

Optimalizace osvětlení vnitřních prostorů

Bc. Markéta Žáková

Diplomová práce
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav inženýrství ochrany živ. prostředí
akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Markéta ŽÁKOVÁ**
Osobní číslo: **T09635**
Studijní program: **N 2808 Chemie a technologie materiálů**
Studijní obor: **Inženýrství ochrany životního prostředí**

Téma práce: **Optimalizace osvětlení vnitřních prostorů**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracovat literární rešerši týkající se problematiky osvětlení vnitřních prostorů.
2. Změřit osvětlenost vybraných místností v areálu UTB.
3. Změřit světelně technické vlastnosti vybraných materiálů.
4. Porovnat experimentálně naměřené veličiny s normami ČSN.
5. Citovat použitou literaturu.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

[1] Bystřický V., Kaňka, J.: Osvětlení, ČVUT v Praze, 1994.

[2] Baxant P.: Elektrické teplo a světlo, VUT v Brně, 2004.

[3] Horňák P.: Svetelná technika, Alfa, vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry Bratislava, 1989.

[4] ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlení ? Osvětlení pracovních prostorů ? Část 1: Vnitřní pracovní prostory. Český normalizační institut, 2004.

[5] ČSN 36 0011-1 Měření osvětlení vnitřních prostorů ? Část 1: Základní ustanovení. Český normalizační institut, 2006.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Martin Vašina, Ph.D.

Ústav fyziky a mater. inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

14. února 2011

Termín odevzdání diplomové práce:

13. května 2011

Ve Zlíně dne 14. února 2011

doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. RNDr. Jan Růžička, 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 ¹⁾;
- 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 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ 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 ³⁾ 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 20.5.2011

.....

¹⁾ 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 nevýdělečně 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.

²⁾ 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).

³⁾ 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 přihlídně k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Práce je zaměřena na osvětlení školních interiérových prostor. Jsou zde popsány spektrální a fyzikální vlastnosti světla a vztah světla ke člověku, energetická bilance světla a základní požadavky na kvalitu osvětlení daných vnitřních prostor. Praktická část práce se zabývá měřením světelně technických vlastností určitých materiálů a interiérových povrchů. Na závěr jsou provedeny simulace osvětlení pomocí počítačového programu Wils 6.3. Jako výsledek této práce byly vytvořeny nové návrhy na optimalizaci osvětlení v laboratoři a seminární místnosti oproti současnému stavu.

Klíčová slova: Osvětlení, oslnění, světelné zdroje, světelní činitelé, Wils 6.3

ABSTRACT

This thesis is focused on lighting of school interior spaces. The spectral and physical properties of light and the relationship of light to man, the energy balance of light and the basic requirements for the lighting quality of the interior spaces are described in this thesis. The practical part of the work deals with the measurement of light technical properties of specific materials and interior surfaces. The lighting simulations are performed using Wils 6.3 software at the conclusion. As a result of the work, new proposals to optimize lighting in the laboratory and the seminar room were created than the current situation.

Keywords: Lighting, glare, light sources, light coefficients, Wils 6.3

Poděkování:

V první řadě bych chtěla poděkovat Ing. Martinovi Vašinovi, Ph.D. za jeho pomoc, rady, ochotu a trpělivost, čímž mi pomohl při zpracování mé diplomové práce. Také bych tímto chtěla poděkovat svému bratrovi, který mi pomáhal s veškerým měřením ve školních prostorách, přes den i za tmy, a samozřejmě i zbylým členům mé rodiny za podporu a trpělivost nejen v době zpracovávání této práce, ale po celý průběh mého studia.

Prohlašuji, že jsem na diplomové práci pracovala samostatně a použitou literaturu jsem citovala. V případě publikace výsledků, je-li to uvedeno na základě licenční smlouvy, budu uvedena jako spoluautorka.

Současně prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné

Ve Zlíně dne 20.5.2011

.....

OBSAH

ÚVOD	11
1 TEORETICKÁ ČÁST	13
1 HISTORIE UMĚLÉHO OSVĚTLENÍ	14
2 SPEKTRÁLNÍ VLASTNOSTI A BARVA SVĚTLA	15
3 SVĚTLO A ČLOVĚK.....	17
3.1 VLASTNOSTI ZRAKU	17
3.2 VIDĚNÍ.....	18
3.2.1 Faktory ovlivňující vidění	18
4 ROZDĚLENÍ OSVĚTLENÍ	19
4.1 DENNÍ OSVĚTLENÍ	19
4.2 UMĚLÉ OSVĚTLENÍ	19
4.2.1 Rozdělení umělého osvětlení	20
4.3 SDRUŽENÉ OSVĚTLENÍ.....	21
5 ZÁKLADNÍ VELIČINY A CHARAKTERISTIKY OSVĚTLENÍ	22
5.1 RADIOMETRICKÉ VELIČINY	22
5.2 FOTOMETRICKÉ VELIČINY	23
6 ENERGETICKÁ BILANCE PŘI ŠÍŘENÍ SVĚTLA PŘES PŘEKÁŽKU.....	25
6.1 SVĚTELNÍ ČINITELÉ.....	25
7 ROZDĚLENÍ SVĚTELNÝCH ZDROJŮ.....	27
7.1 ŽÁROVKY	27
7.2 KOMPAKTNÍ ŽAŘIVKY: DELŠÍ ŽIVOTNOST, VYŠŠÍ CENA.....	28
7.3 HALOGENOVÉ ŽÁROVKY: NIŽŠÍ CENA, MENŠÍ ÚSPORA ENERGIE.....	28
7.4 LED DIODY: VYSOKÁ KVALITA I CENA.....	29
8 POŽADAVKY NA KVALITU OSVĚTLENÍ	30
8.1 PŘIROZENÉ OSVĚTLENÍ	30
8.2 UMĚLÉ OSVĚTLENÍ	31
8.2.1 Základní požadavky	31
8.3 POŽADAVKY NA OSVĚTLENÍ PROSTORŮ, ÚKOLŮ A ČINNOSTÍ DLE NORMY	33
9 SVĚTELNĚ TECHNICKÉ VÝPOČTY	34
9.1 METODA POMĚRNÝCH PŘÍKONŮ.....	34
9.2 TOKOVÁ METODA	34
9.3 BODOVÁ METODA	34
10 STUDIE ZABÝVAJÍCÍ SE OSVĚTLENÍM VE ŠKOLÁCH	35

10.1	STUDIE NA ČESKÝCH ŠKOLÁCH	35
10.2	STUDIE NA ZAHRANIČNÍCH ŠKOLÁCH	36
10.3	ZÁVĚRY STUDIÍ	37
11	LEGISLATIVA	38
12	POČÍTAČOVÁ SIMULACE V PROGRAMU WILS 6.3	39
12.1	METODY VÝPOČTU	39
12.2	DALŠÍ VLASTNOSTI PROGRAMU	39
II	PRAKTICKÁ ČÁST	41
13	PRAKTICKÉ MĚŘENÍ OSVĚTLENÍ	42
13.1	PŘÍSTROJE NA MĚŘENÍ VLASTNOSTÍ OSVĚTLENÍ	42
13.1.1	Měření intenzity osvětlení	43
13.2	MĚŘENÍ OSVĚTLENÍ V INTERIÉRU BUDOVY ŠKOLY	44
13.2.1	Postup práce	44
13.2.2	Vypracování	44
13.2.3	Diskuze	48
13.3	MĚŘENÍ ČINITELE PROSTUPU SVĚTLA PŘES MATERIÁLY	48
13.3.1	Postup práce	48
13.3.2	Vypracování	49
13.3.3	Diskuze	52
13.4	MĚŘENÍ ČINITELE ODRAZU SVĚTLA	52
13.4.1	Postup práce	52
13.4.2	Vypracování	52
13.4.3	Diskuze	54
14	OPTIMALIZACE OSVĚTLENÍ POMOCÍ PROGRAMU WILS 6.3	55
14.1	LABORATOŘ	55
14.1.1	Změna barev povrchů stěn	57
14.1.1.1	<i>Diskuze</i>	57
14.1.2	Změna barvy podlahy	57
14.1.2.1	<i>Diskuze</i>	58
14.1.3	Změna výšky pracovních stolů, resp. míst zrakového úhlu	58
14.1.3.1	<i>Diskuze</i>	58
14.1.4	Změna počtu, polohy a výškového umístění původních světel	59
14.1.4.1	<i>Diskuze</i>	60
14.2	NÁVRHY OPTIMALIZACE OSVĚTLENÍ V LABORATOŘI	60
14.2.1	Návrh č. 1	60
14.2.2	Návrh č. 2	61
14.2.2.1	<i>Diskuze</i>	62
14.3	OSVĚTLENÍ V UČEBNĚ PŘI POUŽÍVÁNÍ PROMÍTACÍHO PLÁTNA	63
14.3.1	Umístění přepážky	66
14.3.1.1	<i>Diskuze</i>	66
14.3.2	Zkrácená délka přepážky	67
14.3.2.1	<i>Diskuze</i>	67

14.4	NÁVRH OPTIMALIZACE OSVĚTLENÍ V UČEBNĚ PŘI POUŽÍVÁNÍ PROMÍTACÍHO PLÁTNA.....	67
	14.4.1.1 <i>Diskuze</i>	69
14.5	OSVĚTLENÍ V UČEBNĚ PŘI POUŽÍVÁNÍ TABULE.....	70
	14.5.1 Pevně umístěná přepážka	70
	14.5.1.1 <i>Přidaná svítidla před přepážkou</i>	70
	14.5.1.2 <i>Svítidla nakloněná, pevně přidělaná na přepážce</i>	72
	14.5.2 Vytahovatelná přepážka	72
	14.5.2.1 <i>Všechny svítidla zapnuté</i>	73
	14.5.2.2 <i>První řada původních světel vypnutá</i>	73
	14.5.2.3 <i>Diskuze</i>	74
14.6	NÁVRH OPTIMALIZACE Č. 1 PRO UČEBNU PŘI POUŽÍVÁNÍ TABULE.....	74
14.7	NÁVRH OPTIMALIZACE Č. 2 PRO UČEBNU PŘI POUŽÍVÁNÍ TABULE.....	75
	ZÁVĚR	77
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	78
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	81
	SEZNAM OBRÁZKŮ	83
	SEZNAM TABULEK	84
	SEZNAM PŘÍLOH	85

ÚVOD

Je lepší denní, či umělé světlo? Na tuto otázku je složité jednoznačně odpovědět, nicméně asi jediná odpověď zní: jak kdy a jak na co. Denní světlo je ideální pro celkové osvětlení obytných místností a prospívá celkové optimistické atmosféře obydlí a pracovišť. Bez umělého osvětlení se však člověk neobejde u dlouhodobějších a přesných činností, večer a tam, kde denní světlo chybí.

Kvalitní a technicky dokonalé umělé osvětlení dokáže splynout s denním světlem, utváří světelnou pohodu a člověk si tuto kombinaci v podstatě neuvědomuje. Tam, kde je to však jen trochu možné, je vhodnější vybudovat okno, světlík apod., prostě nechat do daných prostor proudit denní světlo.

Všechny faktory pracovního prostředí, ať už stavební materiál, barevnost exteriérů či interiérů, osvětlení nebo jiné faktory mají vliv na zdraví a psychologický dopad na psychiku, pohodu a pracovní výkon osobnosti.

Dnešní civilizovaný člověk tráví více než 90 % svého života v zastavěném prostoru. Obydlí, ve kterém žije a pracuje, se považuje za součást jeho osobnosti. Naše oko je však nejlépe přizpůsobeno na světlo denní. Hlavním cílem každé úpravy osvětlení by mělo být zabránit zrakové únavě, což znamená zvolit jeho optimální intenzitu v daném prostoru.

Při výběru umělého osvětlení pro určitý účel se obvykle uplatňují činitelé, jako jsou zrakový výkon, zraková pohoda, ekonomie. Osvětlení obytných místností, příslušenství a ostatních prostorů domů a budov musí vytvářet zdravé a příjemné prostředí, které vyhovuje technickým, hygienickým a estetickým požadavkům. Podstatná je i kvalita jednotlivých prvků, neboť při použití kvalitních svítidel klesají náklady na jejich opravy i na údržbu, jako je např. jejich čištění.

Stav umělého osvětlení ve školních učebnách je i v současné době na úrovni, která v mnoha případech nevyhovuje požadavkům moderního školství, nevytváří zdravé pracovní prostředí pro žáky ani pedagogy a neodpovídá současné legislativní úpravě. Mnoho provozovatelů škol proto stojí před problémem, jak zrekonstruovat současné osvětlení tak, aby vyhovovalo všem požadavkům, ale současně aby tato rekonstrukce nebyla finančně příliš náročná. [1]

Intenzitu denního světla ovlivnit neumíme, ale umíme ovlivnit intenzitu světla umělého, které slouží k vytváření tzv. světelného klimatu v době, kdy není možno využít osvětlení denního. V této diplomové práci se budu zabývat právě umělým osvětlením,

a sice konkrétně v prostorách Fakulty technologické, Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Mezi hlavní cíle mé práce patří změřit intenzitu osvětlení ve vybraných prostorách této fakulty a porovnat s příslušnými normami, změřit vlastnosti, jako jsou odraz a prostup světla určitých materiálů a také pomocí programu Wils 6.3 nasimulovat kvalitu umělého osvětlení v daných místnostech, a sice na základě barevnosti stěn, rozmístění světel, apod. a dle toho zkusím navrhnout způsob, jak dosáhnout optimálního osvětlení daných místností.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 HISTORIE UMĚLÉHO OSVĚTLENÍ

Již odnepaměti lidé vymýšleli „umělá slunce“ s cílem prodloužit den. Původním zdrojem světla byl oheň: pryskyřičné louče a pochodně, olejové lampy, egyptský vynález z doby okolo roku 1000 před Kristem, lojové, stearínové a parafinové svíčky, které se poprvé objevily v 5. století před n. l.; lampy na svítiplyn používané od roku 1783 k osvětlení místností, továren, ulic; petrolejové lampy z roku 1853 nebo obloukové lampy z počátku 19. století zdokonalené P. N. Jabločkovem a Fr. Křížikem.

Prehistorie žárovky sahá až do roku 1820, kdy G. De La Rue přišel s nápadem zatavit platinový drátek do skleněného válce a zavést do něj elektrický proud a sestrojil tak primitivní žárovku. Za padesát let, roku 1872 přišel další zdařilý pokus o sestrojení žárovky, která svítila až 800 hodin. Na to navázal v roce 1878 Th. A. Edison a použil vlákno uhlíkové. C. A. von Welsbach v roce 1898 použil osmiové vlákno, W. von Bolton v roce 1906 tantalové, A. Just a F. Hanaman v roce 1905 wolframové. V roce 1911 byla dána wolframová vlákna na trh a roku 1913 obklopena netečným plynem. Zprvu se nedařilo vyrobít trvanlivé vlákno, až teprve W. D. Coolidge v roce 1913 vytvořil pevný a ohebný drátek. Roku 1934 byl drátek vinut ve dvojité spirále a tím se dosáhlo vyššího světelného toku.

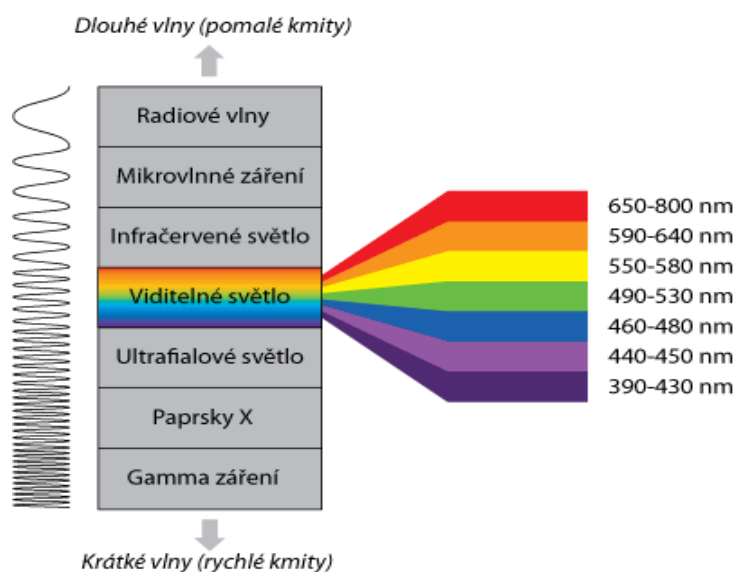
Německý fyzik J. Plücker vynalezl roku 1854 výbojovou lampu, která byla pojmenována po svém výrobcí Geisslerovou trubicí. Skleněná trubice, ze které byl téměř vyčerpán vzduch, měla na svých koncích zatavené elektrody spojené se sekundárním vinutím Ruhmkorffova induktoru. Při průchodu proudem svítil plyn v pastelových barvách či matně bíle. Geisslerovu trubicí zdokonalil D. McFarlane Moore. Podstatou zdokonalení je udržení velmi nízkého tlaku plynu uvnitř trubice. Světelný efekt spočívá v absorpci energie nárazovou ionizací částic plynu. Roku 1896 sestrojil německý fyzik M. L. Arons rtuťovou lampu. Do vakuové trubice tvaru U nalil rtuť a po připojení napětí rtuť procházel proud a rtuťové páry vyzařovaly světlo. To byl počátek vývoje výbojek a zářivek. Teprve rozvoj elektroniky a dalších technologií vedl k vývoji nového světelného zdroje a ke zmenšení průměru trubice zářivky až na současných devět milimetrů. Pak vznikla kompaktní úsporná zářivka, přičemž první kompaktní zářivky byly předvedeny na hannoverském veletrhu v roce 1980. [2]

2 SPEKTRÁLNÍ VLASTNOSTI A BARVA SVĚTLA

Světlo je elektromagnetické vlnění o frekvencích v rozmezí $3,95 \cdot 10^{14}$ Hz - $7,89 \cdot 10^{14}$ Hz. Světla různých frekvencí vyvolávají v lidském oku různé barevné vjemy. Vlnová délka světla, kterou dokáže lidské oko zpracovat, je v intervalu asi 380 nm – 780 nm, což je oblast viditelného světla. Když, pro nás neviditelné paprsky, pronikají mlhou, kouřem, prašným nebo jinak zakaleným prostředím, stávají se viditelnými, neboť je prozrazují osvětlené drobné částice rozptýlené v prostoru.

Elektromagnetické vlnění obsahuje jisté množství energie, kterou vyzařuje, proto se nazývá elektromagnetickým zářením. Čím kratší je vlnová délka, tím více energie obsahuje. Různé zdroje a za různých okolností vyzařují elektromagnetické vlnění různého složení a jeho rozsah je dán spektrem, které vzniká rozkladem záření. [3]

Světelná záření různých vlnových délek vnímáme jako světlo různé barvy a přisuzujeme každé spektrální barvě určitou vlnovou délku. Rozdělení záření a jednotlivé vlnové rozsahy pro hlavní barevná pásma viditelného světla jsou uvedeny na obrázku (Obr. 1).



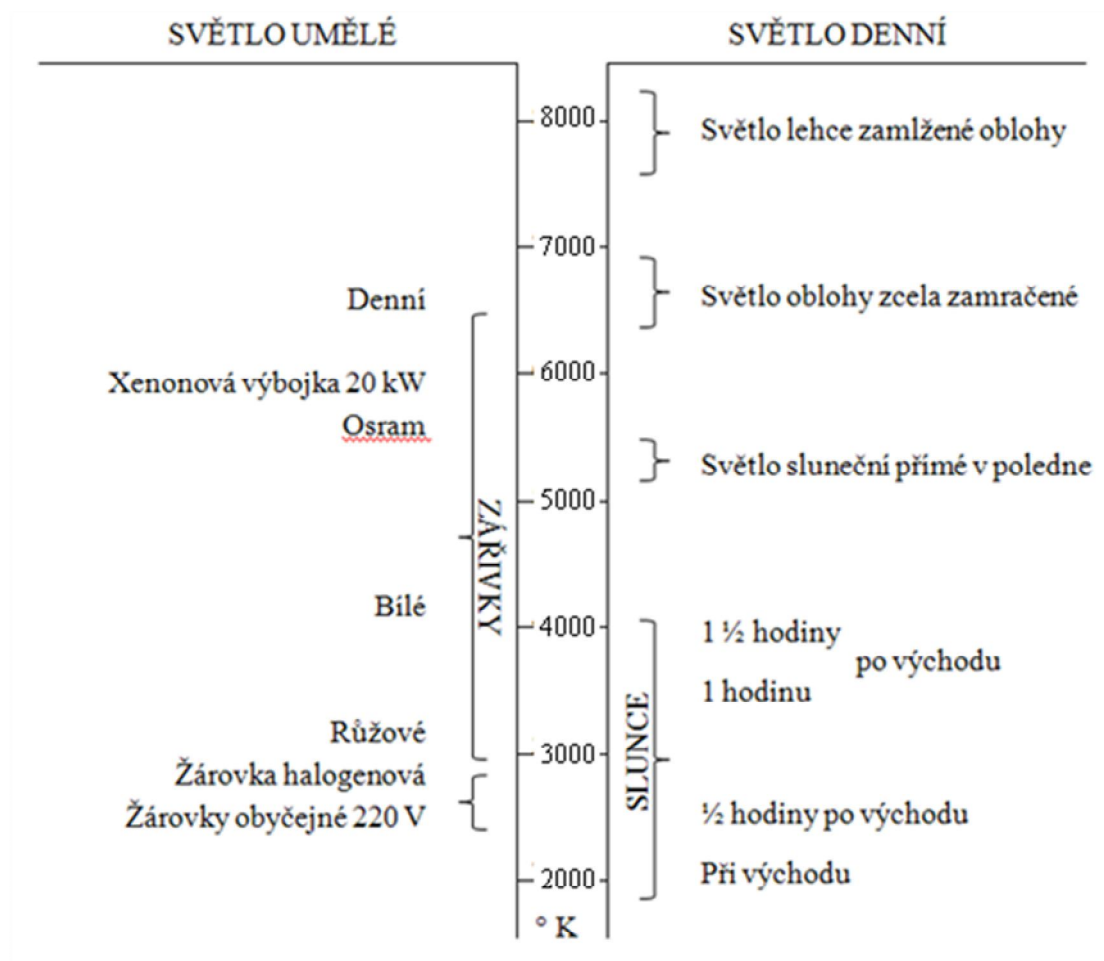
Obr. 1: Barevné spektrum viditelného světla [4]

Různá světla jsou barevně rovnocenná a barvy předmětů se při nich projevují stejně jen tehdy, jsou-li vyzařované světelné energie v jednotlivých barevných pásmech srovnávaných světel přibližně stejné. Čím větší je spektrální zářivost v některé spektrální oblasti uvažovaného světla, tím více vynikají dotyčné barevné tóny nad barvami ostatními, přičemž i bílá barva předmětu dostává příslušné zbarvení. Např. umělé světlo, i když je stejně zbarvené jako denní, může mnohé barvy podstatně zkreslovat, je-li jiného

spektrálního složení než světlo denní. Barvy předmětů, jak je vidíme v přirozeném světle, nazýváme přirozenými, přičemž umělým světlem jsou více nebo méně zkreslovány, proto se mluví o nepřirozeném vzhladu barev.

Barva světla, jehož spektrum je spojité nebo aspoň převážně pásmové, se v praxi často určuje tzv. teplotou barvy. Teplota barvy uvažovaného zdroje udává absolutní teplotu ve stupních Kelvina černého zářiče, při které zářič svítí světlem přibližně stejného spektrálního složení jako uvažovaný světelný zdroj. Čím bělejší světlo, tím vyšší teplota barvy. Na obrázku (Obr.2) jsou uvedeny teploty barvy světla některých umělých a denních zdrojů.

Barva denního světla se neustále značně mění. Teplota barvy tohoto světla je závislá na zeměpisné poloze a mění se nejen s denní a roční dobou, ale i počasím a různými atmosférickými a jiným změnami. Tím se mění i barvy předmětů a ani bílá barva není stejná. Tyto změny si jen málokdy uvědomujeme, protože jsou pozvolné a nemáme možnost současného porovnání. [5]



Obr. 2: Schéma přibližných barevných teplot umělých a denních zdrojů světla [3]

3 SVĚTLO A ČLOVĚK

Drtivá většina lidských aktivit je spojená převážně s vykonáváním zrakové činnosti nebo práce, při které je potřeba světlo. Stejně tak je spojená s potřebou získávání zrakových informací z okolí. Dá se jednoduše říct, že světlo je nositelem všech zrakových podnětů. O zrakové pohodě člověka rozhoduje především množství světla, které se nachází v interiéru budovy, jako je prostorové rozdělení. Stejně tak je důležité jeho spektrální složení a světelné poměry v zorném poli pozorovatele. Osvětlení v interiéru je proto neodmyslitelnou součástí životního a pracovního prostředí v budovách, kde se vykonává zraková činnost. [6]

Člověk je schopen vnímat zdroje světla. Vidíme slunce, hvězdy, žárovky, ale nevidíme světlo, které vysílají, vidíme pouze jas plochy. Světelné paprsky vysílané zdroji světla pozorovat nemůžeme. Například u slunečních paprsků vnímáme pouze jejich teplo a jas oblohy. Ta je složena z molekul prachu, plynů a par, které sluneční světlo rozptyluje všemi směry – lomem, odrazem a ohybem. Tuto skutečnost vnímáme tak samozřejmě, že si neuvědomujeme, že kromě oblohy a svítidel je zdrojem světla každý osvětlený povrch předmětu či hmoty. Předměty (hmoty) různě zbarvené vysílají při osvětlení svůj výsledný barevný dojem podle stupně intenzity a jeho světelného spektra. Z tohoto poznatku plyne, že osvětlením a barevnými úpravami můžeme zdůraznit nebo potlačit jednotlivé předměty, stroje, zařízení, zlepšit nebo zhoršit celkový estetický a psychologický účín prostředí, apod. [7]

3.1 Vlastnosti zraku

Z vlastností zraku, které nás při osvětlování zajímají, jsou adaptace zraku na změnu jasu a přechod na vidění ve tmě, ostrost vidění, kontrastní citlivost, rychlost akomodace oka, oslnění.

- *Zorné pole*: Množina všech bodů, které můžeme postřehnout upřeným pohledem bez pohybu oka a bez pohybu hlavy.
- *Akomodace oka*: Přizpůsobení oka vzdálenosti pozorovaného předmětu, tzv. zaostřování oka. Stupeň akomodace je dán stářím člověka – akomodační

schopnost oka se s věkem mění a tím se současně mění schopnost oka vidět předměty od určité vzdálenosti.

- *Adaptace oka*: Přizpůsobení citlivosti zraku jasů a barvě pozorovaného okolí. Rozděluje se na adaptaci na světlo a adaptaci na tmou.
- *Zraková ostrost*: Schopnost zřetelně rozlišovat předměty ve velmi malé vzájemné vzdálenosti. Závisí na stavu zraku, intenzitě a kvalitě osvětlení

3.2 Vidění

Viděním nazýváme poznávání okolního prostředí smyslovými vjemy, vzbuzovanými světlem vnikajícím do oka. Vidění, při kterém je možné dobře rozeznávat barvy, se nazývá *denní vidění*. Naopak, vidění, při kterém není možné rozeznávat barvy, se nazývá *nočním viděním*. Vidění při podmínkách mezi podmínkami vidění denního a nočního se nazývá *viděním soumravným*. [8]

3.2.1 Faktory ovlivňující vidění

Mezi základní faktory ovlivňující vidění oka patří:

- *Barvy*: Oko vnímá elektromagnetické záření v rozsahu vlnových délek 380 – 780 nm, ale nemá ke všem vlnovým délkám stejnou citlivost. Nejcitlivější je oko k vlnové délce 555 nm, což odpovídá žlutozelenému světlu. Za plného denního světla jsme schopni rozeznávat až 160 barevných tónů, při větších jasech se počet rozeznatelných barev vlivem oslnění zmenšuje a při silném oslnění rozeznáváme jen barvu žlutou od fialové. Spektrální citlivost zraku není u všech lidí stejná, je ovlivněna podnebím a životními podmínkami člověka, u jednotlivce se také mění s roční dobou, věkem, zdravotním stavem apod.
- *Kontrast*: Kontrast je založený na schopnosti zraku rozlišovat rozdíl jasů nebo barvy v zorném poli; kdyby měl celý prostor stejný jas, nemohli bychom vnímat jeho detaily.
- *Oslnění*: Definuje se jako nepříznivé působení světla na zrak. Podle působení jasů na lidské oko se rozeznává oslnění rušivé, omezující a oslepující a dle příčiny rozeznáváme oslnění absolutní a relativní. [9]

4 ROZDĚLENÍ OSVĚTLENÍ

Osvětlení se rozděluje do tří základních skupin:

1. *denní osvětlení* – přímé využití sluneční energie
2. *umělé osvětlení* – světlo vzniká transformací jiného druhu energie
3. *sdrúžené osvětlení* – kombinace denního a umělého osvětlení

V praxi se dává přednost dennímu osvětlení před umělým osvětlením ze dvou důvodů:

1. *hygienický důvod* – při dlouhodobém působení na člověka má denní osvětlení příznivější psychologické účinky
2. *ekonomický důvod* – umělé osvětlení potřebuje ke svému provozu nějakou energii a v důsledku toho se zvyšují provozní náklady

4.1 Denní osvětlení

Nejvýznamnější rozdíl denního světla vůči umělému je jeho spektrální složení, podmíněné charakterem zdroje a zejména neustálá proměnlivost denního světla jak v intenzitě, tak ve spektrálním složení a rozložení světelného toku.

Slunce má povrchovou teplotu velmi vysokou, okolo 6 000 K. Sluneční záření dopadající na zemi má spojité spektrum s maximální poměrnou intenzitou právě v oblasti viditelného záření; citlivost zraku je tedy hospodárně přizpůsobena právě této oblasti.

Denní osvětlení je hodně proměnlivé, pravidelné změny způsobují periodické změny vyplývající z rotace Země kolem Slunce, kdežto nepravidelné změny tohoto osvětlení závisí na stavu atmosféry, hlavně na oblačnosti a znečištění vzduchu.

Dle toho, v které části budov jsou umístěny osvětlovací otvory, se rozlišují základní druhy denního osvětlení na boční, horní, kombinované a sekundární.

4.2 Umělé osvětlení

Umělé osvětlení vhodně doplňuje nebo zcela nahrazuje denní osvětlení v případě jeho nedostatku a tím přispívá ke zlepšení zrakové pohody člověka. Umělé osvětlení ale potřebuje zdroj energie, protože vzniká transformací jiného druhu energie (např. elektrické nebo chemické).

4.2.1 Rozdělení umělého osvětlení

Dle zdroje proudu a provozního účelu se umělé osvětlení dělí na:

- *Normální osvětlení* - tj. pro činnost v bezporuchovém stavu napájecí soustavy
 - hlavní – za obvyklých provozních podmínek
 - celkové – zajišťuje rovnoměrné osvětlení celé místnosti
 - místní – zajišťuje přisvětlení místa úkolu přidavnými svítidly
 - kombinované – celkové osvětlení doplněné místním
 - pomocné – osvětlení pro pomocné práce mimo hlavní provoz, např. při úklidu, nočních pochůzkách apod.
 - bezpečnostní – osvětlení při poruše technologického zařízení
- *Poruchové osvětlení* - tj. při přerušení dodávky elektrické energie
 - náhradní – svítidla napojené na náhradní zdroj
 - nouzové, únikové – osvětlení únikových cest, míst většího nebezpečí

[11]

Dle způsobu osvětlení místností se rozlišuje osvětlení:

Přímé osvětlení: všechno světlo zdroje se vrhá dolů na pracovní plochu nebo na podlahu. Vznikají při něm tmavé stíny, často oslňuje a strop i horní část stěn jsou tmavé.

Polopřímé osvětlení: část světelného toku se odděluje pro osvětlení stropu a stěn. Světlo odrážené od stropu a stěn prosvětluje stíny a oslnění svítidel pozorovaných proti jasnějšímu pozadí je přijatelnější. Hospodárnost polopřímého osvětlení je téměř stejná jako u přímého, tudíž je toto osvětlení nejvýhodnějším typem a je také nejvíce rozšířeno.

Smíšené osvětlení: světelný tok se rozptyluje stejnosměrně všemi směry, a je tedy zhruba stejně osvětlena podlaha nebo pracovní plocha i strop a stěny místnosti. Takové rozdělení světla je na místě, kde se nepožaduje vydatněji osvětlit některé místo, ale spíše vyrovnaně prosvětlit prostor, např. chodby, schodiště, sklady.

