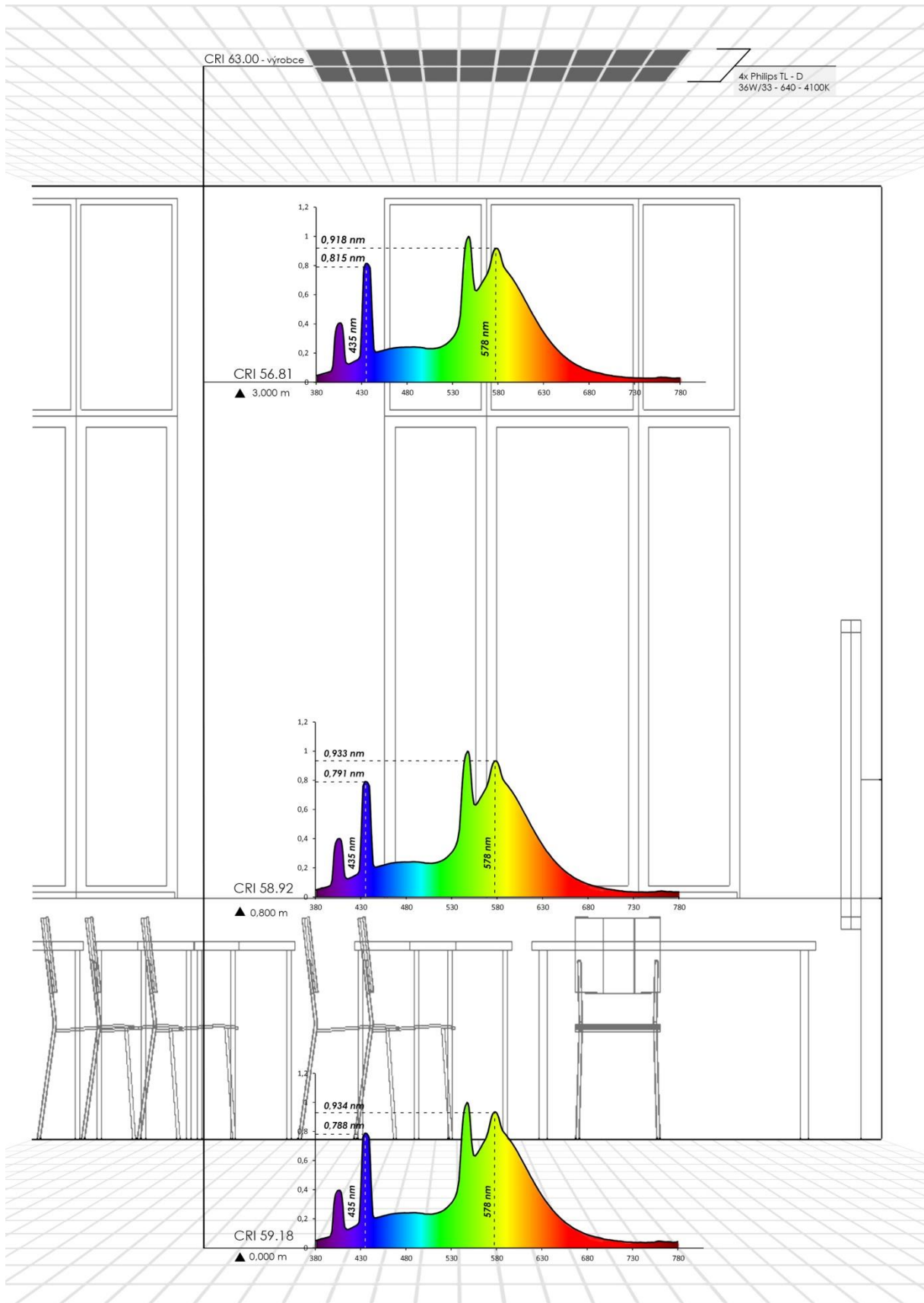
Obr. 29 Detail zářivky současného osvětlení Obr. 30 Vypočtené hodnoty osvětlení dle vzorce [Rovnice 7]

### 3.6 Spektrální analýza současného zdroje

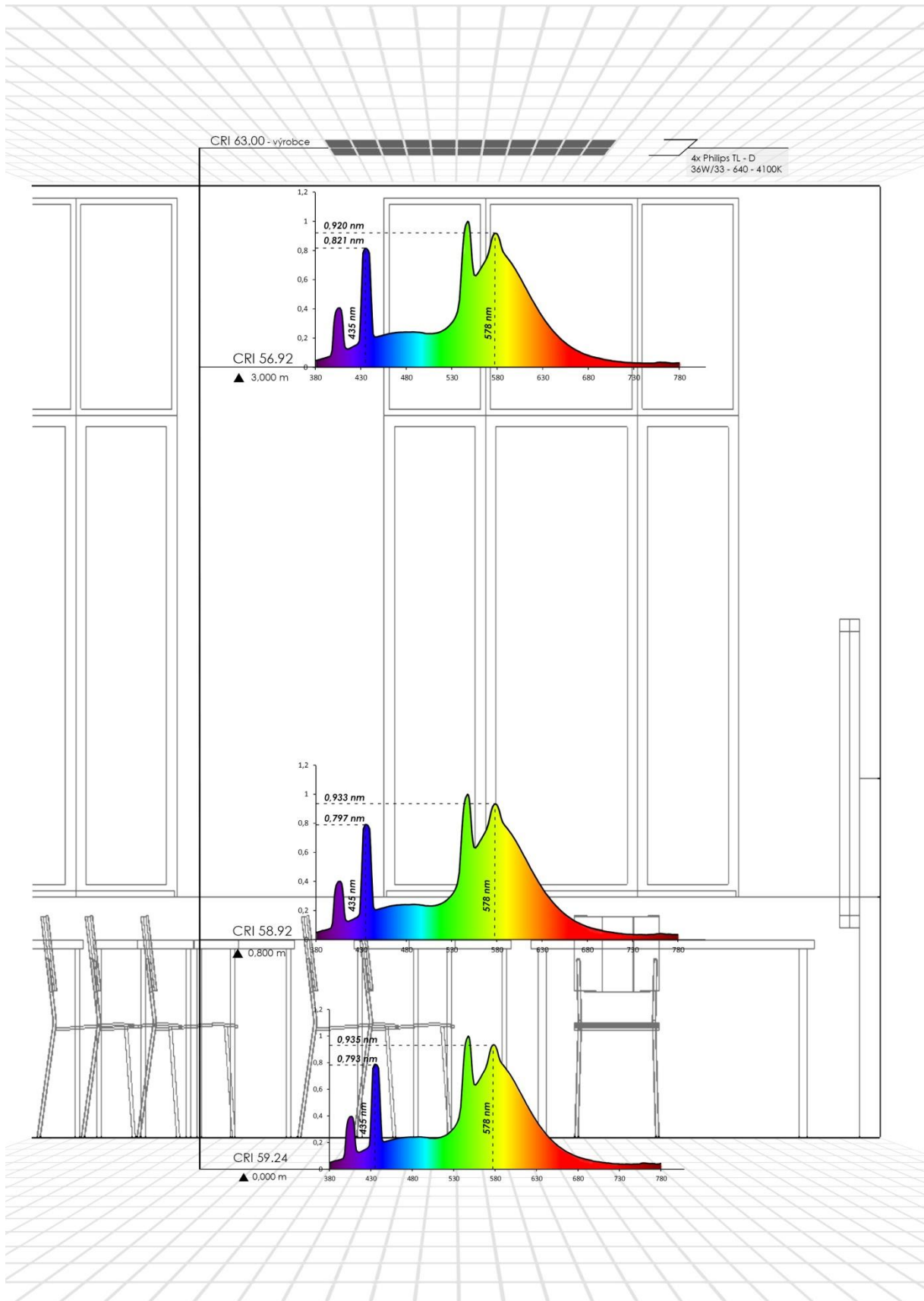
Postupná výměna stávající zdrojů za LED technologii je nezastavitelná. LED zdroje jsou vysoce účinné, moc se nepřehřívají a jsou jednoduché na výrobu. Avšak u nich v současnosti také najdeme slabá místa. Jedním je barevné spektrum, které vyzařují. Momentálně se vyrábějí LED zdroje s minimálním CRI, nicméně technologie nám umožňuje tento koeficient výrazně zvýšit a dostat se tak i v této oblasti nad úroveň zářivek. Vše záleží na „zážehové barvě“ zdroje. U LED diod je to modrá barva, proto je na jejich barevném spektru vidět strmý vrchol ve vlnové délce kolem 440nm, pak je hluboký pokles v tyrkysové. Nejvíce však LED trpí na nedostatek červené. Červená je proto ukazatelem kvality LED a je úzce spojená s indexem podání barev CRI. Současným zdrojem v obou učebnách je výbojkové svítidlo. To má barevné spektrum o něco vyváženější než LED, avšak stále mu chybí tyrkysová a červená barva.

Měření jsem provedl spektrometrem, ze kterého jsem získal číselné informace o hodnotách v různých vlnových délkách a ty pak převedl do grafů. Cílem bylo zjistit, jak se bude měnit spektrum v různých výškách místnosti. Provedl jsem tedy měření u podlahy, na úrovni stolu a pak ve výšce 3m nad podlahou. Pro rozšíření jsem provedl kromě středu místnosti stejné měření i na kraji místnosti u stěny.

Výsledky neukázaly výraznější změny ve spektru po výšce místnosti a to ani v jejím středu ani u stěny. Jediné k čemu dochází, je postupné zmírnění strmosti směrnice křivky vzhledem k extrému. To nastává ve vlnových délkách 435 nm a 578 nm, což je modrá a žlutozelená. Pokles je pro 435nm z 815 na 783. Pro 578 nm se zvýší z 918 na 934. Rozdíly jsou zanedbatelné. V případě rozdílů mezi středem a krajem místnosti se také jedná o zanedbatelné změny.



Obr. 31 Spektrální analýza zdroje po výšce na kraji místnosti v oblasti kontrolního bodu 1



Obr. 32 Spektrální analýza zdroje po výšce ve středu místnosti

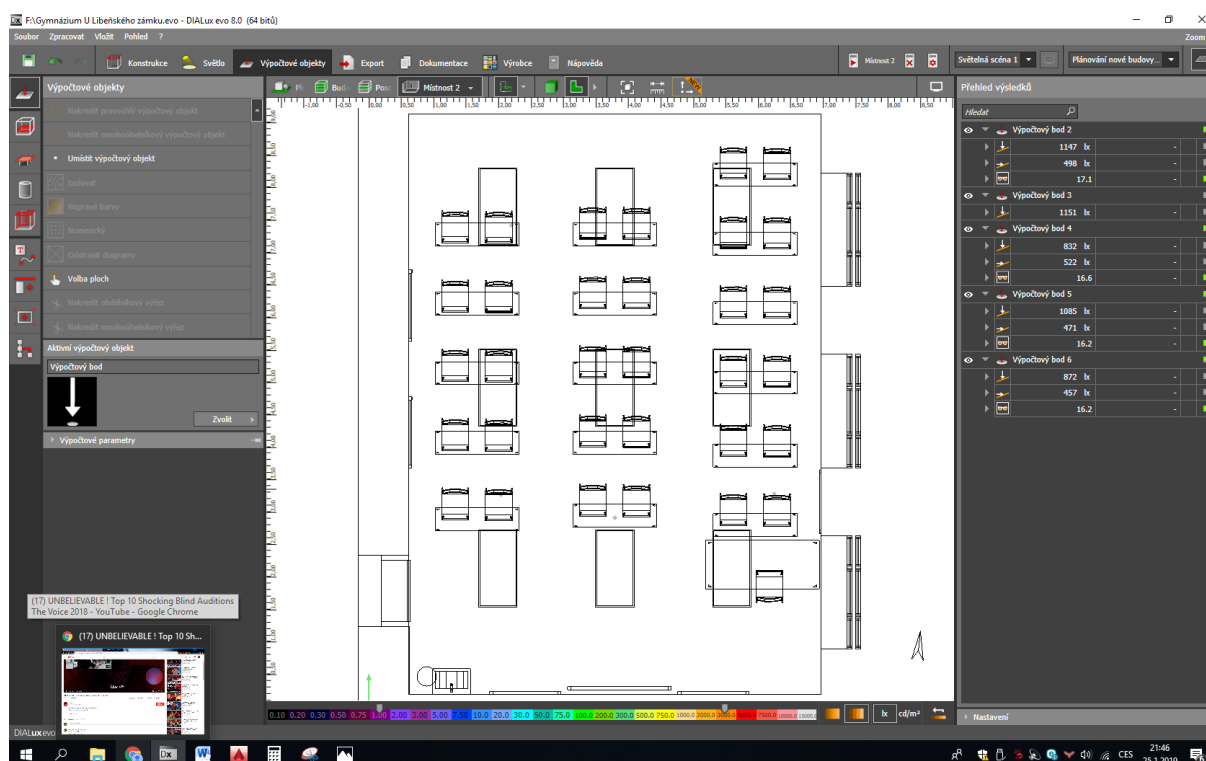


## 4 Návrhová část

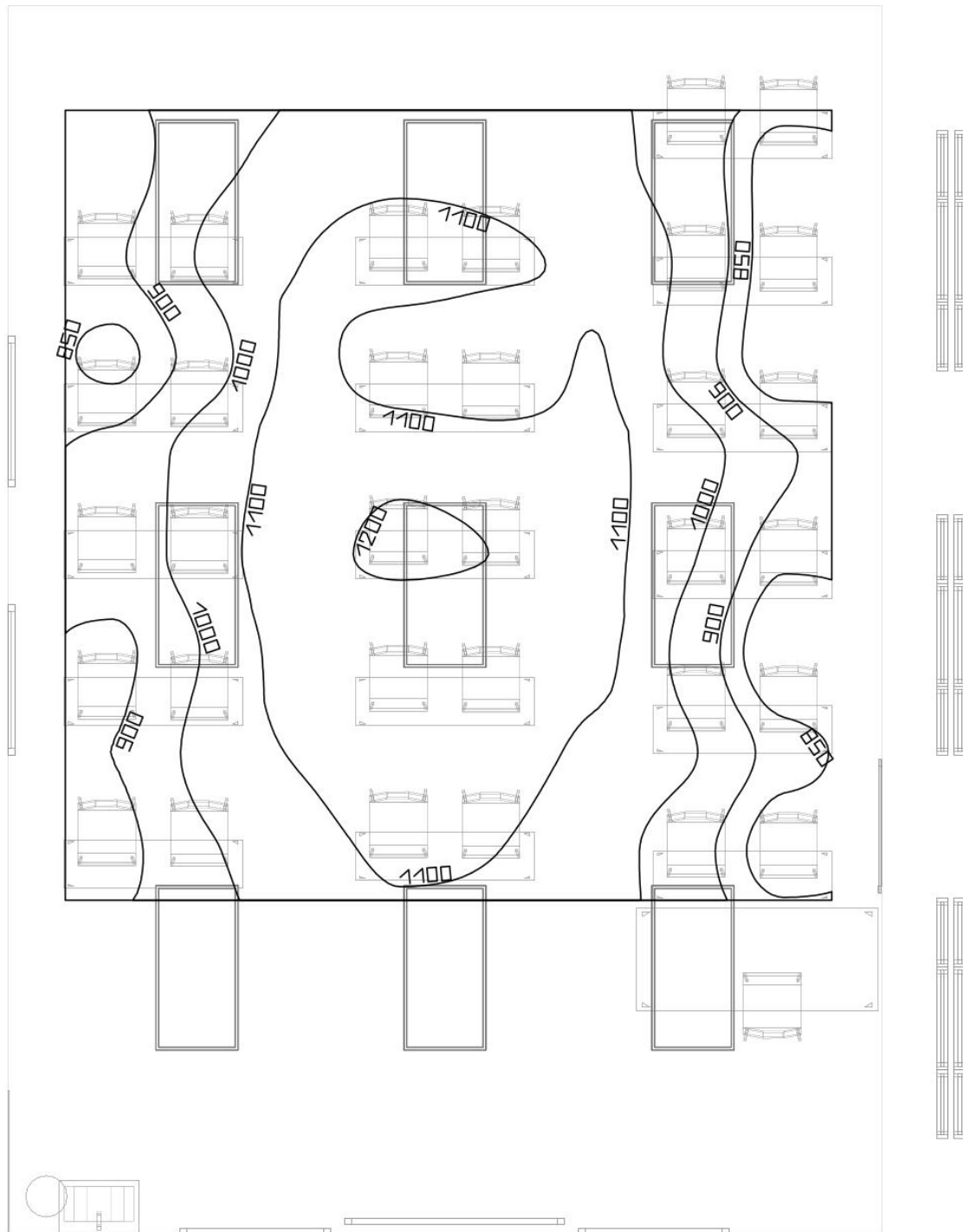
Z praktické části jsem byl schopen vytvořit obraz toho, jak by správně měl být osvětlen učební prostor ve školách. Je potřeba získat tzv. měkké světlo, tedy nežádoucí je získávat ostré stíny a naopak chtěné jsou vícečetné odrazy světla o stěny a strop. Jinak by si student mohl stínit při psaní do sešitu a učitel při psaní na tabuli. S ostrými stíny jsou provázány také odlesky, které mohou zapříčinit oslnění. Z těchto faktů vychází, že ve školách je zapotřebí velké množství nepřímého světla. Vhodné je tedy využít kombinaci přímo-nepřímého osvětlení (vlastní odhad pro ideální rozdělení je 20 % přímá a 80 % nepřímá složka). Umístění svítidla musí být takové, aby ani přímá ani nepřímá složka nesvítila přímo do očí studentů a tím je neoslňovala. Zdroj svítidla by pak měl být takový, aby vyzařoval plnospektrální světlo obsahující všechny vlnové délky v co nejbližším rozdělení, jako má světlo denní (např. zářivky, či plnospektrální LED).

### 4.1 DIALux model a jeho kalibrace

Pro získání relevantních výsledků osvětlenosti jsem v softwaru DIALux nejdříve vytvořil model učebny přesně dle zaměření školy. Rozmístění a druh zařízení v učebně jsem vytvořil co nejbližší realitě. Dále jsem rozmístil svítidla a se současnými zdroji. Jelikož však současný zdroj TL-D 36W/33 – 640 – 4100K již firma v nabízené databázi softwaru nemá, zvolil jsem jeho novější verzi TL-D 36W HFE – 840 – 4100K. Tato trubicová zářivka se od předchůdce liší v barevnosti světla, ale výkon a intenzita jsou stejné. Dále jsem využil změřené hodnoty v praktické části práce a navrhl jsem odrazivosti okolních ploch, tak aby osvětlenost ve změřeném bodě odpovídala reálné hodnotě. Tímto jsem získal zkalibrovaný model na kterém jsem mohl dále navrhnout nová svítidla.



Obr. 33 Model učebny v softwaru DIALux



Kusovník světel								
Index	Výrobce	Název výrobku	Číslo výrobku	Osazení	Světelný tok	Činitel údržby	Instalovaný příkon	Počet
1	PHILIPS	TBS318 C 4xTL-D36W HFE C2		4xTL-D36W/840	11400 lm	0.80	144 W	9
#	Jméno	Parametr	Min	Max	Průměr	Min/střední	Min/Max	
1	Pracovní plocha 1	Svislá intenzita osvětlení (Adaptivní)	805 lx	1218 lx	1020 lx	0.79	0.66	

Obr. 34 Výkres osvětlenosti současného stavu po kalibraci. Osvětlenost je vztažena na pracovní plochu stůlů.



Obr. 35 Umístění kontrolní bodů a jejich hodnoty pro kalibraci modelu (učebna 202)

Kalibrace byla provedena s důrazem na osvětlenost. Reálné měření luxmetrem proběhlo pouze v jednom bodě, proto je kalibrace provedena zejména pro tento bod, nacházející se uprostřed u tabule. Hodnoty UGR se následně od reálné vypočtené hodnoty liší s odchylkou v rozmezí 96,5-61,7%

## 4.2 Popis navrhovaných svítidel a zdrojů

Svítilo sestává ze dvou světelných LED zdrojů. Výsledné osvětlení je nepřímo-přímé s poměry složek 1,5 : 1 u typu EVA a pro typ MEDD poměr 6,6 : 1. Jedná se o produkty společnosti Artemide. Jednou z výhod těchto zdrojů je v indexu podání barev, kde přesahuje 96 Ra, čili 4% chybovost vůči dennímu světlu. Další výhodou je jejich barevné spektrum. To obsahuje vysoký poměr červené a tyrkysové, čili celkově je spektrum výrazně vyváženější. Z ekonomického hlediska je svítidlo výhodné pro dobrý poměr výkon ku intenzitě osvětlení. V tabulce níže uvádím parametry obou typů navrhovaných zdrojů pro jejich srovnání.

Úhly vyzařování jsou kromě samotné hliníkové konstrukce podmíněny využitím difuzérů. Krycí sklo pro nepřímou část je čistě čiré. Pro spodní (přímou) část je zvolen opálový difuzér.

