

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

Diplomová práce

Verifikace dosažení deklarovaných parametrů
osvětlovací soustavy v interiéru budovy ZČU
Menza Bory

Vedoucí práce

Ing. Oldřich Kroupa, Ph. D.

Autor

Bc. Patrik Vondráček

Plzeň 2017

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Patrik VONDRÁČEK**
Osobní číslo: **E15N0097P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Technická ekologie**
Název tématu: **Verifikace dosažení deklarovaných parametrů osvětlovací soustavy v interiéru budovy ZČU Menza Bory**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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

Ověřte parametry a současný stav osvětlovací soustavy uvnitř budovy menza Bory dle platných norem. Navrhněte její případnou modernizaci.

1. Uveďte způsoby osvětlování interiéru objektů, popište používaná svítidla, světelné zdroje a příslušné normy.
2. Popište aktuální stav osvětlení dané budovy.
3. Ověřte parametry a stav zkoumané osvětlovací soustavy měřeními.
4. Navrhněte počítačovou simulaci aktuálního a nově zvoleného řešení. Porovnejte reálné hodnoty osvětlenosti získané měřeními s výsledky počítačové simulace.
5. Proveďte vyhodnocení získaných výsledků, porovnejte nově navrženou osvětlovací soustavu se stávající a formulujte závěry z hlediska technického, provozního a ekonomického.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah kvalifikační práce: **40 - 60 stran**

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

Seznam odborné literatury:

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

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Oldřich Kroupa, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **14. října 2016**
Termín odevzdání diplomové práce: **19. května 2017**



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

L.S.



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

V Plzni dne 14. října 2016

Anotace

Cílem této práce bylo zhodnotit aktuální stav osvětlenosti univerzitního objektu Menza Bory. Součástí práce je výstup z měření skutečných hodnot denního, sdruženého a umělého osvětlení. Pro daný objekt byla v rámci této práce rovněž provedena simulace, jejíž výsledky jsou také její součástí. V teoretické části obsahuje práce stručný přehled světelné techniky a běžných svítidel.

Abstract

Author: Patrik Vondráček

Theme: The verification of specified lighting system parameters achievement inside the Westbohemian University Menza Bory building

The aim of this work is to assess the present state of illumination of the university building - the Bory canteen. The work contains measured values of actual lighting. Simulation was also created for this building. Its results are contained in the work. The theoretical part of the thesis contains a brief overview of lighting technology and conventional luminaires.

Klíčová slova

Osvětlenost, simulace, měření, relux, menza

Keywords

Illumination, simulation, measuring, relux, canteen

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 19.5.2017

Bc. Patrik Vondráček

Obsah

Anotace	4
Seznam obrázků	9
Seznam použitých veličin	11
Úvod	12
1 Světelná technika	13
1.1 Světelné záření	13
1.2 Barva světla	13
1.3 Vnímání světla člověkem.....	14
1.4 Světelně technické veličiny.....	17
1.5 Světelné zdroje	22
1.6 Rozdělení světelných zdrojů	25
2 Vlastní měření a simulace	38
2.1 Požadavky podle normy	38
2.2 Současné osvětlení.....	39
2.3 Naměřené hodnoty	39
2.4 Výsledky simulace.....	40
2.5 Návrh nové osvětlovací soustavy.....	42
2.6 Ekonomická bilance	43
2.7 Výpočty.....	45
2.8 Použité přístroje	46
3 Závěr	47

4	Přílohy	48
4.1	Naměřené hodnoty činitele odrazu ρ (-).....	48
4.2	Rozmístění kontrolních bodů	49
4.3	Příloha 1 – naměřené hodnoty denní osvětlenosti $E(lx)$ v prostoru jídelny	49
4.4	Osvětlenost venkovní horizontální roviny	52
4.5	Činitel denní osvětlenosti D (-).....	55
4.6	Průměrné hodnoty denního osvětlení	58
4.7	Rovnoměrnost denního osvětlení U_o (-).....	58
4.8	Naměřené hodnoty sdruženého osvětlení $E(lx)$ v prostoru jídelny	59
4.9	Průměrné hodnoty sdruženého osvětlení $\bar{E}(lx)$	64
4.10	Naměřené hodnoty umělého osvětlení $E(lx)$ v prostoru varny.....	66
4.11	Podmínky při měření.....	69
4.12	Obrázky simulace	70
5	Bibliografie	75

Seznam obrázků

Obr. 1 - Spektrum viditelného světla (1)	13
Obr. 2 – Purkyňův jev (20)	16
Obr. 3 – Wolframová žárovka (2)	25
Obr. 4 – Halogenová žárovka (6)	26
Obr. 5 – UV Zářivka (7)	28
Obr. 6 Nízkotlaká sodíková výbojka (8)	29
Obr. 7 - Indukční výbojka (9)	30
Obr. 8 - Vysokotlaká rtuťová výbojka (10)	31
Obr. 9 - Halogenidová výbojka (11)	33
Obr. 10 - Vysokotlaká sodíková výbojka (12)	34
Obr. 11 - LED žárovka (14)	35
Obr. 12 - Spektrum LED zdroje (13)	36
Obr. 13 – Simulace sdruženého osvětlení jídelny (3)	41
Obr. 14 – Simulace sdruženého osvětlení varny (3)	41
Obr. 15 – Simulace sdruženého osvětlení varny s LED (3)	42
Obr. 16 - Půdorys jídelny (3)	49
Obr. 17 - Půdorys varny	66
Obr. 18 – Izočáry osvětlenosti	70
Obr. 19 - Rozložení jasů	71
Obr. 20 - Sdružené osvětlení varny	72
Obr. 21 – Osvětlenost, umělé osvětlení varny	73

