

# Simulácia osvetlenia v školských priestoroch

Jaroslav Podolák

---

Diplomová práce  
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav fyziky a mater. inženýrství  
akademický rok: 2011/2012

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jaroslav PODOLÁK**  
Osobní číslo: **T10908**  
Studijní program: **N 2808 Chemie a technologie materiálů**  
Studijní obor: **Materiálové inženýrství**

Téma práce: **Simulácia osvetlenia v školských priestoroch**

### Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši týkající se osvětlení ve školních prostorách.
2. Změřte osvětlenost ve vybraných místnostech UTB v budově U5 a porovnejte ji s normami ČSN.
3. Popište počítačový program Wils 6.3.
4. Proveďte počítačovou simulaci osvětlení ve vybraných místnostech.
5. Vyhodnoťte navržené varianty osvětlení místností.
6. Citujte použitou literaturu.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

1. **HORŇÁK, Pavol: Umelé osvetlenie. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1976, 177 s. ISBN neuvedené, MDT 628.92:725.**
2. **HORŇÁK, Pavol, Vladimír Viktorovič TREMBAČ a Julián Borisovič AJZENBERG: Svietidlá a svetelné zdroje. 1. vyd. Bratislava: ALFA, 1983, 408 s. ISBN neuvedené, MDT 621.3.032.3. MDT 628.94.**
3. **HORŇÁK, Pavol: Svetelná technika. 1. vyd. Bratislava: ALFA, 1989, 247 s. ISBN 80-050-0122-3.**
4. **PLCH, Jiří: Osvětlení neosvětlitelných prostor. 1. vyd. Brno: ERA group, 2004, 129 s. ISBN 80-865-1782-9.**
5. **KRTILOVÁ, Alena, Jiří MATOUŠEK a Ladislav MONZER: Světlo a osvětlování. 1. vyd. Praha: Avicenum, 1981, 272 s. ISBN neuvedené.**
6. **VAŠINA, Martin: Měření osvětlení [online]. Zlín: UTB ve Zlíně, Fakulta techno-logická, 3.5.2009 [cit. 2012-03-15]. Dostupné z: [http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env\\_fyzika/EF\\_lab\\_04.pdf](http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_lab_04.pdf).**
7. **VAŠINA, Martin: Denní a sdružené osvětlení [online]. Zlín: UTB ve Zlíně, Fa-kulta technologická, 3.5.2009 [cit. 2012-03-15]. Dostupné z: [http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env\\_fyzika/EF\\_08.pdf](http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_08.pdf).**
8. **VAŠINA, Martin: Umělé osvětlení [online]. Zlín: UTB ve Zlíně, Fakulta techno-logická, 3.5.2009 [cit. 2012-03-15]. Dostupné z: [http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env\\_fyzika/EF\\_09.pdf](http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_09.pdf).**

Vedoucí diplomové práce:

**doc. Ing. Martin Vašina, Ph.D.**

Ústav fyziky a mater. inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

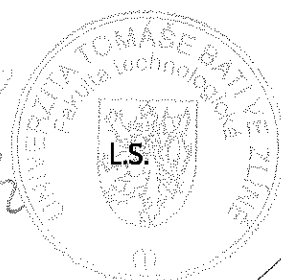
**13. února 2012**


Termín odevzdání diplomové práce:

**7. května 2012**

Ve Zlíně dne 13. února 2012

  
doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
*děkan*



  
Mgr. Aleš Mráček, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 1. květen 2012



.....

---

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Cieľom tejto práce je poukázať na problematiku návrhu umelého osvetlenia v školských priestoroch a jeho vplyvu na pozornosť, ako aj zdravie študentov a pedagogických pracovníkov. Teoretická časť popisuje svetlo z fyzikálneho hľadiska a rozoberá kvalitu a množstvo osvetlenia v interiéroch. Je v nej spomenuté aj rozdelenie svietidiel. V praktickej časti sú uvedené reálne hodnoty osvetlenia v miestnostiach, v ktorých prebieha počas roka vyučovanie, a tie sú ďalej porovnávané s ich normovanými hodnotami. Tak isto sú v nej zistené odraznosti svetla od jednotlivých povrchov miestnosti, ktoré sú neskôr použité v samotnej simulácii v programe Wils 6.3.

Kľúčové slová: svietidlo, osvetlenie, oslnenie, UGR, odraznosť, simulácia, Wils 6.3

## **ABSTRACT**

The aim of this work is to deal with the issue of design of artificial lighting in school buildings and its impact on attention and health of students and educational employees. The theoretical part describes the light from the physical point of view and discusses the quality and quantity of lighting in interiors. There is dividing of lighting means mentioned in it as well. The real measured values of the illumination in rooms in which teaching takes place are presented in the practical part of this work. These are further compared with the standardized values. Furthermore you can find here measurements of the reflectance of light from different room surfaces and they are subsequently processed in the computer simulation program Wils 6.3.

Keywords: lamp, lighting, glare, UGR, reflectance, simulation, Wils 6.3

## POĎAKOVANIE

Chcel by som poďakovať vedúcemu práce doc. Ing. Martinovi Vašinovi, PhD. za odborné rady a návrhy, ako aj za cenné pripomienky, ktoré mi poskytoval počas vypracovania diplomovej práce. Moje poďakovanie patrí tiež bratrancovi Ing. Petrovi Baranovi, ktorý mi pomohol s drobnými korekciami.

### *Motto*

„Každý člověk je zámožný, pokud má  
zdravé ruce a rozum.“

Tomáš Baťa (\*3.4.1876 - †12.7.1932)

Prehlasujem, že som na diplomovej práci pracoval samostatne a použitú literatúru som citoval. V prípade publikácie výsledkov, ak je to uvedené na základe licenčnej zmluvy, budem uvedený ako spoluautor.

V Zlíne



.....  
Podpis študenta

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČASŤ</b> .....	<b>11</b>
<b>1 SVETLO Z FYZIKÁLNEHO HĽADISKA</b> .....	<b>12</b>
1.1 ELEKTROMAGNETICKÉ ŽIARENIE.....	12
1.1.1 Elektromagnetické vlnenie.....	12
1.1.2 Elektromagnetické spektrum.....	12
1.2 ZÁKLADNÉ VELIČINY A POJMY.....	14
1.2.1 Rádiometrické veličiny.....	15
1.2.2 Fotometrické veličiny.....	16
<b>2 VNÍMANIE SVETLA</b> .....	<b>18</b>
2.1 ZRAKOVÝ ORGÁN.....	18
2.2 VLASTNOSTI ZRAKU V PRIESTORE.....	19
2.2.1 Zorné pole.....	19
2.2.2 Akomodácia.....	19
2.2.3 Adaptácia.....	19
2.2.4 Zrková ostrosť.....	19
2.3 VIDENIE A JAS.....	19
2.3.1 Kontrast.....	19
2.3.2 Oslnenie.....	20
2.3.3 Kolísanie svetla (stroboskopický jav).....	23
<b>3 OSVETLENIE</b> .....	<b>24</b>
3.1 DENNÉ OSVETLENIE.....	24
3.1.1 Kritéria svetelného stavu.....	24
3.1.2 Projektovanie a výpočet denného osvetlenia budov (bytov).....	25
3.2 UMELE OSVETLENIE.....	26
3.2.1 Osvetlenosť bezprostredného okolia úlohy a rovnomernosť osvetlenia.....	27
3.2.2 Svetelné zdroje.....	27
3.2.3 Rozdelenie umelého osvetlenia.....	32
3.2.4 Svetidlo a krivky svietivosti.....	33
3.3 ZDRUŽENÉ OSVETLENIE.....	35
<b>4 VZÁJOMNÉ PÔSOBENIE SVETLA S PROSTREDÍM</b> .....	<b>36</b>
4.1 ENERGETICKÁ BILANCIA ŠÍRENIA SVETLA.....	36
4.2 ČINITEĽ ODRAZU, PRIESTUPU A POHLTENIA.....	37
4.2.1 Činiteľ odrazu.....	37
4.2.2 Činiteľ priestupu.....	39
4.2.3 Činiteľ pohltienia.....	40
<b>5 SVETELNOTECHNICKÝ PROJEKT</b> .....	<b>41</b>
5.1 SVETELNOTECHNICKÝ VÝPOČET.....	41
5.1.1 Metóda pomerných príkonov.....	42
5.1.2 Toková metóda.....	42
5.1.3 Bodová metóda.....	43
<b>6 PROGRAM WILS 6.3</b> .....	<b>46</b>



<b>7</b>	<b>OSVETLENIE A NORMY</b> .....	<b>49</b>
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČASŤ</b> .....	<b>52</b>
<b>8</b>	<b>MERACIE ZARIADENIA</b> .....	<b>53</b>
8.1	LUXMETER .....	53
<b>9</b>	<b>ŠTATISTICKÉ SPRACOVANIE VÝSLEDKOV</b> .....	<b>55</b>
<b>10</b>	<b>INŠTALOVANÉ UMELE OSVETLENIE V BUDOVE U5</b> .....	<b>56</b>
10.1	CIEĽ A POSTUP PRÁCE .....	56
10.2	VYPRACOVANIE A VÝPOČET .....	57
10.3	VYHODNOTENIE VÝSLEDKOV .....	64
<b>11</b>	<b>SIMULÁCIA OSVETLENIA</b> .....	<b>68</b>
11.1	ODRAZ SVETLA V MIESTNOSTIACH BUDOVY U5 .....	68
11.1.1	Cieľ a postup práce.....	68
11.1.2	Vypracovanie a výpočet.....	69
11.1.3	Vyhodnotenie výsledkov .....	77
11.2	VLASTNÁ SIMULÁCIA V PROGRAME WILS 6.3 .....	78
11.2.1	Laboratórium mikroskopických metód .....	79
11.2.2	Učebňa.....	98
11.2.3	Poslucháreň B.....	112
11.3	ZHODNOTENIE PRÁCE S PROGRAMOM.....	130
	<b>ZÁVER</b> .....	<b>131</b>
	<b>ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY</b> .....	<b>132</b>
	<b>ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK</b> .....	<b>135</b>
	<b>ZOZNAM OBRÁZKOV</b> .....	<b>137</b>
	<b>ZOZNAM TABULIEK</b> .....	<b>140</b>

## ÚVOD

Drvivú väčšinu informácií, ktoré človek dokáže prijať zo svojho okolia, prijíma prostredníctvom oka. Ak by sme mali túto vetu interpretovať do fyzikálneho pohľadu, znamenalo by to, že drvivú väčšinu informácií prijíma človek prostredníctvom svetla. So svetlom dnes spájame takmer každú bežnú ľudskú činnosť, či to je práca doma alebo v záhrade, vo fabrike, pri čítaní, pri počítači a pod. Ľudia, ktorí nemajú to šťastie vidieť svet okolo seba, sú určitým spôsobom vysoko znevýhodnení oproti ostatným.

Svetlo môžeme deliť z hľadiska jeho vzniku na denné a umelé. Ich kombináciou vzniká svetlo združené. Pre ľudský organizmus je najvhodnejšie pochopiteľne osvetlenie, ktoré vzniká v Slnku. Okrem toho, že má najlepšie rozloženie farieb v elektromagnetickom spektre, je tiež vhodné pri psycho- fyziologickom vývoji. Pre nás z toho vyplýva fakt, že človek by sa mal usilovať o vytvorenie a vývoj takého umelého osvetlenia, ktoré sa čo najviac podobá, z hľadiska kvality, osvetleniu dennému. Denné osvetlenie má jedine tú nevýhodu, že jeho svetelný tok nie je stály počas dňa (mraky), ako aj počas roka. Z ekonomického pohľadu je samozrejme tento druh osvetlenia najpriateľnejší. Ak už chceme spomínať ekonomiku, jedným z ukazovateľov vyspelosti krajiny v rámci globalizovaného sveta, je elektrifikácia krajiny.

Pre človeka je zrak nenahradiateľný. Napriek tomu sa na kvalitu osvetlenia v interiéroch veľmi nehladá. Množstvo svetelného toku nie je rovnomerné v rámci miestnosti a tak isto kvalita svetla veľa krát nezodpovedá normovaným hodnotám. To môže mať za následok zhoršenie zraku v populácii a náklady spojené s odstraňovaním zdravotných porúch môžu ďaleko prevyšovať náklady spojené s inštaláciou vhodných svietidiel.

Vo svete, kde dominujú informačné technológie, počítače alebo internet, bolo nutnosťou vytvoriť program, ktorý by práve všetky tieto nedostatky eliminoval. Vytvorilo sa niekoľko simulačných programov, ktoré dokážu veľmi presne vypočítať množstvo osvetlenia v danom priestore (miestnosti), ako aj možné oslnenie. Jedným z takýchto programov je aj Wils 6.3, s ktorým je práca pomerne jednoduchá a dokáže spolupracovať s CAD systémami. Prostredníctvom neho môžu inžinieri na celom svete (prípadne i bežný občan) navrhnuť svetlo- technický projekt a ten potom aplikovať v reálnych podmienkach a stavbách.

Tieto možnosti, ktoré nám práve pokrok v oblasti vývoja svietidiel a softwaru dáva, by sme mali využívať a tým zlepšovať životné prostredie spojené s kvalitou života.

## **I. TEORETICKÁ ČASŤ**

## 1 SVETLO Z FYZIKÁLNEHO HĽADISKA

Prevažná väčšina ľudskej činnosti je spojená so zrakovým vnemom, čiže so svetlom. Človek prijme najväčšie množstvo informácií pomocou oka. Dostatočné množstvo a kvalita osvetlenia zlepšuje produktivitu a v neposlednom rade aj psychiku človeka pri každodenných činnostiach. Z fyzikálneho hľadiska je svetlo elektromagnetické žiarenie s duálnym charakterom.

### 1.1 Elektromagnetické žiarenie

#### 1.1.1 Elektromagnetické vlnenie

Žiarenie je vysielanie, resp. inak povedané prenos energie vo forme elektromagnetických vln alebo hmotných častíc, kde elektrické  $E$  a magnetické vlnenie  $B$  sú navzájom na seba kolmé. Einstein považoval svetlo za zväzky fotónov, ktoré tvoria elektromagnetické vlny, určené dvoma fyzikálnymi veličinami - vlnovou dĺžkou  $\lambda$  a frekvenciou  $f$ . Ich vzájomný vzťah je:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

kde  $c$  je rýchlosť svetla vo vákuu, pričom  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Fotónom označujeme elementárne množstvo elektromagnetického žiarenia. Fotón je teda prúd častíc a jeho energiu spočítame ako:

$$E = h \cdot f \quad (2)$$

kde  $h$  Planckova konštanta, pričom  $h = 6,65 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ .

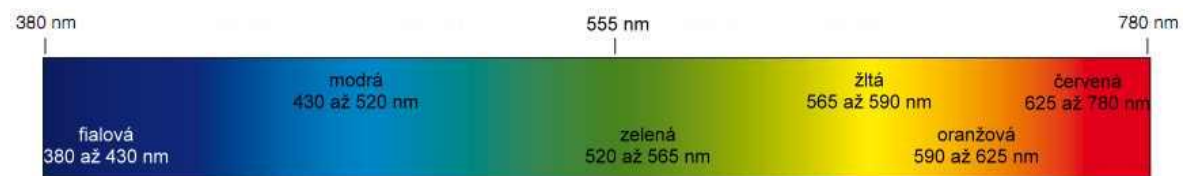
[1], [2], [12]

#### 1.1.2 Elektromagnetické spektrum

Rečou bežného človeka nie je farba svetla nič iné ako elektromagnetické spektrum. Toto spektrum obsahuje žiarenie všetkých vlnových dĺžok, ktoré delíme na:

- a) *Rádiové vlny*- vlnová dĺžka týchto vln je v kilometroch až milimetroch.
- b) *Mikrovlny*- ich vlnenie je v milimetroch.

- c) *Infračervené žiarenie*- vlnové dĺžky sú v mikrometroch.
- d) *Viditeľné svetlo*- obsahuje vlnové dĺžky od 380 do 780 nm. Niektoré publikácie však spomínajú rozsah  $\pm 20$  nm. Je to spôsobené predovšetkým tým, že tento rozsah závisí od pozorovateľa a teda nie je možné ho presne definovať. Čo ale môžeme s určitosťou povedať je fakt, že v tejto oblasti vyžaruje naše Slnko maximum energie. Spektrálne farby závisia na jednotlivých vlnových dĺžkach a pre viditeľné svetlo sú preto špecifické. Zaujímavosťou je aj skutočnosť, že ľudské oko najlepšie zachytáva žiarenie pri hodnote  $\lambda = 555$  nm (zelenú farbu) a dokáže rozoznať asi 128 farebných tónov.

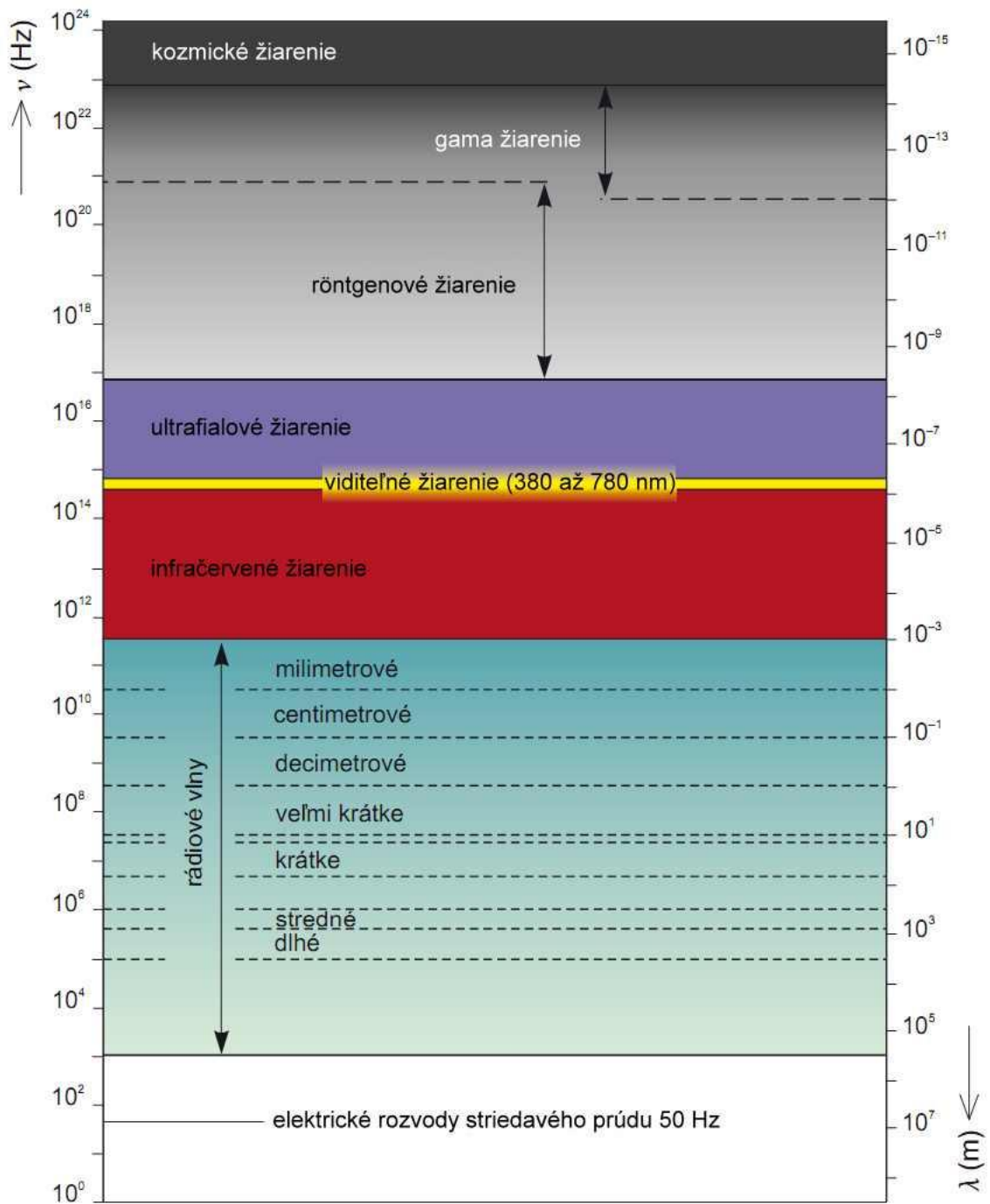


Obr. 1. Spektrum viditeľného žiarenia [12], [13]

- e) *Ultrafialové žiarenie*- je oblasť vlnových dĺžok v desiatkach až stovkách nanometrov.
- f) *Röntgenové žiarenie*- má vlnové dĺžky v jednotkách až desatinách nanometrov.
- g) *Gama žiarenie*- jeho vlnové dĺžky sú kratšie ako 1 nanometer.

Atmosféra Zeme chráni planétu pred nežiaducim dopadajúcim kozmickým žiarením. Je priepustná pre viditeľné svetlo, čiastočne potom pre blízke ultrafialové žiarenie s vlnovou dĺžkou väčšou ako 300 nm a pre infračervené žiarenie o vlnových dĺžkach kratších ako 10  $\mu\text{m}$ . Prepúšťa tiež rádiové vlny s  $\lambda$  od 1 cm do 20 m.

[1], [2], [12] a [13]



Obr. 2. Spektrum elektromagnetického žiarenia [13]

## 1.2 Základné veličiny a pojmy

Na základe medzinárodnej dohody sú v technickej praxi, ako aj v svetlotechnike, definované základné pojmy a veličiny. [2]

### 1.2.1 Rádiometrické veličiny

Rádiometria má za úlohu popis prenosu energie zo zdroja na detektor. Základné rádiometrické, inými slovami žiarivé, veličiny sú:

- a) *Žiarivý tok*- vyjadruje výkon prenášaný žiarením. Inými slovami je to množstvo žiarivej energie, prenesenej tokom fotónov za jednotku času.

$$\phi_e = \frac{dQ_e}{dt} \quad (3)$$

- b) *Množstvo žiarenia*- popisuje súčin žiarivého toku a času.

$$Q_e = \int \phi_e dt \quad (4)$$

- c) *Žiarivosť*'- je podiel žiarivého toku vyžiareného pomocou zdroja v smere elementárneho priestorového uhla a veľkosti tohto priestorového uhla.

$$I_e = \frac{d\phi_e}{d\Omega} \quad (5)$$

- d) *Priestorový uhol*- je uhol pri vrchole svetelného kužeľa. Vymedzuje plochu A z plochy gule s polomerom r.

$$d\Omega = \frac{dA}{r^2} \quad (6)$$

- e) *Žiara*- podiel žiarivého toku, ktorý vychádza, dopadá alebo prechádza danou elementárnou plochou v určitom bode a šíri sa elementárnym priestorovým uhlom v určitom smere a súčinu tohto priestorového uhla a priemetu tejto plochy na rovinu kolmú na daný smer.

$$L_e = \frac{dI_e}{dA \cos\theta} \quad (7)$$

- f) *Intenzita vyžarovania*- popisuje podiel žiarivého toku a plochy. Z danej plochy je tento žiarivý tok vyžarovaný.

$$M_e = \frac{d\phi_e}{dA} = \int L_e \cos\theta d\Omega \quad (8)$$

- g) *Intenzita ožiarenia*- je žiarivý tok vzťahnutý na jednotku plochy, ktorá je ožarovaná. Teda žiarivý tok na ňu dopadajúci.

$$E_e = \frac{d\phi_e}{dA} \quad (9)$$

h) *Dávka žiarenia*- podiel množstva žiarenia a veľkosti ožiarenej plochy. Tiež je to súčin intenzity ožiarenia a času.

$$H_e = \frac{dQ_e}{dA} = \int E_e dt \quad (10)$$

[1], [2], [3], [4] a [14]

### 1.2.2 Fotometrické veličiny

Pod pojmom Fotometria máme na mysli náuku o meraní svetla. Popisuje spektrálnu citlivosť ľudského oka. Dôležité je podotknúť, že k popisu vnemov radiometrické veličiny nemožno použiť. Základné fotometrické veličiny sú:

a) *Svetelný tok*- je vlastne schopnosť žiarivého toku vzbudiť zrakový vnem. Na prepočet rádiových veličín na fotometrické slúži nasledovný vzťah:

$$1 \text{ lm} = 147 \cdot 10^{-5} \text{ W} \text{ a teda } 1 \text{ W} = 680 \text{ lm} \quad (11)$$

$$\phi = 680 \text{ lm}$$

b) *Svetelné množstvo*- je súčin svetelného toku a času.

$$Q = \int \phi dt \quad (12)$$

c) *Svietivosť*- v sústave SI patrí jej jednotka medzi základné. Je to podiel svetelného toku, ktorý je vyžiarený zdrojom v niektorom smere do elementárneho priestorového uhlu a veľkosti tohto uhla.

$$I = \frac{d\phi}{d\Omega} \quad (13)$$

d) *Jas*- je podiel svetelného toku, ktorý vychádza, dopadá alebo prechádza elementárnou plochou v určitom bode a šíri sa elementárnym priestorovým uhlom v určitom smere a súčinu tohto priestorového uhla a priemetu tejto plochy na rovinu kolmú na daný smer.

$$L = \frac{d^2\phi}{d\Omega dA \cos\theta} = \frac{dI}{dA \cos\theta} \quad (14)$$

e) *Svetlenie*- podiel svetelného toku vyžarovaného plochou a veľkosti tejto plochy.



$$M = \frac{d\phi}{dA} = \int L \cos\theta d\Omega \quad (15)$$

f) *Intenzita osvetlenia (osvetlenosť)*- je plošná hustota dopadajúceho svetelného toku, teda podiel svetelného toku, ktorý dopadá na osvetľovanú plochu.

$$E = \frac{d\phi}{dA} \quad (16)$$

g) *Osvit*- podiel svetelného množstva a veľkosti osvetľovacej plochy. Tiež sa dá vyjadriť ako súčin intenzity osvetlenia a času.

$$H = \frac{dQ}{dA} = E dt \quad (17)$$

[1], [2], [3], [4]

## 2 VNÍMANIE SVETLA

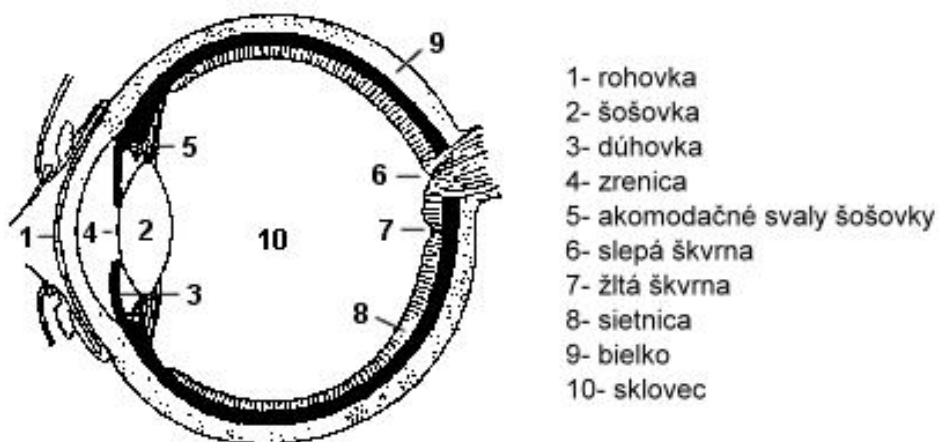
Každý človek vníma svetlo resp. svet okolo seba individuálne v závislosti od veku, zdravotného stavu, genetickej dispozície, pracovných priestorov, pracovnej činnosti a pod. Pri stanovení technicky a ekonomicky prijateľných a pre určitý druh vykonávanej práce potrebných hladín osvetlenia vychádzame z práce Westona a Blackwella, ktorý prišli na to, že zrak starších osôb vyžaduje pri zachovaní rovnakej rozlišovacej spoľahlivosti vyššie hladiny osvetlenia. Zaujímavosťou je, že pri pomerne vysokých hladinách osvetlenia sa rozdiely znižujú. [15]

Tab. 1. Prijateľné hladiny osvetlenia v určitom veku človeka [15]

Vek	Potrebná hladina osvetlenia $E$					
	[lx]	[%]	[lx]	[%]	[lx]	[%]
20	100	100	300	100	900	100
60	210	209	550	183	1100	122

### 2.1 Zrakový orgán

U ľudí je hlavným zmyslovým orgánom oko, čo je inak povedané súbor tkanív zložených z očnej gule, optických nervových dráh a z časti mozgovkej kôry. Prijímané svetelné podnety z okolia mení oko na komplex nervových podráždení, ktoré spracováva náš mozog. Prejavom tohto procesu je zrakový vnem. Stavbu očnej gule popisuje nasledovný obrázok. [1], [3], [5], [6]



Obr. 3. Oko [16]

## 2.2 Vlastnosti zraku v priestore

### 2.2.1 Zorné pole

Je priestor, ktorý môžeme vidieť upreným vodorovným pohľadom bez akéhokoľvek pohybu očí a hlavy. Človek vidí v uhlovom rozsahu asi  $8^\circ$  vo vodorovnej rovine a asi  $6^\circ$  vo zvislej rovine, pričom najväčšiu ostrosť videnia má v rozsahu približne  $1,5^\circ$ . Vďaka tomu, že sú oči párový orgán, rozlišuje dve monokulárne polia pre každé oko zvlášť. Časť prekrytia oboch polí nazývame binokulárne pole. [1], [7], [8], [17]

### 2.2.2 Akomodácia

Pomocou zakrivenia šošovky dokáže oko pozorovať predmety v rôznych vzdialenostiach tak, aby bol daný predmet ostrý. Samozrejme je tento rozsah pre každého človeka individuálny a rovnako má určité maximá a minimá vďaka fyziologickej stavby oka. Zakrivenie šošovky prebieha pomocou akomodačných svalov, pričom sa s narastajúcim vekom akomodačná schopnosť znižuje. [1], [7], [8]

### 2.2.3 Adaptácia

Inými slovami prispôsobenie citlivosti zraku jas a farbe pozorovaného okolia, kde dochádza k adaptácií sietnice za súčasnej zmeny priemeru zornice. Existuje adaptácia na tmú a svetlo. [1], [7], [8]

### 2.2.4 Zraková ostrosť

Oko dokáže rozlíšiť i predmety, ktoré sú navzájom vo veľmi malej vzdialenosti. Túto schopnosť nazývame zraková ostrosť. Čím je človek starší, tým sa táto vlastnosť oka znižuje. Naopak pri väčšom jase sa zvyšuje. [1], [7], [8]

## 2.3 Videnie a jas

### 2.3.1 Kontrast

Schopnosť, pri ktorej dokáže oko rozlíšiť jas, nazývame kontrast. Ten závisí, okrem intenzity osvetlenia, aj od druhu a činiteľa odrazu kritického detailu a jeho bezprostredného okolia. Objektívne sa kontrast určí ako:

$$C = \frac{|L_a - L_b|}{L_b} \quad (18)$$

kde  $L_a$  je jas pozorovaného kritického detailu a  $L_b$  predstavuje jas bezprostredného okolia detailu.

Ak nie je možné určiť jasy  $L_a$  a  $L_b$ , môžeme kontrast určiť na základe subjektívneho hodnotenia pomocou nasledovnej tabuľky. [1], [8], [9] a [15]

Tab. 2. Kontrast a jeho objektivne a subjektivne hodnotenie [15]

Kontrast $C [-]$	Hodnoty kontrastu $C [-]$	Rozlišiteľnosť kritického detailu	Príklad
Veľký	$C \geq 0,8$	Veľmi dobrá	Čierna tlač na bielom papieri
Stredný	$0,5 \leq C < 0,8$	Dobrá	Čierna tlač na šedom papieri
Malý	$C < 0,5$	Zlá	Šedá tlač na svetlo- šedom papieri

### 2.3.2 Oslnenie

Oslnenie je často krát veľmi nepríjemný stav, pri ktorom dochádza k narušeniu zrakovkej pohody, prípadne zhoršuje až znemožňuje videnie. Spôsobuje ho príliš veľký jas alebo tiež jeho nevhodné rozloženie v zornom poli pozorovateľa. Dôsledkom týchto skutočností je pomalá adaptácia zraku. Oslnenie delíme podľa stupňa pôsobenia na:

- Rušivé (psychologické)*- vyvoláva zrakovú nepohodu, ktorú sprevádza nepríjemný pocit bez zásadného zníženia zrakových schopností. Zdroj oslnenia dokáže upútať na seba pozornosť do takej miery, že miesto, kde by mal byť zameraný zrak nevnímame. Tým môže dochádzať k únave pozorovateľa.
- Obmedzujúce (fyziologické)*- podstatne zhoršuje zrakovú činnosť, rozlišiteľnosť ako aj ostré videnie.
- Oslepujúce (absolútne)*- je veľmi intenzívne. Po zániku jeho príčiny dokonca znemožňuje videnie a môže byť preto pre človeka nebezpečné.

Podľa príčiny rozlišujeme oslnenie na:

- Priame*- ktoré spôsobuje nadmerný jas svietidiel. Na zamedzenie tohto druhu oslnenia je dôležité, aby priame svetlo zdroja neprichádzalo k oku pod uhlom menším ako  $30^\circ$  nad vodorovnou rovinou, príp. nad zvyčajným smerom pohľadu.
- Odrazom*- spôsobené odrazom svetla na prevažne lesklých povrchoch stropov, stien, pozorovaných predmetov a pod.

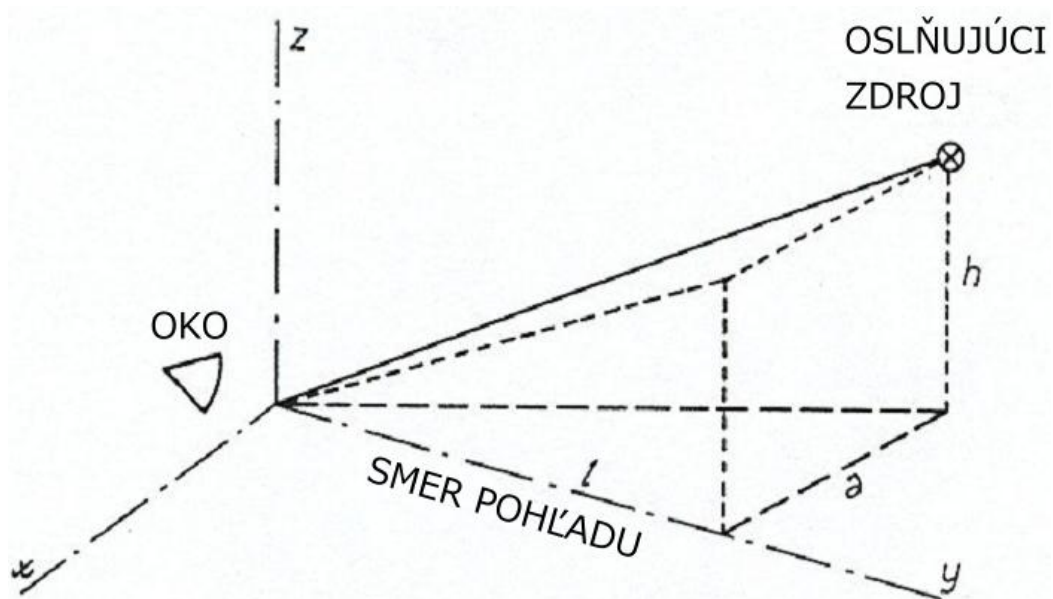
- c) *Prechodové*- ktoré sa vyskytuje pri náhlej zmene adaptačného jasu, kedy sa zrakový orgán nestihne prispôbiť.
- d) *Závojové*- vzniká, ak je pred pozorovaným pozadím prostredie s vyšším jasom.
- e) *Kontrastom*- inak povedané aj relatívne oslnenie. Vzniká tak, že sa v zornom poli vyskytnú príliš vysoké jasy v porovnaní s jasom, na ktorý je v danom momente adaptovaný zrak. V osvetľovacích sústavách sa vyskytuje najčastejšie.

### **Hodnotenie oslnenia**

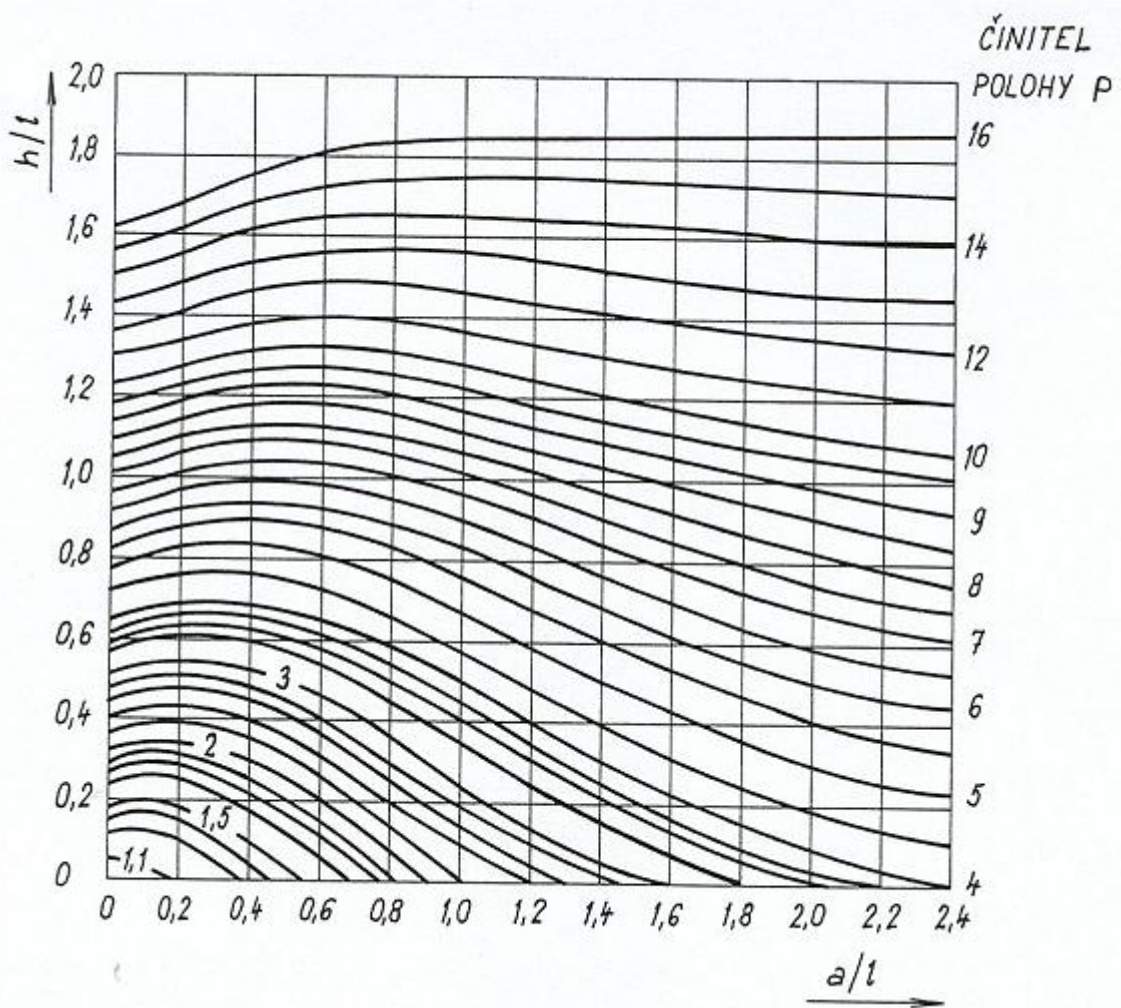
Zameriava sa na priame a rušivé oslnenie v interiéri (pretože na hodnotenia oslnenia odrazom nie je vypracovaná vhodná praktická metóda). Je založené na výpočte indexu oslnenia, ktorý vychádza z predpokladu priamej úmery medzi stupňom oslnenia a jasom oslňujúceho zdroja  $L_z$  (ktorý je v smere vzhľadom ku kontrolnému miestu) a priestorovým uhlom  $\Omega$  (pod ktorým je z kontrolného miesta vidieť oslňujúci zdroj). Naopak klesá s rastúcim priemerným jasom pozadia  $L_p$  (adaptačným jasom). Index oslnenia sa stanoví ako UGR, čo je jednotný systém hodnotenia oslnenia, pomocou tabuľkovej metódy CIA.

$$UGR = 8 \log \left( \frac{0,25}{L_p} \sum \frac{L_z^2 \Omega}{p^2} \right) \quad (19)$$

kde  $L_p$  je jas pozadia,  $L_z$  označuje jas svietiacej časti každého svietidla v smere očí pozorovateľa,  $\Omega$  je priestorový uhol svietiacej časti každého svietidla vzhľadom k očiam pozorovateľa a  $p$  je činiteľ polohy podľa Luckieshe a Gutha, ktorý sa stanovuje pre každé svietidlo podľa jeho odklonu od smeru pohľadu.



Obr. 4. Geometrické usporiadanie oslňujúceho zdroja [15]



Obr. 5. Diagram Luckieshe a Gutha [15]

kde  $l$  predstavuje vzdialenosť oka pozorovateľa od roviny preloženej osľňujúcim zdrojom kolmo k ose pohľadu,  $h$  je výška osľňujúceho zdroja nad vodorovnou rovinou preloženou osou pohľadu,  $a$  je bočná vzdialenosť osľňujúceho zdroja od vertikálnej roviny preloženej v smere pohľadu.

Jas pozadia  $L_p$  sa vypočíta podľa Sørensonovho vzorca.

$$L_p = \frac{E_{nv}}{\pi} \quad (20)$$

kde  $E_{nv}$  je zvislá nepriama vertikálna osvetlenosť.

Jas  $L_z$  osľňujúcich svetidiel, či ich častí sa vypočíta zo svietivosti svetidla  $I$  v smere pozorovateľa a plochy priemetu  $A$ .

$$L_z = \frac{I}{A} \quad (21)$$

Metódu UGR nemožno použiť a teda činiteľ polohy  $p$  nie je možné definovať, ak sa oslňujúce svietidlá nachádzajú pod smerom pohľadu pozorovateľa, t.j. keď svetelné lúče z oslňujúceho zdroja dopadajú do oka pozorovateľa z dolného polo- priestoru.

Činiteľ oslnenie sa počíta v bodoch, v ktorých užívateľ vykonáva určitú činnosť a to v priemernej výške očí pri sede, teda 1,2 m alebo u stojacej osoby vo výške 1,5 m v prevažných smeroch jeho pohľadu. V každom kontrolnom bode potom uvažujeme najvyššiu nameranú hodnotu činiteľa oslnenia a tá musí byť menšia ako maximálna hodnota, ktorá je uvedená v norme ČSN EN 12464-1.

Tab. 3. Prípustné hodnoty indexu oslnenia podľa UGR vo vybraných priestoroch [15]

<i>Pracovisko</i>		<i>UGR [-]</i>
pracovisko s počítačmi		16
kancelárie		19
priemyslové pracoviská	jemná výroba	22
	bežná výroba	25
	hrubá výroba	28

Na zabránenie oslnenia odrazom je potrebné aby boli svietidlá rozmiestnené a nasmerované tak, aby odrazené svetlo od pozorovaných predmetov nesmerovalo priamo do oka pozorovateľa pri zvyčajnom smere pohľadu. Odporúča sa používanie rozmerných svietidiel s malým jasom, využívanie svietidiel s vhodným rozložením svietivosti ako sú krivky svietivosti motýľového typu s maximom svietivosti v oblasti uhlov 40° až 50° od zvislej osi. Tiež používanie matných povrchov na predmetoch, stenách, podlahách a pod.