Technické parametry	Typ svítidla EVA <sup>6</sup>		Typ svítidla MEDD <sup>7</sup>	
	NEPŘÍMÁ ČÁST	PŘÍMÁ ČÁST	NEPŘÍMÁ ČÁST	PŘÍMÁ ČÁST
Světelný výtěžek [lm/W]	144	144	106,9	67,9
Výkon [W]	41	28	91,6	22
Světelný tok [lm]	5900	4032	9792	1494
Úhel vyzařování [°]	147°	147°	116	116°
Výkon při délce 1,5m [W]	61,5	42	137,4	33
Světelný tok na 1,5m [lm]	8850	6048	14693	2242
CRI	96	96	96	96
Teplota chromatičnosti	4000	4000	4000	3600
Povrchový materiál - difuzér	Čiré plexisklo	Opál	Čiré plexisklo	Opál

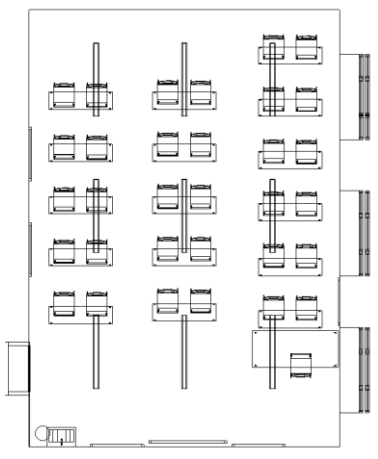
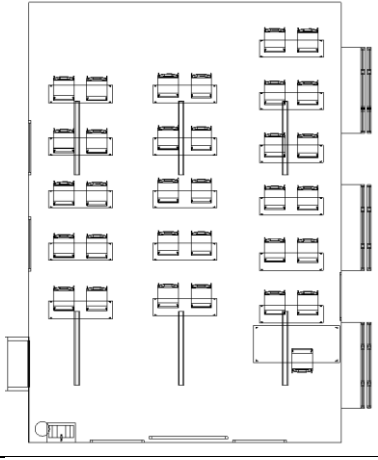
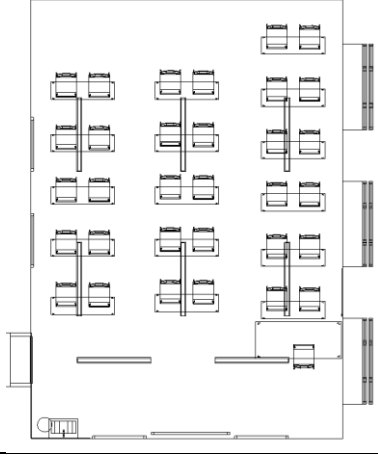
Tabulka 13 Navrhovaná svítidla a porovnání jejich parametrů

<sup>6</sup> Svítidlo firmy Artemide. Bližší specifikace [Příloha 26 Charakteristika svítidla EVA]

<sup>7</sup> Svítidlo firmy Artemide. Bližší specifikace [Příloha 27 Profil svítidla EVA, jeho směry a úhly vyzařování]

### 4.3 Optimalizace počtu svítidel

Cílem bylo najít variantu s takovým počtem svítidel MEDD, aby osvětlenost byla kolem 1000 lx, a zároveň, poskytovala vhodné rozložení pro různé druhy výuky. V první variantě je nejvíce svítidel a odpovídají vhodnému způsobu zapojení. Získáváme ale zbytečně velké osvětlení (jedno svítidlo je navíc). Ve druhé variantě máme osvětlení na spodní hranici. Zde nezůstává dostatek prostoru pro jeho regulaci a při promítání, když by se vypnula první řada svítidel, by druhá řada sama na osvětlení nestačila. V případě třetí varianty jsem tedy dal dohromady možnost vlastního obvodu osvětlení tabule od zbytku třídy. Řešení je praktické a dnes je toto rozvržení standardem.

VARIANTA 1	9 svítidel		$E_{\varnothing} = 1597 \text{ lx}$
VARIANTA 2	6 svítidel		$E_{\varnothing} = 1020 \text{ lx}$
VARIANTA 3	8 svítidel		$E_{\varnothing} = 1380 \text{ lx}$

Tabulka 14 Varianty počtu svítidel v učebně 202


#### 4.4 Optimalizace horizontálního rozvržení vzhledem k osové vzdálenosti svítidel

Cílem této části je nalezení ideální pozice a osové vzdálenosti svítidel v místnosti, aby se dostatečně využil nepřímý podíl osvětlení z odrazů od bočních stěn.

Varianta jedna s osovou vzdáleností svítidel 2,12m je rozvržená tak, aby úhly vyzařování nepřímého osvětlení se na stropě nepřekrývaly. Zároveň se úhel nepromítá do bočních stěn a nevyužívá tím odrazů od nich. Ve druhé variantě jsou svítidla více centralizovaná na středovou osu místnosti a jejich křivky vyzařování se protínají. V posledním případě jsou svítidla tak daleko od sebe, že se prakticky neovlivňují a pouze využívají odrazů bočních stěn.

Z porovnání těchto variant ve čtyřech kontrolních bodech a ve třech sledovaných parametrech<sup>8</sup> jsem určil ideální vzdálenost. Všechny tři varianty hodnotami vyhovují normovým požadavkům a liší se od sebe zejména v parametru horizontální intenzity osvětlení. Hodnoty UGR jsou ve všech variantách velice příznivé a nepřekračují hodnotu 12,5 (normový požadavek max 19).

Pro body 3 a 4 nacházející se blíže k oknům je výhodnější první varianta. Pro druhé dva je pak lepší, když jsou svítidla umístěna blíže k sobě. Ve druhé variantě nám logicky mírně vzrostlo oslnění, nicméně je stále zanedbatelné. Za zmínění stojí vliv rozptýleného světla v místnosti. Je vidět jak důležitou roli hraje ve vertikální intenzitě osvětlení. I když měníme pozici svítidel, tak nám ve všech třech variantách zůstává prakticky stejné vertikální osvětlení. Jeho hodnotu jsem vzal jako hodnotící kritérium a vybral jsem proto první variantu pro body u oken, kde jsou hodnoty osvětlení nejvyšší. Ukázalo se tedy, že není možné v učebně 202 s danými svítidly dosáhnout příznivějších podmínek využitím odrazů nepřímého světla od stěn. Zvolil jsem tedy kompromis mezi variantami 1 a 2. Osovou vzdálenost jsem nastavil na 1,8m.

Rovnoměrné rozmístění po šířce místnosti Osová vzdálenost svítidel 2,12m		Bod 1	$E_h$	1791 lx
			$E_v$	803 lx
			UGR	10,3
		Bod 2	$E_h$	1254 lx
			$E_v$	917 lx
			UGR	11,5
		Bod 3 ⊕	$E_h$	855 lx
			$E_v$	811 lx
			UGR	12,3
		Bod 4 ⊕	$E_h$	1592 lx
			$E_v$	782 lx
			UGR	10,4

<sup>8</sup> Sledované parametry jsou: UGR, Horizontální a vertikální osvětlení

Svítlidla blíže ke středu místnosti Osová vzdálenost svítidel 1,45m		<b>Bod 1</b> ⊕	$E_h$	1854 lx
			$E_v$	803 lx
			UGR	10,3
		<b>Bod 2</b> ⊕	$E_h$	1311 lx
			$E_v$	918 lx
			UGR	11,8
		Bod 3	$E_h$	859 lx
			$E_v$	781 lx
			UGR	12,4
		Bod 4	$E_h$	1448 lx
			$E_v$	779 lx
			UGR	10,6

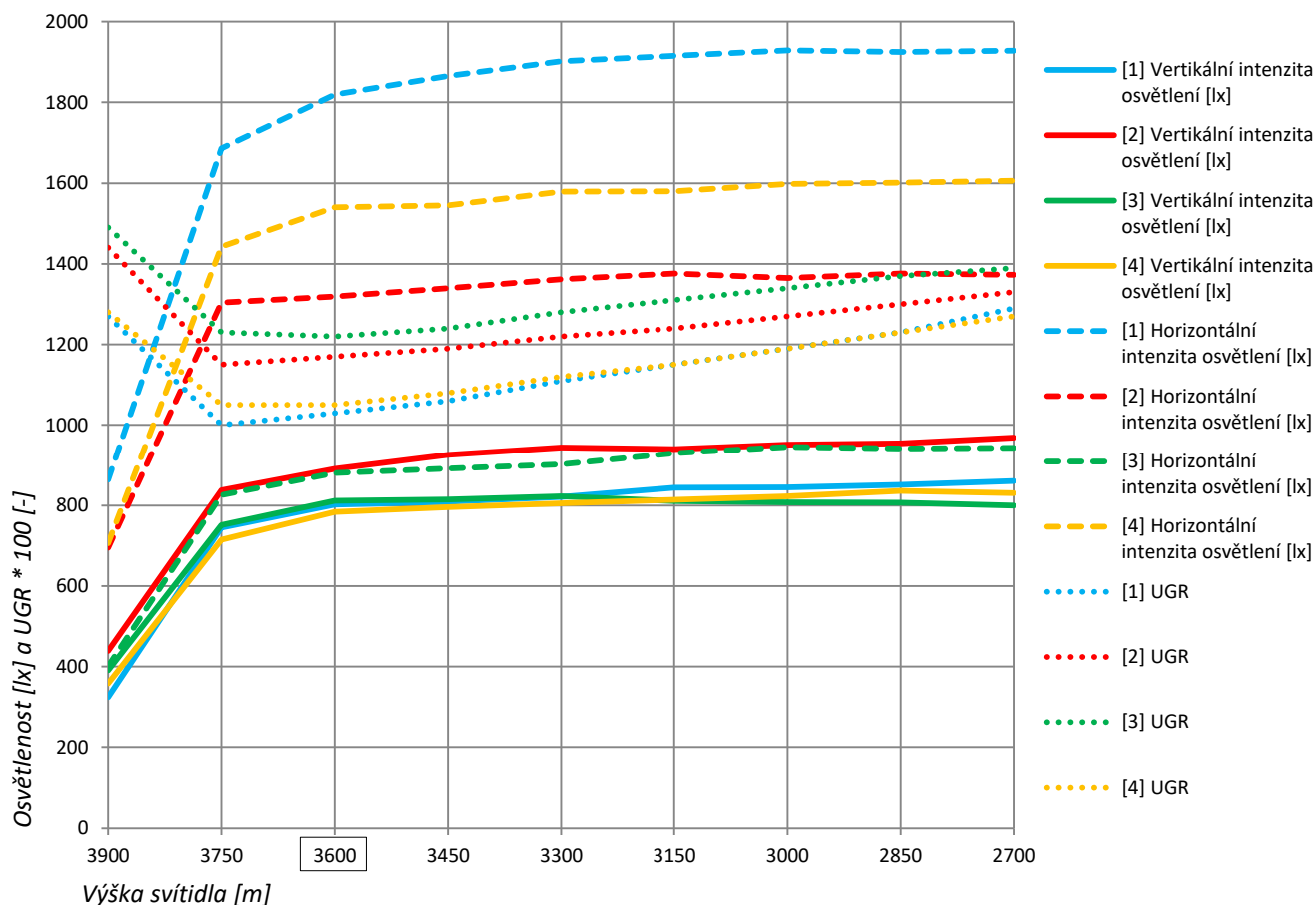
Svítlidla dále od středu místnosti Osová vzdálenost svítidel 2,52m		Bod 1	$E_h$	1836 lx
			$E_v$	785 lx
			UGR	10,3
		Bod 2	$E_h$	1248 lx
			$E_v$	876 lx
			UGR	11,6
		Bod 3	$E_h$	884 lx
			$E_v$	801 lx
			UGR	12,3
		Bod 4	$E_h$	1568 lx
			$E_v$	779 lx
			UGR	10,5

#### 4.5 Optimalizace rozvržení vzhledem k výškové pozici svítidel

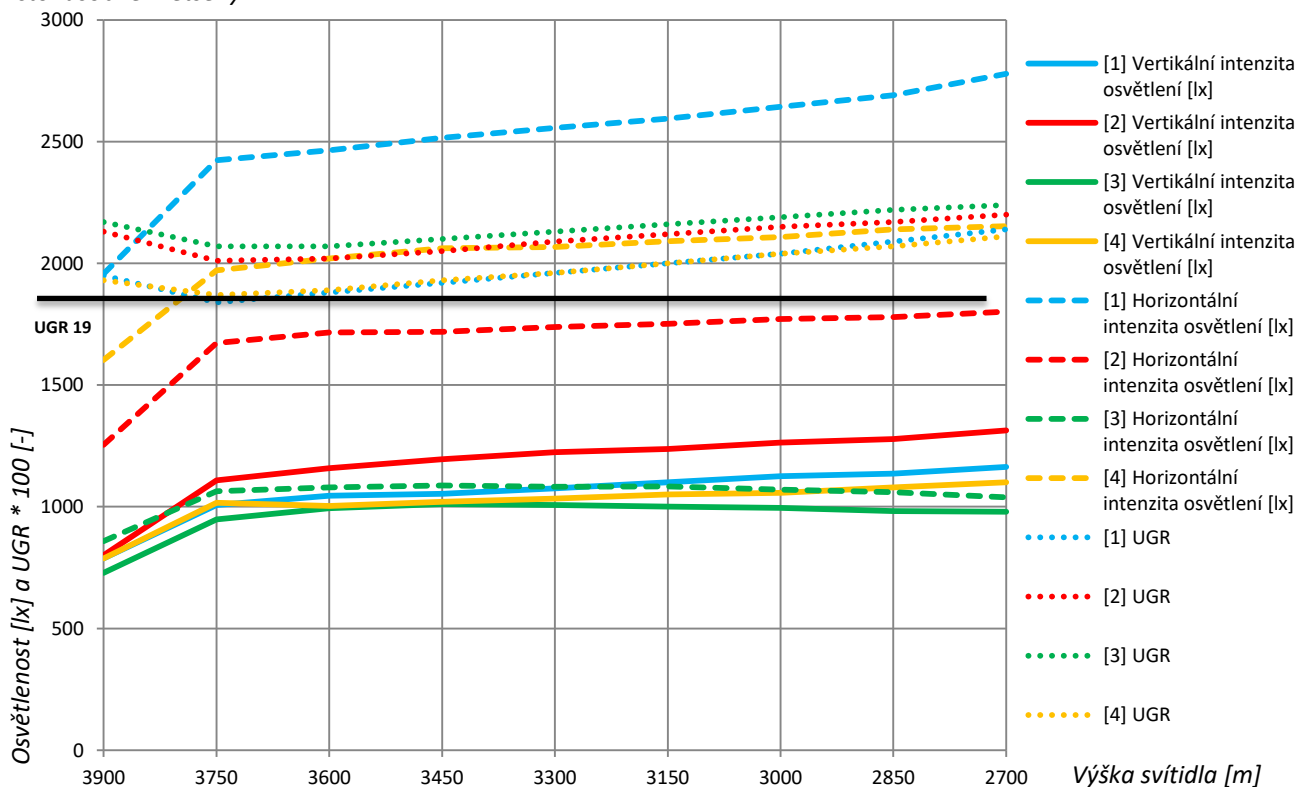
Určení optimální výšky svítidel je klíčovou částí návrhu. Při příliš krátké délce závěsů svítidel nám vzniká nepřímé oslnění od stropu z nepřímé složky svítidla. Naopak při osazení svítidel blíže ke studentům přiblížíme zdroj světla do jejich zorného pole a oslnujeme je přímou částí svítidla. Testoval jsem tedy svítidlo MEDD v intervalu výšky 3,9m – 2,7m. Pro komplexnější záběr jsem pro sledované body 1-4 (poloha bodů je identická s body z praktické části) zjišťoval hodnoty u tří parametrů:<sup>9</sup>

- Horizontální intenzitu osvětlení
- Vertikální intenzitu osvětlení
- Oslnění UGR

<sup>9</sup> Konkrétní hodnoty a zachycení nepravých barev je v příloze



Graf 1 Průběh osvětlení a oslnění svítidla MEDD v rozmezí výšek 3,9 – 2,7m. Hodnoty UGR jsou pro tento účel stonásobně zvětšeny.



Graf 2 Průběh osvětlení a oslnění svítidla EVA v rozmezí výšek 3,9 – 2,7m. Hodnoty UGR jsou pro tento účel stonásobně zvětšeny.



Jako ideální výška u svítidel MEDD se ukázala  $v = 3600\text{mm}$ , tedy závěsy o délce  $350\text{mm}$ . V případě typu EVA jsou výsledky výrazně horší. Prakticky všechny hodnoty oslnění se nacházejí nad normovou limitou UGR 19. Příčná složka svítidla je příliš silná a opálový difuzor nedokáže světlo dostatečně rozptýlit a zabránit oslnění. Řešením může být výměna zdrojů, kde by se zvýšil světelný tok horního zdroje a pro spodní by se snížil. Tím by se zachoval celkový příkon. Dále se může také využít lepšího difuzoru či vícevrstvý difuzor, ale klesá nám tím efektivita zdroje a tedy i ekonomická výhodnost.

Problém také nemusí nutně být způsoben přímo svítidlem, ale chybou DIALuxového modelu. Potřebný soubor ve formátu LTD obsahující křivku svítivosti je vytvořen pro  $0,5\text{m}$  svítidla. Při pouhém nakopírování 3 kusů za sebou se může svítidlo chovat jinak, než když je pouze jako jeden lineární kus. Řešením může být také snížení výkonu na svítidla v obou částech na 70%, čímž se dostaneme na přijatelné hodnoty. Není to však žádoucí a ekonomické řešení. Toto řešení znázorňuje následující obrázek.

EVA Výška svítidla 3600mm a účinnost 70%		Bod 1	$E_h$	1573 lx
			$E_v$	627 lx
			UGR	17,6
		Bod 2	$E_h$	1307 lx
			$E_v$	752 lx
			UGR	18,5
		Bod 3	$E_h$	879 lx
			$E_v$	699 lx
			UGR	18,8
		Bod 4	$E_h$	1293 lx
			$E_v$	607 lx
			UGR	17,6

Obr. 36 Hodnoty pro 70% výkon svítidla

#### 4.6 Interpretace výsledků z nově navržených svítidel.

Při rozvržení svítidel  $2 \times 3$  a přidání dvou svítidel pro osvětlení prostoru tabule je nejvýhodnější zvolit výšku osazení  $3,6\text{m}$ , tedy s délkou ocelových závěsů  $0,35\text{m}$ . Při těchto výškách získáme nejlepší poměr vertikálního a horizontálního osvětlení [lx]. Tyto dvě hodnoty jsou, v průměru ze 4 měřených bodů, k sobě vztaženy poměrem  $0,6:1$ . Tedy vertikální osvětlení dosahuje 60% horizontálního, což je velice dobré. Ve všech případech se přitom vertikální osvětlenost drží nad normovým požadavkem pro horizontální osvětlenost ve třídách ( $500\text{lx}$ ).

Je zde patrný rozdíl mezi horizontálním osvětlením bodu 1,2 a bodu 3,4<sup>10</sup>. Díky difúznímu světlu se rozdíly vertikální osvětlenosti prakticky eliminují. Za pomoci nepřímé části světla se tedy vyrovná hladina pro všechny studenty na srovnatelnou úroveň.

<sup>10</sup> Rozdíl je pravděpodobně způsoben tím, že u bodu 1,2 se nacházejí studenti u stěn, které mají odrazivost ploch kolem 70%, zatímco 3,4 jsou studenti u oken o velikosti  $5,1\text{m}^2$  ( $1,75 \times 2,9\text{m}$ ). Sklo na rozdíl od stěn odrazí jen minimální množství světla, proto zde jsou hodnoty nižší.

Postupným zmenšováním podílu přímého osvětlení můžeme dosáhnout až úrovně oslnění menší než 10. Přitom získáváme stále normově dostatečné osvětlení na rovině stolů i na tabuli. Z toho vyplývá, že je možné osvětlovat třídy i pouze nepřímým světlem. Z výše zmíněných důvodů úplné absence stínů a tím ztráty hloubky prostoru bych však osvětlení pouhým nepřímým světlem nedoporučil.