Obr. 22 – Izočáry, umělé osvětlení varny 74

Seznam použitých veličin

Φ	<i>Světelný tok</i>	(lm)
Ω	<i>Prostorový úhel</i>	(sr)
L	<i>Jas</i>	(cd · m ⁻²)
I	<i>Svítivost</i>	(cd)
E	<i>Osvětlenost</i>	(lx)
M	<i>Světlení</i>	(lm · m ⁻²)
R_a	<i>Index podání barev</i>	(-)
T_{cp}	<i>Náhradní teplota chromatičnosti</i>	(K)
U_0	<i>Rovnoměrnost osvětlení</i>	(-)
r	<i>Rovnoměrnost denní osvětlenosti</i>	(-)
ρ	<i>Integrální činitel odrazu</i>	(-)
\bar{E}	<i>Průměrná osvětlenost</i>	(lx)
D	<i>Činitel denní osvětlenosti</i>	(-)
U	<i>Elektrické napětí</i>	(V)
I	<i>Elektrický proud</i>	(A)
P	<i>Elektrický příkon</i>	(W)
p	<i>Tlak</i>	(Pa)
λ	<i>Vlnová délka</i>	(m)

Úvod

Pro současnou osvětlovací soustavu bylo provedeno měření. Měřena byla denní a sružená osvětlenost pro hlavní prostor objektu tj. jídelny. V kuchyni byla měřena umělá osvětlenost.

Součástí práce je rovněž simulace navržená v prostředí Relux, jejíž výsledky korespondují s reálnými hodnotami. Simulována byla aktuální osvětlovací soustava, i nově navržená. Simulován byl prostor jídelny a prostor varny.

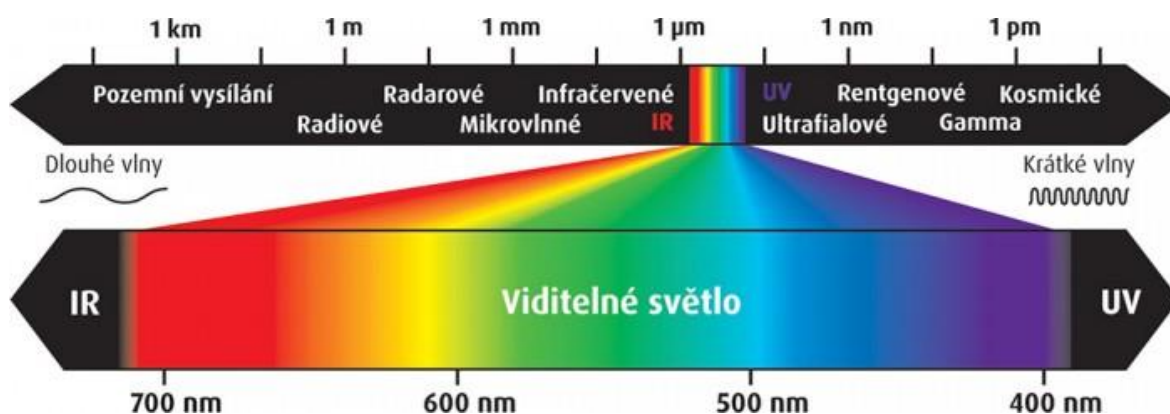
Nově navržená soustava se zakládá na výměně použitých nízkotlakých sodíkových výbojek LED zdroji, které mají lepší měrný světelný výkon a dobu života, čímž se docílí snížení nákladů za elektřinu a údržbu.

V první části práce je stručně popsána světelná technika a nejpoužívanější druhy světelných zdrojů. Následují vlastní výpočty osvětlení a zhodnocení ekonomické bilance. Závěrečnou část tvoří návrh nové osvětlovací soustavy. Technická zpráva je součástí elektronické přílohy.

1 Světelná technika

1.1 Světelné záření

Světelným zářením rozumíme elektromagnetické záření o vlnové délce od 380 nm do 780 nm. Toto rozpětí také označujeme jako viditelné spektrum. Jedná se o vlnové délky, které jsou schopny v lidském oku vyvolat zrakový vjem. Vjem oka rozlišuje vlnové délky barvou, přičemž kratší vlnové délky reprezentuje modře (vlnové délky kratší než 380 nm nazýváme ultrafialovým světlem) a delší červeně (nad 780 nm infračervené světlo). (1)



Obr. 1 - Spektrum viditelného světla (2)

1.2 Barva světla

Barevný vjem světelného záření ovlivňuje vlnová délka. Každá vlnová délka budí jiný barevný vjem. S ohledem na to lze světelné záření charakterizovat pojmy chromatičnost, index podání barev R_a a kolorita.

1.2.1 Světelné spektrum

Jedná se o intenzitu záření vztahenou k jednotlivým vlnovým délkám. Pokud má spektrum převládající složku, určuje tato složka výsledný barevný vjem světla. Naopak, je-li některá vlnová délka v útlumu, dochází k špatné rozlišovací schopnosti oka barvy reprezentované danou vlnovou délkou.