Polonepřímé osvětlení: je opakem polopřímého, tzn. většina světla se vrhá na strop, menší část směrem dolů.

Nepřímé osvětlení: většina světla dopadá na strop a na horní část stěn. Celá místnost je osvětlena dosti rovnoměrně, stíny jsou sotva patrné. Nevýhodou jsou značné ztráty světla při odrazu, kdy strop i horní část stěn musí být čistě bílé nebo jen lehce zbarveny, aby odrážely co nejvíce světla. Navrhuje se tam, kde se neklade důraz na hospodárnost, např. pro zasedací a společenské místnosti. [12], [13]

4.3 Sdružené osvětlení

Sdružené osvětlení je záměrné současné osvětlení vnitřního prostoru denním i umělým osvětlením. Používá se v prostorech, kde je nedostatečné denní osvětlení a je třeba ho doplnit právě osvětlením umělým, např. v šatnách, jídelnách, kuchyních, koupelnách, zasedacích místnostech, značně zacloněných prostorech (stavbou, terénem - prudký svah proti oknům, stínem vysokých rostlin) apod.

Při dlouhodobém působení na člověka není v plném rozsahu rovnocenné dennímu osvětlení, ale je mnohem příznivější než umělé. Řešení sdruženého osvětlení je vždy v podstatě návrh doplňujícího umělého osvětlení. Tento návrh musí vycházet z parametrů denního osvětlení a z požadavků na zrakovou činnost v daném prostoru.

Z hlediska doby používání se sdružené osvětlení dělí na *trvalé* (využívá se umělého světla po celý den) a *přechodné* (umělé světlo se využívá jen po určitou dobu) a z hlediska rozsahu na *celkové* (přisvětluje se celý vnitřní prostor nebo jeho podstatná část umělým osvětlením) a *místní* (přisvětlují se pouze vybraná místa vnitřního prostoru s omezeným přístupem denního osvětlení). [12]

5 ZÁKLADNÍ VELIČINY A CHARAKTERISTIKY OSVĚTLENÍ

Pro práci se světlem používáme jednotky, které lze zařadit do dvou skupin:

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - skupina základních veličin <ul style="list-style-type: none"> ○ světelný tok ○ osvětlení ○ svítivost ○ jas | <ul style="list-style-type: none"> - skupina odvozených veličin <ul style="list-style-type: none"> ○ množství světla ○ osvit ○ světlení |
|---|--|

[3]

5.1 Radiometrické veličiny

Radiometrické veličiny charakterizují výkon zdroje, resp. množství energie přenesené na ozařovaná tělesa. V případě, že je třeba hodnotit zdroj záření, pracuje se obvykle zářivým tokem a zářivostí. V případě, že je třeba hodnotit záření dopadající na určité těleso nebo procházející určitou částí prostoru, pracuje se s ozářením. [15]

Mezi základní radiometrické veličiny patří:

- Zářivý tok Φ_e
 - výkon přenášený zářením, jde tedy o množství zářivé energie Q_e [W.s] přenesené tokem fotonů za jednotku času t [s]

$$\Phi_e = \frac{dQ_e}{dt} \quad (1)$$

- Zářivá energie Q_e
 - energie přenášená elektromagnetickým zářením (tokem fotonů) nebo látkovým zářením (tokem látkových částic, např. elektronů) do okolí, jedná se tedy o součin zářivého toku a času

$$Q_e = \int \Phi_e dt \quad (2)$$

- Zářivost I_e
 - podíl zářivého toku vyzářeného zdrojem v některém směru do elementárního prostorového úhlu a velikosti tohoto prostorového úhlu

$$I_e = \frac{d\Phi_e}{d\Omega} \quad (3)$$

- Zář L_e
 - podíl zářivého toku, který vychází, dopadá nebo přechází elementární plochou v daném bodě a šíří se elementárním prostorovým úhlem v daném směru a součinu tohoto prostorového úhlu a této plochy na rovinu kolmou na daný směr

$$L_e = \frac{dI_e}{dA \cdot \cos \vartheta} \quad (4)$$

- Intenzita vyzařování M_e
 - podíl zářivého toku vyzařovaného elementem této plochy, obsahující daný bod a velikosti tohoto plošného elementu

$$M_e = \frac{d\Phi_e}{dA} = \int L_e \cos \vartheta d\Omega \quad (5)$$

- Intenzita ozáření E_e
 - podíl zářivého toku, který dopadá na element této plochy obsahující daný bod a velikosti tohoto plošného elementu

$$E_e = \frac{d\Phi_e}{dA} \quad (6)$$

- Dávka ozáření H_e
 - podíl množství záření a velikosti ozářené plochy, případně součin intenzity ozáření a času

$$H_e = \frac{dQ_e}{dA} = \int E_e dt \quad (7)$$

- Prostorový úhel Ω
 - úhel na vrcholu světelného kužele, který vymezuje plochu A z plochy koule o poloměru r

$$\Omega = \frac{dA}{r^2} \quad (8)$$

5.2 Fotometrické veličiny

Fotometrické veličiny popisují zdroj světla pomocí celkové zářivé energie vysílané zdrojem. Z celkové zářivé energie se však pro zrakový vjem uplatňuje pouze část, sice část přenášená viditelným zářením - světlem. Jsou definovány podle citlivosti lidského oka a jsou tudíž závislé na barevném složení zkoumaného záření. Popis fotometrických jevů

je komplikován i tím, že lidské oko vnímá záření různých frekvencí s různou citlivostí, nejcitlivější je na světlo žlutozelené barvy (555 nm). [16]

Mezi základní fotometrické veličiny patří:

- Světelný tok Φ
 - schopnost zářivého toku vzbudit zrakový vjem

$$1lm = 147 \cdot 10^{-5} W, \text{ resp.} \quad (9)$$

$$1W = 680lm \quad (10)$$

- Světelné množství Q
 - součin světelného toku a času, používá se pro ekonomické posouzení zdrojů světla

$$Q = \int \phi dt \quad (11)$$

- Svítivost I
 - podíl světelného toku vyzařovaného zdrojem v některém směru do elementárního prostorového úhlu a velikosti tohoto úhlu

$$I = \frac{d\phi}{d\Omega} \quad (12)$$

- Jas L
 - podíl světelného toku, který vychází, dopadá nebo prochází elementární plochou v daném bodě a šíří se elementárním prostorovým úhlem v daném směru a součinu tohoto prostorového úhlu a průmětu této plochy na rovinu kolmou na daný směr

$$L = \frac{d^2\phi}{d\Omega dA \cos \vartheta} = \frac{dI}{dA \cos \vartheta} \quad (13)$$

- Světlení M
 - podíl světelného toku vyzařovaného elementem této plochy, obsahující daný bod, a velikosti tohoto plošného elementu

$$M = \frac{d\phi}{dA} = \int L \cos \vartheta d\Omega \quad (14)$$

- Intenzita osvětlení (osvětlenost) E
 - podíl světelného toku, který dopadá na element této plochy obsahující daný bod a velikosti tohoto plošného elementu

$$E = \frac{d\phi}{dA} \quad (15)$$

6 ENERGETICKÁ BILANCE PŘI ŠÍŘENÍ SVĚTLA PŘES PŘEKÁŽKU

Světelný tok, který dopadá na světelně činnou látku, se od ní může odrazit, pohltit v látce, přičemž se látka ohřeje na vyšší teplotu, nebo může danou látkou prostoupit.

Dopadající světelný tok ϕ je součtem dílčích světelných toků a platí:

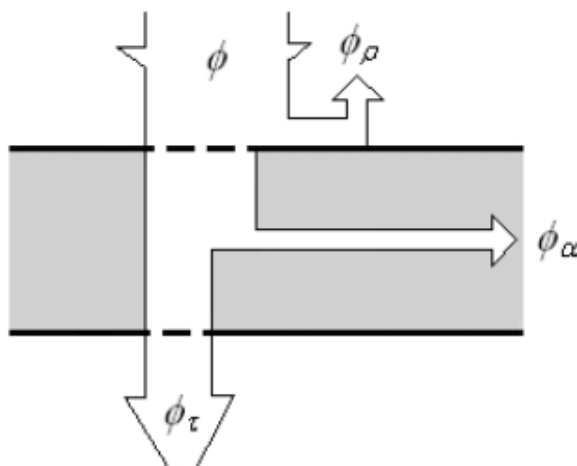
$$\phi = \phi_p + \phi_\tau + \phi_\alpha \quad (16)$$

kde: ϕ_p - světelný tok odražený od dané látky

ϕ_τ - světelný tok prostoupený danou látkou

ϕ_α - světelný tok pohlcený danou látkou

Energetická bilance při šíření světla přes látku je znázorněna na obrázku (Obr. 3).



Obr. 3: Energetická bilance šíření světelného toku přes látku [17]

6.1 Světelní činitelé

Hodnoty těchto činitelů závisí na tloušťce vzorku, jakosti povrchové úpravě, na směru dopadu světla apod. Též se při měření předpokládá kolmý dopad světla na měřený rovinný vzorek. Tito světelní ukazatelé se vypočítají jako podíly naměřených příslušných světelných toků. [16]

1. Činitel odrazu ρ

Odraz světla je jev, při kterém se světlo vrací od hraniční plochy zpět do prostředí, ze kterého přichází. Činitel odrazu je podíl odraženého světelného toku od povrchu látky a dopadajícího světelného toku na povrch této látky.

$$\rho = \frac{\phi_p}{\phi} \quad (17)$$

2. Činitel prostupu τ

Prostup světla je schopnost látky propouštět světlo. Činitel prostupu světla je podíl prošlého světelného toku danou látkou a dopadajícího světelného toku na povrch této látky.

$$\tau = \frac{\phi_\tau}{\phi} \quad (18)$$

3. Činitele pohltivosti α

Pohlčení světla je schopnost látky pohltit světelné záření, přičemž získanou světelnou energii mění na energii tepelnou. Činitel pohltivosti je podíl pohlceného světelného toku v látce a dopadajícího světelného toku na povrch této látky.

$$\alpha = \frac{\phi_\alpha}{\phi} \quad (19)$$

Vyjádří-li se dílčí světelné toky z rovnic (17)-(19) a dosadí-li se do rovnice (16), dostaneme rovnici, která popisuje závislost mezi jednotlivými světelnými toky, a sice:

$$\rho + \tau + \alpha = 1 \quad (20)$$

Z dané rovnice vyplývá, že součet činitele odrazu, prostupu i pohltivosti je roven 1, což je předpokladem zákona zachování energie. [17]

7 ROZDĚLENÍ SVĚTELNÝCH ZDROJŮ

Světelný zdroj je předmět nebo jeho povrch, který vyzařuje světlo v něm vyrobené. Světelné zdroje jsou popsány kvantitativními a kvalitativními parametry, přičemž kvantitativním parametrem světelných zdrojů je měrný výkon, ke kvalitativním parametrům patří životnost světelného zdroje, stálost světelného toku v průběhu života zdroje, prostorové rozložení světelného toku a chromatičnost světla zdroje.

Existují dvě hlediska rozdělení světelných zdrojů. Z hlediska původu se světelné zdroje dělí na *přirodní* (zdroj, který vznikl bez zásahu člověka - slunce, blesk, měsíc a polární záře) a *umělé* (zdroj určený na přeměnu nějaké energie). Podle způsobu vzniku optického záření se rozdělují světelné zdroje na *teplotní* (optické záření vzniká zahřátím pevné látky na vysokou teplotu), *výbojové* (optické záření vzniká vybuzením atomů plynů nebo par kovů v elektrickém výboji), *luminiscenční* (optické záření vzniká luminiscencí pevných látek) a *kvantové generátory* (lasery).

7.1 Žárovky

Žárovka je zdroj, který mění elektřinu ve světlo jako tepelný zářič, kdy proud prochází vláknem a rozžhává jej. Proto je konstrukce žárovky velmi jednoduchá: základem její činnosti je vlákno zavěšené na nosné soustavě, k jehož koncům vedou přívody spojené s patičí, kterou se žárovka zašroubuje do objímky svítidla. Vlákno je i s nosnou soustavou uzavřeno do skleněné baňky. Vlákna dřívějších žárovek byly uhlíkové, přičemž vlákna nynějších žárovek jsou z wolframu, který má možnost táhnout velmi tenká vlákna a navíjet je. Vlákno žárovky se během svícení vypařuje, čímž se stále zeslabuje, a to hlavně v místech s vyšší teplotou. Na takovém místě se pak vlákno přeruší, a to většinou při zapnutí. [2]

V březnu 2009 přijala Evropská komise doporučení o regulaci světelných zdrojů používaných v domácnostech. Od září 2009 již začala postupná výměna světelných zdrojů, která se nejvíce dotkla právě klasických neefektivních žárovek. Dosud je zakázané vyrábět či dovážet matné žárovky, do roku 2012 se toto bude týkat i žárovek čirých. [18]

Postupný plán přechodu k moderním efektivním zdrojům světla se týká pouze běžných nesměrových světelných zdrojů užívaných v domácnostech. Netýká se tedy žárovek s reflektory, speciálních žárovek do trouby a chladničky, dekorativního osvětlení

ani osvětlení, které se používá v průmyslových, obchodních a jevištních prostorech. Pořizování klasických žárovek „do zásoby“ je zbytečné, neboť v současné době existují kvalitní a mnohem efektivnější náhrady. Používání moderních typů svítidel by mělo snížit spotřebu energie, přičemž běžný spotřebitel by pak měl podle Evropské komise ušetřit za elektřinu zhruba 640 - 1 280 korun ročně. Klasické žárovky, které na svícení využijí pouze 5 – 8 % energie (zbytek je proměněn v nepotřebné teplo), spotřebují zhruba třikrát až pětkrát více elektřiny než jejich alternativy. [19]

7.2 Kompaktní zářivky: delší životnost, vyšší cena

Pro zachování stejné intenzity jako u žárovek by měl být příkon kompaktní zářivky přibližně 4x menší než žárovky – náhradou 60 W žárovky je 15 W kompaktní zářivka. Instalované kompaktní zářivky by měly být označeny životností 6-10 let a větší (při průměrném svícení 3 hodiny denně) a barva světla by měla být označena jako „teplá bílá“. Je vhodné volit produkty velkých a renomovaných výrobců. Při dodržení těchto požadavků bude mít kompaktní zářivka dlouhou životnost, příjemné světlo a mnohem nižší náklady za elektřinu.

Kompaktní zářivky jsou vhodné zejména do místností, kde se svítí dlouhodoběji a není zde příliš častá frekvence rozsvěcování a zhasínání. Nehodí se proto do místností jako je koupelna nebo toaleta.

Kvalita úsporných zářivek ale neustále roste, na trhu jsou již i takové, které se rozsvítí během dvou sekund na 90 %. Životnost těchto zářivek je 12 – 15 000 hodin, tedy zhruba 12 – 15 x více, než u klasické žárovky. Tyto zářivky jsou sice dražší než původní žárovky, ale vzhledem k tomu, že se ušetří až 80 % energie, se investice časem vrátí. [19]

7.3 Halogenové žárovky: nižší cena, menší úspora energie

Halogenové žárovky by se měly zvolit do místností s častým spínáním, neboť okamžitě po jejich sepnutí zaplní pokoj velmi kvalitní světlo, nevádí jim časté zapínání a výhodou oproti zářivkám je také nižší cena. Halogenové žárovky se nejčastěji používají na svícení na chodbách domů, na toaletách a v koupelnách. Na druhou stranu se s nimi

ale tolik neušetří, neboť úspora energie oproti klasickým žárovkám je v tomto případě zhruba 20 – 30 %.

Výhodou těchto žárovek je, že se vyrábějí ve stejných tvarech jako klasické žárovky, je tedy možné použít je do lustrů, kam se nevejdou kompaktní zářivky. Životnost halogenových žárovek je oproti klasickým zhruba dvakrát delší, tzn. asi 2 000 hodin. [20]

7.4 LED diody: vysoká kvalita i cena

Budoucností svícení zřejmě zůstávají LED diody. Ještě před pár lety bylo osvětlení LED diodami využíváno pouze u specifických aplikací, ale díky technologickému vývoji během posledního desetiletí je v současné době praktické využití LED osvětlení mnohem širší, neboť kromě průmyslu se využívají i při osvětlování v domácnostech.

Tyto svítidla fungují na principu elektronické součástky, která je tvořena dvěma elektrodami, mezi nimiž proudí elektrický proud. Jejich výhodou je, že produkují více energie na watt než jiné způsoby osvětlení, např. světlo ze 40 W žárovky nahradí u LED diody zhruba 4 W zdroj. Hodí se proto například do zařízení, která jsou napájena bateriemi. Oproti kompaktním zářivkám i halogenovým žárovkám mají LED diody nejvyšší životnost, která je zhruba 100 – 1 000 x delší než u žárovek a až 100 x vyšší než u zářivek. Další výhodou je i nízká povrchová provozní teplota, které se u LED diodových zdrojů pohybuje kolem 60 °C.

Podobně jako halogenové žárovky se také LED diody rychle rozsvěcí a nevadí jim ani vysoká frekvence rozsvěcování. Velkou nevýhodou LED diod, díky níž je nenajdeme v mnoha domácnostech, je jejich vysoká pořizovací cena, která je několikanásobně vyšší než u ostatních druhů alternativních svítidel a pohybuje se v řádech stokorun. Náklady se zvyšují také tím, že jedna LED dioda poměrně slabě září, proto jich potřebujeme větší množství. S ohledem na to, že jejich spotřeba elektřiny je velmi nízká, vycházejí celkové náklady stále výhodněji než u žárovek či halogenů. [21]

8 POŽADAVKY NA KVALITU OSVĚTLENÍ

Pro člověka, který vykonává jakoukoliv práci závislou na zrakové činnosti, musí být vytvořeny jisté podmínky pro dobré vidění. Při projektování průmyslového objektu i jednotlivých pracovních stanovišť musí být zároveň řešeno i osvětlení prostoru, a to přirozené i umělé.

Kvalitní osvětlení na pracovišti má význam:

- Fyziologický – umožňuje člověku vidět, pracovat, tvořit
- Provozní – umožňuje vnímání vizuálních informací všeho druhu
- Psychický – vytváří esteticky příznivé podněty a nálady
- Bezpečnostní – vytváří předpoklady k větší bezpečnosti práce
- Hygienický – podněcuje k udržování čistoty

8.1 Přirozené osvětlení

Zdrojem přirozeného osvětlení je slunce, obloha (záření oblohy), odražené záření od ploch a předmětů. Denní světlo je proměnné s denní a roční dobou a pohybuje se mezi 1 000 až 30 000 lx (tj. hodnota záření šedé podzimní oblohy až letní s bílými oblaky). Přímé sluneční světlo za letního jasného dne má intenzitu až 100 000 lx.

Mezi výhody přirozeného osvětlení patří malé provozní náklady a optimální barevná teplota světla, hlavními nevýhodami tohoto světla jsou proměnlivost intenzity a zabarvení během dne i roku a tepelné sálání přímými slunečními paprsky.

Požadavky co nejvyššího přirozeného osvětlení bývají obvykle v protikladu s požadavkem ekonomického vytápění a větrání. Čím větší je zasklená plocha oken a světlíků, tím více se místnost ochlazuje v zimě a otepluje v létě. Také velké zasklené otvory průmyslových hal a jejich údržba jsou investičně nákladnější. Kromě toho je potřeba uvažovat vyšší náklady na vytápění, protože únik tepla sklem je dost vysoký.

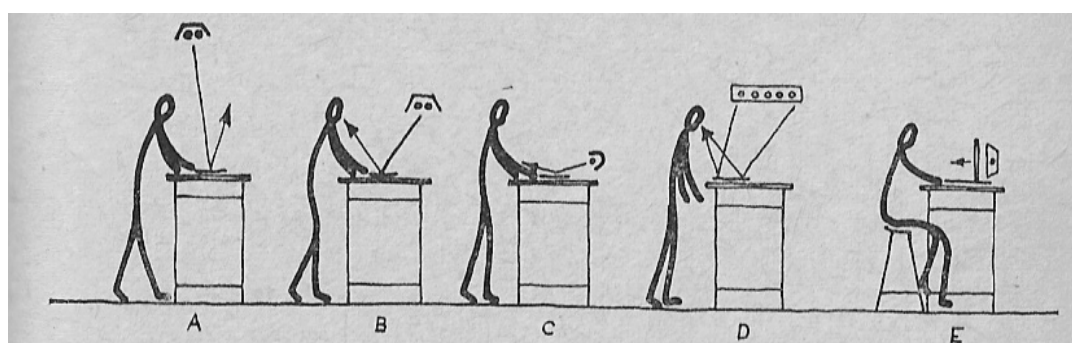
8.2 Umělé osvětlení

Mezi zdroje umělého osvětlení patří žárovky, zářivky, výbojky, apod.

Používá se tehdy, když hodnoty přirozeného osvětlení klesnou pod dovolenou mez, a také tam, kde technologie výroby vyžaduje jen umělé osvětlení, a sice v bezokenních provozech, tam, kde není vyžadována zraková kontrola výrobního procesu, ve skladech umístěných ve sklepích, na záchodech, v umývárkách a sprchách, v šatnách, apod. [5]

8.2.1 Základní požadavky

- *Optimální intenzita osvětlení pracovní roviny* se určuje dle druhu vykonávané zrakové práce. Musí být tím větší, čím jemnější je práce, čím menší detaily je třeba rozeznávat, čím je tmavší materiál, čím je menší světlostní nebo barevný kontrast mezi pozorovaným předmětem a okolím, čím kratší je doba expozice, čím je prašnější prostředí a čím je vzdálenost pozorovaných detailů větší.
- *Rovnoměrnost osvětlení* je poměr nejmenšího osvětlení (nejslabší intenzita) pracovního stanoviště k osvětlení největšímu (nejsilnější intenzita). Čím je práce jemnější a pro zrak namáhavější, tím má být rovnoměrnost osvětlení pracovišť větší. Pro nesnadné měření jasů stanovují normy jen rovnoměrnost osvětlení: nejhůře osvětlené místo v pracovním prostoru má mít min. 70 % světla ve srovnání s místem nejlépe osvětleným. Naprosto rovnoměrné osvětlení celého interiéru potlačuje plasticitu předmětů a otupuje smysly – není tedy ideální.



Obr. 4: Poloha svítidla a směr světla: **A** – svítidlo svým odrazem neoslňuje; **B** – svítidlo odrazem světla oslňuje; **C** – vhodné pro kontrolu jakosti povrchu; **D** – velkoplošný zdroj o malém jasů, světlo se odráží do očí pracovníka; **E** – kontrola proti prosvětlenému panelu s malým jasem [3]

- *Směr osvětlení* je určován potřebou plastického vjemu pozorovaného objektu (hrubosti povrchu nebo čtení rysek na měřítku) a snahou zabránit oslnění přímým i odraženým světlem. Na pracovní ploše nemá docházet k výraznému křížení vržených stínů, značně rušivě působí stíny pohybujících se předmětů či částí strojů dopadajících na pracovní plochu. Směr umělého světla se má blížit směru světla denního, nejpříznivější směr je šikmo zleva, shora a poněkud zezadu.
- *Plasticita osvětlení*. Objekty mají být osvětleny tak, aby byl zvýrazněn jejich tvar a prostorovost. Plastické vidění usnadňuje odhad vzdálenosti a prostorovou orientaci. Požadovaná stínivost, vyvolávající potřebnou plasticitu objektů, se dá regulovat místním osvětlením.
- *Barva světla*. Psychologicky je žádoucí, aby barva umělého světla, přesněji spektrum světelného zdroje, odpovídaly co nejvíce barvě světla přirozeného. Barva světla nesmí způsobovat větší zkreslení lokálních barevných odstínů. Příjemnost osvětlení závisí na barvě světla.
- *Zamezení oslňování*, tj. vyloučit stav zraku, kdy oko je vystaveno většímu jasů, než kterému je právě přizpůsobeno. Oslnění narušuje zrakovou pohodu, unavuje zrak, snižuje zrakovou ostrost a rozlišitelnost detailů, oslepuje. Oslnění může být buď přímé (např. světlem žárovky) nebo nepřímé (odrazem světla od stěny či lesklé plochy).
- *Stálost osvětlení*. Je třeba vyloučit změny intenzity osvětlení způsobované kolísáním napětí, technickými nedostatky, pohybem svítidla, střídáním světla a stínu, apod.
- *Estetika osvětlení*. Osvětlení prostoru má psychicky kladně, příznivě působit na člověka, na jeho náladu. Je třeba využít barvy světla v souvislosti s osvětlovanými barevnými plochami. Světlem lze zdůrazňovat důležité objekty v prostředí nebo jejich plasticitu. Světlé a stinné plochy mají být patřičně vyváženy.

Mimo uvedené požadavky je třeba zajistit snadnost údržby osvětlovacího zařízení, dobrou přístupnost k osvětlovacím tělesům, hospodárnost a ekonomii osvětlení, bezpečnost instalace osvětlení. [1] [7]

8.3 Požadavky na osvětlení prostorů, úkolů a činností dle normy

Požadavky na osvětlovací soustavy pro většinu pracovních a přílehlých prostorů z hlediska intenzity a jakosti osvětlení specifikuje norma *ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory*.

Požadavky na osvětlení udávané touto normou, které jsou uvedeny v tabulce (Tab. 1), nejsou stanoveny z hlediska bezpečnosti a zdraví pracovníků při práci, ačkoli požadavky na osvětlení uvedené v této normě zpravidla splňují bezpečnostní požadavky. Tato norma neposkytuje konkrétní řešení, neomezuje projektanty při využití nových metod nebo při použití inovovaného zařízení.

Kriteria pro navrhování osvětlení: základem dobré osvětlovací praxe je splnit kromě požadované osvětlenosti další kvalitativní a kvantitativní požadavky. Požadavky na osvětlení jsou určeny uspokojením tří základních lidských potřeb, a sice zrakové pohody, zrakového výkonu a bezpečnosti. Mezi hlavní parametry určující světelné prostředí patří rozložení jasu, osvětlenost, oslnění, směrovost světla, podání barev a barevný tón světla, míhání světla, denní světlo. [22]

Tab. 1: Požadavky na osvětlení prostorů, úkolů a činností [22]

Druh prostoru, úkolu nebo činnosti	Osvětlení E [lx]	Druh prostoru, úkolu nebo činnosti	Osvětlení E [lx]
Komunikační prostory a chodby	100	Učebny	300
Schodiště, eskalátory	150	Jazykové laboratoře	300
Šatny, umývárny, toalety	200	Laboratoře	500
Vstupní haly ve školách	200	Přednáškové haly	500
Školní jídelny	200	Psaní, čtení, zpracování dat	500
Recepce, vrátnice	300	Knihovny - místa pro čtení	500
Místnosti vyučujících	300	Tabule	500
Počítačové učebny	300	Technické kreslírny	750

9 SVĚTELNĚ TECHNICKÉ VÝPOČTY

Cílem světelně technických výpočtů je návrh osvětlovacích soustav nebo zjištění, zda kvalita osvětlení odpovídá normám a předpisům v konkrétním případě. Tyto výpočty se provádí metodou poměrných příkonů, tokovou metodou a bodovou metodou. [23]

9.1 Metoda poměrných příkonů

Používá se pouze pro předběžný návrh osvětlovací soustavy pomocí tabulek poměrných příkonů, které udávají hodnoty těchto příkonů potřebných pro stanovení určité osvětlenosti E (zpravidla 100 lx) na jednotkové osvětlované ploše pro daný typ osvětlení. Celkový příkon všech světelných zdrojů se následně stanoví na základě poměrného příkonu, požadované osvětlenosti pro konkrétní zrakový úkol a velikosti pracovní plochy, která je pro tento zrakový úkol určena.

9.2 Toková metoda

Využívá se ke stanovení průměrné osvětlenosti vnitřních prostorů, průměrného jasu stěn a stropu, průměrné osvětlenosti komunikace a průměrnému jasu vozovky. Cílem této metody je stanovení celkového příkonu osvětlovací soustavy. Při návrhu osvětlovací soustavy ve vnitřním prostoru se vychází ze základního vztahu:

$$\Phi_c = \frac{E_{pk} \cdot A}{\eta \cdot z} \quad (21)$$

kde Φ_c - celkový světelný tok všech zdrojů, E_{pk} - místně průměrná a časově minimální osvětlenost v bodech srovnávací roviny, A - plocha půdorysu vnitřního prostoru, η - činitel využití osvětlovací soustavy, z - udržovací činitel.

9.3 Bodová metoda

Slouží ke kontrole osvětlenosti, popř. jasů v kontrolním bodě. Tato kontrola se provádí v bodech vodorovných, svislých i obecně nakloněných rovin. Nevýhodou této metody je skutečnost, že v získaných výsledcích nejsou zahrnuty odražené světelné toky, navíc platí pouze pro bodový zdroj světla, jehož rozměry se blíží k nule. Skutečný zdroj světla má však určité rozměry, což způsobuje chyby výpočtu. Aby tato chyba nebyla příliš velká, tak se tyto zdroje rozdělují.

10 STUDIE ZABÝVAJÍCÍ SE OSVĚTLENÍM VE ŠKOLÁCH

Co je možné učinit pro pomoc učitelům učit a pomáhat studentům učit se? Jednou z klíčových oblastí, která zasluhuje pozornost pedagogů, správců, projektantů a údržby je právě osvětlení. Termín, který popisuje aspekty mnohem širší, než je standardní stropní osvětlovací systém, osvětlení i přímé denní světlo, nepřímé přirozené světlo, nepřímé umělé osvětlení a odražené světlo, stejně jako kontrola všech světelných zdrojů. Všechny studie říkají, že osvětlením je třeba pečlivě se zabývat již při výstavbě projektů, neboť kontrolované denní a umělé osvětlení jsou rozhodující pro kvalitu výkonu studentů.

Kvalitní osvětlení ve školách poskytuje vizuální komfort, dobrou viditelnost, dobrou reprodukci barev, jednotnost světla a minimalizuje odlesky. Při zvažování nového osvětlení je nutné podívat se na problém celostně, ne vybírat osvětlení pouze z ekonomického hlediska, tzn. z nejlevnějších možných svítidel. Při řešení osvětlení ve školách by se měla vzít v úvahu funkce každého prostoru, tzn. zda se jedná o třídu, laboratoř, společné prostory atp., použít co nejučinnější světelné zdroje a svítidla, minimalizovat umělé osvětlení, požadavky propojit s denním světlem, zajistit světlé stěny a stropy a v neposlední řadě zajistit snadné provedení údržby a čištění svítidel [24]

10.1 Studie na českých školách

Stav umělého osvětlení ve školních učebnách je stále na úrovni, která v mnoha případech nevyhovuje požadavkům moderního školství ani současné legislativě. Z výzkumů, které proběhly na českých školách, vyplývá, že až 80 % škol nesplňuje hygienické normy na osvětlení vnitřních prostor. [25]

Osvětlení škol se týká vyhláška č. 410/2005 Sb, která určuje školám řadu povinností a odkazuje se na státní technickou normu ČSN EN 12646-1, ve které jsou uvedeny konkrétní požadované parametry osvětlení. Mnoho provozovatelů škol proto stojí před problémem, jak zrekonstruovat současné osvětlení tak, aby vyhovovalo všem požadavkům a současně, aby tato rekonstrukce byla finančně co nejméně náročná. [26]

Nejčastější nedostatky v osvětlování zařízení pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých, se kterými se v rámci prováděného státního dozoru setkávají odborní pracovníci oddělení hygieny dětí a dorostu hygienických stanic jsou: nízká intenzita osvětlení, rovnoměrnost osvětlení nesplňující požadavky ČSN EN 12646-1, používání

zdrojů s různou kvalitou světla v jedné místnosti, umístění zářivek ne nad levým okrajem lavic, nedostatečné přisvětlování tabulí, hlučné obvody předřadníků, nedostatečná čistota svítidel a lavice natřené tmavou lesklou barvou. [27]

10.2 Studie na zahraničních školách

Národní informační centrum pro vzdělávání (NCEI) provedlo studii s názvem „Jak ve školských zařízeních ovlivnit akademické výsledky“, přičemž zřetelně prokázali souvislost mezi osvětlením a výsledky studentů. Zpráva uvádí, že pokud jde o osvětlení, sedm nezávislých studií prokázalo, že ve třídě osvětlení ovlivňuje právě výkon studentů. Tyto zprávy také říkají, že existuje optimální úroveň osvětlení pro učení, že vhodným osvětlením se zlepšují výsledky testů a redukuje se špatné chování, a také že denní světlo podporuje vyšší úspěch studentů. [28]

Na mnoho let, zvláště během energetické krize v roce 1970, byly navrženy školy bez oken. Cílem byla úspora energie, snížení vandalizmu a omezení vyrušování. Pozdější studie ukázaly, že učebny bez oken jsou spíše zastrašující, než aby přispěly ke vzdělávání studentů. Například, když byly ve třídách tzv. přechodná okna, studenti tak hledali rozptýlení od pozorného naslouchání.