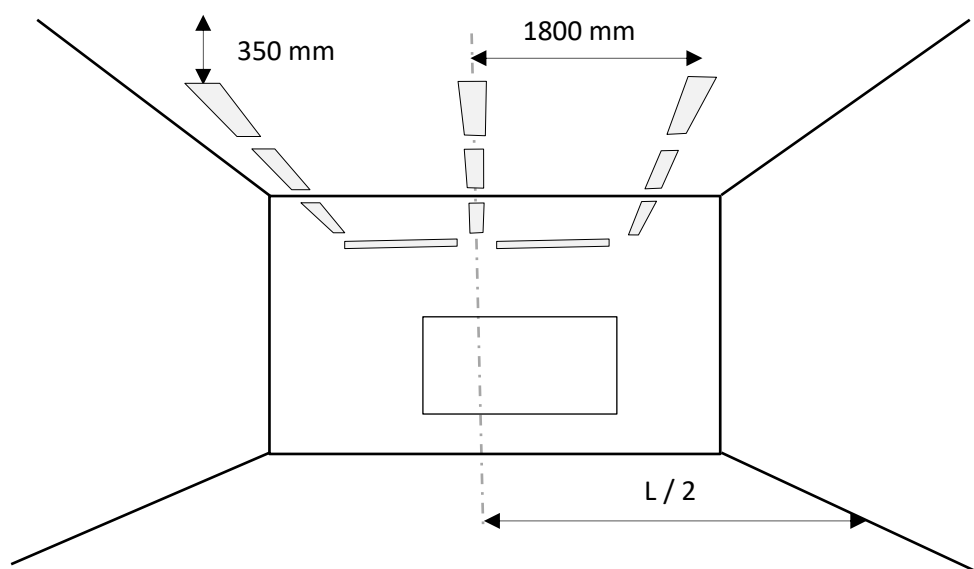
BOD 1	Výška svítidla [mm]										
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
[1] Horizontální intenzita osvětlení [lx]	1791	1757	1721	1691	1658	1624	1598	1560	1525	1491	1467
[1] Vertikální intenzita osvětlení [lx]	795	781	766	754	740	726	718	700	684	670	661
[1] UGR	10,5	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
BOD 2	Výška svítidla [mm]										
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
[2] Horizontální intenzita osvětlení [lx]	1303	1281	1257	1237	1215	1193	1172	1150	1127	1105	1090
[2] Vertikální intenzita osvětlení [lx]	873	857	840	825	810	794	779	763	746	730	718
[2] UGR	11,9	11,2	10,4	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
BOD 3	Výška svítidla [mm]										
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
[3] Horizontální intenzita osvětlení [lx]	858	844	830	818	805	791	779	766	751	738	728
[3] Vertikální intenzita osvětlení [lx]	775	762	748	736	723	710	698	686	672	659	654
[3] UGR	12,4	11,7	10,9	10,0	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
BOD 4	Výška svítidla [mm]										
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
[4] Horizontální intenzita osvětlení [lx]	1515	1488	1459	1434	1407	1381	1355	1332	1300	1273	1252
[4] Vertikální intenzita osvětlení [lx]	778	754	750	738	724	711	699	690	671	658	648
[4] UGR	10,7	10,0	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10

Tabulka 15 Postupné snižování intenzity přímého osvětlení o 10% do úplného vypnutí a zjištění tím jeho vlivu na celkovou osvětlenost.

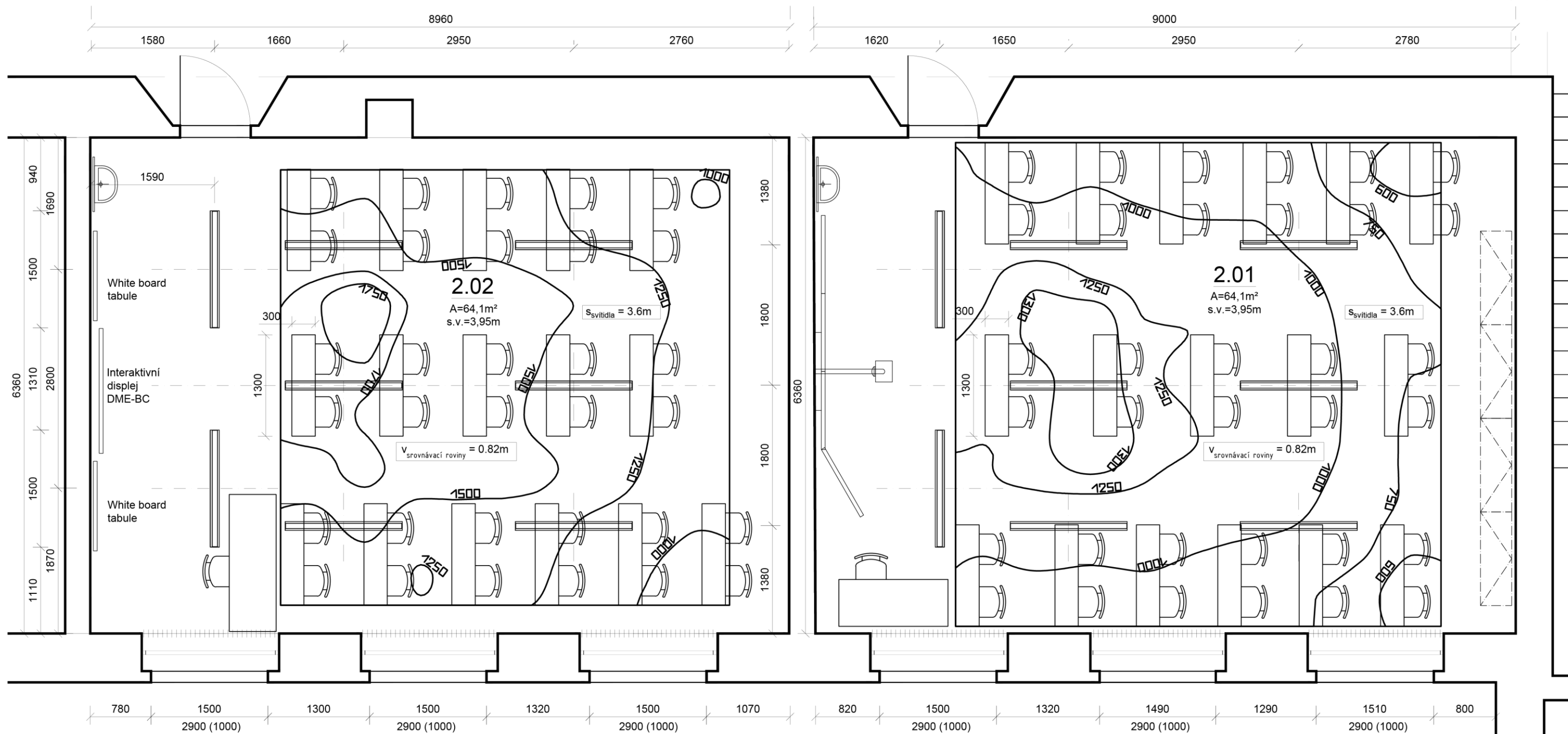
Z obsahu této práce, z výsledků měření i z výsledků virtuálního modelu vyplývá potřeba začlenit nepřímé osvětlení do osvětlení školních tříd. Pro úplnost tedy v následujících větách shrnuji argumentaci pro tuto tezi. Z důvodu střídání zrakového úkolu mezi lavicí a čtením na tabuli je potřeba mít horizontální a vertikální hodnotu osvětlení nejlépe totožné. Aby nevznikalo nechtěné stínění rukou při psaní studentů, i kantorů je nutné získat odražené difúzní světlo. Pro možné snížení přímého podílu svítidel, aby od nich nebyli žáci oslňováni, se musí nahradit ztracená přímá část částí nepřímou. Tyto fakta vedou k jasné potřebě začít využívat nepřímé osvětlení z umělých zdrojů!

#### 4.7 Výsledné rozložení a projektová dokumentace

Dokumentace je zhotovena pro svítidlo typu MEDD v následujícím rozložení



Obr. 37 Schéma výsledného rozložení svítidel v prostoru učebny



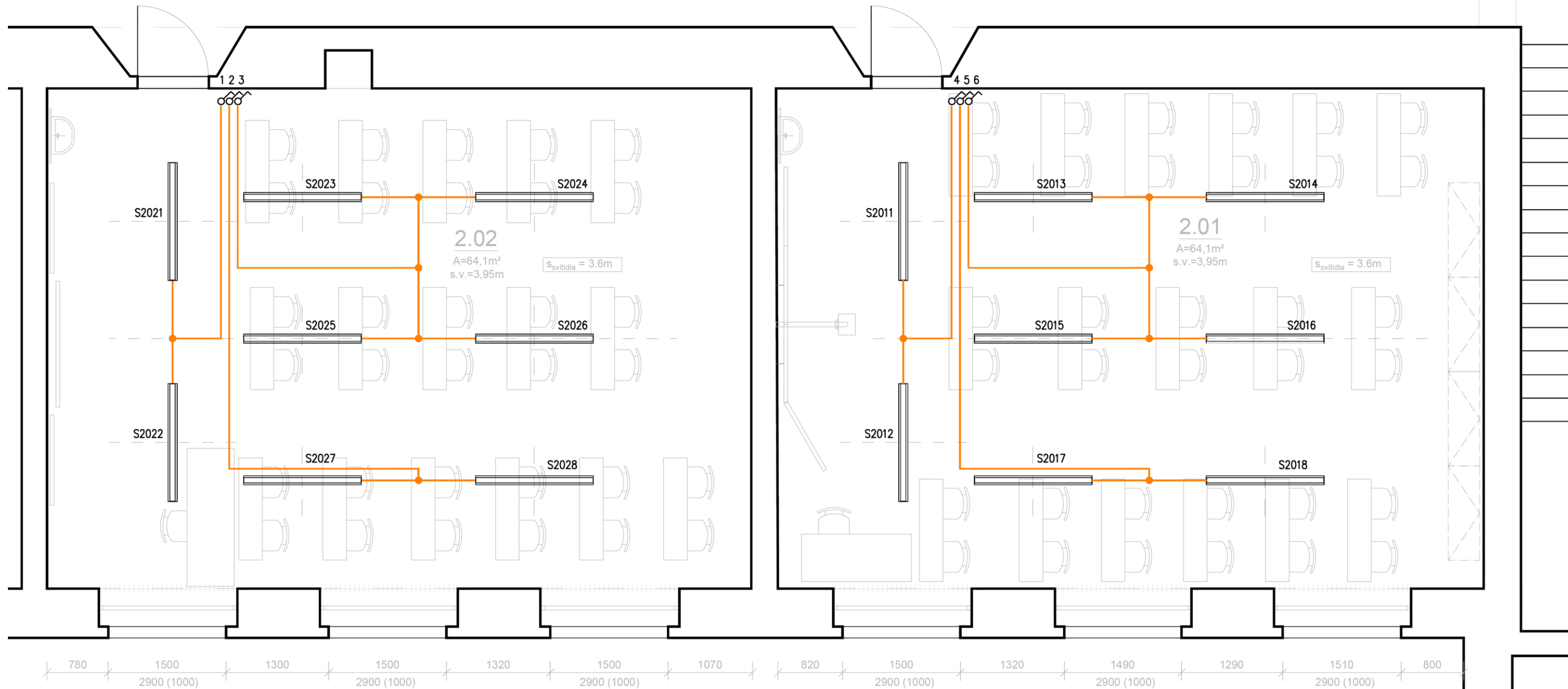
	Jméno místnosti	Parametr	Min	Max	Průměr
1	201	Svislá intenzita osvětlení	515 lx	1357 lx	1021 lx
2	202	Svislá intenzita osvětlení	919 lx	1796 lx	1399 lx

Kusovník svítidel								
Výrobce	Označení	Teplota chromatičnosti	CRI	Osazení	Světelný tok	Činitel údržby	Instalovaný příkon	Počet
Artemide	MEDD	CCT 4000K	96	2xLED	16943 lm	0.80	170 W	16

Svítidlo MEDD dl. 1,5m  
 Dolů 2 242 lm  
 Nahoru 14 693 lm

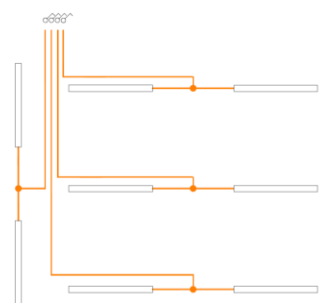


NÁZEV AKCE <b>Výkres osvětlenosti učeben</b>		
PŘEDMĚT <b>DIPLOMOVÁ PRÁCE GULZ</b>		
KONZULTANT Ing. arch. Lenka Maierová, PhD.	VYPRACOVAV JAN MARX	Orientace 
DATUM 19.10.2018		číslo výkresu 2
		číslo výkresu M 1:50

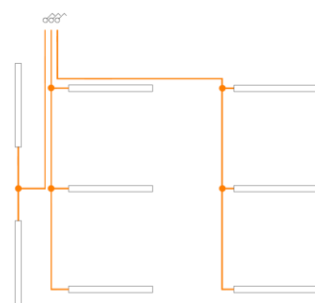


- ① S 2021, S2022
- ② S 2027, S2028
- ③ S 2023, S2024, S2025, S2026
- ④ S 2011, S2012
- ⑤ S 2017, S2018
- ⑥ S 2013, S2014, S2015, S2016

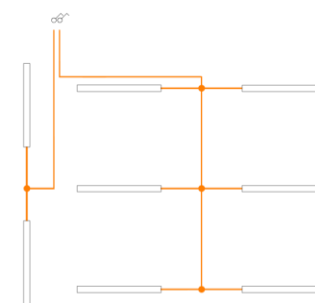
Alternativní možnost 1  
Vhodné



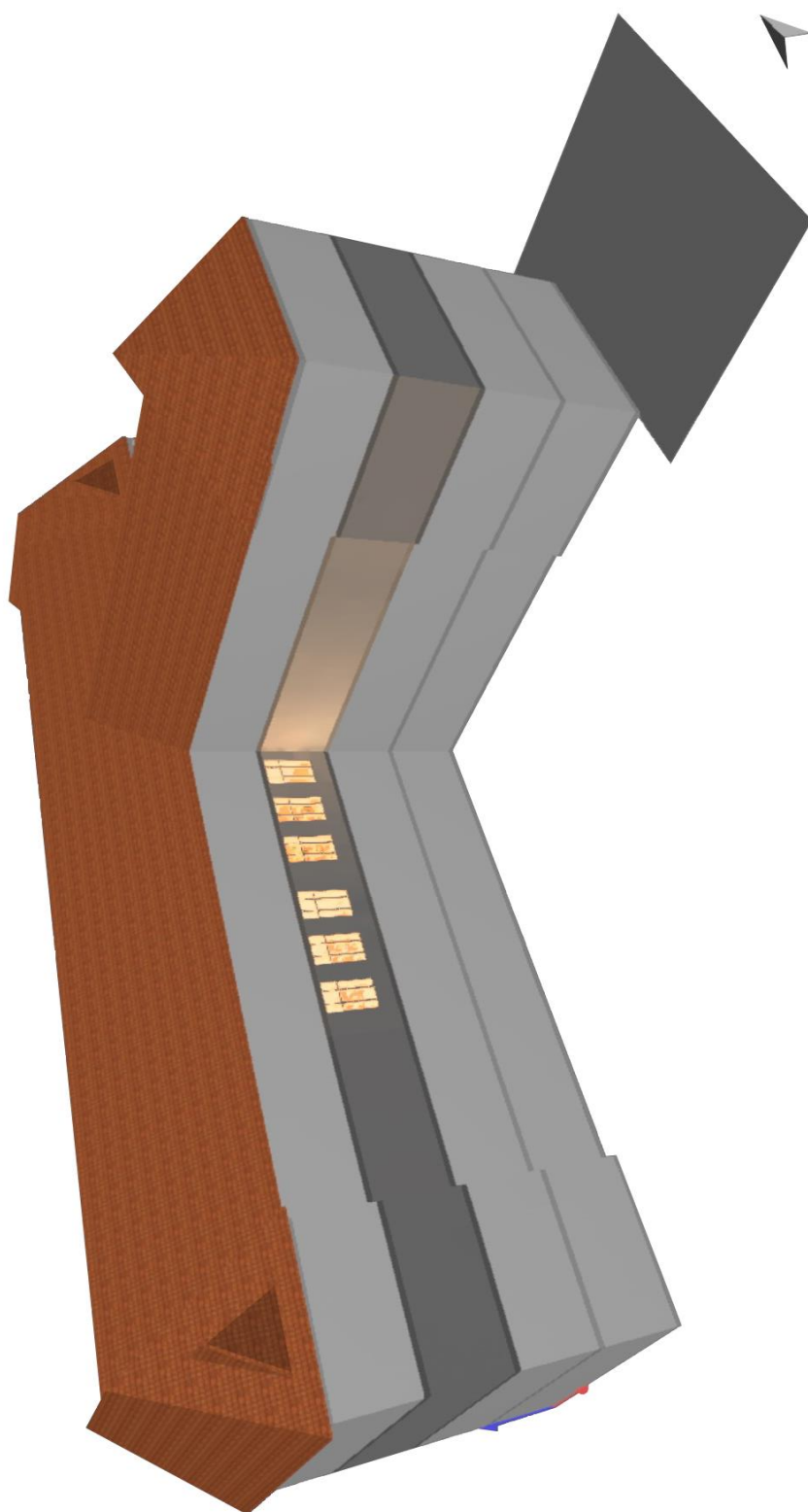
Alternativní možnost 2  
Nevhodné



Alternativní možnost 3  
Méně vhodné

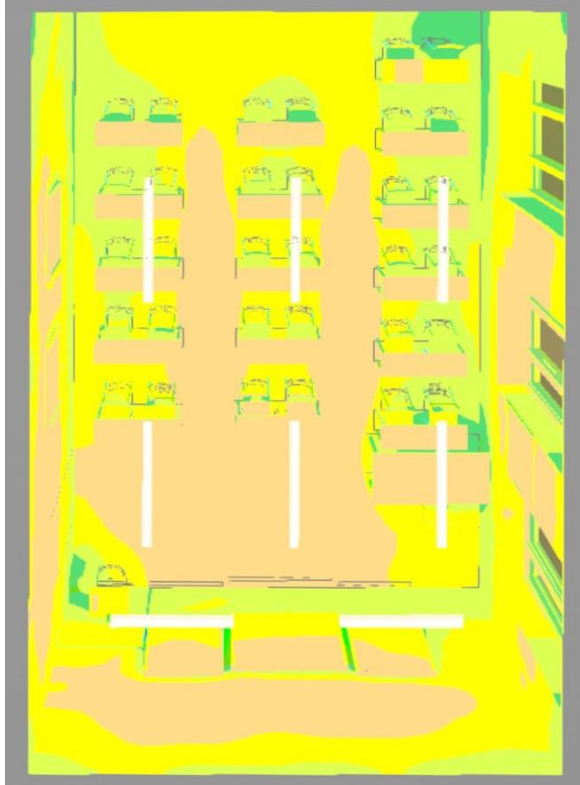
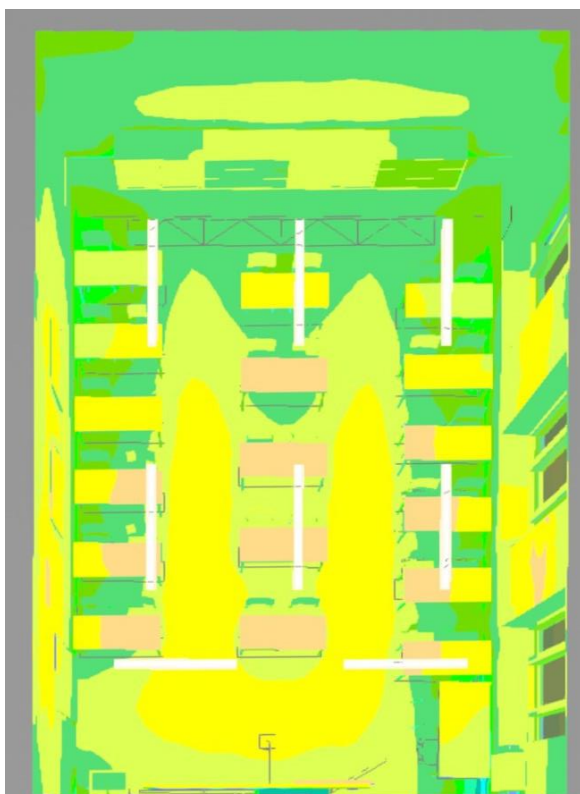


NÁZEV AKCE	<b>Půdorys zapojení svítidel</b>		
PŘEDMĚT	DIPLOMOVÁ PRÁCE GULZ		
KONZULTANT	Ing. arch. Lenka Maierová, Ph.D.	VYPRACOVAL	JAN MARX
Datum		19.10.2018	
Číslo výkresu		3	
Měřítko		M 1:50	

















## 5 Závěr

Práce ukazuje nový způsob řešení osvětlení školních tříd pomocí nepřímého osvětlení. Přesvědčivě dokládá výhody i úskalí, na které je potřeba si při návrhu osvětlení školních tříd dávat pozor. Praktická část obsahuje měření, které ověřuje kvalitu současných jasových poměrů v konkrétní učebně. Výsledky se v určitých částech pohybují na hranici normy, nicméně stav světelného prostředí v učebně v tomto konkrétním případě není kritický. Z těchto měření je následně dobře patrné, že zvýšením celkové osvětlenosti se vyhýbáme hned několika potenciálním problémům. Těmi jsou rovnoměrnost osvětlení, oslnění, odrazy na tabuli či tvrdost stínů.

Z tohoto faktu vychází, že ve školách je zapotřebí velké množství nepřímého světla. Vhodné je tedy využít kombinaci přímo-nepřímého osvětlení. Umístění svítidla musí být takové, aby přímá ani nepřímá složka nesvítila přímo do očí studentů a tím je neoslňovala. V návrhové části se tedy zaměřuji na nalezení ideální polohy, počtu a výšky osazení konkrétních svítidel.