1.3 Vnímání světla člověkem

Zrak je pro člověka společně se sluchem hlavním smyslem pro příjem informací. Vidění je složitý proces, při kterém dochází k přeměně vstupních informací přijímaných okem na nervové vzruchy, které jsou následně vedeny zrakovým nervem do mozkového centra vidění. Teprve zde vzniká výsledný obraz.

Vidění je umožněno zejména díky třem hlavním částem zrakového ústrojí. První částí je oko, do kterého vstupuje světelné záření, resp. elektromagnetické vlnění o frekvenci odpovídající viditelnému světlu a mění se na nervové vzruchy. Získaná informace pokračuje zrakovým nervem a vyhodnocuje se v podkorové a korové části mozku. (1)

1.3.1 Akomodace oka

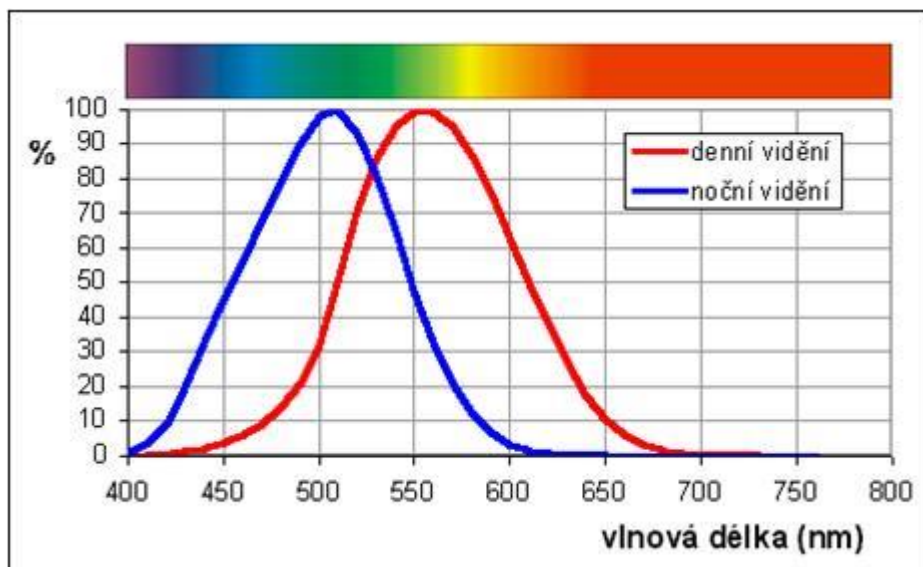
Lidské oko nedokáže současně stejně ostře vidět objekty v různých vzdálenostech (zejména předměty v bezprostřední blízkosti a vzdálenější pozadí). Z toho důvodu musí oko zaostřovat podle vzdálenosti právě pozorovaného objektu. Toho se dosahuje zakřivením čočky, které ovládá řasnaté tělísko. Nejmenší vzdálenost, na které je oko schopno zaostřit se nazývá blízký bod. U mladého člověka je tato vzdálenost asi 10 cm. S přibývajícím věkem však dochází k zhoršení schopnosti ostření, kvůli čemuž se vzdálenost blízkého bodu zvětšuje. V 50 letech je to již kolem 50 cm. Tento proces se využívá zejména pro sledování objektů ve vzdálenosti do cca 6 metrů, jelikož pro ostření na větší vzdálenosti již není potřeba čočku výrazně zakřivovat.

1.3.2 Adaptace oka

Adaptací se rozumí schopnost oka přizpůsobit se okolním podmínkám osvětlenosti. Oko dokáže vnímat informace již od hodnot osvětlenosti 0,25 lx až do 10^5 lx. Adaptace je provedena pomocí dvou hlavních mechanismů a to: fotochemický děj (rozklad, nebo syntéza pigmentů) a rozšiřování nebo zužování zornice. Doba trvání adaptace záleží na tom, zda-li se oko přizpůsobuje při přechodu do tmy, nebo do světla. Při adaptaci na světlo trvá děj řádově několik minut, největší změna však proběhne během jedné minuty. Při přechodu do tmy může adaptační proces trvat až hodinu. Doba trvání u obou přechodů záleží na rozdílu osvětlenosti obou prostředí. Při nízkých úrovních jasů ($L < 0,001 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$) je vidění skotopické, při vyšších úrovních ($L > 10 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$) fotopické. (1)

1.3.3 Purkyňův jev

Adaptace oka ovlivňuje citlivost oka na různé vlnové délky. Pokud je oko adaptované na tmu, je citlivější na kratší vlnové délky. Naopak, je-li oko adaptované na světlo, posouvá se citlivost směrem k delším vlnovým délkám. V šeru lidské oko lépe rozeznává fialovou, modrou a zelenou barvu. Žlutá, oranžová a červená jsou potlačeny. Za denního světla rozeznává oko lépe červenou a potlačuje fialovou, modrou a zelenou.



Obr. 2 - Purkyňův jev (20)

1.3.4 Zorné pole

Je oblastí, kterou může pozorovatel sledovat bez pohybu oka a hlavy. Rozsah zorného pole je asi 8° ve vodorovné rovině a 6° v rovině svislé. Největší ostrost je však dosažena v rozsahu jen cca $1,5^\circ$. Pro co nejostrější obraz je důležité natočit oko takovým směrem, aby obraz pozorovaného objektu dopadl na žlutou skvrnu.