Ve druhé polovině roku 1990 byly provedeny další studie, na nichž se podíleli Michael Nicklas a Gary Bailey. Ve svých studiích měly srovnat vliv denního osvětlení na úspěchy studentů ve třech středních školách v krajích Severní Karolíny. Úspěch byl měřen pomocí dvou různých standardizovaných testů, díky nimž Nicklas a Bailey zjistili, že studenti ve třídách s velkými okny a světlíky pro prostup přirozeného světla překonali studenty ostatních škol ve svém okrese, a sice až o 5 - 14 %. V samostatné studii spotřeby energie škol došli Nicklas a Bailey k závěru, že škola s většími okny spotřebuje o 22 - 64 % méně energie než školy ostatní.

V roce 1997 se Paul Grocoff zabýval studií, kde měřil dopad různých světelných podmínek na chování studentů. Popis jeho výsledků neobsahuje žádné podrobnosti o velikosti studie, parametry a kontroly. Souhrnný popis však ukazuje, že studenti i učitelé reagují na různou kvalitu a intenzitu světla odlišně. Paul Grocoff zjistil, že v rámci osvětlovacích systémů se testování studenti cítili nejhůře v tradiční třídě, kde byly použity teplé bílé zářivky. Studenti se cítili nejlépe pod světlíky, nebo při přírodním osvětlení.

Též zjistil, že přirozené světlo, je "pohodlné" a učitelé ocenili nízké oslnění, dobré podání barev a lepší chování studentů. [29]

Profesor Igor Knez z Univerzity ve Švédsku vypracoval studii o tom, jak nás blikání zářivkového svítidla ovlivňuje na čistě psychické úrovni. Většina pracovišť a škol ve Švédsku používá zářivkových svítidel jako hlavního zdroje světla. Nejběžnější typ bliká s frekvencí 50 Hz, tedy 100krát za sekundu. Ačkoliv se toto blikání obvykle pouhým okem nevnímá, výzkumy ukazují, že i tak podvědomě ovlivňuje náš zdravotní stav. U HF (vysokofrekvenčních) zářivek k blikání nedochází. To znamená, že tato svítidla nejen šetří energii, ale také významně snižují únavu, bolesti hlavy a stres. Pokusné osoby byly požádány, aby prováděly určitý počet úkolů za měnících se podmínek osvětlení, přičemž se vyzkoušelo osvětlení normálními zářivkami a srovnalo s působením moderního HF systému. Ve zkouškách se pak sledovalo vnímání vzruchů, úroveň činností a duševní způsobilosti k práci. Výsledky této studie ukazují, že lidé, kteří pracovali na místech s vysokofrekvenčním systémem osvětlení, vykazovali vyšší schopnost k řešení úkolů a jejich vnímání okolního prostředí bylo mnohem příjemnější, než u těch, kteří pracovali v prostředí osvětleném zářivkovými svítidly. Ve zkouškách se též používaly zářivky s různou barvou a zjistilo se, že i barva světla zářivky ovlivňuje pocity pohodlí a schopnosti při řešení úkolů, ale nebyl pozorován žádný vliv na schopnost se soustředit. [30]

10.3 Závěry studií

Oslnění je také spojeno s tabulemi a video monitory. Dobrý design osvětlení bere v úvahu umístění těchto prvků v rámci místnosti a jejich pozice, aby se zabránilo odrážení oslnění z vysoce kontrastních zdrojů. Jednou z možností pro učebny je instalace zářivkového osvětlení po obvodu místnosti. To může vytvořit mnohem jasnější prostor. [31]

Důvody, proč přirozené osvětlení zlepšuje výkon studentů, nebyly však zjištěny. Autoři studií nabídli řadu svých odhadů, mezi nimiž jsou např. zlepšená viditelnost díky vyšší kvalitě osvětlení, včetně lepšího rozdělení světla a lepšího podání barev, bez blikání a jisker. Mezi pozitivní důsledky většího množství denního osvětlení patří zlepšení zdraví, zlepšená nálada, vyšší úroveň bdělosti a zlepšené chování. [29]

11 LEGISLATIVA

Vyhláška č. 410/2005 Sb. ze dne 4. října 2005 o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých.

Osvětlení

§ 12

(1) Místa žáků v lavicích musí být v učebnách orientována tak, aby žáci nebyli v zorném poli oslňováni jasným osvětlovacích otvorů a ani si nestínili místo zrakového úkolu.

(3) Parametry umělého osvětlení ve vnitřních prostorech budov zařízení pro výchovu a vzdělávání a provozovnách pro výchovu a vzdělávání musí odpovídat normovým hodnotám¹⁴⁾.

(4) Ve stěně za tabulí nesmí být osvětlovací otvor, v opačném případě musí být zakryt neprůsvitným materiálem.

§ 13

(1) Úroveň denního i umělého osvětlení prostorů se zobrazovacími jednotkami musí být v souladu s normovými hodnotami a požadavky^{13, 14)}.

(2) Svítidla musí být vhodně rozmístěna a mít takové rozložení jasů a úhly clonění, aby nedocházelo ke ztížení zrakového úkolu.

§ 15

(1) Pro většinu zrakových činností v zařízeních i provozovnách pro výchovu a vzdělávání se vyžaduje směr osvětlení zleva a shora, umístění řad svítidel u umělých osvětlovacích soustav rovnoběžně s okenní stěnou nad levý okraj lavic.

(5) Osvětlovací soustavy a části vnitřních prostorů odrážející světlo musí být čištěny a obnovovány ve lhůtách daných plánem údržby a musí být udržovány v takovém stavu, aby požadované vlastnosti osvětlení byly splněny po celou dobu života osvětlovací soustavy.

¹³⁾ ČSN 360020.

¹⁴⁾ ČSN EN 12464-1.

12 POČÍTAČOVÁ SIMULACE V PROGRAMU WILS 6.3

Program Wils je výkonným prostředkem ke stanovení parametrů umělého osvětlení, jejichž hodnoty je třeba znát ke správnému návrhu osvětlení tak, aby bylo dosaženo požadovaného zrakového výkonu i zrakové pohody. Výsledky získané tímto systémem odpovídají požadavkům ČSN 12 464-1, ČSN 36 0400 i ČSN 36 0020.

Mezi hlavní výhody tohoto programu patří, že se jedná o český software podle českých a evropských norem, kompatibilita – až 80 % projektantů k výpočtům osvětlení používá právě Wils, výstupy jsou bez problémů akceptovány hygienickou službou, umožňuje komfortní ovládání a výstupy ve spolupráci s CAD systémy, je zde možnost řešení sdruženého osvětlení po načtení výpočtu denního osvětlení.

12.1 Metody výpočtu

Tento program poskytuje následující metody výpočtu:

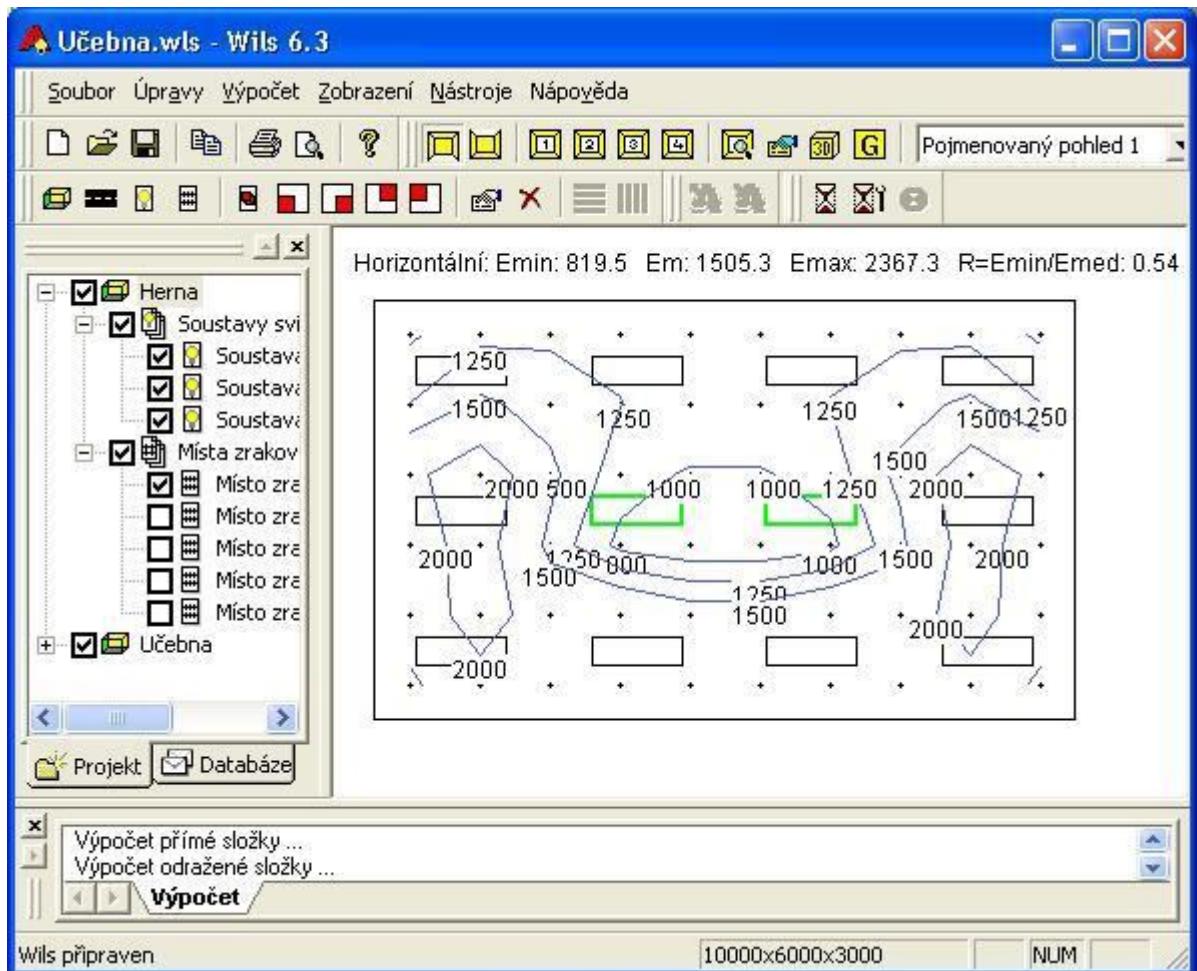
- bodovou metodu "dělení zdrojů" výpočtu přímé složky osvětlenosti
- bodovou metodu mnohonásobných odrazů výpočtu odražené složky osvětlenosti
- tokovou metodu rychlého návrhu počtu svítidel v prostoru
- výpočet udržovacího činitele podle ČSN EN 12464-1/Z1
- výpočet činitele oslnění UGR (vnitřní prostory) podle EN 12464-1
- výpočet činitele oslnění GR (venkovní prostory) podle CIE
- výpočet jasů vozovek podle EN 13201
- výpočet prahového přírůstku - oslnění vozovek

12.2 Další vlastnosti programu

Program umožňuje prezentační vizualizace ve 3D formátu, řešení různých režimů provozu, tabulkovou editaci jednotlivých svítidel, vázané soustavy svítidel, zobrazování souřadnic svítidel na osách, možnost posouvání svítidel s udržením směrového bodu, zobrazení podhledového rastru, barevné izolinie, více obrázků k místnosti, snadnější zadání nepravidelné místnosti ve spolupráci s CADEM a další.

Co se týká grafických vlastností programu, umožňuje přepínatelné editační a vizualizační zobrazení, nastavitelné zobrazení podle potřeb, výsledky výpočtu osvětlenosti,

jasu nebo činitele oslnění lze zobrazit formou tabulky nebo izo diagramu a též umožňuje práci s pojmenovanými pohledy.



Obr. 5: Ukázka izoliní při výpočtu osvětlenosti místnosti

II. PRAKTICKÁ ČÁST

13 PRAKTICKÉ MĚŘENÍ OSVĚTLENÍ

Jedním z prvních cílů mé práce bylo změřit osvětlení ve vybraných učebnách budovy Fakulty technologické na UTB ve Zlíně. Naměřené hodnoty jsou zpracovány v tabulkách (tab. 2,3,4), zprůměrovány a porovnány s normovými hodnotami osvětlenosti.

V další části práce jsou uvedeny výsledky z měření vlastností materiálů, a sice činitele prostupu světla skrz dané materiály. Naměřené hodnoty jsou opět zpracovány do tabulky (tab. Y), zprůměrovány a porovnány s normami.

V neposlední části bylo provedeno měření činitele odrazu světla od různě barevných vnitřních prostorů budov. Údaje jsou uvedeny v tabulce (tab. Z) a výsledky jsou opět porovnány s hodnotami uvedenými v normách.

Princip poslední části této práce spočíval ve využití naměřených a zjištěných vlastností v programu Wils 6.3, kde se nasimulovala kvalita umělého osvětlení v daných místnostech a pomocí toho se určilo optimální osvětlení právě těchto místností.

13.1 Přístroje na měření vlastností osvětlení

Pro způsob měření umělého osvětlení byla u nás vydána norma *ČSN 360015 – Měření umělého osvětlení*, ve které je mimo jiné uveden vzorový formulář pro zápis a postup měření umělého osvětlení ve vnitřních prostorech.

Před měřením je nutno nejdříve určit pracovní plochu, tzv. rovinu, v níž je z největší části práce konaná a podle zjištěných údajů se určí srovnávací rovina, na které se požaduje stupeň osvětlení dle druhu práce. Není-li tato srovnávací rovina určena, nebo není-li možno ji určit, je to vodorovná rovina ve výšce 85 cm nad podlahou.

Ve světelné technice se hodnotí zdroje světla, svítidla, hmoty a osvětlení podle mnoha vlastností. Protože těchto vlastností je velký počet (svítivost, světelný tok, jas osvětlení, barevné hodnoty, propustnost atd.) a každá z těchto hodnot se dá měřit několika postupy, je měření světla obor velmi obsáhlý.

Metody měření se dělí na *fotometrii*, která se zabývá měřením světelných hodnot a vlastností bez zřetele k barvě světla, *kolorimetrii*, která se zabývá měřením barevných vlastností světla a hmot, a na *spektrometrii*, při které se světlo rozkládá na jeho složky dle vlnové délky a měří se světelné hodnoty nebo vlastnosti hmot a zařízení při různých délkách vlny. [10]

13.1.1 Měření intenzity osvětlení

Protože se osvětlení měří převážně v terénu, vyžadují se přístroje lehké a přenosné. Většina přístrojů používajících se k měření osvětlení má stupnici v luxech, nazývají se tedy luxmetry a pracují na jednoduchém principu, a sice že citlivá kalibrovaná fotodioda převede tok záření na elektrický signál a ten se přepočítá na osvětlení.

Luxmetry se dělí na vizuální, objektivní a selenové.

1. *Vizuální luxmetry*: Světlo od neznámého zdroje je možno regulovat a dopadá do jednoho zorného pole. Druhé zorné pole vzniká osvětlením od neznámého objektu. Dnes se používají málo, i když mají široký rozsah měření, neboť jsou drahé.

2. *Objektivní luxmetry*: Jako přijímače záření fotočlánek. Elektrický proud, který v něm vzniká, je úměrný osvětlení. K měření proudu se používá citlivý mikroampérmetr.

3. *Selenové luxmetry*: Selenový fotočlánek se umísťuje přímo s mikroampérmetrem do společného pouzdra - vyskytuje se u starších přístrojů. Dnes bývá fotočlánek volně pohyblivý a proud se z něj odvádí přírodním vodičem do mikroampérmetru. [33]

V mém případě byl k měření světelně technických vlastností materiálů použit digitální luxmetr Voltcraft MS-1300 (Obr. 5). Tento přístroj slouží k přesnému zjištění potřebného světla doma, na pracovišti nebo k přezkoušení jednotlivých svítidel. Je skladný, snadno ovladatelný a jeho součástí je externí optický snímač. Měří v rozsahu (0,1 - 50 000) lx, a sice s přesností 5 %.



Obr. 6: Digitální luxmetr [34]

13.2 Měření osvětlení v interiéru budovy školy

13.2.1 Postup práce

Cílem bylo změřit osvětlenost E v několika vybraných místnostech fakulty technologické a porovnat je s normami. Měření bylo prováděno již zmíněným přenosným digitálním luxmetrem podle normy ČSN 36 0011-1 *Měření osvětlení vnitřních prostorů*, která udává, jak určit kontrolní body pro měření osvětlenosti a také podmínky pro měření osvětlení. Kontrolní body mají být umístěny na pracovních místech ve výšce 0,85 m nad podlahou, není-li podle konkrétní funkce vnitřního prostoru stanovena výška jiná, např. u pracovních stolů. Mezi další podmínky měření patří, že při měření nesmí do místnosti proudit denní světlo, tudíž měření probíhalo ve večerních hodinách při stažených roletách a v daném prostoru bylo použito pouze umělé světlo. Po rozsvícení světel se muselo alespoň dvě minuty počkat, než se intenzita světla ustálí, a poté se mohlo začít s měřením. Na fakultě jsem si tedy vybrala 14 prostorů a míst a dle výše uvedených podmínek jsem vždy v deseti rovnoměrně rozložených kontrolních bodech, ve výšce pracovních stolů, změřila jejich osvětlenost. Výsledky jsou zaznamenány v tabulce (Tab. 2).

13.2.2 Vypracování

Tab. 2: Naměřené hodnoty osvětlení v interiéru školní budovy

i	Osvětlení daných místností E [lx]				
	A	B	C	D	E
1	278	481	67	571	353
2	306	478	54	497	375
3	95	460	172	729	367
4	139	847	292	388	379
5	217	785	224	447	271
6	266	710	284	458	420
7	174	784	117	416	410
8	258	507	75	783	370
9	266	456	84	575	408
10	156	491	60	399	292

$(\bar{E} \pm \sigma)$ [lx]	216 ± 23	599 ± 51	143 ± 31	526 ± 44	365 ± 15
\bar{E}_m [lx]	200	500	150	300	300
i	Osvětlení daných místnosti E [lx]				
	F	G	H	I	J
1	278	583	271	370	162
2	272	329	298	305	139
3	300	338	282	399	124
4	288	324	291	505	84
5	246	378	363	431	145
6	249	316	368	330	144
7	241	247	230	234	94
8	166	73	336	273	125
9	282	90	328	263	116
10	313	41	328	361	123
$(\bar{E} \pm \sigma)$ [lx]	264 ± 13	272 ± 52	309 ± 14	347 ± 26	126 ± 7
\bar{E}_m [lx]	100	500	500	500	500
i	Osvětlení daných místnosti E [lx]				
	K	L	M	N	O
1	220	680	240	163	405
2	246	667	257	89	410
3	233	512	293	168	480
4	254	567	376	137	520
5	272	640	229	157	491
6	269	248	323	115	565
7	300	866	305	277	509
8	229	977	96	88	552
9	246	789	111	233	553
10	159	637	214	135	501
$(\bar{E} \pm \sigma)$ [lx]	244 ± 12	658 ± 63	244 ± 28	156 ± 20	498 ± 53
\bar{E}_m [lx]	100	500	200	200	500

Kde: i – číslo měření; E – naměřená osvětlenost; \bar{E} – aritmetický průměr naměřených osvětleností; $\bar{\sigma}$ – směrodatná odchylka aritmetického průměru; \bar{E}_m – osvětlenost dle normy

Pro zjednodušení bylo každé místnosti přiřazeno písmeno abecedy – viz tabulka (Tab. 5).

Tab. 3: Vysvětlení označení jednotlivých místností

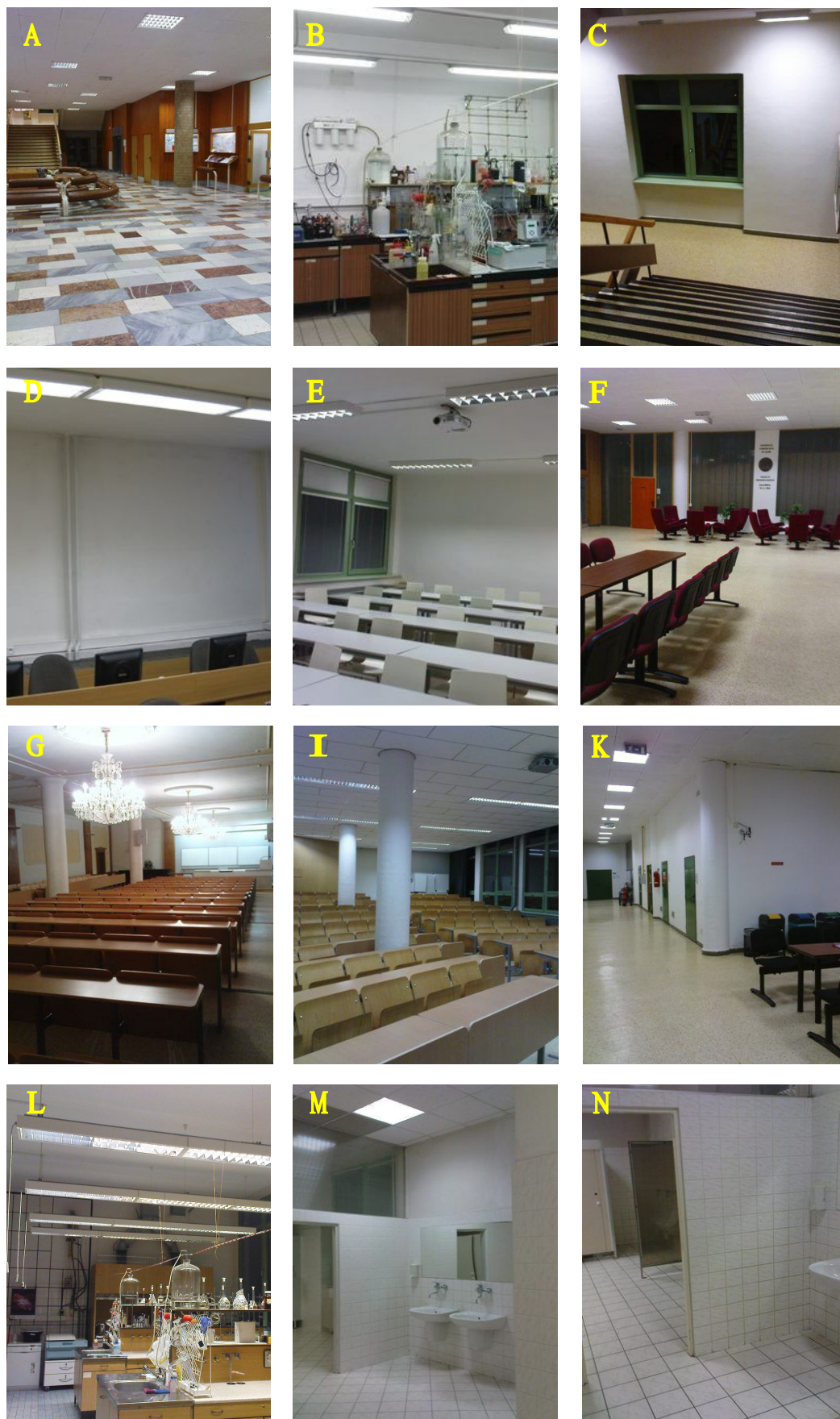
ozn.	místnost	ozn.	místnost	ozn.	místnost
A	vestibul	F	chodba 3. patro	K	chodba 4. patro
B	laboratoř č. 106	G	III. posluchárna	L	laboratoř č. 407
C	schodiště	H	tabule ve III. posluchárně	M	dámské toalety
D	pc učebna	I	IV. posluchárna	N	pánské toalety
E	učebna č. 222	J	tabule ve IV. posluchárně	O	laboratoř č. 436

Příklad výpočtů pro místnost A - vestibul:

$$\text{průměrná osvětlenost } \bar{E}: \bar{E} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i = \frac{278 + 306 + \dots + 156}{10} = \frac{2155}{10} = 215,5 \text{ lx}$$

směrodatná odchylka $\bar{\sigma}$:

$$\bar{\sigma}_E = \sqrt{\frac{\sum E_i^2 - \frac{1}{n} (\sum E_i)^2}{n \cdot (n-1)}} = \sqrt{\frac{(278^2 + 306^2 + \dots + 156^2) - \frac{1}{10} \cdot 2155^2}{10 \cdot (10-1)}} = 22,57 \text{ lx}$$



Obr. 7: Vybrané druhy prostorů k měření osvětlenosti

13.2.3 Diskuze

Z naměřených a vypočtených výsledků lze vidět, že ne všechny místnosti splňují osvětlenost danou normami, konkrétně tedy posluchárna III, tabule ve III. posluchárně, posluchárna IV, tabule ve IV. posluchárně a pánské toalety jsou hodně pod hodnotou danou normou. Odchytky mohou být způsobené rušícími vlivy měření, jako jsou např. špatná údržba svítidel, prach, špatně zvolené zdroje světla. Nejlépe jsou na tom laboratoř č. 106, č. 407 a chodba ve 3. i 4. patře.

Z výsledků tedy vyplývá, že nejvíce pod normovou hodnotou je tedy tabule ve IV. posluchárně, kdy naměřená hodnota byla 125,6 lx a dle normy by měla být až 500 lx, naopak normu nejvíce přesáhlo osvětlení v laboratoři č. 407 (658,3 lx vs. 500 lx) a v chodbě 4. patra (243,8 lx vs. 100 lx). V hůře osvětlených místnostech bych doporučila kromě údržby svítidel alespoň přidat doplňující osvětlení, ovšem aby nedocházelo k oslnění.

13.3 Měření činitele prostupu světla přes materiály

13.3.1 Postup práce

Účelem měření činitele prostupu světla τ přes dané materiály bylo zjistit, které z materiálů mají propustnost světla nejlepší. Jako vzorky byly různé druhy skla, plastů a záclona. Měření se provádělo dle příslušné normy, a sice tak, že se měřilo pomocí luxmetru s čidlem přiloženým rovnoběžně s povrchem měřeného materiálu směrem ven a bezprostředně potom se měřilo s čidlem ve stejné poloze, ale s otevřeným osvětlovacím otvorem. Hodnota činitele prostupu světla je dána jako podíl obou změřených osvětleností. Měření probíhalo ve venkovním prostoru za denního světla, ovšem při zatažené obloze, aby změnou intenzity záření nedocházelo k ovlivňování výsledků měření. Průměrné výsledky měření u prvních vzorků jsou zaznamenány v tabulce (Tab. 4), zbývající tabulky s přehledem výsledků jsou uvedeny v příloze.

13.3.2 Vypracování

Tab. 4: Přehled průměru naměřených a vypočtených hodnot pro dané materiály

Materiál	Tloušťka materiálu [mm]	E_d [lx]	E_r [lx]	τ [1]	Poznámka
PP (bílý)	-	381	335	0,88	
PP (modrý)	-	336	112	0,33	
PE (euroobal)	-	343	308	0,89	
Sklo - čiré	2,85	380	337	0,89	
Sklo - čiré	3,85	380	335	0,88	
Sklo - čiré	4,85	380	332	0,87	
Sklo - čiré	10,00	379	317	0,84	
Sklo - čiré 2x	3,85 + 4,85	367	305	0,83	žádná vzduch. mezera
Sklo - čiré 2x	3,85 + 4,85	352	264	0,75	vzduch. mezera 3,85 mm
Sklo - čiré 2x	3,85 + 4,85	365	228	0,62	vzduch. mezera 10 mm
Sklo - vzorek č.1	3,85	378	322	0,85	
Sklo - vzorek č.2	3,85	375	321	0,86	
Sklo - vzorek č.3	3,85	373	312	0,84	
Sklo - kouřové	4,00	484	142	0,29	
Sklo - matné 1	4,00	474	321	0,68	
Sklo - matné 2	4,00	482	283	0,59	
Sklo - matné 3	4,00	489	267	0,55	
Záclona	-	547	471	0,86	
Matné 1 + záclona	-	311	191	0,61	
Matné 3 + záclona	-	312	170	0,54	
matné 1 + matné 3	4,00 + 4,00	409	203	0,49	vzduch.mezera 4 mm
matné 3 + matné 1	4,00 + 4,00	414	157	0,38	vzduch.mezera 4 mm
matné 1 + kouřové	4,00 + 4,00	406	85	0,21	vzduch.mezera 4 mm
kouřové + matné 1	4,00 + 4,00	406	68	0,17	vzduch.mezera 4 mm

matné 1 – slabě matné, matné 3 - nejmatnější

Tab. 5: Naměřené hodnoty prostupu světla a vypočtený činitel prostupu

i	PP - bílý			PP - modrý			PE - euroobal		
	E_d [lx]	E_τ [lx]	τ [1]	E_d [lx]	E_τ [lx]	τ [1]	E_d [lx]	E_τ [lx]	τ [1]
1	336	296	0,88	336	112,4	0,33	339	301	0,89
2		294	0,88		112,5	0,33		303	0,89
3		298	0,89		112,3	0,33		302	0,89
4		295	0,88		112,3	0,33		302	0,89
5		297	0,88		112,5	0,33		299	0,88
6		296	0,88		112,5	0,33		301	0,89
7		296	0,88		112,7	0,34		301	0,89
8		293	0,87		112,4	0,33		297	0,88
9		297	0,88		112,5	0,33		301	0,89
10		296	0,88		112,7	0,34		300	0,88
$(\bar{\tau} \pm \bar{\sigma})$ [1]	$0,88 \pm 0,15 \cdot 10^{-2}$			$0,33 \pm 0,13 \cdot 10^{-2}$			$0,89 \pm 0,15 \cdot 10^{-2}$		

Kde: E_d - osvětlení dopadající na povrch překážky; E_τ - osvětlení prostupující překážkou; τ - činitel prostupu světla

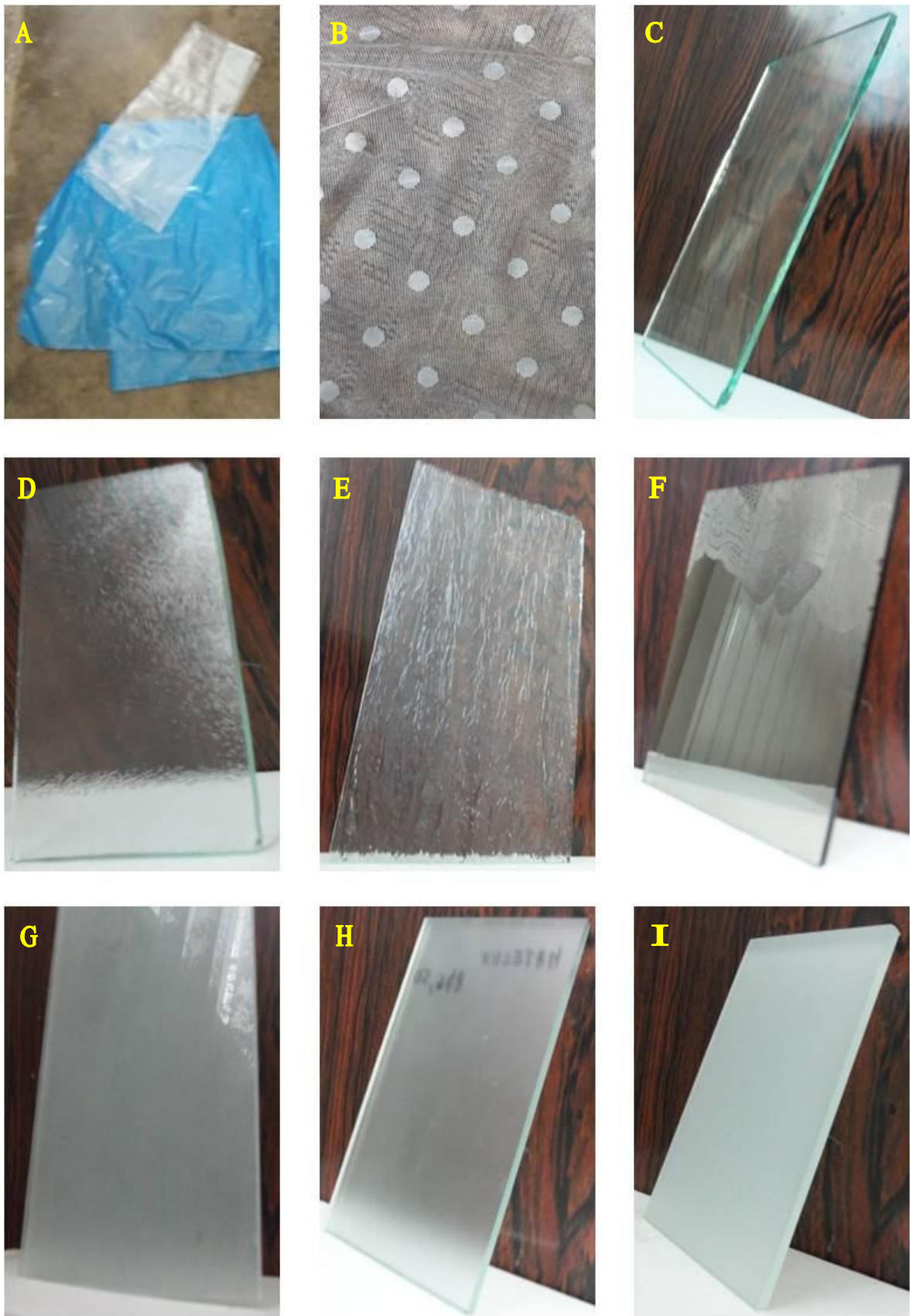
Příklad výpočtů pro měření č. 1 u bílého polypropylenu:

$$\text{činitel odrazu } \rho: \rho = \frac{E_o}{E_d} = \frac{229}{336} = 0,88$$

$$\text{průměrná osvětlenost } \bar{\rho}: \bar{\rho} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \rho_i = \frac{0,88 + 0,88 + \dots + 0,88}{10} = \frac{8,8}{10} = 0,88$$

směrodatná odchylka $\bar{\sigma}$:

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum \rho_i^2 - \frac{1}{n} (\sum \rho_i)^2}{n \cdot (n-1)}} = \sqrt{\frac{(0,63^2 + 0,76^2 + \dots + 0,65^2) - \frac{1}{15} \cdot 118,22^2}{15 \cdot (15-1)}} = 0,014$$



Obr. 8: Vzorok plastů a skel: **A** - PP; **B** - záclona; **C** - sklo čiré; **D** - vzorek č.1; **E** - vzorek č. 3; **F** - sklo kouřové; **G** - sklo matné 1; **H** - sklo matné 2; **I** - sklo matné 3

13.3.3 Diskuze

Z naměřených výsledků je patrné, že byly potvrzeny fyzikální zákony, že čiré světla propouští více světla než matné či vzorované skla, stejně tak tenčí skla propustí více světla než silnější. Též platí, že při kombinaci dvou skel se zvyšující vzduchovou mezerou klesá činitel prostupu světla.