U zdrojů svítidel se s ohledem na dnešní trend LED zdrojů musí dávat pozor na levné varianty, které nevyzařují plnospektrální světlo obsahující všechny vlnové délky. Chceme, aby náš zdroj byl co nejpodobnější ve svém spektru dennímu světlu.

V mém konkrétním případě, pomocí digitálního modelu, jsem našel pro svítidlo s poměrem přímého a nepřímého podílu světla výšku zavěšení 3600mm, čili 350mm od stropu. Rovnoměrně rozložené řady svítidel jsou zapojeny do dvou okruhů. Třetí okruh osvětluje prostor tabule. Každý okruh má možnost regulace zvláště přímé a nepřímé složky.

Možnosti rozšíření této práce jsou v dalším průzkumu, který se zabývá stavem osvětlení na základních a středních školách. Důležité je zjistit ideální poměr mezi přímým a nepřímým podílem vyzařování svítidla pro jeho ekonomické využití, ale bez snížení získaného komfortu. Pro část výzkumu je důležité získat zpětnou vazbu od studentů, jako uživatelů prostoru. Dále je vhodné vytvořit ukázkovou učebnu. Průzkumem mezi studenty a kantory následně podložit či vyvrátit důležitost a vliv nepřímého podílu umělého osvětlení ve školách.

## Conclusion

The work provides a new look on school classroom lighting in which indirect light sources are used. It convincingly illustrates the advantages and pitfalls that you need to be aware of when creating the design. The practical part contains measurements that verify the quality of the current luminance ratios in a particular classroom. The results are in some cases at the limit of the standard. However, the state of the lighting environment in the classroom is not critical for this particular case. From these measurements, it is clear that by increasing the overall illumination, several problems are avoided. Those problems are uniformity of illumination, glare, reflections on the board, and shadow intensity.

This suggests that a large amount of indirect light is needed in schools. It is therefore appropriate to use a combination of direct-indirect lighting. The placement of the luminaire must be such that the direct or indirect component does not emit light directly into the eyes of the students and therefore does not blind them. Hence in the design part, I aim to find the ideal position, number, and height of installation of specific luminaires. Taking into account the current trend of LED sources, we must pay attention to cheap alternatives that do not emit full spectrum of wavelengths. We want our source to be as similar as possible the daylight spectrum.

Using a digital model, I find the height of suspension to be 3600mm or 350mm from the ceiling for the case of the luminaire with a direct and indirect ratio of light. Luminaires are evenly distributed and connected to two circuits. The third circuit illuminates the board area. Each circuit has the option to control the direct and indirect part of the light.

The possibilities of expanding this work are in further research that focuses on the state of illumination at elementary and secondary schools. It is important to find out the ideal ratio between direct and indirect radiant emissions for economic use, but without reducing comfort. For part of the research it is important to receive feedback from students as they are the users of the space. It is also appropriate to construct a classroom used for demonstration of the light environment. By interviewing students and teachers the importance and influence of the indirect share of artificial illumination in schools can be therefore supported or disproved.

## 7 Zdroje

### 7.1 Literatura:

- [1] ČSN EN 12464-1 až 2, Osvětlení pracovních prostor.
- [2] Jiří Habel a kolektiv, Světlo a osvětlování, FCC Public 2013. ISBN 978-80-86534-21-3
- [3] Peter R. Boyce, Human Factors in Lighting, third edition, CRC Press 2014, ISBN 9781439874882
- [4] Wonwoo Kim, Hyunjoo Han, and Jeong Tai Kim. The position index of a glare source at the borderline between comfort and discomfort (BCD) in the whole visual field. Building and Environment, 44(5): ISBN 1017–1023, 2009.
- [5] Jiří Kaňka, Jiřina Weiglová, Stavební fyzika 10 - Denní osvětlení a oslunění budov, rok vydání 2005, pův. 1999, ČVUT, ISBN 80-01-03127-6
- [6] Mandana Sarey Khanie, Human responsive daylighting in offices a gaze-driven approach for dynamic discomfort glare assessment, jury by Prof. Michel Bierlaire, Prof. Marilyne Andersen, Dr. - ing. Jan Wienold, Prof. Christoph Schierz, Dr. Martine Knoop, Prof. Wolfgang Einhäuser, Prof. Sabine Süssstrunk, École polytechnique fédérale de lausanne, 2015, (Disertation project)
- [7] Národní příloha ČSN EN 12464-1
- [8] Škoda J., SumecS., Baxant, P., Lux Europa 2013 Proceedings, Position index in disformt glare calculation, strana 755-760, ISBN 978-83-910849-6-0
- [9] Škoda, J. Sumec, S. Baxant, P. Motyčka, M. , VI IEEE Lighting Conference of the Visegrad Countries LUMEN V4 – Proceedings, Influence of background luminance on UGR result, strana 32-35, ISBN 978-1-5090-3304-1
- [10] Škoda, J. Baxant, P. , Kurz osvětlovací techniky XXVIII, Měření polohy pomocí digitální fotografie, strana 179-185, ISBN 978-80-248-2087-3
- [11] Sumec, S. Škoda, J. Krbal, M. Baxant, P. , Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Evaluation of illumination using digital photography, strana 1208-1215, ISBN 978-3-902842-44-2
- [12] Baxant, P. Škoda, J. Sumec, S. , Sborník recenzovaných příspěvků Kurz osvětlovací techniky XXXII, Kontrastní analýza ve světelné technice, strana 49-58, ISBN 978-80-248-3969-1

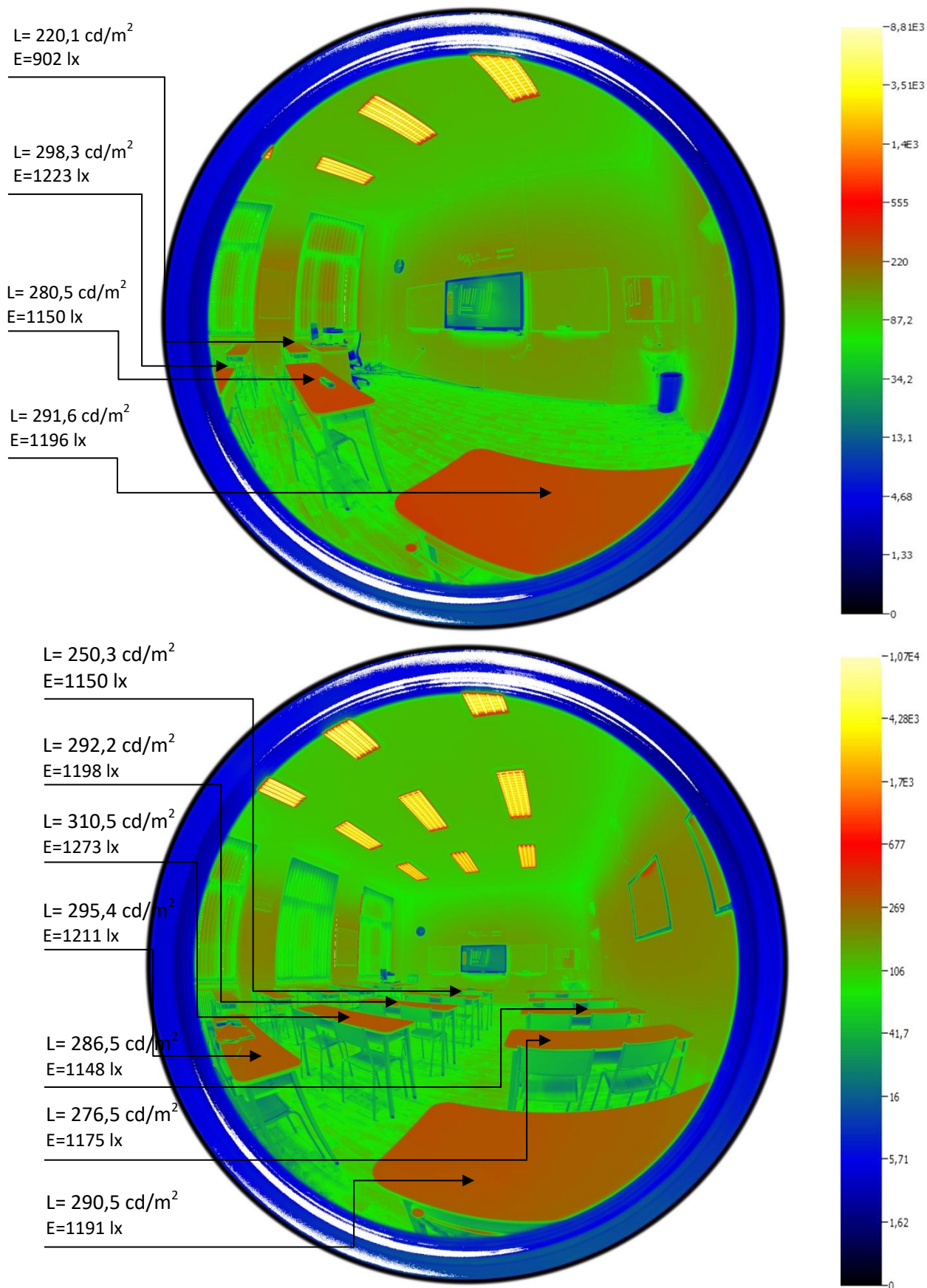
### 7.2 Internetové zdroje:

- [13] Encyklopedie BOZP ([http://ebozp.vubp.cz/wiki/index.php/Kritick%C3%BD\\_detail](http://ebozp.vubp.cz/wiki/index.php/Kritick%C3%BD_detail)); převzato ze zdroje MALÝ, Stanislav; KRÁL, Miroslav; HANÁKOVÁ, Eva. ABC ergonomie. 1. vyd. Praha : Professional Publishing, 2010. 386 s. ISBN 978-80-7431-027-0.
- [14] <https://usecontrast.com/guide>

## 8 Přílohy

<i>Příloha 1 HRD snímek pro kalkulaci osvětlení na rovině stolů. Výpočet využívá stejné odrazivosti a jednoho změřeného bodu luxmetrem [Rovnice 7]. Místnost 202 se světelným rozložením 100AL ONL v bodě 1 a 2. ....</i>	<i>- 67 -</i>
<i>Příloha 2 HRD snímek pro kalkulaci osvětlení na rovině stolů. Výpočet využívá stejné odrazivosti a jednoho změřeného bodu luxmetrem [Rovnice 7]. Místnost 202 se světelným rozložením 100AL ONL v bodě 3 a 4. ....</i>	<i>- 68 -</i>
<i>Příloha 3 Jasové řezy HRD snímků. Graf řezu ukazuje poměr mezi jednotlivými jasy. Horní řez dokazuje nadměrný jas z odrazu na lavici. Spodní snímek znázorňuje přechod na jas okna. Místnost 202 se světelným rozložením OAL 100NL v bodě 1. ....</i>	<i>- 69 -</i>
<i>Příloha 4 Jasové řezy HRD snímků. Graf řezu ukazuje poměr mezi jednotlivými jasy. Horní řez dokazuje nadměrný jas z odrazu na lavici. Spodní snímek znázorňuje přechod na jas okna. Místnost 202 se světelným rozložením OAL 100NL v bodě 2. ....</i>	<i>- 70 -</i>
<i>Příloha 5 Jasové řezy HRD snímků. Graf řezu ukazuje poměr mezi jednotlivými jasy. Horní řez dokazuje nadměrný jas z odrazu na lavici. Spodní snímek znázorňuje přechod z jasnější obrazovky na okolní tmavé plochy. Místnost 202 se světelným rozložením OAL 100NL v bodě 2 a 4. ....</i>	<i>- 71 -</i>
<i>Příloha 6 Jasové řezy HRD snímků. Graf řezu ukazuje poměr mezi jednotlivými jasy. Oba řezy ukazují oslňující jas od zdrojů osvětlení. Místnost 202 se světelným rozložením 100AL ONL v bodě 4. ....</i>	<i>- 72 -</i>
<i>Příloha 7 Jasové poměry v bodě 1. Blízké okolí zrakového úkolu je narušeno nadměrným jasem z odrazu na lavici. Místnost 202 se světelným rozložením OAL 100NL v bodě 1. ....</i>	<i>- 73 -</i>
<i>Příloha 8 Jasové poměry v bodě 2. Blízké okolí zrakového úkolu je narušeno nadměrným jasem z odrazu na lavici. Místnost 202 se světelným rozložením OAL 100NL v bodě 2. ....</i>	<i>- 74 -</i>
<i>Příloha 9 Jasové poměry v bodě 4. Nedělá zrakovému úkolu žádný problém. ....</i>	<i>- 75 -</i>
<i>Příloha 10 HRD snímky bodu 1. ....</i>	<i>- 76 -</i>
<i>Příloha 11 HRD snímky bodu 2. ....</i>	<i>- 77 -</i>
<i>Příloha 12 HRD snímky bodu 3. ....</i>	<i>- 78 -</i>
<i>Příloha 13 HRD snímky bodu 4 – bílá tabule. ....</i>	<i>- 79 -</i>
<i>Příloha 14 HRD snímky bodu 4 – černá tabule ....</i>	<i>- 80 -</i>
<i>Příloha 15 HRD snímky bodu 1. ....</i>	<i>- 81 -</i>
<i>Příloha 16 HRD snímky bodu 2. ....</i>	<i>- 82 -</i>
<i>Příloha 17 HRD snímky bodu 3. ....</i>	<i>- 83 -</i>
<i>Příloha 18 HRD snímky bodu 4. ....</i>	<i>- 84 -</i>
<i>Příloha 19 Hledání ideální výšky zavěšení svítidel MEDD v rozmezí 3900 – 3600 mm.....</i>	<i>- 85 -</i>
<i>Příloha 20 Hledání ideální výšky zavěšení svítidel MEDD v rozmezí 3450 – 3150 mm.....</i>	<i>- 86 -</i>
<i>Příloha 21 Hledání ideální výšky zavěšení svítidel MEDD v rozmezí 3000 – 2700 mm.....</i>	<i>- 87 -</i>
<i>Příloha 22 Hledání ideální výšky zavěšení svítidel EVA v rozmezí 3900 – 3600 mm .....</i>	<i>- 88 -</i>
<i>Příloha 22 Hledání ideální výšky zavěšení svítidel EVA v rozmezí 3450 – 3150 mm .....</i>	<i>- 89 -</i>
<i>Příloha 22 Hledání ideální výšky zavěšení svítidel EVA v rozmezí 3000 – 2700 mm .....</i>	<i>- 90 -</i>
<i>Příloha 22 Profil svítidla MEDD, jeho směry a úhly vyzařování .....</i>	<i>- 93 -</i>





Příloha 1 HRD snímek pro kalkulaci osvětlení na rovině stolů. Výpočet využívá stejné odrazivosti a jednoho změřeného bodu luxmetrem [Rovnice 7]. Místnost 202 se světelným rozložením 100AL ONL v bodě 1 a 2.