Oblast, kterou je možno sledovat bez pohybu hlavy, avšak s možným pohybem oka se nazývá pohledové pole. Pokud k pohybu oka přidáme i pohyb hlavy, nazývá se viditelná oblast obhledové pole.

1.3.4.1 Kritický detail

Kritický detail je objekt, na který se zrak soustředí a který je reflexně promítán přímo do žluté skvrny. Pro jeho dobré rozlišení je důležité jeho bezprostřední okolí, které představuje část zorného pole vymezená úhlem 20° od kritického detailu. Okolí v rozmezí 20° až 60° se nazývá pozadí. Okolí nad 60° je vzdálené okolí. Jedná se o okraj vnímané oblasti, na rozlišení kritického detailu má jen nepatrný vliv.

1.3.5 Zraková pohoda

Jedná se o stav, kdy je člověku vzhledem k okolním světelným podmínkám příjemně. Zrakový systém není v takovém případě přílišně namáhán a plní optimálně svou funkci. Okolní prostředí působí na člověka při dobré zrakové pohodě příjemným způsobem.

1.3.6 Oslnění

Nepříjemný stav který vzniká, pokud se v prostředí nachází příliš velké kontrasty jasů, na které se není oko schopné adaptovat. Při oslnění je celkově omezena schopnost vidění. Rozlišujeme oslnění přímé, které je způsobeno příliš velkým jasným světelným zdrojem. Nepřímé oslnění je způsobeno příliš velkým jasným okolním prostor. Dalšími druhy oslnění jsou: odrazem, přechodové (při přechodu z tmavého prostředí do světlého) a závojové. Důležitým druhem oslnění z hlediska světelné techniky je oslnění kontrastem. To je způsobené příliš vysokým jasným (zejména svítidel), na který není zrak adaptován. (1)

1.4 Světelně technické veličiny

1.4.1 Světelný tok

Světelný tok představuje schopnost zářivého toku vytvořit zrakový vjem, resp. reakci zraku na dopadající zářivý tok. Světelný tok Φ monochromatického záření vlnové délky λ , jehož zářivý tok je Φ_e se určí ze vztahu:

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

Veličina $K(\lambda)$ ($\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$) představuje světelný účinek monochromatického záření, který je rovný poměru světelného toku a odpovídajícímu zářivému toku.

1.4.2 Prostorový úhel

Jedná se o důležitou veličinu ve světelné technice. Jednotkou jsou *steradiány* (sr). Velikost je úměrná velikosti plochy vyřaté na jednotkové kouli obecnou kuželovou plochou, přičemž vrchol kuželové plochy je totožný se středem jednotkové koule. Pro 1 sr je velikost plochy rovna 1m². Velikost prostorového úhlu je možné určit ze vztahu:

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

Pokud světelný zdroj vyzařuje světlo do celého prostoru, je prostorový úhel maximální.

$$\Omega = \frac{4\pi r^2}{r^2} = 4\pi \quad (\text{sr}; \text{m}, \text{m}) \quad (3)$$

1.4.3 Svítivost

Většina světelných zdrojů nemá rovnoměrné rozložení světelného toku do všech směrů. Svítivost je definována jako prostorová hustota světelného toku. Bere tedy v potaz nerovnoměrné rozložení světelného toku v prostoru. Lze ji vyjádřit jako světelný tok vztažený na prostorový úhel. Jednotkou je *kandela* (cd).

$$I_{\zeta\gamma} = \frac{d\Phi}{d\Omega_{\zeta\gamma}} \quad (\text{cd}; \text{lm}, \text{sr}) \quad (4)$$

Prostorový úhel $d\Omega_{\zeta\gamma}$ má osu ve směru určeném úhly ζ a γ a v jehož mezích uvažovaný zdroj vyzařuje tok $d\Phi$.

1.4.4 Osvětlenost

Osvětlenost je dána světelným tokem vztaženým na plochu. Jedná se tedy o plošnou hustotu světelného toku. Pro osvětlenost elementární plošky platí vztah:

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

Pokud budeme uvažovat osvětlenost okolí bodu, který neleží v ose svítidla, platí vztah:

$$E_{p\rho} = \frac{I_\gamma}{l^2} \cdot \cos \beta \quad (\text{lx; cd, m, } -) \quad (6)$$

Kde I_γ je svítivost daného zdroje ve směru přímém k měřenému bodu. Z tohoto vztahu vyplývá, že osvětlenost klesá s kvadrátem vzdálenosti měřeného bodu od zdroje. Osvětlenost bude největší, bude-li mít měřená plocha normálu natočenou přímo na svítidlo. Pokud budou paprsky ze svítidla dopadat kolmo, bude $\cos \beta = 1$, tím bude platit zjednodušený vztah:

$$E_{p\rho(\beta=0)} = \frac{I_\gamma}{l^2} \quad (\text{lx; cd, m}) \quad (7)$$

1.4.5 Jas svazku světelných paprsků

Jedná se o veličinu určenou prostorovou a plošnou hustotou světelného toku, přičemž je vázána na určitý směr.

$$L_{op} = \frac{d^2\Phi}{d\Omega dA_n} \quad (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}; \text{lm}, \text{sr}, \text{m}^2) \quad (8)$$

L_{op} jas svazku paprsků ve směru osy OP svazku,

$d\Omega$ prostorový úhel odpovídající prostoru, ve kterém se paprsky šíří.

dA_n kolmá ploška vzhledem k ose svazku paprsků

1.4.6 Světlení

Je plošnou hustotou světelného toku, který vyzařuje ploška dA . Jednotka: *lumen na čtverečný metr*

$$M = \frac{d\Phi_v}{dA} \quad (\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}; \text{lm}, \text{m}^2) \quad (9)$$

1.4.7 Optické vlastnosti materiálů

Pro světelnou techniku jsou důležité světelné parametry materiálů, které se vyskytují v daném prostředí. Zejména z hlediska omezení jasů v určitých směrech, usměrnění světelného toku, případně jeho rozptylu a to při zachování co nejvyšší účinnosti. Zejména s ohledem na kvantitativní i kvalitativní ukazatele vnitřního osvětlení má podstatný význam činitel odrazu stropu a stěn.