[1], [8], [9] a [15]

### 2.3.3 Kolísanie svetla (stroboskopický jav)

So stroboskopickým javom sa často krát stretávame na diskotékach, kde sú napájané výbojové zdroje svetla striedavým prúdom. V danom momente zhoršujú činnosť zraku vplyvom pomalých alebo nepravidelných zmien svetelných hodnôt. Takéto kolísanie svetla pri dlhodobej expozícii, môže byť pre pozorovateľa nebezpečné. [1], [8], [9]

### 3 OSVETLENIE

Činnosť človeka je v dnešnej dobe silo závislá od zraku. Okrem toho, že denné svetlo pôsobí ako stimulátor hormónov v ľudskom tele a ovplyvňuje naše biologické, fyzické a psychické správanie, pomocou oka prijímame 75 až 90 % všetkých informácií. Preto je veľmi dôležité kvalitné denné svetlo alebo umelé osvetlenie v dostatočnom množstve. To zaisťuje *zrakovú pohodu*, ktorá je charakterizovaná ako príjemný a priaznivý psychofyziológický stav organizmu, vyvolaný optickou situáciou vonkajšieho prostredia, ktoré odpovedá potrebám človeka pri práci alebo odpočinku a zároveň umožňuje zraku optimálne plniť jeho funkcie. V konečnom dôsledku rozlišujeme tri druhy osvetlenia:

- a) *Denné osvetlenie*- je prírodné osvetlenie pochádzajúce zo Slnka (priame slnečné svetlo alebo rozptýlené oblohové svetlo).
- b) *Umelé osvetlenie*- je osvetlenie, ktoré vzniká pomocou umelých zdrojov v ktorých sa transformuje energia iného druhu (elektrická, chemická a pod.) na energiu svetelnú.
- c) *Združené osvetlenie*- je kombináciou denného a umelého osvetlenia.

V praxi sa potom dáva prednosť dennému osvetleniu pred umelým hlavne z dôvodov hygienických a ekonomických. [15], [18], [19]

#### 3.1 Denné osvetlenie

Denné osvetlenie môžeme charakterizovať ako nestály zdroj svetla s ohľadom na ročné obdobie, poveternostné podmienky, deň/noc a pod. Vyžaruje ho Slnko, ktoré je od Zeme vzdialené asi 150 mil. km. Tento druh žiarenia je pre ľudský organizmus najprirodzenejší a preto by sme ho mali pri návrhoch osvetlenia interiérov uprednostňovať. [20]

##### 3.1.1 Kritéria svetelného stavu

Kritérium denného osvetlenia rozdeľujeme na kvantitatívne a kvalitatívne.

###### *Kvantitatívne kritérium*

Zrakovú pohodu môžeme dosiahnuť dostatočným množstvom svetla, pričom za kvantitatívne kritérium denného osvetlenia považujeme činiteľ dennej osvetlenosti  $D$  [%].



$$D = \frac{E}{E_h} \cdot 100 \quad (22)$$

kde  $E$  je osvetlenosť v kontrolnom bode danej roviny v interiéri a  $E_h$  je osvetlenosť nezaťmenenej vonkajšej vodorovnej roviny.

### ***Kvalitatívne kritérium***

Tak ako je potrebné dostatočné množstvo svetla, je potrebná aj jeho kvalita. Jedným z najdôležitejších kvalitatívnych kritérií je rovnomernosť denného osvetlenia  $r$ .

$$r = \frac{D_{min}}{D_{max}} \quad (23)$$

kde  $D_{min}$  minimálna hodnota činiteľa dennej osvetlenosti a  $D_{max}$  je jeho maximálna hodnota.

Existujú aj ďalšie kvalitatívne kritéria medzi ktoré patrí napr. rozloženie svetelného toku, rozloženie jasů plôch v zornom poli, zábrana oslnenia, farebné podanie plôch interiéru. [20]

### **3.1.2 Projektovanie a výpočet denného osvetlenia budov (bytov)**

V hygienických predpisoch a normách sú uvedené kritéria a postupy hodnotenia denného osvetlenia a preslnenia interiérov. V skratke sú to:

#### ***Výpočty preslnenia***

Pre stanovenie doby oslnenia a polohy slnka na oblohe je vhodné používať model pravouhlého slnečného diagramu, pričom pre naše územie sa využíva diagram zostrojený pre  $50^\circ$  severnej zemepisnej šírky. Výpočty slnečných dráh prebiehajú pre kritické dni 1. marca a 21. júna v najnižšom obytnom podlaží posudzovaného bytového domu.

Všetky byty sú zároveň navrhované tak aby boli preslnené. K tomu musia spĺňať nasledovné podmienky:

- pôdorysný uhol slnečných lúčov s hlavnou priamkou roviny okenného otvoru musí byť najmenej  $25^\circ$  a výška slnka nad horizontom najmenej  $5^\circ$ ,
- otvory cez ktoré vniká slnečné žiarenie do miestnosti sú zasklené priehľadným a farby neskresľujúcim materiálom, pričom celková plocha otvorov je najmenej 10% podlahovej plochy miestnosti, kde najmenší rozmer osvetľovacieho otvoru je 900 mm,

- pri jasnej oblohe musia byť dňa 1. marca a 21. júna doba preslnenia väčšia než 90 minút.

### *Výpočty denného osvetlenia*

Pri výpočte činiteľa denného osvetlenia sa jeho celková hodnota rozdelí na tri základné iným spôsobom počítané časti:

- a) *Oblohová zložka*- získaná z jasov rovnomerne zatiahnutej oblohy. Na výpočet oblohovej zložky sa používa klasická bodová metóda.
- b) *Vonkajšia odrazená zložka*- získaná od vonkajších prekážok. Na jej výpočet sa používa metóda mnohonásobných odrazov s numerickou integráciou.
- c) *Vnútorňá odrazená zložka*- odrazy svetla vo vnútri miestnosti. Počíta sa rovnako metódou mnohonásobných odrazov.

### *Meranie denného osvetlenia*

Denné osvetlenie sa hodnotí pomocou intenzít osvetlenia a jasu, z nich sa počítajú ďalšie parametre. Pri meraní intenzity sa používajú súčasne dva luxetre s fotónkou. Meranie je pomerne náročné pretože musia byť splnené určité podmienky pri zatiahnutej oblohe, preto sa nedá presne určiť termín merania. [21]

## **3.2 Umelé osvetlenie**

Umelé osvetlenie vzniká transformáciou iného druhu energie (chemickej, elektrickej a pod.) na energiu svetelnú. Doplnuje alebo úplne nahrádza denné osvetlenie, pričom sa kladie veľký dôraz na jeho kvalitatívne a kvantitatívne vlastnosti. Účelom je zlepšenie zrakovej pohody človeka. Pri jeho návrhu musia byť dodržané tieto požiadavky:

- odpovedajúca úroveň osvetlenia podľa druhu pracovnej činnosti,
- rovnomernosť osvetlenia,
- primerané rozloženie jasu plôch v zornom poli pozorovateľa,
- vhodný prevažujúci smer osvetlenia a tienivosti,
- obmedzenie oslnenia,
- vhodné spektrálne zloženie svetla a primerané podanie farieb žiarenia,
- možnosť použitia miestneho prislvetenia a regulácia celkového osvetlenia,
- údržba a pravidelná kontrola osvetľovacej sústavy.

Treba tiež poznamenať, že niektoré z týchto zásad platia pre iné než umelé osvetlenie a že intenzita umelého osvetlenia musí byť tým väčšia, čím menšie detaily musí človek rozoznávať, čím sú menšie kontrasty rozlišovaných plôch alebo čím dlhšie trvá namáhavá zraková činnosť. [19], [22]

### 3.2.1 Osvetlenosť bezprostredného okolia úlohy a rovnomernosť osvetlenia

Osvetlenosť bezprostredného okolia úlohy musí súvisieť s osvetlením miesta zrakového úkonu a má poskytnúť vyvážené rozloženie jasov v zornom poli pozorovateľa. Zrakovú nepohodu alebo namáhanie zraku môžu spôsobiť práve veľké priestorové zmeny osvetlenosti v okolí zrakového úkonu. Z toho teda vyplýva, že osvetlenosť bezprostredného okolia úlohy môže byť menšie ako osvetlenosť zrakového úkonu, ale nesmie byť menšie než hodnoty, ktoré sú uvedené v nasledovnej tabuľke. Rovnako zobrazuje rovnomernosť osvetlenia miesta zrakovej úlohy a jeho bezprostredného okolia, ktoré nesmie byť opäť menšie, ako sú hodnoty v nej spomínané. Samozrejme musí byť zreteľný aj dostatočný adaptačný jas. [27]

Tab. 4. Rovnomernosť osvetlenia a pomer osvetleností okolia a úlohy [27]

<i>Osvetlenosť úlohy [lx]</i>	<i>Osvetlenosť bezprostredného okolia úlohy [lx]</i>
$\geq 750$	500
500	300
300	200
$\leq 200$	$E_{\text{úlohy}}$
Rovnomernosť osvetlenia $\geq 0,7$	Rovnomernosť osvetlenia $\geq 0,5$

### 3.2.2 Svetelné zdroje

Svetelný zdroj je jednoducho povedané zariadenie, ktoré vyžaruje svetlo v určitej kvalite a množstve, ktorý delíme:

Z hľadiska pôvodu svetelného žiarenia:

- a) *Prírodný*- zdroj, ktorý vzniká v prírode bez ľudského činnosti (svetlo slnka, mesiac, blesku, polárnej žiary a pod.)
- b) *Umelý*- zdroj, ktorý mení určitý druh energie na energiu svetelnú (sviečka, plynová lampa, žiarovka, dióda atď.)

Z hľadiska spôsobu vzniku optického žiarenia:

- a) *Teplotný zdroj*- viditeľné žiarenie vznikajúce pri zahrievaní pevnej látky na vysokú teplotu
- b) *Výbojový zdroj*- viditeľné žiarenie, ktoré vzniká atómovým vybudením plynov alebo pár určitých kovov v elektrickom výboji
- c) *Luminiscenčný zdroj*- žiarenie vznikajúce luminiscenciou pevných látok
- d) *Kvantový generátor*- laser

Svetelný zdroj môžeme charakterizovať z dvoch hľadísk:

- a) *Kvantitatívna charakteristika*

Pod ňou si môžeme predstaviť merný výkon. Je to podiel vyžarovaného svetelného toku a príkonu.

$$\eta_v = \frac{\phi}{P} \quad (24)$$

- b) *Kvalitatívna charakteristika*

Rozumieme ňou dĺžku života zdroja, stálosť a priestorové rozloženie svetelného toku počas starnutia zdroja. Dva najdôležitejšie kvalitatívne parametre svetelných zdrojov sú však index podania farieb  $R_a$  a farebný dojem (teplota chromatickosti).

- *Index podania farieb  $R_a$  (CRI- color rendering index)*

Je hodnotenie vernosti farebného vnemu, ktorý vzniká umelým osvetlením, v porovnaní s tým, aký farebný vnem by vznikol v svetle referenčného ideálneho zdroja. Jeho hodnota môže byť od 0 do 100, pričom  $R_a = 0$  znamená, že pri tomto osvetlení nie je možné rozoznať farby. Hodnota  $R_a = 100$  hovorí o prirodzenom podaní farieb.

- *Teplota chromatickosti (farebný dojem)*

Charakterizuje spektrum bieleho svetla. Svetlo určitej teploty chromatickosti má farbu teplotného žiarenia vydávaného čiernym telesom zahriatym na túto teplotu, meranú v  $K$ .



Obr. 6. Teplota chromatickosti [23]

Tab. 5. Příklady teploty chromatickosti [23]

<i>Svetelný zdroj, farebný dojem</i>	<i>Teplota [K]</i>
sviečka	1200
žiarovka, slnko pri východe alebo západe	2700
teplá biela	3000
neutrálna biela	4000
studená biela, štandardizované denné svetlo	6500

U žiaroviek je hodnota indexu podania farieb a teploty chromatickosti súčasťou typového označenia, kde prvá číslica za lomom určuje veľkosť  $R_a$  v desiatkach percent a ďalšie dve číslice určujú teplotu chromatickosti. Napr. *18W/840* je zdroj s príkonom 18 W,  $R_a = 80$  až 89 s teplotou chromatickosti 4000 K (neutrálna biela).

V súčasnosti sú stále najpoužívanejšie a najrozšírenejšie *klasické žiarovky*, ktoré fungujú na princípe ohrevu wolframového vlákna vo vákuu. Ich výhodou je nízka cena pri zakúpení, spojité spektrum vyžarovaného svetla a veľmi dobré podanie farieb, kde  $R_a = 100$ . Nevýhodou, krátka životnosť s asi 500 až 1000 hod. Na svetlo sa premení len 3 až 5% vlozenej elektrickej energie, preto sú nevhodné. Zvyšok sa premení na teplo.

Zvláštnym typom žiaroviek sú *halogénové žiarovky*, ktoré majú asi o 15% vyšší svetelný tok, životnosť 1500 až 2000 hod., čo spôsobuje ich vyššiu cenu pri kúpe. Princíp je podobný ako u klasickej žiarovky, len s tým rozdielom, že výplň tvoria namiesto vákua plyny halogénov (prevažne organické zlúčeniny brómu). Prebieha v nej teda chemický cyklus.

*Žiarivky* sú ďalším druhom svetelného zdroja, pričom sa na svetlo premení asi 25% elektrickej energie. Nevyžarujú teplo, preto sa im aj hovorí studené zdroje. Fungujú na princípe ortuťového nízkotlakového výboju, ktorý je zažihávaný predradníkom. Tento výboj je zdrojom UV žiarenia, ktorý sa vo vrstve luminoforu, ktorým je trubica žiarivky pokrytá, mení na svetlo. V závislosti na druhu luminoforu, môžeme dosiahnuť rôzne spektrálne zloženie svetla a tiež index podania farieb. Žiarivky sa vyrábajú ako *lineárne* trubice s dĺžkou 60, 120 alebo 150 cm, alebo ako *kompaktné* v bežnej reči úsporné žiarovky. Výhodou kompaktných žiaroviek je veľká svetelná účinnosť, malá spotreba elektrickej energie, životnosť 10 000 hod. Dnes na trhu nájdeme kompaktné žiarivky s lepším  $R_a$ , avšak stále nedosahujú index podania farieb klasických žiaroviek.

Vysokotlaké ortuťové *výbojky* sa dnes vyrábajú v rôznych modifikáciách, napr. s modrozeleným až modrobielym svetlom, halogenidové a zmesové výbojky. Žltoranžovú farbu

majú sodíkové výbojky (tieto môžu byť aj nízkotlaké). Majú však nízky index podania farieb, čo môže byť v určitých prípadoch nevýhoda.

V súčasnosti sa hovorí o *LED* diódach (luminiscenčné diódy) ako o svietidlách budúcnosti hlavne v rámci ich prevádzkového hľadiska. Fungujú na princípe PN prechodu elektrónov za pomoci elektrickej energie. Emitujú žiarenie s určitým spektrálnym zložením od UV až po IR. Napriek pokroku, ktorý sa v oblasti vývoja LED svietidiel uskutočnil, ich obstarávacia cena je stále pomerne vysoká.

Samozrejme dostupných svetelných zdrojov, ktoré sa využívajú v interiéri aj exteriéri je viacero, ako zobrazuje *obr. 7*.

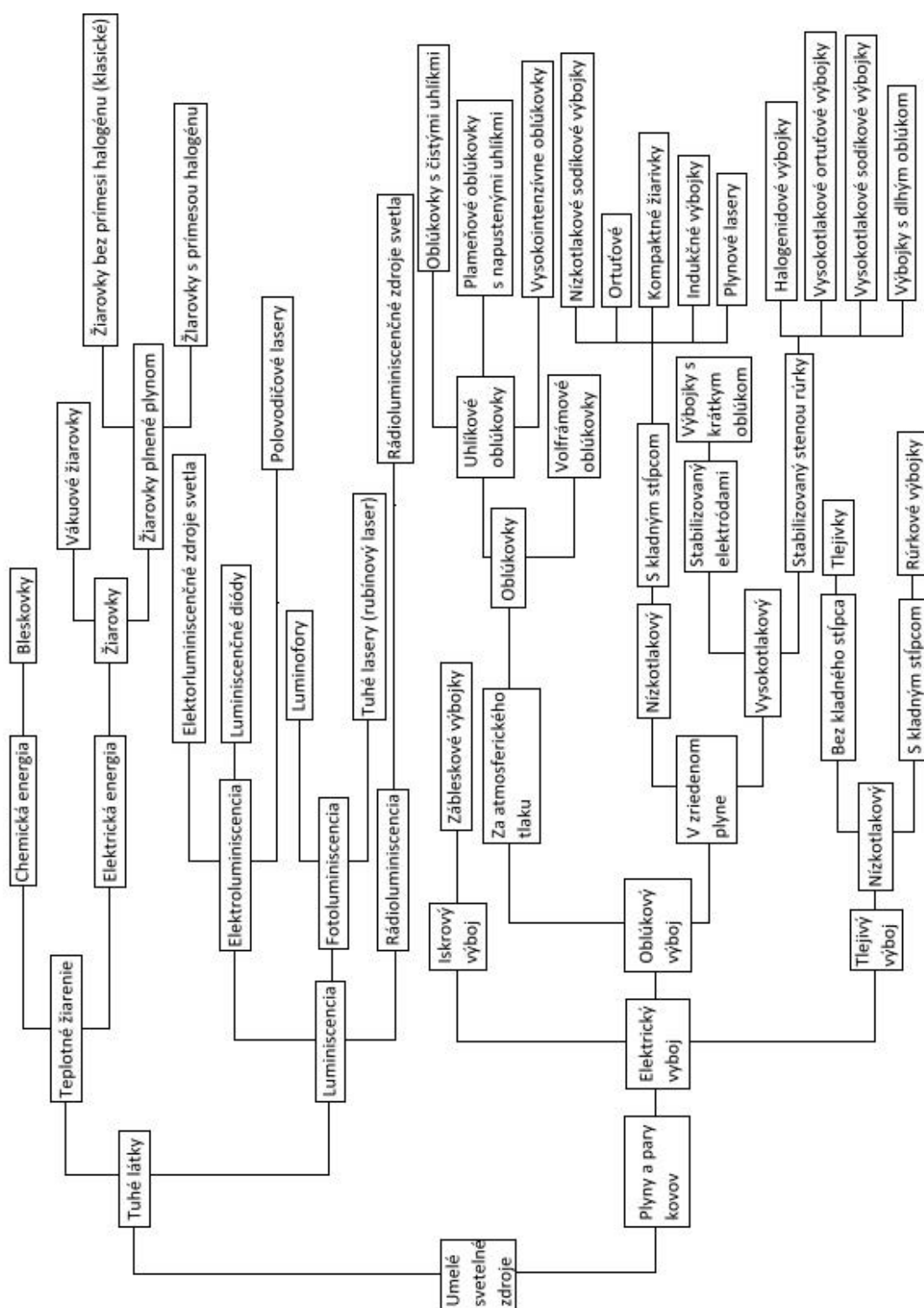
*Tab. 6. Potrebný el. príkon svetelného zdroja pri zrovnateľnom množstve svetla [19]*

<i>Klasická žiarovka</i>	<i>Halogénová žiarovka</i>	<i>Kompaktná žiarivka</i>
60 W	40 W	11 W
75 W	60 W	15 W
100 W	73 W	20 W
2 x 60 W	100 W	23 W

V každom prípade pri výbere vhodného svetelného zdroja treba mať na pamäti:

- merný svetelný výkon a s tým súvisiacu hospodárnosť,
- zaistenie kvality vnímania farieb,
- dosiahnutie zrakovej ako aj svetelnej pohody,
- náročnosť údržby a jeho životnosť,
- vhodný typ zdroja a svietidla do konkrétneho interiéru.

[8], [9], [19] a [23]



Obr. 7. Rozdelenie umelých svetelných zdrojov [11], [22]

### 3.2.3 Rozdelenie umelého osvetlenia

Z hľadiska napájacieho zdroja:

- a) *Normálne osvetlenie*- je napájanie z hlavného zdroja
  - *hlavné osvetlenie*- využíva sa pri práci v obyčajných prevádzkových podmienkach
  - *pomocné osvetlenie*- je využívané pri pomocných prácach mimo hlavnej prevádzky
  - *bezpečnostné osvetlenie*- použité pri poruchách technologických zariadení
- b) *Poruchové osvetlenie*- je napájané z náhradného zdroja
  - *náhradné osvetlenie*- využitie má pri poruchách hlavného osvetlenia, pričom umožňuje pokračovať človeku v danej práci
  - *núdzové osvetlenie*- po zlyhaní hlavného osvetlenia umožňuje bezpečný odchod osôb z daného priestoru

Z hľadiska povahy osvetľovacích priestorov:

- a) *Vnútorne osvetlenie*- v interiéry
- b) *Vonkajšie osvetlenie*- v exteriéry

Osvetľovacie priestory sa tiež delia podľa činností, ktoré sú v nich vykonávané na:

- a) *Pracovné priestory*- zrakové požiadavky sú v nich určované vykonávanou prácou
- b) *Spoločenské priestory*- slúžia na odpočinok, relax a zábavu
- c) *Ostatné priestory*- pomocné priestory alebo menej významné priestory

Z hľadiska sústredenia svetla:

- a) *Celkové osvetlenie*- predstavuje osvetlenie daného priestoru bez zreteľa na osobitné požiadavky v jeho určitých častiach
- b) *Odstupňované osvetlenie*- v jednotlivých častiach daného priestoru závisí priemer-  
ná intenzita osvetlenia od zrakovej náročnosti vykonávanej práce
- c) *Miestne osvetlenie*- dopĺňa celkové osvetlenie
- d) *Kombinované osvetlenie*- kombinácia celkového a miestneho osvetlenia

Z hľadiska rozloženia svetelného toku použitých svetiel:

- a) *Priame osvetlenie*
- b) *Prevažne priame osvetlenie*
- c) *Zmiešané osvetlenie*



- d) *Prevažne nepriame osvetlenie*
- e) *Nepriame osvetlenie*

[1]

### 3.2.4 Svietidlo a krivky svietivosti

Dá sa povedať, že svietidlo je zariadenie zložené zo svetelného zdroja a jeho ostatných častí. Tieto časti majú za úlohu zmenu rozloženia svetelného toku (reflektory, refraktory, difúzory), pripevnenie a ochranu zdroja, jeho pripojenie na rozvod elektrického prúdu, úpravu spektrálneho zloženia vyžarovaného svetla (rôzne druhy filtrov) a tak isto slúžia ako zábrana priamemu pohľadu na zdroj, teda zabraňujú oslneniu (tienidlo, clona).

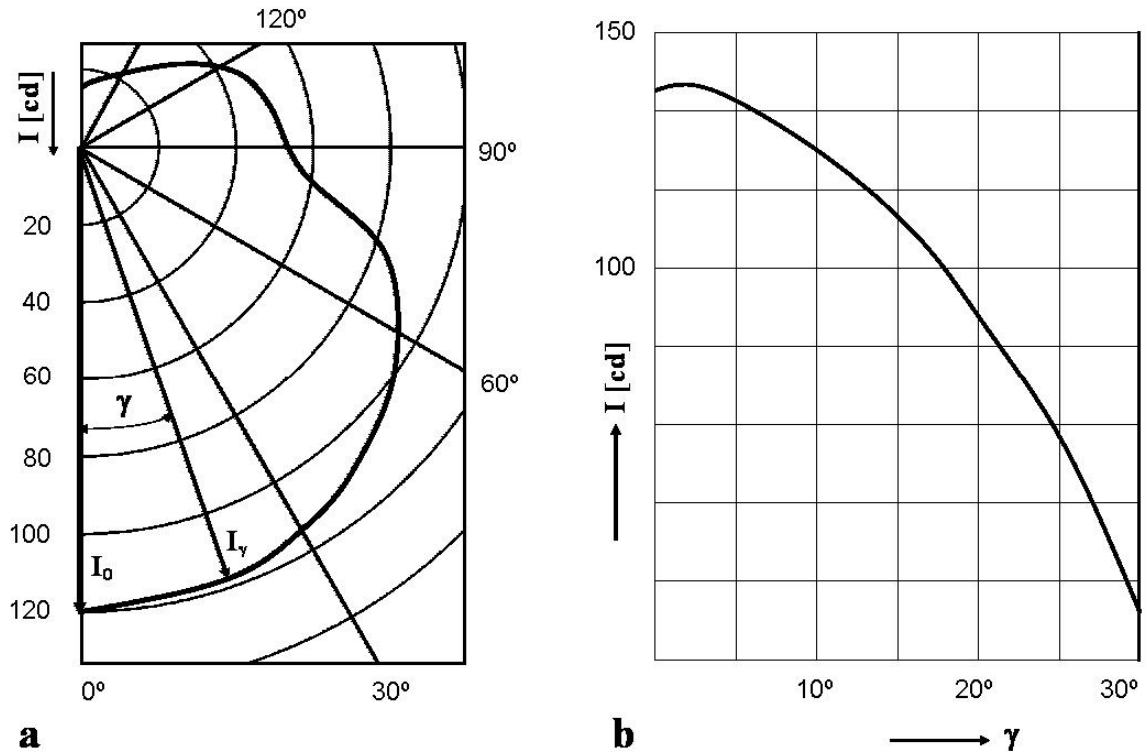
Z fyzikálneho pohľadu, základnú funkciu svietidla určuje rozloženie jeho svetelného toku. Priestorové rozloženie svetelného toku určuje fotometrická veličina svietivosť, kde sa v praxi na jej popis používajú rovinné rezy, ktoré sú charakterizované krivkami svietivosti. Tieto krivky prechádzajú svetelným stredom svietidla, pričom plocha svietivosti je určená koncovými bodmi všetkých vektorov svietivosti, ktoré vychádzajú zo svetelného stredu svetelného zdroja. Svietivosť sa môže uvádzať pre rôzne roviny v grafickej alebo tabuľkovej podobe. Treba tiež spomenúť, že svietivosť a s ňou súvisiaci svetelný tok možno definovať len pre bodové zdroje svetla. Podľa tvaru plochy svietivosti delíme svietidlá na:

- a) *Súmerné*
- b) *Nesúmerné*

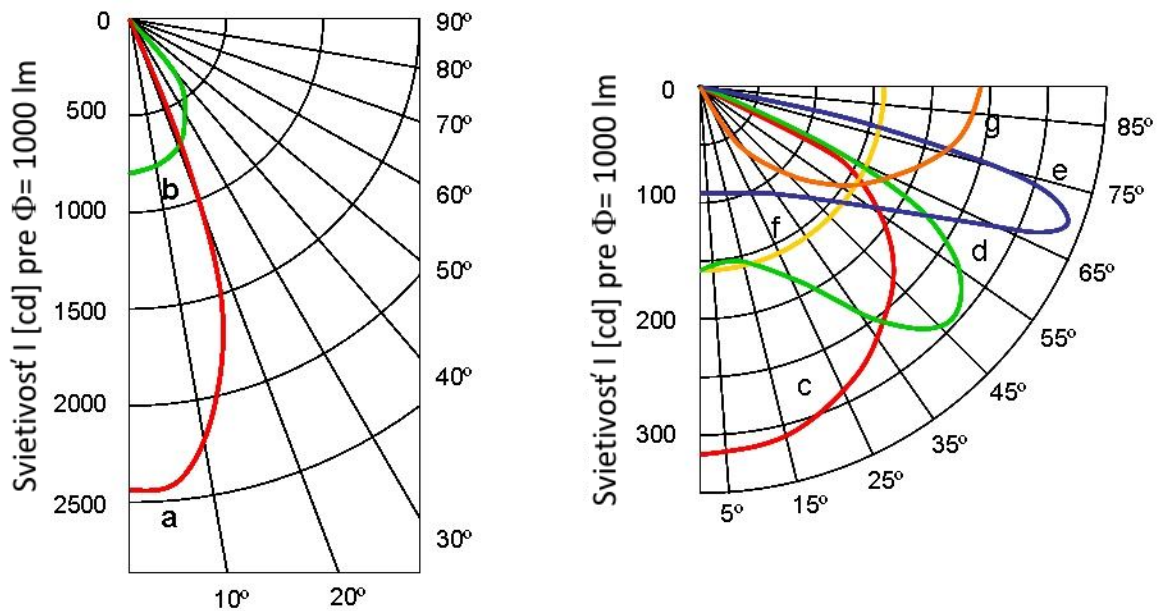
Svietivosť svetelného zdroja je v každom smere rôzna (vzhľadom na uhol  $\gamma$ ). Krivky svietivosti sa zakresľujú do katalógových listov prevažne v polárnych súradniciach pre zdroje svetla so svetelným tokom 1000 lm. Okrem týchto súradníc existujú aj súradnice pravo-uhlé. Krivky svietivosti sa delia z hľadiska tvaru:

- a) *Koncentrovaná*
- b) *Hlboká*
- c) *Kosínusová*
- d) *Pološiroká*
- e) *Široká*
- f) *Rovnomerná*
- g) *Sínusová*

[1], [8], [9], [10], [14] a [22]



Obr. 8. Krivky svietivosti v polárnych (a) a pravouhlých (b) súradniciach [22]



Obr. 9. Tvary kriviek svietivosti- koncentrovaná (a), hlboká (b), kosínusová (c), pološiroká (d), široká (e), rovnomerná (f), sínusová (g) [22]

### 3.3 Združené osvetlenie

Ak skombinujeme denné a umelé osvetlenie dostaneme osvetlenie združené, ktoré sa využíva v priestoroch s nedostatočným slnečným žiarením. Združené osvetlenie možno na základe jeho doby používania rozdeliť na:

- a) *Trvalé*- nachádza uplatnenie v interiéri budov, kde je trvalý výskyt ľudí po celý deň a kde nie je možné z funkčných alebo ekonomických dôvodov, doceliť vyhovujúce denné osvetlenie.
- b) *Prechodné*- nachádza zase uplatnenie vo vnútri budovy, kde sa ľudia nachádzajú len po určitú dobu, ktorá je závislá hlavne na zmene slnečného svetla, ktorá môže byť zapríčinená atmosférickými vplyvmi, svitaním, súmrakom atď. Tiež sa takéto osvetlenie využíva pri zrakovo náročnejších činnostiach.

Podľa rozsahu delíme združené osvetlenie na:

- a) *Celkové*- teda prisvetlenie celej plochy danej miestnosti alebo jej podstatnej časti.
- b) *Miestne*- používame v miestnostiach, kde je obmedzený prístup slnečného žiarenia, alebo kde sa pri určitých činnostiach vyžaduje zvýšené množstvo svetla. Napr. miestnosti, kde dané technické zariadenie vrhá tieň na plochu pracovného stolu alebo miesta, prípadne je tvar výrobkov rôzne zakrivený (vnútro dutých predmetov atď.).

[6], [8]

## 4 VZÁJOMNÉ PÔSOBENIE SVETLA S PROSTREDÍM

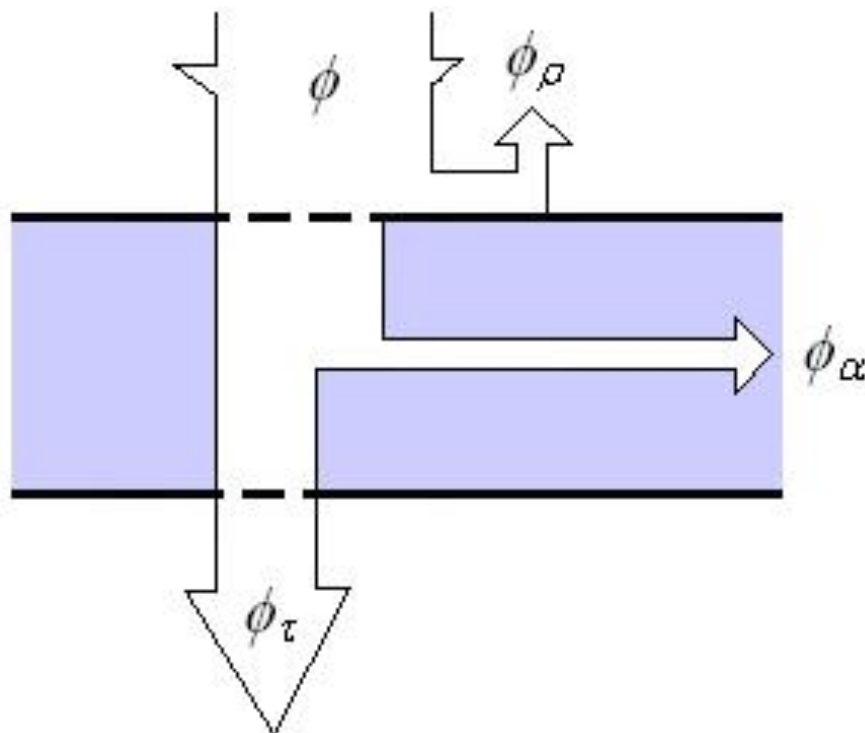
Pri vzájomnom pôsobení svetla na teleso alebo prostredie môže pochopiteľne dochádzať k zmenám hodnôt fotometrických veličín, ako aj k zmenám spektrálneho zloženia svetla. Po dopade žiarenia na rozhranie dvoch prostredí, mení toto žiarenie smer svojich lúčov. Inými slovami môže prejsť do iného prostredia, alebo sa od neho odraziť a tak isto môže dochádzať k rozkladu daného svetla. V neposlednom rade však môže vzniknúť z prirodzeného žiarenia polarizované. [3]

### 4.1 Energetická bilancia šírenia svetla

Pomocou svetelného toku  $\phi$ , môžeme jednoducho vyjadriť energetickú bilanciu šírenia svetla. Svetlo a teda aj svetelný tok sa od daného prostredia môže odraziť, môže danou látkou prejsť, prípadne ho môže pohltiť (za zvýšenia teploty telesa). Z toho vyplýva, že dopadajúci svetelný tok je súčtom všetkých týchto dejov.

$$\phi = \phi_{\rho} + \phi_{\tau} + \phi_{\alpha} \quad (25)$$

kde  $\phi_{\rho}$  je svetelný tok po odraze,  $\phi_{\tau}$  je svetelný tok, ktorý danou látkou prechádza a  $\phi_{\alpha}$  je pohltенý svetelný tok. [8], [22]



Obr. 10. Energetická bilancia šírenia svetla [22]

## 4.2 Činitel' odrazu, priestupu a pohltienia

Svetlotechnické vlastnosti materiálov určujú množstvo a kvalitu svetla, ktoré sa bude v miestnosti po dopadne denného alebo umelého žiarenia nachádzať. Tieto ich vlastnosti sa využívajú pri posudzovaní návrhu svetlotechnického projektu budovy. Na ich opis slúži činitel' odrazu  $\rho$ , priestupu  $\tau$  a pohltienia  $\alpha$ , ktorých vzájomnú závislosť popisuje nasledovná rovnica:

$$\rho + \tau + \alpha = 1 \quad (26)$$

[6], [8], [11], [22]

### 4.2.1 Činitel' odrazu

Pri odraze svetla od hraničnej plochy sa svetlo vracia naspäť do prostredia, z ktorého prichádza. Odraz môže byť:

- a) *Zrkadlový*- odraz svetla bez rozptylu žiarenia, ktorý je v zhode s optickým zákonom odrazu, pričom odrazný povrch nazývame zrkadlovým.
- b) *Rozptylový*- odraz žiarenia do rôznych smerov, pričom dochádza k rozptylu žiarenia do prostredia. Zrkadlový odraz pri ňom nevzniká a povrch takéhoto telesa nazývame matným.
- c) *Zmiešaný*- odraz zrkadlového a zároveň rozptylového typu s polomatným povrchom.

Činitel' odrazu  $\rho$  slúži na popis odrazu žiarenia. Charakterizujeme ho ako podiel odrazeného svetelného toku a dopadajúceho svetelného toku na danú látku.

$$\rho = \frac{\Phi_{\rho}}{\Phi} \quad (27)$$

[6], [8], [11], [22]

Tab. 7. Činitele odrazu svetla od bežných povrchov alebo materiálov [6], [8]

<i>Druh povrchu, materiálu</i>	<i>Činiteľ odrazu svetla <math>\rho</math> [-]</i>	
povrch konštrukcie, steny alebo omietky	biela	0,75 až 0,89
	krémová, béžová	0,60 až 0,70
	svetlo žltá	0,60 až 0,70
	tmavo žltá	0,50 až 0,60
	svetlo červená	0,40 až 0,50
	tmavo červená	0,15 až 0,30
	svetlo zelená	0,45 až 0,65
	tmavo zelená	0,05 až 0,30
	svetlo modrá	0,40 až 0,60
	tmavo modrá	0,05 až 0,20
	hnedá	0,12 až 0,25
	svetlo šedá	0,40 až 0,60
	tmavo šedá	0,15 až 0,20
	čierna	0,01 až 0,03
tehla (červená, pálená hlina)	0,25	
piesok svetlý	0,50	
sadra biela	0,80 až 0,92	
mramor biely	0,55 až 0,80	
žula	0,40 až 0,50	
drevo svetlé	0,30 až 0,50	
drevo tmavé	0,10 až 0,25	
tráva, zeleň	0,03 až 0,10	
zemina	0,08 až 0,20	
smalt biely	0,60 až 0,75	
betón svetlý	0,20 až 0,50	
betón tmavý	0,10 až 0,25	
ocel nerezová (leštená)	0,55 až 0,65	
hliník leštený	0,80 až 0,85	
medený plech (s medenkou)	0,15 až 0,45	
chróm leštený	0,60 až 0,70	
sklo s drôtenou vložkou (hrúbka 5 mm)	0,15 až 0,27	
sklo hladké (hrúbka 1 až 4 mm)	0,06 až 0,08	
plexisklo kalné biele (hrúbka 1 až 2 mm)	0,20 až 0,40	
zrkadlo sklenené	0,80 až 0,90	
okno s čírim sklom	0,10	
okno s čírim sklom a bielou záclonou	0,30 až 0,40	
sneh	0,75 až 0,80	

#### 4.2.2 Činitel' přístupu

Schopnost' látky propušt'at' světlo nazýváme přístup světla, který může být:

- Priamy*- přístup žiarenia bez jeho rozptylu, pričom materiálu cez ktorý prešlo toto svetlo hovoríme priehľadný.
- Rozptylový*- přístup svetla za vzniku rozptylu, neplatí optickým zákonom lomu. V tomto prípade hovoríme o priesvitných materiáloch.
- Zmiešaný*- kombinácia priameho a rozptylového přístup svetla, pričom materiály nazývame polopriesvitné.

Činitel' přístupu  $\tau$  slúži pochopiteľne na popis přístupu světla. Charakterizujeme ho ako podiel prepusteného svetelného toku a dopadajúceho svetelného toku na dané prostredie.

$$\tau = \frac{\phi_{\tau}}{\phi} \quad (28)$$

[6], [8], [11], [22]

Tab. 8. Činitele přístupu světla u běžných materiálov [6], [8]

<i>Druh materiálu</i>	<i>Činitel' přístupu světla <math>\tau</math> [-]</i>
čiré tabuľové sklo (hrúbka 3 až 4 mm)	0,92
surové sklo (nevzorované)	0,88
vzorované sklo (hrúbka 3 až 4 mm)	0,85 až 0,90
drôtené sklo (hrúbka 6 až 7 mm)	0,60 až 0,86
vrstevnaté sklo zelené (hrúbka 3 až 6 mm)	0,02 až 0,09
vrstevnaté sklo modré (hrúbka 3 až 6 mm)	0,01 až 0,05
sklolaminát	0,35 až 0,85
plexisklo kalné biele (hrúbka 1 až 2 mm)	0,40 až 0,70
akrylát číry	0,85 až 0,92
determálne sklo	0,35 až 0,70
reflexné sklo	0,55 až 0,65
sklenená tvárnica plná jednovrstvová	0,85 až 0,89
sklenená tvárnica dutá dvojvrstvová	0,55 až 0,62
tkanina svetlo zelená	0,33
tkanina žltá	0,54
záclona	0,50 až 0,75

### 4.2.3 Činiteľ pohltienia

Látka pri pohltení svetelného žiarenia mení získanú svetelnú energiu na energiu tepelnú, pomocou ktorej vyžaruje do okolia teplo. Tento dej nazývame pohltienie svetla, ktorý popisuje činiteľ pohltienia  $\alpha$ . Je to vlastne podiel pohlteneho svetelného toku a dopadajúceho svetelného toku na danú látku.

$$\alpha = \frac{\phi_{\alpha}}{\phi} \quad (29)$$

[6], [8], [11], [22]

Tab. 9. Činitele pohltienia svetla u daných materiálov [6]

<i>Druh materiálu</i>	<i>Činiteľ pohltienia svetla <math>\alpha</math> [-]</i>	
determálne sklo (hrúbka 5 až 8 mm)	0,16 až 0,26	
sklo číre vzorované (hrúbka 3 až 6 mm)	0,03 až 0,20	
drôtené sklo (hrúbka 3 až 6 mm)	0,15 až 0,20	
sklo vrstevnaté modré (hrúbka 3 až 6 mm)	0,30	
sklo vrstevnaté zelené (hrúbka 3 až 6 mm)	0,32	
plexisklo kalné biele (hrúbka 1 až 2 mm)	0,10 až 0,20	
tkanina	oranžová	0,37
	biela	0,05
	sýto zelená	0,67
	fialová	0,75
	sýto červená	0,63



## 5 SVETELNOTECHNICKÝ PROJEKT

Pri návrhu umelého osvetlenia v interiéri budov alebo exteriéri, musí daný návrh spĺňať všetky požiadavky, predpisy a normy, ktoré sú určené vo vyhláškach EU. Ide najmä o konštrukciu a inštaláciu osvetľovacích sústav, ich rozmery, montáž, prevádzku, údržbu počas života a pod. Tak isto je vhodné dopredu vedieť farby povrchov okolia a prípadných prekážok, druh činnosti, ktorá sa bude v danom objekte vykonávať, umiestnenie budovy a jej samotnú prevádzku. Toto je len časť problémov s ktorými by mali rátať inžinieri a odborníci, ako svetelný technik, technológ, architekt, projektant elektrického rozvodu a pod. Preto by mali mať vždy na pamäti určité východiskové zásady a predpoklady, ktoré sú pri vypracovávaní svetelnotechnického projektu nevyhnutné:

- a) *Rozmerové údaje priestoru*
- b) *Druh a doba pracovnej činnosti a jej zrková náročnosť*
- c) *Rozmery a umiestnenie výrobného a technického zariadenia v danom priestore*
- d) *Popis hlavných povrchov, ich svetelné a farebné vlastnosti*
- e) *Charakteristika a vyhodnotenie denného osvetlenia*
- f) *Spôsob upevnenia svietidiel a vodičov*
- g) *Napájanie osvetľovacej sústavy elektrickou energiou*
- h) *Údaje o objekte vzhľadom na bezpečnosť a spoľahlivosť prevádzky osvetlenia*

[1], [9], [11]

### 5.1 Svetelnotechnický výpočet

Samotný svetelnotechnický výpočet prebieha na základe platných ČSN EN noriem a jeho cieľom je dodržiavať hodnoty osvetlenia spojené s určitou kvalitou a kvantitou, ktorá je v nich požadovaná (napr. množstvo a rovnomernosť spomínaného osvetlenia, index podania farieb, zábrana oslnenia a pod.). Predpokladá sa, že pri samotnom výpočte sú už vyriešené požiadavky na hospodárnosť a ekonomickú stránku umelého osvetlenia, spolu s druhom činnosti, ktorá má byť v danom mieste vykonávaná. Cieľom všetkého je vytvoriť zrkovú pohodu a zabezpečiť bezpečnosť pri bežných ako aj pracovných činnostiach. Na výpočet môžeme okrem tabuliek, rovníc a grafov používať simulačné programy (napr. Wils 6.3), ktoré nám v súčasnosti poskytuje výpočtová technika a ktorá urýchľuje a spresňuje požadované výsledky. Obrovskou výhodou takto získaných výstupov je možnosť vizuali-

zácie v 3D rozmere. Čo sa týka samotných metód výpočtu poznáme metódu pomerných príkonov, tokovú metódu a bodovú metódu. Poslednú spomínanú používa aj simulačný program Wils 6.3. [22]

### 5.1.1 Metóda pomerných príkonov

Táto metóda je pomerne jednoduchá a používa sa zväčša len pri predbežných návrhoch osvetľovacej sústavy. Výpočet prebieha za pomoci tabuliek pomerných príkonov, v ktorých nájdeme hodnoty týchto príkonov. Tie sú potom potrebné pri stanovení osvetlenosti  $E$  (z pravidla 100 lx) pre daný typ umelého osvetlenia na jednotku plochy, ktorá je osvetľovaná. Celkový príkon  $P_c$  všetkých svetelných zdrojov teda vypočítame ako podiel pomerného príkonu  $p$ , ktorý nájdeme v tabuľkách, veľkosti pracovnej plochy  $A$  a požadovanej osvetlenosti  $E$  delenej 100.

$$P_c = p \cdot A \cdot \frac{E}{100} \quad (30)$$

Pred výpočtom samozrejme potrebujeme vedieť aspoň približné odtiene stien a stropov. [22]

Tab. 10. Hodnoty pomerných príkonov pre  $E = 100 \text{ lx}$  [22]

Osvetlenie	Žiarovkami			Žiarivkami		
	Steny			Steny		
	Svetlé	Tmavé	Tmavé	Svetlé	Tmavé	Tmavé
	Strop			Strop		
	Svetlý	Svetlý	Tmavý	Svetlý	Svetlý	Tmavý
Priame	14	16	18	4	5	6
Prevažne priame	18	22	25	5	6	6,5
Zmiešané	22	27	34	6	7	9
Prevažne nepriame	25	34	44	6,5	9	10
Nepriame	29	42	57	7	10	15

(Pozn: Hodnoty v tabuľke pre žiarovku platia od 100 W a vyššie,  $p = [W \cdot m^{-2}]$ )

### 5.1.2 Toková metóda

Cieľom tejto metódy je stanovenie celkového svetelného toku osvetľovacej sústavy. Výpočet pomocou tokovej metódy vychádza z nasledovnej rovnice:

$$\phi_c = \frac{E \cdot A}{\eta \cdot z} \quad (31)$$

kde  $\phi_c$  je celkový svetelný tok všetkých zdrojov,  $E$  je priemerná osvetlenosť v bodoch zrovnávanej roviny, prípadne udržiavaná osvetlenosť podľa noriem ČSN EN,  $A$  je plocha pôdorysu interiéru,  $\eta$  je činiteľ využitia osvetľovacej sústavy a  $z$  je udržiavací činiteľ (stanovený ako súčin činiteľa starnutia svetelného zdroja, činiteľa znečistenia svietidla, činiteľa znečistenia osvetľovanej plochy a činiteľa funkčnej spoľahlivosti svietidla).