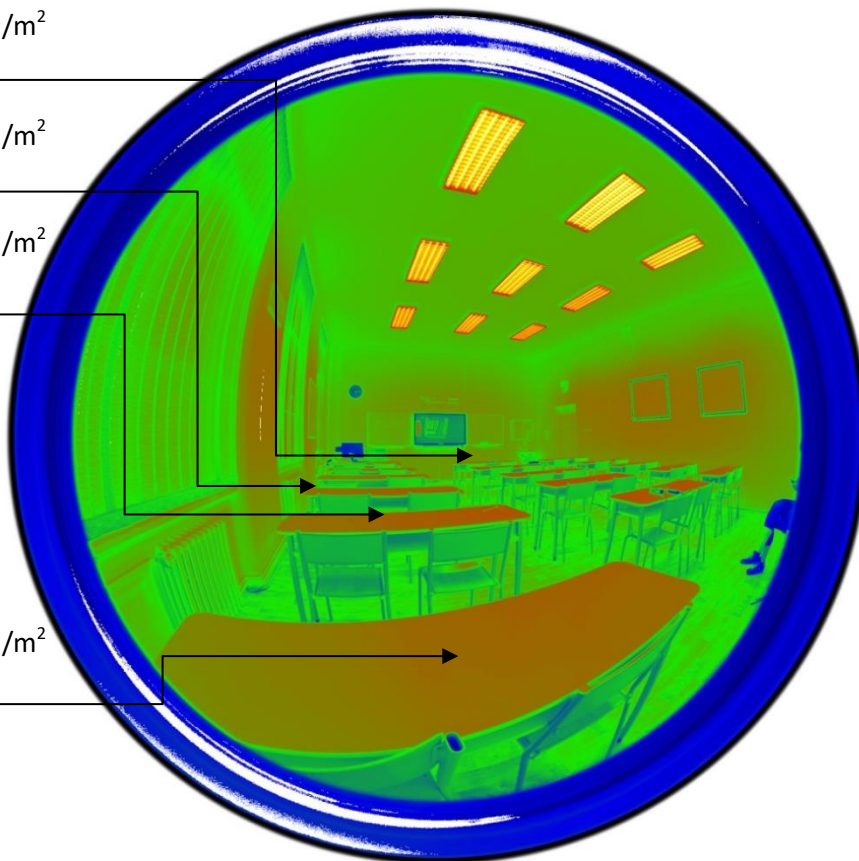


L= 228,5 cd/m<sup>2</sup>  
E=1150 lx

L= 203,6 cd/m<sup>2</sup>  
E=835 lx

L= 218,1 cd/m<sup>2</sup>  
E=895 lx

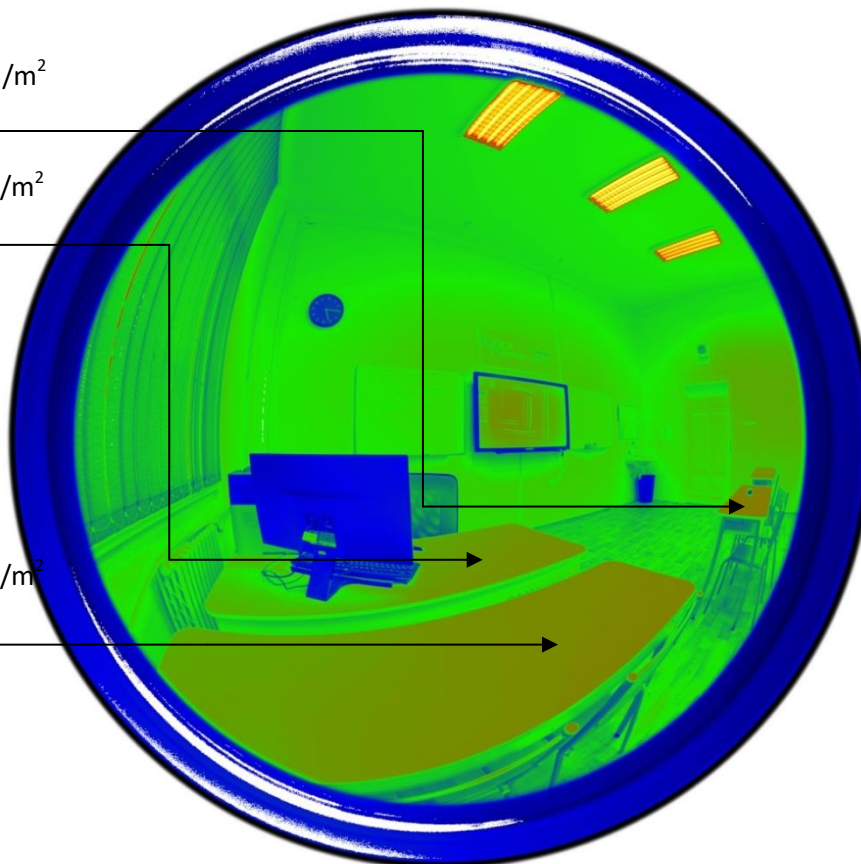
L= 206,5 cd/m<sup>2</sup>  
E=847 lx



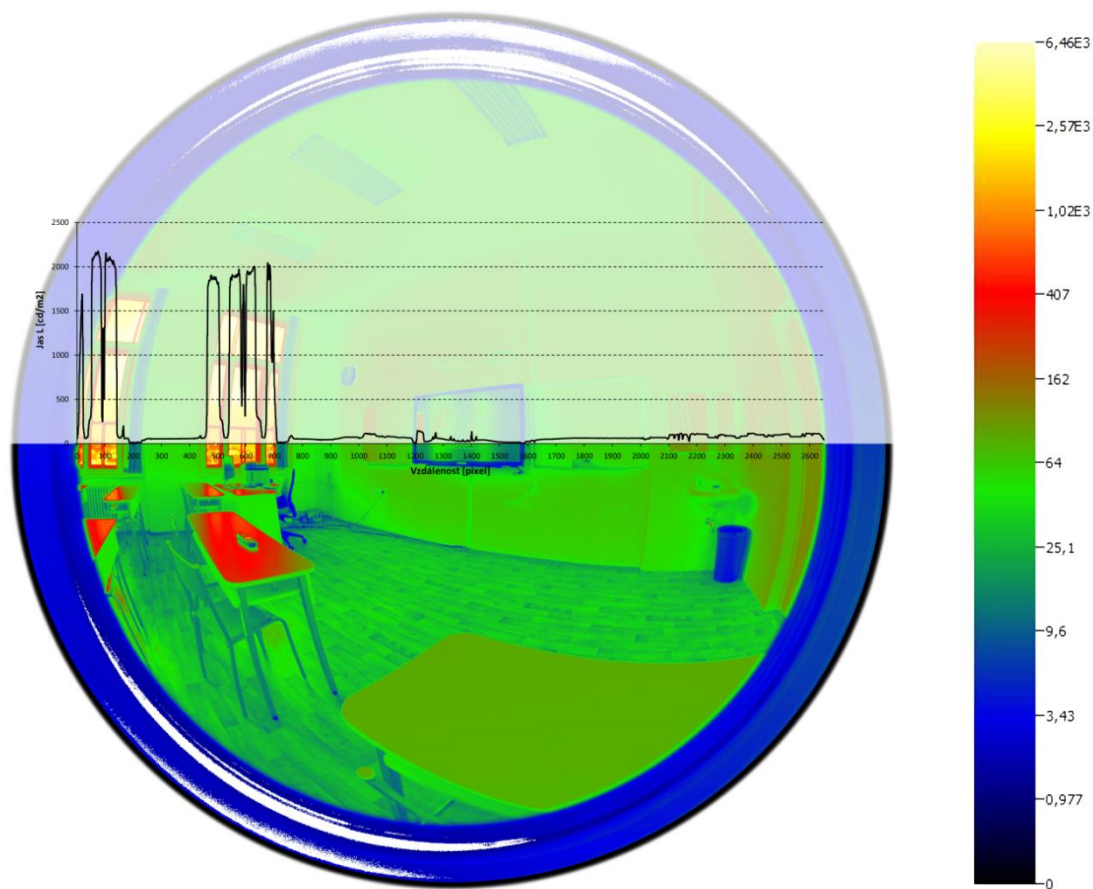
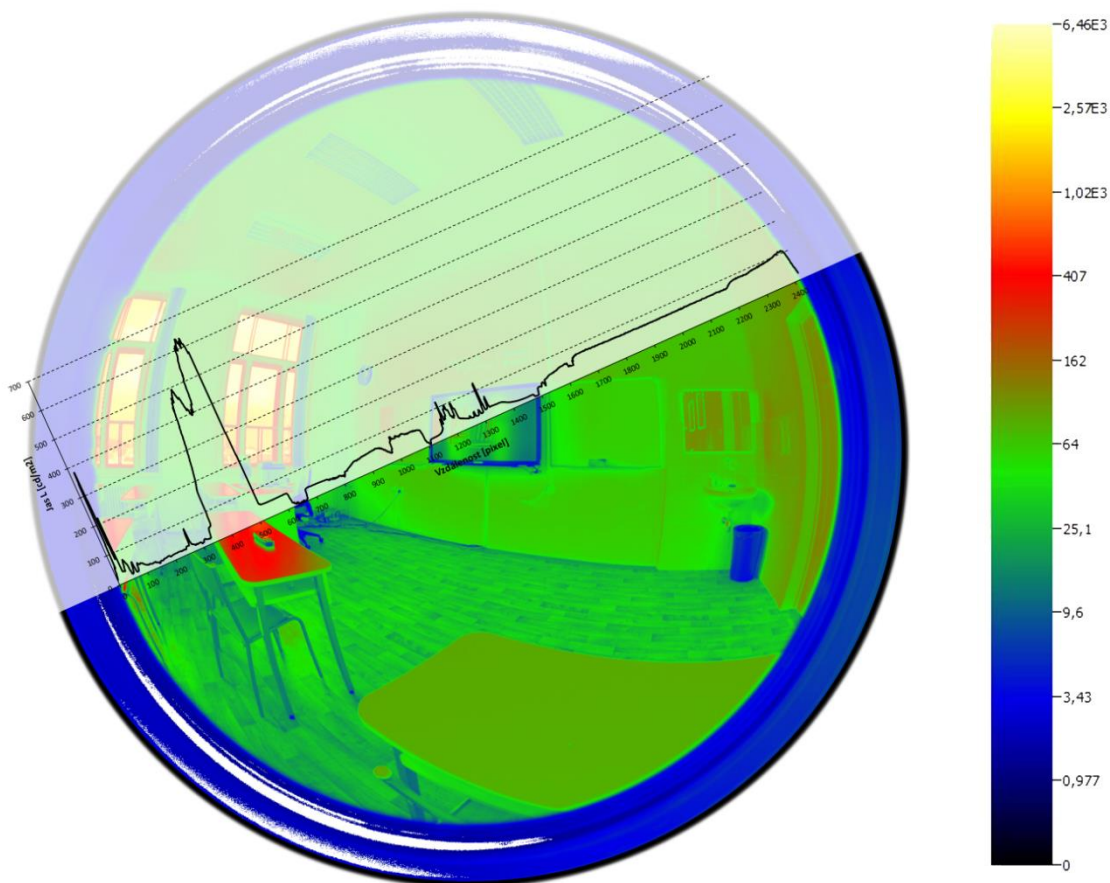
L= 277,5 cd/m<sup>2</sup>  
E=1150 lx

L= 222,5 cd/m<sup>2</sup>  
E= 912.2 lx

L= 249,5 cd/m<sup>2</sup>  
E=1023 lx

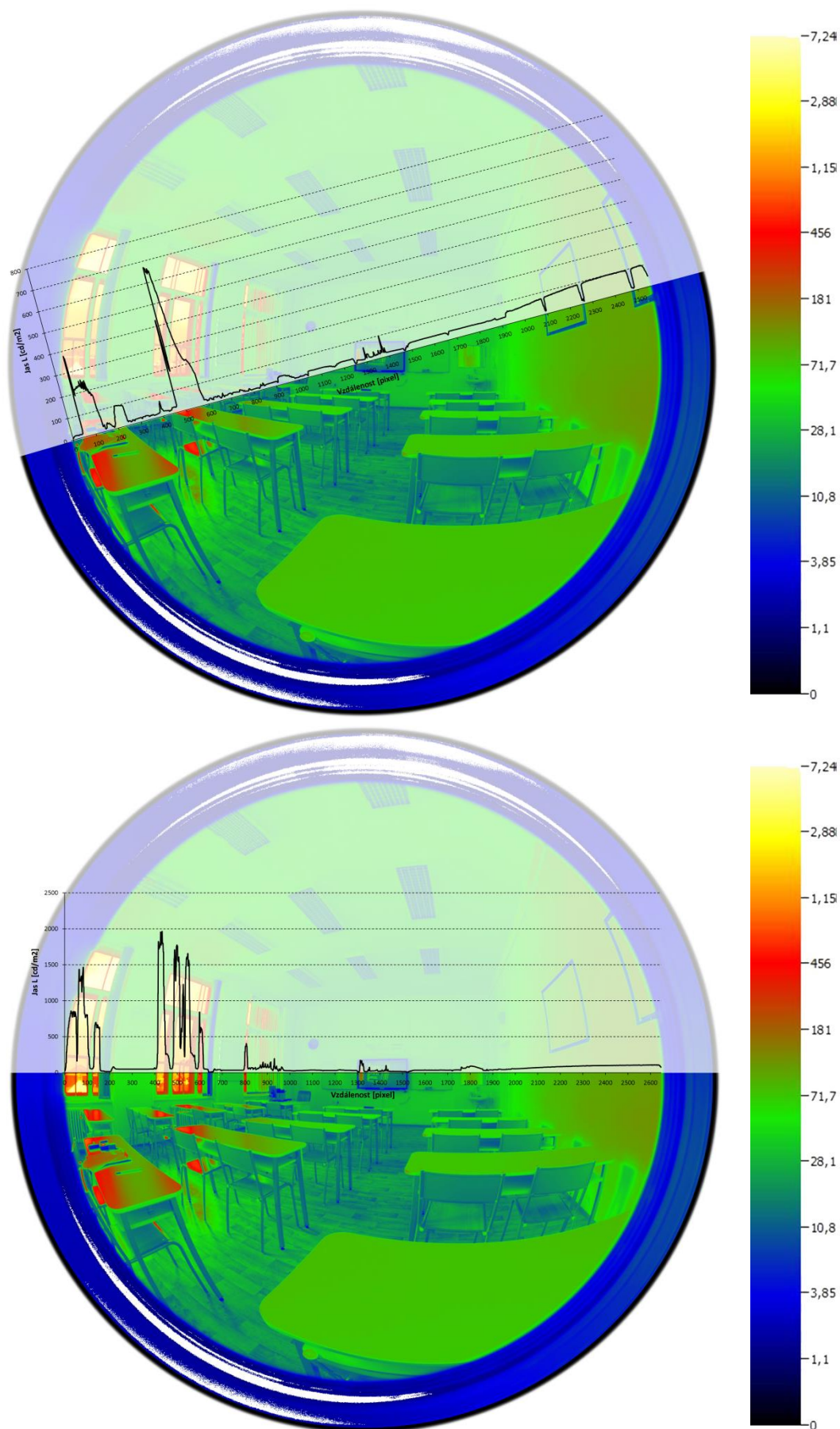


Příloha 2 HRD snímek pro kalkulaci osvětlení na rovině stolů. Výpočet využívá stejné odrazivosti a jednoho změřeného bodu luxmetrem [Rovnice 7]. Místnost 202 se světelným rozložením 100AL ONL v bodě 3 a 4.

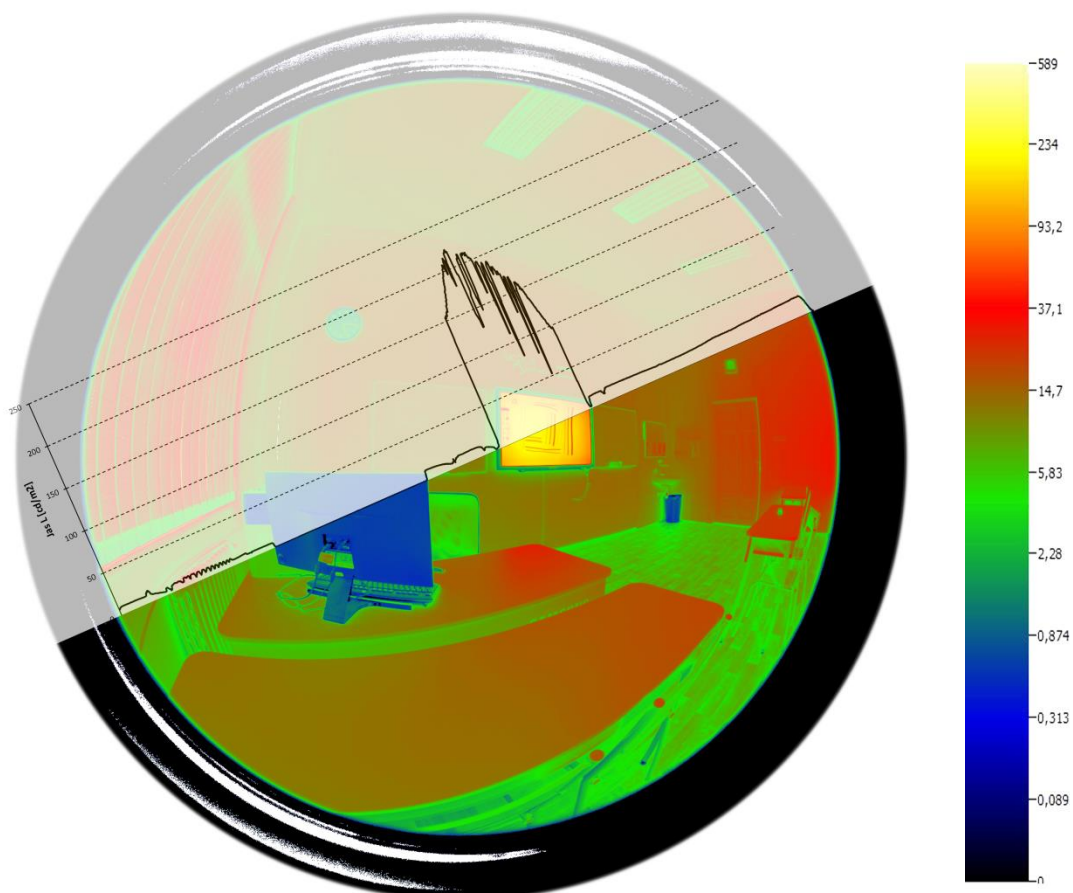
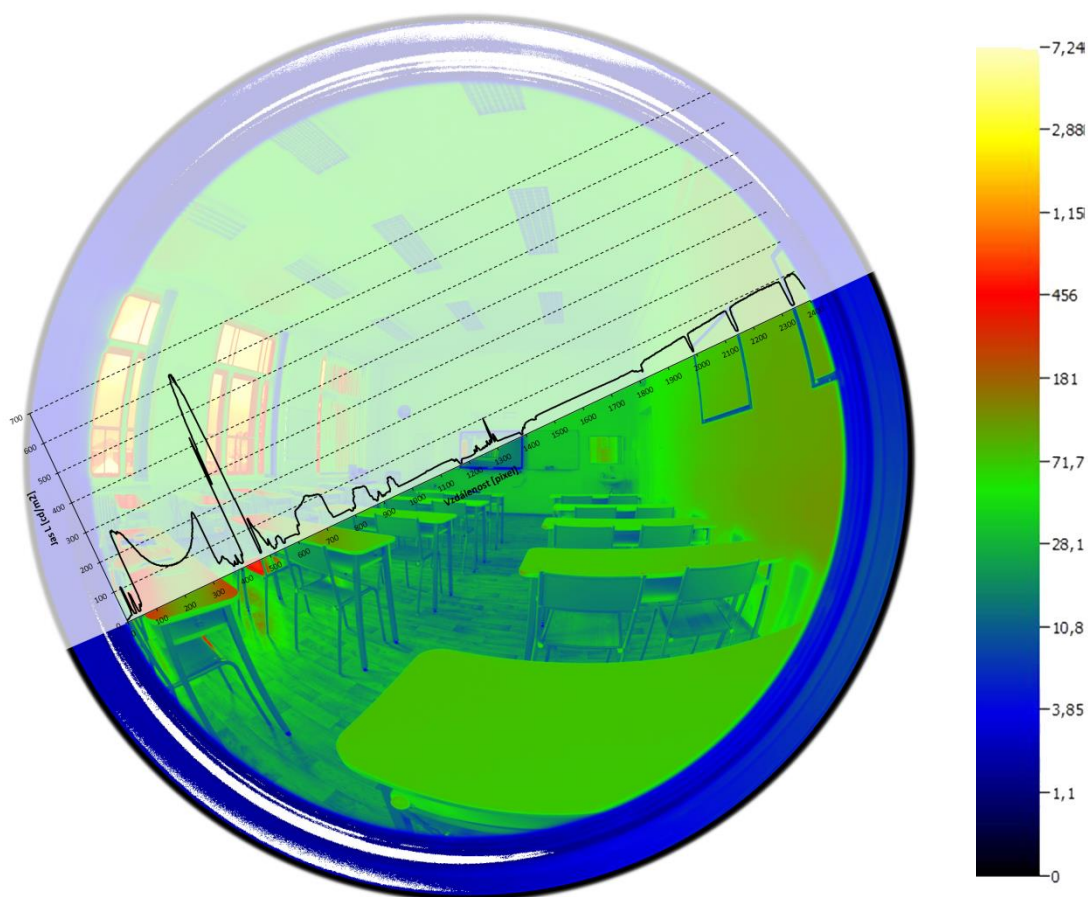


Příloha 3 Jasové řezy HRD snímků. Graf řezu ukazuje poměr mezi jednotlivými jasy. Horní řez dokazuje nadměrný jas z odrazu na lavici. Spodní snímek znázorňuje přechod na jas okna. Místnost 202 se světelným rozložením OAL 100NL v bodě 1.



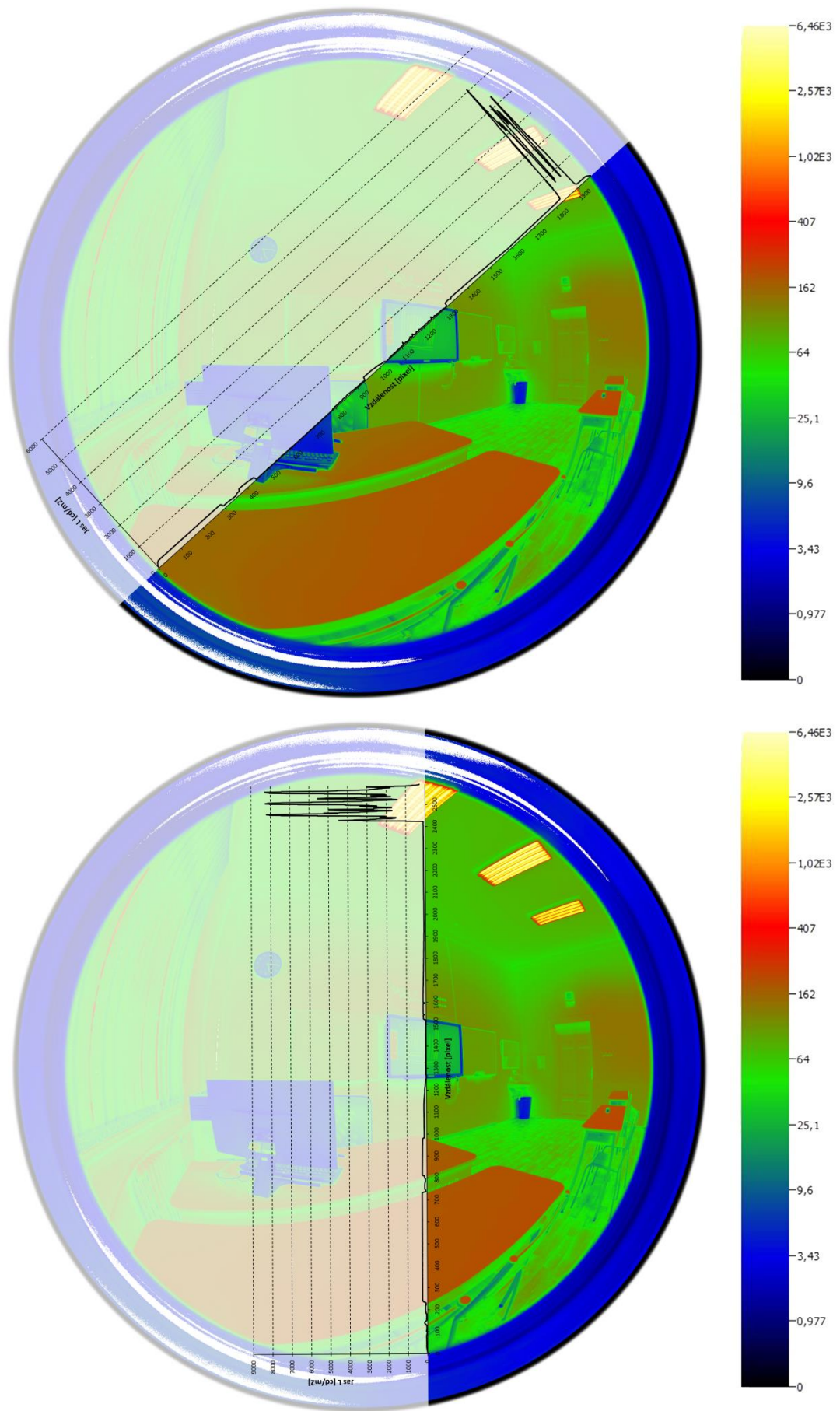


Příloha 4 Jasové řezy HRD sníků. Graf řezu ukazuje poměr mezi jednotlivými jasy. Horní řez dokazuje nadměrný jas z odrazu na lavici. Spodní snímek znázorňuje přechod na jas okna. Místnost 202 se světelným rozložením OAL 100NL v bodě 2.