Dopadající světelný tok Φ se v obecném případě rozdělí na části:

Φ_ρ – odraženou

Φ_τ – která projde skrz materiál

Φ_α – která se pohltí

Platí:

$$\Phi = \Phi_{\rho} + \Phi_{\tau} + \Phi_{\alpha} \text{ (lm; lm, lm, lm)} \quad (10)$$

Tyto vlastnosti charakterizují tři integrální činitele:

Integrální činitel odrazu

$$\rho = \frac{\Phi_{\rho}}{\Phi} (-; \text{lm, lm}) \quad (11)$$

Integrální činitel prostupu

$$\tau = \frac{\Phi_{\tau}}{\Phi} (-; \text{lm, lm}) \quad (12)$$

Integrální činitel pohlcení

$$\alpha = \frac{\Phi_{\alpha}}{\Phi} (-; \text{lm, lm}) \quad (13)$$

1.5 Světelné zdroje

Světelným zdrojem je objekt, který vyzařuje viditelné záření. Dle původu je lze rozdělit na přírodní (Slunce, odraz od Měsíce, bioluminiscenční živočichové, ...) a umělé (žárovky různých druhů, zářivky, baterky, pochodně, ...). Objekt, nebo jeho povrch, v němž probíhá přeměna energie na viditelné záření, se nazývá primární světelný zdroj. Těleso, které samo záření neprodukuje, ale odráží nebo propouští, se nazývá sekundární světelný zdroj. Příkladem mohou být především stínítka, ale také například Měsíc, který odráží světelné záření ze Slunce.

V současné době jsou různé druhy světelných zdrojů stále ve vývoji, přičemž se neustále zlepšují jejich vlastnosti. Zejména oblast LED zdrojů zaznamenala rychlý vývoj. (1)

1.5.1 Parametry světelných zdrojů

Vlastnosti a kvalita světelného zdroje jsou charakterizovány množstvím ukazatelů. Parametry světelných zdrojů je možné rozdělit na technické a provozní. Mezi technické patří zejména elektrické, světelně technické parametry, konstrukční provedení a život. Mezi elektrické patří příkon, napájecí napětí a proud.

1.5.1.1 Světelně technické parametry

Světelný tok, spektrální složení, svítivost a jas. Důležitá je také časová stálost těchto parametrů.

Dále kolorimetrické vlastnosti, teplota chromatičnosti a index podání barev.

Život

Celková doba, po kterou světelný zdroj fyzicky svítí, až do okamžiku kdy jej lze prohlásit za nepoužitelný.

Užitečný život

Doba provozu, po kterou si světelný zdroj uchovává parametry ve stanovených intervalech.

Fyzický život

Celková doba provozu, až do chvíle naprosté ztráty schopnosti svícení. Např. do přerušení vlákna u klasické žárovky.

Činitel stárnutí

Reprezentuje aktuální stav zdroje. Každý světelný zdroj postupem času začne vykazovat zhoršující se parametry. To je způsobeno degradací materiálů, znečišťováním a stárnutím svítidla. Pokud by se stárnutí zanedbalo, svítidlo by se stalo energeticky neúčinným. Měří se poměr současného světelného toku zdroje a světelného toku před uvedením do provozu. Vyjádření je v procentech.

Činitel funkční spolehlivosti

Reprezentuje část vzorku zkoušených svítidel, které při stanovených podmínkách v daném čase zůstávají funkční.

Průměrný život

Je takový časový interval, na konci kteréhož je činitel funkční osvětlenosti roven 50 %.

1.5.1.2 Provozní parametry

Měrný výkon

Jednotkou je *lumen* vztažený na *watt*. Reprezentuje efektivitu přeměny dodávané energie na světelnou. Jedná se o jeden z nejdůležitějších ukazatelů jakosti zdroje.

Kompatibilita

Jedná se o vzájemnou kompatibilitu světelného zdroje a osvětlovací soustavy. Je dána parametry:

- Možnost výroby svítidel o různých příkonech.
- Rozložení světelného toku v prostoru a rozměry svítícího tělesa.
- Možnost připojení k dané napájecí síti.
- Splnění hygienických a ekologických požadavků při výrobě, provozu i likvidaci.

Cena

Důležitý parametr, je třeba však na cenu pohlížet celkově, tedy i se započtením provozních nákladů, vlivu na dané prostředí apod.