(Pozn.: Činiteľ  $\eta$  dokážeme zistiť z katalógových listov výrobcov svietidiel a činiteľ  $z$  vypočítame z tabuliek a rovníc k nemu prislúchajúcim, jeho hodnota je však v bežných podmienkach v rozmedzí od 0,45 do 0,65).

[22]

### 5.1.3 Bodová metóda

Bodová metóda slúži na zistenie osvetlenosti alebo jasv v daných kontrolných bodoch alebo miestach. Touto metódou dokážeme zistiť ich hodnoty vo vodorovných a zvislých bodoch, ako aj v naklonených rovinách. Nevýhodou tejto metódy môže byť fakt, že získané výsledky nezahŕňujú odrazené svetelné toky a platia len pre bodové zdroje svetla, ktorých rozmery sa blížia nule. V reálnom živote však svetelný zdroj nie je bezrozmerný, čo logicky spôsobuje určitú chybu pri samotnom výpočte. Na korekciu tejto chyby využívame delenie zdrojov svetla.

(Pozn.: Simulačný program Wils 6.3 počíta bodovou metódou mnohonásobných odrazov osvetlenia za pomoci numerickej integrácie).

Na popis princípu fungovania tejto metódy predpokladajme bodový zdroj svetla s maximálnym rozmerom menším, než tretina vzdialenosti daného svietidla od najbližšieho kontrolného bodu (miesta). V takom prípade je chyba výpočtu menšia ako 10%. Princípom je teda stanovenie osvetlenosti v bode  $P$ , ktorý je súčasťou obecnej roviny  $\rho$ , pri šírení žiarenia z bodového zdroja  $Z$ , pričom platí rovnica:

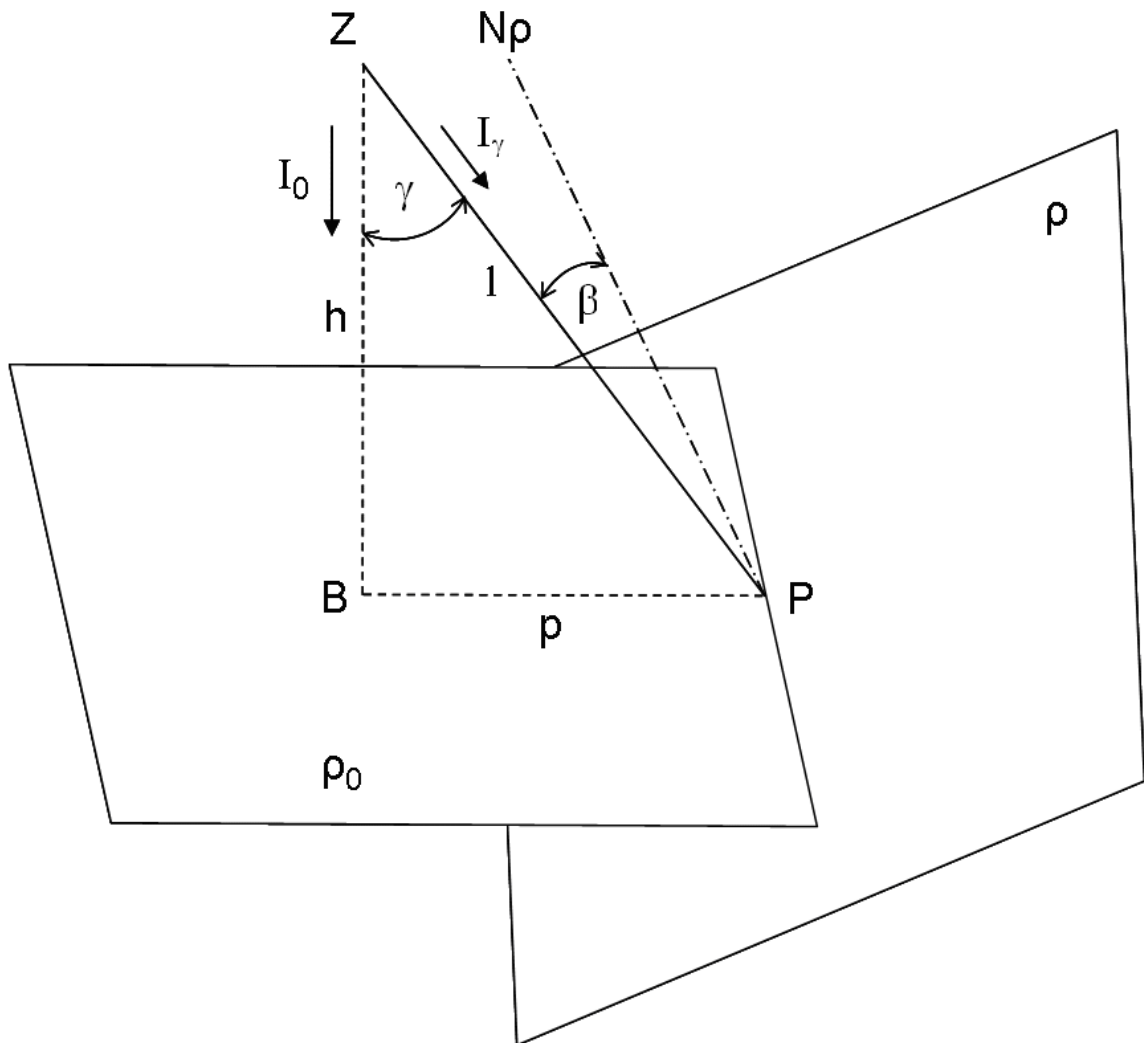
$$E_{p\rho} = \frac{I_\gamma \cdot \cos \beta}{l^2} = \frac{I_\gamma \cdot \cos \beta}{h^2 + p^2} \quad (32)$$

kde  $I_\gamma$  je svietivosť zdroja pri uhle  $\gamma$ , určená z krivky svietivosti svetelného zdroja,  $\beta$  je uhol dopadu svetla na kontrolnú rovinu  $\rho$  a  $l$ ,  $h$ ,  $p$  označujú vzdialenosti.

Krivky svietivosti zvyčajne uvádzame pre referenčný svetelný tok  $\phi = 1000$  lm. Avšak treba poznamenať, že tento tok sa líši od svetelného toku všetkých zdrojov svetla  $\phi_z$

vyžarovaných svietidlom. Kôli tomu je nutné svietivosť  $I_\gamma$ , ktorá je stanovená z krivky svietivosti, prepočítať na skutočný svetelný tok svietidla  $\phi_z$ .

$$I_\gamma = I'_\gamma \frac{\phi_z}{\phi} = I'_\gamma \frac{\phi_z}{1000} \quad (33)$$

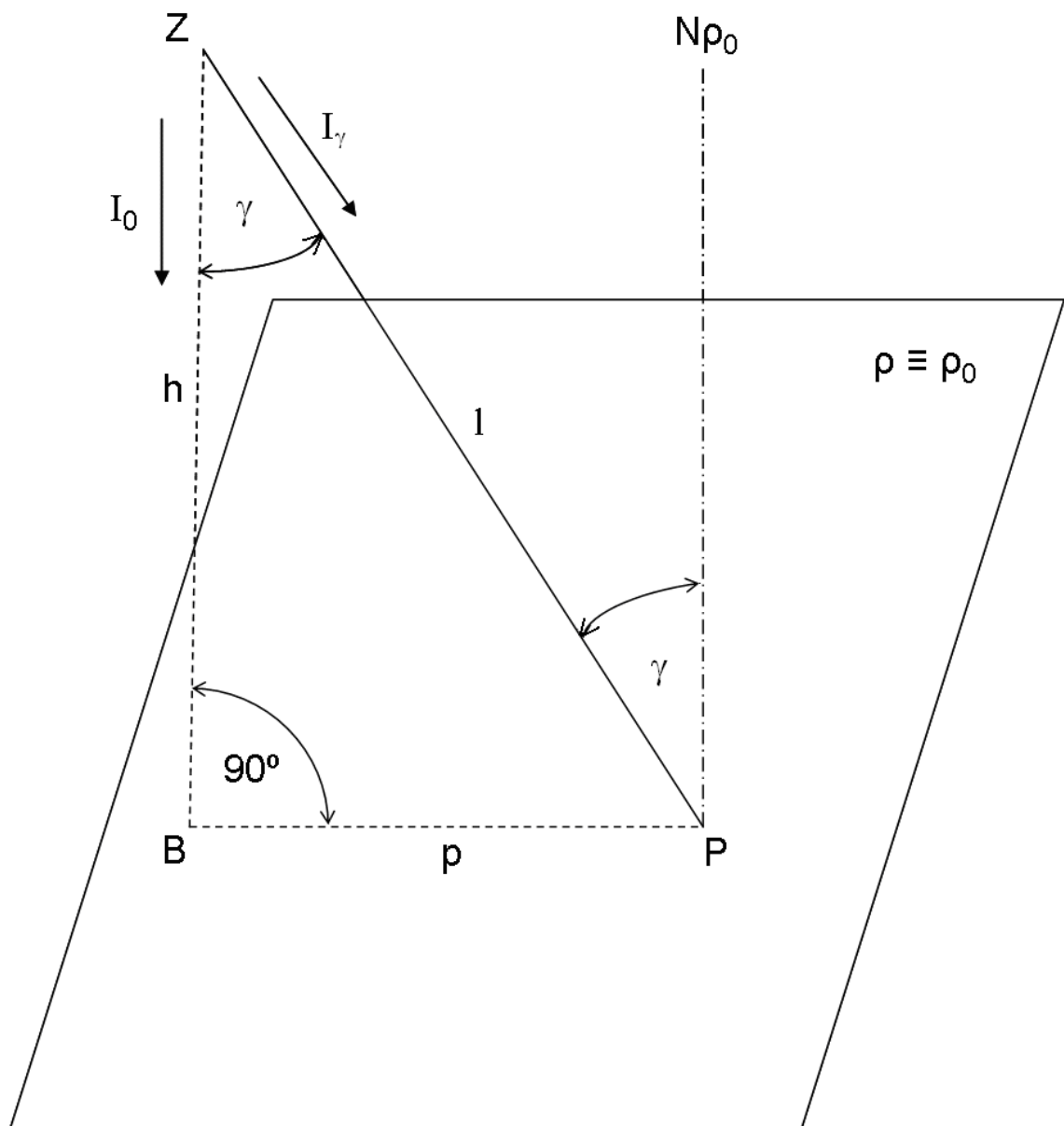


Obr. 11. Stanovenie osvetlenosti v bode obecnej roviny  $p$  [22]

Ďalšou možnosťou určenia osvetlenosti v bode  $P$  je preložiť tento bod rovinou  $\rho_0$ , ktorá je kolmá na smer svietivosti  $I_0$ , pričom platí:

$$E_{p\rho_0} = \frac{I_\gamma \cdot \cos \gamma}{l^2} = \frac{I_\gamma \cdot \cos^3 \gamma}{h^2} = I_\gamma \frac{h}{l^3} = I_\gamma \frac{h}{(\sqrt{h^2 + p^2})^3} \quad (34)$$

[22]



Obr. 12. Stanovenie osvetlenosti v bode obecnej roviny  $\rho_0$ , kolmej na smer  $I_0$  [22]

## 6 PROGRAM WILS 6.3

Program Wils 6.3.6.32 dokáže vhodne simulovať hodnoty umelého osvetlenia v nami určených priestoroch a pomocou neho dokážeme navrhnuť požadovaný svetelnotechnický projekt. Okrem toho dokáže vypočítať jas, oslnenie a s nimi súvisiace veličiny.

### *Základná charakteristika*

- Český software založený na českých a európskych normách,
- kompatibilita (až 80% projektantov používa k výpočtu osvetlenia tento program),
- výstupy sú bez problémov akceptované hygienickou službou,
- pohodlné ovládanie a výstupy v spolupráci s CAD systémami,
- po načítaní výpočtu denného osvetlenia možnosť riešenia združeného osvetlenia,
- možnosť pokračovania v riešení po inštalácií ElProCADu.

### *Systém sa riadi podľa noriem*

- ČSN EN 12464-1 - Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - Část 1: Vnitřní pracovní prostory,
- ČSN EN 12464-2 - Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - Část 2: Venkovní pracovní prostory,
- ČSN EN 12193 - Světlo a osvětlení - Osvětlení sportovišť,
- ČSN CEN/TR 13201-1 - Osvětlení pozemních komunikací - Část 1: Výběr tříd osvětlení,
- ČSN EN 13201-2 - Osvětlení pozemních komunikací - Část 2: Požadavky,
- ČSN EN 13201-3 - Osvětlení pozemních komunikací - Část 3: Výpočet,
- ČSN EN 13201-4 - Osvětlení pozemních komunikací - Část 4: Metody měření,
- ČSN EN 1838 - Světlo a osvětlení - Nouzové osvětlení.

### *Metódy výpočtu*

- Bodová metóda „delenia zdrojov“ výpočtu priamej zložky osvetlenosti,
- bodová metóda mnohonásobných odrazov výpočtu odrazenej zložky osvetlenosti- numerická integrácia,
- toková metóda rýchleho návrhu počtu svietidiel v priestore,
- výpočet udržiavacieho činiteľa podľa ČSN EN 12464-1/Z1,
- výpočet činiteľa oslnenia UGR (vnútorné priestory) podľa EN 12464-1,
- výpočet činiteľa oslnenia GR (vonkajšie priestory) podľa CIE,

- výpočet jasov vozoviek podľa EN 13201,
- výpočet prahového prírastku- oslnenie vozoviek.

### ***Hlavné vylepšenia oproti predchádzajúcim verziám***

- Prezentačná vizualizácia,
- riešenie rôznych prevádzkových režimov,
- tabuľková editácia jednotlivých svietidiel,
- viazané sústavy svietidiel,
- možnosť niekoľkých krokov späť pri editácii sústavy svietidiel,
- zobrazovanie súradníc svietidiel na osiach,
- možnosť posúvania svietidiel s udrжанím smerového bodu,
- zobrazenie pohľadového rastra,
- vylepšený výstup tlače,
- farebné izolínie,
- viac obrázkov k miestnosti,
- ľahšie zadanie nepravidelnej miestnosti v spolupráci s programom CAD.

### ***Svetlotechnické vlastnosti programu***

- Bodový výpočet odrazenej zložky nastaviteľnou numerickou metódou mnohonásobných odrazov,
- tieniace vlastnosti interiérových a stavebných prvkov a rôzne tvary miestností možno rešpektovať sústavami nepriesvitných alebo polopriesvitných prekážok,
- je možné ľahko definovať prekážky simulujúce miestnosť tvaru L alebo U,
- bodovou metódou možno spočítať nie len horizontálnu a normálovú osvetlenosť, ale aj zložky svetelného vektoru, guľovú valcovú alebo „kamerovú osvetlenosť“,
- svietidlá možno orientovať v priestore úplne ľubovoľné a to pomocou uhlov, smerových bodov, vektorov alebo pomocou myši,
- databáza svietidiel obsahuje viac ako 50 tis. svietidiel rôznych výrobcov,
- existuje možnosť importu výsledkov výpočtu denného osvetlenia z programu Wdls 4.0 k riešeniu stmievania alebo združeného osvetlenia.

### ***Grafika programu***

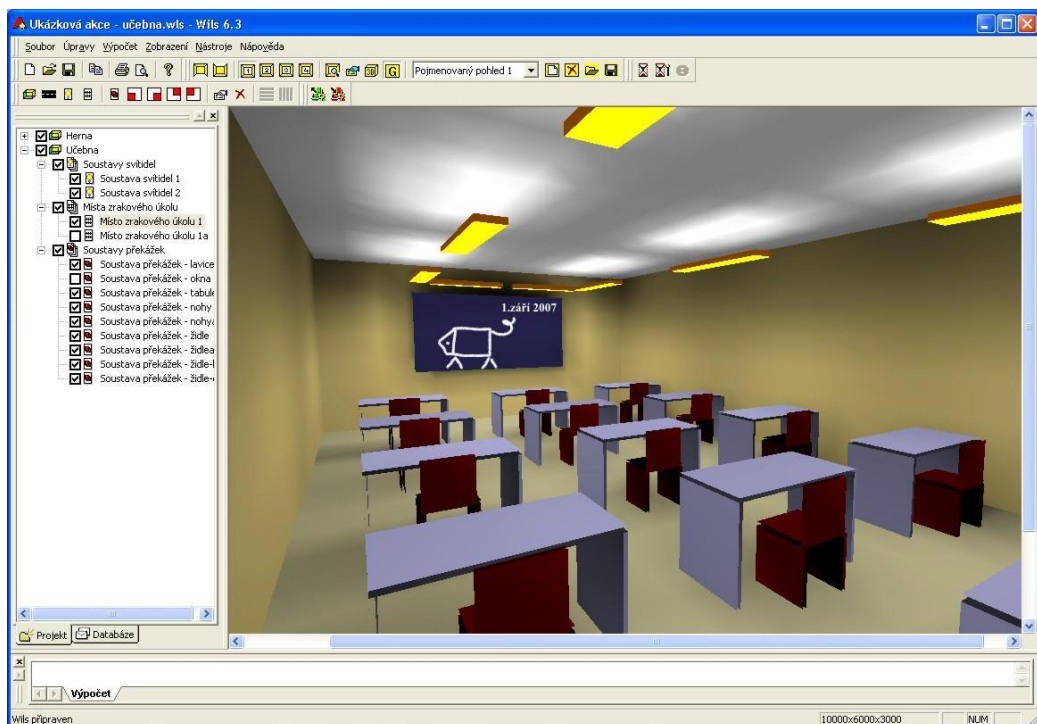
- Editáčn  a vizualizačné zobrazenie je možno ľahko prepínať,
- nastaviteľné zobrazenie podľa potreby,

- formou tabuľky alebo izo diagramu je možné zobrazit' výsledky výpočtu osvetlenosti alebo jasu,
- pomocou tabuľky, izo diagramom alebo značkami oslnenia možno zobrazit' výsledky výpočtu činiteľa oslnenia UGR alebo GR,
- možnosť práce s pomenovanými náhľadmi.

### Ďalšie vlastnosti softwaru

- Použitelný pre OS Windows XP, Vista, 7,
- možnosť priamej spolupráce s programom AutoCAD verzia 2000 a vyššia, AutoCAD LT verzia 2000 a vyššia alebo IntelliCAD verzia 4 a vyššia,
- export svetidiel a izolínií priamo do vyššie uvedených editorov alebo do formátu DXF,
- export výsledkov do formátu HTML,
- možnosť zobrazovania charakteristík svetidiel v priestore,
- možnosť okamžitého prepočtu pri manipulácii so svetidlami,
- možnosť zobrazovania fotografií svetidiel,
- export a import svetidiel pomocou formátu EULUMDAT,
- export legendy miestností a svetidiel do AutoCADu a Excelu.

[24]



Obr. 13. Ukázkový příklad simulácie miestnosti v programe Wils 6.3 [24]



## 7 OSVETLENIE A NORMY

Normy, ktoré sú potrebné pri výpočtoch, meraniach alebo návrhu osvetlenia a vypracovania svetelnotechnického projektu v skratke popisujú nasledovné riadky.

### *ČSN EN 12464-1 - Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - Část 1: Vnitřní pracovní prostory*

Stanovuje požiadavky na osvetlenie pre vnútorné pracovné priestory z hľadiska zrakovej pohody a zrakového výkonu. Sú v nej uvedené všetky bežné zrakové úkony. Stanovuj požiadavky na riešenie osvetlenia pre väčšinu vnútorných pracovných priestorov. Sú v nej tiež odporúčania pre správnu osvetľovaciu prax. Bola revidovaná a zdokonalená, preto sa v nej kladie dôraz na dôležitosť denného osvetlenia, ďalej požiadavky na osvetlenie sú všeobecne použiteľné nezávisle na tom, či je osvetlenie denné alebo umelé, alebo kombinované (združené). Je špecifikovaná minimálna osvetlenosť stropov a stien, tiež valcová osvetlenosť. Sú uvedené nové limity jasov svietidiel atď.

Tab. 11. Normované požiadavky na osvetlenie, oslnenie a index podania farieb [15], [27]

<i>Typ priestoru, úlohy alebo činnosti</i>	$\bar{E}_m$ [lx]	UGR [-]	$R_a$ [-]
<i>Cirkulačné priestory a chodby</i>	100	28	40
Schodiská, eskalátory, pohyblivé chodníky	150	25	40
Nakladacie rampy a miesta	150	25	40
<i>Kancelárie (kopírovanie, zakladanie a pod.)</i>	300	19	80
Písanie, čítanie, spracovanie dát	500	19	80
Technické kreslenie	750	16	80
Pracovná stanica CAD	500	19	80
<i>Konferenčné a zhromažďovacie miestnosti</i>	500	19	80
Recepčný stôl	300	22	80
Archív	200	25	80
<i>Učebne a konzultačné miestnosti</i>	300	19	80
Učebne pre večerné štúdium a vzdelávanie dospelých	500	19	80
Prednáškové sály	500	19	80
Tabule	500	19	80
Miestnosti pre výtvarnú výchovu	500	19	80
Miestnosti pre výtvarnú výchovu na výtvarných školách	750	19	90

(Pozn.: Udržovaná osvetlenosť  $\bar{E}_m$  je hodnota priemernej osvetlenosti, pod ktorú by nemala osvetlenosť klesnúť. Zároveň táto osvetlenosť popisuje okamžik, kedy má prebehnúť údržba svietidiel.)

***ČSN EN 12464-2 - Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - Část 2: Venkovní pracovní prostory***

Obsahuje termíny a ich definície, kritéria pre stanovenie požiadaviek na osvetlenie, rozsiahli súbor väčšiny vonkajších priestorov a činností s uvedenými základnými parametrami osvetlenia (rovnomernosť osvetlenia, činiteľ oslnenia GRL, index podania farieb  $R_a$  a pod.). Obsahuje tiež požiadavky na obmedzenie rušivého oslnenia v dobe nočného klúdu a v prílohe A tiež svetelnotechnické požiadavky na bezpečnosť pracovník.

***ČSN EN 12193 - Světlo a osvětlení - Osvětlení sportovišť***

Je zameraná na osvetlenie športovísk pre zabezpečenie dobrých podmienok videnia pre športovcov, atlétov, rozhodcov, divákov atď. Popisuje optimalizáciu vnímania zrakovej informácie počas športovej aktivity, udržanie úrovne zrakového výkonu, dosiahnutie zrakovej pohody a obmedzenie rušivého oslnenia. Určuje osvetlenie krytých aj otvorených športovísk pre tie druhy športov, ktoré sú v Európe najčastejšie. Určuje tiež metódy merania hodnôt osvetlenia a pod.

***ČSN CEN/TR 13201-1 - Osvětlení pozemních komunikací - Část 1: Výběr tříd osvětlení***

Obsahuje návod pre výber tried osvetlenia podľa ČSN EN 13201-2 na základe posúdenia geometrického usporiadania, využitia priestoru, vplyvu okolia na základe intenzity dopravy, náročnosti navigácie, zložitosti zorného poľa, rizika kriminality atď. Obsahuje tiež všeobecné odporúčania napr. požiadavky na podanie farieb, zrakovú pohodu atď.

***ČSN EN 13201-2 - Osvětlení pozemních komunikací - Část 2: Požadavky***

Definuje na základe fotometrických požiadaviek triedy osvetlenia pre pozemné komunikácie s ohľadom na zrakové potreby ich užívateľov, pričom zohľadňuje životné prostredie.

***ČSN EN 13201-3 - Osvětlení pozemních komunikací - Část 3: Výpočet***

Výpočtové metódy, ktoré sú v tejto norme spomenuté umožňujú, aby charakteristiky osvetľovacích sústav boli objektívne zrovnateľné s výsledkami získanými z rôznych zdrojov. Definuje a popisuje predpoklady a matematické postupy, ktoré je potreba používať pri výpočtoch fotometrických požiadaviek.

***ČSN EN 13201-4 - Osvětlení pozemních komunikací - Část 4: Metody měření***

Zavádza zásady a postupy pre fotometrické merania osvetľovacích sústav pozemných komunikácií a poskytuje návod pre používanie a výber jasometrov a luxmetrov. Je v nej navrhnutá aj forma prezentácie výsledkov merania.

***ČSN EN 1838 - Světlo a osvětlení - Nouzové osvětlení***

Stanovuje požiadavky na osvetľovacie sústavy núdzového osvetlenia, ktoré je inštalované v budovách alebo miestnostiach, kde sú takéto sústavy vyžadované. Popisuje osvetlenie, ktoré je za núdzové osvetlenie považované. Má niekoľko kapitol a príloh.

[27], [28], [29], [30], [31], [32], [33] a [34]

## **II. PRAKTICKÁ ČASŤ**

## 8 MERACIE ZARIADENIA

Na meranie svetelnotechnických vlastností osvetlenia slúžia meracie prístroje a zariadenia. Najpoužívanejšie zariadenie, ktoré slúži tomuto účelu je *fotónka*, na ktorú dopadá monochromatické žiarenie o známej vlnovej dĺžke, čo spôsobuje vznik slabého elektrického prúdu, ktorý meria. Na základe toho dokáže zistiť množstvo dopadajúceho žiarenia. Ďalším meracím prístrojom, ktorý funguje na podobnom princípe merania fotoprúdu je *luxmeter*. Rozdiel je však v tom, že pri zisťovaní osvetlenia luxmetrom, nie je dôležité, aby svetlo naň dopadajúce bolo monochromatické. Na meranie teda postačuje polychromatické žiarenie. *Fotometrickú lavicu* používame hlavne na porovnávanie svietivosti svietidiel alebo ňou overujeme činnosť fotónok. *Aberometerom* zisťujeme priebeh stredových svetelných lúčov v meridiánovej rovine od rotačne súmerného reflektora. *Goniofotometer* je špeciálny prístroj slúžiaci na zisťovanie rozloženia svietivosti svetelných zdrojov. Väčšinou je vyrábaný ako prototyp. *Fotometrický integrátor* dokáže zistiť svetelný tok svetelných zdrojov. *Jasomerom* meriame jas svetločinných častí svetelných zdrojov pre uhly a smery, ktoré sú určené normami pre svietidlá a spolu s luxmetrom radíme toto zariadenie medzi najpoužívanejšie z hľadiska ich jednoduchosti používania. *Kolorimeter* dokáže zistiť chromatickosť svetelných zdrojov a farbu materiálov, ktoré sa používajú pri výrobe ich svetločinných častí. [11]

### 8.1 Luxmeter

Pri zisťovaní hodnôt umelého osvetlenia, ako aj odrazu svetla od rôznych povrchov, bol použitý digitálny luxmeter Voltcraft MS- 1300. Funguje na princípe snímania osvetlenia pomocou externého optického snímača- selénového čidla, pričom sú aktuálne hodnoty zobrazované na displeji zariadenia. Luxmeter dokáže snímať osvetlenosť v štyroch rozsahoch od nula do päťdesiat tisíc luxov. V spodnej časti zariadenia nájdeme prepínač na prepnutie nami zvoleného rozsahu, ktorý zároveň slúži na vypnutie luxmetra. Jeho rozsah je:

- 0 až 199 lx s schopnosťou rozlíšenia 0,1 lx
- 200 až 1999 lx s rozlišovacou schopnosťou 1 lx
- 2000 až 19990 lx s schopnosťou rozlíšenia 10 lx
- 20000 až 50000 lx s rozlíšením 100 lx



Obr. 14. Digitální luxmeter Voltcraft MS- 1300 [26]

## 9 ŠTATISTICKÉ SPRACOVANIE VÝSLEDKOV

Pri spracovávaní výsledkov bolo nutné použiť nasledovné štatistické rovnice a jednoduché úpravy.

*Aritmetický priemer  $\bar{x}$*

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n x_i \quad (35)$$

*Smerodajná odchýlka aritmetického priemeru  $\bar{\sigma}$  (chyba merania)*

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum x_i)^2}{n(n-1)}} \quad (36)$$

*Zápis výslednej veličiny  $x$*

$$x = \bar{x} \pm \bar{\sigma} \quad (37)$$

kde:  $n$  – počet prvkov

$x_i$  – hodnoty merania

[14], [25]

## 10 INŠTALOVANÉ UMELE OSVETLENIE V BUDOVE U5

### 10.1 Cieľ a postup práce

Cieľom práce bolo zistiť hodnoty umelého osvetlenia  $E$  v desiatich vybraných miestnostiach budovy U5 UTB v Zlíne, v ktorých prebieha počas roka výuka (prednáškové miestnosti, laboratória, jazykové učebne, počítačové miestnosti a pod.) Zisťovanie hodnôt osvetlenia inštalovaných svetelných zdrojov prebiehalo zväčša v troch miestach, kde sa pravidelne vykonáva zrkový úkon, teda na troch laviciach (dve lavice uhlopriečne v rohoch, jedna lavica približne v strede miestnosti). V posluchárni A (U51/107) sa uskutočnilo meranie na šiestich miestach, vzhľadom na veľkosť miestnosti a naopak v učebni U54/106, kde prebieha výuka jazykov a kde sa mimochodom nachádzajú počítače, sa toto meranie uskutočnilo len na dvoch miestach. Zároveň, ak bola v miestnosti tabuľa, meralo sa tiež na ňu dopadajúce žiarenie. Aby boli výsledky štatisticky presnejšie a dopadajúce osvetlenie na miesto zrkového úkonu zodpovedalo realite, bola každá lavica resp. tabuľa pomyselne rozdelená na dvadsať častí, v ktorých sa osvetlenosť zisťovala. Jednoducho povedané, v určitom mieste (označenie v tabuľkách veľkými písmenami) sa meralo dvadsať krát. Pri meraní hodnôt umelého osvetlenia, ktoré dopadalo na rovinu pracovného stolu (v našom prípade lavica) sa vychádzalo z princípu merania horizontálnej osvetlenosti. Naopak tabuľa vyžadovala meranie pomocou vertikálnej osvetlenosti. Všetky zistené hodnoty boli poznamenané a zapísané do prehľadných tabuliek. Netreba tiež zabudnúť na fakt, že meranie prebiehalo v mesiaci február vo večerných hodinách pri zatiahnutých žalúziách. Tým sa zabránilo rušivému osvetleniu z vonku. Ak sa v miestnosti nachádzali stolné lampy a pomocné osvetlenia, ostali vypnuté (okrem posluchárne A a posluchárne B, kde je nad tabuľou inštalované pomocné osvetlenie, vzhľadom na výšku miestnosti). Zisťovali sa teda hodnoty hlavného umelého osvetlenia, pričom sa počkalo dve až tri minúty na dokonalé rozžhavenie svetelných zdrojov. Tým sa zabránilo kolísaniu osvetlenia. Digitálny luxmeter MS-1300 bol zapnutý zväčša na rozsah 200 až 1999 lx, pri ktorom prebieha meranie s presnosťou 1 lx. Zo zistených hodnôt sa vypočítala priemerná osvetlenosť  $\bar{E}$ , ktorá sa neskôr zahrnula do tabuľky a práve táto hodnota slúžila na porovnanie s hodnotami udržiavanej osvetlenosti  $\bar{E}_m$  uvádzanej v normách ČSN EN. [14], [27]



## 10.2 Vypracovanie a výpočet

Tab. 12. Normované požiadavky osvetlenia, oslnenia a indexu podania farieb v školských a vzdelávacích budovách [27]

<i>Typ priestoru, úlohy alebo činnosti</i>	$\bar{E}_m$ [lx]	UGR [-]	$R_a$ [-]
Učebne, konzultačné miestnosti	300	19	80
Učebne pre večerné štúdium a vzdelávanie dospelých	500	19	80
Prednáškové haly	500	19	80
Tabule	500	19	80
Demonštračný stôl	500	19	80
Miestnosti pre výtvarnú výchovu	500	19	80
Miestnosti pre technické kreslenie	750	16	80
Miestnosti pre praktickú výuku a laboratória	500	19	80
Miestnosti pre ručné práce	500	19	80
Dielne	500	19	80
Miestnosti pre hudobné cvičenie	300	19	80
Počítačové učebne	300	19	80
Jazykové laboratória	300	19	80
Vstupné haly	200	22	80
Komunikačné priestory a chodby	100	25	80
Schodiská	150	25	80
Spoločenské miestnosti a zhromažďovacie haly	200	22	80
Miestnosti vyučujúcich	300	19	80
Knižnice, police	200	19	80
Knižnice, miesta pre čítanie	500	19	80
Sklady učebných materiálov	100	25	80
Športové haly, telocvične, bazény	300	22	80
Školské jedálne	200	22	80
Kuchyne	500	22	80

Meranie hodnôt umelého osvetlenia prebiehalo v týchto desiatich miestnostiach:

### *Učebne*

Učebňa (U51/118)

Učebňa (U51/120)

Učebňa (U54/107)

**Jazykové a počítačové učebne**

Jazyková učebňa (U51/119)

Učebňa (U54/106), v ktorej prebieha výuka jazykov a zároveň sa v nej nachádzajú počítače

**Laboratória**

Laboratórium fyziky pre fakultu technologickú (U54/208)

Laboratórium počítačovej podpory (U54/209)

Laboratórium mikroskopických metód (U54/213)

**Posluchárne**

Poslucháreň A (U51/107)

Poslucháreň B (U51/108)

Tab. 13. Skutočné hodnoty osvetlenia v učebniach budovy U5

<i>Miestnosť</i>	<i>U51/118</i>				<i>U51/120</i>			
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>T</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>T</i>
<i>i</i>	<i>E [lx]</i>							
1	462	645	403	235	556	632	452	200
2	448	634	385	147	528	638	413	190
3	422	637	356	230	513	636	347	129
4	437	644	337	183	532	631	345	120
5	418	646	314	180	557	621	320	119
6	387	626	302	191	550	609	298	189
7	364	625	304	233	533	591	309	223
8	339	628	289	229	509	625	312	233
9	333	650	341	218	498	630	336	244
10	324	647	372	204	521	634	363	233
11	355	654	388	197	536	638	378	252
12	375	655	406	184	522	636	448	214
13	393	653	325	220	509	637	472	228
14	403	654	398	218	490	638	461	241
15	409	650	375	230	475	633	425	235
16	435	643	347	204	479	627	391	230
17	451	641	335	207	500	620	362	221
18	452	622	317	194	514	619	341	220
19	431	630	353	205	532	633	333	236
20	415	636	399	214	505	631	419	241
$(\bar{E} \pm \sigma_E)$ [lx]	403 ± 9	641 ± 2	352 ± 8	206 ± 5	518 ± 5	628 ± 3	376 ± 12	210 ± 9
$\bar{E}_m$ [lx]	300			500	300			500

Tab. 14. Skutočné hodnoty osvetlenia v učebni a jazykovej učebni budovy U5

<i>Miestnosť</i>	<i>U54/107</i>				<i>U51/119</i>			
<i>Miesto merania</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>T</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>T</i>
<i>i</i>	<i>E [lx]</i>							
1	450	553	431	162	466	621	294	256
2	434	552	420	158	483	620	285	264
3	431	544	394	134	484	615	273	270
4	452	564	424	164	466	613	280	272
5	453	561	408	135	446	619	301	265
6	461	547	388	151	425	618	340	246
7	478	582	414	201	403	619	362	248
8	475	568	404	202	377	614	385	265
9	438	572	384	216	360	609	389	261
10	492	594	405	167	361	605	366	260
11	483	592	395	170	365	594	359	245
12	451	588	379	172	386	591	344	251
13	508	604	396	183	410	601	321	237
14	521	510	388	182	406	622	306	247
15	503	608	371	185	436	621	302	252
16	525	609	381	229	445	616	283	250
17	523	611	378	214	468	622	271	247
18	524	595	365	209	490	599	291	233
19	543	607	354	222	486	621	328	251
20	555	606	373	185	460	614	370	267
$(\bar{E} \pm \bar{\sigma}_E)$ [lx]	485 ± 9	578 ± 6	393 ± 5	182 ± 6	431 ± 10	613 ± 2	323 ± 9	254 ± 2
$\bar{E}_m$ [lx]	300			500	300			500

Tab. 15. Skutočné hodnoty osvetlenia v učebni jazykov s PC a laboratóriu budovy U5

<i>Miestnosť</i>	<i>U54/106</i>			<i>U54/208</i>			
<i>Miesto merania</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>T</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>T</i>
<i>i</i>	<i>E [lx]</i>						
1	486	354	244	492	534	354	168
2	419	336	242	514	491	367	180
3	499	322	197	494	486	370	174
4	469	384	245	498	532	371	140
5	506	341	199	489	530	377	173
6	472	405	255	492	529	375	174
7	510	442	253	499	514	391	183
8	477	424	253	497	540	351	199
9	508	362	251	492	532	369	184
10	484	391	257	491	537	364	185
11	516	435	244	498	484	373	187
12	520	458	264	510	523	379	178
13	515	426	243	500	540	392	182
14	531	324	263	493	533	398	169
15	521	336	236	497	541	358	199
16	510	362	206	496	522	394	203
17	479	368	256	508	518	382	176
18	496	345	231	501	531	378	161
19	480	333	243	502	542	376	189
20	497	421	261	495	509	369	191
$(\bar{E} \pm \bar{\sigma}_E) [lx]$	495 ± 6	378 ± 10	242 ± 4	498 ± 1	523 ± 4	374 ± 3	180 ± 3
$\bar{E}_m [lx]$	300		500	500			500

Tab. 16. Skutočné hodnoty osvetlenia v laboratóriách budovy U5

<i>Miestnosť</i>	<i>U54/209</i>				<i>U54/213</i>		
<i>Miesto merania</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>T</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
<i>i</i>	<i>E [lx]</i>						
1	403	526	394	322	545	864	549
2	381	520	392	341	515	863	553
3	374	505	285	339	496	846	550
4	373	478	256	303	493	799	490
5	406	543	272	292	533	783	511
6	409	528	273	307	519	789	564
7	417	563	261	330	488	777	599
8	413	533	281	339	515	802	510
9	425	519	266	331	528	834	570
10	420	566	277	303	488	859	592
11	428	511	281	307	516	861	575
12	437	483	418	312	462	854	491
13	426	494	438	314	463	809	603
14	419	523	417	310	450	821	562
15	356	517	405	287	501	827	479
16	362	548	364	278	532	846	510
17	375	534	323	261	534	812	593
18	407	441	280	252	470	862	608
19	411	439	271	245	448	841	601
20	392	489	255	241	486	830	579
$(\bar{E} \pm \bar{\sigma}_E) [lx]$	402 ± 5	513 ± 8	320 ± 15	301 ± 7	499 ± 7	829 ± 6	554 ± 9
$\bar{E}_m [lx]$	500			500	500		

Tab. 17. Skutočné hodnoty osvetlenia v posluchárni A budovy U5

<i>Miestnosť</i>	<i>U51/107</i>						
<i>Miesto merania</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>T</i>
<i>i</i>	<i>E [lx]</i>						
1	325	415	320	452	352	418	168
2	314	416	310	452	344	422	161
3	309	402	299	456	345	414	172
4	337	408	290	457	357	406	155
5	330	403	285	453	359	389	168
6	320	400	275	448	349	399	151
7	352	395	374	455	368	388	142
8	343	404	362	457	356	393	185
9	332	403	365	448	375	391	181
10	374	396	257	456	363	389	189
11	366	397	260	447	379	391	180
12	355	383	261	451	367	384	179
13	385	386	248	443	360	388	189
14	374	375	252	433	354	379	167
15	360	381	240	445	374	383	181
16	396	369	251	456	358	387	180
17	386	373	264	457	350	391	172
18	373	378	277	453	348	401	155
19	403	385	293	453	352	409	176
20	390	401	312	449	347	414	158
$(\bar{E} \pm \bar{\sigma}_E) [lx]$	356 ± 6	394 ± 3	290 ± 9	451 ± 1	358 ± 2	397 ± 3	170 ± 3
$\bar{E}_m [lx]$	500						500

Tab. 18. Skutočné hodnoty osvetlenia v posluchárni B budovy U5

<i>Miestnosť</i>	<i>U51/108</i>			
<i>Miesto merania</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>T</i>
<i>i</i>	<i>E [lx]</i>			
1	462	386	332	210
2	458	384	296	198
3	467	381	340	210
4	456	389	335	203
5	460	390	321	207
6	446	387	333	199
7	471	377	310	206
8	473	333	291	201
9	471	373	293	207
10	480	388	294	208
11	475	381	283	211
12	489	385	322	202
13	479	372	289	185
14	497	375	319	190
15	495	381	297	194
16	493	371	273	280
17	480	369	292	207
18	475	382	280	198
19	464	365	297	204
20	461	364	301	208
$(\bar{E} \pm \sigma_E)$ [lx]	473 ± 3	377 ± 3	305 ± 4	206 ± 4
$\bar{E}_m$ [lx]	500			500

kde: *A* – miesto merania horizontálnej osvetlenosti zrkovéhó úkonu v rohu miestnosti, podľa možnosti pri dverách

*B* – miesto merania horizontálnej osvetlenosti zrkovéhó úkonu približne v strede miestnosti

*C* – miesto merania horizontálnej osvetlenosti zrkovéhó úkonu v rohu miestnosti, podľa možnosti pri okne, uhlopriečne od bodu *A*

*T* – miesto merania vertikálnej osvetlenosti tabule

*i* – číslo merania

*E* [lx] – aktuálna osvetlenosť v luxoch

$\bar{E}$  [lx] – aritmetický priemer nameraných hodnôt osvetlenosti v luxoch

$\bar{\sigma}_E$  [lx] - smerodajná odchýlka aritmetického priemeru nameraných hodnôt osvetlenosti v luxoch

$\bar{E}_m$  [lx] - udržovaná osvetlenosť podľa normy v luxoch

(Pozn.: Body merania osvetlenia zrkovéhého úkonu A, B, C neplatia pre miestnosti U54/106 a U51/107. V učebni U54/106 bod A znamená roh miestnosti pri dverách, bod B roh miestnosti pri okne, uhlopriečne od bodu A. V posluchárni A (U51/107) body A, C, E označujú vrchnú časť miestnosti smerom od dverí, body B, D, F označujú spodnú časť miestnosti rovnako smerom od vstupu do vnútra miestnosti.)