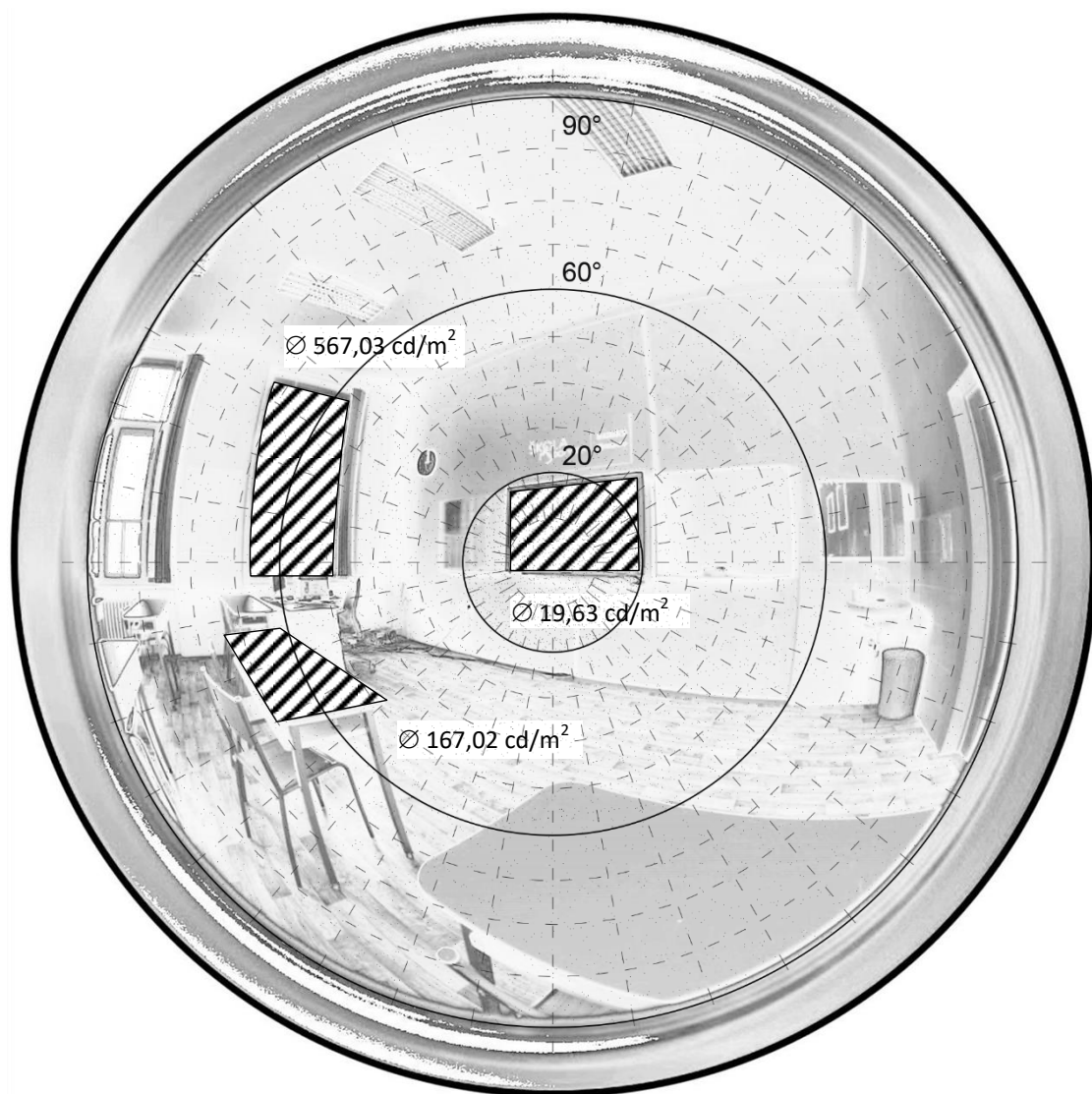


Příloha 5 Jasové řezy HRD sníků. Graf řezu ukazuje poměr mezi jednotlivými jasy. Horní řez dokazuje nadměrný jas z odrazu na lavici. Spodní snímek znázorňuje přechod z jasnější obrazovky na okolní tmavé plochy. Místnost 202 se světelným rozložením OAL 100NL v bodě 2 a 4.

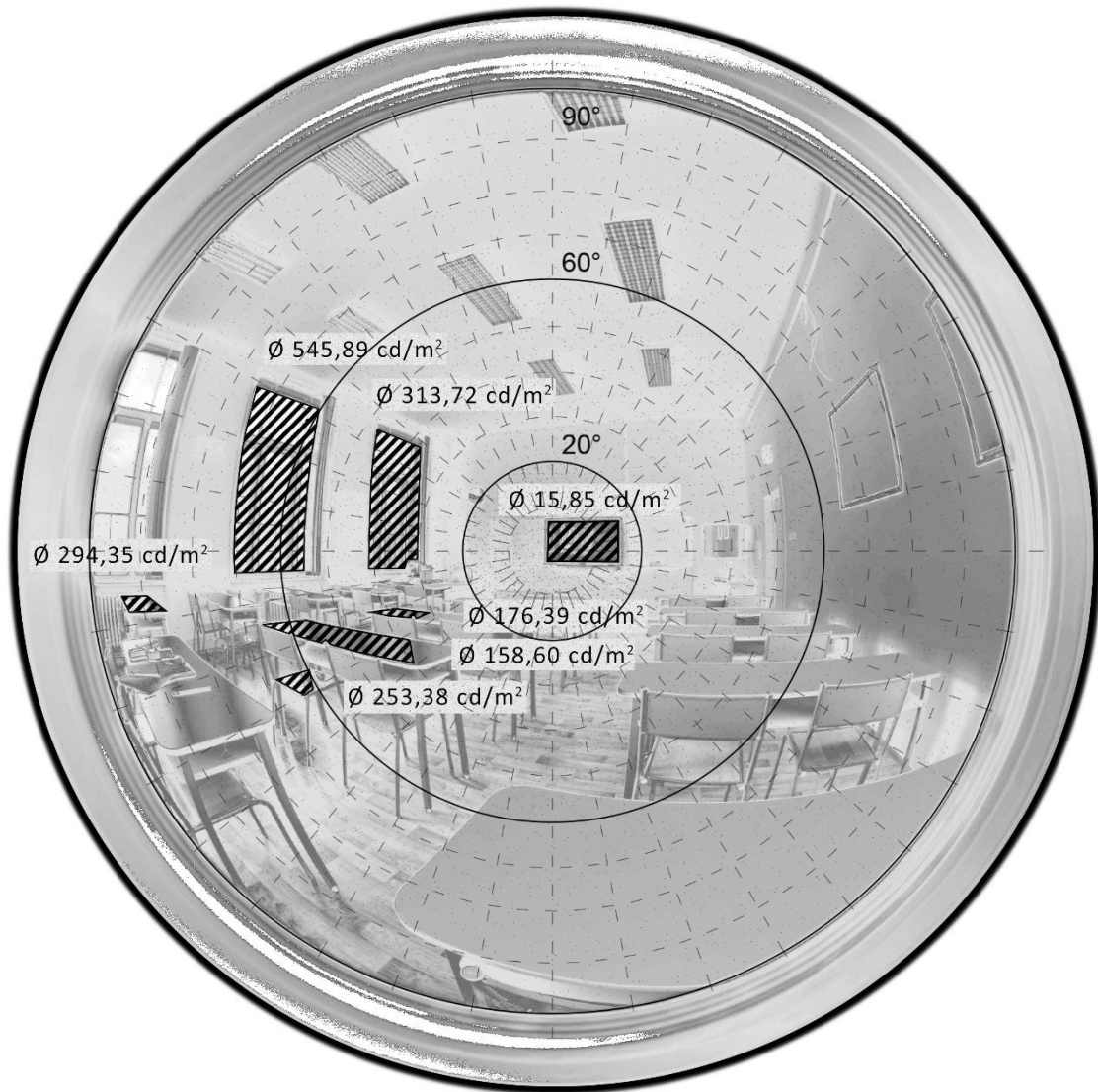




Příloha 6 Jasové řezy HRD sníků. Graf řezu ukazuje poměr mezi jednotlivými jasy. Oba řezy ukazují oslňující jas od zdrojů osvětlení. Místnost 202 se světelným rozložením 100AL ONL v bodě 4.

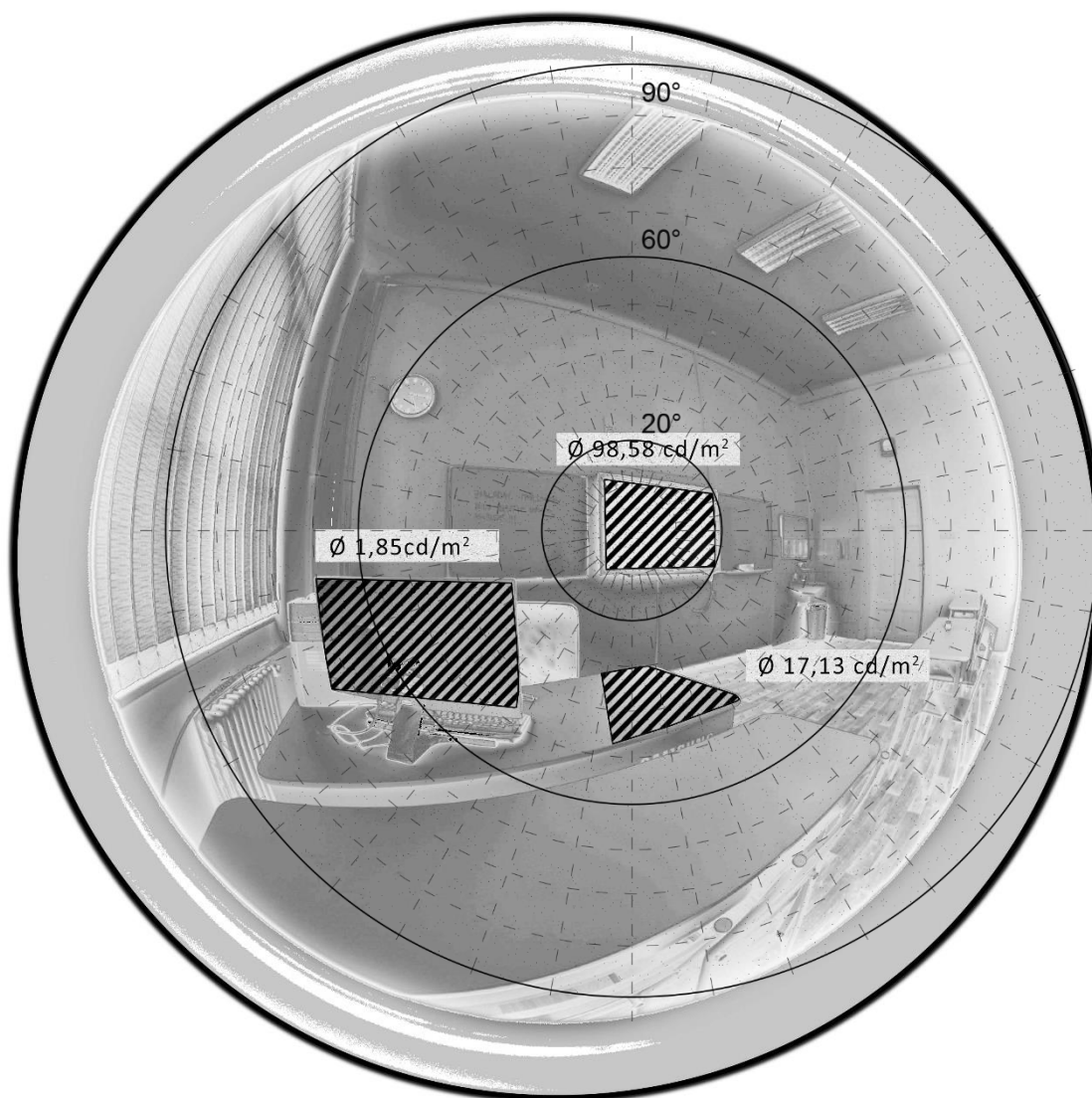


Příloha 7 Jasové poměry v bodě 1. Blízké okolí zrakového úhlu je narušeno nadměrným jasem z odrazu na lavici. Místnost 202 se světelným rozložením OAL 100NL v bodě 1.



*Příloha 8 Jasové poměry v bodě 2. Blízké okolí zrakového úkolu je narušeno nadměrným jasem z odrazu na lavici. Místnost 202 se světelným rozložením DAL 100NL v bodě 2.*



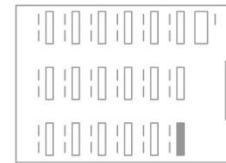


Příloha 9 Jasové poměry v bodě 4. Nedělá zrakovému úkolu žádný problém.

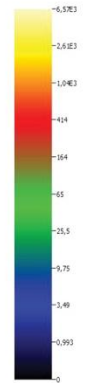
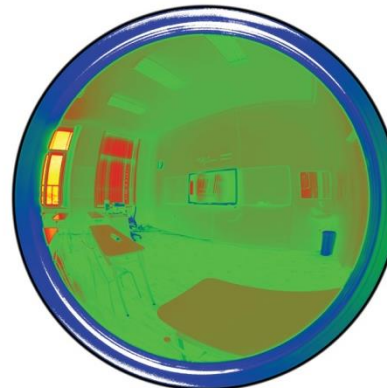


BOD 1

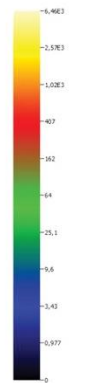
Výsledky jasové analýzy GULZ  
Místnost 202



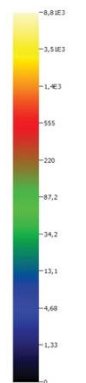
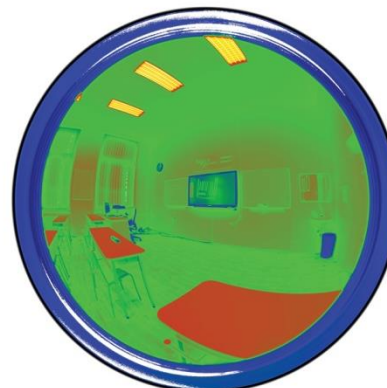
- SCÉNA 0AL 60NL
- UGR 14,2



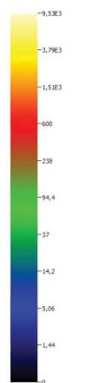
- SCÉNA 0AL 100NL
- UGR 21,8



- SCÉNA 100AL 0NL
- UGR 11,0

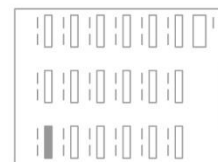


- SCÉNA 100AL 100NL
- UGR 18,7

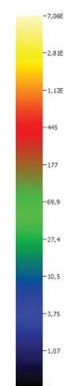


BOD 2

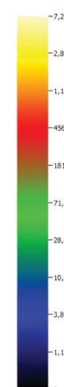
## Výsledky jasové analýzy GULZ Místnost 202



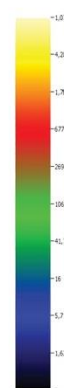
- SCÉNA 0AL 60NL
- UGR 19,8



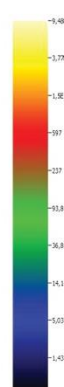
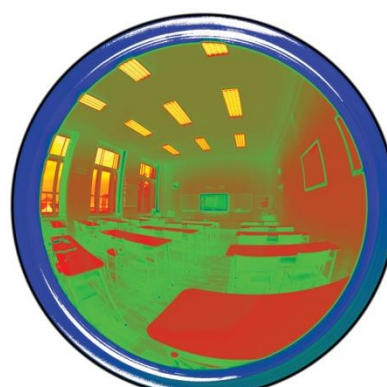
- SCÉNA 0AL 100NL
- UGR 19,6



- SCÉNA 100AL 0NL
- UGR 16,5



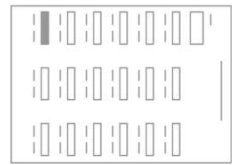
- SCÉNA 100AL 100NL
- UGR 17,3



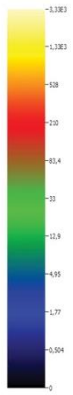
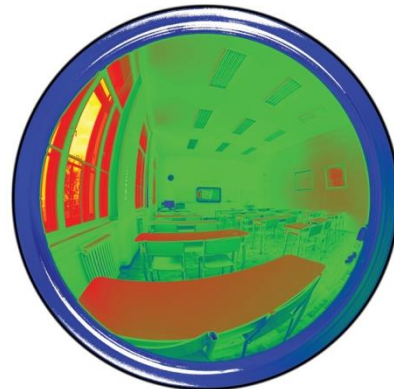


BOD 3

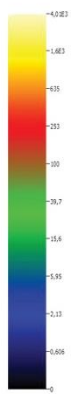
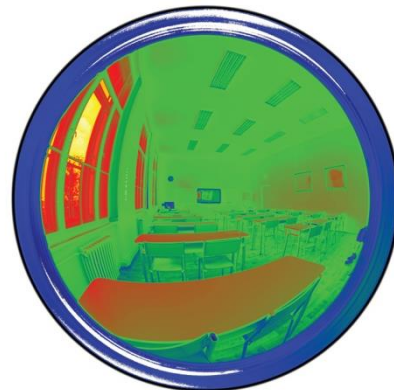
Výsledky jasové analýzy GULZ  
Místnost 202



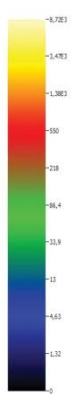
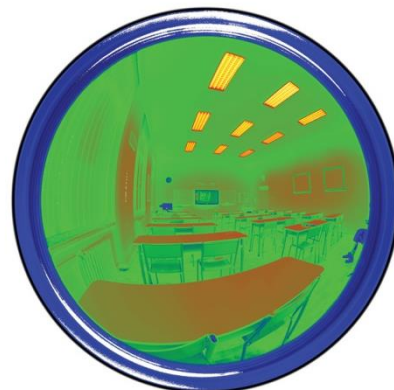
- SCÉNA 0AL 60NL
- UGR 12,1



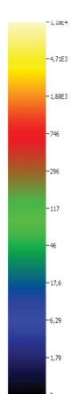
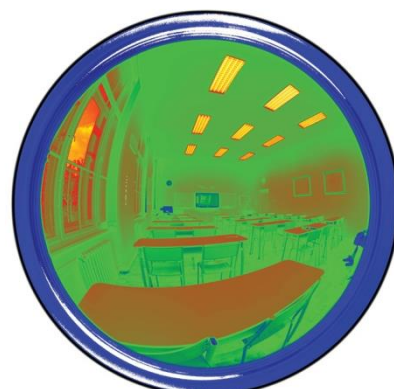
- SCÉNA 0AL 100NL
- UGR 12,1



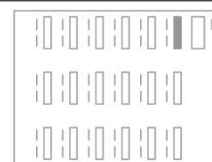
- SCÉNA 100AL 0NL
- UGR 14,8



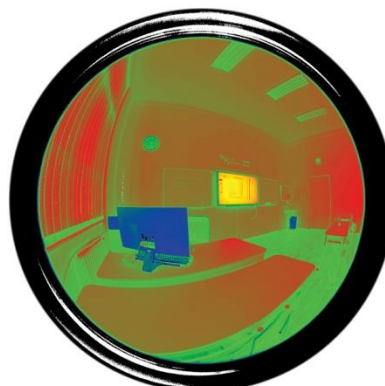
- SCÉNA 100AL 100NL
- UGR 16,2



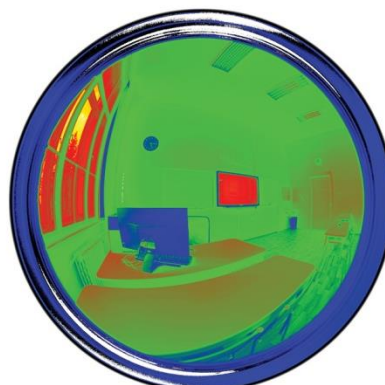
BOD 4 \_ Bílá tabule

Výsledky jasové analýzy GULZ  
Místnost 202

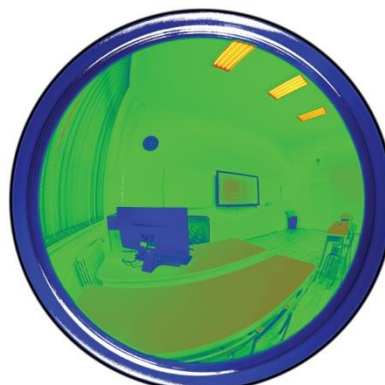
- SCÉNA 0AL 60NL
- UGR 10,0



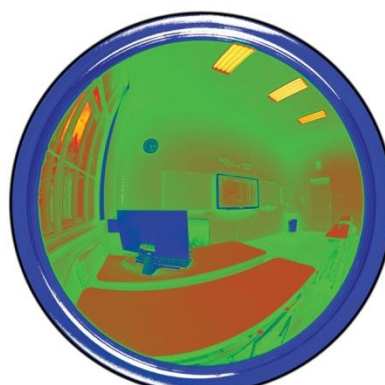
- SCÉNA 0AL 100NL
- UGR 8,1



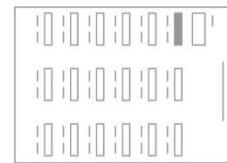
- SCÉNA 100AL 0NL
- UGR 10,0



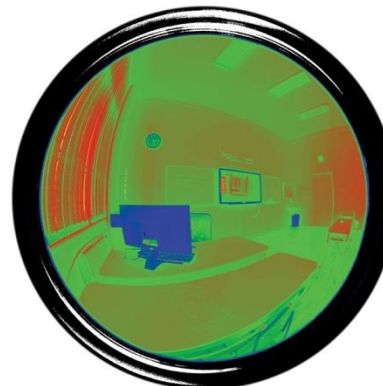
- SCÉNA 100AL 100NL
- UGR 9,1



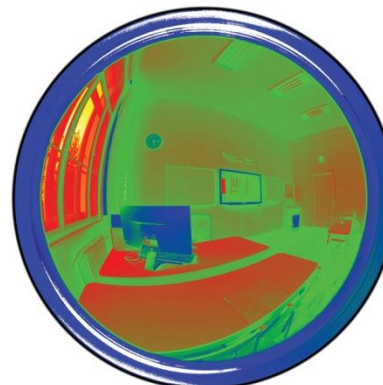
BOD 4 \_ Černá tabule      Výsledky jasové analýzy GULZ  
Místnost 202