13.4 Měření činitele odrazu světla

13.4.1 Postup práce

Cílem této praktické části bylo stanovit činitele odrazu světla ρ od různě barevných povrchů zdí a různých překážek v interiéru budov. Měření bylo opět prováděno digitálním luxmetrem a splňovalo požadavky normy stejně jako v předcházejících měřeních. Měřilo se v 15-ti rovnoměrně rozložených kontrolních bodech na dané zdi či překážce, a sice tak, že luxmetrem byla změřena osvětlenost daného povrchu a potom za stejných podmínek osvětlenost s čidlem luxmetru obráceným k danému povrchu tak, aby čidlo bylo rovnoběžné s tímto povrchem, nestínilo jej (ve vzdálenosti nejméně 20 cm) a aby na něj nedopadalo světlo z jiných zdrojů. Hodnota činitele odrazu světla se poté vypočítala jako podíl obou naměřených hodnot osvětlenosti. Měření probíhalo za denního světla, ale kvůli měnící se intenzitě slunečního záření, což by měření negativně ovlivňovalo, se měřilo v době zatažené oblohy. Výsledky měření jsou zaznamenány v tabulkách (Tab. 6, 7).

13.4.2 Vypracování

Tab. 6: Naměřené hodnoty činitele odrazu světla

i	Barva povrchu stěn či překážek								
	bílá			béžová			světle žlutá		
	E_d [lx]	E_o [lx]	ρ [1]	E_d [lx]	E_o [lx]	ρ [1]	E_d [lx]	E_o [lx]	ρ [1]
1	95,7	73,6	0,63	76	27	0,36	37,5	24,7	0,66
2	100,1	79,9	0,76	85	60	0,71	39,4	24,8	0,63
3	102,2	87,2	0,73	195	125	0,64	43,8	27,3	0,62
4	132,5	102,7	0,68	86	56	0,65	52,7	29,1	0,55

5	184,9	141,0	0,76	97	65	0,67	33,2	21,0	0,63
6	98,2	80,1	0,73	82	56	0,68	37,3	24,9	0,67
7	102,3	82,2	0,67	101	68	0,67	40,1	27,2	0,68
8	96,1	84,8	0,77	141	89	0,63	46,6	31,1	0,67
9	121,0	103,1	0,86	80	56	0,70	50,2	35,1	0,70
10	135,1	107,3	0,73	107	65	0,61	28,3	20,8	0,73
11	85,6	72,3	0,73	183	101	0,55	32,0	20,5	0,64
12	92,5	82,2	0,74	196	102	0,52	36,9	23,3	0,63
13	89,5	73,8	0,74	76	50	0,66	41,8	26,5	0,63
14	92,0	81,7	0,69	66	45	0,68	47,0	30,5	0,65
15	96,1	89,3	0,65	108	60	0,56	23,7	17,7	0,75
$(\bar{\rho} \pm \bar{\sigma})[1]$	0,83 \pm 0,01			0,61 \pm 0,02			0,65 \pm 0,01		
$\bar{\rho}_m [1]$	0,75 – 0,89			0,60 – 0,70			0,60 – 0,70		

Tab. 7: Naměřené hodnoty činitele odrazu světla

i	Barva povrchu stěn či překážek								
	tmavě červená			světle zelená			hnědá		
	E_d [lx]	E_o [lx]	ρ [1]	E_d [lx]	E_o [lx]	ρ [1]	E_d [lx]	E_o [lx]	ρ [1]
1	98	21	0,21	86	42	0,49	58,2	14,1	0,24
2	104	21	0,20	85	38	0,45	55,0	12,7	0,23
3	133	31	0,23	83	41	0,49	49,3	12,5	0,25
4	214	33	0,15	97	49	0,51	48,2	12,2	0,25
5	110	24	0,22	99	42	0,42	42,2	11,6	0,27
6	145	27	0,19	103	51	0,50	44,0	10,1	0,23
7	200	33	0,17	84	43	0,51	56,7	14,2	0,25
8	132	27	0,20	71	34	0,48	49,1	11,8	0,24
9	200	33	0,17	57	28	0,49	46,4	11,1	0,24
10	168	31	0,18	60	29	0,48	42,8	10,9	0,25
11	242	36	0,15	64	29	0,45	52,5	12,1	0,23
12	220	32	0,15	46	23	0,50	55,3	14,9	0,27
13	93	18	0,19	46	21	0,46	47,2	12,3	0,26

14	99	16	0,16	39	18	0,46	43,6	10,9	0,25
15	146	21	0,14	46	24	0,52	50,2	12,6	0,25
$(\bar{\rho} \pm \bar{\sigma})[1]$	0,18 ± 0,01			0,48 ± 0,01			0,25 ± 0,01		
$\bar{\rho}_m [1]$	0,15 - 0,30			0,45 - 0,65			0,15 - 0,25		

Kde: i - číslo měření; E_d - osvětlení dopadající na povrch zdi; E_p - osvětlení odrážející se od povrchu zdi; ρ - činitel odrazu světla od povrchu zdi; $\bar{\rho}$ - aritmetický průměr naměřených hodnot činitelů odrazu; $\bar{\sigma}$ - směrodatná odchylka aritmetického průměru činitelů odrazu; $\bar{\rho}_m$ - činitel odrazu světla dle normy

Příklad výpočtů pro měření č. 1 u bílé barvy:

$$\text{činitel odrazu } \rho: \rho = \frac{E_o}{E_d} = \frac{135}{213} = 0,63$$

$$\text{průměrná osvětlenost } \bar{\rho}: \bar{\rho} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \rho_i = \frac{0,63 + 0,76 + \dots + 0,65}{15} = \frac{20,87}{15} = 0,72$$

směrodatná odchylka $\bar{\sigma}$:

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum \rho_i^2 - \frac{1}{n} (\sum \rho_i)^2}{n \cdot (n-1)}} = \sqrt{\frac{(0,63^2 + 0,76^2 + \dots + 0,65^2) - \frac{1}{15} \cdot 118,22^2}{15 \cdot (15-1)}} = 0,014$$

13.4.3 Diskuze

Z měření a následných výpočtů vyplývá, že hodnoty činitele odrazu světla od povrchů zbarvených bíle, béžově, světle žlutě, tmavě červeně, světle zeleně i hnědě se s rozsahem hodnot činitele odrazu světla určených v normě shodly. U béžové, tmavě červené a světle zelené zdi byly však naměřené hodnoty na spodní hranici daného rozsahu, což mohlo být způsobeno odstínem barvy, příp. světelnými podmínkami při měření. Měřením se též potvrdilo, že tmavší odstíny barev pohlcují více světla, tudíž odráží méně, než je tomu u světle barevných odstínů povrchů předmětů.

14 OPTIMALIZACE OSVĚTLENÍ POMOCÍ PROGRAMU WILS 6.3

K optimalizaci osvětlení školních učeben byl použit program Wils (kap. 12). Nejprve bylo třeba definovat daný prostor, kterým jsou jednou školní laboratoře, podruhé seminární místnost. Uspořádání překážek v prostoru lze vidět v příloze v zobrazení 3D. Při výpočtech byla použita toková metoda průměrných hodnot osvětlenosti (kap. 9.2).

14.1 Laboratoř

Laboratoř, která je na obrázku (Obr. 8), byla zvolena jako ukázková místnost o rozměrech 6000 mm x 6000 mm x 3700 mm, ve které se pomocí programu Wils 6.3 prováděly platnosti určitých fyzikálních zákonů. Jedná se o laboratoř z UTB-FT č. 106, která poskytuje reálné osvětlení 600 lx, přičemž dle normy by zde mělo stačit osvětlení 500 lx. V případě, že by se zde prováděly jemnější práce, by ona osvětlenost měla být až 750 lx. Svítidla zde v laboratoři jsou umístěna 0,5 m pod stropem. Jako zdroje světla jsou v laboratoři zvolené GE typu F36W/33-640 s vlastnostmi: světelný tok $\Phi = 2\,850$ lm, příkon 36 W, životnost 9 000 h. Při simulaci v programu Wils s použitím skutečných zdrojů světla vycházela maximální osvětlenost v laboratořích 581,7 lx.

V tabulce (Tab. 8) je uveden přehled skutečně naměřených hodnot odrazu světla od jednotlivých povrchů překážek, přičemž tyto hodnoty jsou použity při počítačových simulacích. Jsou provedeny i zkoušky na oslnění, které by dle normy nemělo být větší než 19.



Obr. 9: Univerzitní laboratoř

Tab. 8: Skutečné hodnoty odrazu světla v laboratoři

Překážka	\bar{E}_d [lx]	\bar{E}_o [lx]	ρ [1]
Povrch pracovních stolů	121,2	36,4	0,30
Skříně	149,5	37,4	0,25
Dveře	110,2	57,6	0,52
Podlaha	117,1	41,0	0,35
Zdi	132,4	101,9	0,77

Kde: \bar{E}_d - průměrné osvětlení dopadající na povrch; \bar{E}_o - průměrné osvětlení odražené se od povrchu; ρ - činitel odrazu světla

14.1.1 Změna barev povrchů stěn

Zde se simulovalo porovnání osvětlenosti laboratoře v případech, kdy budou mít zdi jiný činitel odrazu, resp. jinou barvu. V níže uvedené tabulce (Tab. 10) jsou zvolené hodnoty činitele odrazu a jim, dle normy, příslušející barva a následně vypočtené hodnoty osvětlenosti.

Tab. 9: Závislost změny osvětlení na změně činitele odrazu stěn, resp. jejich barev

ρ [1]	Odpovídající barva	E_{min} [lx]	E_m [lx]	E_{max} [lx]
0,40	světle červená, světle šedá	24,9	385,3	564,9
0,50	tmavě žlutá, světle zelená, světle modrá	0,0	345,0	536,0
0,60	běžová, světle žlutá	32,5	399,7	579,2
0,75	bílá	0,0	379,5	581,7

Kde: ρ - činitel odrazu světla, E_{min} - minimální osvětlenost, E_m - střední osvětlenost,

E_{max} - maximální osvětlenost

14.1.1.1 Diskuze

Díky výsledkům dané simulace lze potvrdit platnost jednoho z fyzikálních zákonů, a sice že s rostoucím činitelem odrazu povrchu, resp. se světlejší barvou, je v dané místnosti dosaženo vyšší osvětlenosti než při použití barev tmavších, které pohlcují více světla než právě ty světlé, tudíž méně světla odráží zpět do prostoru.

14.1.2 Změna barvy podlahy

Změnou barvy podlahy jsem se snažila nasimulovat, že i tohle má vliv na celkové osvětlení prostoru.

Tab. 10: Změna osvětlenosti vlivem změny barvy podlahy

ρ [1]	Odpovídající barva	E_{min} [lx]	E_m [lx]	E_{max} [lx]
0,15	tmavě modrá, tmavě šedá, hnědá,	31,9	394,8	577,5
0,25	tmavě červená, tmavě zelená,	33,8	398,6	582,1
0,35	-	35,8	402,4	586,8
0,45	světle červená, světle šedá	37,8	406,3	591,6
0,55	tmavě žlutá, světle zelená, světle modrá	39,8	410,2	596,9

0,65	světle žlutá, béžová	41,8	414,2	601,4
0,75	bílá	43,9	418,3	606,4

Kde: ρ - činitel odrazu světla, E_{min} - minimální osvětlenost, E_m - střední osvětlenost,

E_{max} - maximální osvětlenost

14.1.2.1 Diskuze

Ukázalo se, že i zde platí fyzikální zákony, a sice čím světlejší povrch, byť by se to týkalo jen podlahy, tím větší osvětlenost v celé místnosti. Při použití bílé barvy oproti tmavým se osvětlenost zvýší až o 30 lx. Rozdíl v osvětlenosti je patrný už i u bílé barvy versus např. světle zelené či světle šedé.

14.1.3 Změna výšky pracovních stolů, resp. míst zrakového úhlu

Při této simulaci se mělo dokázat, že čím výše jsou pracovní plochy položeny, tím více světla na ně dopadá. Níže uvedená simulace je provedena při reálném stavu osvětlovací soustavy i umístění překážek. Skutečná výška pracovních stolů je 90 cm.

Tab. 11: Změna osvětlenosti v závislosti na změně výšky stolů

Výška pracovních stolů [cm]	E_{min} [lx]	E_m [lx]	E_{max} [lx]	UGR_{L-max}
60	0,0	290,1	545,5	16,9
90	0,0	379,5	581,7	18,0
120	24,2	443,6	633,7	18,4

Kde: E_{min} - minimální osvětlenost, E_m - střední osvětlenost, E_{max} - maximální osvětlenost, UGR_{L-max} - maximální činitel oslnění

14.1.3.1 Diskuze

Ve výše uvedené tabulce (Tab. 11) jsou zaznamenány osvětlenosti na místech zrakového úhlu v různých výškách, přičemž při skutečné výšce 90 cm je osvětlenost 582 lx, při snížení pracovní výšky na 60 cm klesla osvětlenost na 546 lx a naopak, při zvýšení výšky pracovních míst na 120 cm stoupla osvětlenost až na 634 lx, čímž se dokazuje, že čím je plocha blíže ke zdroji světla, tím více světla na ní dopadá a naopak,

čím je od světelného zdroje dál, tím má menší osvětlenost. Pro laboratorní práci je však z hlediska polohy pro člověka výška 90 cm akorát a osvětlení při této výšce je dostačující. Též se dokázalo, že čím výše jsou místa zrakového úkolu, tím vyšší je oslnění v daných bodech.

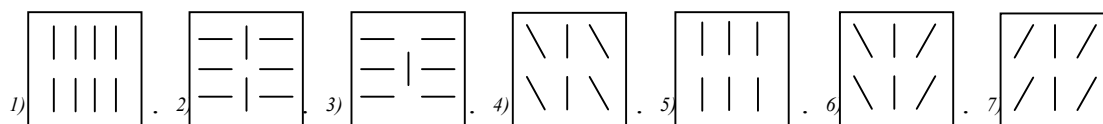
14.1.4 Změna počtu, polohy a výškového umístění původních světel

V programu se provedlo měření osvětlenosti laboratoří s reálným uspořádáním osvětlení a poté s různými variantami tak, aby se zkusilo dosáhnout lepší osvětlenosti. Simulace se prováděla ve dvou případech, kdy umístění světla bylo 0,5 m pod stropem, jak je tomu ve skutečnosti a ve druhém případě se světla zkoušela posadit přímo na strop.

Tab. 12: Simulace osvětlení s různě umístěnými svítidly

Umístění	Rozložení světel	E_{min} [lx]	E_m [lx]	E_{max} [lx]
0,5 m pod stropem	4 x 2 ¹⁾	0,0	379,5	581,7
	3 x 2 + 2 ²⁾	37,1	399,8	669,1
	3 x 2 + 1 ³⁾	26,3	334,4	614,5
	3 x 2 ⁴⁾	34,3	314,4	524,2
	3 x 2 ⁵⁾	27,7	261,3	478,1
	3 x 2 ⁶⁾	30,5	321,2	516,7
	3 x 2 ⁷⁾	30,6	321,3	527,1
na stropě	4 x 2 ¹⁾	49,9	413,5	572,3
	3 x 2 + 2 ²⁾	61,6	404,3	622,4
	3 x 2 + 1 ³⁾	40,7	341,0	552,0
	3 x 2 ⁴⁾	50,8	312,4	485,2
	3 x 2 ⁵⁾	52,1	291,3	459,2
	3 x 2 ⁶⁾	46,1	310,2	476,4
	3 x 2 ⁷⁾	46,2	310,7	478,8

Kde: E_{min} - minimální osvětlenost, E_m - střední osvětlenost, E_{max} - maximální osvětlenost



14.1.4.1 Diskuze

Z výše uvedeného přehledu vyplývá, že co se týká umístění světel přímo na stropě nebo kousek pod ním, resp. v tomto případě 0,5 m pod stropem, vychází celková osvětlenost v laboratořích vyšší ve druhém případě. Rozdíl je zde až v řádech desítek lx.

Když vezmeme rozmístění svítidel, existují i lepší varianty než jako je tomu ve skutečnosti, např. při uspořádání v případě ³⁾, kdy se výsledná osvětlenost pohybuje kolem hodnoty reálné. Rozdíl umístění svítidel spočívá v nechání jednoho svítidla umístěného uprostřed místnosti, otočení dalších šesti svítidel o 90° umístěných po stranách laboratoří a zbývající svítidlo se vynechá. Vzhledem k tomu, že vytvořená osvětlenost by skutečnou překračovala pouze o minimum, by tento způsob rozmístění svítidel vyšel ekonomicky nejlépe, ovšem pokud by se v laboratořích prováděly jemnější práce, kdy je dle normy potřeba silnějšího osvětlení, doporučovala bych variantu ³⁾, která má stejný počet svítidel jako původní soustava, ovšem jinak rozmístěných a výsledná osvětlenost by se tím zvýšila až o 60 lx.

14.2 Návrhy optimalizace osvětlení v laboratoři

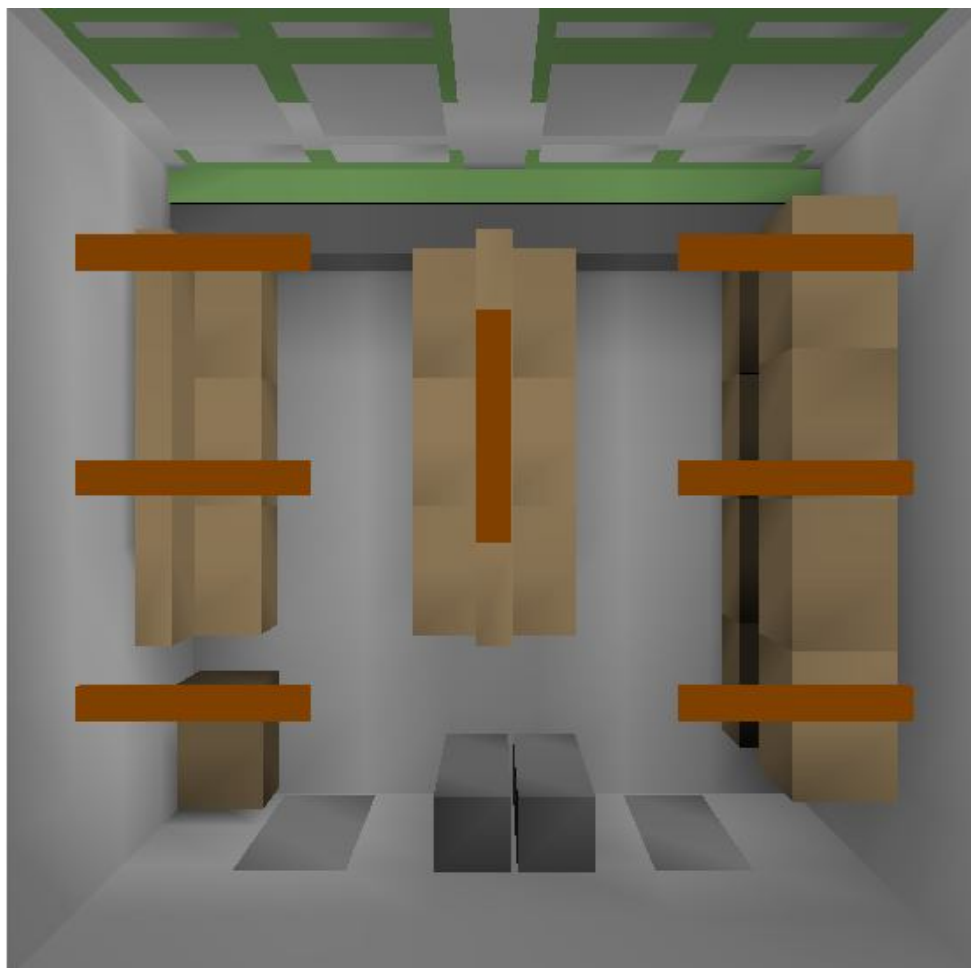
I když v laboratoři, co se týká intenzity osvětlení, není potřeba dělat změny, neboť zcela vyhovuje požadavkům normy. Přesto mám návrh, jak by se mohlo změnit rozmístění svítidel, když by se laboratoř začala používat na jemnější práce a bylo by tím potřeba dosáhnout vyšší osvětlenosti.

Když shrnu veškeré získané výsledky, tak se nabízí dvě řešení optimalizace osvětlení v dané laboratoři. Pro oba návrhy platí, že místa zrakového úkolu zůstanou v původní výšce, tj. 90 cm, svítidla budou umístěna 0,5 m pod stropem, stěny zůstanou bílé a podlaha béžová, příp. jiná světlá barva. Rozdíl mezi oběma návrhy je pouze v rozmístění svítidel a tudíž v celkové osvětlenosti místnosti.

14.2.1 Návrh č. 1

Tento návrh dává rozmístění svítidel jaké je patrné na obrázku (Obr. 9), přičemž na krajních svítidlech zůstane stejně silný zdroj světla (2x36 W) a na středním svítidle, které

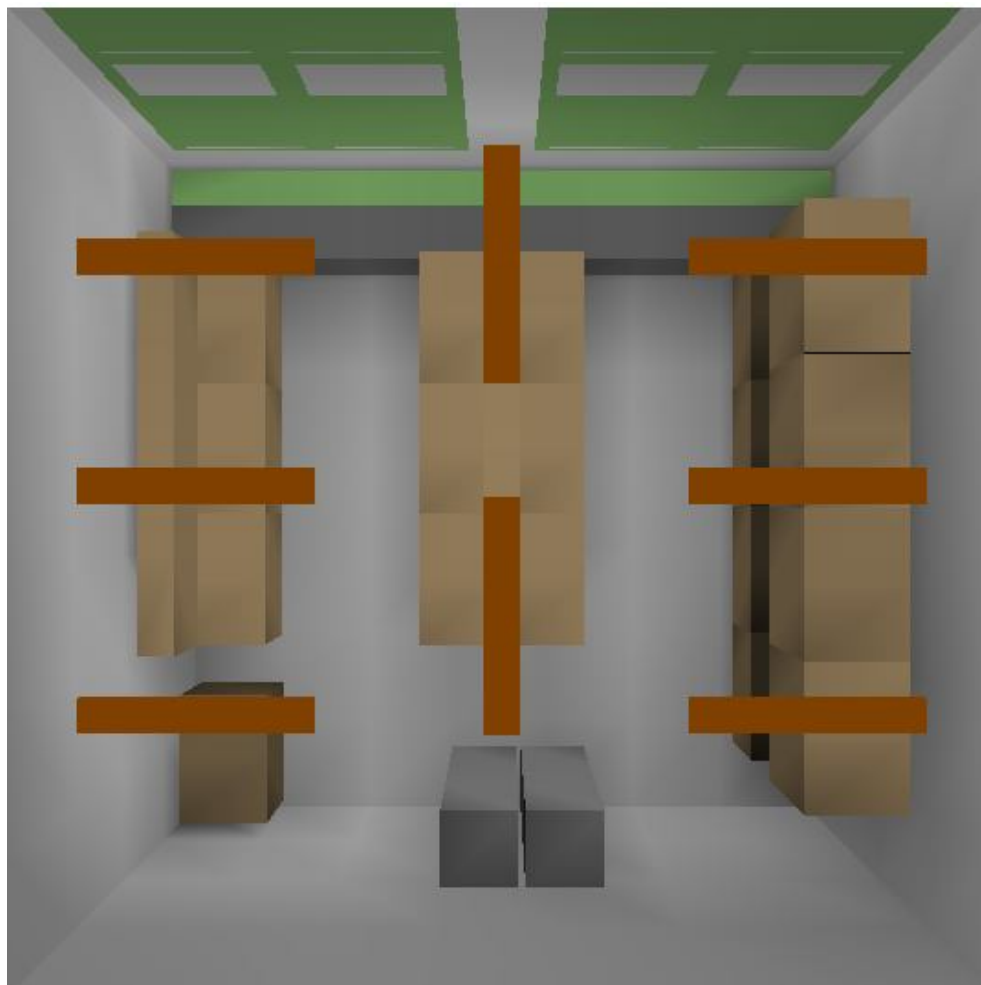
se umístí nad střed prostředního pracovního stolu, se zvýší na 2x49 W. Tím se maximální osvětlenost místnosti zvedne až na 670,5 lx a průměrná na 438,5 lx. V případě činitele oslnění, jeho maximální hodnota by byla 18,8 a průměrná 12,5, čímž splňuje požadavky normy.



Obr. 10: Laboratoř - návrh č. 1

14.2.2 Návrh č. 2

U tohoto návrhu optimalizace se uvažuje soustava svítidel, která je znázorněná na obrázku (Obr. 10), přičemž veškeré svítidla zůstanou s původním zdrojem světla, tj. 2x36 W. Celková osvětlenost se tak zvýší na 688,6 lx, průměrná na 484,6 lx. Činitel oslnění by u této varianty byl 17,5.



Obr. 11: Laboratoř - návrh č. 2

14.2.2.1 Diskuze

Porovnání osvětleností obou návrhů je uvedeno níže v tabulce (Tab. 13). Dle získaných výsledků by se mohlo dát přednost návrhu č. 2, kdy je celková osvětlenost vyšší o 18,1 lx a oslnění nižší o 1,3, nicméně i návrh č. 1 by svými hodnotami byl pro danou laboratoř dostačující. Ekonomický rozdíl mezi návrhy dle mě bude minimální, takže rozhodnutí bude záviset asi na estetičnosti.

Tab. 13: Shrnutí výsledků obou návrhů

Č. návrhu	E_{med} [lx]	E_{max} [lx]	UGR_{L-med} [1]	UGR_{L-max} [1]
původní	379,5	581,7	11,7	18,0
1	438,5	670,5	16,4	18,8
2	484,6	688,6	15,9	17,5

Kde: E_{med} - střední osvětlenost, E_{max} - maximální osvětlenost, UGR_{L-med} - střední hodnota činitele oslnění, UGR_{L-max} - maximální hodnota činitele oslnění

14.3 Osvětlení v učebně při používání promítacího plátna

Jako učebnu, kde jsem řešila problémy s osvětlením vznikající při promítání učiva na plátno a psaní na tabuli, jsem si vybrala učebnu č. 222 z UTB-FT o rozměrech 9080 mm x 5980 mm x 2840 mm (Obr. 11). V první části jsem zkoušela simulovat varianty osvětlení tak, aby když se bude promítat na plátno, na něj dopadala co nejmenší osvětlenost a současně, aby zbývající prostor učebny byl osvětlen dostatečně z důvodu dobrého vidění při psaní poznámek do sešitů. Asi jediným možným a účinným řešením by bylo nechat do učebny nainstalovat přepážku, která by byla zabudovaná ve stropě v přední části učebny. Při simulaci se přes okna natáhly tmavé závěsy, resp. rolety, které se použijí při promítání přes den a taky simulují tmou ve venkovních prostorách za večerních podmínek. Pomocí programu Wils 6.3 se posoudila nejlepší varianta při řešení daného problému.

Odraz překážky se uvažuje 0,65, což odpovídá béžové, příp. světle žluté barvě. Musela by být zhotovena z materiálu, který nepropouští světlo a jeho činitel odrazu by byl právě minimálně 0,65.

V učebně jsou ve skutečnosti použity lineární zářivky od maďarského výrobce GE Lighting. Zářivky mají označení F36W/33 a jejich vlastnosti jsou: světelný tok $\Phi = 2\ 850$ lm, příkon 36 W, životnost 9 000 h. Celkem je zde použito 3x2 těchto zářivek. Ručně, pomocí digitálního luxmetru, byla naměřená osvětlenost v dané učebně 365,5 lx, pomocí programu Wils, kde byl nastaven stejný typ zářivek, vznikla osvětlenost 366,7 lx. Činitel oslnění měl hodnotu 19,9, což je nad hodnotou danou normou, ale toho se dosahovalo pouze na místech mimo školní lavice.



Obr. 12: Seminární místnost č. 222

Tab. 14: Naměřené hodnoty činitele odrazu světla od překážek umístěných v učebně

i	Typ překážky								
	Dveře			Skříň			Lavice		
	E_d [lx]	E_o [lx]	ρ [1]	E_d [lx]	E_o [lx]	ρ [1]	E_d [lx]	E_o [lx]	ρ [1]
1	116,6	52,0	0,4	19,0	8,0	0,4	23,1	11,9	0,5
2	113,0	58,9	0,5	20,9	6,7	0,3	25,1	12,4	0,5
3	107,0	54,9	0,5	20,3	6,3	0,3	24,2	15,0	0,6
4	110,1	64,5	0,6	20,2	6,4	0,3	27,2	13,8	0,5
5	113,7	56,3	0,5	17,5	6,7	0,4	26,8	9,7	0,4
6	113,0	58,9	0,5	17,1	6,2	0,4	28,1	13,8	0,5
$(\bar{\rho} \pm \bar{\sigma})$ [1]	0,5 ± 0,2			0,4 ± 0,1			0,5 ± 0,2		

i	Typ překážky								
	Tabule			Podlaha			-		
	E_d [lx]	E_o [lx]	ρ [1]	E_d [lx]	E_o [lx]	ρ [1]			
1	31,6	20,5	0,6	18,5	6,5	0,4			
2	21,2	19,7	0,9	15,1	5,5	0,4			
3	14,1	14,3	1,0	183,5	6,0	0,0			
4	27,6	18,0	0,7	20,1	6,5	0,3			
5	21,2	17,5	0,8	14,7	5,7	0,4			
6	16,3	16,3	1,0	15,4	5,3	0,3			
$(\bar{\rho} \pm \bar{\sigma})$ [1]	0,8 ± 0,3			0,3 ± 0,1					

Kde: i - číslo měření; E_d - osvětlení dopadající na povrch; E_o - osvětlení odražené od povrchu; ρ - číselný odraz světla; $\bar{\rho}$ - aritmetický průměr naměřených hodnot číselných odrazů; $\bar{\sigma}$ - směrodatná odchylka aritmetického průměru číselných odrazů

Příklad výpočtů pro odraz světla ode dveří:

$$\text{číselný odraz } \rho: \rho = \frac{E_o}{E_d} = \frac{116,6}{52,0} = 0,4$$

$$\text{průměrný číselný odraz } \bar{\rho}: \bar{\rho} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \rho_i = \frac{0,4 + 0,5 + \dots + 0,5}{6} = \frac{3,08}{6} = 0,51$$

směrodatná odchylka $\bar{\sigma}$:

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum \rho_i^2 - \frac{1}{n} (\sum \rho_i)^2}{n \cdot (n-1)}} = \sqrt{\frac{(0,4^2 + 0,5^2 + \dots + 0,5^2) - \frac{1}{6} \cdot 9,5^2}{6 \cdot (6-1)}} = 0,18$$

14.3.1 Umístění přepážky

Míst, kam je možné umístit onu přepážku, není v učebně moc, tak jsem si zvolila možnosti, kde by asi jejich umístění bylo nejvhodnější skrz lepší osvětlenost, a sice před přední soustavu svítidel a do úrovně přede dveře. V tabulce (Tab. 15) je porovnána celková osvětlenost učebny v již zmíněných případech, a také v závislosti na výšce přepážky, kterou jsem zvolila 0,5 m, 0,6 m, 0,7 m a 1,0 m.