Príklad výpočtu aritmetického priemeru osvetlenosti  $\bar{E}$  pre učebňu U51/118, miesto merania A (podľa rovnice 34)

$$\bar{E} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n E_i = \frac{462+448+422+ \dots +415}{20} = \frac{8053}{20} \doteq 403 \text{ lx} \quad (38)$$

Príklad výpočtu smerodajnej odchýlky aritmetického priemeru (chyby merania) osvetlenosti  $\bar{\sigma}_E$  pre učebňu U51/118, miesto merania A (podľa rovnice 35)

$$\bar{\sigma}_E = \sqrt{\frac{\sum E_i^2 - \frac{1}{n}(\sum E_i)^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{3276681 - \frac{1}{20} \cdot 8053^2}{20 \cdot (20-1)}} \doteq 9 \text{ lx} \quad (39)$$

### 10.3 Vyhodnotenie výsledkov

#### Učebne

Zo zistených a nameraných hodnôt umelého osvetlenia v učebniach U51/118, U51/120 a U54/107 (tab. 12 a 13) je zrejmé, že najsilnejšie osvetlené miesto, v našom prípade lavica, je približne v strede miestnosti. Tu bola hladina osvetlenia okolo 600 lx, čo je asi dvojnásobok množstva osvetlenia podľa normy, teda je zbytočne vysoké a môže viesť k nepriaznivému oslneniu. Pri dverách miestnosti je osvetlenie tak isto vyššie (približne od 400 do 500 lx). Najlepšie dopadla hladina osvetlenia pri okne, v rohu miestnosti (bod C), kde bola jeho hodnota pod 400 lx. Normy ČSN EN pritom odporúčajú osvetlenie v učebniach o hodnote 300 lx. Môže teda dochádzať k nepriaznivému oslneniu, prípadne k zbytočnej únave zraku pri dlhšom pobyte v takto osvetlenej miestnosti. Z toho vyplýva,



že miestnosť nie je rovnomerne osvetlená, čo môže nepriaznivo vplyvať na sústredenie študentov. Odporúča sa teda výmena umelého osvetlenia alebo žiaroviek, pričom smerom do stredu miestnosti je vhodné inštalovať žiarivky s menším výkonom, aby bola hladina osvetlenia rovnomerná v celej miestnosti. V rohoch miestnosti a popri stene, určitú časť osvetlenia pohltia steny a okolie. Čo je ale najviac znepokojujúce je osvetlenie tabule. Vo všetkých miestnostiach je hlboko pod normovanými hodnotami 500 lx. Tabule sú osvetlené približne na 200 lx, čo je asi o 60% menej. Preto je vhodná inštalácia doplnkového osvetlenia. Treba však zdôrazniť, že pri takejto inštalácii je nutnosť zabránenia oslnenia vzhľadom na fakt, že tabuľa má lesklý povrch. Je preto dôležité jeho správne naklopenie a nasmerovanie na tabuľu. Tiež sa odporúča použitie vhodných krytov a pod.

### ***Jazykové a počítačové učebne***

Čo sa týka jazykovej učebne (*tab. 13 a 14*) U51/119 a učebne U54/106, v ktorej prebieha výuka jazykov a zároveň sa v nej nachádzajú počítače sú výsledky podobné ako v prípade učebni. V jazykovej učebni U51/119 sa dá povedať, že výsledky a odporúčania sú takmer totožné s predchádzajúcimi výsledkami z učebni U51/118, U51/120 a U54/107. V učebni U54/106 s počítačovým vybavením, sa merala horizontálna osvetlenosť len v dvoch miestach vzhľadom na rozloženie lavíc a sedadiel pre študentov. Pri dverách bola hodnota osvetlenia takmer 500 lx a naopak, uhlopriečne od dverí, pri okne bolo hladina osvetlenia  $378 \pm 10$  lx. Pritom normy odporúčajú 300 lx. Preto je vhodná výmena svetelných zdrojov za slabšie a rovnako je vhodná inštalácia žiaroviek s rôznym výkonom vzhľadom na rovnomerné rozloženie hladiny osvetlenia. Avšak v oboch prípadoch bolo osvetlenie tabule poddimenzované. V oboch učebniach jazykov bola jeho hodnota asi 250 lx, čo je o polovicu menej ako sa píše v norme. Preto je vhodné inštalovať doplnkové osvetlenie smerované na tabuľu, ale znova treba poznamenať, že jeho inštalácia musí byť urobená tak, aby nedochádzalo k nepriaznivému oslneniu študentov vzhľadom na jej povrch.

### ***Laboratória***

Meranie osvetlenia v laboratóriách dopadlo o niečo lepšie ako v predchádzajúcich prípadoch (*tab. 14, 15*). V laboratóriu fyziky pre fakultu technologickú U54/208 spĺňalo v bodoch A a B normy, len pri okne malo hodnotu  $374 \pm 3$  lx. Normy pritom odporúčajú osvetlenie 500 lx. Znova je na mieste výmena žiaroviek, avšak tu len pri oknách a naopak s vyšším výkonom. V laboratóriu je potrebné vyššie osvetlenie hlavne kvôli tomu, že v ňom prebieha meranie na rôznych zariadeniach a preto je slabšie osvetlenie neprijateľné. Tabu-

Ľa, ktorá sa nachádzala v laboratóriu bola osvetlená len na hodnotu  $180 \pm 3$  lx, čo je o 64% menej ako uvádzajú normy. Riešenie tohto problému je totožné s predchádzajúcimi miestnosťami.

Laboratórium počítačovej podpory U54/209 spĺňalo normy osvetlenia v strede miestnosti. Pri dverách bolo osvetlenie asi 400 lx a pri okne boli hodnoty osvetlenia  $320 \pm 15$  lx. Odporúčenie ako zlepšiť rozloženie osvetlenia je podobné ako v predchádzajúcich prípadoch, teda inštalácia svietidiel s rôznym výkonom avšak so silnejšími žiarivkami, aby sa dosiahli hodnoty 500 lx. Opäť však bola tabuľa poddimenzovaná na približne 300 lx.

Laboratórium mikroskopických metód U54/213 naopak spĺňalo normy v rohoch miestnosti, pričom v jej strede bola hladina osvetlenia viac ako 800 lx. Tu by bolo vhodné inštalovať smerom do stredu miestnosti zdroje svetla s nižším výkonom. Tabuľa sa v laboratóriu nenachádzala.

### ***Posluchárne***

Poslucháreň A (U51/107) je najväčšia z meraných miestností. Treba tu žiaľbohu povedať, že žiadne miesto zrkového úkonu nespĺňalo normy osvetlenia. Najbližšie k normovaným hodnotám 500 lx, mal bod *D*, ktorý sa nachádzal v strednom a dolnom rade sedadiel. Hodnota osvetlenia bola  $451 \pm 1$  lx, v ostatných miestach sa hodnoty pohybovali od asi 300 do 400 lx. V bodoch *B*, *D* a *F*, čo sú miesta bližšie pri tabuli, bolo osvetlenie väčšie ako v hornom rade, čo bolo spôsobené najmä tým, že nad tabuľou je inštalované pomocné osvetlenie, ktoré je na ňu smerované. Avšak ani to nie je dostatočné pretože svetlo, ktoré na ňu dopadá má hodnotu len  $170 \pm 3$  lx. Preto je vhodné v celej prednáškovej hale vymeniť svietidlá tak, aby spĺňali normy a tak, aby bolo rozloženie svetla rovnomerné.

Poslucháreň B (U51/108) má ako miestnosť nepravidelný tvar a preto rozloženie lavíc a sedadiel nie je v rámci určitého smeru líniové. Treba tiež poznamenať, že v tejto miestnosti bola porucha osvetlenia. Svietidlo, ktoré sa nachádzalo približne v strede v zadnom rade miestnosti, nesvietilo. Preto aj hodnota osvetlenia vpredu posluchárne je najväčšia, teda  $473 \pm 3$  lx, čo je takmer normovaná hodnota. Pri očistení svietidla, by sme sa teoreticky mohli dostať na hodnotu 500 lx. V iných miestach bolo osvetlenie viac ako 300 lx. Tieto hodnoty však nezobrazujú reálny stav osvetlenia, vzhľadom na jeho poruchu. Na tomto príklade je zrejmé, že škola sa o údržbu svetelných zdrojov nestará, alebo len minimálne. Preto je na mieste odporučiť komplexné zhodnotenie úrovne osvetlenia v celej budove, nie len vo vybraných miestnostiach v ktorých prebieha vyučovanie. Tak isto je potreba očistiť

kryty svietidiel, ak sa niekde nachádzajú. Čo sa týka tabule, aj v tomto prípade je osvetlenie poddimenzované na hodnotu  $206 \pm 4$  lx, oproti norme 500 lx.

Záverom teda, celkové hodnotenie osvetlenia v miestnostiach kde prebieha výuka nedopadlo pre univerzitu priaznivo. Osvetlenie tabúľ dopadlo zo všetkých meraní najhoršie. V ani jednom prípade nespĺňa normované požiadavky 500 lx. Väčšinou je tabuľa osvetlená len na hodnoty približne 200 lx. Vhodná by bola inštalácia doplnkového osvetlenia s tým ale, aby sa zabránilo odrazu a oslneniu študentov, vzhľadom na lesklý povrch tabule. Čo sa týka rozloženie svetelného toku, resp. osvetlenia, je rovnako nepriaznivé. V každom bode miestnosti je jeho hladina iná, čo sa dá ale zlepšiť inštaláciou žiaroviek s rôznym výkonom v rámci miestnosti, prípadne údržbou a očistením svietidiel.

## 11 SIMULÁCIA OSVETLENIA

### 11.1 Odraz svetla v miestnostiach budovy U5

Zisťovanie činiteľa odrazu svetla od povrchu stropov, stien, podlahy, lavíc, stoličiek atď. slúžilo pre neskoršiu samotnú simuláciu osvetlenia.

#### 11.1.1 Cieľ a postup práce

Zisťovanie činiteľa odrazu svetla  $\rho_p$  od jednotlivých povrchov prebiehalo tak, že najskôr boli zvolené tri miestnosti v budove U5, konkrétne učebňa U51/120, laboratórium mikroskopických metód U54/213 a poslucháreň B (U51/108), a neskôr sa zisťovali hodnoty denného osvetlenia na ne dopadajúce a odraz tohto svetla. Obyčajne zisťovanie činiteľa odrazu prebieha pomocou jasomeru, ktorý však nebol k dispozícii. Preto sa meralo len pomocou luxmetra. Postup merania je taký, že najskôr sa zistia hodnoty dopadajúceho denného osvetlenia na daný povrch  $E_d$  a následne za rovnakých podmienok osvetlenosť s čidlom luxmetra obráteným k danému povrchu  $E_o$  tak, aby bolo toto čidlo rovnobežné s daným povrchom, netienilo ho (vo vzdialenosti najmenej 5 násobku priemeru meracej hlavice) a aby naň nedopadalo svetlo z iných svetelných zdrojov. Povrch bol rozdelený na dvadsať rôznych častí (miest) tak, aby bolo meranie presnejšie a komplexnejšie. Jednoducho povedané, ihneď po zmeraní dopadajúceho svetla v určitom mieste, bolo zmerané v rovnakej časti svetlo odrazené. Za zmienku stojí i fakt, že v dobe merania bola obloha bez mrakov a Slnko na opačnej svetovej strane, ako boli okná miestnosti, čím sa zabránilo dopadu priameho slnečného svetla do miestnosti. Z toho vyplýva, že do miestnosti vnikalo len vonkajšie odrazené svetlo rozptýlené z okolia. Zabránilo sa tak kolísaniu svetla a skresleniu výsledkov. Umelé osvetlenie bolo vypnuté, žalúzie neboli zatiahnuté a meranie prebiehalo vo februári. Hodnota činiteľa odrazu svetla  $\rho_p$  sa vypočíta, ako podiel odrazeného a dopadajúceho osvetlenia.

$$\rho_{pi} = \frac{E_{oi}}{E_{di}} \quad (40)$$

Výsledky boli neskôr spriemerované  $\bar{\rho}_p$  a zapísané do tabuliek. Tieto sú potom použité v samotnej simulácii v programe Wils 6.3. Pre zaujímavosť sú v tabuľkách tiež spomenuté normované hodnoty činiteľa odrazu  $\rho$ . [35]

## 11.1.2 Vypracovanie a výpočet

Tab. 19. Činitele odrazov v učebni budovy U5

Miestnosť	U51/120								
	Biela stena a strop			Svetlo zelená stena			Tmavo modrá PVC podlaha		
Povrch	$E_d$ [lx]	$E_o$ [lx]	$\rho_p$ [-]	$E_d$ [lx]	$E_o$ [lx]	$\rho_p$ [-]	$E_d$ [lx]	$E_o$ [lx]	$\rho_p$ [-]
1	115	103	0,90	176	97	0,55	159	29	0,18
2	105	91	0,87	157	89	0,57	157	29	0,18
3	100	87	0,87	146	85	0,58	164	30	0,18
4	92	80	0,87	160	93	0,58	168	31	0,18
5	102	88	0,86	151	87	0,58	160	30	0,19
6	120	97	0,81	159	88	0,55	158	30	0,19
7	116	104	0,90	156	88	0,56	156	30	0,19
8	97	89	0,92	148	83	0,56	157	30	0,19
9	100	90	0,90	141	82	0,58	157	31	0,20
10	104	93	0,89	161	87	0,54	159	32	0,20
11	111	84	0,76	144	83	0,58	166	33	0,20
12	83	74	0,89	156	85	0,54	165	32	0,19
13	109	81	0,74	158	87	0,55	161	30	0,19
14	123	93	0,76	151	87	0,58	164	32	0,20
15	128	98	0,77	166	91	0,55	155	28	0,18
16	107	87	0,81	162	90	0,56	154	28	0,18
17	115	102	0,89	138	75	0,54	160	29	0,18
18	100	80	0,80	135	74	0,55	154	28	0,18
19	89	82	0,92	141	81	0,57	150	27	0,18
20	135	103	0,76	143	82	0,57	153	29	0,19
$(\bar{\rho}_p \pm \bar{\sigma}_{\rho_p})$ [-]	0,84 ± 0,01			0,562 ± 0,003			0,188 ± 0,001		
$\rho$ [-]	0,75 až 0,89			0,45 až 0,65			0,05 až 0,20		

Tab. 20. Činitele odrazov v učebni budovy U5

<i>Miestnosť</i>	<i>U51/120</i>								
<i>Povrch</i>	<i>Svetlo šedé žalúzie</i>			<i>Svetlé drevené dvere</i>			<i>Biela tabuľa</i>		
<i>i</i>	<i>E<sub>d</sub> [lx]</i>	<i>E<sub>o</sub> [lx]</i>	<i>ρ<sub>p</sub> [-]</i>	<i>E<sub>d</sub> [lx]</i>	<i>E<sub>o</sub> [lx]</i>	<i>ρ<sub>p</sub> [-]</i>	<i>E<sub>d</sub> [lx]</i>	<i>E<sub>o</sub> [lx]</i>	<i>ρ<sub>p</sub> [-]</i>
1	2710	1600	0,59	274	153	0,56	174	117	0,67
2	2530	1630	0,64	249	147	0,59	161	105	0,65
3	2950	1770	0,60	240	142	0,59	141	93	0,66
4	2610	1690	0,65	233	140	0,60	134	86	0,64
5	2960	1710	0,58	273	151	0,55	128	81	0,63
6	2710	1700	0,63	227	138	0,61	177	122	0,69
7	2480	1340	0,54	231	137	0,59	165	115	0,70
8	2510	1610	0,64	227	133	0,59	150	104	0,69
9	2480	1600	0,65	222	129	0,58	158	112	0,71
10	2470	1660	0,67	223	135	0,61	171	119	0,70
11	2010	1540	0,77	235	141	0,60	154	110	0,71
12	2120	1560	0,74	248	146	0,59	132	85	0,64
13	2130	1620	0,76	222	135	0,61	148	106	0,72
14	2010	1530	0,76	271	152	0,56	160	112	0,70
15	2520	1620	0,64	218	132	0,61	154	111	0,72
16	2410	1500	0,62	215	132	0,61	166	119	0,72
17	2600	1520	0,58	221	133	0,60	167	118	0,71
18	2250	1480	0,66	262	146	0,56	165	109	0,66
19	2540	1640	0,65	269	147	0,55	151	103	0,68
20	1990	1390	0,70	252	144	0,57	134	87	0,65
$(\bar{\rho}_p \pm \bar{\sigma}_{\rho_p}) [-]$	0,65 ± 0,01			0,586 ± 0,005			0,68 ± 0,01		
$\rho [-]$	0,40 až 0,60			0,30 až 0,50			0,75 až 0,89		

Tab. 21. Činitele odrazov v učebni budovy U5

<i>Miestnosť</i>	<i>U51/120</i>								
<i>Povrch</i>	<i>Svetlo zelená lavica</i>			<i>Svetlo červená lavica</i>			<i>Svetlá drevená stolička</i>		
<i>i</i>	<i>E<sub>d</sub> [lx]</i>	<i>E<sub>o</sub> [lx]</i>	<i>ρ<sub>p</sub> [-]</i>	<i>E<sub>d</sub> [lx]</i>	<i>E<sub>o</sub> [lx]</i>	<i>ρ<sub>p</sub> [-]</i>	<i>E<sub>d</sub> [lx]</i>	<i>E<sub>o</sub> [lx]</i>	<i>ρ<sub>p</sub> [-]</i>
1	425	194	0,46	519	156	0,30	568	154	0,27
2	465	201	0,43	458	152	0,33	576	144	0,25
3	406	155	0,38	424	137	0,32	544	139	0,26
4	374	164	0,44	381	122	0,32	511	122	0,24
5	415	182	0,44	358	117	0,33	529	141	0,27
6	407	174	0,43	338	107	0,32	512	135	0,26
7	445	195	0,44	406	132	0,33	537	127	0,24
8	372	176	0,47	408	129	0,32	538	129	0,24
9	381	191	0,50	330	111	0,34	498	131	0,26
10	359	161	0,45	342	112	0,33	516	141	0,27
11	379	182	0,48	338	110	0,33	518	130	0,25
12	376	168	0,45	315	104	0,33	523	139	0,27
13	385	166	0,43	340	105	0,31	508	131	0,26
14	388	159	0,41	371	121	0,33	504	130	0,26
15	386	162	0,42	399	131	0,33	513	135	0,26
16	378	159	0,42	439	140	0,32	559	133	0,24
17	381	159	0,42	451	140	0,31	562	152	0,27
18	378	149	0,39	453	144	0,32	511	137	0,27
19	410	171	0,42	422	138	0,33	520	131	0,25
20	412	166	0,40	411	132	0,32	496	127	0,26
$(\bar{\rho}_p \pm \bar{\sigma}_{\rho_p}) [-]$	0,43 ± 0,01			0,322 ± 0,002			0,257 ± 0,003		
$\rho [-]$	0,45 až 0,65			0,40 až 0,50			0,30 až 0,50		

Tab. 22. Činitele odrazov v laboratoriu mikroskopických metod budovy U5

Miestnosť	U54/213								
	Biela stena a strop			Tmavo modrá PVC podlaha			Svetlo šedé žalúzie		
Povrch	$E_d$ [lx]	$E_o$ [lx]	$\rho_p$ [-]	$E_d$ [lx]	$E_o$ [lx]	$\rho_p$ [-]	$E_d$ [lx]	$E_o$ [lx]	$\rho_p$ [-]
1	81	69	0,85	332	100	0,30	306	116	0,38
2	90	77	0,86	373	105	0,28	257	120	0,47
3	107	91	0,85	309	88	0,28	276	106	0,38
4	95	84	0,88	401	108	0,27	296	127	0,43
5	108	82	0,76	386	106	0,27	201	99	0,49
6	101	78	0,77	381	101	0,27	204	96	0,47
7	122	106	0,87	373	98	0,26	220	110	0,50
8	102	87	0,85	339	90	0,27	233	117	0,50
9	66	55	0,83	299	81	0,27	222	107	0,48
10	112	92	0,82	391	103	0,26	254	119	0,47
11	138	114	0,83	379	103	0,27	242	123	0,51
12	112	98	0,88	374	104	0,28	189	88	0,47
13	126	102	0,81	276	77	0,28	249	106	0,43
14	134	111	0,83	346	101	0,29	231	112	0,48
15	113	96	0,85	342	100	0,29	206	99	0,48
16	132	106	0,80	319	85	0,27	212	101	0,48
17	110	90	0,82	305	86	0,28	221	108	0,49
18	82	71	0,87	299	79	0,26	235	111	0,47
19	120	98	0,82	320	87	0,27	191	78	0,41
20	124	102	0,82	316	89	0,28	301	131	0,44
$(\bar{\rho}_p \pm \bar{\sigma}_{\rho_p})$ [-]	0,83 $\pm$ 0,01			0,276 $\pm$ 0,002			0,46 $\pm$ 0,01		
$\rho$ [-]	0,75 až 0,89			0,05 až 0,20			0,40 až 0,60		



Tab. 23. Činitele odrazov v laboratoriu mikroskopických metod budovy U5

Miestnosť	U54/213								
	Svetlé drevené dvere			Svetlo šedá lavica a skriňa			Čierna lavica		
Povrch	$E_d$ [lx]	$E_o$ [lx]	$\rho_p$ [-]	$E_d$ [lx]	$E_o$ [lx]	$\rho_p$ [-]	$E_d$ [lx]	$E_o$ [lx]	$\rho_p$ [-]
1	221	75	0,34	386	127	0,33	162	14	0,09
2	250	89	0,36	345	117	0,34	137	19	0,14
3	184	69	0,38	310	101	0,33	119	15	0,13
4	257	93	0,36	176	71	0,40	159	19	0,12
5	157	61	0,39	233	97	0,42	132	13	0,10
6	255	90	0,35	213	92	0,43	214	22	0,10
7	189	72	0,38	236	98	0,42	212	20	0,09
8	200	81	0,41	273	108	0,40	58	9	0,16
9	261	103	0,39	320	121	0,38	110	12	0,11
10	263	121	0,46	155	68	0,44	151	14	0,09
11	254	109	0,43	162	63	0,39	106	13	0,12
12	241	103	0,43	204	76	0,37	156	11	0,07
13	268	119	0,44	270	111	0,41	162	11	0,07
14	281	111	0,40	150	66	0,44	124	13	0,10
15	251	101	0,40	206	89	0,43	194	17	0,09
16	189	80	0,42	232	91	0,39	204	18	0,09
17	189	82	0,43	271	108	0,40	84	11	0,13
18	223	76	0,34	301	109	0,36	104	11	0,11
19	185	69	0,37	263	102	0,39	139	12	0,09
20	156	61	0,39	149	71	0,48	148	10	0,07
$(\bar{\rho}_p \pm \bar{\sigma}_{\rho_p})$ [-]	0,39 $\pm$ 0,01			0,40 $\pm$ 0,01			0,10 $\pm$ 0,01		
$\rho$ [-]	0,30 až 0,50			0,40 až 0,60			0,01 až 0,03		

Tab. 24. Činitele odrazov laboratória mikroskopických metód a posluchárne B budovy U5

Miestnosť	U54/213			U51/108					
	Čierna stolička			Biela stena a strop			Tmavo modrá PVC podlaha		
Povrch	$E_d$ [lx]	$E_o$ [lx]	$\rho_p$ [-]	$E_d$ [lx]	$E_o$ [lx]	$\rho_p$ [-]	$E_d$ [lx]	$E_o$ [lx]	$\rho_p$ [-]
1	165	9	0,05	300	255	0,85	557	105	0,19
2	152	9	0,06	306	256	0,84	560	106	0,19
3	191	10	0,05	297	248	0,84	532	102	0,19
4	190	12	0,06	322	268	0,83	549	102	0,19
5	175	10	0,06	305	260	0,85	496	92	0,19
6	260	16	0,06	295	252	0,85	471	85	0,18
7	177	10	0,06	303	259	0,85	503	91	0,18
8	235	17	0,07	318	266	0,84	555	101	0,18
9	196	10	0,05	285	232	0,81	484	90	0,19
10	160	9	0,06	310	262	0,85	436	78	0,18
11	143	12	0,08	298	255	0,86	433	82	0,19
12	145	9	0,06	313	256	0,82	460	86	0,19
13	164	11	0,07	299	250	0,84	365	71	0,19
14	168	10	0,06	291	233	0,80	437	80	0,18
15	146	10	0,07	314	257	0,82	494	92	0,19
16	249	15	0,06	318	261	0,82	518	97	0,19
17	235	16	0,07	321	256	0,80	506	95	0,19
18	167	9	0,05	310	260	0,84	483	85	0,18
19	139	9	0,06	286	233	0,81	496	83	0,17
20	149	10	0,07	303	249	0,82	522	97	0,19
$(\bar{\rho}_p \pm \bar{\sigma}_{\rho_p})$ [-]	0,062 ± 0,002			0,832 ± 0,004			0,185 ± 0,001		
$\rho$ [-]	0,01 až 0,03			0,75 až 0,89			0,05 až 0,20		

Tab. 25. Činitele odrazov v posluchárni B budovy U5

<i>Miestnosť</i>	<i>U51/108</i>								
<i>Povrch</i>	<i>Svetlo šedé žalúzie</i>			<i>Svetlé drevené dvere</i>			<i>Biela tabuľa</i>		
<i>i</i>	<i>E<sub>d</sub> [lx]</i>	<i>E<sub>o</sub> [lx]</i>	<i>ρ<sub>p</sub> [-]</i>	<i>E<sub>d</sub> [lx]</i>	<i>E<sub>o</sub> [lx]</i>	<i>ρ<sub>p</sub> [-]</i>	<i>E<sub>d</sub> [lx]</i>	<i>E<sub>o</sub> [lx]</i>	<i>ρ<sub>p</sub> [-]</i>
1	4370	3030	0,69	353	123	0,35	1205	954	0,79
2	4900	3320	0,68	342	119	0,35	1036	811	0,78
3	5040	3510	0,70	343	118	0,34	964	790	0,82
4	3680	2650	0,72	344	133	0,39	832	702	0,84
5	5080	3430	0,68	340	127	0,37	715	545	0,76
6	5140	3340	0,65	333	124	0,37	588	475	0,81
7	5160	3420	0,66	348	119	0,34	483	405	0,84
8	4870	3140	0,64	342	125	0,37	464	388	0,84
9	3740	2600	0,70	337	120	0,36	578	481	0,83
10	4420	3080	0,70	329	108	0,33	719	570	0,79
11	4940	3330	0,67	369	128	0,35	915	721	0,79
12	5090	3390	0,67	372	123	0,33	1037	854	0,82
13	4490	2550	0,57	347	124	0,36	1190	966	0,81
14	5050	3300	0,65	338	128	0,38	1392	1121	0,81
15	4580	3010	0,66	370	126	0,34	1547	1196	0,77
16	4960	3300	0,67	371	131	0,35	1323	1070	0,81
17	4290	2900	0,68	358	131	0,37	1130	931	0,82
18	4810	3220	0,67	353	118	0,33	926	766	0,83
19	4950	3400	0,69	372	109	0,29	729	566	0,78
20	4510	3110	0,69	378	129	0,34	585	466	0,80
$(\bar{\rho}_p \pm \bar{\sigma}_{\rho_p}) [-]$	0,67 ± 0,01			0,349 ± 0,005			0,81 ± 0,01		
$\rho [-]$	0,40 až 0,60			0,30 až 0,50			0,75 až 0,89		

Tab. 26. Činitele odrazov v posluchárni B budovy U5

Miestnosť	U51/108					
Povrch	Svetlo zelená lavica			Svetlá drevená stolička		
<i>i</i>	$E_d$ [lx]	$E_o$ [lx]	$\rho_p$ [-]	$E_d$ [lx]	$E_o$ [lx]	$\rho_p$ [-]
1	852	442	0,52	445	105	0,24
2	881	430	0,49	308	110	0,36
3	894	414	0,46	358	102	0,28
4	687	308	0,45	286	104	0,36
5	666	340	0,51	285	96	0,34
6	618	294	0,48	412	110	0,27
7	562	276	0,49	297	108	0,36
8	602	314	0,52	285	103	0,36
9	540	281	0,52	456	110	0,24
10	493	244	0,49	303	107	0,35
11	494	256	0,52	447	118	0,26
12	460	237	0,52	379	110	0,29
13	570	290	0,51	433	119	0,27
14	655	326	0,50	286	109	0,38
15	667	321	0,48	397	113	0,28
16	740	360	0,49	463	113	0,24
17	767	369	0,48	292	109	0,37
18	838	399	0,48	456	115	0,25
19	788	385	0,49	387	152	0,39
20	882	436	0,49	404	163	0,40
$(\bar{\rho}_p \pm \bar{\sigma}_{\rho_p})$ [-]	0,494 ± 0,005			0,32 ± 0,01		
$\rho$ [-]	0,45 až 0,65			0,30 až 0,50		

kde:  $i$  – číslo merania

$E_d$  [lx] – aktuálne osvetlenie priameho dopadajúceho denného svetla na daný povrch v luxoch

$E_o$  [lx] - aktuálne osvetlenie odrazeného denného svetla od daného povrchu v luxoch

$\rho_p$  [-] – činiteľ odrazu svetla od daného povrchu, bez jednotky

$\bar{\rho}_p$  [-] – aritmetický priemer činiteľa odrazu svetla od povrchu, bez jednotky

$\bar{\sigma}_{\rho_p}$  [-] - smerodajná odchýlka aritmetického priemeru činiteľa odrazu svetla od daného povrchu, bez jednotky

$\rho$  [-] – normovaný činiteľ odrazu svetla od povrchu, bez jednotky

Príklad výpočtu činiteľa odrazu svetla  $\rho_f$  pre prvé meranie od povrchu bielej steny a stropu pre učebňu U51/120 (podľa rovnice 36)

$$\rho_{p_1} = \frac{E_{o1}}{E_{d1}} = \frac{115}{103} \doteq 0,90 \quad (41)$$

Príklad výpočtu aritmetického priemeru činiteľa odrazu svetla  $\bar{\rho}_f$  od povrchu bielej steny a stropu pre učebňu U51/120 (podľa rovnice 34)

$$\bar{\rho}_p = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \rho_{p_i} = \frac{0,90+0,87+0,87+ \dots +0,76}{20} = \frac{15,98}{20} \doteq 0,84 \quad (42)$$

Príklad výpočtu smerodajnej odchýlky aritmetického priemeru (chyby merania) činiteľa odrazu svetla  $\bar{\sigma}_{\rho_p}$  od povrchu bielej steny a stropu pre učebňu U51/120 (podľa rovnice 35)

$$\bar{\sigma}_{\rho_p} = \sqrt{\frac{\sum \rho_{p_i}^2 - \frac{1}{n}(\sum \rho_{p_i})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{14,32 - \frac{1}{20} \cdot 15,98^2}{20 \cdot (20-1)}} \doteq 0,01 \quad (43)$$

### 11.1.3 Vyhodnotenie výsledkov

Činitele odrazov svetla od daných povrchov vychádzali väčšinou podľa noriem, v ostatných prípadoch sa im približovali. Tam, kde bol činiteľ iný ako uvádza norma, mohol byť povrch mierne znečistený alebo zaprášený. Rozhoduje tiež farba povrchu, pretože normy presne neuvádzajú, čo je svetlé, ako vyzerá tmavý povrch a pod. Tak isto rozhoduje štruktúra alebo lesk povrchu. Napr. v laboratóriu mikroskopických metód modrá PVC podlaha vykazovala vyššie hodnoty odrazu, ktoré mohli byť spôsobené jej štruktúrou, pretože obsahovala aj častice s inou farbou. Pri drevených stoličkách alebo dverách hrá veľkú úlohu rozsah znehodnotenia laku. Iný činiteľ odrazu zistíme pri novom nalakovanom povrchu dreva a iný pri jeho niekoľko ročnom používaní. Tabuľa, ktorá mala bielu farbu a niekde vykazovala iné hodnoty ako uvádzajú normy, mohla byť znečistená používaním fixiek. Zisťovanie činiteľa odrazu svetla od žalúzií bolo ťažšie vykonateľné, pretože pri meraní boli žalúzie zatiahnuté a meranie osvetlenia prebiehalo medzi nimi a oknom. Mohlo teda dochádzať k vzniku medzier medzi žalúziami, cez ktoré mohlo prechádzať odrazené a rozptýlené svetlo z miestnosti. Tak isto mohlo k miernemu skresleniu výsledkov dôjsť na základe odrazu svetla od parapety, ktorá bola lesklá a mala bielu farbu. Na to aby bolo meranie odrazu svetla od žalúzií presné, by ich bolo potreba z okien odinštalovať a položiť ich na rovný povrch (napr. stena, podlaha). Tým by nedochádzalo k vzniku štrbín (medzier)

medzi nimi a rovnako by sa zabránilo nežiaducemu odrazu svetla od parapety. Čierna lavička v laboratóriu mikroskopických metód vykazovala hodnotu  $0,10 \pm 0,01$ , čo je oproti norme väčšie číslo. Bolo to spôsobené predovšetkým lesklou štruktúrou povrchu a tiež faktom, že obsahovala rovnomerne rozložené malé čiastočky bielej hmoty. Veľký vplyv na spomínaný činiteľ má aj materiál, z ktorého je skúmaný povrch vyrobený. Iné hodnoty vykazuje omietka, iné plasty, kaučuk, drevo a pod. Rozhoduje aj diferenciácia a tvarovanie povrchu s ktorým sme sa mohli stretnúť pri čiernych gumených stoličkách. V konečnom dôsledku ale najviac odrazeného svetla pochádzalo z bielej steny a stropu, hodnota  $0,83 \pm 0,01$  až  $0,84 \pm 0,01$ , najmenej odrazila spomínaná čierna gumová stolička, ktorá mala hodnotu činiteľa  $0,062 \pm 0,002$ . Znamená to teda, že stena odrazila 83 až 84% svetla, zatiaľ čo stolička len 6%.

## 11.2 Vlastná simulácia v programe Wils 6.3

Simulačný program Wils 6.3 má intuitívne užívateľské rozhranie, čo podstatne uľahčuje návrh osvetlenia. Obsahuje prehľadný manuál v ktorom sa dá ľahko zorientovať. Postup tvorby svetelnotechnického projektu je v hlavných krokoch väčšinou rovnaký. Pri vytváraní nového projektu (súboru) sa najskôr zadá jeho názov, následne meno projektanta, dátum vzniku a pod. Neskôr sa určia rozmery miestnosti, odraznosti povrchov (steny, strop, podlaha) a údržba svietidiel spolu s čistotou prostredia. Ďalší krok si môže používateľ zvoliť podľa vlastného uváženia. Je na ňom, či najskôr zadá do programu sústavu svietidiel, alebo sústavu prekážok (lavice, stoličky, nábytok, steny a pod.) V našom prípade bola ako prvá zvolená sústava prekážok. Na osových súradniciach  $x,y,z$  si užívateľ určí veľkosť prekážky, výšku a miesto v akej sa má nachádzať. Rovnako ju môže natočiť do ľubovoľného smeru. Po umiestnení všetkých prekážok môže projektový inžinier zadať sústavu svietidiel. Najprv sa vyberie vhodný typ svietidla a svetelného zdroja z databáze, ktorú software obsahuje a potom sa zadá samotný návrh rozmiestnenia a množstva týchto zdrojov. Takáto sústava môže zaujímať aj nepravidelné rozmiestnenie. Tak isto sa môže upraviť výška a uhly v akej sa majú svietidlá nachádzať, prípadne sa môže zadať ich automatické rozmiestnenie podľa počtu svietidiel alebo požadovanej osvetlenosti. V našom prípade išlo prevažne o nepravidelnú sústavu. Nakoniec sa zadávajú miesta zrakovej úlohy, pričom sa dajú vhodne umiestniť podľa druhu činnosti (lavice, tabuľa a pod.) Pomocou tejto funkcie dokážeme vypočítať hodnoty osvetlenia alebo oslnenia v nami zvolených bodoch (mies-

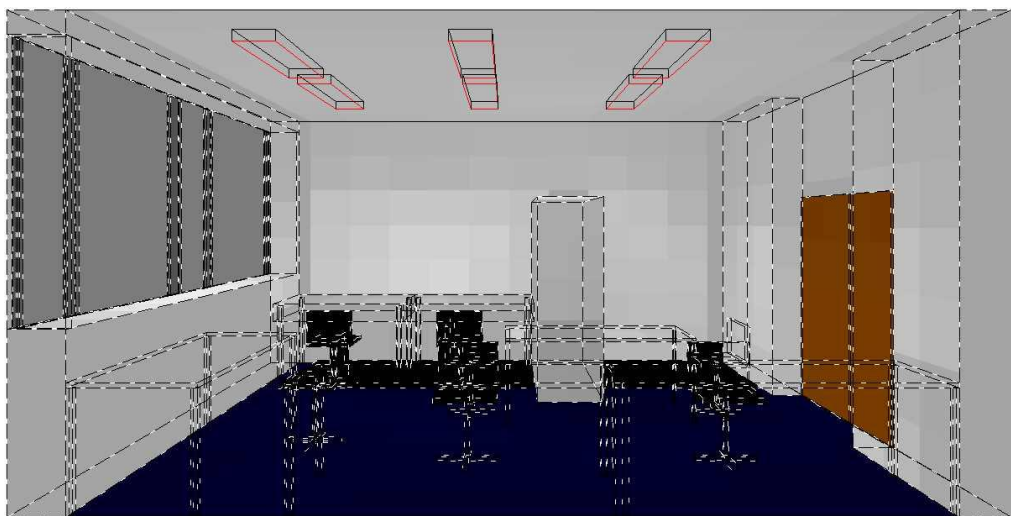
tach). Posledným krokom pred samotným bodovým výpočtom je jeho nastavenie. Okrem neho sa dajú v programe nastaviť farby stien, stropu, podlahy, prekážok a pod. Samozrejmosťou je import a export súborov, uloženie súborov, kopírovanie miestnosti z programu a pod. Výsledky výpočtu sa dajú jednoducho vytlačiť, zobraziť ako vizualizácia a tiež sa dá miestnosťou voľne hýbať vo všetkých smeroch osovej sústavy, rôzne natáčať atď. Na záver spustíme spomínaný bodový výpočet, pričom dĺžka tohto výpočtu závisí od množstva a rozmerov zadaných prekážok, od typu a druhu počítača a pod. Výsledky sú prehľadné a program umožňuje vypínanie a zapínanie potrebných výsledných údajov.

### 11.2.1 Laboratórium mikroskopických metód

Pre lepšiu predstavu ako program dokáže vykresliť zadanú miestnosť slúžia *obr. 15. a 16.*



*Obr. 15. Vizualizácia laboratória z bočného pohľadu, reálna sústava*



*Obr. 16. Laboratórium z bočného pohľadu v 3D, reálna sústava*

(Pozn.: Samozrejme dokáže program vykresliť miestnosť aj v 2D z rôzneho smeru pohľadu)

Vpravo sa nachádzajú drevené dvere, vľavo sú okná, na strope môžeme zbadat' svietidlá. Laboratórium je vybavené čiernymi gumenými stoličkami, čiernymi a svetlo šedými lavičkami, svetlo šedou skriňou. Steny a strop sú natreté bielou farbou (na obrázkoch svetlo šedá), podlaha je v programe vykreslená ako modrá. Okná majú tmavšiu šedú farbu, práve preto, že sa vo výpočte uvažuje so zatahnutými žalúziami. Ostatné veci ako napr. umývadlo, mikroskop, počítače nie sú v simulácii uvažované a v návrhu svetelnotechnického projektu sú zanedbané.

Nasledovná tabuľka prehľadne popisuje inštalované umelé osvetlenie v laboratóriu, ktoré sa v ňom reálne nachádza.

Tab. 27. Reálne inštalované umelé osvetlenie laboratória

	<i>Svietidlo</i>	<i>Svetelný zdroj</i>
<i>Umiestnenie</i>	Po celej miestnosti	
<i>Množstvo</i>	6	12
<i>Výrobca</i>	Philips Lighting Praha	Philips Lighting Praha
<i>Typ</i>	philips145	TLD 36W/33-640 G13 studená biela
<i>Názov</i>	TCS198/236 C6	TL-D Standart
<i>Krytie</i>	IP20	-
<i>Zdroj [n x W]</i>	2x36	-
<i>Príkonnosť [W]</i>	-	36
<i>Účinnosť [%]</i>	64	-
<i>Svetelný tok [lm]</i>	-	2850
<i>Životnosť [hod.]</i>	-	15000
<i>R<sub>a</sub> [-]</i>	-	65
<i>Rozmery [mm]</i>	1257x305x82	1200x26

(Pozn.: rozmery svietidla = dĺžka x šírka x hrúbka, rozmery svetelného zdroja = dĺžka x priemer trubice)

Pre bližšie zoznámenie sa s funkciami programu a jeho činnosťou, prebehol najskôr výpočet osvetlenia a oslnenia v miestnosti bez prekážok (vypratáná miestnosť) a následne s prekážkami (kvázi reálny stav). Ďalej sa hodnotilo osvetlenie a oslnenie pri zmenách odrazností stien a podlahy (simulovanie zmeny farby maľovky a výmena PVC podlahy za plávajúcu), neskôr bola zmenená sústava svietidiel, všetko pri zachovaní jej vybavenia.