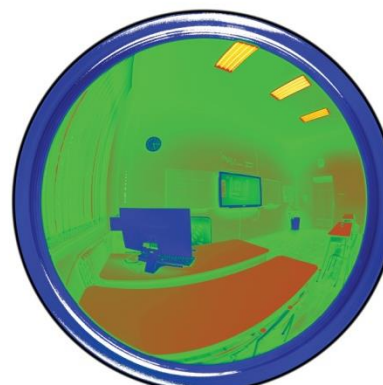
- SCÉNA 0AL 60NL
- UGR -4,4



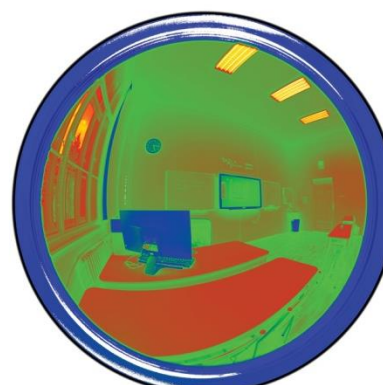
- SCÉNA 0AL 100NL
- UGR 7,3



- SCÉNA 100AL 0NL
- UGR 8,2



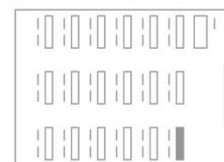
- SCÉNA 100AL 100NL
- UGR 8,9



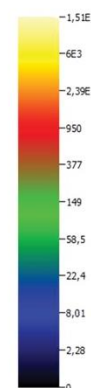


BOD 1

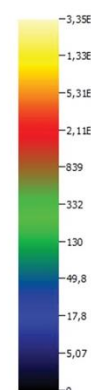
## Výsledky jasové analýzy GULZ Místnost 201



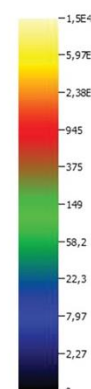
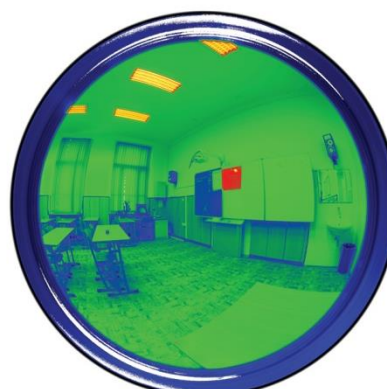
- SCÉNA 0AL 60NL
- UGR 17,9



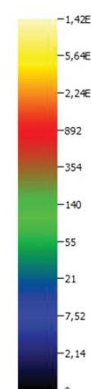
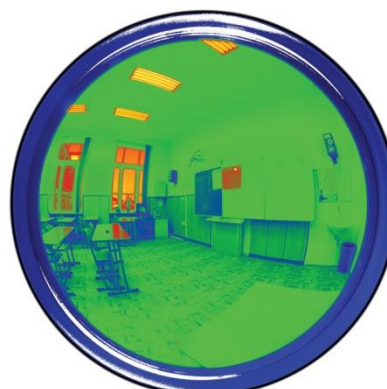
- SCÉNA 0AL 100NL
- UGR 21,4



- SCÉNA 100AL 0NL
- UGR 16,2

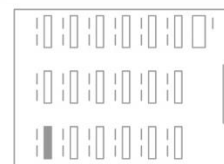


- SCÉNA 100AL 100NL
- UGR 19,6

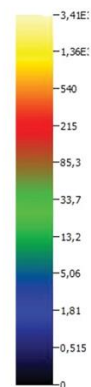


BOD 2

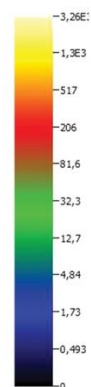
Výsledky jasové analýzy GULZ  
Místnost 201



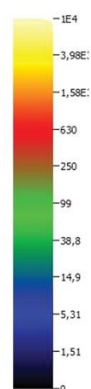
- SCÉNA 0AL 60NL
- UGR 21,6



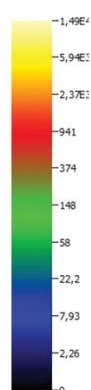
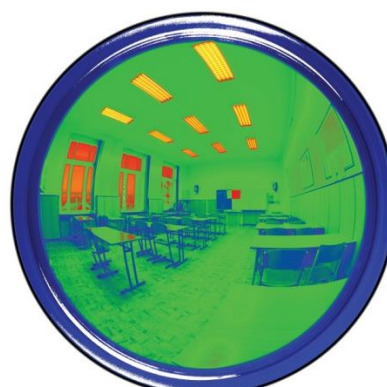
- SCÉNA 0AL 100NL
- UGR 21,1



- SCÉNA 100AL 0NL
- UGR 17,4



- SCÉNA 100AL 100NL
- UGR 19,6

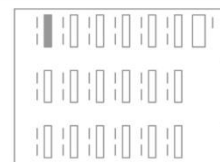




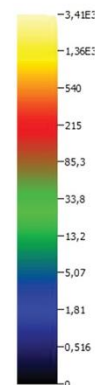
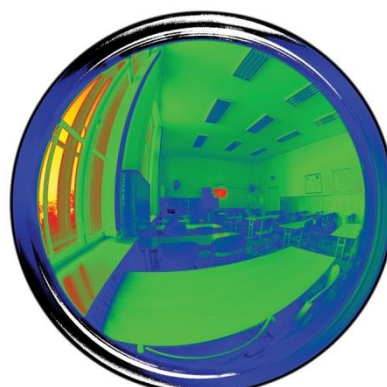
BOD 3

## Výsledky jasové analýzy GULZ

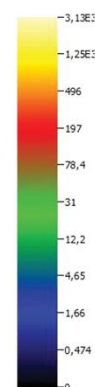
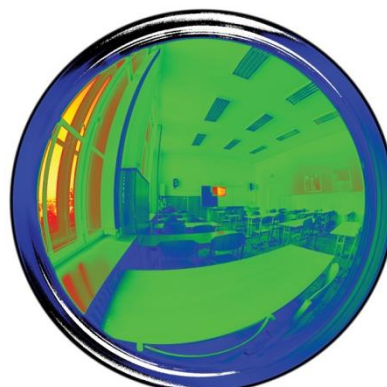
### Místnost 201



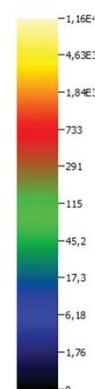
- SCÉNA 0AL 60NL



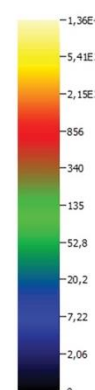
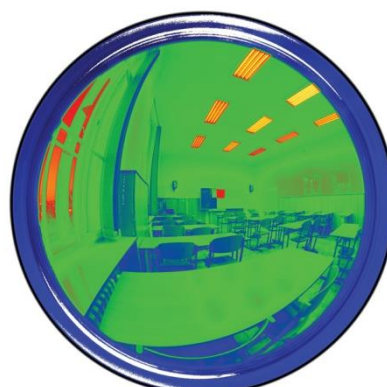
- SCÉNA 0AL 100NL



- SCÉNA 100AL 0NL



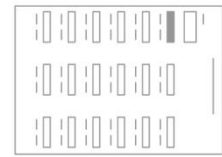
- SCÉNA 100AL 100NL



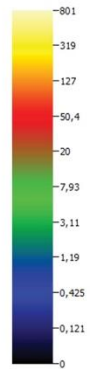


BOD 4

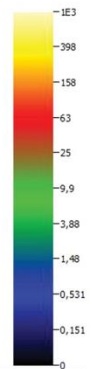
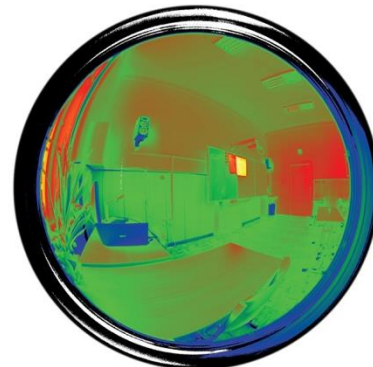
Výsledky jasové analýzy GULZ  
Místnost 201



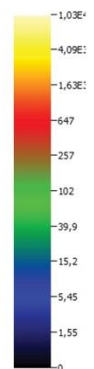
• SCÉNA 0AL 60NL



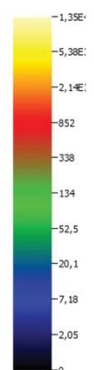
• SCÉNA 0AL 100NL



• SCÉNA 100AL 0NL



• SCÉNA 100AL 100NL




MEDD Výška svítidla 3900 mm		Bod 1	$E_h$	864 lx
			$E_v$	324 lx
			UGR	12,7
		Bod 2	$E_h$	695 lx
			$E_v$	439 lx
			UGR	14,4
		Bod 3	$E_h$	401 lx
			$E_v$	391 lx
			UGR	14,9
		Bod 4	$E_h$	706 lx
			$E_v$	358 lx
			UGR	12,8
		MEDD Výška svítidla 3750 mm		Bod 1
$E_v$	745 lx			
UGR	10,0			
Bod 2	$E_h$			1304 lx
	$E_v$			838 lx
	UGR			11,5
Bod 3	$E_h$			826 lx
	$E_v$			751 lx
	UGR			12,3
Bod 4	$E_h$			1443 lx
	$E_v$			715 lx
	UGR			10,5
MEDD Výška svítidla 3600 mm				Bod 1
		$E_v$	802 lx	
		UGR	10,3	
		Bod 2	$E_h$	1319 lx
			$E_v$	891 lx
			UGR	11,7
		Bod 3	$E_h$	881 lx
			$E_v$	812 lx
			UGR	12,2
		Bod 4	$E_h$	1540 lx
			$E_v$	784 lx
			UGR	10,5

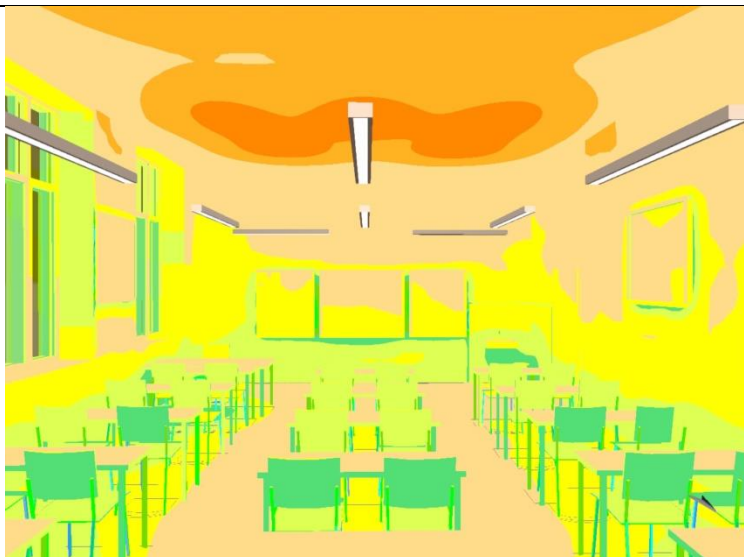
Příloha 19 Hledání ideální výšky zavěšení svítidel MEDD v rozmezí 3900 – 3600 mm

MEDD Výška svítidla 3450 mm		Bod 1	$E_h$	1865 lx
			$E_v$	809 lx
			UGR	10,6
		Bod 2	$E_h$	1340 lx
			$E_v$	926 lx
			UGR	11,9
		Bod 3	$E_h$	892 lx
			$E_v$	815 lx
			UGR	12,4
		Bod 4	$E_h$	1545 lx
			$E_v$	796 lx
			UGR	10,8
		MEDD Výška svítidla 3300 mm		Bod 1
$E_v$	821 lx			
UGR	11,1			
Bod 2	$E_h$			1362 lx
	$E_v$			944 lx
	UGR			12,2
Bod 3	$E_h$			902 lx
	$E_v$			823 lx
	UGR			12,8
Bod 4	$E_h$			1579 lx
	$E_v$			805 lx
	UGR			11,2
MEDD Výška svítidla 3150 mm				Bod 1
		$E_v$	844 lx	
		UGR	11,5	
		Bod 2	$E_h$	1376 lx
			$E_v$	940 lx
			UGR	12,4
		Bod 3	$E_h$	930 lx
			$E_v$	811 lx
			UGR	13,1
		Bod 4	$E_h$	1580 lx
			$E_v$	814 lx
			UGR	11,5



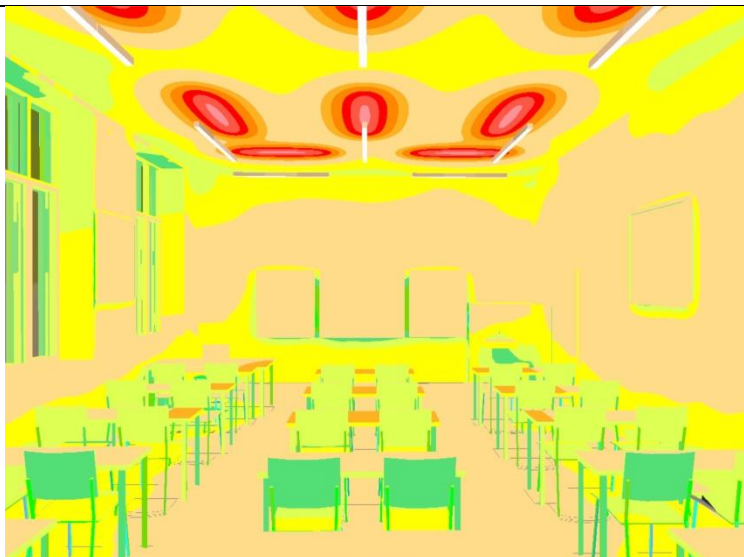


MEDD Výška svítidla 3000 mm		Bod 1	$E_h$	1929 lx
			$E_v$	845 lx
			UGR	11,9
		Bod 2	$E_h$	1365 lx
			$E_v$	951 lx
			UGR	12,7
		Bod 3	$E_h$	946 lx
			$E_v$	808 lx
			UGR	13,4
		Bod 4	$E_h$	1598 lx
			$E_v$	823 lx
			UGR	11,9


MEDD Výška svítidla 2850 mm		Bod 1	$E_h$	1925 lx
			$E_v$	851 lx
			UGR	12,3
		Bod 2	$E_h$	1376 lx
			$E_v$	954 lx
			UGR	13,0
		Bod 3	$E_h$	942 lx
			$E_v$	807 lx
			UGR	13,7
		Bod 4	$E_h$	1601 lx
			$E_v$	836 lx
			UGR	12,3


MEDD Výška svítidla 2700 mm		Bod 1	$E_h$	1928 lx
			$E_v$	861 lx
			UGR	12,9
		Bod 2	$E_h$	1373 lx
			$E_v$	969 lx
			UGR	13,3
		Bod 3	$E_h$	943 lx
			$E_v$	800 lx
			UGR	13,9
		Bod 4	$E_h$	1606 lx
			$E_v$	831 lx
			UGR	12,7

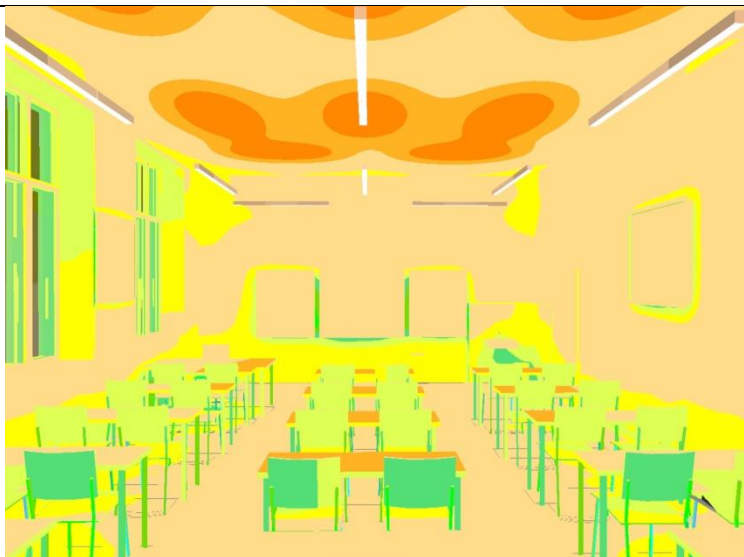
Příloha 21 Hledání ideální výšky zavěšení svítidel MEDD v rozmezí 3000 – 2700 mm

EVA Výška svítidla 3900 mm		Bod 1	$E_h$	1957 lx
			$E_v$	788 lx
			UGR	19,5
		Bod 2	$E_h$	1255 lx
			$E_v$	801 lx
			UGR	21,3
		Bod 3	$E_h$	859 lx
			$E_v$	728 lx
			UGR	21,7
		Bod 4	$E_h$	1603 lx
			$E_v$	788 lx
			UGR	19,3
		EVA Výška svítidla 3750 mm		Bod 1
$E_v$	1007 lx			
UGR	18,4			
Bod 2	$E_h$			1672 lx
	$E_v$			1109 lx
	UGR			20,1
Bod 3	$E_h$			1064 lx
	$E_v$			948 lx
	UGR			20,7
Bod 4	$E_h$			1971 lx
	$E_v$			1017 lx
	UGR			18,7
EVA Výška svítidla 3600 mm				Bod 1
		$E_v$	1045 lx	
		UGR	18,8	
		Bod 2	$E_h$	1716 lx
			$E_v$	1159 lx
			UGR	20,2
		Bod 3	$E_h$	1079 lx
			$E_v$	994 lx
			UGR	20,7
		Bod 4	$E_h$	2020 lx
			$E_v$	1003 lx
			UGR	18,9

Příloha 22 Hledání ideální výšky zavěšení svítidel EVA v rozmezí 3900 – 3600 mm

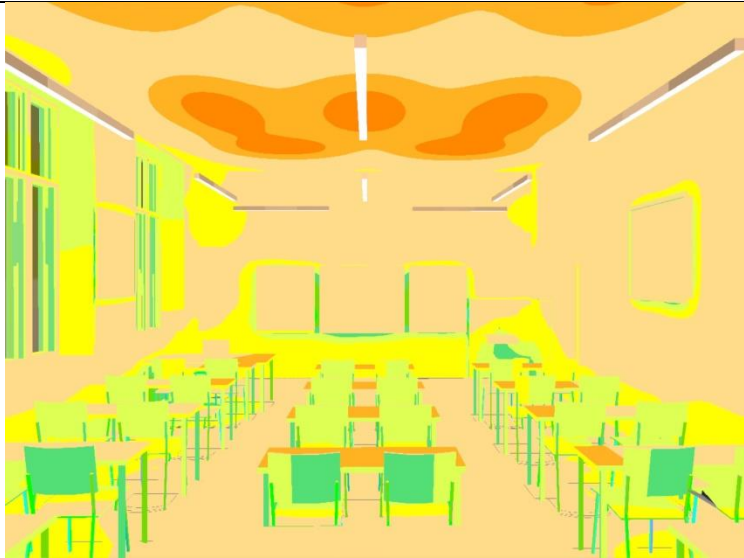


EVA Výška svítidla 3450 mm		Bod 1	$E_h$	2516
			$E_v$	1053 lx
			UGR	19,2
		Bod 2	$E_h$	1719 lx
			$E_v$	1195 lx
			UGR	20,5
		Bod 3	$E_h$	1088 lx
			$E_v$	1011 lx
			UGR	21,0
		Bod 4	$E_h$	2062 lx
			$E_v$	1020 lx
			UGR	19,3

EVA Výška svítidla 3300 mm		Bod 1	$E_h$	2556 lx
			$E_v$	1076
			UGR	19,6
		Bod 2	$E_h$	1738 lx
			$E_v$	1224 lx
			UGR	20,9
		Bod 3	$E_h$	1082 lx
			$E_v$	1007 lx
			UGR	21,3
		Bod 4	$E_h$	2067 lx
			$E_v$	1033 lx
			UGR	19,6

EVA Výška svítidla 3150 mm		Bod 1	$E_h$	2594 lx
			$E_v$	1101 lx
			UGR	20,0
		Bod 2	$E_h$	1752 lx
			$E_v$	1237 lx
			UGR	21,2
		Bod 3	$E_h$	1083 lx
			$E_v$	1001 lx
			UGR	21,6
		Bod 4	$E_h$	2091 lx
			$E_v$	1050 lx
			UGR	20,0