Tab. 15: Osvětlenost v učebně v závislosti na změně umístěné přepážky

Umístění	Výška přep. [m]	Tmavý závěs	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	$E_{min_{pl}}$ [lx]	$E_{max_{pl}}$ [lx]
Bez přepážky	-	ano	147,9	307,5	147,5	256,6
1,2 m od plátna (před svítidly)	0,50	ano	67,1	332,4	43,3	98,0
	0,60	ano	50,2	314,3	11,6	94,5
	0,70	ano	59,1	329,6	32,3	90,5
	1,00	ano	58,8	335,1	29,1	90,2
0,96 m od plátna (přede dveřmi)	0,50	ano	154,0	326,0	39,2	190,7
	0,60	ano	148,8	311,4	11,2	97,3
	0,70	ano	152,1	328,5	27,1	92,2
	1,00	ano	53,5	320,5	20,2	88,4

Kde: E_{min} - minimální osvětlenost prostoru, E_{max} - maximální osvětlenost prostoru, $E_{min_{pl}}$ - minimální vertikální osvětlenost plátna, $E_{max_{pl}}$ - maximální vertikální osvětlenost plátna

14.3.1.1 Diskuze

Co se týká umístění přepážky, vychází lépe osvětlenost učebny i plátna v případě, že by se přepážka umístila před přední řadu světél, což je 1,2 m od stěny s plátnem. V případě volby výšky přepážky by bylo nejlepší použít 1 m, jenomže to je nereálné, neboť výška učebny je pouze 2,84 m, tudíž by pod přepážkou lidé vyšší než 1,8 m neprošli. Při zvolení varianty 0,70 m by ovšem z poslední řady lavic nebylo vidět na celou výšku plátna, ale stačilo by to, aby bylo vidět na část, kde se promítá, proto bych doporučovala zvolit právě tuto velikost přepážky, neboť při použití přepážky o výšce 0,6 m by už osvětlenost nesplňovala stanovené požadavky.

14.3.2 Zkrácená délka přepážky

První varianta pracovala s přepážkou o délce 5,98 m, což je přes celou šířku učebny. Zde jsem simulovala, jaký vliv na osvětlenost by mělo, kdyby se přepážka zkrátila, a sice z každé strany o 0,5 m.

Tab. 16: Osvětlenost v případě zkrácené délky přepážky

Umístění	Výška přepážky [m]	Tmavý závěs	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	$E_{min_{pl}}$ [lx]	$E_{max_{pl}}$ [lx]
1,2 m od plátna (před světly)	0,60	ano	54,1	319,9	33,6	88,2
	0,70	ano	63,8	334,2	35,4	93,5
0,96 m od plátna (přede dveřmi)	0,60	ano	149,3	313,2	26,4	87,6
	0,70	ano	155,1	330,3	28,4	93,8

Kde: E_{min} - minimální osvětlenost prostoru, E_{max} - maximální osvětlenost prostoru, $E_{min_{pl}}$ - minimální vertikální osvětlenost plátna, $E_{max_{pl}}$ - maximální vertikální osvětlenost plátna

14.3.2.1 Diskuze

Když by se přepážka zkrátila ve své délce o 1 m, bylo by opět lepší ji umístit těsně před přední svítidla a bylo by nejlepší opět použít délku 0,70 m. Při porovnání s předcházející simulací a požadovanými vlastnostmi osvětlení v prostoru před plátnem a ve zbývající části učebny, bych doporučovala spíše variantu nezkrácené přepážky.

14.4 Návrh optimalizace osvětlení v učebně při používání promítacího plátna

Z provedených zkoušek lze vyvodit, že jako nejlepší návrh pro optimalizaci osvětlení v učebně, kdy se promítá na plátno a je tedy potřeba, aby byla co nejnižší osvětlenost v prostoru před plátnem, a zároveň co nejvyšší ve zbývající části učebny, se nabízí umístit přepážku o šířce celé učebny, tj. 5,84 m a výšce 0,70 m, a sice před přední řadu svítidel, neboli 1,2 m od zdi s plátnem.

Prvním předpokladem zoptimalizování osvětlenosti v učebně je vyměnit původní zářivky za silnější, dle několika návrhů by stačilo místo 2x36 W použít 2x58 W. Ze zkoušených variant nejlépe vyhovují lineární zářivky značky Philips, konkrétně typ TLD 58W/25 G13. Porovnání vlastností mezi oběma typy zářivek jsou uvedeny níže, v tabulce (Tab.17). Uspořádání soustavy svítidel bych v učebně nechala stejné (viz Obr. 12).

Tab. 17: Srovnání vlastností původních a navrhovaných zářivek

Značka zářivek	Výkon [W]	\varnothing [lm]	Životnost [h]	Přibližná cena jedné zářivky [kč]
GE	36	2 850	9 000	42
PHILIPS	58	4 000	10 000	48

Kde: \varnothing - světelný tok

Tab. 18: Srovnání osvětlenosti u návrhu s původní učebnou

Soustava svítidel	Výška přep. [m]	Tmavý závěs	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	$E_{min_{pl}}$ [lx]	$E_{max_{pl}}$ [lx]	UGR_{L-max} [1]
Původní - GE	0,70	ano	147,9	307,5	147,5	256,6	19,9
Návrh - PHILIPS	0,70	ano	54,1	671,0	63,2	86,3	20,6

Kde: E_{min} - minimální osvětlenost prostoru, E_{max} - maximální osvětlenost prostoru, $E_{min_{pl}}$ - minimální vertikální osvětlenost plátna, $E_{max_{pl}}$ - maximální vertikální osvětlenost plátna, UGR_{L-max} - maximální činitel oslnění



Obr. 13: Doporučený návrh - učebna při použití plátna

14.4.1.1 Diskuze

Původní maximální hodnota osvětlenosti v učebně byla 362,0 lx, při použití mého návrhu by se dosáhlo až 671,0 lx. Vertikální osvětlenost plátna by se z původních 90,5 lx snížila na 86,3 lx. Maximální činitel oslnění je normou stanovený 19, což původní osvětlovací soustava splňuje, neboť dosahuje hodnoty 18,9. Dle mého návrhu by maximální činitel oslnění byl sice 20,6, ale toho by se dosahovalo pouze v místech mimo pracovní stoly, kde je naopak pod 19. Výsledky horizontální osvětlenosti učebny, vertikální osvětlenosti plátna i činitele oslnění je uvedeno v příloze (P VII).

14.5 Osvětlení v učebně při používání tabule

Optimalizace osvětlenosti v učebně s využitím tabule a nikoli promítacího plátna, byla opět simulována na učebně č. 222 UTB-FT. Jsou navrženy dva způsoby osvětlení tak, aby byl prostor před tabulí dostatečně osvětlen, a sice když je přepážka umístěna v učebně na pevno a druhý způsob pro situaci, kdy je přepážka např. na elektrické ovládání a je tudíž možné ji vytáhnout ke stropu.

Pracuje se zde s přepážkou 0,7 m vysokou, umístěnou 1,2 m od zdi s plátnem, resp. před přední řadou svítidel, neboť v předchozí simulaci, kdy se řešila situace s plátnem, bylo toto řešení z hlediska osvětlenosti neoptimálnější.

14.5.1 Pevně umístěná přepážka

První situace je ta, že přepážka byla v učebně přidělaná natrvalo a není tedy možné ji vytáhnout, příp. jinak odstranit, když se plátno nevyužívá a je potřeba mít dostatečně osvětlenou tabuli. V takovém případě je potřeba přidat do učebny svítidlo, resp. svítidla, které osvětlenost zvýší. Přidá se tedy soustava jednoho či dvou svítidel, která se umístí před přepážku a řeší se, jaké umístění by bylo z hlediska požadované osvětlenosti nejlepší.

14.5.1.1 Přidaná svítidla před přepážkou

Doplňkové zdroje světla, která se umístí před překážku, tj. ve vzdálenosti 1 m od zdi s plátnem, jsou od stejné firmy jako navržené při řešení optimalizace osvětlení při využívání plátna, tedy Philips, ale je změněný jejich výkon, a sice z 2x58 W na 2x40 W.

Tab. 19: Přehled naměřených osvětleností při přidání soustavy svítidel

Počet přidaných světél	Umístění	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min_tab} [lx]	E_{max_tab} [lx]	UGR_{L-max} [1]
Jedno	na stropě 1 m od tabule	141,7	1073,5	136,9	672,6	19,8
	0,3m pod stropem 1 m od tabule	91,7	1197,4	96,3	534,4	20,0

Jedno	na stropě 0,7 m od tabule	119,0	1030,9	104,2	771,2	19,9
	0,3m pod stropem 0,7 m od tabule	98,5	1219,5	102,1	843,8	19,9
Dvě	na stropě 1 m od tabule	207,2	1217,2	250,6	660,7	19,7
	0,3m pod stropem 1 m od tabule	205,9	1337,7	126,3	553,8	19,8
	na stropě 0,7 m od tabule	206,8	1185,5	254,9	796,7	19,7
	0,3m pod stropem 0,7 m od tabule	207,6	1363,1	153,0	866,5	19,7
	na stropě 0,85 m od tabule	364,5	1194,4	234,7	725,4	19,7

Kde: E_{min} - minimální osvětlenost prostoru, E_{max} - maximální osvětlenost prostoru, E_{min_tab} - minimální vertikální osvětlenost plátna, E_{max_tab} - maximální vertikální osvětlenost plátna, UGR_{L-max} - maximální činitel oslnění

14.5.1.1.1 Diskuze

Osvětlenost v učebně bude lepší, když se přidají dvě světla místo jednoho, což je samozřejmě logické, i když při přidání jednoho svítidla na strop, ve vzdálenosti 1 m od tabule, by osvětlenost v učebně byla dostačující, vertikální osvětlení tabule by v tomto případě bylo ale hodně malé.

Mým návrhem tedy je umístit svítidla přímo na strop, ve vzdálenosti 0,7 m od stěny s tabulí, nebo 1 m. V prvním případě by na první dvě řady lavic dopadalo až moc světla, tj. 800 - 1 070 lx, v prvním případě pouze 540 – 660 lx, proto bych doporučovala umístění světel ve vzdálenosti právě 1 m od tabule.

14.5.1.2 Svítidla nakloněná, pevně přidělaná na přepážce

Zde se zkoušela změna osvětlení v případě, že by se dvě doplňková světla připevnila přímo na přepážku těsně pod strop a ještě by se naklonila pod určitým úhlem. Přidané světla jsou dvě, neboť při použití jednoho by bylo nedostatečné osvětlení tabule.

Tab. 20: Změna osvětlenosti při naklonění předních svítidel

Úhel naklonění	Umístění	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min_tab} [lx]	E_{max_tab} [lx]
40 °	na stropu	208,9	1199,9	330,3	874,2
45 °	na stropu	208,9	1022,9	332,8	853,7
45 °	0,3 m pod stropem	208,7	1071,9	365,4	1225,7
50 °	na stropu	209,0	856,2	342,4	849,3

Kde: E_{min} - minimální osvětlenost prostoru; E_{max} - maximální osvětlenost prostoru;

E_{min_tab} - minimální vertikální osvětlenost tabule; E_{max_tab} - maximální vertikální osvětlenost tabule

14.5.1.2.1 Diskuze

Nejlepší sklon doplňkových svítidel v případě, že by se umístily až ke stropu, pevně přidělaly na přepážku a naklonily, by byl 45 °. Horizontální osvětlenost v místech zrakových úkolů by byla vyhovující, ovšem vertikální osvětlenost tabule by byla dostačující pouze ve 2/3nách své výšky.

14.5.2 Vytahovatelná přepážka

Druhou variantou osvětlenosti v učebně s navrženou přepážkou je taková, že se ona přepážka bude dat vytáhnout, tudíž nebude bránit průchodu původních světelných paprsků do míst před tabulí. Do místnosti jsem přidala jedno, resp. dvě svítidla vedle sebe, přímo před přepážku, tj. 1 m od stěny s tabulí. Osvětlenost v učebně při použití navrhovaných zdrojů světla, bez přidaných svítidel je 671,0 lx, přičemž v prostoru přímo před tabulí činí 90,5 lx.

14.5.2.1 Všechny svítidla zapnuté

V této variantě je vyzkoušeno, jaká by byla osvětlenost, kdyby zůstaly zapnuté všechny svítidla, tzn. původní řady světél i řada přidaná.

Tab. 21: Osvětlenost v případě všech rožnutých svítidel

Počet přidaných svítidel	Umístění	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min_tab} [lx]	E_{max_tab} [lx]	UGR_{L-max} [1]
Jedno	na stropu	202,5	1032,0	128,3	572,7	20,6
	0,3m pod stropem	202,3	1207,9	126,8	639,5	20,2
Dvě	na stropu	206,0	1199,1	210,0	695,1	20,1
	0,3m pod stropem	205,2	1356,8	153,1	762,1	20,7

Kde: E_{min} - minimální osvětlenost prostoru; E_{max} - maximální osvětlenost prostoru;

E_{min_tab} - minimální vertikální osvětlenost tabule; E_{max_tab} - maximální vertikální osvětlenost tabule, UGR_{L-max} - činitel oslnění

14.5.2.2 První řada původních světél vypnutá

Zde se simulovala osvětlenost v případě, že přidaná svítidla budou rožnutá a první řada z původních světél, nejbliže k tabuli, bude vypnutá. Svítidla jsou opět umístěna 1 m od tabule.

Tab. 22: Osvětlenost, když je první řada původních světél zhasnutá

Počet přidaných svítidel	Umístění	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min_tab} [lx]	E_{max_tab} [lx]	UGR_{L-max} [1]
Jedno	na stropu	48,5	640,6	59,8	495,5	20,6
	0,3m pod stropem	46,4	752,0	58,3	493,7	22,0
Dvě	na stropu	200,2	648,7	151,1	525,9	20,3
	0,3m pod stropem	199,4	781,7	94,2	515,6	21,6

Kde: E_{min} - minimální osvětlenost prostoru; E_{max} - maximální osvětlenost prostoru;

E_{min_tab} - minimální vertikální osvětlenost tabule; E_{max_tab} - maximální vertikální osvětlenost tabule, UGR_{L-max} - činitel oslnění

14.5.2.3 Diskuze

V prvním případě, že by byla zapnutá celá soustava svítidel, včetně přidaných, by osvětlenost v místnosti byla už zbytečně vysoká, ale mohlo by se použít řešení, kdy se přidá jedno svítidlo umístěné před přepážkou, 0,5 m pod stropem. V situace, kdy se místo předních světel zapnou přídavná, by bylo lepší nainstalovat dvě svítidla než jedno a umístit je 0,5 m pod stropem. I když rozdíl osvětlenosti místnosti v obou případech, kdy se použijí dvě přídavná světla, je velký, asi 850 lx, bylo by to ekonomicky nevýhodné a taky z hlediska intenzity osvětlení zbytečný „luxus“.

14.6 Návrh optimalizace č. 1 pro učebnu při používání tabule

První návrh optimalizace osvětlení v seminární místnosti se týká případu, kdy přepážka bude spuštěná dolů, resp. bude v místnosti natrvalo. Řešení je takové, že se těsně před přepážku umístí dvě svítidla se zdroji Philips 2x40 W, ve vzdálenosti 1 m od stěny s tabulí. 3D zobrazení navrhované místnosti, osvětlenost tabule a činitel oslnění jsou uvedené v příloze (P VIII).

Tab. 23: Návrh č. 1 - shrnutí výsledků

Počet přidaných svítidel	Umístění	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min_tab} [lx]	E_{max_tab} [lx]	UGR_{L-max} [1]
Dvě	na stropě 1 m od tabule	207,1	1204,6	247,2	649,1	19,7



Obr. 14: Seminární místnost - návrh č. 1

14.7 Návrh optimalizace č. 2 pro učebnu při používání tabule

Druhý návrh optimalizace osvětlení v seminární místnosti je daný pro situaci, kdy přepážka bude na elektrické ovládání a v této situaci bude vytažená. Moje řešení je, že se těsně před přepážku umístí dvě svítidla se zdroji Philips 2x40 W, ve vzdálenosti 1 m od stěny s tabulí a zhasne se první řada původní soustavy svítidel. 3D zobrazení navrhované místnosti, osvětlenost tabule a činitel oslnění jsou uvedené v příloze (P IX).

Tab. 24: Návrh č. 1 - shrnutí výsledků

Počet přidávaných svítidel	Umístění	E_{\min} [lx]	E_{\max} [lx]	E_{\min_tab} [lx]	E_{\max_tab} [lx]	UGR_{L-max} [1]
Dvě	na stropě 1 m od tabule	200,2	648,7	148,9	516,0	20,3



Obr. 15: Seminární místnost - návrh č. 2

ZÁVĚR

Ve vlivu na lidský organismus se denní neboli sluneční světlo s umělým nedá srovnávat. Přesto v čase, kdy je intenzita denního osvětlení nedostatečná, příp. žádná, musíme jako zdroj světla použít právě umělé osvětlení. Při výběru umělého osvětlení je důležité správně zvolit potřebnou intenzitu světelného zdroje, počet a rozmístění svítidel v prostoru, jejich natočení a mnoho dalších věcí, aby ono vznikající světlo mělo co nejlepší účinek na náš organismus, a taky abychom se v daném prostoru cítili co nejlépe.

Má práce byla zaměřena na kvalitu osvětlení ve školních prostorách, konkrétně na Fakultě technologické Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Před tím byly měřeny světelně-technické vlastnosti – prostup světla u různých druhů skel, aby se zjistil vliv tloušťky a vzoru skla na prostup světla a odraz světla od různě barevných stěn v interiéru, aby se ukázaly rozdíly odrazu světla při použití bílých stěn a stěn natřených barevně. V další části přímo ve školních prostorách byla měřena intenzita osvětlení a srovnávána s normovými požadavky. Jsou zde simulace prováděné v laboratoři č. 106, kde je reálné osvětlení dostačující, ale přesto by se tam určitá změna mohla udělat. Na této laboratoři je dokázána i platnost některých fyzikálních zákonů, týkajících se vlastností světla. Při měření intenzity osvětlení ve vybraných školních učebnách bylo zjištěno, že nejhorší osvětlení poskytují světelné zdroje v posluchárnách a seminární učebně č. 222, ve které jsem pomocí programu Wils 6.3 simulovala optimalizaci původního osvětlení. K tomu, aby se dosáhlo normou požadované hodnoty osvětlenosti, by stačilo relativně málo - vyměnit světelné zdroje za silnější a přidat další zdroje světla. Já jsem řešila dvě situace, které nastávají ve večerních, příp. zhoršených denních světelných podmínkách. První případ, když se učivo promítá na plátno a je tedy potřeba, aby plátno bylo osvětleno co nejméně, a zároveň zbylá část učebny co nejvíce z důvodu dobrého vidění při psaní poznámek do sešitu. To jsem vyřešila tak, že by se do učebny před přední svítidla přidělala přepážka, která by bránila dopadu světla na plátno, a zároveň by na ni dopadající světlo odrážela do prostoru učebny. Druhý případ byla situace, kdy se nepromítá na plátno, ale píše na tabuli a je potřeba, aby dopadalo stejné osvětlení na tabuli i na lavice. Vyřešila jsem to tak, že by se před přepážku přidaly dvě svítidla, které, když by přepážka zůstala napevno připevněná, by poskytly dostatečné osvětlení tabule. V případě, že by přepážka byla elektricky vytahovatelná, vypnula by se první řada původních svítidel, aby osvětlení nebylo příliš velké a tím by se dostatečně rozložilo po celé učebně.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MIČÍN, Rostislav. Světlo: *Ekonomické osvětlení učebny v souladu s platnými předpisy* [online]. 2006, č.3. [cit.2010-12-08].
Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=35932>
- [2] Edutorium - Techmania science center: *Technika osvětlování* [online]. ©2008, [cit.2011-01-17].
Dostupné z: <<http://www.techmania.cz/edutorium/clanky.php?key=772>>
- [3] CHALUPSKÝ, Ladislav: *Polytechnická knihnice: 100x o umělém osvětlení*. 1.vyd. Praha: ROH, 1969. s. 278.
- [4] VACULÍK, Radim: *Optika jednoduše* [online]. ©2006, [cit.2011-01-23]. Dostupné z: <<http://optika.kuratkoo.net/vlastnosti.htm>>
- [5] ŠULA, Otto: *Příručka osvětlovací techniky*. 1.vyd. Praha: SNTL, 1969. s 324.
- [6] BYSTRICKÝ, Václav; KAŇKA, Jan: *Osvětlení*. 1.vyd. Praha: ČVUT, 1994. s 76.
- [7] VEBER, Vladimír: *Pracovní prostředí*. 1.vyd. Praha: Práce a ROH, 1970. s 236.
- [8] HORŇÁK, Pavol: *Umelé osvetlenie*. 1. vyd. Bratislava: Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1979. s 177.
- [9] BACHTÍK, Stanislav; POSPÍCHAL Vlastimil: *Osvětlovací sklo v interiéru*. 1.vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1965. s 220.
- [10] PROKOP, Miloslav: *Světelná technika*. 1.vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1955. s 284.
- [11] MARKOVÁ, Lidmila; VYORALOVÁ Zuzana: *Technická zařízení budov 40: umělé osvětlení, elektrorozvody, hromosvody*. 5.vyd. Praha 6: Vydavatelství ČVUT, 2005. s 75.
- [12] SMOLÍK, Jan: *Technika prostředí*. 1.vyd. Praha, Bratislava: SNTL a ALFA, 1985. s 320.
- [13] NETUŠIL, Jaroslav: *Světlo v teorii a v praxi*. 1.vyd. Praha: ROH, 1960. s 173.
- [14] ŠMÍD, Miroslav: *Ergonomické parametry*. 1.vyd. Praha: SNTL, 1976. s 200.
- [15] KALUS, René: *Trivium z optiky* [online]. ©2008, [cit.2011-01-17].
Dostupné z: <<http://artemis.osu.cz/voptp/skriptum/kap06.pdf>>.
- [16] Edutorium - Techmania science center: *Fotometrické veličiny* [online]. ©2008, [cit.2011-01-17]. Dostupné z: <http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=4f7074696b61h&key=770>.

- [17] VAŠINA, Martin: *Umělé osvětlení* [online]. [cit.2011-01-17].
Dostupné z: <http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_09.pdf>.
- [18] STAŠA, Michal: *Rozhodnuto! Klasické žárovky skončí do roku 2012* [online]. ©2008, [cit.2011-02-27]. Dostupné z: <<http://www.nazeleno.cz/bydleni/osvetleni-1/rozhodnuto-klasicke-zarovky-skonci-do-roku-2012.aspx>>
- [19] LESCHINGEROVÁ, Marie: *Čím nahradit klasické žárovky?* [online]. ©2008, [cit.2011-02-27]. Dostupné z: <<http://www.nazeleno.cz/bydleni/osvetleni-1/cim-nahradit-klasicke-zarovky-zarivky-halogeny-nebo-led-diody.aspx>>
- [20] MAŇÁSKOVÁ, Dana: *Světlo, světelné zdroje a účinky* [online]. ©2010, [cit.2011-03-03]. Dostupné z: <http://medicinman.cz/?p=metody&p_sub=svetlo>
- [21] KRIVOŠÍK, Juraj; KÖNIG, Jan: Středisko pro efektivní využívání energie, o.p.s. *Vybíráme osvětlení: Úsporné zářivky, LED nebo halogeny?* [online]. ©2008, [cit.2011-03-03]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/bydleni/osvetleni-1/chap_97/vybirame-osvetleni-usporne-zarivky-led-nebo-halogeny.aspx>
- [22] ÚNMZ. ©2011, [cit.2011-03-01]. Dostupné z: <<http://www.unmz.cz>>
- [23] HORŇÁK, Pavol: *Světelná technika*. 1.vyd. Bratislava: ALFA, 1989. s 248.
- [24] SEI: *A Guide To Energy Efficient And Cost Effective Lighting* [online]. [cit.2011-03-09]. Dostupné z: <<http://www.energyeducation.ie/schools.pdf>>
- [25] MODUS spol. s r.o.: *Osvětlení školních tříd* [online]. ©2001-2011, [cit.2011-03-07]. Dostupné z: <www.modus.cz/cze/getfile.php?FileID=2231>
- [26] Philips, s.r.o.: *Osvětlení škol? Nefunkční a často škodlivé* [online]. ©2011, [cit.2011-03-03]. Dostupné z: <<http://www.elopur.cz/file.php?nid=6932&oid=1195824>>
- [27] Krajská hygienická stanice Moravskoslezského kraje: *Osvětlení škol dle nově zaváděných norem a předpisů* [online]. ©2007, [cit.2011-03-09]. Dostupné z: <http://www.khsova.cz/01_obcanum/osvetleni_skol.php?datum=2004-12-13>
- [28] McCREERY, John; HILL, Timothy: *Illuminating The Classroom Environment* [online]. ©2006, [cit.2011-03-08]. Dostupné z: <http://www.lightingassociates.org/i/u/2127806/f/tech_sheets/Illuminating_the_Classroom_Environment.pdf>
- [29] Pacific Northwest Pollution Prevention Resource Center: *Sustainable Design for Schools* [online]. ©2004, [cit.2011-03-12]. Dostupné z: <<http://www.pprc.org/pubs/schools/design.cfm>>

- [30] NEDUCHAL, Josef. Světlo: *Společnost Helvar zavádí ve Švédsku úsporné osvětlení ve školách* [online]. 2010, č.5, [cit.2011-03-12]. Dostupné z: <http://www.odborne-casopisy.cz/index.php?id_document=42135>
- [31] McCOWAN, B.; COUGHLIN, T.; BERGERON, P.; EPSTEIN, G.: *High Performance Lighting Options for School Facilities* [online]. ©2010, [cit.2011-03-10]. Dostupné z: <http://eec.ucdavis.edu/ACEEE/2002/pdfs/panel03/20_255.pdf>
- [32] *Sbírka zákonů* [online]. Sagit. ©1996-2011, [cit.2011-02-27]. Dostupné z: <<http://www.sagit.cz/pages/sbirka.asp?cd=76&typ=r>>
- [33] HABEL, Jiří. Světlo: *Základy světelné techniky* [online]. 2009, č.3, [cit.2011-03-27]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=39195>
- [34] Ges electronics, a.s.: *Digitální luxmetr MS-1300* [online]. ©1991-2010, [cit.2011-03-26]. Dostupné z: <<http://www.ges.cz/digitalni-luxmetr-ms-1300-ges07313152.html>>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Hz	hertz
nm	nanometr
s	sekunda
K	Kelvin
° C	stupeň Celsia
W	watt
V	volt
J	joule
sr	steradián
m	metr
lm	lumen
cd	candela
lx	lux
t	čas
r	poloměr
A	plocha
Φ_e	zářivý tok
Q_e	zářivá energie
I_e	zářivost
L_e	zář
M_e	intenzita vyzařování
E_e	intenzita ozáření
H_e	dávka ozáření
Ω	prostorový úhel

Ø	světelný tok
Q	světelné množství
I	svítivost
L	jas
M	světlení
E	intenzita osvětlení

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1: Barevné spektrum viditelného světla.....</i>	15
<i>Obr. 2: Schéma přibližných barevných teplot umělých a denních zdrojů světla.....</i>	16
<i>Obr. 3: Energetická bilance šíření světelného toku přes látku.....</i>	25
<i>Obr. 4: Poloha svítidla a směr světla.....</i>	31
<i>Obr. 5: Ukázka izolinií při výpočtu osvětlenosti místnosti.....</i>	40
<i>Obr. 6: Digitální luxmetr.....</i>	43
<i>Obr. 7: Vybrané druhy prostorů k měření osvětlenosti.....</i>	47
<i>Obr. 8: Vzorky plastů a skel.....</i>	51
<i>Obr. 9: Univerzitní laboratoř.....</i>	56
<i>Obr. 10: Laboratoř - návrh č. 1.....</i>	61
<i>Obr. 11: Laboratoř - návrh č. 2.....</i>	62
<i>Obr. 12: Seminární místnost č. 222.....</i>	64
<i>Obr. 13: Doporučený návrh - učebna při použití plátna.....</i>	69
<i>Obr. 14: Seminární místnost - návrh č. 1.....</i>	75
<i>Obr. 15: Seminární místnost - návrh č. 2.....</i>	76

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1: Požadavky na osvětlení prostorů, úkolů a činností.....</i>	33
<i>Tab. 2: Naměřené hodnoty osvětlení v interiéru školní budovy</i>	44
<i>Tab. 3: Vysvětlení označení jednotlivých místností.....</i>	46
<i>Tab. 4: Přehled průměru naměřených a vypočtených hodnot pro dané materiály.....</i>	49
<i>Tab. 5: Naměřené hodnoty prostupu světla a vypočtený činitel prostupu</i>	50
<i>Tab. 6: Naměřené hodnoty činitele odrazu světla.....</i>	52
<i>Tab. 7: Naměřené hodnoty činitele odrazu světla.....</i>	53
<i>Tab. 8: Skutečné hodnoty odrazu světla v laboratoři</i>	56
<i>Tab. 9: Závislost změny osvětlení na změně činitele odrazu stěn, resp. jejich barev</i>	57
<i>Tab. 10: Změna osvětlenosti vlivem změny barvy podlahy</i>	57
<i>Tab. 11: Změna osvětlenosti v závislosti na změně výšky stolů.....</i>	58
<i>Tab. 12: Simulace osvětlení s různě umístěnými svítidly</i>	59
<i>Tab. 13: Shrnutí výsledků obou návrhů.....</i>	62
<i>Tab. 14: Naměřené hodnoty činitele odrazu světla od překážek umístěných v učebně</i>	64
<i>Tab. 15: Osvětlenost v učebně v závislosti na změně umístěné přepážky</i>	66
<i>Tab. 16: Osvětlenost v případě zkrácené délky přepážky.....</i>	67
<i>Tab. 17: Srovnání vlastností původních a navrhovaných zářivek</i>	68
<i>Tab. 18: Srovnání osvětlenosti u návrhu s původní učebnou</i>	68
<i>Tab. 19: Přehled naměřených osvětleností při přidání soustavy svítidel.....</i>	70
<i>Tab. 20: Změna osvětlenosti při naklonění předních svítidel.....</i>	72
<i>Tab. 21: Osvětlenost v případě všech rožnutých svítidel</i>	73
<i>Tab. 22: Osvětlenost, když je první řada původních světel zhasnutá.....</i>	73
<i>Tab. 23: Návrh č. 1 - shrnutí výsledků</i>	74
<i>Tab. 24: Návrh č. 1 - shrnutí výsledků</i>	75

SEZNAM PŘÍLOH

- P I Prostup světla skrz materiály
- P II Drátový model laboratoře
- P III Laboratoře s původním rozmístěním svítidel - křivky osvětlenosti, činitel oslnění
- P IV Optimalizace osvětlení v laboratoři – návrh č. 1: 3D zobrazení, křivky osvětlenosti, činitel oslnění
- P V Optimalizace osvětlení v laboratoři – návrh č. 2: 3D zobrazení, křivky osvětlenosti, činitel oslnění
- P VI Učebna s plátnem – původní soustava svítidel
- P VII Návrh – učebna s promítacím plátnem (použitá svítidla, osvětlenost, oslnění)
- P VIII Návrh č. 1 – učebna s tabulí (osvětlenost, oslnění)
- P IX Návrh č. 2 – učebna s tabulí (osvětlenost, oslnění)