Nakoniec sa simulovali tri varianty vhodného typu a rozloženia svietidiel, čo je podstatou práce s programom.

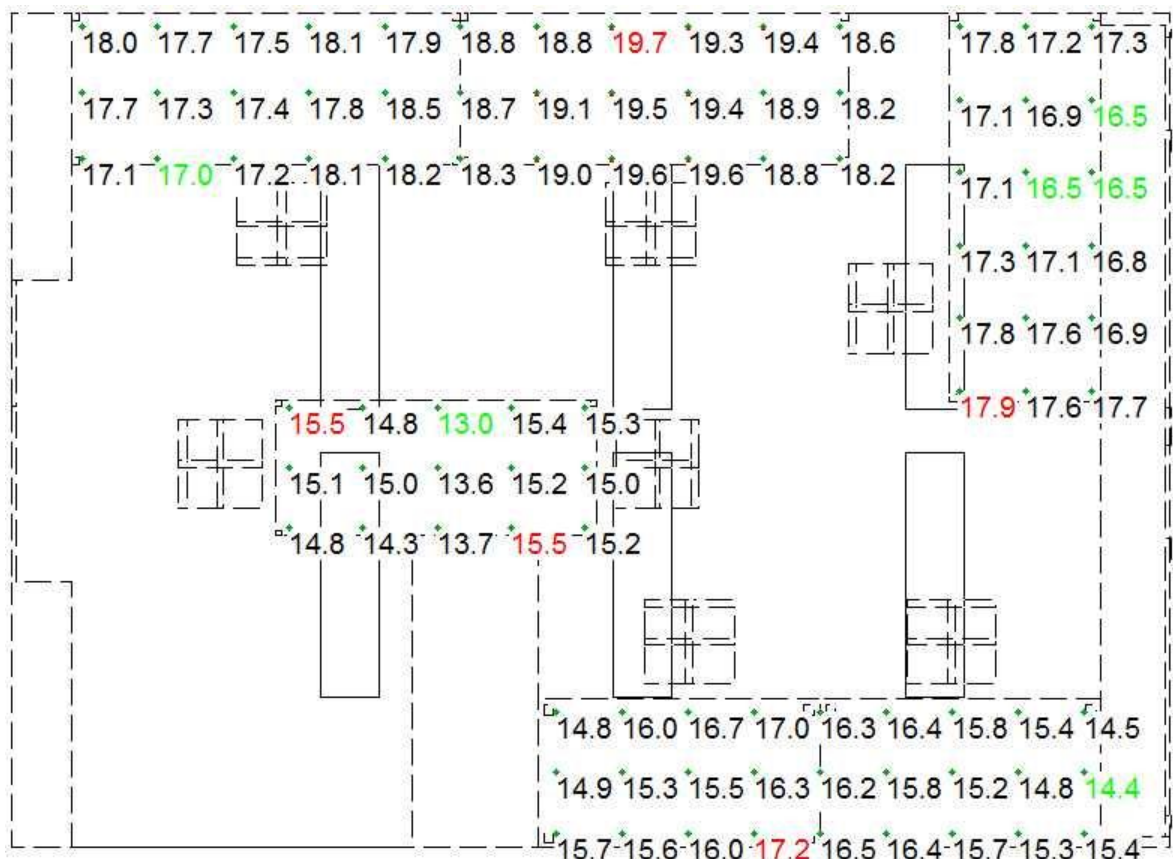








Pre porovnanie sme rovnaký bodový výpočet urobili aj pre miestnosť s prekážkami. Z obr. 20. a 21. je zrejmé, že najvyššia hodnota osvetlenia je 768 lx v rovnakom mieste ako v laboratóriu bez prekážok, naopak najnižšie osvetlenie vidíme v ľavom hornom rohu a to 136 lx. Rozdiel medzi najvyššími množstvami osvetlenia v prípade miestnosti bez prekážok a s prekážkami je 31 lx, zatiaľ čo rozdiel medzi najnižšími je 24 lx. V ostatných bodoch zrakovej úlohy sú rozdiely podobné. Priemer je 440 lx.



Obr. 22. Oslnenie UGR v kontrolných bodoch laboratória s prekážkami

Najväčšie oslnenie dostaneme pre čiernu lavicu nachádzajúcu sa pri stene a to 19,7. Naopak najnižšie u svetlo šedej lavice v rohu (pri okne) miestnosti, 14,4. Priemer je 16,5. Z výsledkov vyplýva, že sa oslnenie po umiestnení nábytku zvýšilo hlavne vľavo od vstupu do laboratória a naopak sa oslnenie mierne znížilo pri svetlo šedých laviciach. Ak sa pozrieme na obr. 22. môžeme zbadáť, že približne celý stred čiernej lavice nespĺňa normy UGR, pretože prevyšuje hodnotu 19,0. Riešením tohto problému by mohlo byť vhodnejšie rozloženie svietidiel, zmena ich výkonu, prípadne zmena polohy lavice alebo vhodná úprava jej farby.

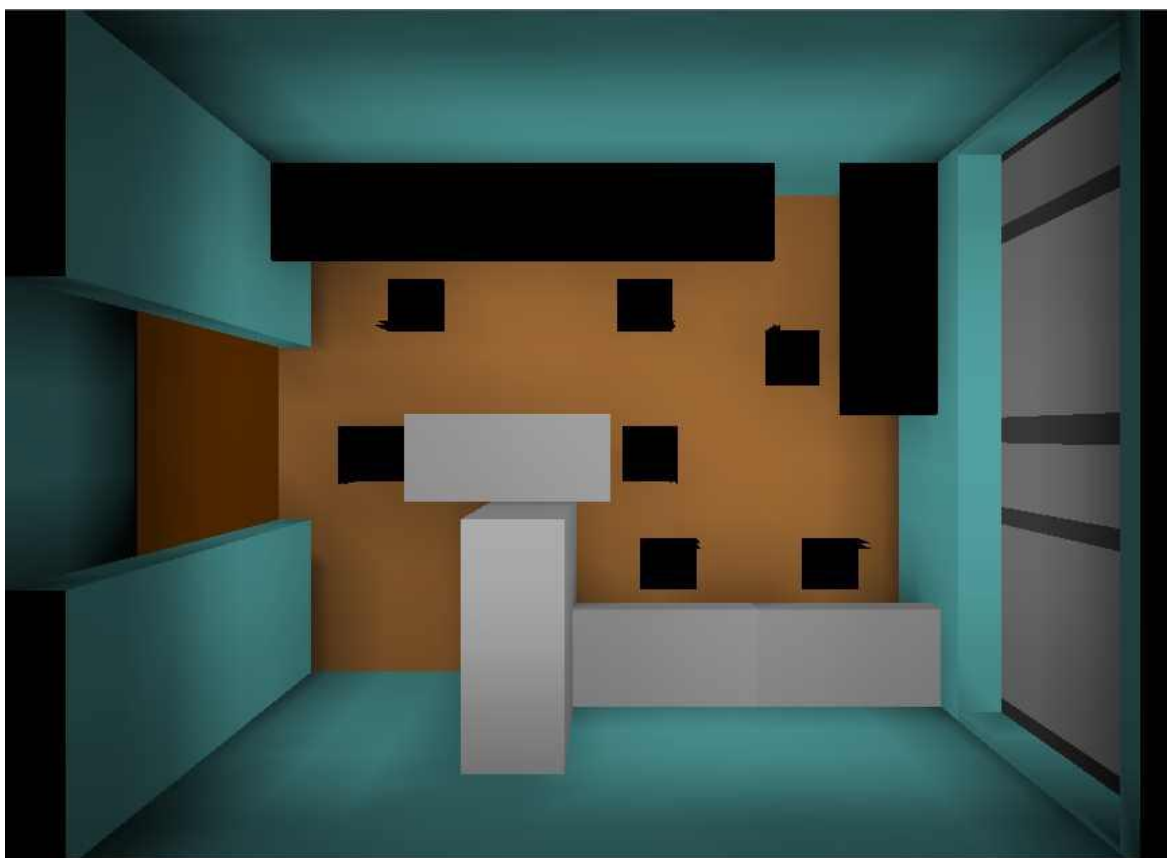
Tab. 28. Porovnanie výsledkov simulácie laboratória bez a s prekážkami

<i>Variant</i>	$E_{max}$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$\bar{E}$ [lx]	$UGR_{max}$ [-]	$UGR_{min}$ [-]	$\overline{UGR}$ [-]
<i>Bez prekážok</i>	799	160	482	17,3	13,7	15,4
<i>S prekážkami</i>	768	136	440	19,7	14,4	16,5

Porovnanie osvetlenia a oslnenia miestnosti bez prekážok a s prekážkami dopadlo podľa očakávaní. Množstvo osvetlenia v priemere po rozmiestnení nábytku mierne kleslo zo 482 lx na 440 lx. Je to spôsobené predovšetkým tým, že inštalovaný nábytok určitú časť svetla pohlcuje. Naopak, oslnenie v mieste zrakovej úlohy narástlo z 15,4 na 16,5. V tomto prípade odraz svetla nastáva priamo od lavice, ktorá je bližšie k pozorovateľovi ako samotná podlaha.

**2) Zmena hodnôt odraznosti stien a podlahy. Vybavenie miestnosti a rozloženie svietidiel ostávajú rovnaké. Výsledky osvetlenia a oslnenia UGR sa porovnajú s reálnou simulovanou situáciou laboratória.**

Boli zvolené svetlo modré steny s  $\rho = 0,50$ , farba stropu ostala nezmenená s  $\rho = 0,83$  a na zem bola položená plávajúca podlaha s  $\rho = 0,40$ .



Obr. 23. Vizualizácia laboratória s modrými stenami z horného pohľadu





Čo sa oslnenia týka, jeho maximálna hodnota narástla na 21,0, čo samozrejme nespĺňa normy. Miesta s jeho zvýšeným výskytom ostali rovnaké. Naopak, bod s jeho najnižšou hodnotou 12,8 nájdeme na lavici umiestnenej približne v strede laboratória (pred tým v pravom dolnom rohu pri okne). Priemerné UGR je 17,5. Oproti prípadu miestnosti s bielymi stenami sa zvýšilo priemerné oslnenie o 1,0. Na *obr. 25*. vidno zvýšené hodnoty takmer v každom kontrolnom bode nachádzajúcom sa tesne nad čiernou lavicou.

*Tab. 29. Porovnanie výsledkov simulácie laboratória s bielymi a modrými stenami*

<i>Variant</i>	$E_{max}$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$\bar{E}$ [lx]	$UGR_{max}$ [-]	$UGR_{min}$ [-]	$\overline{UGR}$ [-]
<i>Biela stena</i>	768	136	440	19,7	14,4	16,5
<i>Modrá stena</i>	750	122	416	21,0	12,8	17,5

Z porovnania vyplýva, že sa pochopiteľne znížilo množstvo osvetlenia a naopak sa zvýšilo UGR. Tak isto, že po zmenení farby stien a výmeny podlahy došlo k takému nárastu oslnenia, ktoré už normy nespĺňa.

### 3) Zmena sústavy osvetlenia laboratória a porovnanie výsledkov s reálne inštalovanými svetelnými zdrojmi.

V ďalšom kroku došlo k výmene umelého osvetlenia značky Philips za iné.

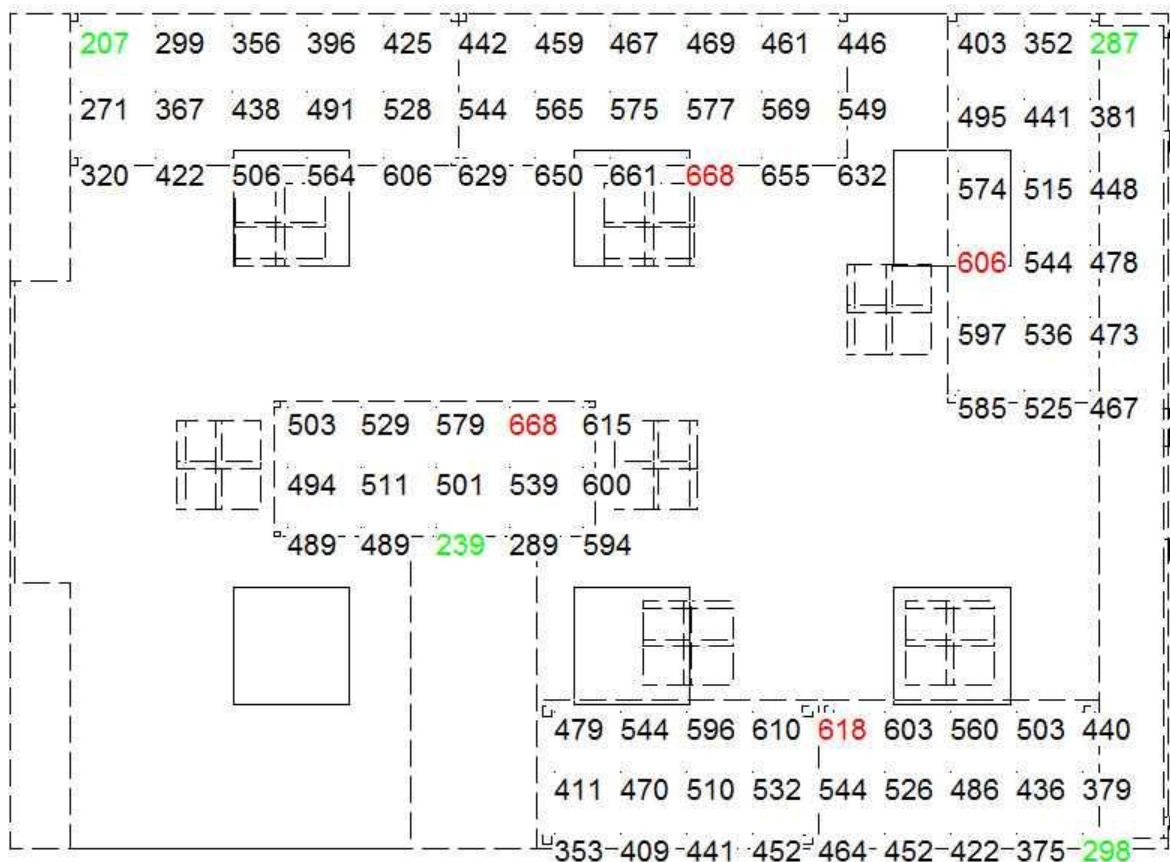


*Obr. 26. Vizualizácia laboratória z bočného pohľadu s inou svetelnou sústavou*

Nasledovná tabuľka stručne popisuje vlastnosti novej svetelnej sústavy.

Tab. 30. Novo inštalované (simulované) umelé osvetlenie laboratória

Umiestnenie	Svietidlo	Svetelný zdroj
	Po celej miestnosti	
Množstvo	6	24
Výrobca	OMS	OSRAM
Typ	-	FQ 24W/840 G5
Názov	RELAX T5 PAR MAT-V REFLEX A4L2 4x24W	LUMILUX T5 HO studená biela
Krytie	IP20	-
Zdroj [n x W]	4x24	-
Príkon [W]	-	24
Účinnosť [%]	52	-
Svetelný tok [lm]	-	1750
Životnosť [hod.]	-	10000
R <sub>a</sub> [-]	-	80
Rozmery [mm]	595x595x65	549x16

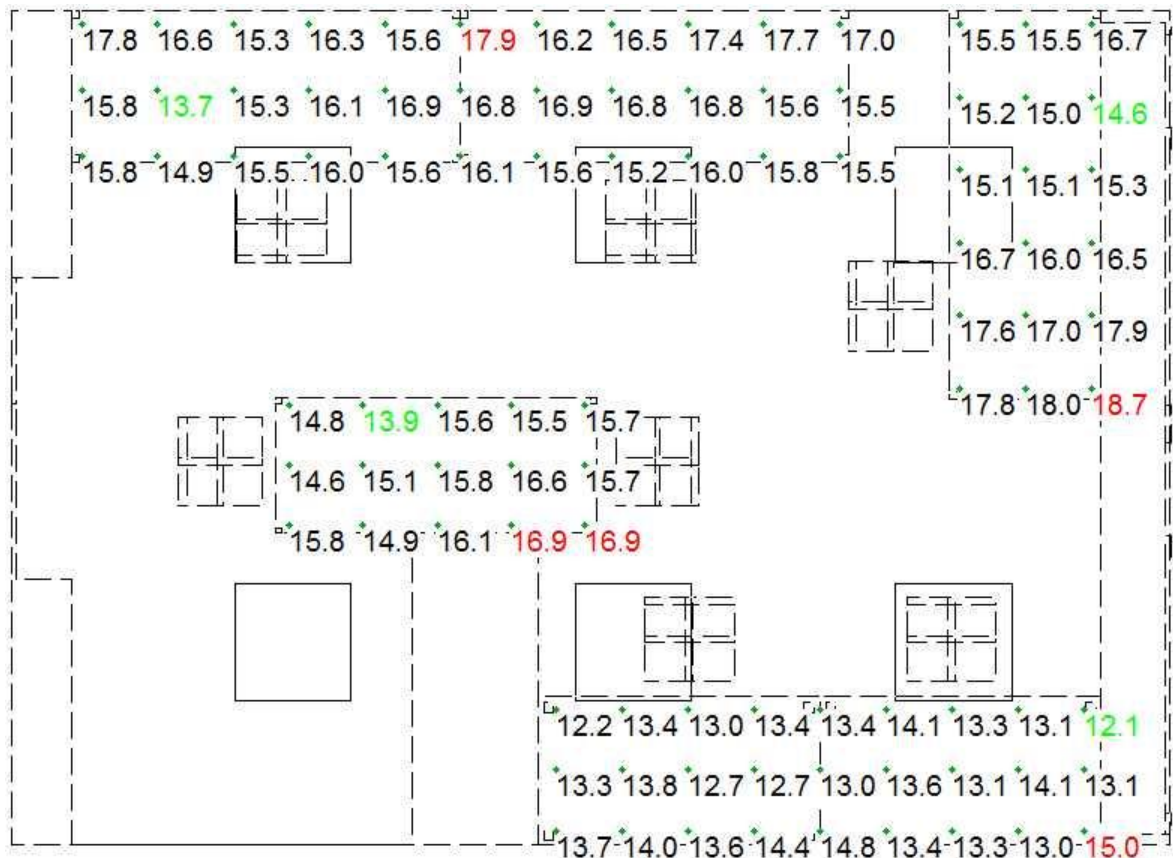


Obr. 27. Osvetlenie v kontrolných bodoch laboratória s novou svetelnou sústavou

Na obr. 27. môžeme vidieť zmenu rozloženia osvetlenia, ktorá nastala po výmene osvetľovacej sústavy. Najvyššia hodnota osvetlenia je 668 lx a najnižšia 207 lx. Oproti reálne in-



štalovanému svetlotechnickému projektu je hodnota 668 lx menšia presne o 100 lx a hodnota 207 lx vyššia o 71 lx. Priemerná osvetlenosť je 491 lx, čo sa približuje k norme (u reálne inštalovanej sústavy bol priemer 440 lx). Rozloženie osvetlenia je v tomto prípade oveľa lepšie. Môžeme sa presvedčiť, že na lavice dopadá pomerne jednotné a konštantné množstvo osvetlenia s výnimkou pravého horného rohu, čo je pre zrakovú pohodu nevyhnutné.



Obr. 28. Oslnenie UGR v kontrolných bodoch laboratória s novou svetelnou sústavou

Čo sa oslnenia týka, najvyššia hodnota 18,7 nachádzajúca sa v rohu čiernej lavice pri okne, je stále pod normovanou hodnotou 19,0. Najnižšia hodnota je 12,1 a priemer v celej ploche zrakovej úlohy je 15,4. Oproti priemeru z reálne fungujúcimi svietidlami je nižší o 1,1.

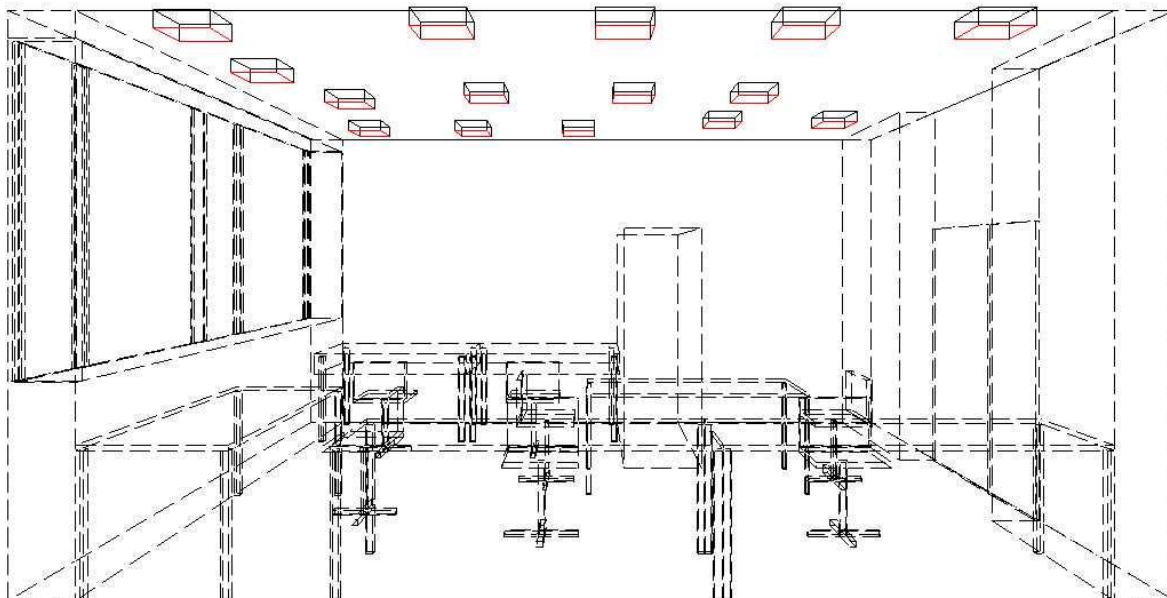
Tab. 31. Porovnanie výsledkov simulácie laboratória s reálnymi a novými svietidlami

Variant	$E_{max}$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$\bar{E}$ [lx]	$UGR_{max}$ [-]	$UGR_{min}$ [-]	$\overline{UGR}$ [-]
Reálna sústava	768	136	440	19,7	14,4	16,5
Nová sústava	668	207	491	18,7	12,1	15,4

V konečnom dôsledku môžeme nové svietidlá z hľadiska osvetlenia a oslnenia zhodnotiť ako veľmi vhodné a táto výmena by zaručovala výrazné zlepšenie pracovného prostredia.

- 4) Návrh troch vhodných variant svetelnej sústavy a ich porovnanie medzi sebou z určitých hľadísk.

### Simulácia 1



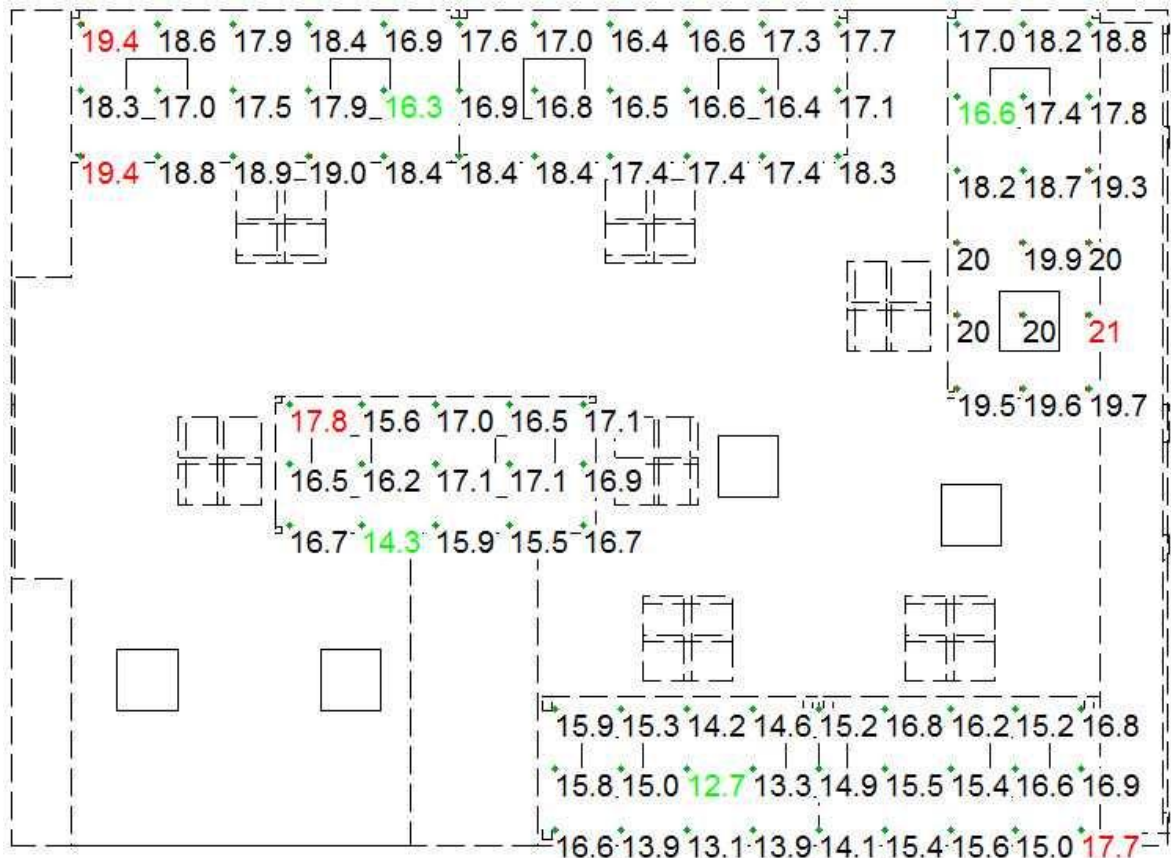
Obr. 29. Laboratórium z bočného pohľadu v 3D, simulácia 1

Na obr. 29. môžeme vidieť zmenu svetelnej sústavy. Vpravo sa nachádzajú dvere, vľavo okná.

Tab. 32. Inštalované umelé osvetlenie laboratória, simulácia 1

	<i>Svietidlo</i>	<i>Svetelný zdroj</i>
<i>Umiestnenie</i>	Po celej miestnosti	
<i>Množstvo</i>	15	30
<i>Výrobca</i>	DEOS Zlín	Philips Lighting Praha
<i>Typ</i>	IDV-312K.218	PL-C 18W/830/2P G24d-2
<i>Názov</i>	2x18W(2G11) parabol. leštená mriežka, vstavané	MASTER PL-C 2-pin
<i>Krytie</i>	IP43	-
<i>Zdroj [n x W]</i>	2x18	-
<i>Príkon [W]</i>	-	18
<i>Účinnosť [%]</i>	70	-
<i>Svetelný tok [lm]</i>		1200
<i>Životnosť [hod.]</i>	-	10000
<i>R<sub>a</sub> [-]</i>		82
<i>Rozmery [mm]</i>	312x312x95	150x27





Obr. 31. Oslnenie UGR v kontrolných bodoch laboratória, simulácia 1

Oslnenie nespĺňa normy len v dvoch kontrolných bodoch a to na kraji čiernej lavice pri stene smerom k dverám, kde je jeho hodnota 19,4. Najmenšie 12,7 sa nachádza v strede svetlo šedej lavice. Priemerné UGR je 17,1.

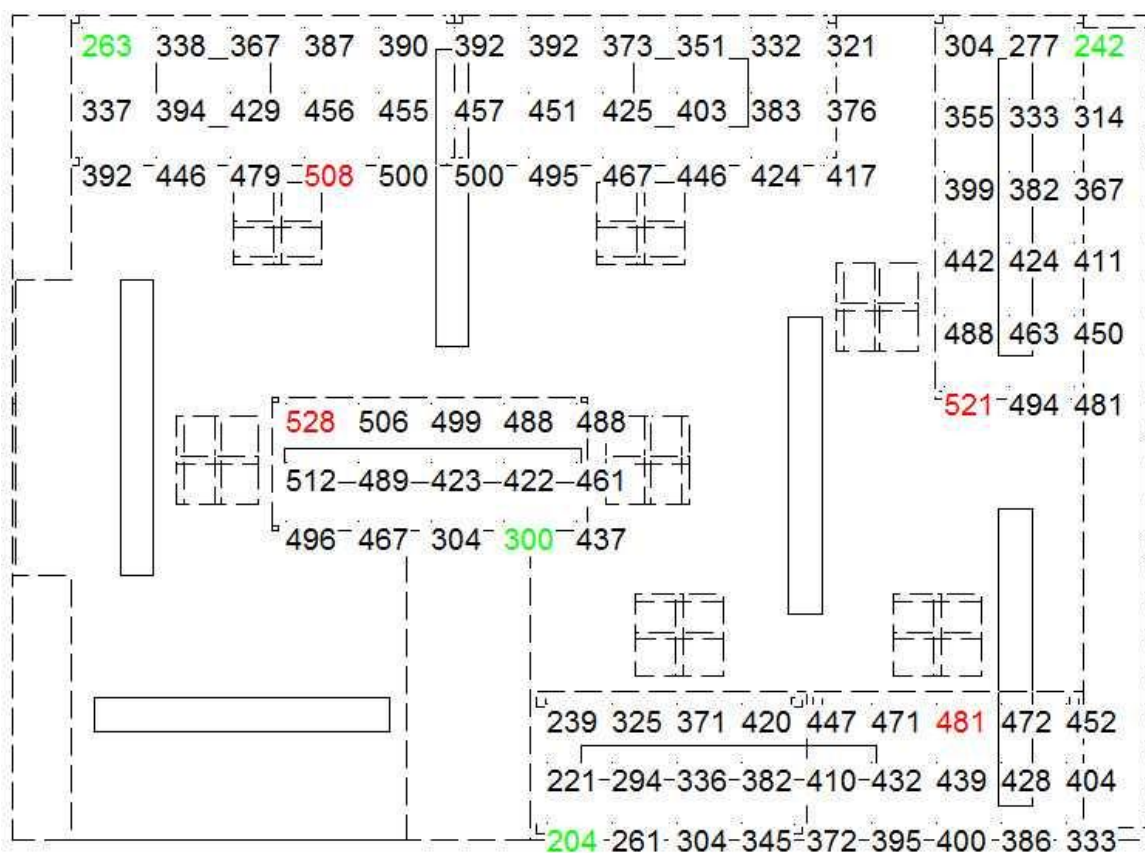
**Simulácia 2**



Obr. 32. Vizualizácia laboratória z bočného pohľadu, simulácia 2

Tab. 33. Inštalované umelé osvetlenie laboratória, simulácia 2

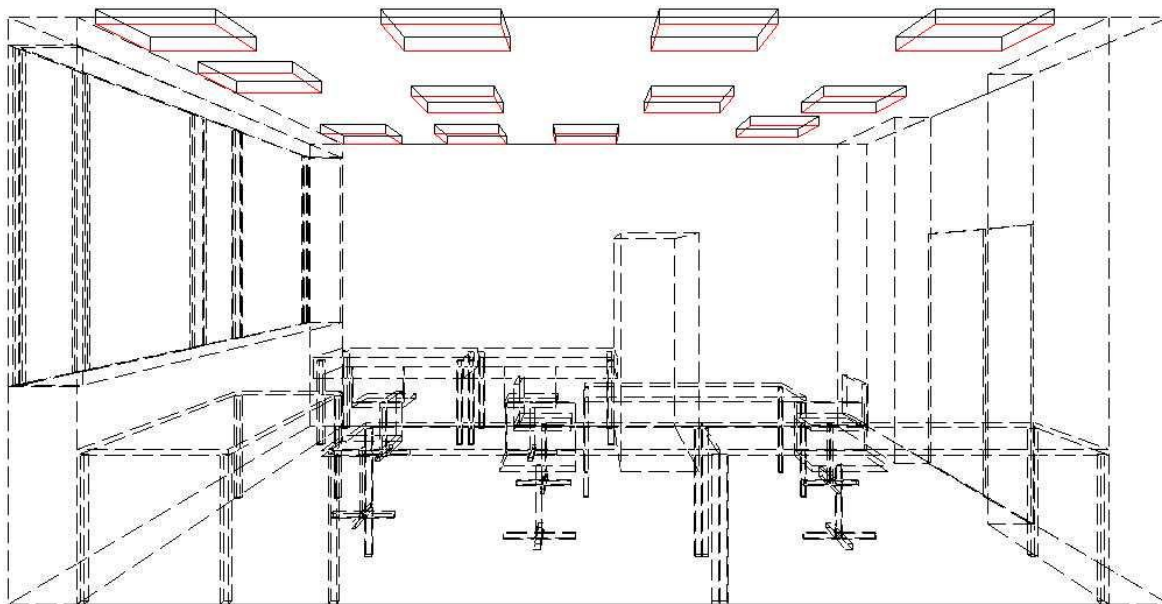
	<i>Svietidlo</i>	<i>Svetelný zdroj</i>	<i>Svietidlo</i>	<i>Svetelný zdroj</i>
<i>Umiestnenie</i>	Po celej miestnosti		Nad dvoma čiernymi lavicami	
<i>Množstvo</i>	8	8	2	4
<i>Výrobca</i>	Eurolux	OSRAM	OSTECH BELUX	OSRAM
<i>Typ</i>	2.1408.1581.1	L 58W/840 G13	CYOS 30	DL 55/840 2G11
<i>Názov</i>	Basic 214/A FD 1x58W	LUMILUX T8 studená biela	CYOS Uplight	OSRAM DULUX L LUMILUX studená biela
<i>Krytie</i>	IP20	-	IP0	-
<i>Zdroj [n x W]</i>	1x58	-	2x55	-
<i>Príkon [W]</i>	-	58	-	55
<i>Účinnosť [%]</i>	55	-	70	-
<i>Svetelný tok</i>	-	5200	-	4800
<i>Životnosť</i>	-	10000	-	8000
<i>R<sub>a</sub> [-]</i>	-	80	-	85
<i>Rozmery [mm]</i>	1550x175x75	1500x26	600x350x70	535x18



Obr. 33. Osvetlenie v kontrolných bodoch laboratória, simulácia 2





*Simulácia 3**Obr. 35. Laboratórium z bočného pohľadu v 3D, simulácia 3*

V tomto prípade bola svetelná sústava v rámci miestnosti tvorená rovnakým druhom svietidiel od spoločnosti Brilux.

*Tab. 34. Inštalované umelé osvetlenie laboratória, simulácia 3*

	<i>Svietidlo</i>	<i>Svetelný zdroj</i>
<i>Umiestnenie</i>	Po celej miestnosti	
<i>Množstvo</i>	15	60
<i>Výrobca</i>	Brilux	Philips Lighting Praha
<i>Typ</i>	OR-ORV418	TLD 18W/25 G13
<i>Názov</i>	ORVENA 418 4x18	TL-D Standart
<i>Krytie</i>	IP0	-
<i>Zdroj [n x W]</i>	4x18	-
<i>Príkonnosť [W]</i>	-	18
<i>Účinnosť [%]</i>	-	-
<i>Svetelný tok [lm]</i>	-	1050
<i>Životnosť [hod.]</i>	-	8000
<i>R<sub>a</sub> [-]</i>	-	65
<i>Rozmery [mm]</i>	625x595x83	590x26





Oslnenie UGR v podstate v každom kontrolnom bode spĺňalo normy, pričom najvyššia hodnota bola 16,2, najnižšia 10,5 a priemerná 14,0.

Spotreba energie činí 864 W.

### **Porovnanie simulácií**

*Tab. 35. Porovnanie výsledkov simulácií laboratória*

<i>Variant</i>	$E_{max}$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$\bar{E}$ [lx]	$UGR_{max}$ [-]	$UGR_{min}$ [-]	$\overline{UGR}$ [-]	$P_c$ [W]
<b>Reálny stav</b>	768	136	440	19,7	14,4	16,5	432
<b>Simulácia 1</b>	587	276	466	19,4	12,7	17,1	540
<b>Simulácia 2</b>	528	242	408	22,0	12,5	17,3	684
<b>Simulácia 3</b>	582	290	493	16,2	10,5	14,0	864

(Pozn.:  $\bar{E}_m = 500$  lx a  $UGR_{norma} = 19$ , pod pojmom reálny stav myslíme reálne inštalovanú svetelnú sústavu)

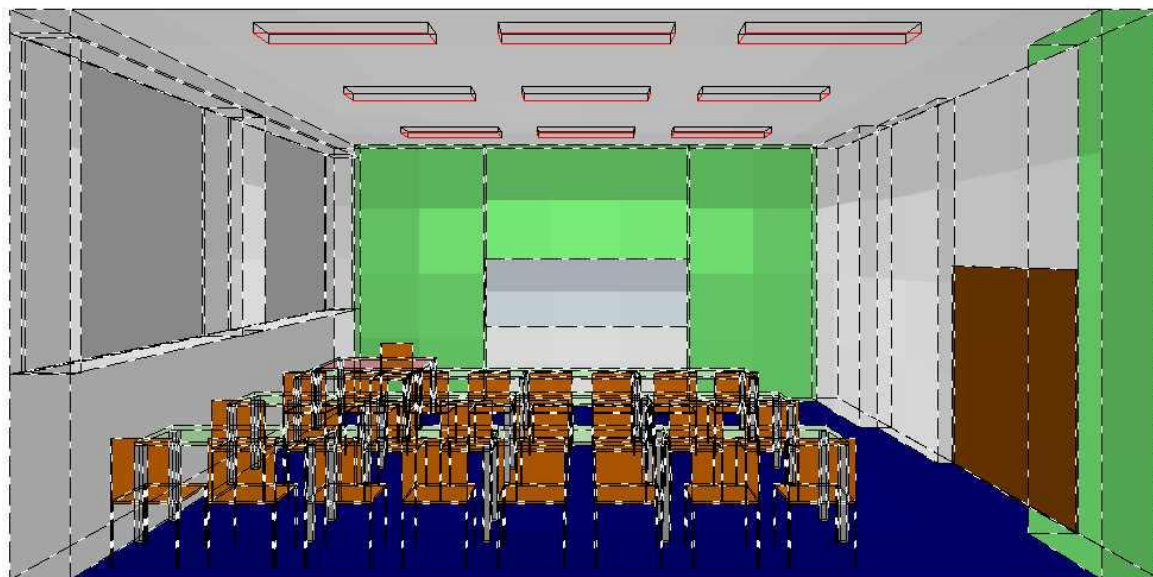
Pomocou tab. 35. môžeme porovnať jednotlivé simulácie medzi sebou. Rozloženie svetla v reálne fungujúcom osvetlení laboratória je absolútne nevyhovujúce a tak isto môžeme vidieť nevyhovujúce normy UGR.

Najmenšie množstvo elektrickej energie sa spotrebovalo v prvom variante (simulácia 1), pričom rozloženie osvetlenia bolo veľmi dobré avšak UGR nespĺňalo normy v niektorých kontrolných bodoch. Z hľadiska oslnenia najhoršie dopadla druhá simulácia.

Celkovo však najlepšie hodnotenie prislúcha poslednej simulácií, kde sa priemerná osvetlenosť blíži k udržiavanej osvetlenosti 500 lx. Rozloženie svetla bolo najlepšie a tak isto hodnoty UGR neprevyšovali normy v žiadnom bode. Nevýhoda však takto inštalovanej sústavy spočíva v nákladoch na prevádzku, pretože sa spotrebuje najväčšie množstvo elektrickej energie. Avšak náklady spojené s prípadnými zrakovými problémami alebo s únavou študentov pri práci v laboratóriu sú oveľa vyššie.

### 11.2.2 Učebňa

#### Reálna sústava

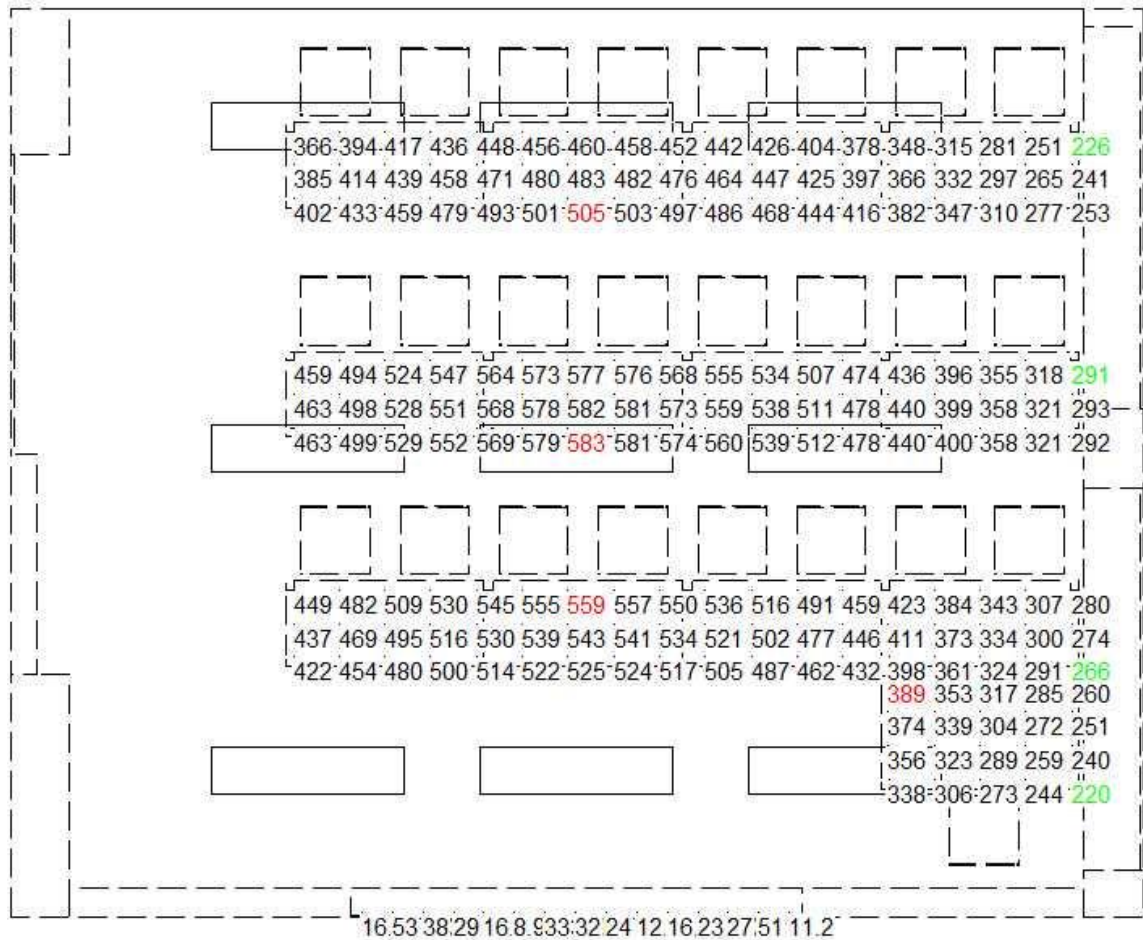


Obr. 38. Učebňa z bočného pohľadu v 3D, reálna sústava

V učebni sa nachádzajú 3 rady zelených lavíc (so stoličkami), červená katedra, tabuľa. Vymenované vybavenie je v podstate aj miesto zrakových úloh. Vpravo vidíme drevené dvere, vľavo sa nachádzajú okná, vpredu pred nami tabuľa (šedou farbou). Vybavenie ako umývadlo alebo projektor sa zanedbalo, rovnako ako sklenená tabuľa (stena) nad dverami. Stena od ktorej sa do miestnosti pozeráme má zelenú farbu.