Příloha 23 Hledání ideální výšky zavěšení svítidel EVA v rozmezí 3450 – 3150 mm



EVA Výška svítidla 3000 mm		Bod 1	$E_h$	2643 lx
			$E_v$	1125 lx
			UGR	20,4
		Bod 2	$E_h$	1771 lx
			$E_v$	1263 lx
			UGR	21,5
		Bod 3	$E_h$	1070 lx
			$E_v$	995 lx
			UGR	21,9
		Bod 4	$E_h$	2108 lx
			$E_v$	1057 lx
			UGR	20,4
		EVA Výška svítidla 2850 mm		Bod 1
$E_v$	1136 lx			
UGR	20,9			
Bod 2	$E_h$			1779 lx
	$E_v$			1278 lx
	UGR			21,7
Bod 3	$E_h$			1060 lx
	$E_v$			982 lx
	UGR			22,2
Bod 4	$E_h$			2138 lx
	$E_v$			1079 lx
	UGR			20,7
EVA Výška svítidla 2700 mm				Bod 1
		$E_v$	1164 lx	
		UGR	21,4	
		Bod 2	$E_h$	1802 lx
			$E_v$	1313 lx
			UGR	22,0
		Bod 3	$E_h$	1039 lx
			$E_v$	979 lx
			UGR	22,4
		Bod 4	$E_h$	2152 lx
			$E_v$	1100 lx
			UGR	21,1

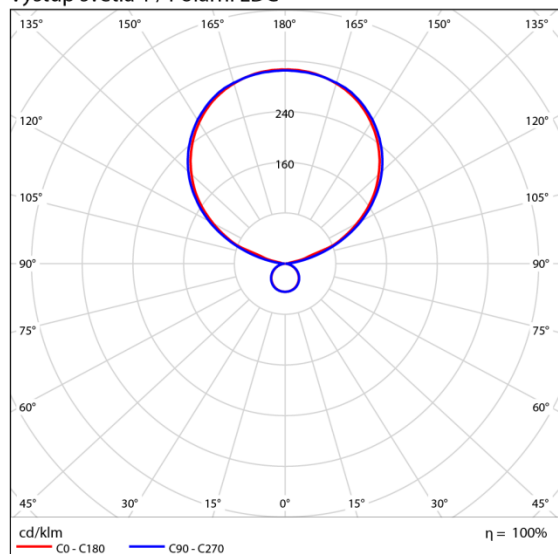
Příloha 24 Hledání ideální výšky zavěšení svítidel EVA v rozmezí 3000 – 2700 mm

Plocha 1 / Budova 1 / Poschodi 3 / Spectrasol MEDD opal 170W/ CCT 4000K/CRI 96 1xLED / Spectrasol - opal 170W/ CCT 4000K/CRI 96 (1xLED)

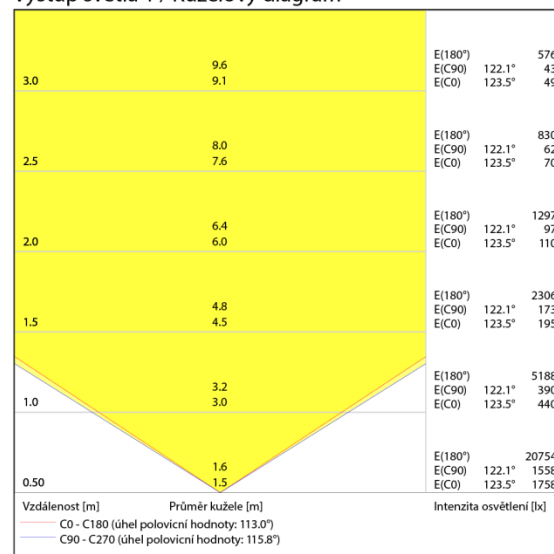
## Spectrasol MEDD opal 170W/ CCT 4000K/CRI 96 1xLED

Provozní účinnost: 100%  
 Světelný tok svítidla: 16943 lm  
 Výkon: 170.0 W  
 Světelný výtěžek: 99.7 lm/W

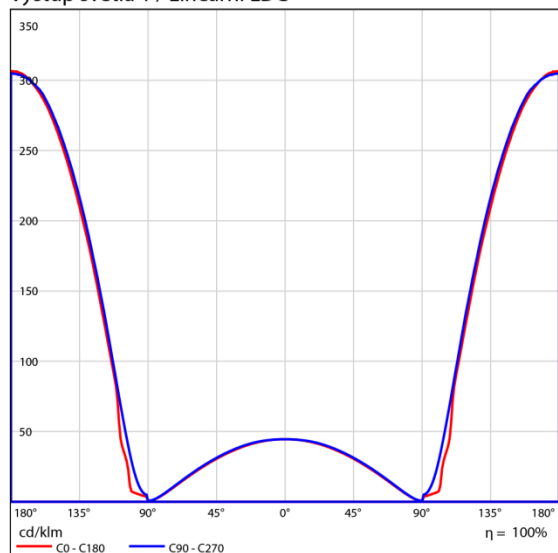
Výstup světla 1 / Polární LDC



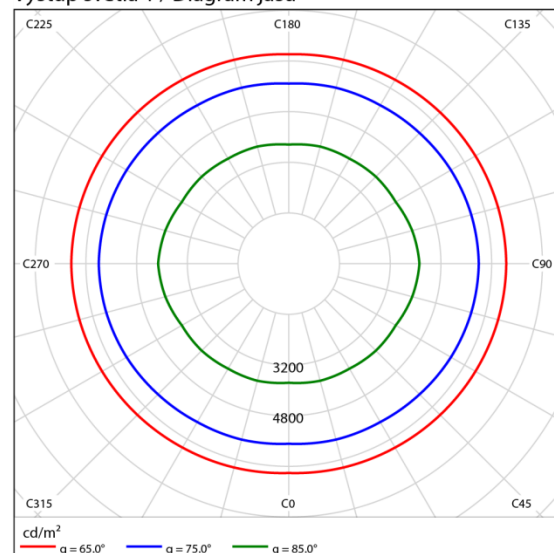
Výstup světla 1 / Kuželový diagram



Výstup světla 1 / Lineární LDC



Výstup světla 1 / Diagram jasu



DIALux

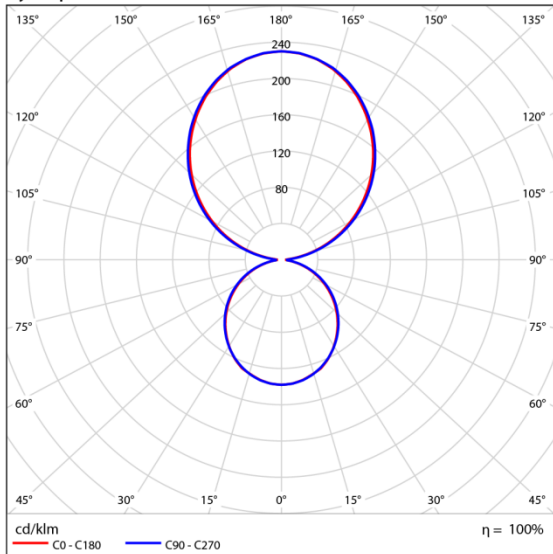
Příloha 25 Charakteristika svítidla MEDD



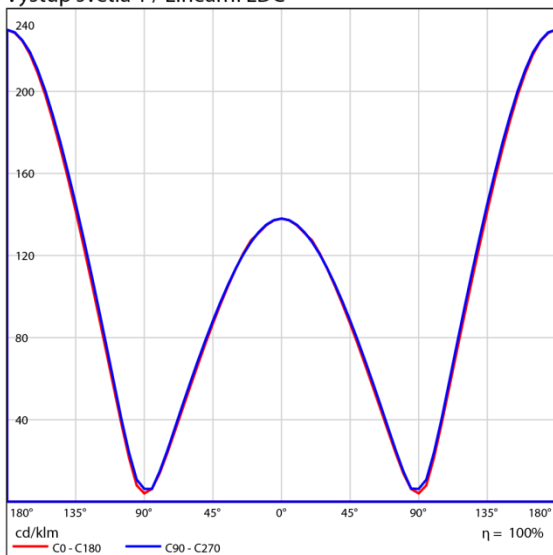
## EVA

Provozní účinnost: 99,95%  
 Světelný tok svítidla: 6716 lm  
 Výkon: 61,5 W  
 Světelný výtěžek: 109,2 lm/W

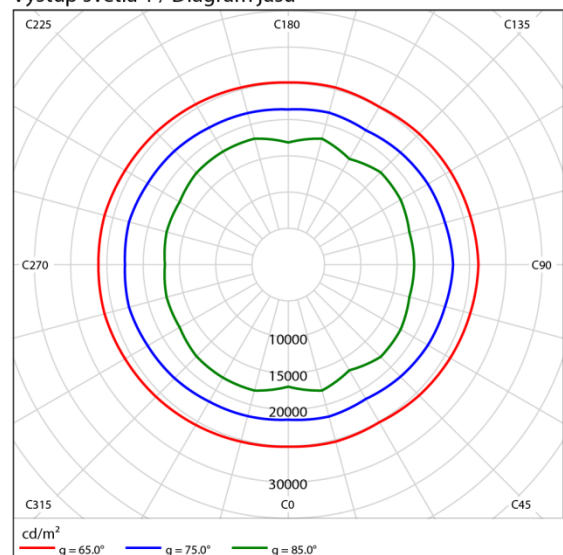
Výstup světla 1 / Polární LDC



Výstup světla 1 / Lineární LDC



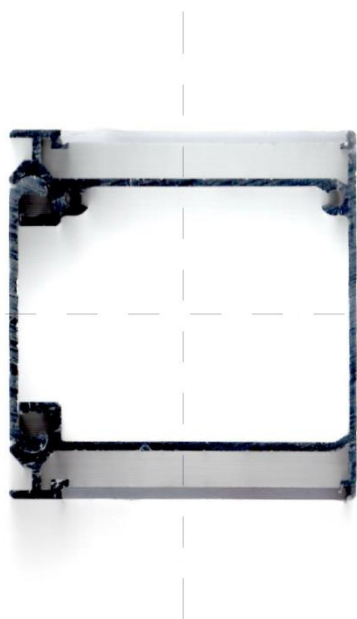
Výstup světla 1 / Diagram jasů



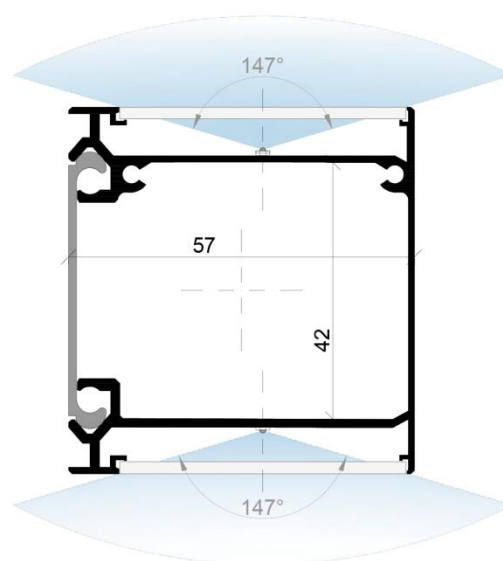
DIALux

Příloha 26 Charakteristika svítidla EVA

ALU profil svítidla



Rozměry profilu a úhly vyzařování

*Příloha 27 Profil svítidla EVA, jeho směry a úhly vyzařování*

## 9 Seznamy

### 9.1 Symboly

Symbol	Význam	Jednotky
$I$	Svítivost	Cd
$L$	Jas	cd.m <sup>-2</sup>
$\Omega$	Prostorový úhel	Sr
$U_0$	Rovnoměrnost umělého osvětlení	-
UGR	Činitel oslnění „Unified glare rating“	-
$T_{cp}$	Náhradní teplota chromatičnosti	K
$E$	Osvětlenost	lx
$E_H$	Horizontální osvětlenost	lx
$E_V$	Vertikální osvětlenost	lx
$D$	Činitel denní osvětlenosti	%
$L_s$	<i>jas kritického detailu</i>	cd.m <sup>-2</sup>
$L_b$	<i>jas pozadí kritického detailu</i>	cd.m <sup>-2</sup>

### 9.2 Pojmy

Zkratka	Význam
ČSN	Česká technická norma
EN	European norm., evropská norma
CIE	Commission Internationale de l'Eclairage, Mezinárodní komise pro osvětlování
LDA	Luminance Distribution Analyzer
PPD	Predicted percentage dissatisfied
DSE	Display screen equipment
CRI	Colour rendering index

### 9.3 Obrázky

- Obr. 1 Schéma oblastí zřakového úkonu a jejich limitní hodnoty rovnoměrnosti osvětlení  $U_0$  ..... - 2 -
- Obr. 2 Schéma přímého oslnění způsobeného vysokým jasem zdrojů světla, které se nacházejí v zorném poli pozorovatele ..... - 7 -
- Obr. 3. Schéma nepřímého oslnění způsobeného odrazy od lesklého povrchu lavice. .... - 8 -
- Obr. 4 Schéma rozložení jasů ve třídě..... - 9 -
- Obr. 5 Schéma možného řešení na zabránění oslnění většiny studentů ve třídě pomocí vzrostlé zeleně. Řešení dle prof. Kaňky. [zdroj [5]..... - 9 -
- Obr. 6 Binokulární oblast zorné pole (tečkovaná oblast), monokulární oblast pravého oka (plná čára), monokulární oblast levého oka (přerušovaná čára). [zdroj [5] ..... - 10 -
- Obr. 7 Výpočet pozičního indexu pod čarou přímé viditelnosti (Model od Toshie Iwaty 1997 rozšířen profesorem Einhornem)..... - 14 -
- Obr. 8 Poziční index:  $Y$  je horizontální vzdálenost mezi zdrojem a směrem pohledu [mm],  $H$  je vertikální vzdálenost mezi zdrojem a pohledem [mm] a  $D$  je vzdálenost od oka k rovině zdroje oslnění - 14 -

Obr. 9 Guthův diagram pro stanovení pozičního indexu na výpočet oslnění [zdroj [5]].....	- 15 -
Obr. 10 Úhel Clonění světelného zdroje Pro omezení oslnění odrazem uvádí norma pouze několik doporučení: .....	- 18 -
Obr. 11 Rozdělení přední stěny za tabulí pro snížení pravděpodobnosti oslnění malými zdroji.....	- 19 -
Tabulka 8.: Tabulka barev a jejich možného vlivu na člověka. Obr. 12 Způsob míchání barev ...	- 21 -
Obr. 13 Teplota chromatičnosti v barevném spektru .....	- 22 -
Obr. 14 Příčná rovina protínající svítidlo 0-180 <sup>0</sup> a Podélná rovina řezu 92-270 <sup>0</sup> .....	- 26 -
Obr. 15 Polární diagram vyjadřující křivku svítivosti .....	- 26 -
Obr. 16 Schéma půdorysu Gymnázia U Libeňského zámku a vyznačení měřených místností.....	- 29 -
Obr. 17 Vyznačení měřících bodů v učebnách 201 a 202 .....	- 30 -
Obr. 18 Printsceen prostředí softwaru Lumidisp .....	- 33 -
Obr. 19 Oblasti vyjmuté z měření UGR softwaru Lumidisp a rozložení oblastí dle zaměření zraku. 20 <sup>0</sup> místo zrakového úhlu, 60 <sup>0</sup> bezprostřední okolí úhlu, 90 <sup>0</sup> okolí zrakového úhlu .....	- 33 -
Obr. 20 Kontrolní bod 1 - Pozice studenta v přední lavici u stěny. Nepřímé oslnění odrazem na lavici ..	34 -
Obr. 21 Rozdíly jasů v zorném poli studenta. Obrázek se odvolává na přílohy .....	- 34 -
Obr. 22 Kontrolní bod 2 – oslnění odrazem o lavici .....	- 35 -
Obr. 23 Detail odrazu na bílé lesklé lavici. Příklad řešení pomocí šikmé jednomístné lavice .....	- 35 -
Obr. 24 Vzdálenosti a jejich příslušné velikosti kritických detailů.....	- 36 -
Obr. 25 Velikosti písma v měřítku 1:1, minimální 46,68,104 bodů (zleva), optimální 60,90,137 bodů (zleva) .....	- 37 -
Obr. 26 Viditelnost tahu na interaktivní DSE při různých tloušťkách. Čáry jsou černé na bílém pozadí ..	37 -
Obr. 27 Srovnání bílého a černého pozadí interaktivní tabule a viditelně vyšší rozdíly jasů barev na černém pozadí .....	- 39 -
Obr. 28 Detail zářivky současného osvětlení Obr. 29 Vypočtené hodnoty osvětlení dle vzorce [Rovnice 7] .....	- 40 -
Obr. 30 Spektrální analýza zdroje po výšce na kraji místnosti v oblasti kontrolního bodu 1 .....	- 42 -
Obr. 31 Spektrální analýza zdroje po výšce ve středu místnosti.....	- 43 -
Obr. 32 Model učebny v softwaru DIALux .....	- 44 -
Obr. 33 Schéma výkresu osvětlenosti za současného stavu. Osvětlenost je vztažena na pracovní plochu stolů .....	- 45 -
Obr. 34 Umístění kontrolní bodů pro kalibraci v učebně 202 .....	- 46 -
Obr. 35 Hodnoty pro 70% výkon svítidla .....	- 52 -
Obr. 36 Schéma výsledného rozložení svítidel v prostoru učebny .....	- 54 -

## 9.4 Rovnice

[Rovnice 1] Intenzita osvětlení.....	- 2 -
[Rovnice 2] Rovnoměrnost osvětlení .....	- 4 -
[Rovnice 3]Kontrast jasů.....	- 11 -
[Rovnice 4]Poměrná pozorovací vzdálenost.....	- 11 -
[Rovnice 5]Míra oslnění .....	- 13 -
[Rovnice 6]Velikost buňky kontrolní sítě pro osvětlenost .....	- 24 -
[Rovnice 7]Vztah mezi jasnem a osvětlení.....	- 28 -

## 9.5 Grafy

*Graf 1 Průběh osvětlení a oslnění svítidla MEDD v rozmezí výšek 3,9 – 2,7m. Hodnoty UGR jsou pro tento účel stonásobně zvětšeny.*

*Graf 2 Průběh osvětlení a oslnění svítidla EVA v rozmezí výšek 3,9 – 2,7m. Hodnoty UGR jsou pro tento účel stonásobně zvětšeny. .... - 51 -*

## ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6



V Praze dne 3. října 2018

Č.j.: 4744/18/11921/stru

Ing. arch. Jan Marx

Za Sídlištěm 2145/11

143 00 Praha 412

### Žádost o posunutí data stanoveného pro odevzdání diplomové práce

Vážený pane Marxi,

na základě žádosti ze dne 6. 9. 2018 Vám prodlužuji termín stanovený pro odevzdání diplomové práce.

Diplomovou práci, kterou jste zapsal v zimním semestru akademického roku 2018/2019 (125DPM-Diplomová práce), jste povinen odevzdat nejpozději **15. 2. 2019** (termín pro odevzdání diplomové práce v IS KOS).

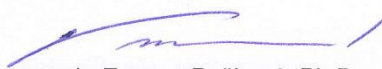
V souladu s nově stanoveným termínem odevzdání diplomové práce bude v IS KOS změněno původně uvedené datum "termín odevzdání". Do nově stanoveného data 15. 2. 2019 budete mít možnost práci do IS KOS nahrát, vedoucí práce může následně v IS KOS práci akceptovat a udělit zápočet. Termín pro odevzdání diplomové práce v tištěné podobě na katedře je **18. 2. 2019**.

Vzhledem k pracovní stáži, kterou v zimním semestru akad. roku 2018/2019 absolvujete v rámci programu Erasmus u Rene van Zuuk Architecten b.v., Almere, Nizozemsko, Vám umožňuji zápis do letního semestru akad. roku 2018/2019 bez zapsaného předmětu. Studium letního semestru akad. roku 2018/2019 Vám doporučuji po Vašem návratu přerušit na dobu od 11. 3. 2019 do 23. 5. 2019.

Termín pro přihlášení ke státní závěrečné zkoušce prostřednictvím IS KOS je 27. 5. 2019. Přesné datum státní závěrečné zkoušky organizované v letním semestru akademického roku 2018/2019 bude stanoven příslušnou katedrou (zveřejněním v IS KOS).



Kopie: Ing. arch. Lenka Maierová, Ph.D.  
vedoucí DP

  
doc. Ing. arch. Zuzana Pešková, Ph.D.  
proděkanka pro pedagogickou činnost

Vyřizuje: Markéta Štruplová  
Telefon: 2 2435 8762  
E-mail: marketa.struplova@fsv.cvut.cz

ČVUT v Praze  
Fakulta stavební  
Thákurova 7, 16629 Praha 6  
Česká republika

tel: (+420) 224 351 111  
fax: (+420) 224 310 737  
<http://www.fsv.cvut.cz>

IČ 68407700/ DIČ CZ 68407700  
Bankovní spojení: KB Praha 6  
č.ú. 19-5504610227/0100