PŘÍLOHA P I: PROSTUP SVĚTLA SKRZ MATERIÁLY

i	Sklo - čiré (tloušťka = 2,85 mm)			Sklo - čiré (tloušťka = 3,85 mm)			Sklo - čiré (tloušťka = 4,85 mm)		
	E_d [lx]	E_τ [lx]	τ [1]	E_d [lx]	E_τ [lx]	τ [1]	E_d [lx]	E_τ [lx]	τ [1]
1	380	335	0,88	380	335	0,88	380	333	0,88
2		338	0,89		335	0,88		331	0,87
3		336	0,88		331	0,87		334	0,88
4		337	0,89		337	0,89		335	0,88
5		338	0,89		339	0,89		334	0,88
6		337	0,89		335	0,88		332	0,87
7		337	0,89		334	0,88		331	0,87
8		335	0,88		336	0,88		328	0,86
9		337	0,89		335	0,88		331	0,87
10		335	0,88		334	0,88		332	0,87
$(\bar{\tau} \pm \bar{\sigma})$ [1]	$0,89 \pm 0,16 \cdot 10^{-2}$			$0,88 \pm 0,18 \cdot 10^{-2}$			$0,89 \pm 0,21 \cdot 10^{-2}$		

i	Sklo - čiré (tloušťka = 10 mm)			Sklo - čiré 2x ¹⁾ (tl. = 3,85+4,85 mm)			Sklo - čiré 2x ²⁾ (tl. = 3,85+4,85 mm)		
	E_d [lx]	E_τ [lx]	τ [1]	E_d [lx]	E_τ [lx]	τ [1]	E_d [lx]	E_τ [lx]	τ [1]
1	379	318	0,84	367	300	0,82	352	226	0,62
2		316	0,83		299	0,81		229	0,63
3		319	0,84		300	0,82		228	0,62
4		318	0,84		298	0,81		229	0,63
5		316	0,83		299	0,81		225	0,62
6		318	0,84		301	0,82		227	0,62
7		317	0,84		300	0,82		228	0,62
8		316	0,83		299	0,81		227	0,62
9		316	0,83		298	0,81		229	0,63
10		317	0,84		299	0,81		226	0,62
$(\bar{\tau} \pm \bar{\sigma})$ [1]	$0,84 \pm 0,16 \cdot 10^{-2}$			$0,82 \pm 0,16 \cdot 10^{-2}$			$0,62 \pm 0,15 \cdot 10^{-2}$		

i	Sklo – čiré 2x ³⁾ (tl. = 3,85+4,85 mm)			Sklo – vz. č. 1 (tl. = 3,85 mm)			Sklo – vz. č. 2 (tl. = 3,85 mm)		
	E_d [lx]	E_r [lx]	τ [1]	E_d [lx]	E_r [lx]	τ [1]	E_d [lx]	E_r [lx]	τ [1]
1	365	262	0,74	378	320	0,85	375	321	0,86
2		265	0,75		323	0,85		317	0,85
3		265	0,75		321	0,85		322	0,86
4		263	0,75		322	0,85		324	0,86
5		261	0,74		323	0,85		321	0,86
6		264	0,75		320	0,85		320	0,85
7		264	0,75		322	0,85		322	0,86
8		262	0,74		324	0,86		321	0,86
9		262	0,74		322	0,85		319	0,85
10		263	0,75		323	0,85		321	0,86
$(\bar{\tau} \pm \bar{\sigma})$ [1]	$0,75 \pm 0,16 \cdot 10^{-2}$			$0,85 \pm 0,10 \cdot 10^{-2}$			$0,86 \pm 0,15 \cdot 10^{-2}$		

i	Sklo – vz. č. 3 (tl. = 3,85 mm)			Sklo – kouřové (tl. = 4,00 mm)			Sklo – matné č. 1 ⁴⁾ (tl. = 4,00 mm)		
	E_d [lx]	E_r [lx]	τ [1]	E_d [lx]	E_r [lx]	τ [1]	E_d [lx]	E_r [lx]	τ [1]
1	373	312	0,84	484	143	0,30	474	323	0,68
2		313	0,84		141	0,29		322	0,68
3		309	0,83		141	0,29		324	0,68
4		310	0,83		143	0,30		321	0,68
5		309	0,83		142	0,29		322	0,68
6		310	0,83		141	0,29		321	0,68
7		312	0,84		139	0,29		320	0,68
8		313	0,84		142	0,29		322	0,68
9		315	0,84		142	0,29		322	0,68
10		316	0,85		141	0,29		323	0,68
$(\bar{\tau} \pm \bar{\sigma})$ [1]	$0,84 \pm 0,21 \cdot 10^{-2}$			$0,29 \pm 0,13 \cdot 10^{-2}$			$0,68 \pm 0,00$		

i	Sklo – matné č. 2 ⁵⁾ (tl. = 4,00 mm)			Sklo – matné č. 3 ⁶⁾ (tl. = 4,00 mm)			Záclona		
	E_d [lx]	E_τ [lx]	τ [1]	E_d [lx]	E_τ [lx]	τ [1]	E_d [lx]	E_τ [lx]	τ [1]
1	482	281	0,58	489	268	0,55	547	473	0,86
2		284	0,59		266	0,54		473	0,86
3		285	0,59		267	0,55		471	0,86
4		283	0,59		267	0,55		469	0,86
5		286	0,59		267	0,55		473	0,86
6		284	0,59		265	0,54		471	0,86
7		284	0,59		268	0,55		470	0,86
8		283	0,59		267	0,55		472	0,86
9		285	0,59		269	0,55		471	0,86
10		284	0,59		265	0,54		471	0,86
$(\bar{\tau} \pm \bar{\sigma})$ [1]	$0,59 \pm 0,1 \cdot 10^{-2}$			$0,55 \pm 0,15 \cdot 10^{-2}$			$0,86 \pm 0,00$		

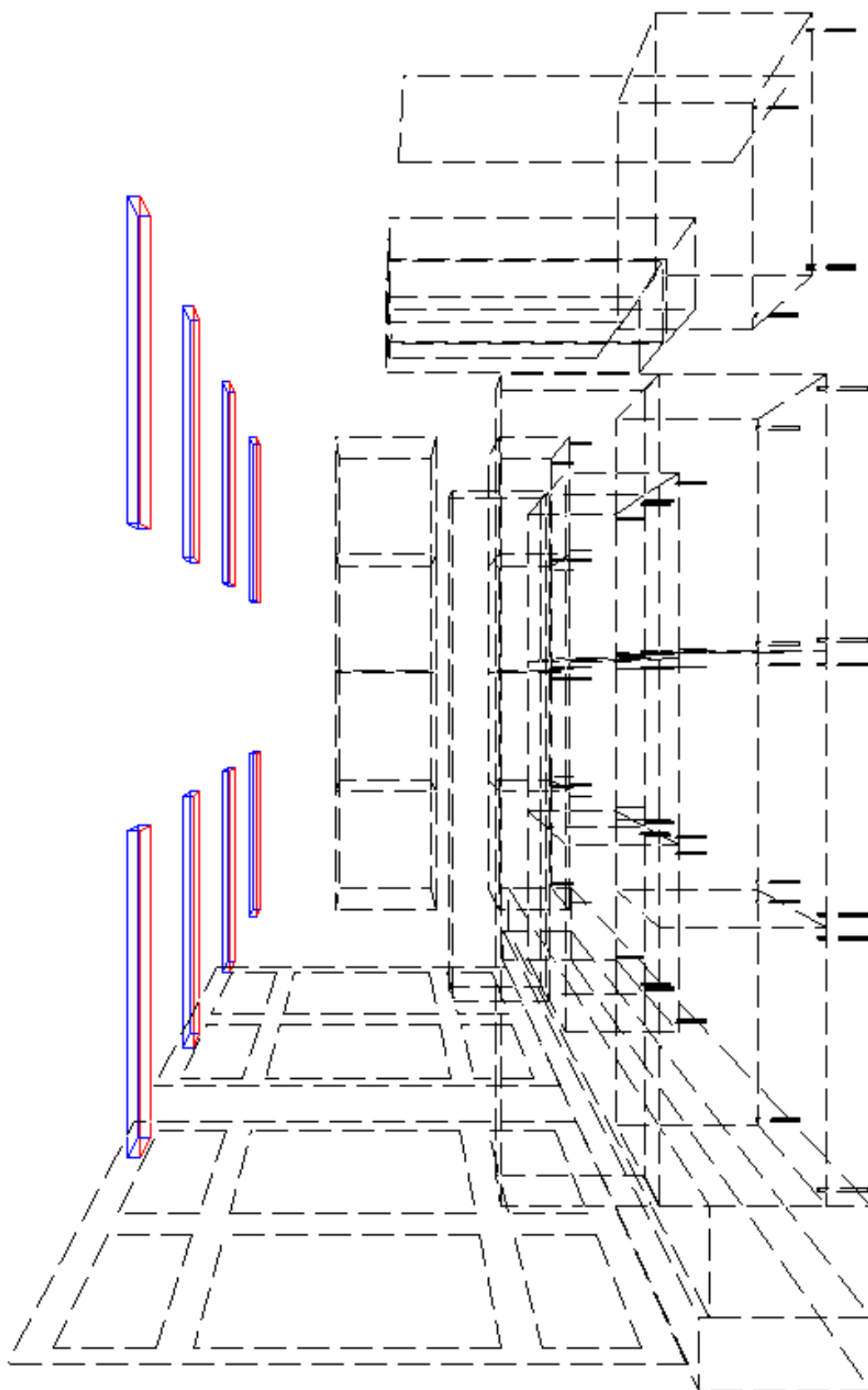
i	Sklo matné č. 1 + záclona			Sklo matné č. 3 + záclona			Skla matné č. 1 + matné č. 3		
	E_d [lx]	E_τ [lx]	τ [1]	E_d [lx]	E_τ [lx]	τ [1]	E_d [lx]	E_τ [lx]	τ [1]
1	311	193	0,62	312	170	0,54	409	201	0,49
2		191	0,61		172	0,55		204	0,50
3		192	0,62		171	0,55		203	0,50
4		191	0,61		171	0,55		203	0,50
5		191	0,61		170	0,54		201	0,49
6		193	0,62		168	0,54		199	0,49
7		190	0,61		169	0,54		202	0,49
8		189	0,61		168	0,54		202	0,49
9		191	0,61		170	0,54		203	0,50
10		190	0,61		167	0,54		201	0,49
$(\bar{\tau} \pm \bar{\sigma})$ [1]	$0,61 \pm 0,15 \cdot 10^{-2}$			$0,54 \pm 0,15 \cdot 10^{-2}$			$0,49 \pm 0,16 \cdot 10^{-2}$		

i	Skla matné č. 3 + matné č. 1			Skla matné č. 1 + kouřové			Skla kouřové + matné č. 1		
	E_d [lx]	E_τ [lx]	τ [1]	E_d [lx]	E_τ [lx]	τ [1]	E_d [lx]	E_τ [lx]	τ [1]
1	414	155	0,37	406	86	0,21	406	65	0,16
2		157	0,38		84	0,21		67	0,17
3		157	0,38		87	0,21		68	0,17
4		156	0,38		86	0,21		68	0,17
5		157	0,38		87	0,21		66	0,16
6		159	0,38		85	0,21		69	0,17
7		158	0,38		85	0,21		68	0,17
8		156	0,38		83	0,20		67	0,17
9		157	0,38		84	0,21		66	0,16
10		155	0,37		87	0,21		66	0,16
$(\bar{\tau} \pm \bar{\sigma}) [1]$	$0,38 \pm 0,13 \cdot 10^{-2}$			$0,21 \pm 0,10 \cdot 10^{-2}$			$0,17 \pm 0,16 \cdot 10^{-2}$		

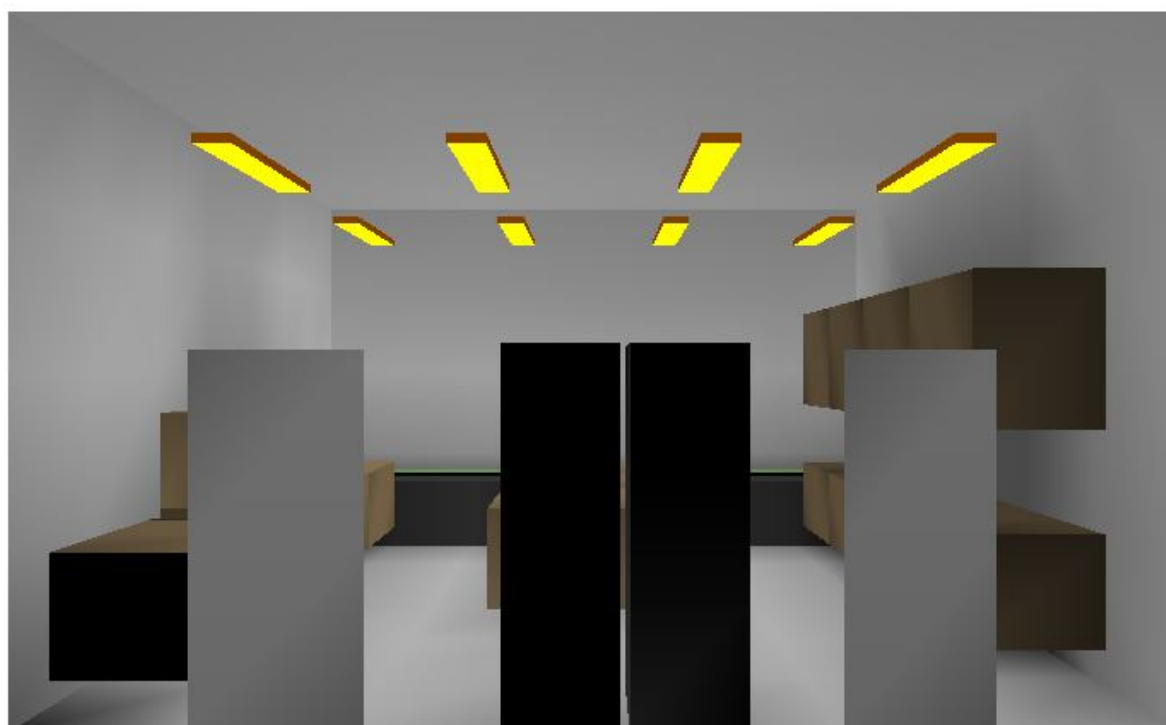
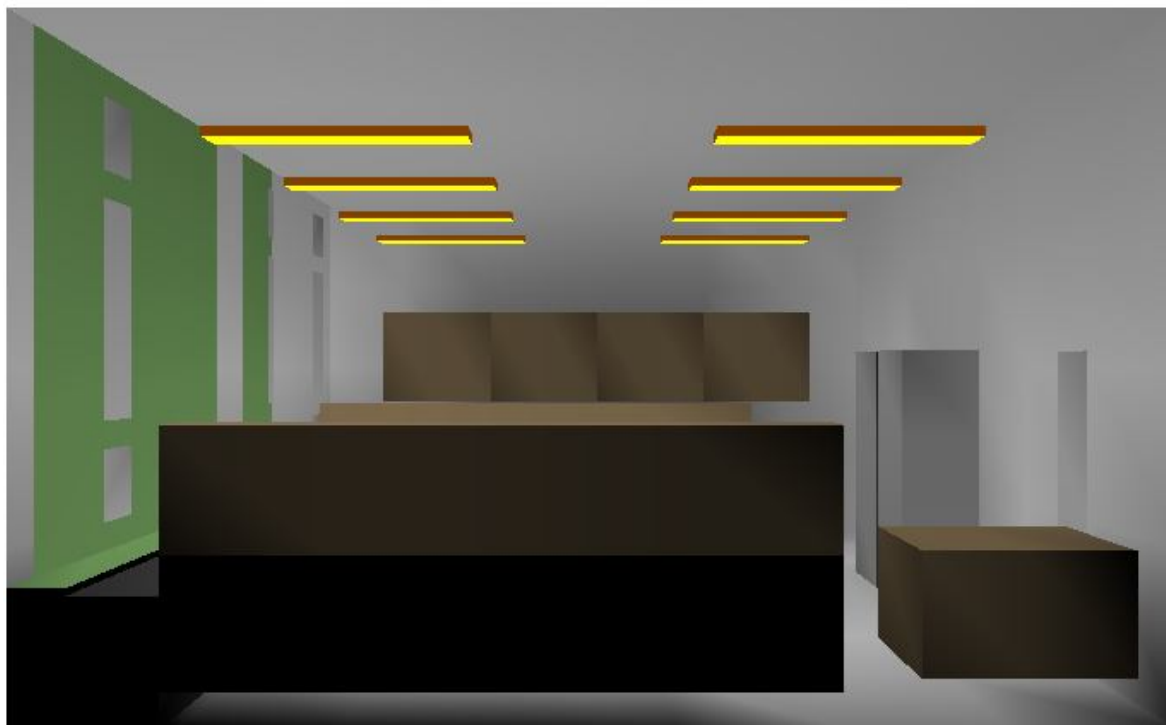
Pozn.: ¹⁾ bez vzduchové mezery; ²⁾ vzduchová mezera 3,85 mm; ³⁾ vzduchová mezera 10 mm; ⁴⁾ slabě matné; ⁵⁾ středně matné; ⁶⁾ nejmatnější

Kde: E_d - osvětlení dopadající na povrch překážky; E_τ - osvětlení prostupující překážkou;
 τ - činitel prostupu světla

PŘÍLOHA P II: DRÁTOVÝ MODEL LABORATOŘE



PŘÍLOHA P III: LABORATOŘE S PŮVODNÍM ROZMÍSTĚNÍM SVÍTIDEL - OSVĚTLENOST, ČINITEL OSLNĚNÍ



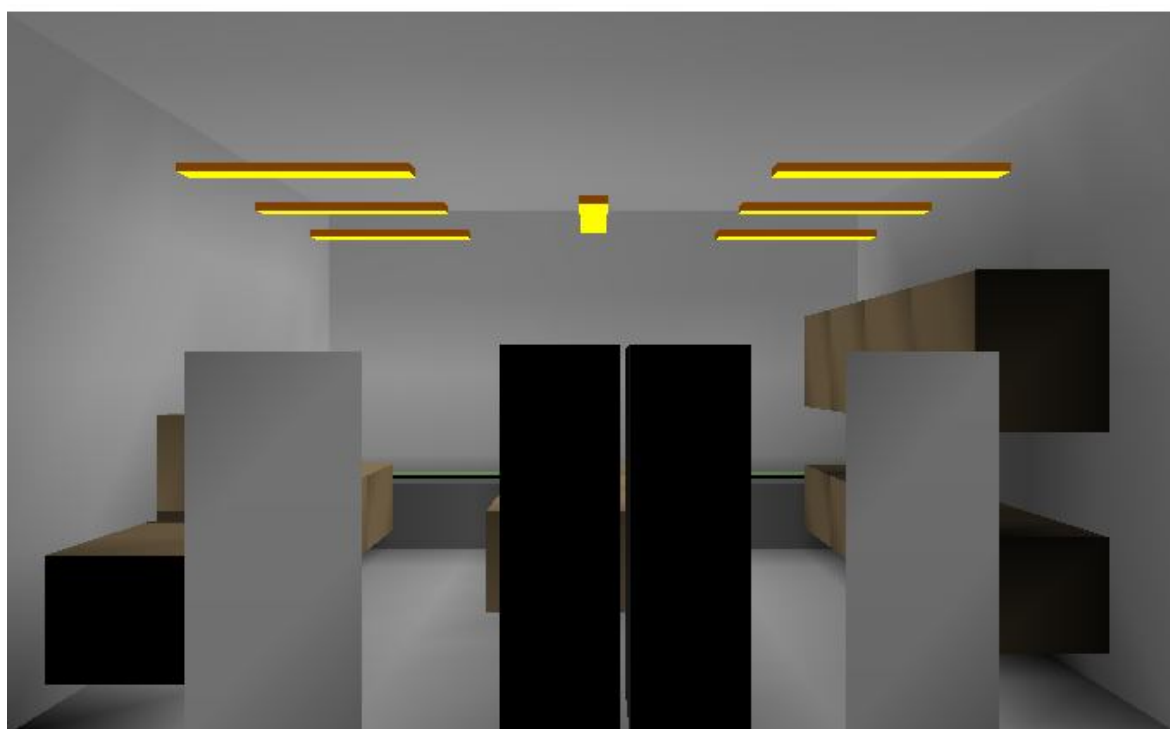
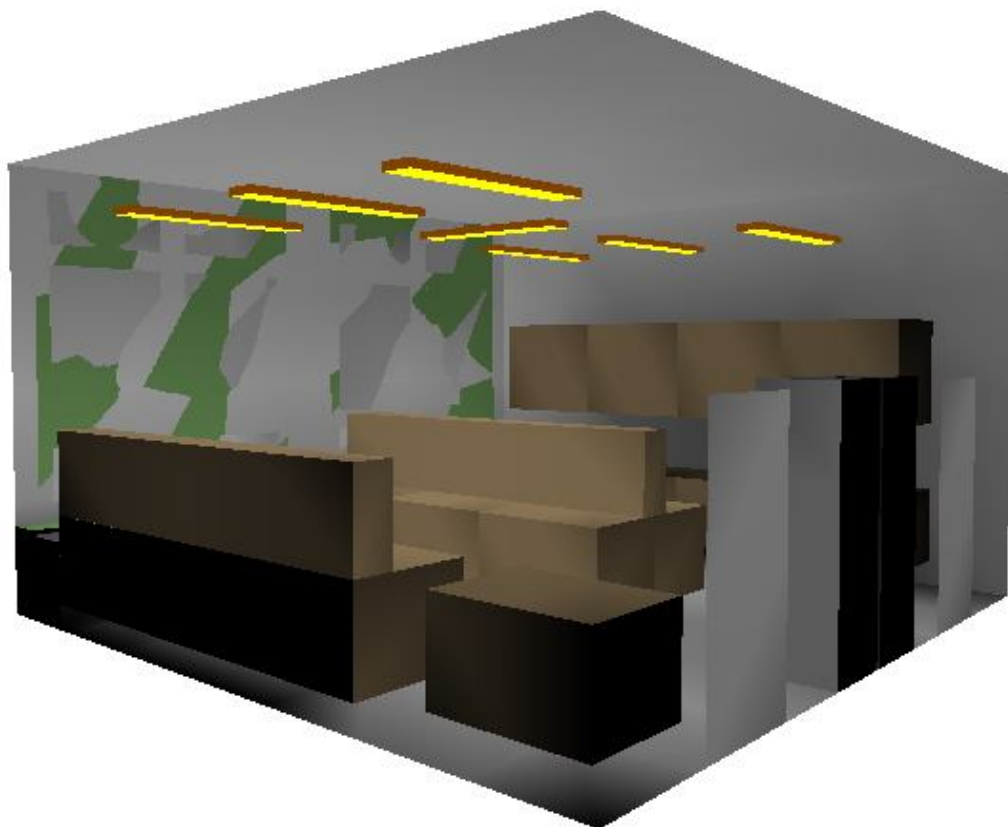
Horizontální: Emin: 0.0 Em: 379.5 Emax: 581.7 R=Emin/Emed: 0.00 Z: 0.61

370	484	523	510	548	545	475	381	459	516	506	461	450	331	246
367	482	528	546	556	534	451	416	433	506	516	494	458	293	210
8.6	495	543	566	575	547	426	0.00	398	515	532	509	466	267	157
3.8	500	550	572	582	550	425	0.00	393	516	534	511	463	235	117
3.4	493	542	564	574	542	419	0.00	387	506	525	502	452	223	103
3.2	478	524	545	555	524	406	0.00	374	488	506	482	435	215	98
3.1	460	504	525	534	504	390	0.00	357	468	486	463	417	208	93
3.0	449	492	512	522	492	381	0.00	348	456	473	451	406	203	91
2.9	448	491	511	521	492	380	0.00	348	456	474	450	406	201	89
2.7	455	497	518	528	501	386	0.00	355	467	482	459	413	201	88
1.88	461	502	521	531	516	418	0.00	394	484	486	461	417	199	88
391	457	491	509	519	516	497	476	482	488	477	453	410	198	90
392	433	462	479	487	483	471	470	454	457	448	427	390	200	102
359	394	419	434	440	433	357	359	357	390	400	388	360	206	127
322	346	369	369	361	316	11.1	6.5	24	151	295	316	308	190	153

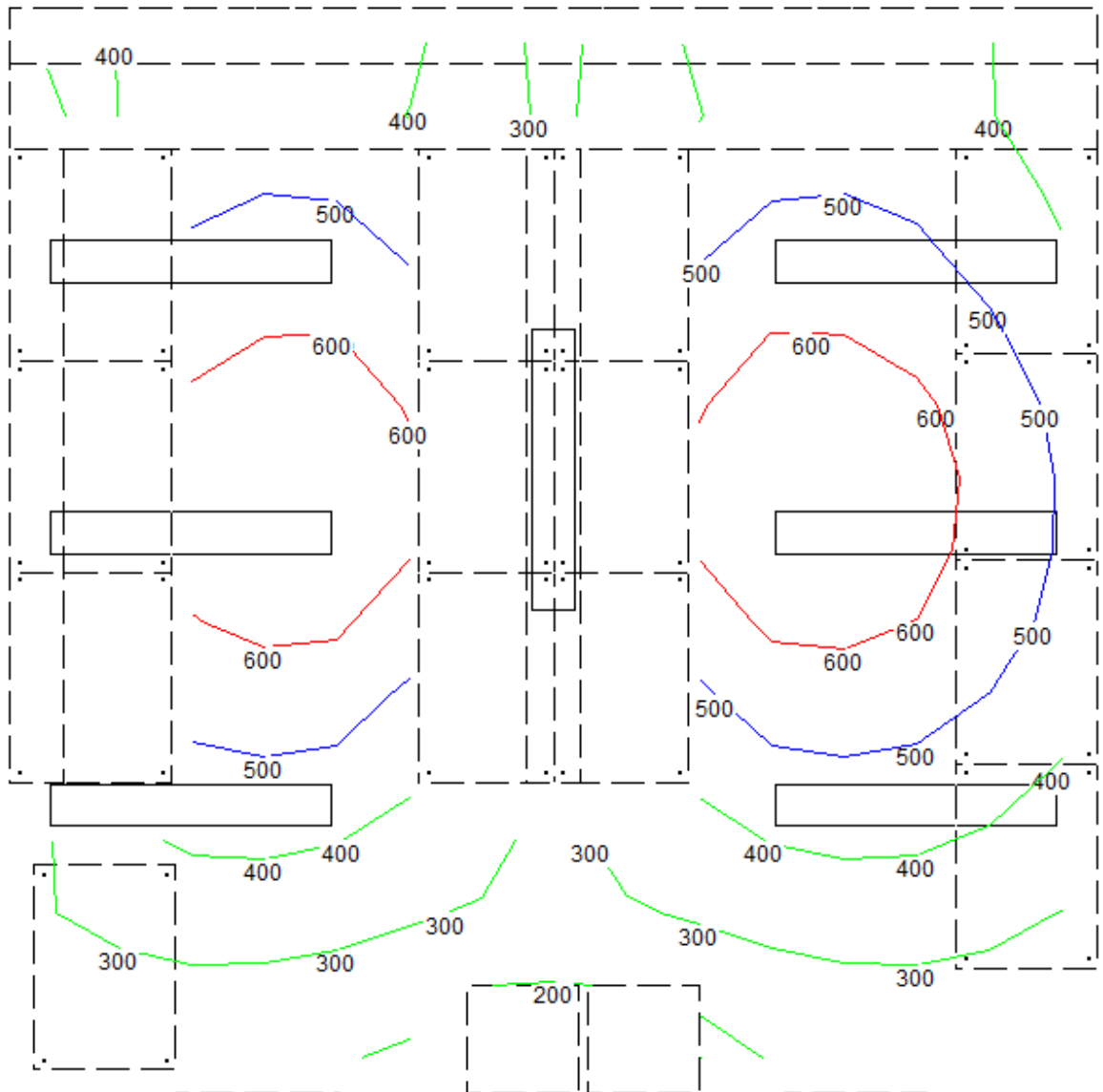
Činitel oslnění UGR: UGRL: 19: UGRmin: 0.0 UGRmed: 11.7 UGRmax: 18.0

13.8	14.3	14.0	14.3	14.5	14.2	13.8	14.5	14.2	14.8	15.3	15.3	15.1	14.7	14.3
14.2	15.0	13.8	13.9	14.3	14.0	13.6	9.2	14.3	14.9	15.3	15.1	15.2	15.9	14.4
0.00	0.00	13.8	13.7	14.0	13.7	0.00	0.00	0.00	14.7	15.2	15.0	15.2	14.8	14.9
0.00	0.00	14.3	13.8	13.8	13.4	0.00	0.00	0.00	14.4	15.0	14.8	14.9	16.1	16.2
0.00	0.00	14.8	14.4	14.2	13.0	0.00	0.00	0.00	14.1	14.8	14.8	15.1	16.3	15.6
0.00	0.00	15.3	15.1	14.7	12.9	0.00	0.00	0.00	13.9	15.3	15.5	15.7	16.7	17.1
0.00	0.00	15.7	15.5	15.1	12.3	0.00	0.00	0.00	13.3	15.6	16.0	16.1	17.6	17.2
0.00	0.00	15.9	15.8	15.4	11.6	0.00	0.00	0.00	12.5	15.9	16.3	16.2	16.7	17.9
0.00	0.00	15.8	15.7	15.2	11.5	0.00	0.00	0.00	12.3	15.7	16.1	16.2	18.0	17.5
0.00	0.00	15.6	15.3	15.0	12.1	0.00	0.00	0.00	13.0	15.4	15.7	15.9	17.6	17.7
0.00	0.00	15.3	14.8	14.6	12.5	0.00	0.00	0.00	13.4	14.7	15.1	15.5	17.2	17.5
16.7	16.0	15.0	14.5	14.3	13.1	11.9	12.4	12.5	13.8	14.2	14.6	15.2	17.3	17.4
16.5	16.2	14.9	14.4	14.1	13.3	12.9	14.0	13.3	13.9	14.5	14.5	15.1	16.8	17.0
16.9	16.5	14.7	14.4	14.1	14.0	15.1	14.5	14.6	14.6	14.8	14.8	14.9	15.8	15.8
16.9	15.6	14.2	14.3	14.3	14.0	0.00	0.00	0.00	13.6	14.8	15.0	15.2	15.0	15.5

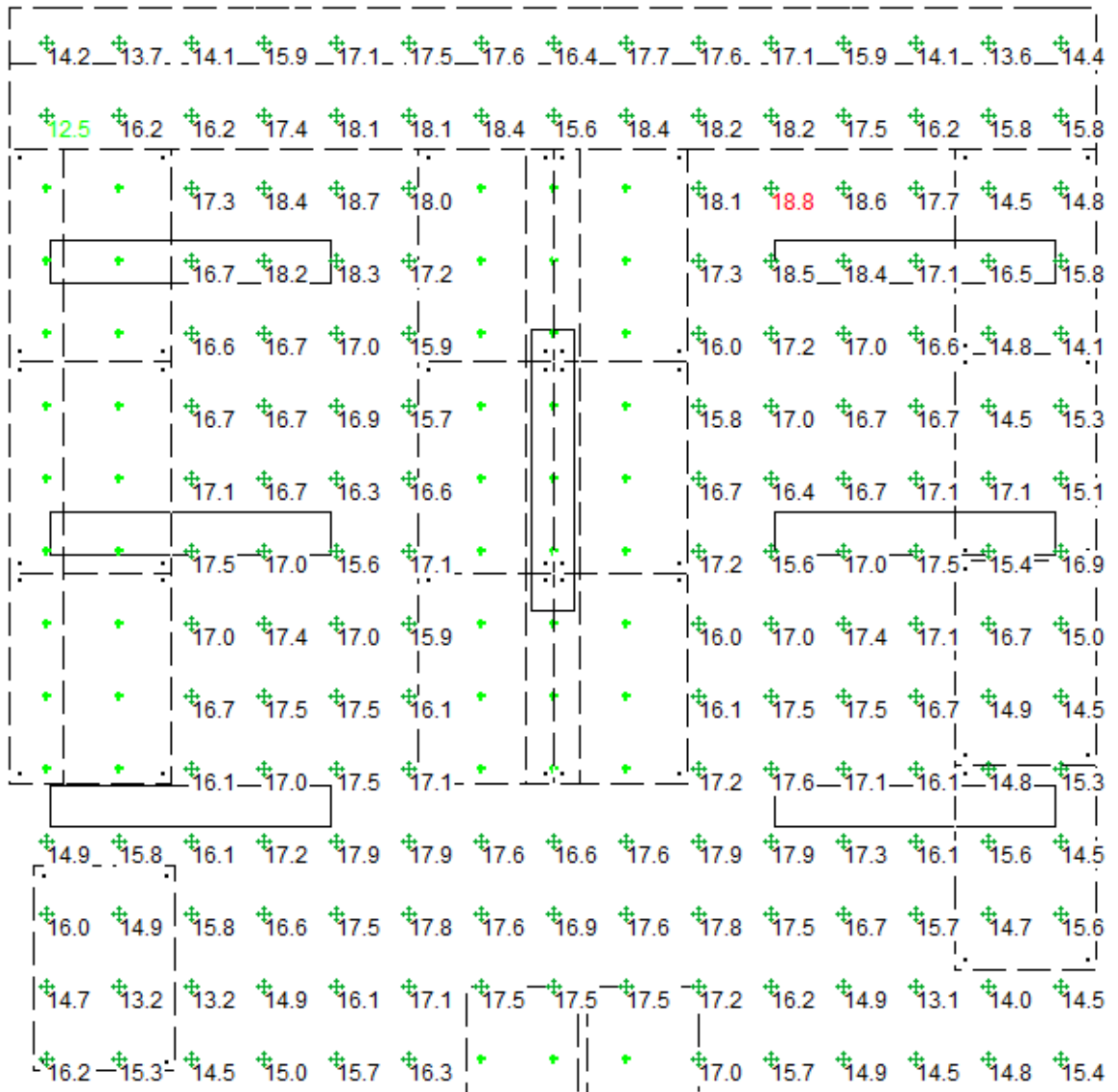
**PŘÍLOHA P IV: OPTIMALIZACE OSVĚTLENÍ V LABORATOŘI
– NÁVRH Č. 1: 3D ZOBRAZENÍ, KŘIVKY OSVĚTLENOSTI,
ČINITEL OSLNĚNÍ**