Tab. 36. Reálne inštalované umelé osvetlenie učebne

	<i>Svietidlo</i>	<i>Svetelný zdroj</i>
<i>Umiestnenie</i>	Po celej miestnosti	
<i>Množstvo</i>	9	18
<i>Výrobca</i>	Philips Lighting Praha	Philips Lighting Praha
<i>Typ</i>	philips145	TLD 36W/33-640 G13 studená biela
<i>Názov</i>	TCS198/236 C6	TL-D Standart
<i>Krytie</i>	IP20	-
<i>Zdroj [n x W]</i>	2x36	-
<i>Príkon [W]</i>	-	36
<i>Účinnosť [%]</i>	64	-
<i>Svetelný tok [lm]</i>	-	2850
<i>Životnosť [hod.]</i>	-	15000
<i>R<sub>a</sub> [-]</i>	-	65
<i>Rozmery [mm]</i>	1257x305x82	1200x26



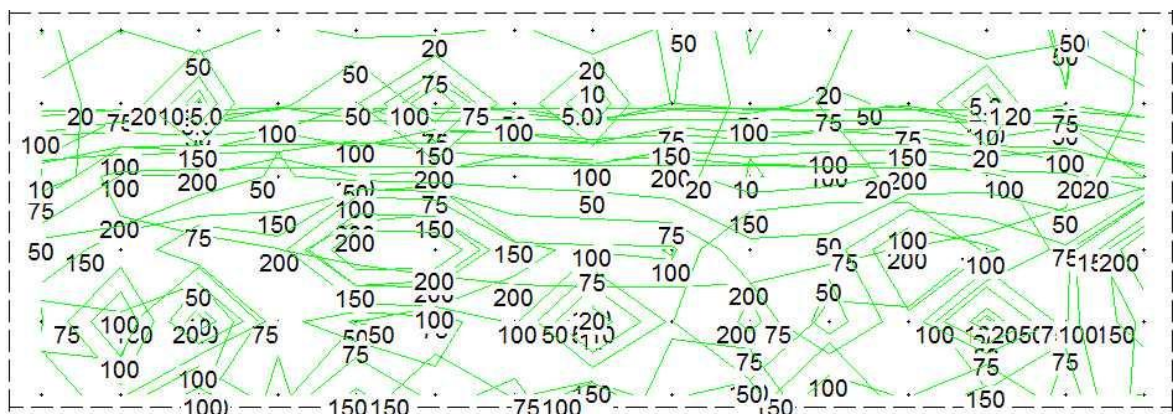
Obr. 39. Osvetlenie v kontrolných bodoch učebne, reálna sústava

Obr. 39. hovorí o (takmer) reálnych hodnotách horizontálnej osvetlenosti učebne, pričom môžeme vidieť, že najvyššia hodnota 583 lx leží približne v strede miestnosti. Najmenej osvetlenia môžeme vidieť v pravom dolnom rohu katedry pri okne, 220 lx. Priemer je 413 lx, čo je vysoko nad normou 300 lx. Preto treba nájsť vhodné svetlotechnické riešenie na zníženie tejto hodnoty.



Obr. 40. Oslnenie UGR v kontrolných bodoch učebne, reálna sústava

Oslnenie lavíc malo najvyššiu hodnotu v dvoch kontrolných bodoch 19,2 v strednom rade pri okne. Kvôli tejto malej oblasti projekt nespĺňa normu aj vďaka tomu, že medzi oknami je umiestnená biela stena. Najnižšie množstvo oslnenia pripadá zelenej lavici pred tabuľou, ktorá je druhá od dverí s hodnotou 13,2. Priemerné oslnenie činí 17,2.



Obr. 41. Izolínie osvetlenia tabule učebne, reálna sústava



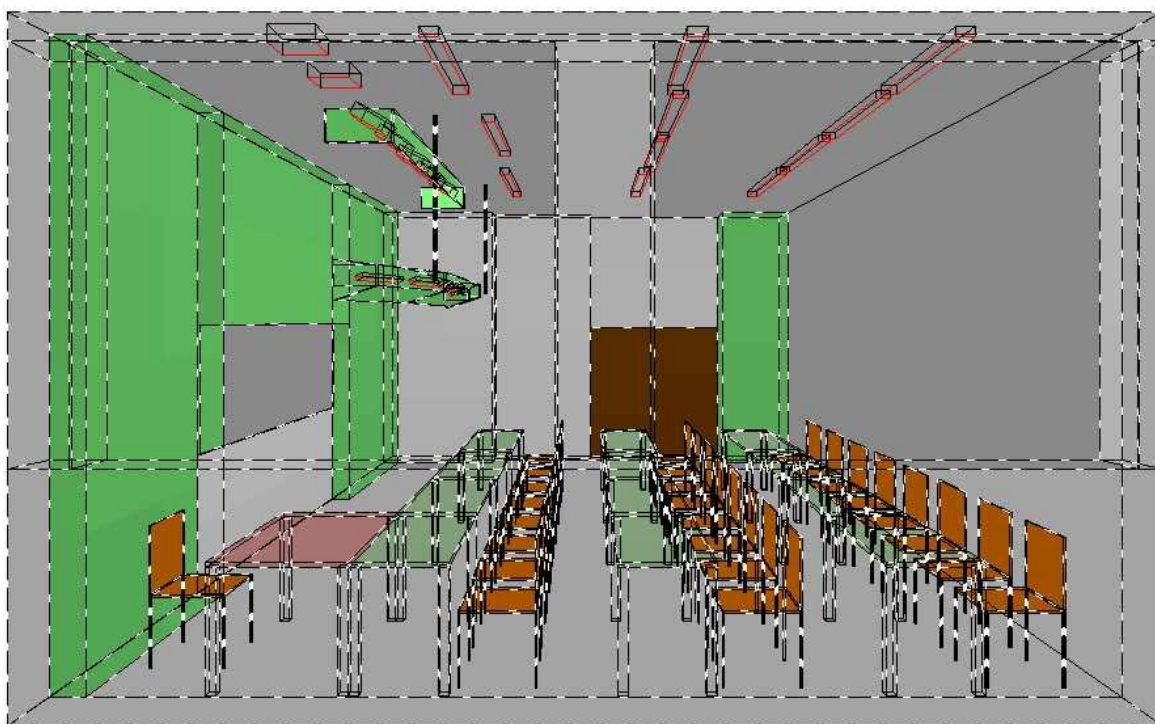
Pre lepšiu predstavu osvetlenia tabule slúžia izolínie. Zobrazenie v kontrolných bodoch nie je v tomto prípade vhodné, rovnako ako udávanie minimálnej alebo maximálnej hodnoty osvetlenia. Preto je lepšie hovoriť len o priemernom dopadajúcom osvetlení, ktoré je 147 lx. Nižšie osvetlenie môžeme ale vidieť v hornej časti tabule aj vďaka tomu, že je priamo nad ňou namontovaná zelená stena hrúbky 20 cm.

0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	21	20	21	21	21	20	20	20.0	21	20	21	21	21	22
19.8	18.9	19.1	18.6	19.0	19.9	19.3	18.7	19.1	18.8	18.0	18.2	19.8	19.7	21
18.8	18.9	22	18.4	19.0	20.0	18.7	21	17.9	18.5	19.7	19.9	22	19.3	21
20	19.6	19.1	18.5	19.7	18.8	18.5	18.0	18.2	18.8	17.9	19.9	19.9	19.9	21

Obr. 42. Oslnenie UGR v kontrolných bodoch tabule učebne, reálna sústava

Oslnenie v hornej časti tabule nezaznamenáme, práve vďaka zelenej stene nad ňou. Najvyššie oslnenie s hodnotou 22,0 nájdeme v jej približne ľavom a pravom spodnom rohu alebo aj vľavo tabule, preto nespĺňa normy. Priemerné UGR je ale 13,1.

### Simulácia 1



Obr. 43. Učebňa z bočného pohľadu v 3D, simulácia 1

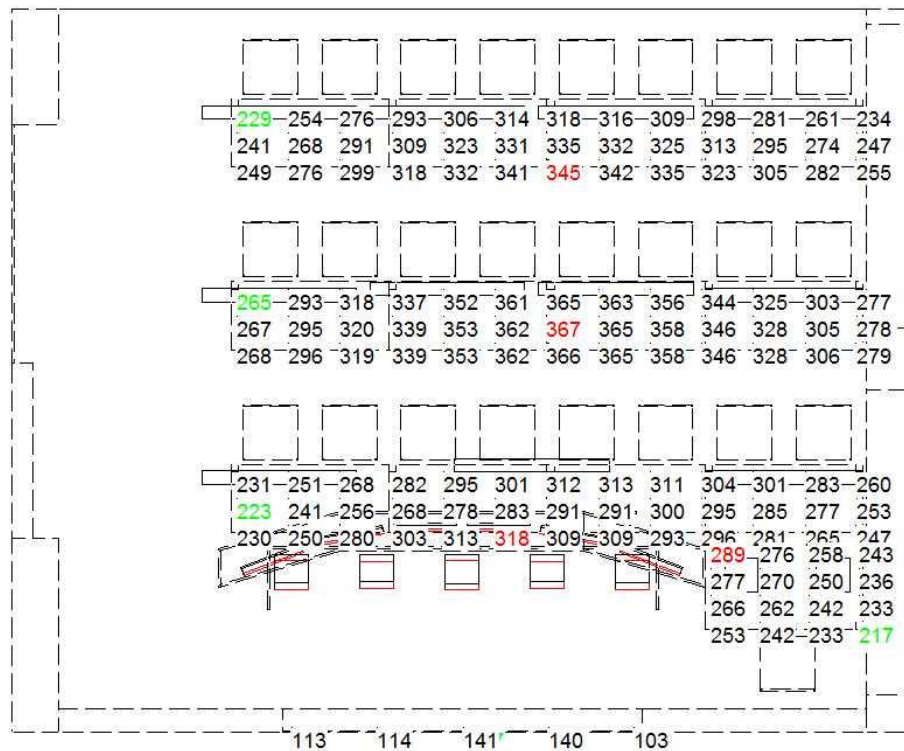
Tab. 37. Inštalované umelé osvetlenie učebne, simulácia 1

	<i>Svietidlo</i>	<i>Svetelný zdroj</i>	<i>Svietidlo</i>	<i>Svetelný zdroj</i>
<i>Umiestnenie</i>	Nad lavicami		Nad katedrou a tabuľou	
<i>Množstvo</i>	11	11	7	7
<i>Výrobca</i>	AMI	OSRAM	AMI	OSRAM
<i>Typ</i>	A1362SM-KR	L 36W/840 G13	A1223SM-OP+	L22W/840 C G10q
<i>Názov</i>	1x36W kryštál difúzor	LUMILUX T8 studená biela	1x22W kruh. žiar., opál	Lumilux kruhová žiarivka
<i>Krytie</i>	IP0	-	IP0	-
<i>Zdroj [n x W]</i>	1x36	-	1x22	-
<i>Príkonnosť [W]</i>	-	36	-	22
<i>Účinnosť [%]</i>	83	-	58	-
<i>Svetelný tok [lm]</i>	-	3350	-	1350
<i>Životnosť [hod.]</i>	-	10000	-	10000
<i>R<sub>a</sub> [-]</i>	-	80	-	80
<i>Rozmery [mm]</i>	1270x110x65	1200x26	275x275x105	216x29

Tab. 38. Inštalované umelé osvetlenie učebne, simulácia 1

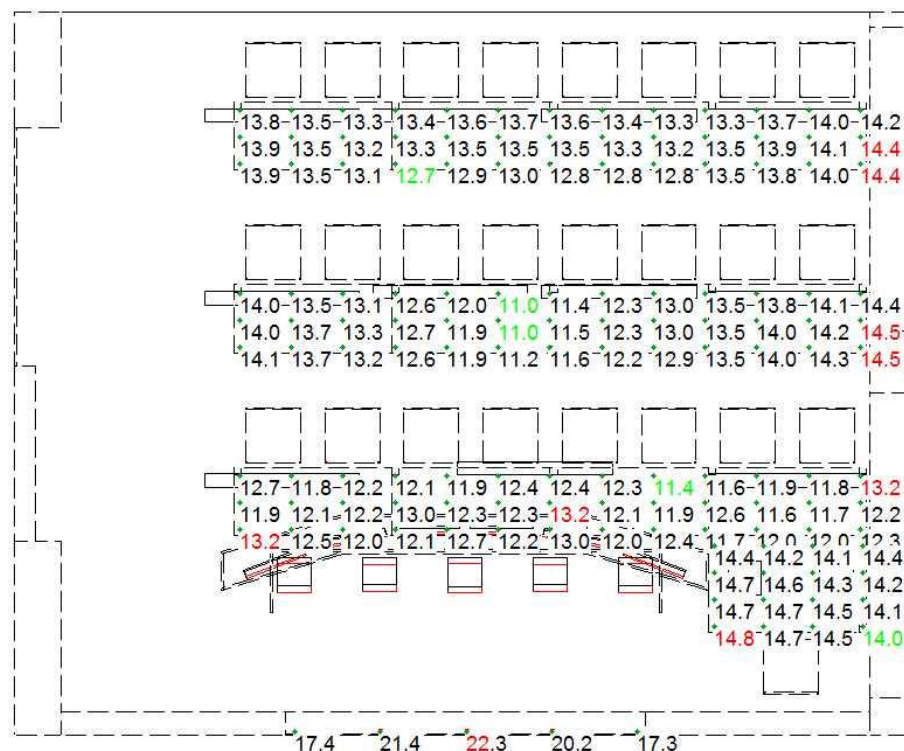
	<i>Svietidlo</i>	<i>Svetelný zdroj</i>
<i>Umiestnenie</i>	Nad tabuľou	
<i>Množstvo</i>	6	6
<i>Výrobca</i>	AMI	OSRAM
<i>Typ</i>	I1151SB+	L 15W/827 G13
<i>Názov</i>	1x15W interiérové svietidlo	LUMILUX T8 Interna
<i>Krytie</i>	IP0	-
<i>Zdroj [n x W]</i>	1x15	-
<i>Príkonnosť [W]</i>	-	15
<i>Účinnosť [%]</i>	67	-
<i>Svetelný tok [lm]</i>	-	950
<i>Životnosť [hod.]</i>	-	8000
<i>R<sub>a</sub> [-]</i>	-	80
<i>Rozmery [mm]</i>	520x33x61	438x26

Svietidlá na strope priamo nad tabuľou boli kryté pre zamedzenie prípadného oslnenia študentov, rovnako ako aj svietidlá na ňu smerované. Môžeme to vidieť aj na obrázku 43.



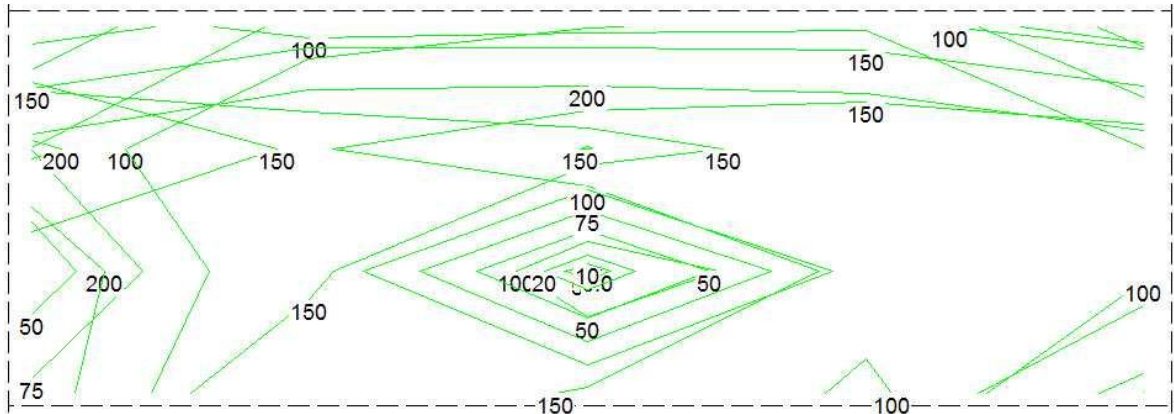
Obr. 44. Osvetlenie v kontrolných bodoch učebne, simulácia 1

Najväčšie osvetlenie lavíc nájdeme približne v strede miestnosti s hodnotou 367 lx, najnižšie naopak v pravom dolnom rohu pri katedre, 217 lx. Priemerné osvetlenie lavíc spolu s katedrou činí 290 lx. Nižšie hodnoty nájdeme pri katedre, kvôli pohlteniu svetla stenami a inému typu inštalovaných svetelných zdrojov priamo nad ňou.



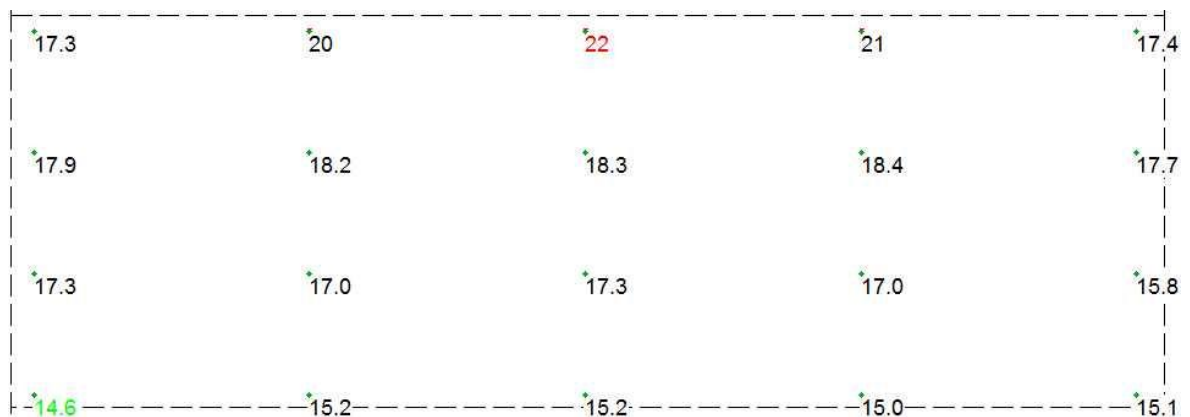
Obr. 45. Oslnenie UGR v kontrolných bodoch učebne, simulácia 1

Čo sa oslnenia týka, najväčšia hodnota 14,8 sa nachádza v ľavom dolnom rohu katedry. Najnižšie UGR vidíme v strede miestnosti s hodnotou 11,0. Priemer je 13,3, norma je v tomto príklade splnená.



Obr. 46. Pohľad na izlolínie osvetlenie tabule učebne, simulácia 1

Priemerné osvetlenie tabule činí 199 lx, čo je o niečo viac ako v predchádzajúcom prípade, avšak stále podľa normy 500 lx nedostatočné.

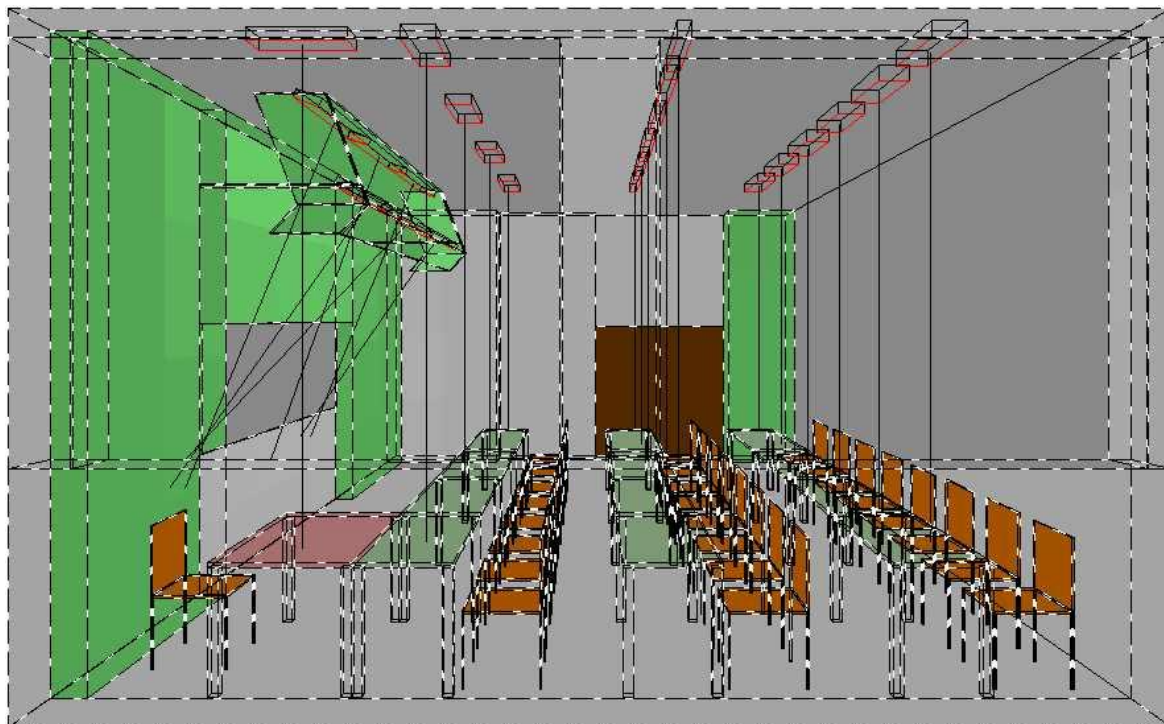


Obr. 47. Pohľad na oslnenie UGR tabule učebne, simulácia 1

Najväčšia hodnota UGR je 22,0, pričom nespĺňa normy hlavne vrch tabule. Je pomerne zložitá nájsť svietidlo s vhodným svetelným tokom, ktoré by svetlo dopadajúce na tabuľu čo najlepšie rozložilo a zároveň neoslňovalo okolie. Problémom môže byť, že svietidlo je veľmi blízko pri tabuli. Minimálnu hodnotu 14,6 vidíme v ľavom dolnom rohu. Priemer je 17,4.



## Simulácia 2



Obr. 48. Učebňa z bočného pohľadu v 3D, zobrazenie svetelných ôs, simulácia 2

Na obr. 48. môžeme vidieť svietidlá priamo nad tabuľou a tak isto osvetlenie na strope, ktoré je na ňu smerované. Je kryté kvôli zamedzeniu nepriaznivému oslneniu študentov.

Tab. 39. Inštalované umelé osvetlenie učebne, simulácia 2

	<b>Svietidlo</b>	<b>Svetelný zdroj</b>	<b>Svietidlo</b>	<b>Svetelný</b>
<b>Umiestnenie</b>	Zadný rad lavíc		Stredný rad lavíc	
<b>Množstvo</b>	6	12	6	6
<b>Výrobca</b>	Elektroprof Tábor	OSRAM	Elektrosvit Sva- tobořice	Teslamp Holeřovice
<b>Typ</b>	CPS 8/218-4	L 18W/840 G13	231 5721	Žiarivka biela
<b>Názov</b>	stropná, parabolic- ká leštená mriežka	LUMILUX T8 studená biela	Bytová žiariv- ková, holá linka	
<b>Krytie</b>	IP20	-	IP20	-
<b>Zdroj [n x W]</b>	2x18	-	1x20	-
<b>Príkonnosť [W]</b>	-	18	-	20
<b>Účinnosť [%]</b>	62	-	95	-
<b>Svetelný tok [lm]</b>	-	1350	-	935
<b>Životnosť [hod.]</b>	-	8000	-	6000
<b>R<sub>a</sub> [-]</b>	-	80	-	65
<b>Rozmery [mm]</b>	600x200x100	590x26	690x85x101	-

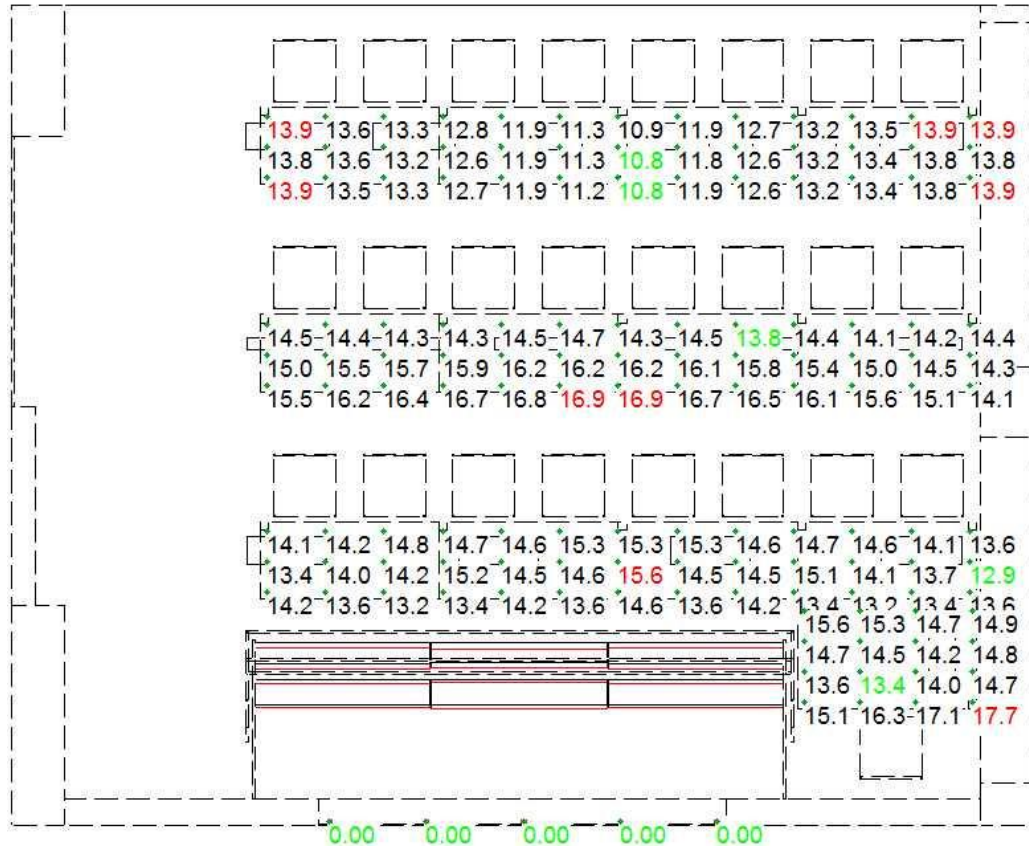
Tab. 40. Inštalované umelé osvetlenie učebne, simulácia 2

<i>Umiestnenie</i>	<i>Svietidlo</i>	<i>Svetelný</i>	<i>Svietidlo</i>	<i>Svetelný zdroj</i>
	Predný rad lavíc a katedra		Nad tabuľou	
<i>Množstvo</i>	5	5	6	12
<i>Výrobca</i>	Beghelli- Elplast Brno	OSRAM	AMI	OSRAM
<i>Typ</i>	02-013	FH 14W/830 G5	A2582SM- OP	L 58W/840 G13
<i>Názov</i>	02-013/114/S	LUMILUX T5 HE teplá	2x58W opál difúzor	LUMILUX T8 studená biela
<i>Krytie</i>	IP20	-	IP0	-
<i>Zdroj [n x W]</i>	1x14	-	2x58	-
<i>Príkonn [W]</i>	-	14	-	58
<i>Účinnosť [%]</i>	82	-	61	-
<i>Svetelný tok [lm]</i>	-	1200	-	5200
<i>Životnosť [hod.]</i>	-	10000	-	10000
<i>R<sub>a</sub> [-]</i>	-	80	-	80
<i>Rozmery [mm]</i>	578x195x82	549x16	1270x195x6	1200x26



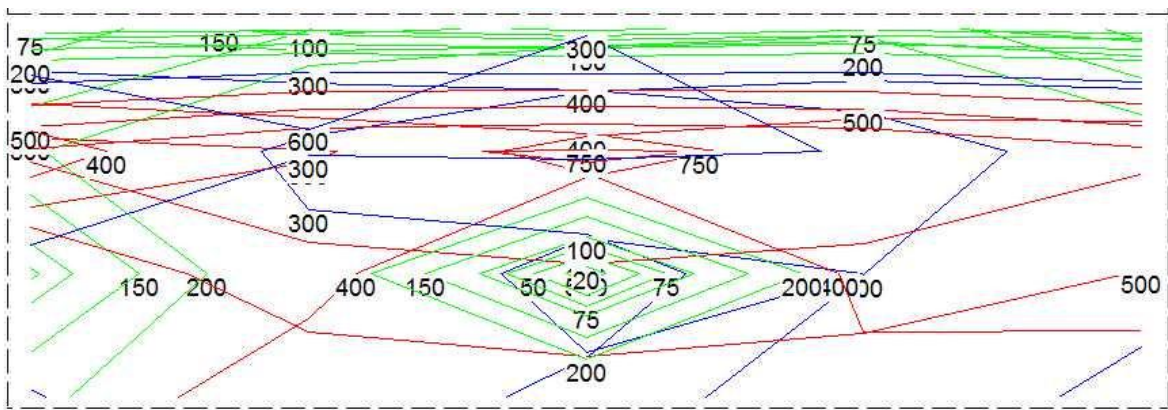
Obr. 49. Osvetlenie v kontrolných bodoch učebne, simulácia 2

Najväčšie množstvo osvetlenia nájdeme v ľavom dolnom rohu katedry 586 lx. Jedná sa zrejme od odraz svetla od steny za tabuľou. Najmenšie v prednej rade pri okne, 163 lx. Priemerné osvetlenie činí 299 lx. Na prednú lavicu pri okne dopadá o trochu menej svetla ako inde v miestnosti.



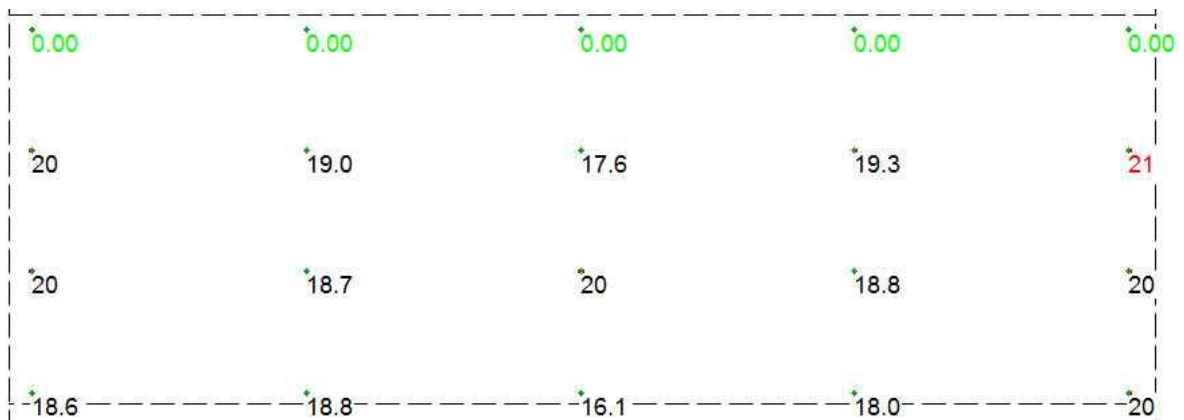
Obr. 50. Oslnenie UGR v kontrolných bodoch učebne, simulácia 2

Oslnenie lavíc dopadlo veľmi dobre, pretože jeho maximálnu hodnotu 17,7 nájdeme v pravom dolnom rohu katedry. Najmenšie oslnenie 10,8 môžeme vidieť v zadnom rade v strede. Priemer je 14,3.



Obr. 51. Pohľad na izlolínie osvetlenie tabule učebne, simulácia 2

Priemerná hodnota osvetlenia tabule činí 426 lx, pričom približne v strede tabule vidíme hodnotu 750 lx.



Obr. 52. Pohľad na oslnenie UGR tabule učebne, simulácia 2

Oslnenie v hornej časti tabule nenájdeme, zatiaľ čo na pravom okraji áno, s maximálnou hodnotou 21,0. Priemer je 14,3.

### Simulácia 3



Obr. 53. Vizualizácia učebne z bočného pohľadu, simulácia 3

Svietidlá ktoré sa nachádzajú nad tabuľou sú kryté proti oslneniu okolia, rovnako ako svietidlá na strope nasmerované na tabuľu.



Tab. 41. Inštalované umelé osvetlenie učebne, simulácia 3

	<i>Svietidlo</i>	<i>Svetelný zdroj</i>	<i>Svietidlo</i>	<i>Svetelný zdroj</i>
<i>Umiestnenie</i>	Nad lavicami a tabuľou		Nad katedrou a tabuľou	
<i>Množstvo</i>	12	24	26	26
<i>Výrobca</i>	LUXART-LEUCI	OSRAM	AMI	OSRAM
<i>Typ</i>	703816	DL 55W/830 2G11	I1101SB+	L 10W/827 G13
<i>Názov</i>	Itaca Gemini L 2x55W 2G11	OSRAM DULUX L LUMILUX teplá biela	1x10W interiérové svietidlo	LUMILUX T8 Interna
<i>Krytie</i>	IP0	-	IP0	-
<i>Zdroj [n x W]</i>	2x55	-	1x10	-
<i>Príkon [W]</i>	-	55	-	10
<i>Účinnosť [%]</i>	24	-	67	-
<i>Svetelný tok [lm]</i>	-	4800	-	650
<i>Životnosť [hod.]</i>	-	8000	-	8000
<i>R<sub>a</sub> [-]</i>	-	85	-	80
<i>Rozmery [mm]</i>	595x595x1	533x18	510x33x61	470x26



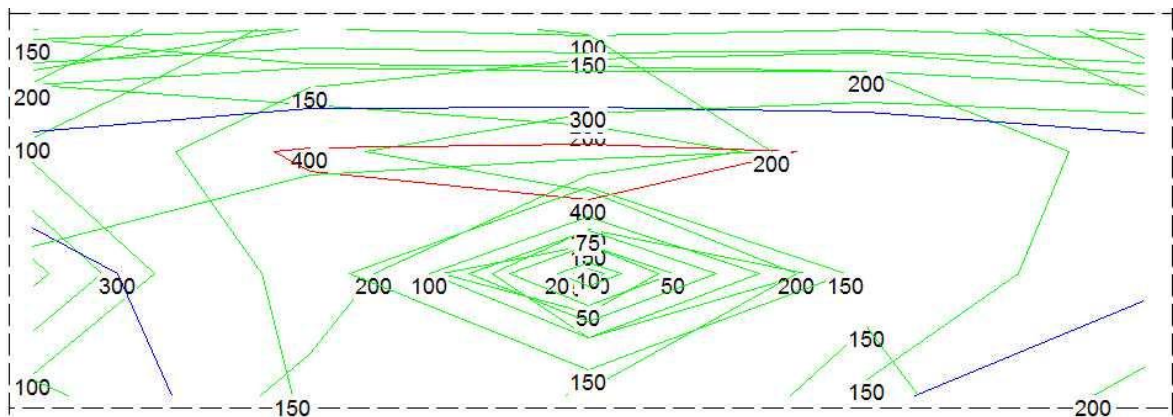
Obr. 54. Osvetlenie v kontrolných bodoch učebne, simulácia 3

Najväčšie osvetlenie 488 lx nájdeme v prednom rade pred tabuľou, najmenšie v pravom dolnom rohu katedry, 265 lx. Priemer je 362 lx, pričom jeho rozloženie je veľmi dobré.



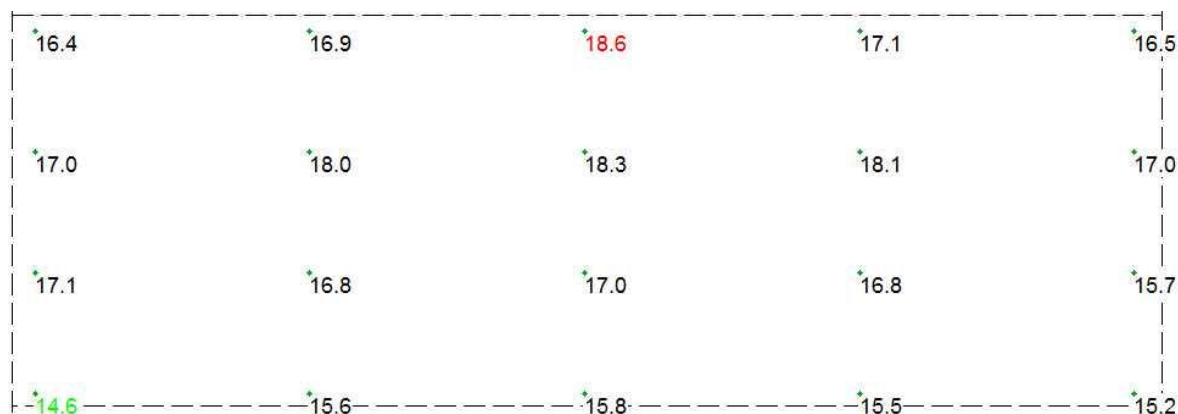
Obr. 55. Oslnenie UGR v kontrolných bodoch učebne, simulácia 3

Najvyššiu hodnotu UGR môžeme vidieť v ľavom dolnom rohu katedry, 15,4. Najmenšie 10,1 vidíme v približne v strede miestnosti. Priemer je 12,6, norma je splnená.



Obr. 56. Pohľad na izlolínie osvetlenie tabule učebne, simulácia 3

Priemerné osvetlenie tabule je 276 lx, čo je v tomto prípade nedostatočné.



Obr. 57. Pohľad na oslnenie UGR tabule učebne, simulácia 3

Najvyššie hodnota UGR činila 18,6, najnižšia 14,6 a priemer je 16,7, norma je splnená.

### Porovnanie simulácií

Tab. 42. Porovnanie výsledkov simulácií učebne

Variant	$E_{max}$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$\bar{E}$ [lx]	$UGR_{max}$ [-]	$UGR_{min}$ [-]	$\overline{UGR}$ [-]	$P_c$ [W]
<b>Reálny stav</b>	583	220	413	19,2	13,2	17,2	648
Tabuľa	-	-	147	22,0	0,0	13,1	
<b>Simulácia 1</b>	367	217	290	14,8	11,0	13,3	640
Tabuľa	-	-	199	22,0	14,6	17,4	
<b>Simulácia 2</b>	586	163	299	17,7	10,8	14,3	1102
Tabuľa	-	-	426	21,0	0,0	14,3	
<b>Simulácia 3</b>	488	265	362	15,4	10,1	12,6	1476
Tabuľa	-	-	275	18,6	14,6	16,7	

(Pozn.: Lavice a katedra:  $\bar{E}_m = 300$  lx,  $UGR_{norma} = 19$ , tabuľa:  $\bar{E}_m = 500$  lx.  $UGR_{norma} = 19$ . Pod pojmom reálny stav sa myslí reálne inštalovaná svetelná sústava).

Reálne inštalovaná sústava nespĺňa normy osvetlenia, napriek tomu, že je pomerne konštantné, avšak je zbytočne vysoké 413 lx. UGR je zase oproti norme vyššie o 0,2. Preto je vhodná jeho výmena.

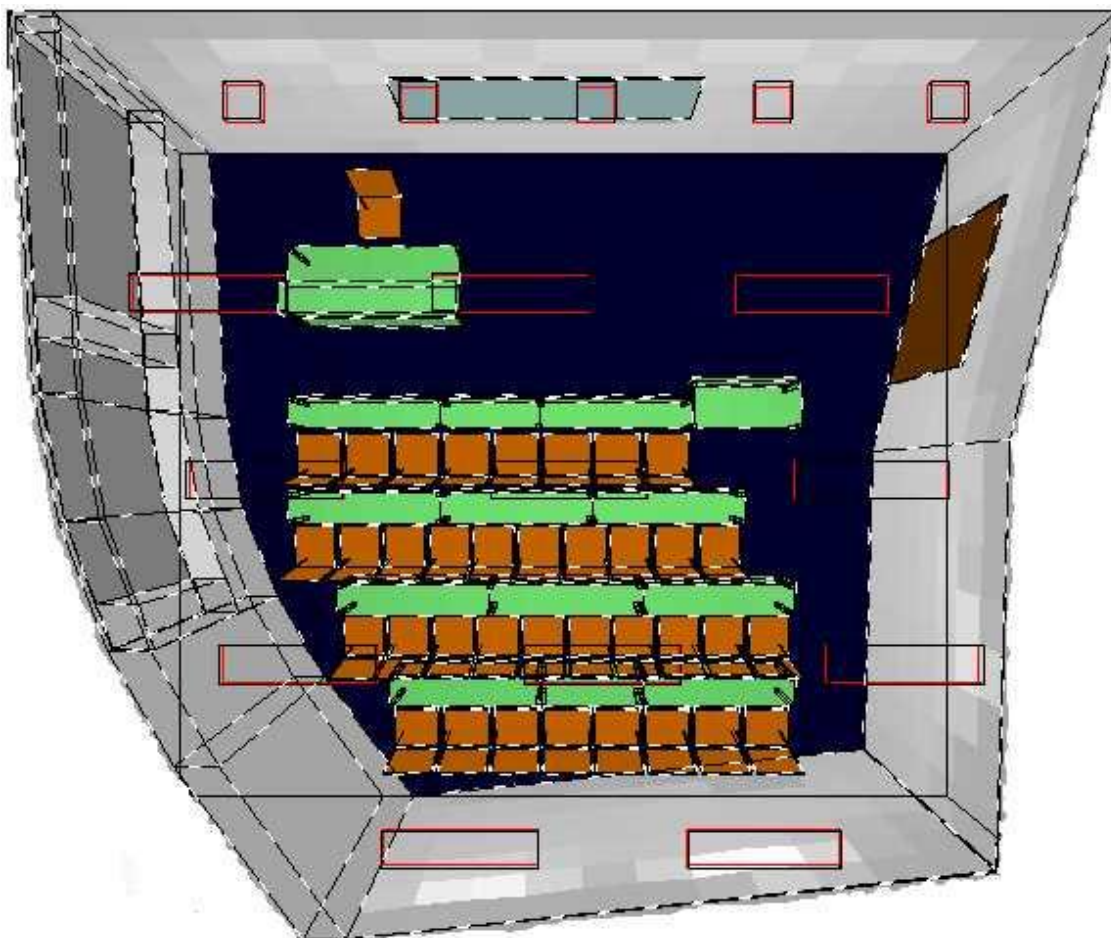
Čo sa týka osvetlenia lavíc, môžeme konštatovať, že dopadli dobre aj z hľadiska oslnenia, kde žiaden svetlotechnický projekt neprekročil hodnotu 19,0. Najlepšie však dopadla tretia simulácia s hodnotou osvetlenia 362 lx, blízko k hodnote 300 lx mali aj predchádzajúce dva varianty.

Tabuľa v projekte, ktorý bol navrhnutý pri stavbe budovy absolútne nespĺňa normy ako z hľadiska osvetlenia, tak aj oslnenia. Preto by bola na mieste náprava. Najbližšie k osvetleniu tabule 500 lx mala druhá simulácia a z tohto hľadiska je najlepšia (426 lx).