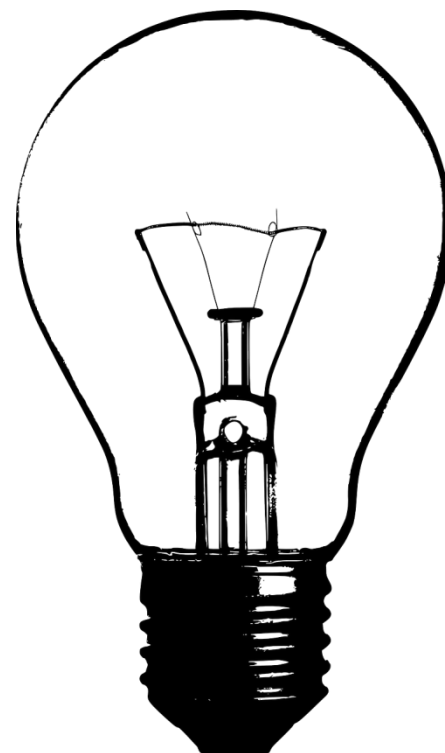
1.6 Rozdělení světelných zdrojů

1.6.1 Tepelné zdroje světla

Jedná se o všechny zdroje, které světlo produkují díky rozžhavenému, nebo hořícímu materiálu. Jedná se zejména o žárovky (obyčejné a halogenové), ale také o ohniště, pochodně, petrolejové lampy, apod.

1.6.1.1 Klasické žárovky

Jedná se o jeden z nejrozšířenějších zdrojů světla. V současné době je legislativní tlak na omezení jejich používání z důvodu nízké účinnosti přeměny elektrické energie na světelnou. Principem je ohřev tenkého vlákna elektrickým proudem až na teplotu kdy vyzařuje mj. světelné záření. Provedení je znázorněno na Obr. 3 – Wolframová žárovka, jedná se o skleněnou baňku. Uvnitř baňky je vytvořená atmosféra umožňující dlouhodobé žhavení vlákna, aniž by došlo k jeho přerušení. Inertní atmosféra je tvořena argonem nebo kryptonem a dusíkem. Další možností je vytvoření vakua uvnitř baňky. Nejběžnější žárovky bývají opatřeny patičí E27, popř. E14, nebo bajonetovou patičí B22d. (1)



Obr. 3 – Wolframová žárovka (3)

Výhody:

- Jednoduchá konstrukce, malé rozměry
- Výborné světelné vlastnosti, spojitě spektrum vyzařovaného záření a teplota chromatičnosti kolem 2 800 K
- Index podání barev $R_a = 100$
- Téměř okamžitý náběh na plnou hodnotu svítivosti při zapnutí.

- Vyzařované světlo je časově spojitě, bez výrazného stroboskopického jevu.
- Vyráběné v širokém rozsahu napájecích napětí.
- Neobsahují toxické látky, lze je tedy snadno ekologicky zlikvidovat.

Nevýhody:

- Velice nízká účinnost (cca 7 %) – většina elektrické energie je přeměněna na teplo.
- Krátká životnost
- Pokles světelného toku se stárnutím (při provozu).

1.6.1.2 Halogenové žárovky

Halogenové žárovky pracují na podobném principu jako klasické žárovky. Rozdíl je v jejich konstrukci, která je sice složitější, ale výrazně vylepšuje některé parametry. Baňka je naplněna inertním plynem a sloučeninou halogenu. Uvnitř dochází během svícení k tzv. Wolfram-halogenovému cyklu. Z rozžhaveného vlákna o teplotě kolem 3000 K se stejně jako u klasických žárovek odpařuje wolfram. Při přiblížení výparů k baňce o nižší teplotě (kolem 1700 K) se výpary wolframu slučují s halogenem. Tato směs vlivem koncentračního gradientu putuje zpět k vláknu, kde se při vysoké teplotě rozpadá na wolfram a volný halogen. Uvolněný wolfram zůstává v okolí vlákna, kde zvyšuje tlak wolframových par a omezuje tak další vypařování wolframu. Volný halogen se vrací zpět do cyklu. Díky tomuto cyklu se u tohoto typu žárovek dosahuje v porovnání s klasickými žárovkami delší doby života (žárovky pro osvětlení v místech s obtížnou přístupností), nebo zvětšení měrného výkonu na úkor doby života (žárovky pro



Obr. 4 – Halogenová žárovka (6)

fotografii). Při 30% zvětšení světelného toku dochází k dvounásobnému prodloužení délky života oproti klasickým žárovkám. Vzhledem k vysokým teplotám se nedoporučuje dotýkat se baňky. Látky obsažené v potu mohou vlivem vysoké teploty způsobit krystalizaci křemene, což může vést k netěsnosti baňky. (1)

Výhody:

- Vyšší účinnost a delší život oproti klasickým žárovkám
- Spojité spektrum
- Příjemná teplota chromatičnosti 2900 – 3100 K
- Menší degradace světelného toku během provozu.
- Kompaktní rozměry

Nevýhody:

- Náročnější výroba
- Vyšší pořizovací náklady
- Velká závislost parametrů na napájecím napětí, omezení stmívání (při dlouhodobém provozu na nižší napětí přestává působit Wolfram-halogenový cyklus).

1.6.2 Výbojové světelné zdroje

Světelné záření je získáváno na základě průchodu proudu parami v uzavřeném prostoru. V tomto prostoru dochází k výboji, který je u těchto svítidel hlavním zdrojem záření.