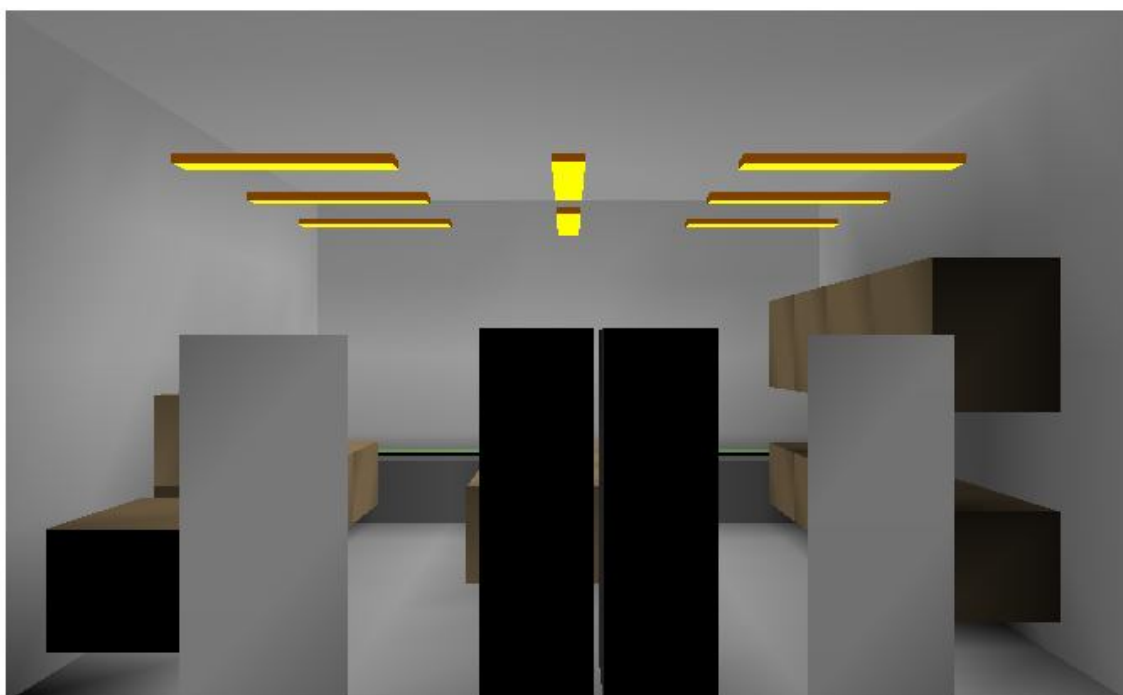
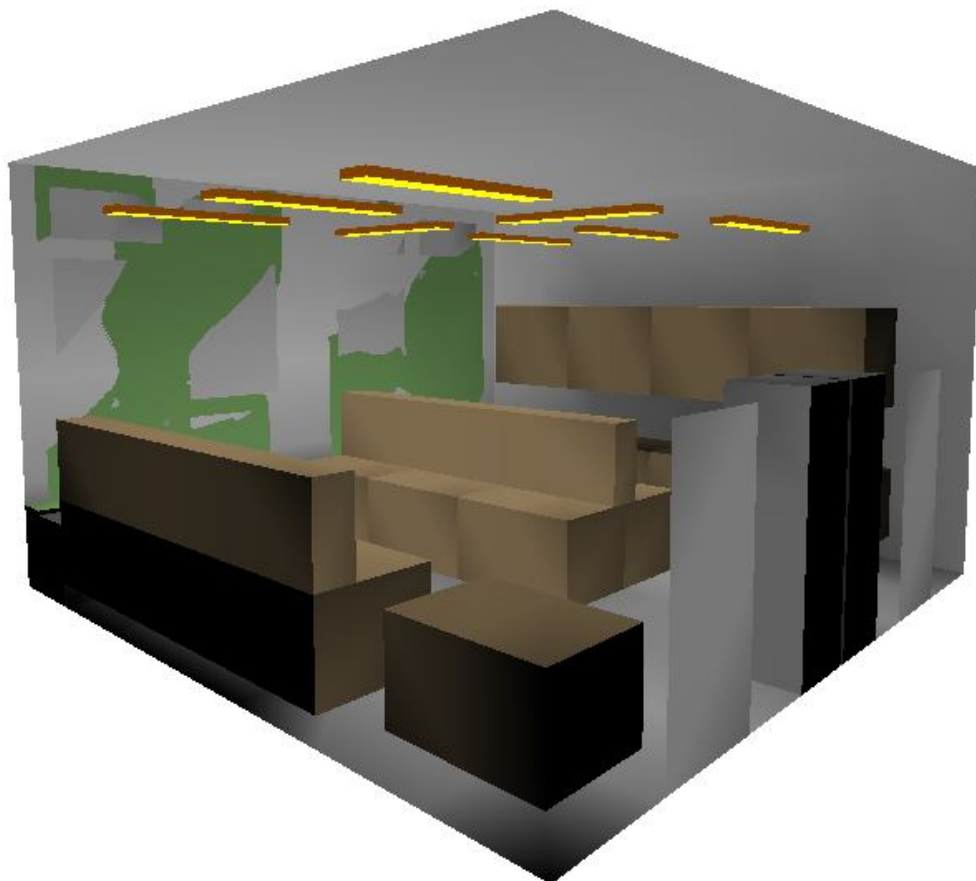
Horizontální: Emin: 147.5 Em: 438.5 Emax: 670.5 R=Emin/Emed: 0.34 Z: 0.72



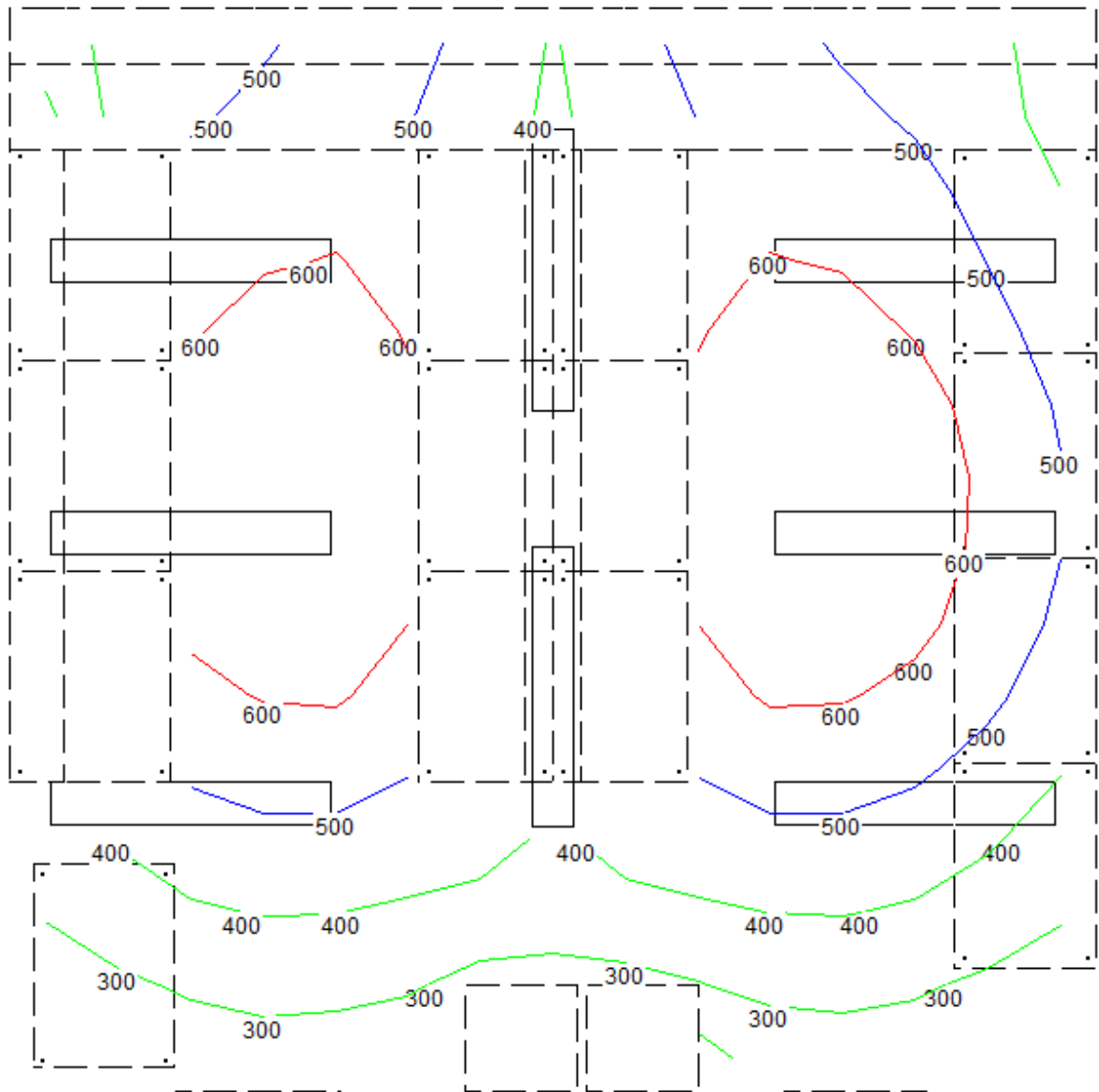
Činitel oslnění UGR: UGRL: 19: UGRmin: 12.5 UGRmed: 16.4 UGRmax: 18.8



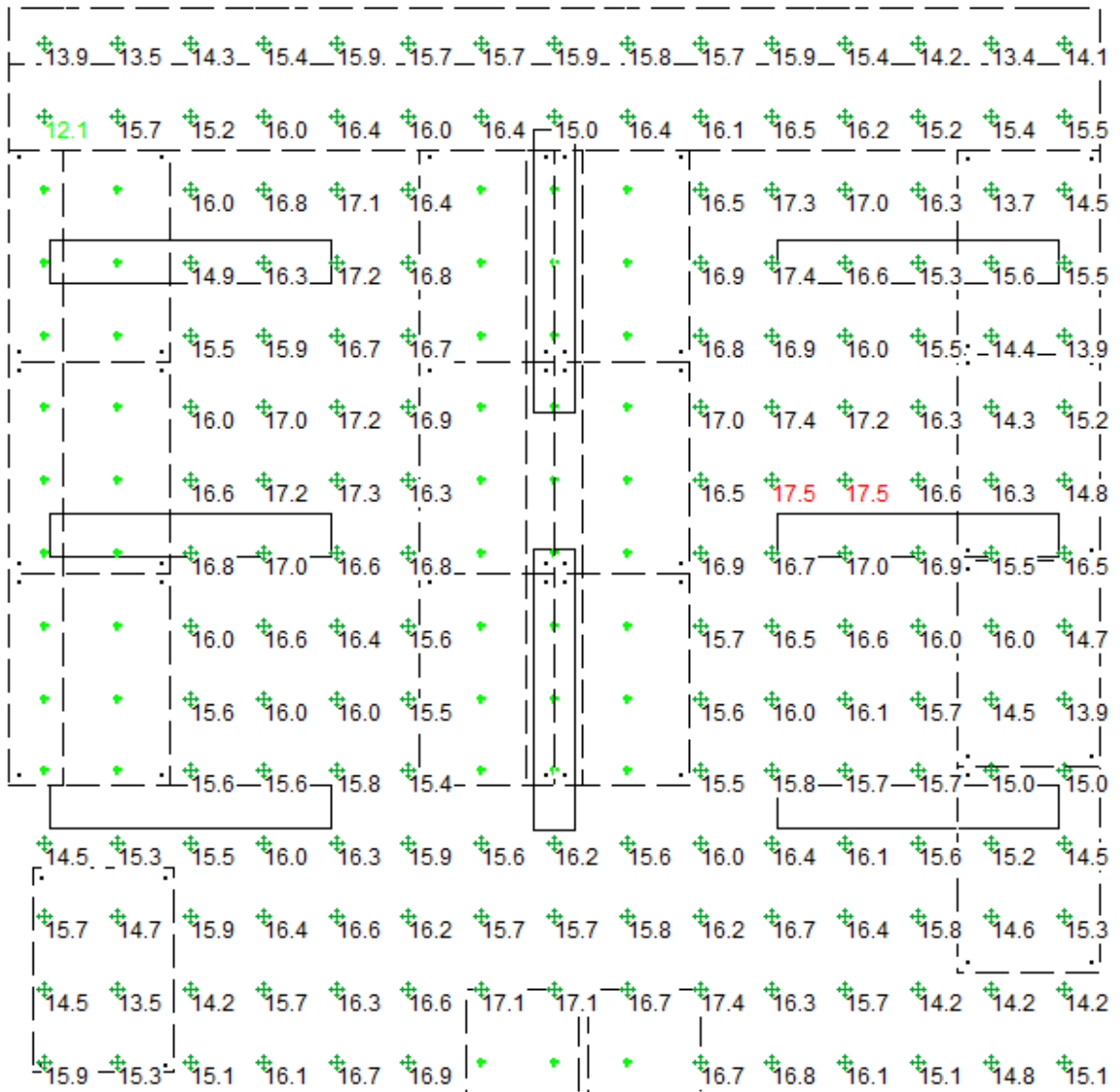
**PŘÍLOHA P V: OPTIMALIZACE OSVĚTLENÍ V LABORATOŘI
– NÁVRH Č. 2: 3D ZOBRAZENÍ, KŘIVKY OSVĚTLENOSTI,
ČINITEL OSLNĚNÍ**



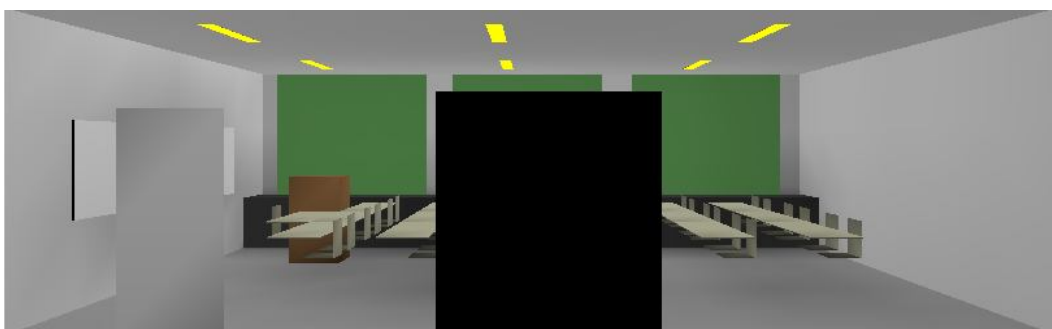
Horizontální: Emin: 151.6 Em: 484.6 Emax: 688.6 R=Emin/Emed: 0.31 Z: 0.72



Činitel oslnění UGR: UGRL: 19: UGRmin: 12.1 UGRmed: 15.9 UGRmax: 17.5



PŘÍLOHA P VI: UČEBNA Č. 222 - PŮVODNÍ SOUSTAVA SVÍTIDEL



Soustava svítidel - Soustava svítidel 1

Výběr svítidla a světelného zdroje | Návrh soustavy svítidel

Filtrovat Hledat Použítá

Svítidlo

- Eurolux LUXIT
- Eurolux VICTORIA
- GE Lighting
 - Svítidla pro bytov...
 - Svítidla průmyslo...
 - Reflektory

Typ	Název	Krytí	Zdroj	Účinnost	R...
MAR/P 136	Zářivkové svítidlo 1x36W,...	IP65	1x36W	74%	12
MAR/P 236	Zářivkové svítidlo 2x36W...	IP65	2x36W	65%	12

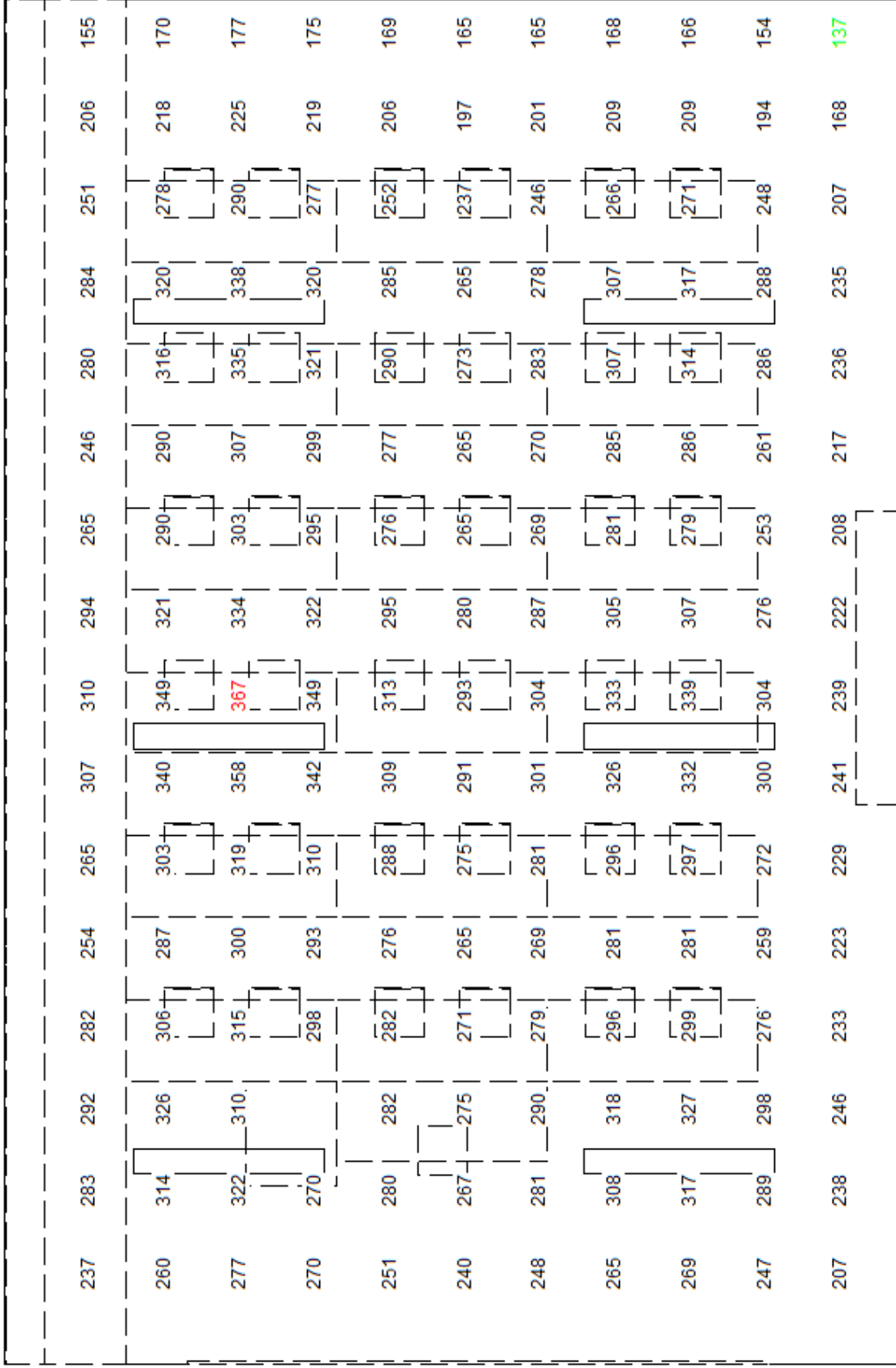
Světelný zdroj Sv.tok 2850 lm Tok zadat

- GE Lighting
 - Zářivky kompak...
 - Výbojky sodíkov...
 - Výbojky rtuťov...
 - Výbojky halogeni...
 - Zářivky lineární
- LIXART - VENTILIRI

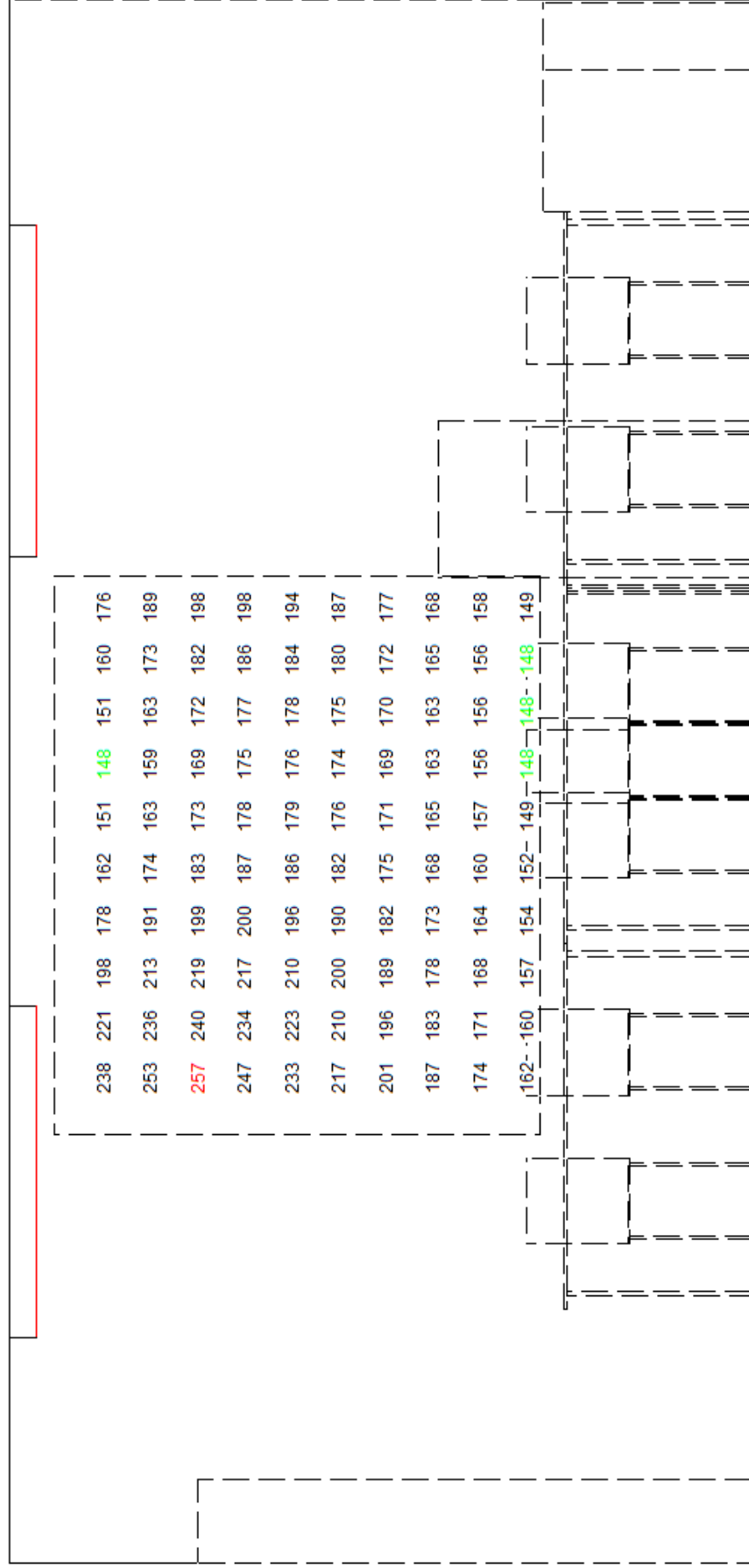
Typ	Název	Výkon	SvTok
23WF33	Standard bíla	23W	1800lm
30WF33	Standard bíla	30W	2300lm
36WF33	Standard bíla	36W	2700lm
36WF33	Standard b...	36W	3000lm

Stomo OK

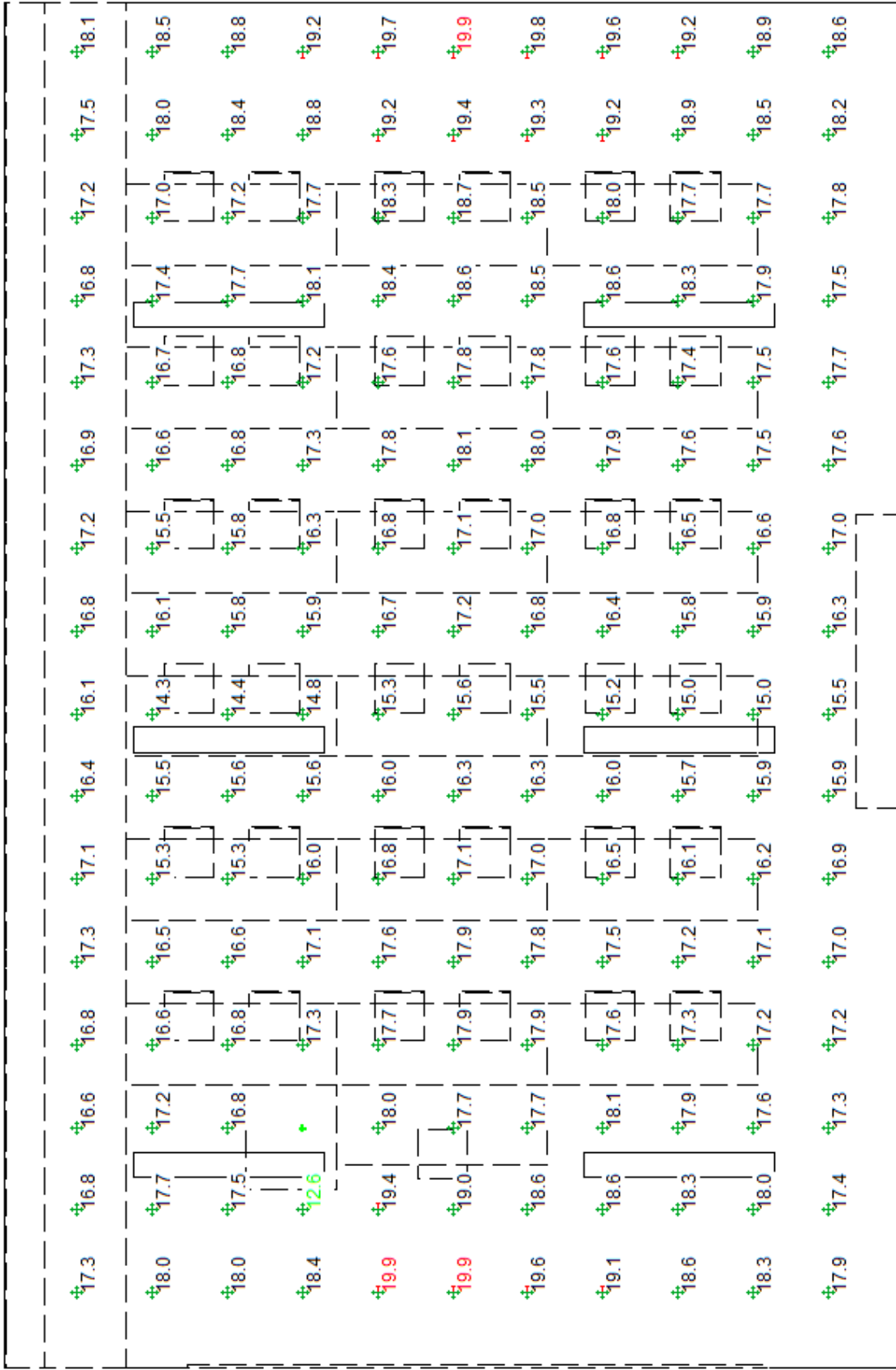
Horizontálíni: Emin: 137.4 Em: 272.5 Emax: 366.7 R=Emin/Emed: 0.50 Z: 0.55



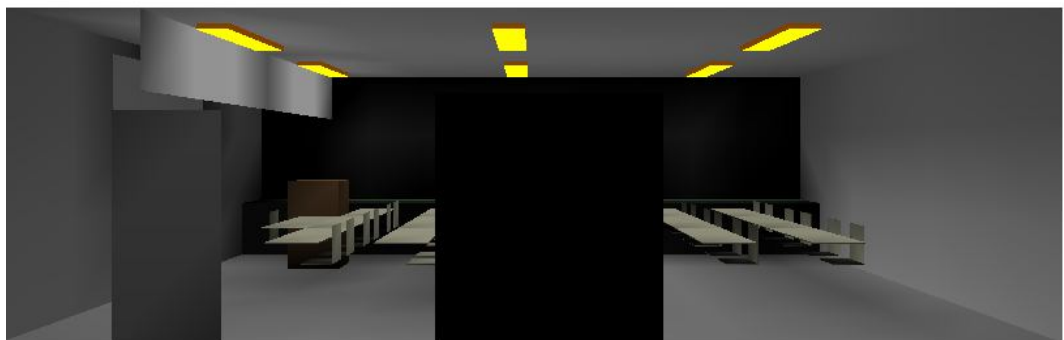
Vertikální X: Emin: 147.5 Em: 181.9 Emax: 256.6 R=Emin/Emed:0.81 Z:0.55



Číselník oslňení UGR: UGRmin: 19. UGRmed: 17.3 UGRmax: 19.9



PŘÍLOHA P VII: NÁVRH – UČEBNA S PROMÍTACÍM PLÁTNEM (POUŽITÁ SVÍTIDLA, OSVĚTLENOST, OSLNĚNÍ)