Treba však poznamenať, že jej oslnenie prekročilo normu. Napriek tomu je táto simulácia lepšia ako stávajúci stav a zrakový orgán toľko netrpí ako v skutočnom prípade. Jedine v poslednom projekte tabuľa neprekročila UGR. Bola ale osvetlená len na 275 lx, čo je ale dvojnásobok vzhľadom na reálny stav svetelnej sústavy. Z týchto zistení vyplýva navrhnutie svetelného projektu pomocou kompromisu a zväžiť, čo je pre študentov vhodnejšie, či menej osvetlenia bez oslnenia, alebo vhodné osvetlenie s trošku väčším oslnením. Dobré by bolo inštalovať svietidlá s možnosťou zmeny elektrickej energie, ktoré do nich tečú, alebo nájsť takého zdroja, ktorý má krivky svietivosti lepšie rozložené. Tu treba tiež poznamenať, že v programe nejde zadať lesk povrchu. S tým môže súvisieť aj návrh nového materiálu tabule, ktorý by mal menší lesk a zároveň by spĺňal funkčné a kvalitatívne kritéria. Je tiež pomerne náročné navrhnuť svetlotechnický projekt tak, aby spĺňala normy tabuľa a zároveň aj okolie.

### 11.2.3 Poslucháreň B

#### *Reálna sústava*



Obr. 58. Poslucháreň B z horného pohľadu v 3D, reálna sústava



Na obr. 58. vidíme poslucháreň B zvrchu. V pravo sa nachádzajú drevené dvere oproti ktorým je zelená katedra. Za katedrou sa nachádza tabuľa, ktorá je umiestnená pred zelenými lavicami. Podlaha je z modrého PVC, steny aj strop sú biele (na obrázku šedé). Vľavo vidíme okná. Umiestnenie a veľkosť svietidiel zobrazujú červené línie. Miestnosť je nepravidelného tvaru a veľkosťou je zo všetkých najväčšia.

Tab. 43. Reálne inštalované umelé osvetlenie posluchárne B

	<i>Svietidlo</i>	<i>Svetelný zdroj</i>	<i>Svietidlo</i>	<i>Svetelný zdroj</i>
<i>Umiestnenie</i>	Po celej miestnosti		Nad tabuľou	
<i>Množstvo</i>	11	22	5	10
<i>Výrobca</i>	Philips Lighting Praha	Philips Lighting Praha	Philips Lighting Praha	Philips Lighting Praha
<i>Typ</i>	philips145	TLD 36W/33-640 G13 studená biela	philips642	PL-T 26W/827/4P GX24q-3
<i>Názov</i>	TCS198/236 C6	TL-D Standart	FBH245/226 F	MASTER PL-T 4-pin
<i>Krytie</i>	IP20	-	IP20	-
<i>Zdroj [n x W]</i>	2x36	-	2x26	-
<i>Príkonnosť [W]</i>	-	36	-	26
<i>Účinnosť [%]</i>	64	-	68	-
<i>Svetelný tok [lm]</i>	-	2850	-	1750
<i>Životnosť [hod.]</i>	-	15000	-	12000
<i>R<sub>a</sub> [-]</i>	-	65	-	82
<i>Rozmery [mm]</i>	1257x305x82	1200x26	300x300x100	126x40



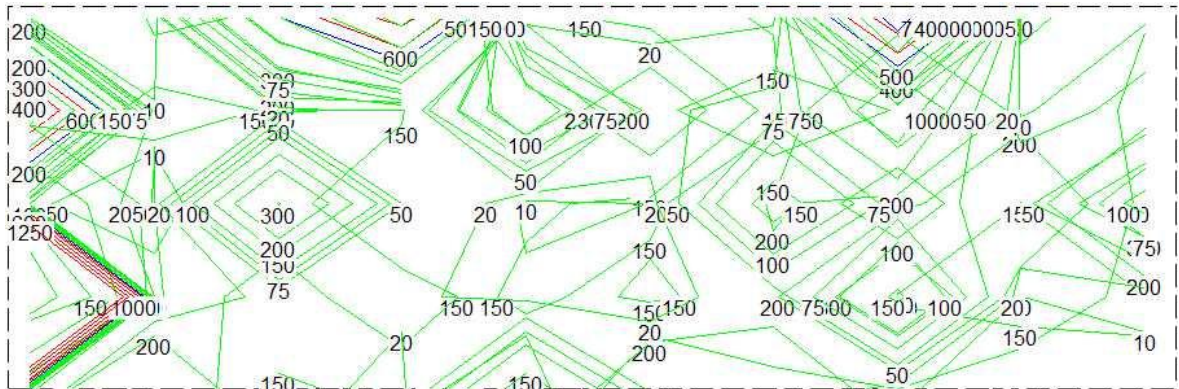
Obr. 59. Osvetlenie v kontrolných bodoch posluchárne B, reálna sústava

Najväčšie množstvo osvetlenia nájdeme v prednej rade približne v strede s hodnotou 679 lx. Najmenšie v zadnom rade pri okne v poslednej lavici s veľkosťou 191 lx. Priemerné osvetlenie je 518 lx, čo spĺňa normu. Jeho rozloženie je pomerne konštantné a dá sa považovať za vhodné s výnimkou katedry, kde je nedostatočné.



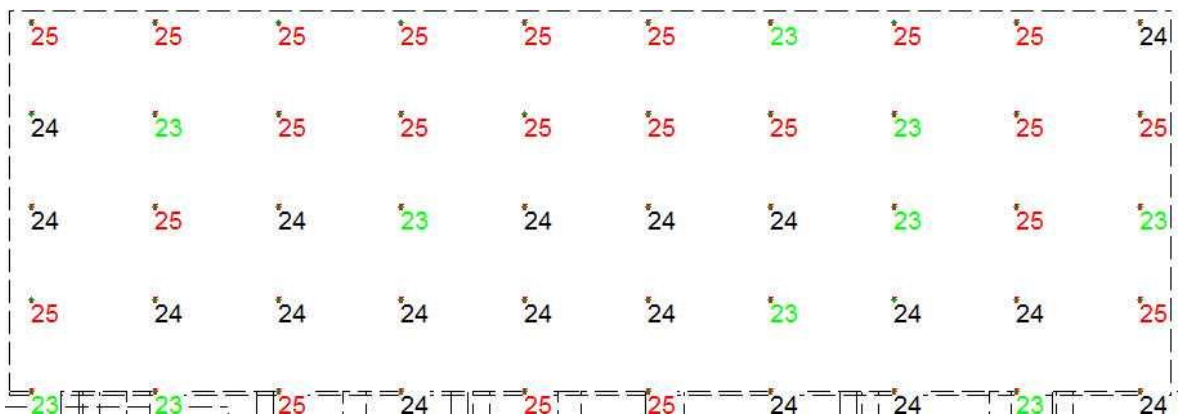
Obr. 60. Oslnenie UGR v kontrolných bodoch posluchárne B, reálna sústava

Najväčšie množstvo UGR môžeme vidieť v dvoch kontrolných bodoch v prednom rade približne v strede, s hodnotou 19,5, čo je nad normou. Najmenšie 4,6 vidíme v treťom rade smerom k oknu. Priemer je 16,7.



Obr. 61. Pohľad na izlolínie osvetlenie tabule posluchárne B, reálny sústava

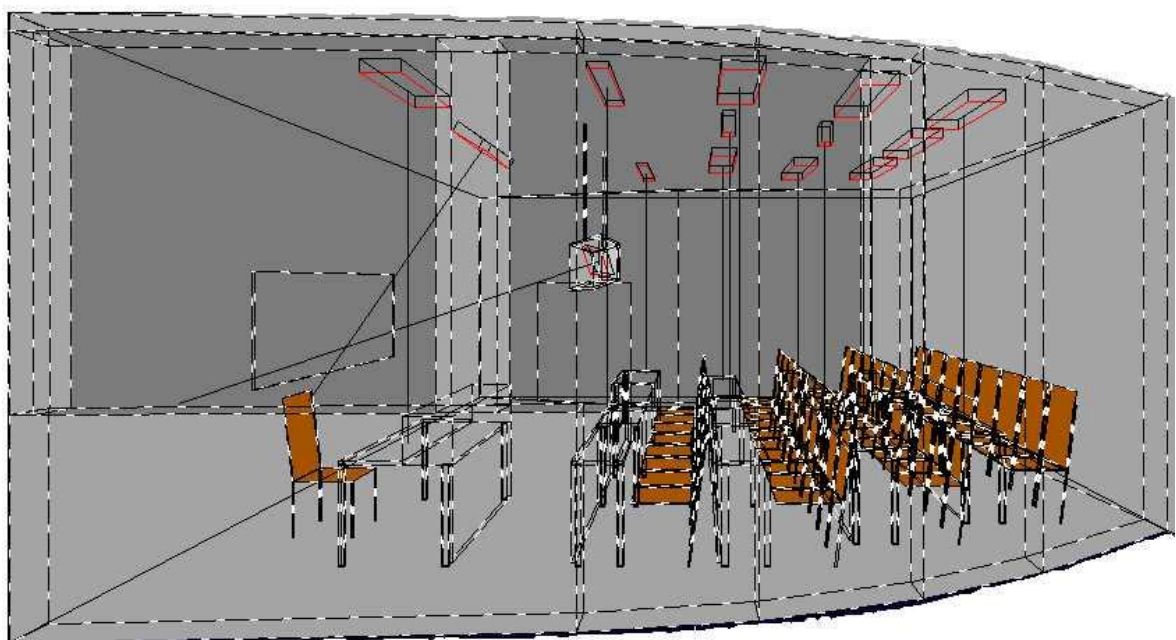
Priemerné osvetlenie dopadajúce na tabuľu je 243 lx a teda nespĺňa požadované hodnoty.



Obr. 62. Pohľad na oslnenie UGR tabule posluchárne B, reálna sústava

Oslnenie absolútne nezodpovedá normám, maximum je 25,1 minimum 22,9. Priemer 24,3.

### Simulácia 1



Obr. 63. Poslucháreň B z bočného pohľadu v 3D, zobrazenie svetelných ôs, simulácia 1



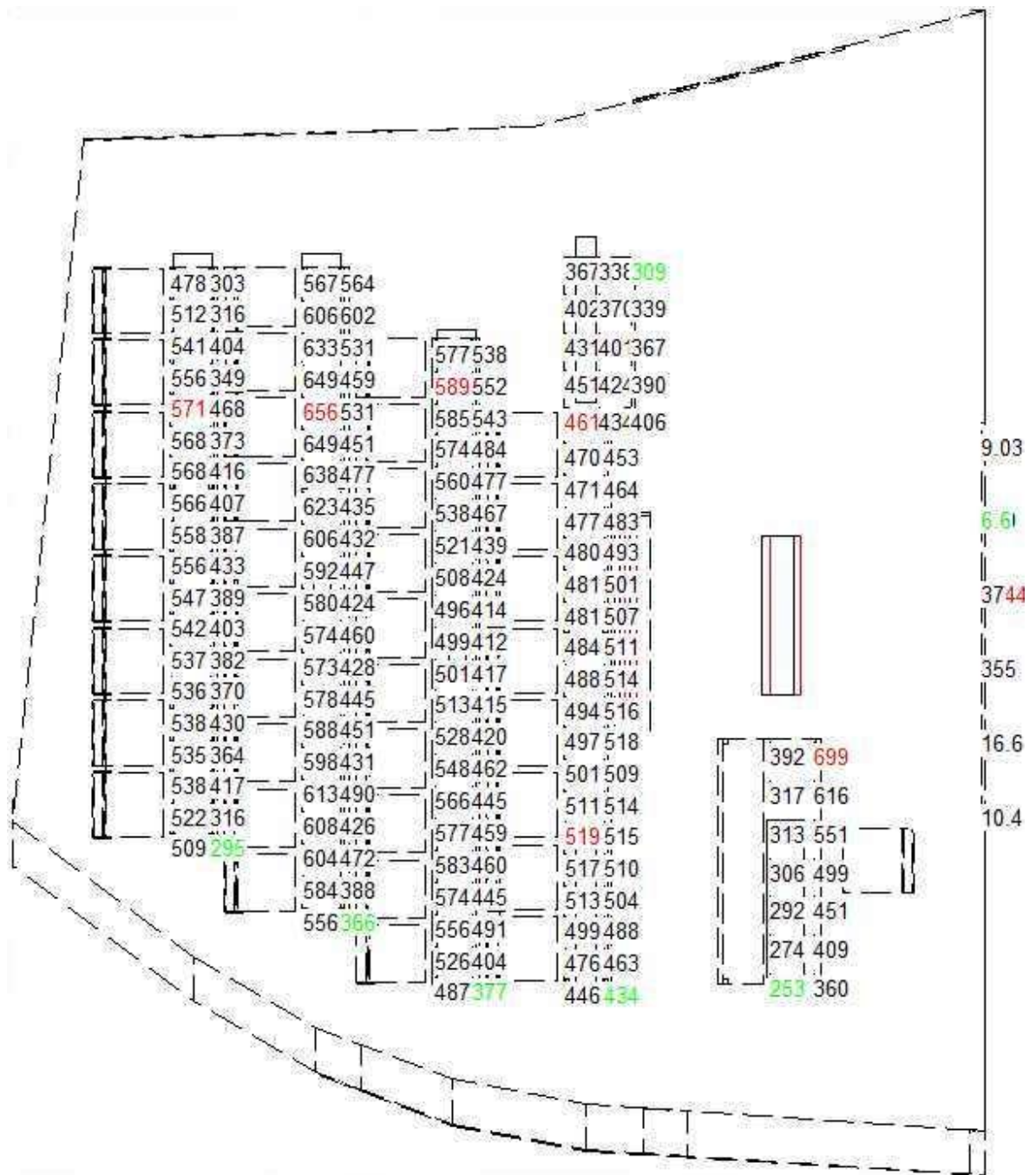
Tab. 44. Inštalované umelé osvetlenie posluchárne B, simulácia 1

	<i>Svietidlo</i>	<i>Svetelný zdroj</i>	<i>Svietidlo</i>	<i>Svetelný zdroj</i>
<i>Umiestnenie</i>	Po obvode miestnosti		Predný rad	
<i>Množstvo</i>	9	18	2	2
<i>Výrobca</i>	Sylvania	OSRAM	ZUMTOBEL STAFF	OSRAM
<i>Typ</i>	52056	L 36W/840 G13	D21999u8.ltd	EQ 54W/840 G5
<i>Názov</i>	SYRLEC ERW 236 EVG	LUMILUX T8 studená biela	CLARIS-II 1/54 T16 § 70mm Zel- lenraster	LUMILUX T5 HO studená biela
<i>Krytie</i>	IP0	-	IP0	-
<i>Zdroj [n x W]</i>	2x36	-	1x54	-
<i>Príkion [W]</i>	-	36	-	54
<i>Účinnosť [%]</i>	58	-	90	-
<i>Svetelný tok [lm]</i>	-	3350	-	4450
<i>Životnosť [hod.]</i>	-	10000	-	10000
<i>R<sub>a</sub> [-]</i>	-	80	-	80
<i>Rozmery [mm]</i>	1230x300x100	1200x26	1280x150x50	1149x26

Tab. 45. Inštalované umelé osvetlenie posluchárne B, simulácia 1

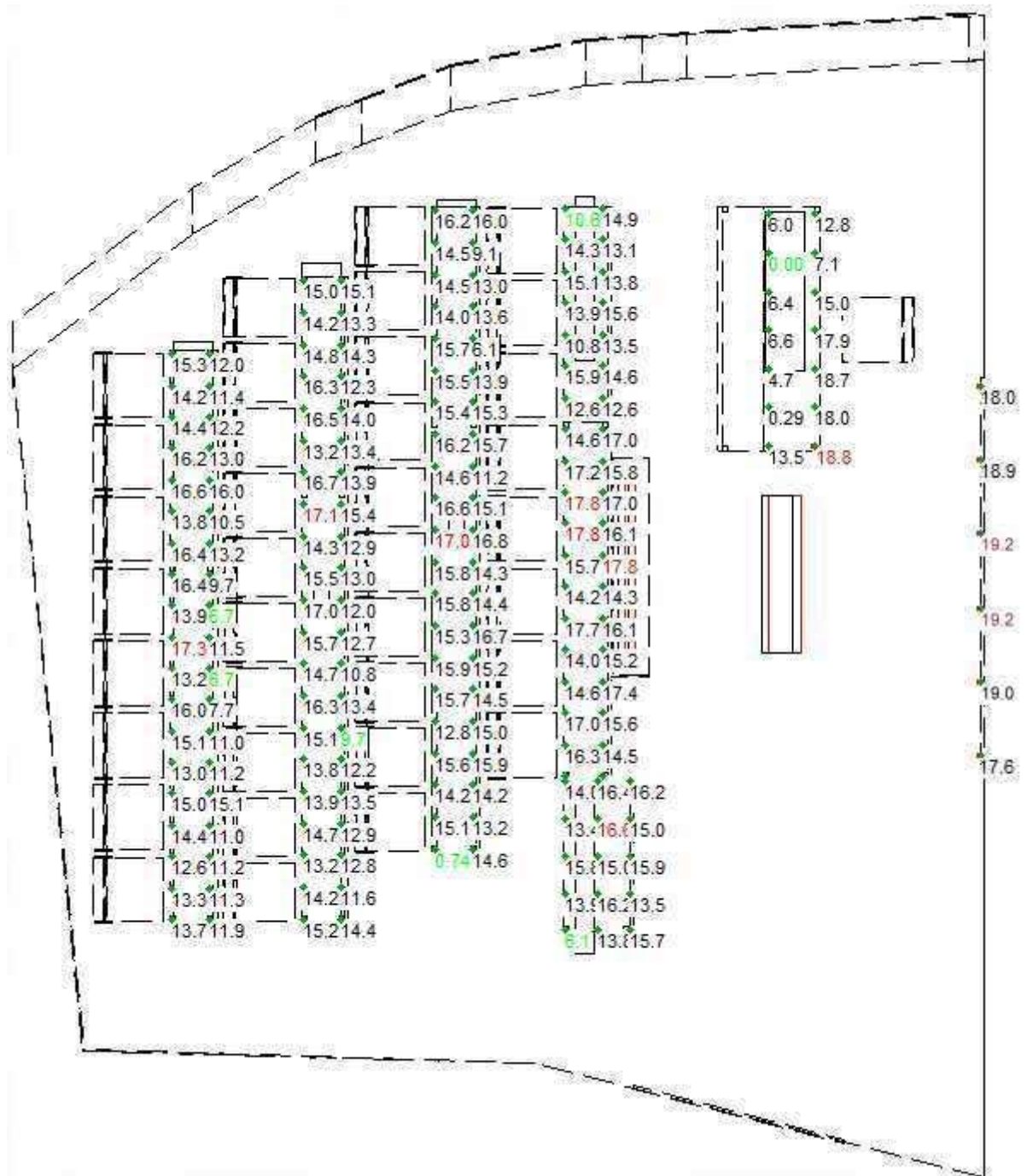
	<i>Svietidlo</i>	<i>Svetelný zdroj</i>	<i>Svietidlo</i>	<i>Svetelný zdroj</i>
<i>Umiestnenie</i>	Stred miestnosti		Smerom na tabuľu	
<i>Množstvo</i>	2	2	1	2
<i>Výrobca</i>	OSTECH TRE CI LUCE	OSRAM	Philips Lig- hting Praha	Philips Lig- hting Praha
<i>Typ</i>	A566	DT 18W/830 GX24d-2	TPS762_280 HO PC-MLO	TL5 80W HO/830 G5
<i>Názov</i>	KO-NO LIGHT 22 PAR.18W FSQ GX24d-2	OSRAM DULUX T PLUS teplá biela	ND 2xTL5- 80W_830 HF.eul	MASTER TL5 HO Super 80
<i>Krytie</i>	IP0	-	IP0	-
<i>Zdroj [n x W]</i>	1x18	-	2x80	-
<i>Príkion [W]</i>	-	18	-	80
<i>Účinnosť [%]</i>	77	-	68	-
<i>Svetelný tok [lm]</i>	-	1200	-	6150
<i>Životnosť [hod.]</i>	-	8000	-	15000
<i>R<sub>a</sub> [-]</i>	-	85	-	85
<i>Rozmery [mm]</i>	220x130x120	123x49	1559x266x53	1500x17

Svietidlo smerované na tabuľu má kryt proti zamedzeniu oslnenia.



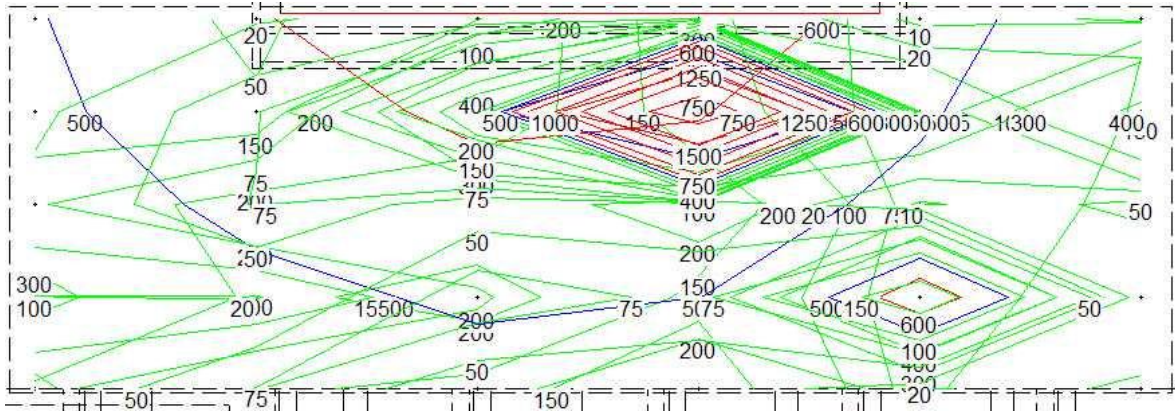
Obr. 64. Osvetlenie v kontrolných bodoch posluchárne B, simulácia 1

Rozloženie svetla v posluchárni je rovnomerné s výnimkou katedry, s maximálnou hodnotou 699 lx nachádzajúcou sa v jej rohu smerom k tabuly. Najmenšie osvetlenie nájdeme v jej ďalšom rohu, tento krát smerom k oknám, 253 lx. Priemer je 464 lx.



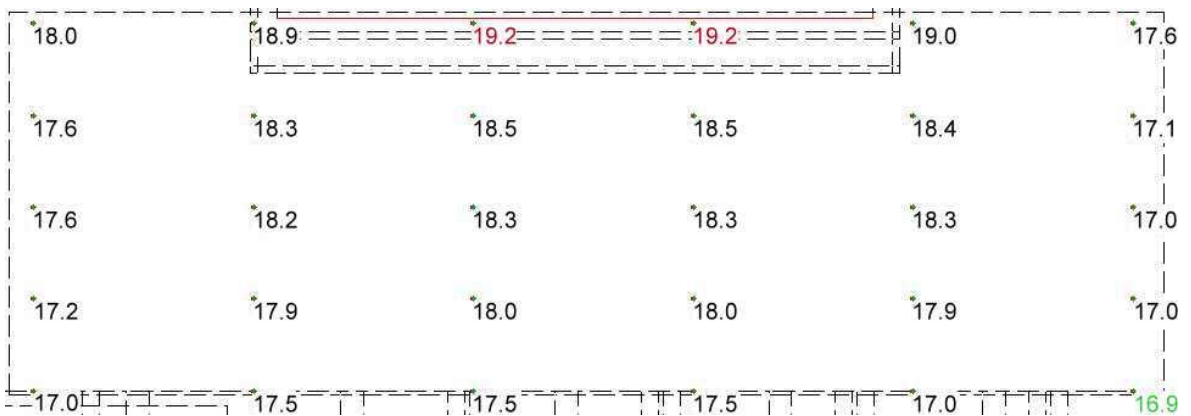
Obr. 65. Oslnenie UGR v kontrolných bodoch posluchárne B, simulácia 1

Oslnenie lavíc dopadlo veľmi dobre s maximálnou hodnotou 18,8 v rohu katedry. Rovnako môžeme vidieť, že na opačnom rohu nezaznamenáme žiadne hodnoty hlavne preto, že táto katedra je zložená z lavice na ktorej je „polička“. Práve tá zabraňuje oslneniu v tejto oblasti. Zvyšok triedy spĺňa tak isto normy, priemer je 13,6.



Obr. 66. Pohľad na izlolínie osvetlenie tabule posluchárne B, simulácia 1

Priemerné osvetlenie tabule činí 491 lx, čím sa výrazne približuje normám. Môžeme tiež vidieť dve oblasti so zvýšeným výskytom svetelného žiarenia.

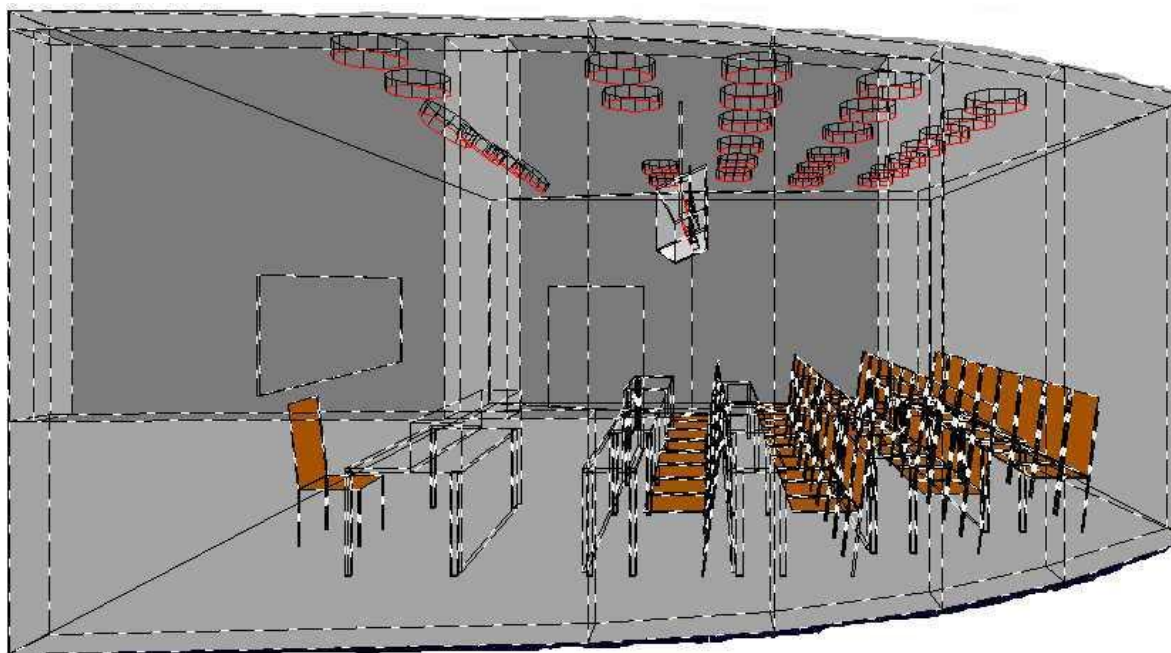


Obr. 67. Pohľad na oslnenie UGR tabule posluchárne B, simulácia 1

Maximálna hodnota oslnenia tabule je 19,2 v jej strede hore, minimálna hodnota 16,9 v pravom dolnom rohu. Normy nespĺňa v troch kontrolných bodoch. Priemer je 17,9. Oproti reálne inštalovanej sústave je to však veľká zmena.



## Simulácia 2

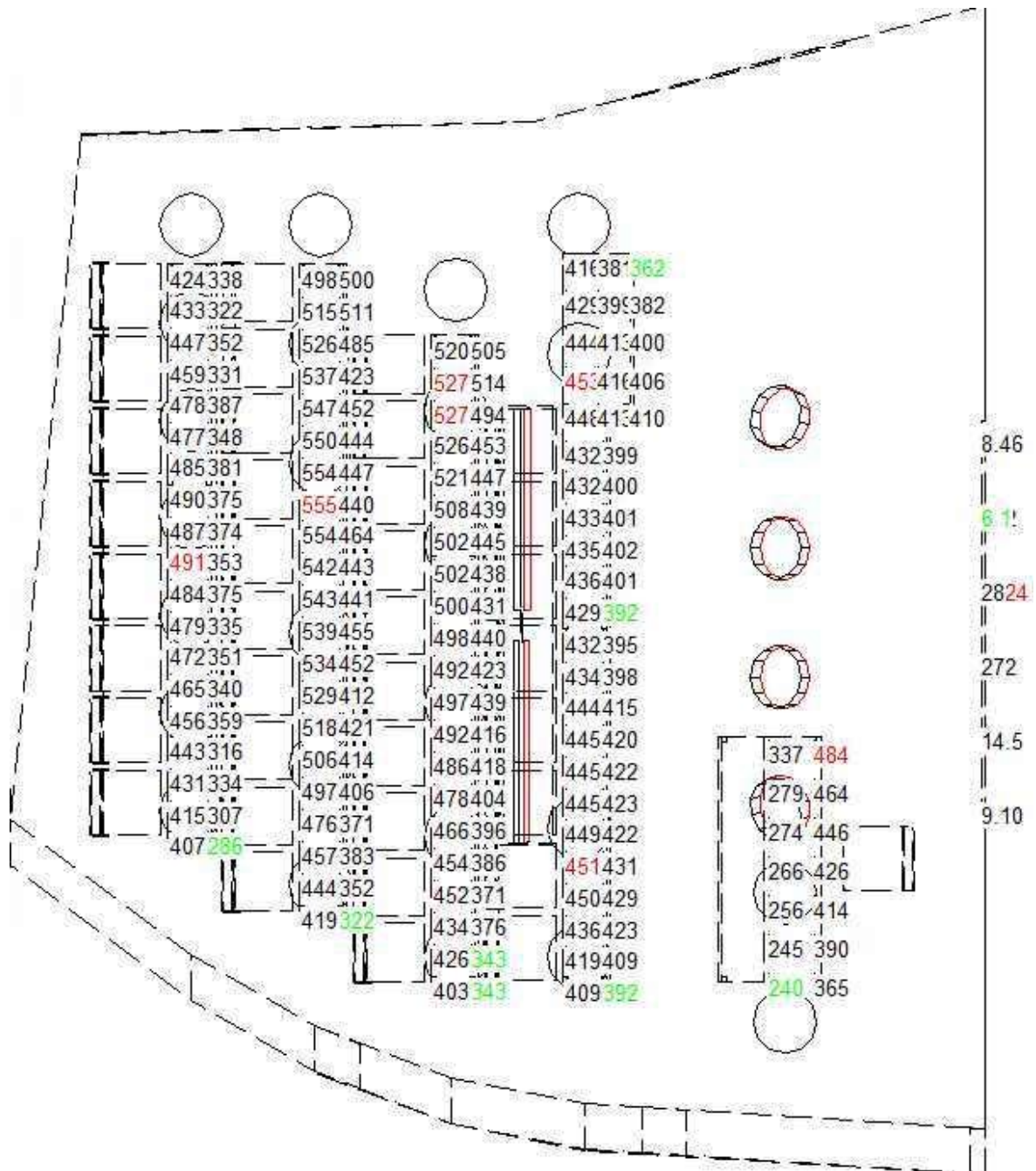


Obr. 68. Poslucháreň B z bočného pohľadu v 3D, simulácia 2

Tab. 46. Inštalované umelé osvetlenie posluchárne B, simulácia 2

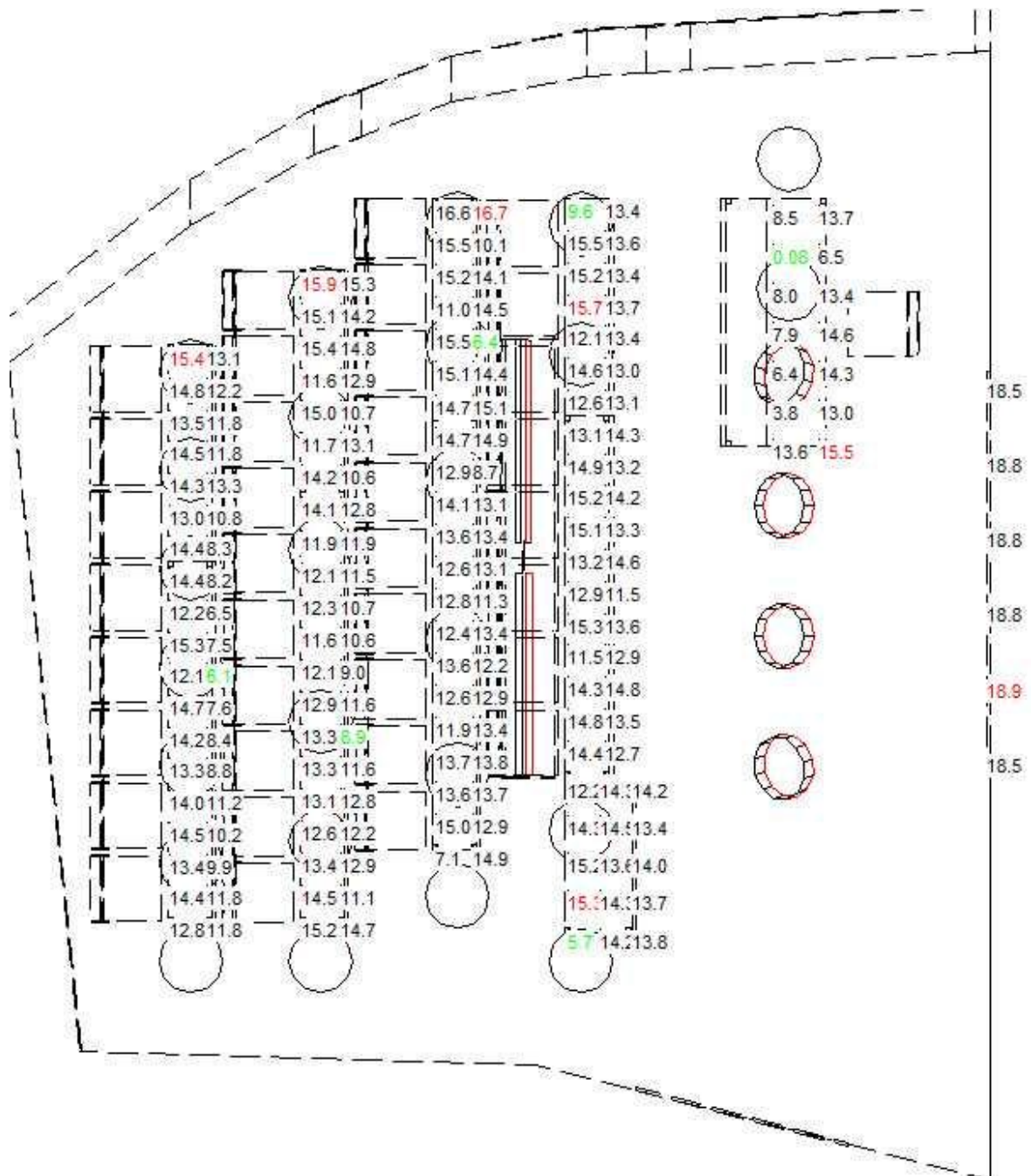
	<i>Svietidlo</i>	<i>Svetelný zdroj</i>	<i>Svietidlo</i>	<i>Svetelný</i>
<i>Umiestnenie</i>	Po celej miestnosti		Smerom na tabuľu	
<i>Množstvo</i>	29	58	4	4
<i>Výrobca</i>	ECO-DESIGN Č. Budějovice	OSRAM	OSRAM	OSRAM
<i>Typ</i>	SY 136	DD 26W/830 G24d-2	72534	L 58W/827 G13
<i>Názov</i>	1212/226-kvg	OSRAM DULUX D teplá biela	OSRAM SOFTLITE 58W	LUMILUX T8 Interna
<i>Krytie</i>	IP20	-	IP0	-
<i>Zdroj [n x W]</i>	2x26		1x58	
<i>Príkon [W]</i>	-	26	-	58
<i>Účinnosť [%]</i>	41	-	53	-
<i>Svetelný tok [lm]</i>		1800		5200
<i>Životnosť [hod.]</i>	-	8000	-	8000
<i>R<sub>a</sub> [-]</i>		85		80
<i>Rozmery [mm]</i>	Fi490x120	172x34	1560x155x82	1500x26

Svietidlo smerované na tabuľu bolo kryté.



Obr. 69. Osvetlenie v kontrolných bodoch posluchárne B, simulácia 2

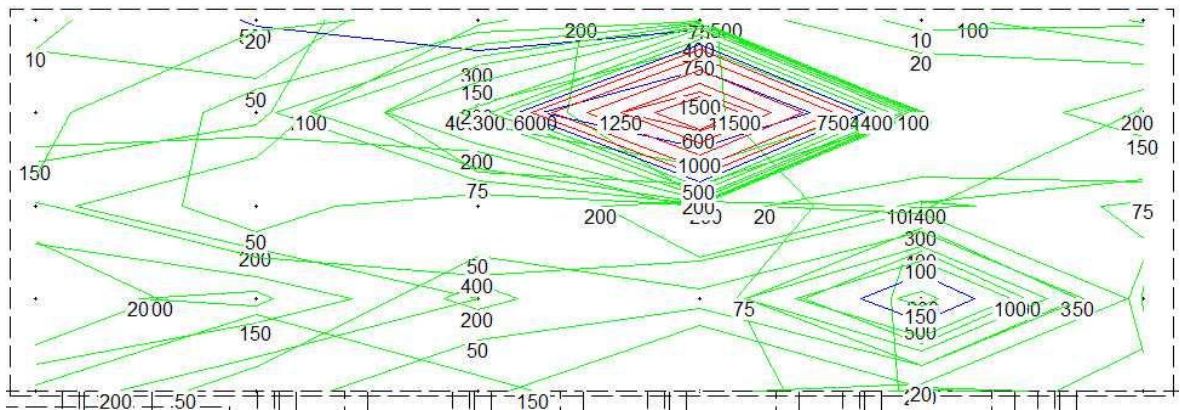
Najväčšie množstvo žiarenia vidíme v treťom rade približne v strede s hodnotou 555 lx. Najmenšie v rohu katedry smerom k oknu s hodnotou 240 lx. Priemer je 419 lx. Rozloženie svetla je konštantné.



Obr. 70. Oslnenie UGR v kontrolných bodoch posluchárne B, simulácia 2

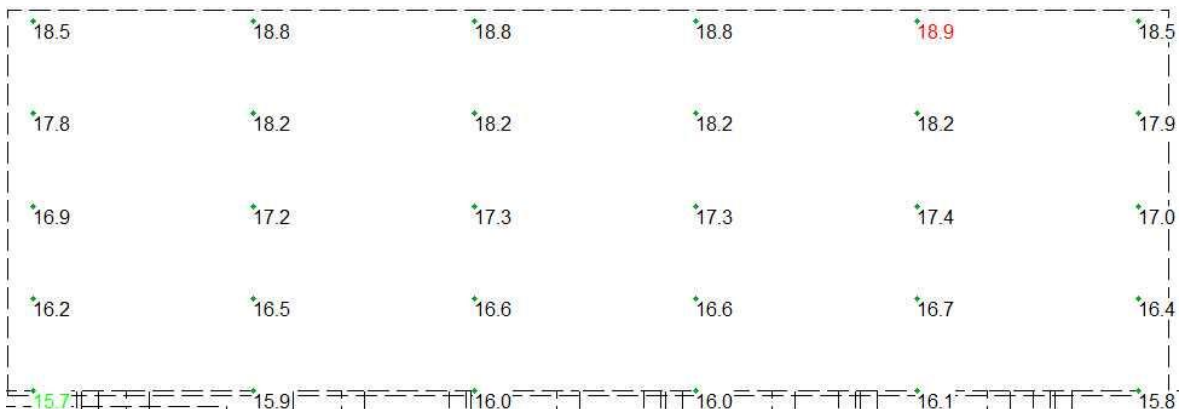
Oslnenie lavíc v tomto prípade nepresiahlo požadovanú normu. Maximum 15,9 nájdeme v treťom rade pri okne, minimum 0,1 pri katedre, pričom opäť dôvodom takto nízkeho oslnenia je kryt resp. polička na nej. Priemer číni 12,5.





Obr. 71. Pohľad na izlolínie osvetlenie tabule posluchárne B, simulácia 2

Priemerné osvetlenie dopadajúce na tabuľu bolo 410 lx.



Obr. 72. Pohľad na oslnenie UGR tabule posluchárne B, simulácia 2

Maximum UGR 18,9 nájdeme v pravom hornom rohu tabule, čo je samozrejme pod normou 19,0. Minimum je naopak v ľavom dolnom rohu s hodnotou 15,7. Priemer 17,3.