1.6.2.1 Zářivky

Jsou jedny z nejpoužívanější svítidel. Vyrábějí se v různých provedeních, např. trubcové, kruhové... Zářivky řadíme mezi nízkotlaké rtuťové výbojky. Výboj v rtuťových parách uvnitř trubice vyzařuje světlo v ultrafialové oblasti spektra. Na stěně trubice bývá nanесena vrstva luminoforu, která mění dopadající UV světlo na viditelné. Druhem použitého luminoforu lze ovlivnit výsledný barevný odstín a index podání barev světla. Provozem zářivek na vysoké frekvenci lze dosáhnout zlepšení jejich parametrů. Při frekvenci kolem 30 kHz dochází ke zlepšení účinnosti, rychlejšímu startu, eliminaci stroboskopického jevu, menším ztrátám v předřadníku, ...



Na stejném principu pracují kompaktní zářivky, které jsou konstruovány pro možnost přímého nahrazení teplotních žárovek. Jedná se o zakřivenou trubici umístěnou nejčastěji do patice E27. Tvarem jsou velice podobné žárovkám, avšak mají parametry nízkotlakých rtuťových výbojek.

Obr. 5 - UV Zářivka (7)

Výhody:

- Vysoká účinnost
- Index podání barev $R_a = 80$
- Vyráběny ve velkém rozsahu výkonů a barev vyzařovaného světla.
- Dlouhý život

Nevýhody

- Život zářivky ovlivňuje počet zapnutí.
- Obsahuje toxické výpary rtuti.
- Světelné parametry jsou závislé na okolní teplotě.
- Potřebují pro svou funkci předřadné obvody.

1.6.2.2 Nízkotlaké sodíkové výbojky

Výboj probíhá v parách sodíku při tlaku cca 0,1 až 1,5 Pa. Světlo produkované výbojem v parách sodíku má velice zajímavé parametry. Záření je monochromatické, o vlnové délce 589 nm, která je blízko maxima spektrální citlivosti lidského oka. Moderní NT sodíkové výbojky dosahují měrného výkonu až $200 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$, což je řadí na místo neúčinnějších zdrojů světla. Vzhledem k monochromatickosti světla vnímá lidské oko objekty osvětlené touto výbojkou jen jako oranžové. Ostatní barvy jsou vnímány v odstínech šedi. Ve velké míře jsou tyto výbojky použity pro osvětlení pozemních komunikací a tunelů.



Obr. 6 Nízkotlaká sodíková výbojka (8)

Výhody:

- Vysoký měrný výkon dosahující hodnoty až $200 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$
- Stabilní světelný tok během provozu
- Dlouhý život
- Nízký jas povrchu výbojky
- Neobsahuje rtuť

Nevýhody:

- Index podání barev $R_a = 0$, Viditelná pouze oranžová barva, ostatní ve stupních šedi
- S rostoucím příkonem se zvětšují rozměry výbojky
- Náročný technologický postup výroby

1.6.2.3 Indukční výbojky

Výhodou tohoto druhu výbojek je absence elektrod uvnitř trubice. Výboj je buzen pomocí vnějšího elektromagnetického vysokofrekvenčního pole. Uvnitř trubice se tak nachází méně komponentů, což usnadňuje výrobu samotných výbojek. Oproti tomu je potřeba mnohem vyšší technická úroveň napájecího zdroje, což se značně projevuje v ceně svítidla. Využití nacházejí na místech, kde je obtížná častá výměna světelného zdroje.



Obr. 7 - Indukční výbojka (9)

Výhody:

- Měrný výkon dosahující $100 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$
- Index podání barev R_a nad 80.
- Dlouhý život v řádu desítek tisíc hodin.
- Okamžitý start.
- Stálost světelného toku během života.
- Oddělení napájení od samotné výbojky.

Nevýhody:

- S rostoucím výkonem je nutné zvětšovat rozměry trubice.
- Velmi vysoká cena

1.6.2.4 Vysokotlaké rtuťové výbojky

Konstrukce je z odolnějších materiálů než u NT varianty. Používá se zde křemenné sklo. Uvnitř hořáku se nachází přesně nadávkovaná rtuť a argon. Při připojení napájecího napětí se výboj vytvoří nejdříve mezi pomocnou elektrodou a nejbližší hlavní elektrodou. Díky malé vzdálenosti těchto elektrod není k zapnutí výbojky třeba dalších elektrických obvodů. Po zapnutí trvá několik minut, než výbojka dosáhne provozních parametrů. Během rozběhu výbojka odebírá vyšší než jmenovitý proud (až o



Obr. 8 - Vysokotlaká rtuťová výbojka (10)

50 %). Také spektrum vyzařovaného záření se během rozběhu mění. Pro užití ultrafialové a doplnění červené složky spektra se i zde používá luminofor.

Výhody:

- Dlouhá doba života 12 000 až 16 000 hodin.
- Stabilita světelného toku během provozu.
- Lze je umístit v libovolné poloze.
- Vysoká spolehlivost vzhledem k jednoduchosti zapojení.
- Nízká cena

Nevýhody

- Index podání barev $R_a = 60$

- Nižší účinnost
- Obsahují rtuť
- Po vypnutí lze opětovně zapnout až po ochladnutí

1.6.2.5 Směsové výbojky

Jedná se o kombinaci vysokotlaké rtuťové výbojky a klasické žárovky. Světlo je v této výbojce produkováno dvěma zdroji, a to hořákem vysokotlaké rtuťové výbojky a wolframovým vláknem. Vláknem je přidáno z důvodu zlepšení světelných parametrů, zejména doplnění červené složky spektra a tím i zlepšení indexu podání barev R_a . Odpadá také nutnost použití externí tlumivky, její funkci zastává wolframové vlákno.