Soustava svítidel - Soustava svítidel 1

Výběr svítidla a světelného zdroje Návrh soustavy svítidel

Svítidlo: philips8,TPS670/249 D7,IP 20,2x28W,78%

Zdroj: TLD 58W/33 G13,TL-D Standard ,58W,4800lm,8000hod

	X	Y	Z	Počet
Souřadnice	4175	1495	2840	
Rozteč 1	2827	0	0	2
Rozteč 2	0	2990	0	2

Úhel svítidel

	Naklonění	Natočení	Otočení
Úhel svítidel	0	0	180

Optická osa

	X	Y	Z
Optická osa	0.000	0.000	-1.000
Osa C0	-1.000	0.000	0.000

Zadání optické osy

Směrovým bodem
 Vektorem
 Úhly

Tokový výpočet

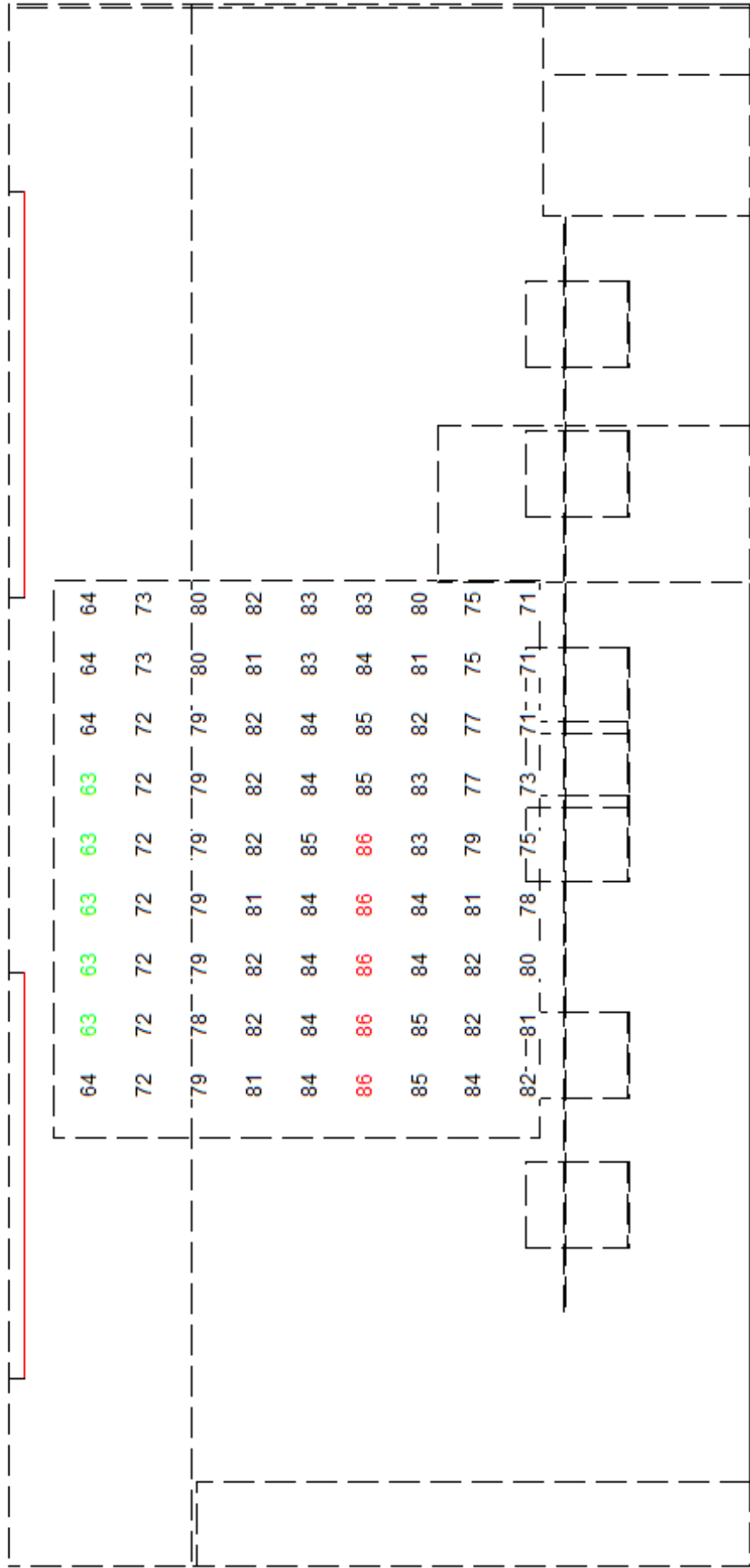
 Em [lx]
 Počet

Centrovat při rozmístění
 Obecná orientace svítidel
 Obecná rozteč svítidel
 Nepravidelná soustava

Horizontální: Emin: 54.1 Em: 493.4 Emax: 671.0 R=Emin/Emed: 0.11 Z: 0.56

71	461	494	521	527	523	525	510	518	521	504	502	495	478	389	231
68	559	589	612	635	629	613	600	606	619	615	593	581	563	451	275
63	589	401	648	671	666	648	633	639	654	651	627	615	596	474	289
58	541		611	632	628	610	589	603	616	613	592	572	560	451	271
58	495	506	548	572	568	546	519	542	557	555	532	503	500	414	243
58	480	487	528	550	545	525	493	520	535	533	512	479	480	401	233
58	517	531	563	585	580	560	533	553	570	567	544	518	514	421	248
58	575	597	618	639	632	614	595	605	620	618	596	580	567	453	273
58	579	604	622	646	638	616	600	607	625	624	599	587	570	454	276
56	503	525	546	570	560	537	520	527	548	548	525	512	499	402	245
54	382	400	422	439	425	403	384	397	414	414	406	393	386	315	189

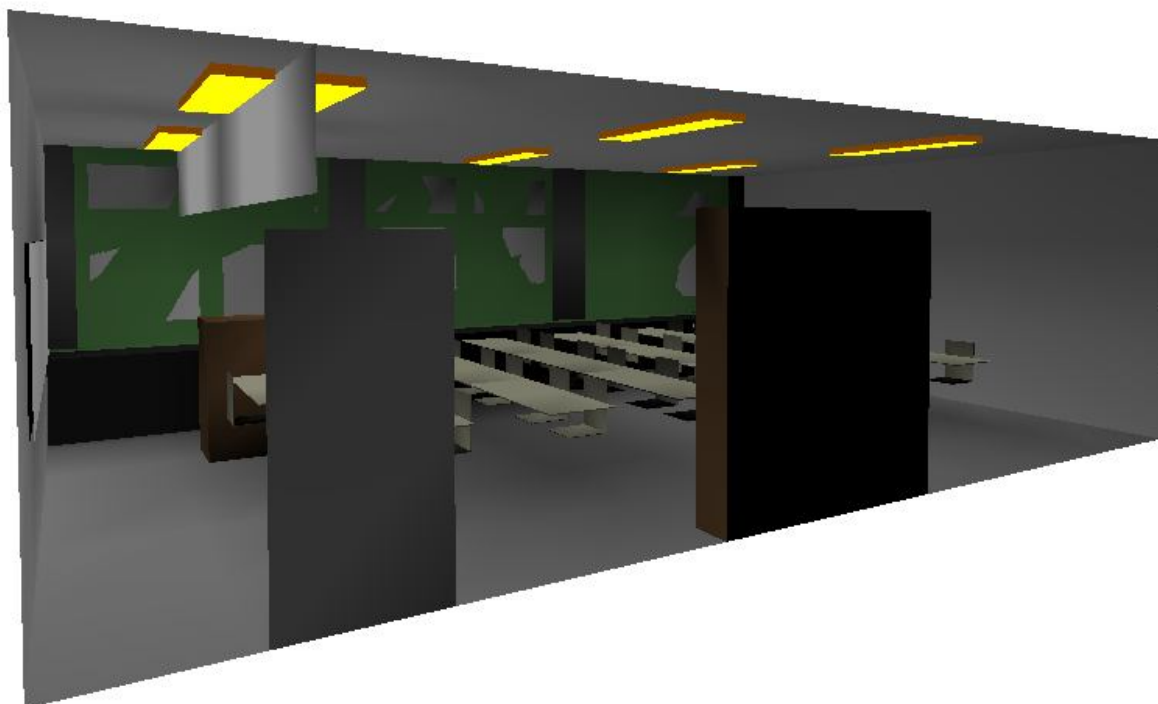
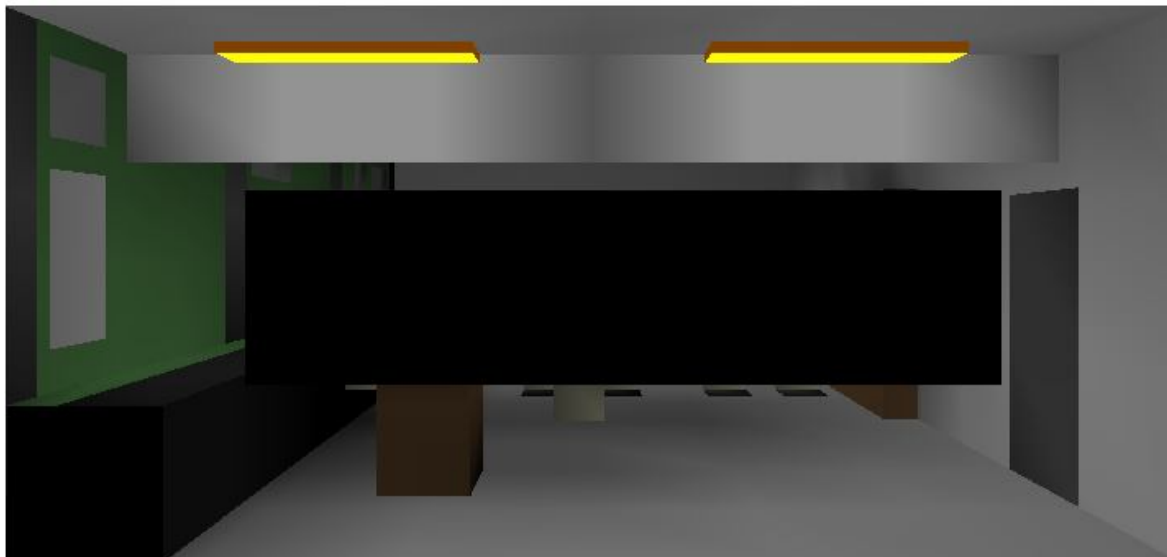
Vertikální X: Emin: 63.2 Em: 78.1 Emax: 86.3 R=Emin/Emed: 0.81 Z: 0.37



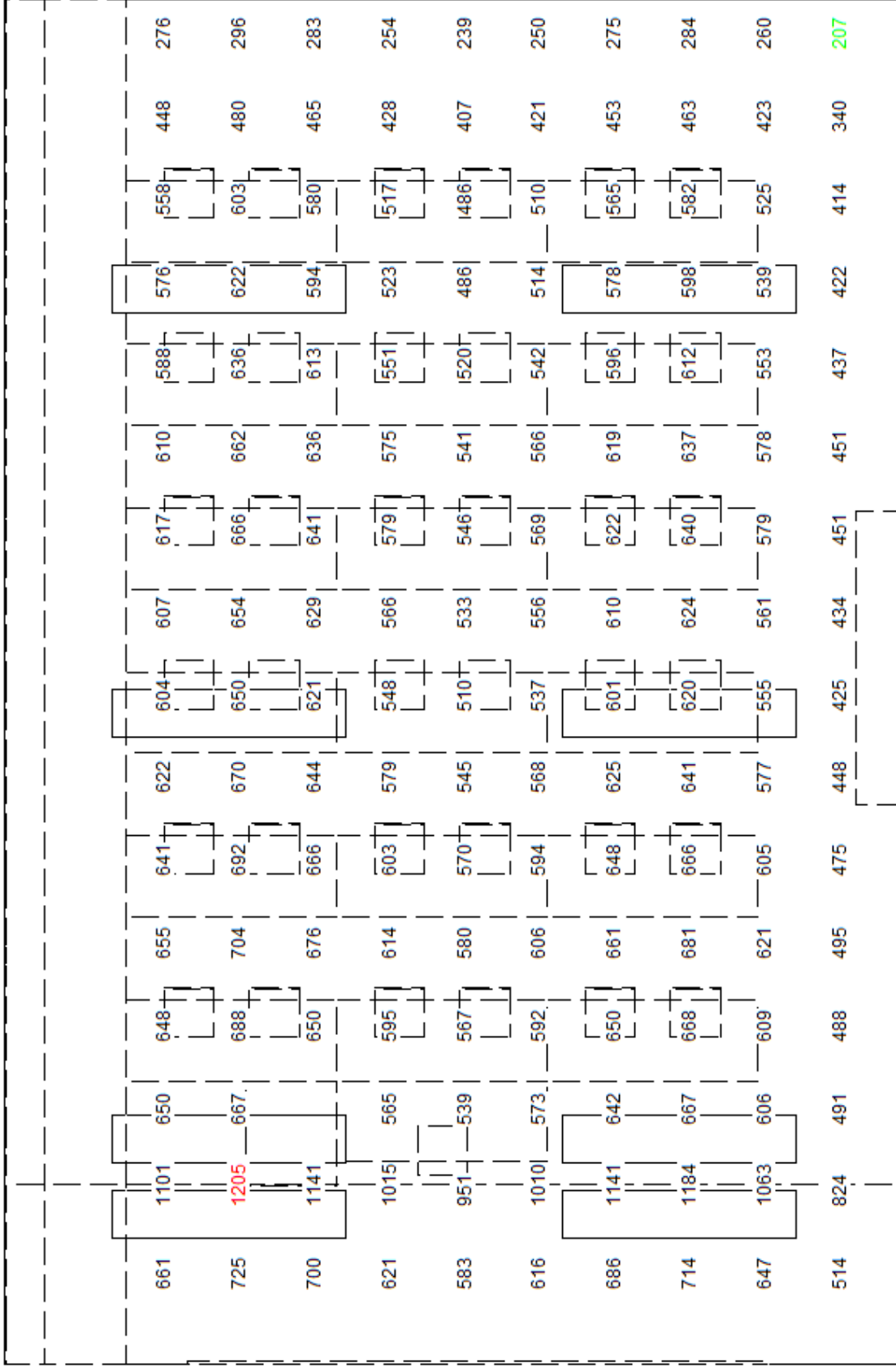
Cíntel oslnění UGR: UGRL: 19: UGRmin: 0.0 UGRmed: 14.9 UGRmax: 20.6

0.00	16.8	14.8	17.3	21	20	16.1	13.9	16.9	20	17.2	14.3	16.2	19.8	18.5
0.00	13.1	9.2	13.1	18.5	17.4	12.6	6.7	12.8	18.1	18.2	8.2	11.0	17.4	19.2
0.00	12.7	2.7	13.1	18.5	17.6	11.8	8.2	12.3	18.1	18.2	9.8	9.5	17.0	19.4
0.00	17.0	14.4	14.4	18.6	17.5	15.4	13.0	15.4	18.1	18.3	14.3	14.6	18.1	19.5
0.00	17.9	15.2	16.7	19.8	18.6	17.6	14.8	17.6	18.5	19.3	16.2	16.6	19.6	19.8
0.00	18.3	14.9	17.7	20	19.3	18.0	14.8	18.2	19.1	19.9	16.0	17.0	20	19.9
0.00	17.8	14.9	16.7	19.7	18.8	16.7	14.1	16.7	18.9	19.7	15.3	16.1	19.6	19.9
0.00	16.0	14.2	14.0	19.0	17.7	14.9	12.5	14.8	18.3	18.8	13.8	14.3	18.7	19.7
0.00	11.2	10.0	13.4	18.9	17.8	12.1	8.1	12.6	18.4	18.9	9.4	9.5	17.6	19.7
0.00	11.9	7.9	13.6	19.0	17.8	11.9	6.3	12.8	18.6	18.9	7.6	11.0	17.6	19.5
0.00	15.7	13.8	16.5	19.6	19.4	15.5	13.2	15.7	19.3	19.5	13.4	15.4	18.8	18.9

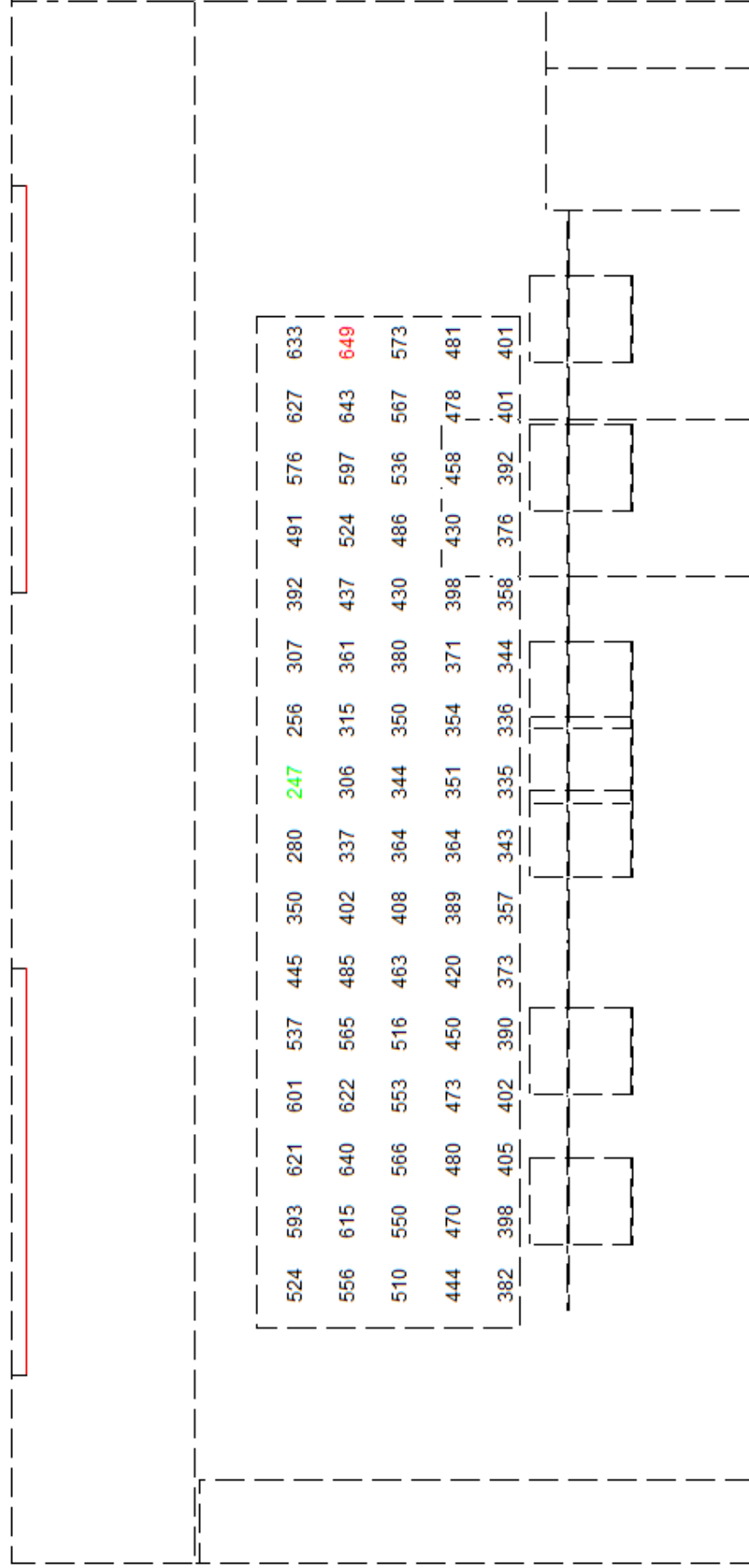
PŘÍLOHA P VIII: NÁVH Č. 1 – UČEBNA S TABULÍ (OSVĚTLENOST, OSLNĚNÍ)



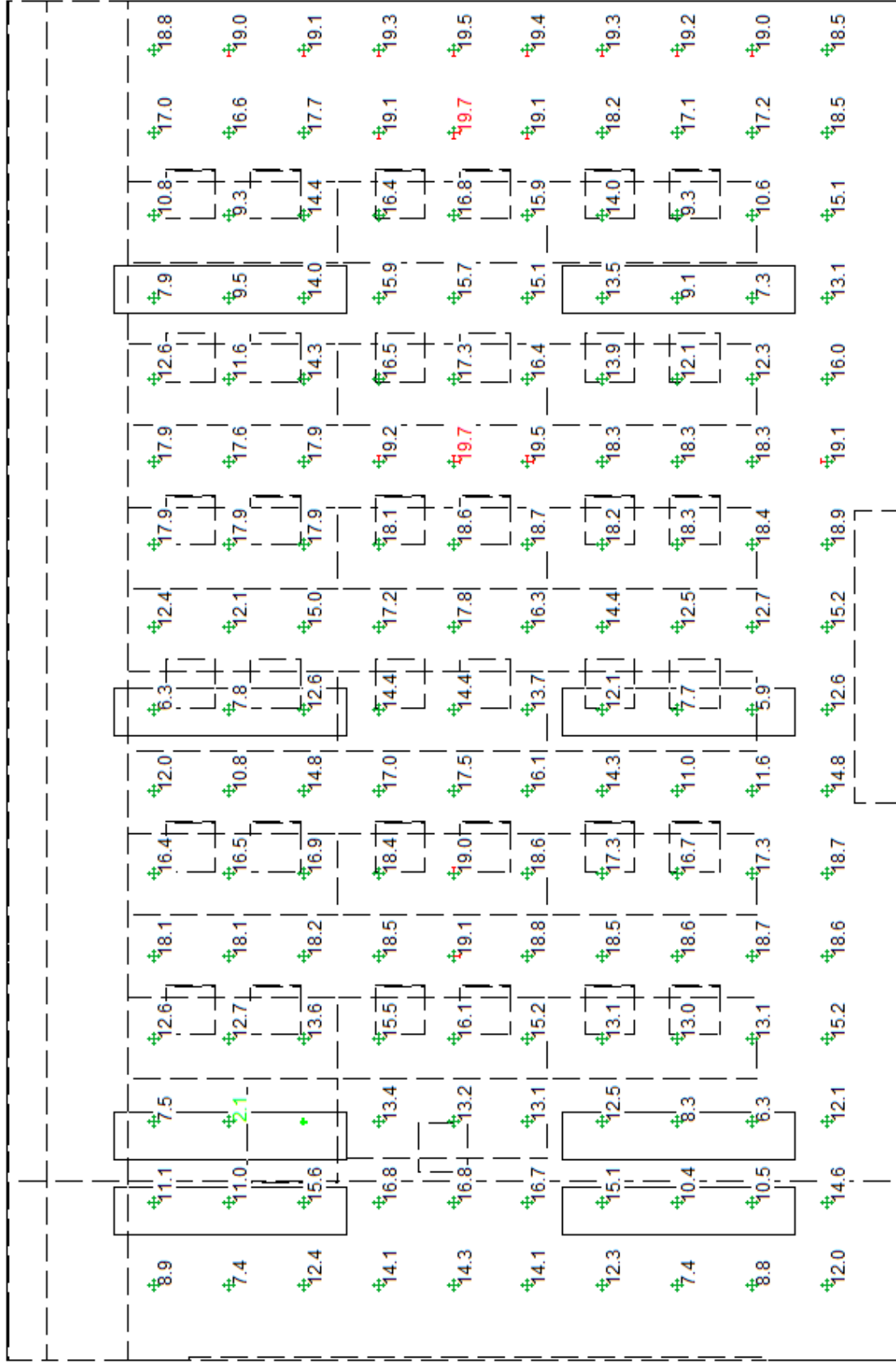
Horizontálíni: Emin: 207.1 Em: 589.0 Emax: 1204.6 R=Emin/Emed: 0.35 Z: 0.56



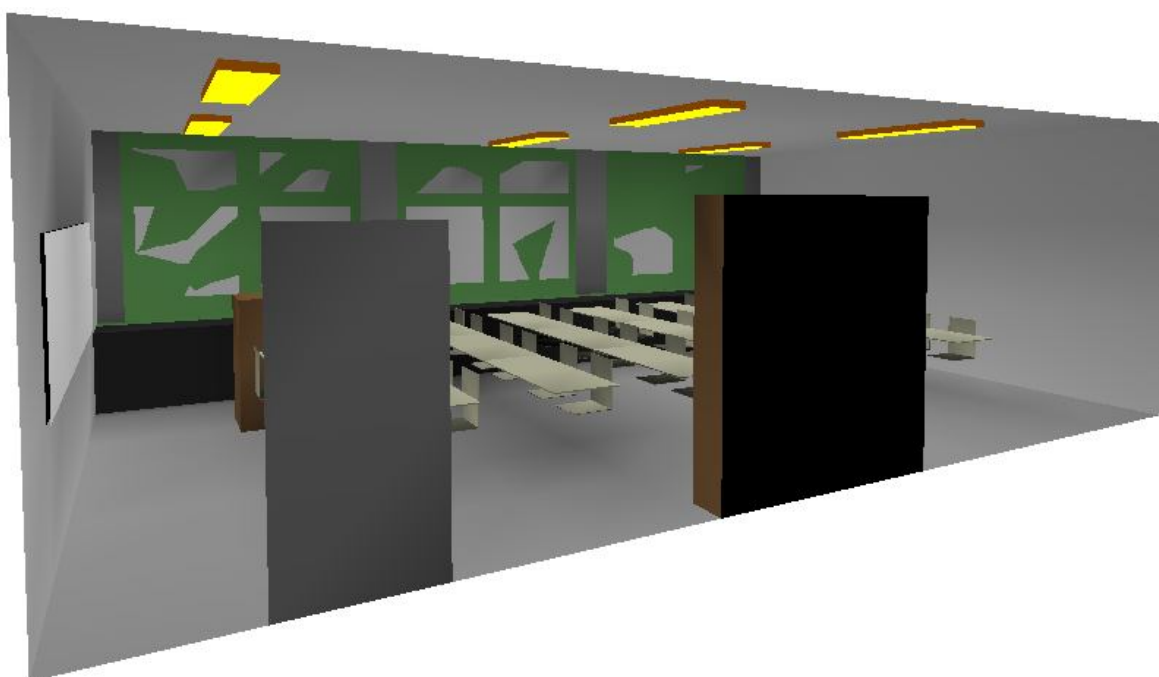
Vertikální X- Emin: 247.2 Em: 449.2 Emax: 649.1 R=Emin/Emed: 0.55 Z: 0.56



Čímitel oslňení UGR: UGR_L: 19: UGR_{min}: 2.1 UGR_{med}: 14.9 UGR_{max}: 19.7



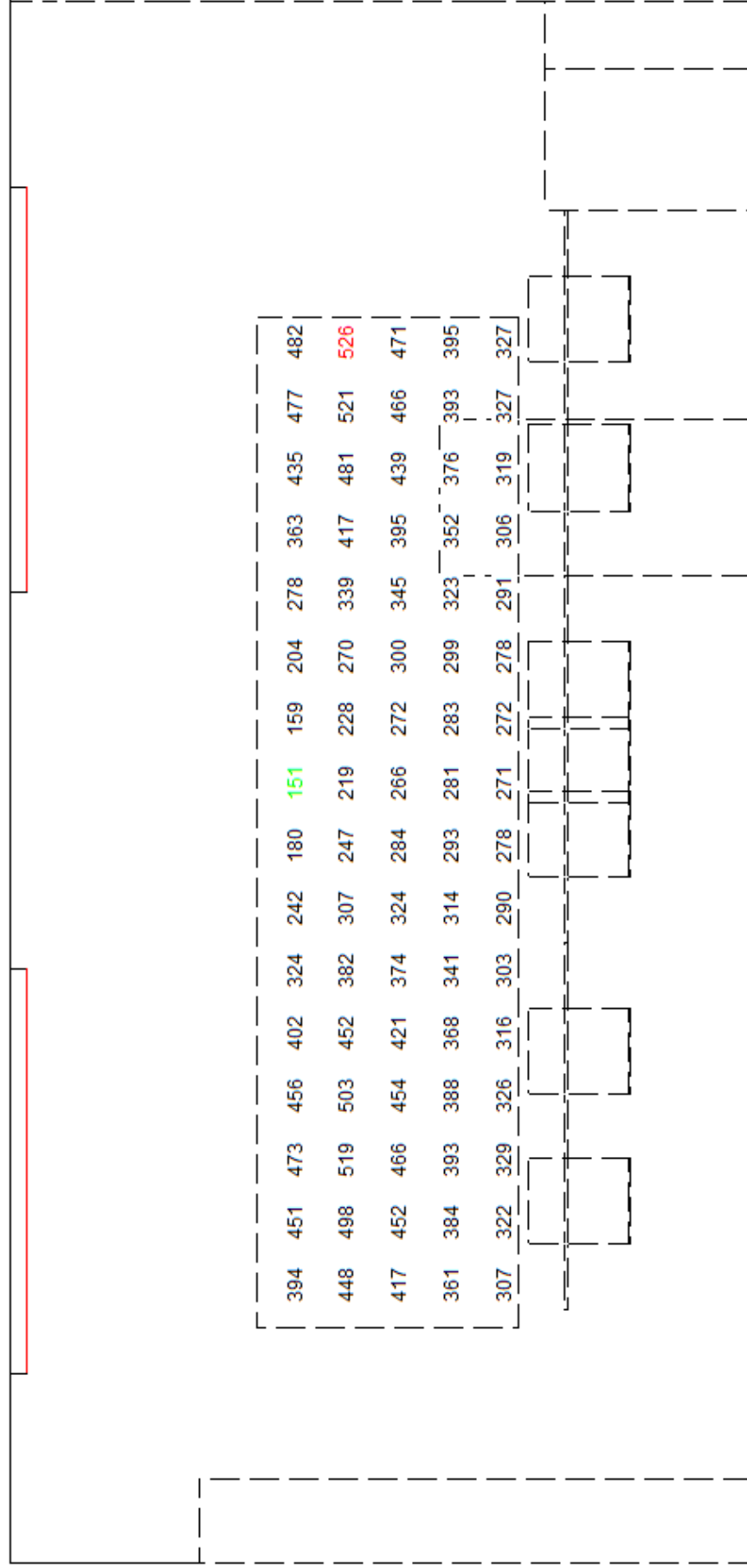
PŘÍLOHA P IX: NÁVH Č. 2 – UČEBNA S TABULÍ (OSVĚTLENOST, OSLNĚNÍ)



Horizontální: Emin: 200.2 Em: 503.5 Emax: 648.7 R=Emin/Emed: 0.40 Z: 0.56

574	577	552	475	443	482	560	573	584	599	595	576	565	548	440	268
635	624	576	506	479	518	606	620	631	649	647	624	612	594	472	288
616	587		483	454	501	583	591	607	623	622	601	584	571	457	275
546	523	507	445	403	459	522	519	545	562	561	540	513	509	419	247
514	489	487	426	375	437	491	481	512	529	528	508	476	477	399	231
543	521	512	443	397	451	513	509	535	553	553	531	505	501	414	242
605	588	563	480	443	487	567	574	590	607	606	586	569	557	446	267
629	611	579	491	461	497	582	593	605	625	625	602	590	574	456	277
568	550	523	449	419	453	522	531	543	565	567	543	530	517	416	253
445	431	416	358	327	357	404	404	419	439	441	428	414	407	333	200

Vertikální X: Emin: 151.1 Em: 354.7 Emax: 525.9 R=Emin/Emed: 0.43 Z: 0.52



Činitel oslnění UGR: UGRmin: 3.0 UGRmed: 15.7 UGRmax: 20.3

11.6	8.0	14.1	17.2	18.8	16.9	12.4	6.8	12.9	18.1	18.3	12.9	8.2	11.0	17.4	19.2
9.8	9.7	3.0	17.3	18.9	16.6	10.7	8.4	12.4	18.1	18.3	12.2	9.8	9.6	17.1	19.5
14.9	14.2	*	18.8	19.0	17.6	15.7	13.1	15.5	18.1	18.4	14.5	14.3	14.6	18.1	19.6
16.6	15.4	16.4	18.8	19.2	19.0	17.8	15.0	17.7	18.7	19.3	16.7	16.2	16.6	19.6	19.8
17.0	15.3	16.9	18.9	19.3	19.7	18.2	14.9	18.2	19.3	19.9	17.5	16.0	17.0	20	20.0
16.6	15.1	16.1	18.5	19.4	19.2	16.8	14.2	16.8	19.0	19.8	16.6	15.4	16.1	19.6	19.9
14.7	13.6	14.8	17.5	19.3	18.1	15.1	12.7	14.9	18.3	18.9	14.1	13.8	14.3	18.7	19.8
9.8	9.2	10.1	16.8	19.4	17.2	10.3	8.2	12.7	18.5	19.0	12.6	9.4	9.6	17.6	19.7
11.6	7.1	11.8	17.2	19.4	17.9	12.0	6.4	12.9	18.6	19.0	12.9	7.6	11.0	17.6	19.5
14.6	12.9	15.5	18.1	19.1	19.3	15.5	13.3	15.8	19.4	19.6	16.3	13.5	15.4	18.9	18.9

EVIDENČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

Sigla (místo uložení diplomové práce)	Ústřední knihovna UTB
Název diplomové práce	Optimalizace osvětlení vnitřních prostor
Autor diplomové práce	Bc. Markéta Žáková
Vedoucí diplomové práce	Ing. Martin Vašina, Ph.D.
Vysoká škola	Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Adresa vysoké školy	nám T. G. Masaryka 555 760 01 Zlín
Fakulta (adresa, pokud je jiná než adresa VŠ)	Fakulta technologická nám. T. G. Masaryka 275 760 01 Zlín
Katedra (adresa, pokud je jiná než adresa VŠ)	Ústav inženýrství ochrany životního prostředí
Rok obhájení DP	2011
Počet stran	115
Počet svazků	1
Vybavení (obrázky, tabulky...)	Obrázky 15, tabulky 24, přílohy 9
Klíčová slova	Osvětlení, oslnění, světelní zdroje, světelní činitelé, Wils 6.3