**Simulácia 3**



Obr. 73. Vizualizácia posluchárne B z bočného pohľadu, simulácia 3

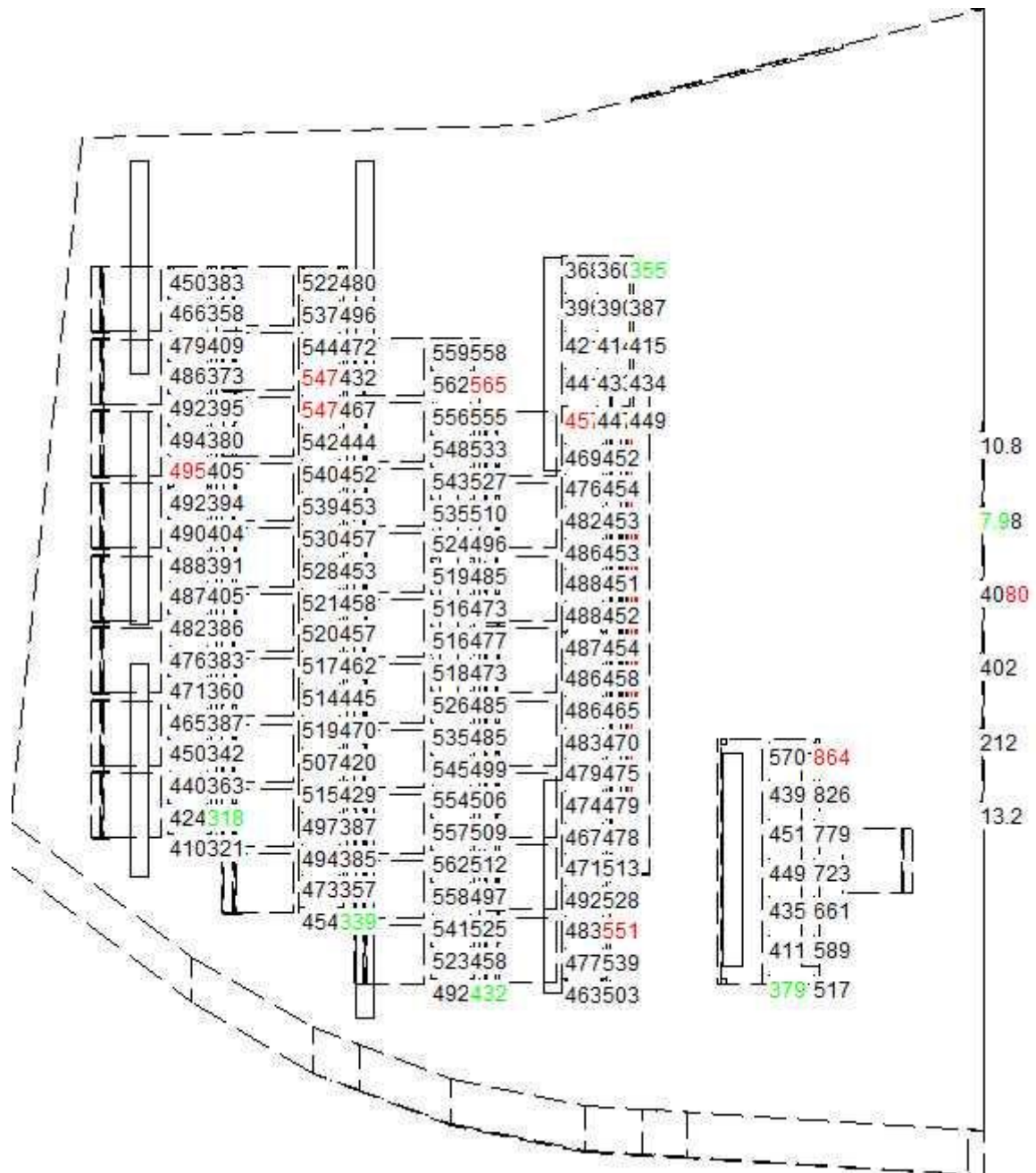
Tab. 47. Inštalované umelé osvetlenie posluchárne B, simulácia 3

	<i>Svietidlo</i>	<i>Svetelný zdroj</i>	<i>Svietidlo</i>	<i>Svetelný zdroj</i>
<i>Umiestnenie</i>	Po celej miestnosti		Smerom na tabuľu	
<i>Množstvo</i>	10	10	1	1
<i>Výrobca</i>	Inge Opava	OSRAM	Regiolux	OSRAM
<i>Typ</i>	912180a9320	FQ 80W/840 G5	1865/158.	L 58W/840 G13
<i>Názov</i>	EPA T5 1x80, mr.93	LUMILUX T5 HO studená biela	SPT+SPGS 1/58	LUMILUX T8 studená biela
<i>Krytie</i>	IP20	-	IP0	-
<i>Zdroj [n x W]</i>	1x80	-	1x58	-
<i>Príkon [W]</i>	-	80	-	58
<i>Účinnosť [%]</i>	52	-	95	-
<i>Svetelný tok [lm]</i>	-	6150	-	5200
<i>Životnosť [hod.]</i>	-	10000	-	10000
<i>R<sub>a</sub> [-]</i>	-	80	-	80
<i>Rozmery [mm]</i>	1650x140x70	1449x16	1535x70x120	1500x26

Tab. 48. Inštalované umelé osvetlenie posluchárne B, simulácia 3

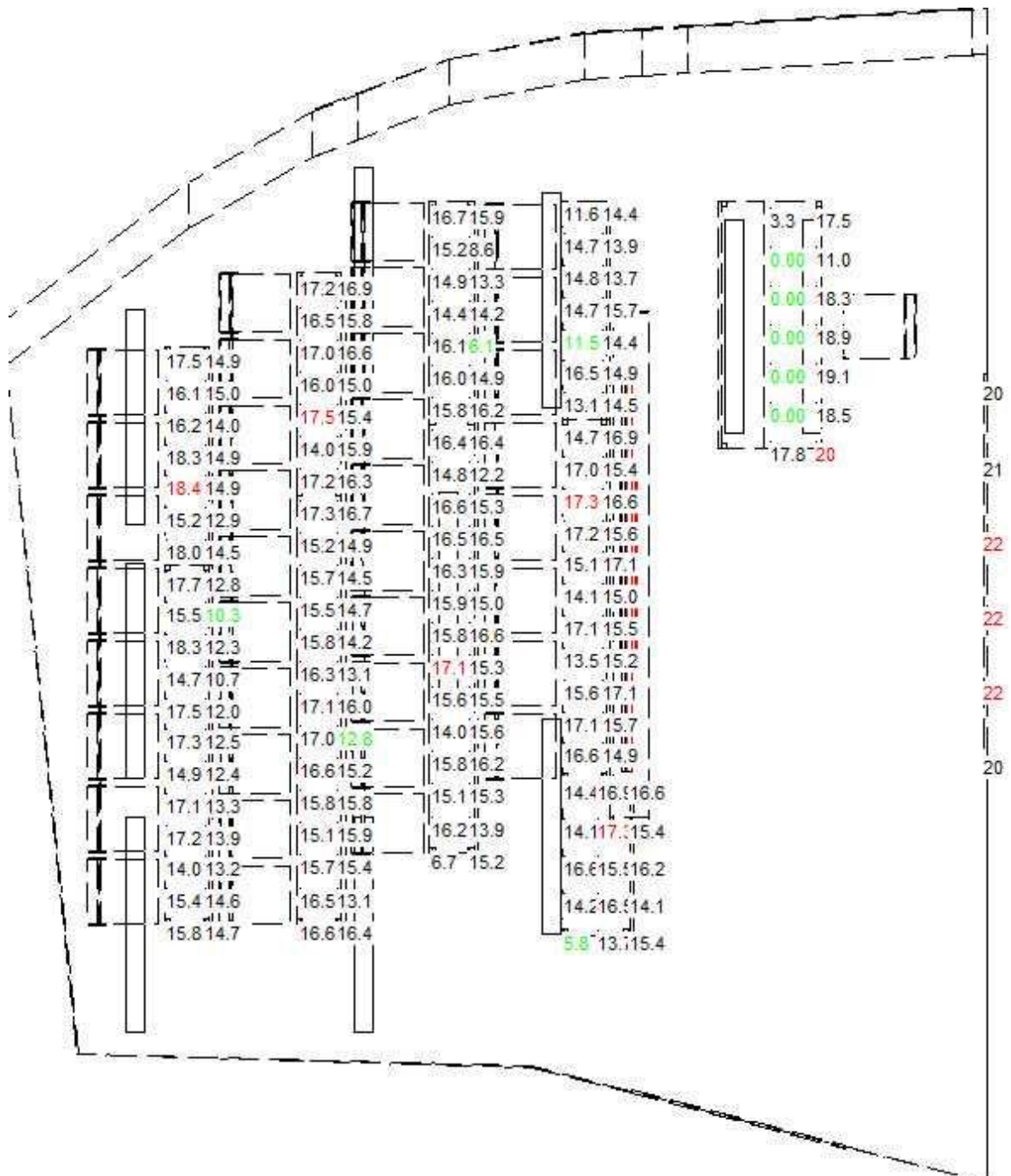
	<i>Svietidlo</i>	<i>Svetelný zdroj</i>
<i>Umiestnenie</i>	Smerom na tabuľu	
<i>Množstvo</i>	1	4
<i>Výrobca</i>	ZUMTOBEL STAFF	OSRAM
<i>Typ</i>	D22000v4.ltd	FH 35W/840 G5
<i>Názov</i>	CLARIS-II 2x2/35 T16 § 70mm Zellenraster	LUMILUX T5 HE studená biela
<i>Krytie</i>	IP0	-
<i>Zdroj [n x W]</i>	4x35	-
<i>Príkon [W]</i>	-	35
<i>Účinnosť [%]</i>	92	-
<i>Svetelný tok [lm]</i>	-	3300
<i>Životnosť [hod.]</i>	-	10000
<i>R<sub>a</sub> [-]</i>	-	80
<i>Rozmery [mm]</i>	3080x150x50	1449x16

Umelé osvetlenie smerované na tabuľu má namontovaný ochranný kryt proti oslneniu.



Obr. 74. Osvetlenie v kontrolných bodoch posluchárne B, simulácia 3

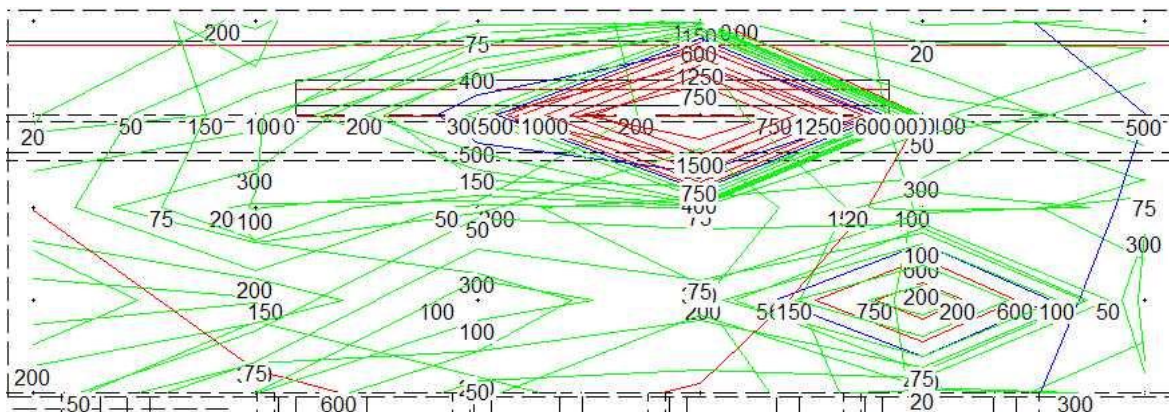
Maximum osvetlenia 864 lx nájdeme v rohu katedry smerom od tabule, minimum 318 lx v zadnom rade pri stene. Rozloženie svetla je veľmi dobré s priemerom 482 lx.



Obr. 75. Oslnenie UGR v kontrolných bodoch posluchárne B, simulácia 3

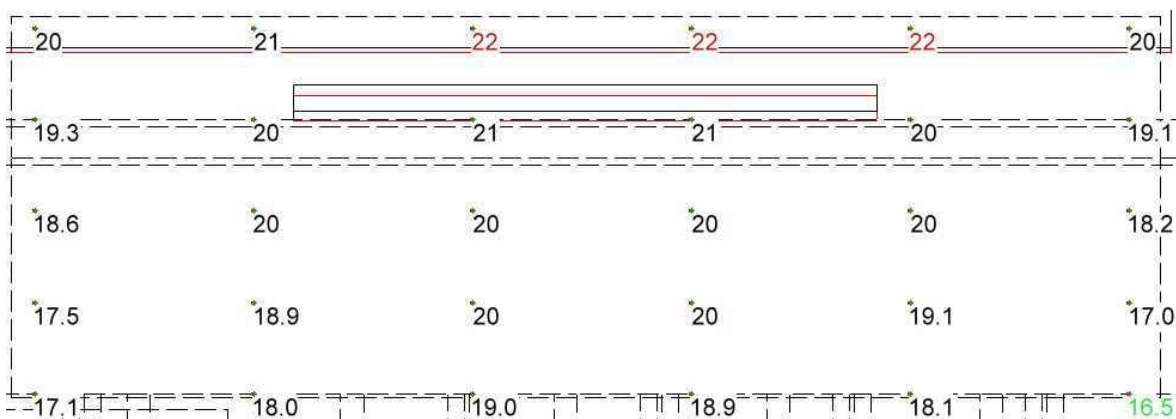
Maximum oslnenia 20,1 vidíme v rohu katedry. Jedná sa zrejme od odraz svetla od tabule, kde je oslnenie pomerne vysoké. V ostatných častiach miestnosti oslnenie spĺňa normy. Paradox je aj ten, že zároveň na katedre nenájdeme žiadne UGR kvôli poličke na nej. Priemerná hodnota UGR bola 14,4.





Obr. 76. Pohľad na izlolínie osvetlenie tabule posluchárne B, simulácia 3

Priemerné osvetlenie tabule činí 594 lx, čo je v tomto prípade mierne zvýšené.



Obr. 77. Pohľad na oslnenie UGR tabule posluchárne B, simulácia 3

Maximum oslnenia 22,1 môžeme zbadáť v hornej časti tabule, minimum 16,5 v pravom dolnom rohu. Priemer je 19,5. Normy teda nespĺňa a je pomerne vysoké.

### Porovnanie simulácií

Tab. 49. Porovnanie výsledkov simulácií posluchárne B

Variant	$E_{max}$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$\bar{E}$ [lx]	$UGR_{max}$ [-]	$UGR_{min}$ [-]	$\bar{UGR}$ [-]	$P_c$ [W]
<b>Reálny stav</b>	679	191	518	19,5	4,6	16,7	1052
Tabuľa	-	-	243	25,1	22,9	24,3	
<b>Simulácia 1</b>	699	253	464	18,8	0,0	13,6	952
Tabuľa	-	-	491	19,2	16,9	17,9	
<b>Simulácia 2</b>	555	240	419	15,9	0,1	12,5	1740
Tabuľa	-	-	410	18,9	15,7	17,3	
<b>Simulácia 3</b>	864	318	482	20,1	0,0	14,4	998
Tabuľa	-	-	594	22,1	16,5	19,5	



(Pozn.: Lavice a katedra:  $\bar{E}_m = 500 \text{ lx}$ ,  $UGR_{norma} = 19$ , tabuľa:  $\bar{E}_m = 500 \text{ lx}$ ,  $UGR_{norma} = 19$ . Pod pojmom reálny stav sa myslí reálne inštalovaná svetelná sústava).

Reálna svetelná sústava dosiahla, čo sa normovanej udržovanej osvetlenosti týka, najlepšiu hodnotu, 518 lx. Rozloženie svetla je tak isto vhodné. Horšie však dopadlo UGR, kde prekračuje normu o 0,5.

Najbližšie k udržovanej osvetlenosti mala posledná simulácia, ktorá má ale veľmi vysokú hodnotu osvetlenia v rohu katedry, kde dochádza k veľkému odrazu svetla od tabule. Vďaka tomu je na tomto mieste oslnenie 20,1. V ostatných častiach miestnosti sú hodnoty UGR pod normovanou hladinou. Druhý variant má najnižšie množstvo osvetlenia aj oslnenia.

Čo sa osvetlenia tabule týka, reálne inštalovaná sústava absolútne nezodpovedá normám. Z tohto hľadiska najlepšie dopadla prvá simulácia. Za ňou by mohol nasledovať posledný variant. Tu je ale diskutabilné, či hodnota 594 lx nie je už príliš vysoká.

Navrhnuť svetlotechnický projekt tak, aby nedochádzalo k oslneniu od tabule je pomerne náročné. Nakoniec však jedine simulácia 2 dopadla podľa očakávaní a teda pod hodnotu 19,0. Ostatné varianty normu nespĺňali. Prvú simuláciu však netreba úplne zatracovať, pretože nespĺňala hodnoty len v troch kontrolných bodoch, čo sa dá vyriešiť iným naklonením svietidiel, prípadne zmenou ich svetelného toku za pomoci zmeny elektrickej energie do nich pretekajúcej. Tak isto existujú svietidlá s inými krivkami svietivosti. Najhorší stav sme zaznamenali pri reálne inštalovanej sústave a je namieste hovoriť o nesprávne navrhnutom umelom osvetlení už pri projektovaní budovy. V konečnom dôsledku sú teda všetky simulácie hlavne z hľadiska osvetlenia a oslnenia tabule lepšie, aj napriek tomu, že niekde nespĺňajú normu. Vo viacerých prípadoch sa k nej však veľmi približujú. Oko študenta s určitosťou menej trpí, ako pri reálnych podmienkach.

### 11.3 Zhodnotenie práce s programom

Ako už bolo spomenuté výhodou programu je prehľadné menu a jeho ľahké ovládanie. Inžinier sa dokáže behom pár dní naučiť všetky jeho funkcie, pričom bližší postup práce je popísaný v bode 11.2. *Vlastná simulácia v programe Wils 6.3*. Pre náročnejších užívateľov však nemusí z hľadiska jeho obmedzených funkcií postačovať.

Najväčšou nevýhodou programu je nemožnosť tvorby okrúhlych prekážok resp. stien. Prejavilo sa to hlavne pri simulácii posluchárne B. Riešilo sa to spájaním lineárnych blokov v určitých uhloch. S tým bol spojený problém s dĺžkou steny pri jej posunutí v spomínanom uhle. Riešením môže byť spolupráca s Auto CADom.

Problémom bolo aj natáčanie svetiel do požadovaného uhlu v osi z. Išli natočiť len do 90°, zatiaľ čo v ostatných osiach (x,y) aj viac ako 360°.

Tak isto bolo veľmi nepraktické prepínanie ôs svietidiel, pretože niekedy pri kliknutí na inú ikonu ako na vybranú svetelnú sústavu zmizli.

Menšie chyby boli tiež v označení svietidiel a svetelných zdrojov v databáze. Tiež by bolo vhodnejšie označovať podľa programu „výkon“ (svetelný) vo W ako „príkon“ vo W, aby nedošlo k prípadnému omylu, pretože pod pojmom výkon väčšinou myslíme merný výkon v lm/W.

Chýbala tiež možnosť určiť lesk a štruktúru povrchu. Výsledky by boli určite presnejšie.

Nakoniec je dobré povedať, že zosúladiť osvetlenie tabule s jej oslnením bolo veľmi náročné.

Celkovo však simulačný program s intuitívnym užívateľským rozhraním pôsobí príjemne.

## ZÁVER

V živote človeka je zo všetkých zmyslov najdôležitejší zrak. Každodenná činnosť prináša potrebu konať zrakové úlohy (či už pri čítaní, používaní PC, pri práci doma alebo v robote a pod.). Tejto skutočnosti si je svojim spôsobom každý vedomý, napriek tomu pri návrhu, či stavbe novej budovy, alebo umiestnení pracovného miesta, táto problematika nefiguruje na prvých priečkach. To sa prejavilo aj pri meraniach a hodnoteniach osvetlenia v budove U5, Univerzity Tomáša Baťu.

Z reálnych meraní osvetlenia miestností vyplynula nedostatočná starostlivosť o funkciu a údržbu inštalovaných svietidiel. Napr. v učebniach bolo zbytočne vysoké a v posluchárni B dokonca niektoré svetelné zdroje nefungovali. Rovnako vyšlo najavo, že v podstate vo všetkých miestnostiach, kde prebieha počas roka výuka, nie je osvetlenie rovnomerne rozložené. Najvyššie hodnoty boli v jej strede práve preto, že sú vo všetkých svietidlách zabudované rovnaké svetelné zdroje. Riešenie problému je jednoduché a to výmena týchto zdrojov smerom k stredu za slabšie, prípadne inštalovanie umelého osvetlenia s možnosťou kontroly svetelného toku (prechádzajúceho elektrického prúdu).

Najviac zarážajúci je fakt, že na tabuľu neboli, dá sa povedať, v ani v jednom prípade smerované svietidlá, čo v konečnom dôsledku znamenalo jej nedostatočné osvetlenie. Aj preto nespĺňala normy 500 lx. Riešením je inštalácia doplnkového osvetlenia smerom na tabuľu. Treba však dbať na to, aby nedochádzalo k oslneniu študentov od svietidiel, napr. pomocou zabudovaného krytu.

Práve pre spomínané skutočnosti vznikol simulačný program Wils 6.3, v ktorom dokáže elektrotechnik alebo inžinier veľmi jednoducho simulovať rozloženie svetla v rámci zadaného stavebného projektu.

Najnáročnejšie časť simulácie bola práve spomínané zosúladenie osvetlenia a oslnenia tabule v učebni a posluchárni B. V niektorých prípadoch sa podarilo splniť normy, v iných sa k nim hodnoty približovali. V konečnom dôsledku ale každý navrhnutý variant zlepšil svetelné podmienky (oproti reálne inštalovanej sústave), čo môže prospieť zdraviu a pozornosti študentov. Z týchto skutočností môže vstať otázka návrhu špeciálneho materiálu pre tabule, ktorý by zaručoval čo najmenšie UGR a zároveň spĺňal jej funkčné a kvalitatívne vlastnosti.

**ZOZNAM POUŽITEJ LITERATURY**

- [1] HORŇÁK, Pavol. Umelé osvetlenie. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1976, 177 s. ISBN neuvedené, MDT 628.92:725.
- [2] PLCH, Jiří. Osvětlení neosvětlitelných prostor. 1. vyd. Brno: ERA group, 2004, 129 s. ISBN 80-865-1782-9.
- [3] HORŇÁK, Pavol. Svetelná technika. 1. vyd. Bratislava: ALFA, 1989, 247 s. ISBN 80-050-0122-3.
- [4] LAPČÍK, Lubomír. Fotochemické procesy. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1989, 418 s. ISBN 80-050-0049-9.
- [5] KRIŽAN, Ján. Maturita z biológie. 1. vyd. Bratislava: Príroda, 2004, 280 s. ISBN 80-07-01145-5.
- [6] KRTOLOVÁ, Alena, Jiří MATOUŠEK a Ladislav MONZER. Světlo a osvětlování. 1. vyd. Praha: Avicenum, 1981, 272 s. ISBN neuvedené.
- [7] MONZER, Ladislav. Venkovní osvětlení architektur. 1. vyd. Praha: SNTL, 1980, 172 s. ISBN neuvedené, DT 628.874.6.064:725.1. DT 628.971.
- [8] BYSTRICKÝ, Václav a Jan KAŇKA. Osvětlení. Vyd. 1. Praha: ČVUT, 1992, 76 s. ISBN 80-010-0832-0.
- [9] BAXANT, Petr a Jan KAŇKA. Elektrické teplo a světlo. 1. vyd. Brno: CERM, 2004, 190 s. ISBN 80-214-2761-2.
- [10] CHALUPSKÝ, Ladislav. Světlo a svítidla. 1. vyd. Praha: SNTL, 1981, 168 s. ISBN neuvedené, DT 628.94.
- [11] HORŇÁK, Pavol, Vladimír Viktorovič TREMBAČ a Julián Borisovič AJZENBERG. Svietidlá a svetelné zdroje. 1. vyd. Bratislava: ALFA, 1983, 408 s. ISBN neuvedené, MDT 621.3.032.3. MDT 628.94.
- [12] PONÍŽIL, Petr. Elektromagnetické vlny [online]. Zlín: UTB ve Zlíně, Fakulta technologická, 3.5.2009 [cit. 2012-03-15]. Dostupné z: [http://ufmi.ft.utb.cz/texty/fyzika\\_2/F2\\_05.pdf](http://ufmi.ft.utb.cz/texty/fyzika_2/F2_05.pdf)
- [13] HABEL, Jiří. Základy světelné techniky (1) [online]. Praha: ČVUT v Praze, Elektrotechnická fakulta, 2008/4 [cit. 2012-03-15]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/37589.pdf>

- [14] VAŠINA, Martin. Měření osvětlení [online]. Zlín: UTB ve Zlíně, Fakulta technologická, 3.5.2009 [cit. 2012-03-15]. Dostupné z: [http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env\\_fyzika/EF\\_lab\\_04.pdf](http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_lab_04.pdf)
- [15] NIESIG, Petr. Nejdůležitější zásady osvětlování [online]. Liberec: TUL, Fakulta mechatroniky IMS, [2005-2010] [cit. 2012-03-15]. Dostupné z: [http://www.mti.tul.cz/files/eloA/12-pr\\_EST\\_zasady\\_Vnitri.pdf](http://www.mti.tul.cz/files/eloA/12-pr_EST_zasady_Vnitri.pdf)
- [16] MARCIŠOVÁ, Denisa. Zmyslové orgány člověka [online]. © 2003 - 2011 [cit. 2012-03-15]. Dostupné z: <http://www.bioweb.genezis.eu/print.php?cat=6&file=zmyslova>
- [17] HABEL, Jiří. Základy světelné techniky (2): Zrak a vidění [online]. Praha: ČVUT v Praze, Elektrotechnická fakulta, 2008/6 [cit. 2012-03-15]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/38297.pdf>
- [18] VAŠINA, Martin. Úvod do osvětlení, rozdělení osvětlení [online]. Zlín: UTB ve Zlíně, Fakulta technologická, 3.5.2009 [cit. 2012-03-15]. Dostupné z: [http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env\\_fyzika/EF\\_07.pdf](http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_07.pdf)
- [19] PŘIBÁŇOVÁ, Henrietta a Adriana LAJČÍKOVÁ. Umělé osvětlení vnitřního prostředí [online]. Praha: Státní zdravotní ústav Praha, 3.1.2003 [cit. 2012-03-15]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1303-umele-osvetleni-vnitriho-prostredi>
- [20] VAŠINA, Martin. Denní a sdružené osvětlení [online]. Zlín: UTB ve Zlíně, Fakulta technologická, 3.5.2009 [cit. 2012-03-15]. Dostupné z: [http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env\\_fyzika/EF\\_08.pdf](http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_08.pdf)
- [21] RUBÁŠ, Pavel. Denní osvětlení a proslunění bytových domů [online]. Praha: Technický a zkušební ústav stavební Praha - laboratoř fyzikálních faktorů, 5.3.2007 [cit. 2012-03-15]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3945-denni-osvetleni-a-prosluneni-bytovych-domu>
- [22] VAŠINA, Martin. Umělé osvětlení [online]. Zlín: UTB ve Zlíně, Fakulta technologická, 3.5.2009 [cit. 2012-03-15]. Dostupné z: [http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env\\_fyzika/EF\\_09.pdf](http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_09.pdf)
- [23] MELČ, Antonín. Světelné zdroje pro interiéry aneb jak nahradit klasickou žárovku [online]. Praha: Philips ČR, 2009/1 [cit. 2012-03-15]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/38557.pdf>

- [24] STANĚK, Pavel. Wils 6.3 [online]. Zlín: Astra 92, 2005-2010 [cit. 2012-03-15]. Dostupné z: <http://www.astra92.cz/Software/Produkty/Wils/tabid/100/Default.aspx>
- [25] PONÍŽIL, Petr. Úvod do zpracování měření [online]. Zlín: UTB ve Zlíně, Fakulta technologická, [1999-2001] [cit. 2012-04-02]. Dostupné z: <http://fyzika.ft.utb.cz/ucebni/fyzika2/lab/stat.pdf>
- [26] Digitální luxmetr MS-1300. CONRAD ELECTRONIC ČESKÁ REPUBLIKA. Voltcraft [online]. © 2008 - 2010 [cit. 2012-04-05]. Dostupné z: <http://www.e-voltcraft.cz/digitalni-luxmetr-ms-1300.k101148#>
- [27] ČSN EN 12464-1. Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - Část 1: Vnitřní pracovní prostory. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1.3.2012.
- [28] ČSN EN 12464-2. Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - Část 2: Venkovní pracovní prostory. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1.7.2008.
- [29] ČSN EN 12193. Světlo a osvětlení - Osvětlení sportovišť. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1.8.2008.
- [30] ČSN CEN/TR 13201-1. Osvětlení pozemních komunikací - Část 1: Výběr tříd osvětlení. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1.3.2007.
- [31] ČSN EN 13201-2. Osvětlení pozemních komunikací - Část 2: Požadavky. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1.5.2005.
- [32] ČSN EN 13201-3. Osvětlení pozemních komunikací - Část 3: Výpočet. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1.5.2005.
- [33] ČSN EN 13201-4. Osvětlení pozemních komunikací - Část 4: Metody měření. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1.5.2005.
- [34] ČSN EN 1838. Světlo a osvětlení - Nouzové osvětlení. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1.9.2000.
- [35] ČSN 36 0011-1. Měření osvětlení vnitřních prostorů - Část 1: Základní ustanovení. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1.3.2006.
- [36] PODOLÁK, Jaroslav. Osvětlení jako environmentální faktor životního prostředí. Zlín, 2010. Bakalárska práca. UTB ve Zlíně.

## ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

$A$	$[m^2]$	plocha
$c$	$[m.s^{-1}]$	rýchlosť svetla
$C$	$[-]$	kontrast
$D$	$[%]$	činiteľ dennej osvetlenosti
$E$	$[J]$	energia
$E$	$[lx]$	intenzita osvetlenia (osvetlenosť)
$E_e$	$[W.m^{-2}]$	intenzita ožiarovania
$f$	$[Hz]$	frekvencia
$h$	$[J.s]$	Planckova konštanta
$h$	$[m]$	výška
$H$	$[lx.s]$	osvit
$H_e$	$[J.m^{-2}]$	dávka žiarenia
$I$	$[cd]$	svietivosť
$I_e$	$[W.sr^{-1}]$	žiarivosť
$l$	$[m]$	vzdialenosť
$L$	$[cd.m^{-2}]$	jas
$L_e$	$[W.sr^{-1}.m^{-2}]$	žiara
$M$	$[lm.m^{-2}]$	svetlenie
$M_e$	$[W.m^{-2}]$	intenzita vyžarovania
$p$	$[m]$	činiteľ polohy
$P$	$[W]$	príkion
$Q$	$[lm.s]$	svetelné množstvo
$Q_e$	$[J]$	množstvo žiarenia (množstvo žiarivej energie)
$r$	$[m]$	polomer
$r$	$[-]$	rovnosť denného osvetlenia
$R_a$	$[-]$	index podania farieb
$t$	$[s]$	čas
$T$	$[K]$	teplota
$UGR$	$[-]$	oslzenie
$z$	$[-]$	udržiavací činiteľ
$\alpha$	$[-]$	činiteľ pohltienia
$\eta$	$[-]$	činiteľ využitia osvetľovacej sústavy
$\eta_v$	$[lm.W^{-1}]$	merný výkon
$\lambda$	$[m]$	vlnová dĺžka
$\rho$	$[-]$	činiteľ odrazu
$\tau$	$[-]$	činiteľ priestupu
$\phi$	$[lm]$	svetelný tok

---

$\phi_e$	[W]	žiarivý tok
$\Omega$	[sr]	priestorový uhol



## ZOZNAM OBRÁZKOV

<i>Obr. 1. Spektrum viditeľného žiarenia [12], [13] .....</i>	13
<i>Obr. 2. Spektrum elektromagnetického žiarenia [13] .....</i>	14
<i>Obr. 3. Oko [16] .....</i>	18
<i>Obr. 4. Geometrické usporiadanie osľňujúceho zdroja [15] .....</i>	21
<i>Obr. 5. Diagram Luckieshe a Gutha [15] .....</i>	22
<i>Obr. 6. Teplota chromatickosti [23] .....</i>	28
<i>Obr. 7. Rozdelenie umelých svetelných zdrojov [11], [22] .....</i>	31
<i>Obr. 8. Krivky svietivosti v polárnych (a) a pravouhlých (b) súradniciach [22] .....</i>	34
<i>Obr. 9. Tvary kriviek svietivosti- koncentrovaná (a), hlboká (b), kosínusová (c), .....</i>	34
<i>Obr. 10. Energetická bilancia šírenia svetla [22] .....</i>	36
<i>Obr. 11. Stanovenie osvetlenosti v bode obecnej roviny <math>\rho</math> [22] .....</i>	44
<i>Obr. 12. Stanovenie osvetlenosti v bode obecnej roviny <math>\rho_0</math>, kolmej na smer <math>I_0</math> [22] .....</i>	45
<i>Obr. 13. Ukázkový príklad simulácie miestnosti v programe Wils 6.3 [24] .....</i>	48
<i>Obr. 14. Digitálny luxmeter Voltcraft MS- 1300 [26] .....</i>	54
<i>Obr. 15. Vizualizácia laboratória z bočného pohľadu, reálna sústava .....</i>	79
<i>Obr. 16. Laboratórium z bočného pohľadu v 3D, reálna sústava .....</i>	79
<i>Obr. 17. Izolínie osvetlenia laboratória bez prekážok .....</i>	81
<i>Obr. 18. Osvetlenie v kontrolných bodoch laboratória bez prekážok .....</i>	81
<i>Obr. 19. Oslnenie UGR v kontrolných bodoch laboratória bez prekážok .....</i>	82
<i>Obr. 20. Izolínie osvetlenia laboratória s prekážkami .....</i>	83
<i>Obr. 21. Osvetlenie v kontrolných bodoch laboratória s prekážkami .....</i>	83
<i>Obr. 22. Oslnenie UGR v kontrolných bodoch laboratória s prekážkami .....</i>	84
<i>Obr. 23. Vizualizácia laboratória s modrými stenami z horného pohľadu .....</i>	85
<i>Obr. 24. Osvetlenie v kontrolných bodoch laboratória s modrými stenami .....</i>	86
<i>Obr. 25. Oslnenie UGR v kontrolných bodoch laboratória s modrými stenami .....</i>	86
<i>Obr. 26. Vizualizácia laboratória z bočného pohľadu s inou svetelnou sústavou .....</i>	87
<i>Obr. 27. Osvetlenie v kontrolných bodoch laboratória s novou svetelnou sústavou .....</i>	88
<i>Obr. 28. Oslnenie UGR v kontrolných bodoch laboratória s novou svetelnou sústavou .....</i>	89
<i>Obr. 29. Laboratórium z bočného pohľadu v 3D, simulácia 1 .....</i>	90
<i>Obr. 30. Osvetlenie v kontrolných bodoch laboratória, simulácia 1 .....</i>	91
<i>Obr. 31. Oslnenie UGR v kontrolných bodoch laboratória, simulácia 1 .....</i>	92

<i>Obr. 32. Vizualizácia laboratória z bočného pohľadu, simulácia 2</i> .....	92
<i>Obr. 33. Osvetlenie v kontrolných bodoch laboratória, simulácia 2</i> .....	93
<i>Obr. 34. Oslnenie UGR v kontrolných bodoch laboratória, simulácia 2</i> .....	94
<i>Obr. 35. Laboratórium z bočného pohľadu v 3D, simulácia 3</i> .....	95
<i>Obr. 36. Osvetlenie v kontrolných bodoch laboratória, simulácia 3</i> .....	96
<i>Obr. 37. Oslnenie UGR v kontrolných bodoch laboratória, simulácia 3</i> .....	96
<i>Obr. 38. Učebňa z bočného pohľadu v 3D, reálna sústava</i> .....	98
<i>Obr. 39. Osvetlenie v kontrolných bodoch učebne, reálna sústava</i> .....	99
<i>Obr. 40. Oslnenie UGR v kontrolných bodoch učebne, reálna sústava</i> .....	100
<i>Obr. 41. Izolínie osvetlenia tabule učebne, reálna sústava</i> .....	100
<i>Obr. 42. Oslnenie UGR v kontrolných bodoch tabule učebne, reálna sústava</i> .....	101
<i>Obr. 43. Učebňa z bočného pohľadu v 3D, simulácia 1</i> .....	101
<i>Obr. 44. Osvetlenie v kontrolných bodoch učebne, simulácia 1</i> .....	103
<i>Obr. 45. Oslnenie UGR v kontrolných bodoch učebne, simulácia 1</i> .....	103
<i>Obr. 46. Pohľad na izlolínie osvetlenie tabule učebne, simulácia 1</i> .....	104
<i>Obr. 47. Pohľad na oslnenie UGR tabule učebne, simulácia 1</i> .....	104
<i>Obr. 48. Učebňa z bočného pohľadu v 3D, zobrazenie svetelných ôs, simulácia 2</i> .....	105
<i>Obr. 49. Osvetlenie v kontrolných bodoch učebne, simulácia 2</i> .....	106
<i>Obr. 50. Oslnenie UGR v kontrolných bodoch učebne, simulácia 2</i> .....	107
<i>Obr. 51. Pohľad na izlolínie osvetlenie tabule učebne, simulácia 2</i> .....	107
<i>Obr. 52. Pohľad na oslnenie UGR tabule učebne, simulácia 2</i> .....	108
<i>Obr. 53. Vizualizácia učebne z bočného pohľadu, simulácia 3</i> .....	108
<i>Obr. 54. Osvetlenie v kontrolných bodoch učebne, simulácia 3</i> .....	109
<i>Obr. 55. Oslnenie UGR v kontrolných bodoch učebne, simulácia 3</i> .....	110
<i>Obr. 56. Pohľad na izlolínie osvetlenie tabule učebne, simulácia 3</i> .....	110
<i>Obr. 57. Pohľad na oslnenie UGR tabule učebne, simulácia 3</i> .....	111
<i>Obr. 58. Poslucháreň B z horného pohľadu v 3D, reálna sústava</i> .....	112
<i>Obr. 59. Osvetlenie v kontrolných bodoch posluchárne B, reálna sústava</i> .....	114
<i>Obr. 60. Oslnenie UGR v kontrolných bodoch posluchárne B, reálna sústava</i> .....	115
<i>Obr. 61. Pohľad na izlolínie osvetlenie tabule posluchárne B, reálna sústava</i> .....	116
<i>Obr. 62. Pohľad na oslnenie UGR tabule posluchárne B, reálna sústava</i> .....	116
<i>Obr. 63. Poslucháreň B z bočného pohľadu v 3D, zobrazenie svetelných ôs, simulácia 1</i> .....	116

---

<i>Obr. 64. Osvetlenie v kontrolných bodoch posluchárne B, simulácia 1</i> .....	118
<i>Obr. 65. Oslnenie UGR v kontrolných bodoch posluchárne B, simulácia 1</i> .....	119
<i>Obr. 66. Pohľad na izlolínie osvetlenie tabule posluchárne B, simulácia 1</i> .....	120
<i>Obr. 67. Pohľad na oslnenie UGR tabule posluchárne B, simulácia 1</i> .....	120
<i>Obr. 68. Poslucháreň B z bočného pohľadu v 3D, simulácia 2</i> .....	121
<i>Obr. 69. Osvetlenie v kontrolných bodoch posluchárne B, simulácia 2</i> .....	122
<i>Obr. 70. Oslnenie UGR v kontrolných bodoch posluchárne B, simulácia 2</i> .....	123
<i>Obr. 71. Pohľad na izlolínie osvetlenie tabule posluchárne B, simulácia 2</i> .....	124
<i>Obr. 72. Pohľad na oslnenie UGR tabule posluchárne B, simulácia 2</i> .....	124
<i>Obr. 73. Vizualizácia posluchárne B z bočného pohľadu, simulácia 3</i> .....	124
<i>Obr. 74. Osvetlenie v kontrolných bodoch posluchárne B, simulácia 3</i> .....	126
<i>Obr. 75. Oslnenie UGR v kontrolných bodoch posluchárne B, simulácia 3</i> .....	127
<i>Obr. 76. Pohľad na izlolínie osvetlenie tabule posluchárne B, simulácia 3</i> .....	128
<i>Obr. 77. Pohľad na oslnenie UGR tabule posluchárne B, simulácia 3</i> .....	128

**ZOZNAM TABULIEK**

<i>Tab. 1. Prijateľné hladiny osvetlenosti v určitom veku človeka [15]</i> .....	18
<i>Tab. 2. Kontrast a jeho objektívne a subjektívne hodnotenie [15]</i> .....	20
<i>Tab. 3. Prípustné hodnoty indexu oslnenia podľa UGR vo vybraných priestoroch [15]</i> .....	23
<i>Tab. 4. Rovnomernosť osvetlenia a pomer osvetleností okolia a úlohy [27]</i> .....	27
<i>Tab. 5. Príklady teploty chromatickosti [23]</i> .....	29
<i>Tab. 6. Potrebný el. príkon svetelného zdroja pri zrovnateľnom množstve svetla [19]</i> .....	30
<i>Tab. 7. Činitele odrazu svetla od bežných povrchov alebo materiálov [6], [8]</i> .....	38
<i>Tab. 8. Činitele priestupu svetla u bežných materiálov [6], [8]</i> .....	39
<i>Tab. 9. Činitele pohltienia svetla u daných materiálov [6]</i> .....	40
<i>Tab. 10. Hodnoty pomerných príkonov pre <math>E = 100 \text{ lx}</math> [22]</i> .....	42
<i>Tab. 11. Normované požiadavky na osvetlenie, oslnenie a index podania farieb [15], [27]</i> .....	49
<i>Tab. 12. Normované požiadavky osvetlenia, oslnenia a indexu podania farieb v školských a vzdelávacích budovách [27]</i> .....	57
<i>Tab. 13. Skutočné hodnoty osvetlenia v učebniach budovy U5</i> .....	58
<i>Tab. 14. Skutočné hodnoty osvetlenia v učebni a jazykovej učebni budovy U5</i> .....	59
<i>Tab. 15. Skutočné hodnoty osvetlenia v učebni jazykov s PC a laboratóriu budovy U5</i> .....	60
<i>Tab. 16. Skutočné hodnoty osvetlenia v laboratóriách budovy U5</i> .....	61
<i>Tab. 17. Skutočné hodnoty osvetlenia v posluchárni A budovy U5</i> .....	62
<i>Tab. 18. Skutočné hodnoty osvetlenia v posluchárni B budovy U5</i> .....	63
<i>Tab. 19. Činitele odrazov v učebni budovy U5</i> .....	69
<i>Tab. 20. Činitele odrazov v učebni budovy U5</i> .....	70
<i>Tab. 21. Činitele odrazov v učebni budovy U5</i> .....	71
<i>Tab. 22. Činitele odrazov v laboratóriu mikroskopických metód budovy U5</i> .....	72
<i>Tab. 23. Činitele odrazov v laboratóriu mikroskopických metód budovy U5</i> .....	73
<i>Tab. 24. Činitele odrazov laboratória mikroskopických metód a posluchárne B budovy U5</i> .....	74
<i>Tab. 25. Činitele odrazov v posluchárni B budovy U5</i> .....	75
<i>Tab. 26. Činitele odrazov v posluchárni B budovy U5</i> .....	76
<i>Tab. 27. Reálne inštalované umelé osvetlenie laboratória</i> .....	80
<i>Tab. 28. Porovnanie výsledkov simulácie laboratória bez a s prekážkami</i> .....	85

---

<i>Tab. 29. Porovnanie výsledkov simulácie laboratória s bielymi a modrými stenami .....</i>	<i>87</i>
<i>Tab. 30. Novo inštalované (simulované) umelé osvetlenie laboratória .....</i>	<i>88</i>
<i>Tab. 31. Porovnanie výsledkov simulácie laboratória s reálnymi a novými svietidlami .....</i>	<i>89</i>
<i>Tab. 32. Inštalované umelé osvetlenie laboratória, simulácia 1 .....</i>	<i>90</i>
<i>Tab. 33. Inštalované umelé osvetlenie laboratória, simulácia 2 .....</i>	<i>93</i>
<i>Tab. 34. Inštalované umelé osvetlenie laboratória, simulácia 3 .....</i>	<i>95</i>
<i>Tab. 35. Porovnanie výsledkov simulácií laboratória .....</i>	<i>97</i>
<i>Tab. 36. Reálne inštalované umelé osvetlenie učebne .....</i>	<i>98</i>
<i>Tab. 37. Inštalované umelé osvetlenie učebne, simulácia 1 .....</i>	<i>102</i>
<i>Tab. 38. Inštalované umelé osvetlenie učebne, simulácia 1 .....</i>	<i>102</i>
<i>Tab. 39. Inštalované umelé osvetlenie učebne, simulácia 2 .....</i>	<i>105</i>
<i>Tab. 40. Inštalované umelé osvetlenie učebne, simulácia 2 .....</i>	<i>106</i>
<i>Tab. 41. Inštalované umelé osvetlenie učebne, simulácia 3 .....</i>	<i>109</i>
<i>Tab. 42. Porovnanie výsledkov simulácií učebne .....</i>	<i>111</i>
<i>Tab. 43. Reálne inštalované umelé osvetlenie posluchárne B .....</i>	<i>113</i>
<i>Tab. 44. Inštalované umelé osvetlenie posluchárne B, simulácia 1 .....</i>	<i>117</i>
<i>Tab. 45. Inštalované umelé osvetlenie posluchárne B, simulácia 1 .....</i>	<i>117</i>
<i>Tab. 46. Inštalované umelé osvetlenie posluchárne B, simulácia 2 .....</i>	<i>121</i>
<i>Tab. 47. Inštalované umelé osvetlenie posluchárne B, simulácia 3 .....</i>	<i>125</i>
<i>Tab. 48. Inštalované umelé osvetlenie posluchárne B, simulácia 3 .....</i>	<i>125</i>
<i>Tab. 49. Porovnanie výsledkov simulácií posluchárne B .....</i>	<i>128</i>