Výhody:

- Nevyžadují předřadné obvody.
- Vyzařují příjemné světlo, náhradní teplota chromatičnosti $T_{cp} = 3300$ až 3800 K.
- Index podání barev R_a 60 až 70
- Velmi rychlý náběh

Nevýhody

- Značně nízký měrný výkon

1.6.2.6 Halogenidové výbojky

Jedná se o vysokotlaké výbojky, v jejichž náplni je příměs halogenidů. Halogenidy značně ovlivňují parametry vyzařovaného světla. Podle použité příměsi lze dosáhnout velkého množství kombinací výsledných parametrů. Lze tak dosáhnout například bílého světla v různých teplotách chromatičnosti pro běžné osvětlení, nebo ultrafialového světla pro technické účely. Výbojkám trvá cca 5 – 10 minut, než dosáhnou po zapnutí svých jmenovitých parametrů.

Výhody:

- Velké možnosti ovlivnění výsledného vyzařovaného spektra díky příměsím.
- Jsou vyráběny ve velkém intervalu příkonů.
- Dobrý index podání barev R_a (záleží na použitých příměsích, 60 až 98)
- Kompaktní rozměry i pro vyšší příkony
- Dlouhý život až 15 000 hodin
- Měrný výkon 80 až 120 $\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$, podle druhu a příkonu

Nevýhody

- Vyšší pořizovací cena
- Vyžadují použití zapalovacího obvodu.
- Citlivé na změny napájecího napětí
- Znatelná změna světelných parametrů během provozu



Obr. 9 - Halogenidová výbojka (11)

1.6.2.7 Vysokotlaké sodíkové výbojky

Světelné záření vzniká ve výboji v parách sodíku. Na rozdíl od NT sodíkových výbojek je zde pracovní tlak v rozmezí 3 – 60 kPa. VT výbojky dosahují sice o něco menšího měrného výkonu než NT, nicméně mají spojité spektrum a tím i lepší index podání barev R_a . V současnosti jsou VT sodíkové výbojky spíše na ústupu, vzhledem k možnosti použití halogenidových výbojek, které dosahují vyššího měrného výkonu při zachování stejné kvality podání barev.



Obr. 10 - Vysokotlaká sodíková výbojka (12)

Výhody:

- Poměrně vysoký měrný výkon ($70 - 150 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$) a zároveň relativně dobrý index podání barev R_a (20 až 25)
- Život až 30 000 h
- Stabilní světelný tok během života
- Vysoká spolehlivost
- Snadná údržba
- Nízké pořizovací náklady
- Náhradní teplota chromatičnosti $T_{cp} = 2000$ až 2500 K , tedy příjemná teplá barva

Nevýhody

- Nahrazovány halogenidovými výbojkami s obecně lepšími vlastnostmi.

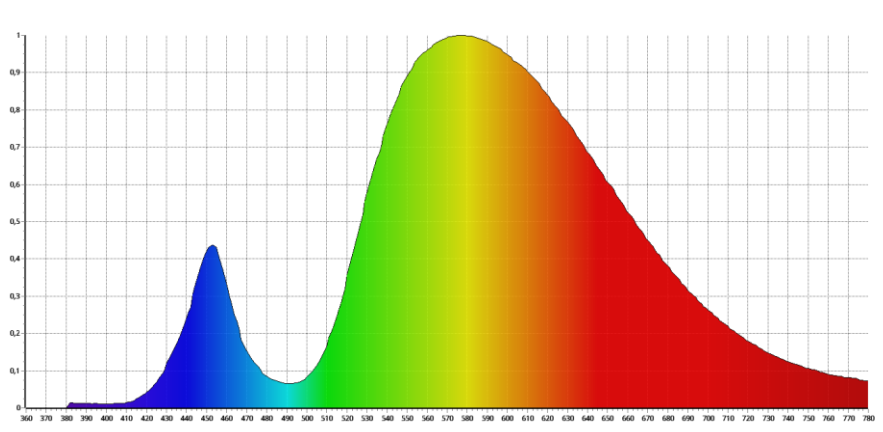
1.6.2.8 LED zdroje

Jedná se o jeden z nejvýznamnějších světelných zdrojů. Princip funkce je znám již od 20. let minulého století. V posledních asi 15 letech zažila technologie LED velice rychlý vývoj, který umožnil jejich využití v praxi. V dnešní době dosahují velice dobrých parametrů, měrný



výkon (až $150 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ u bílých LED), index podání barev převyšující 80 (bílé LED). Dosažení bílé barvy je možné buď pomocí kombinace červené, zelené a modré, což však vyžaduje využití 3 čipů na jednu diodu, nebo díky použití luminoforu. Bílé LED využívající luminofor dosahují spojitého spektra. Vyrábějí se v širokém rozsahu náhradní teploty chromatičnosti. Teple bílé od 2500 K do 4000 K, studené od 5 000 K do 10 000 K. Vzhledem k nízkému napájecímu napětí nevyžadují žádné další obvody pro svůj provoz. Díky svým kompaktním rozměrům lze vytvářet LED zdroje pro náhradu nevyhovujících svítidel, a to jak tvarem, tak patičí. Existují tak zdroje ve tvaru obyčejných žárovek, zářivek, apod. Vyrábějí se v mnoha provedeních, kromě klasických svítidel se využívají také pro přenos informací (díky rychlosti a téměř žádné světelné setrvačnosti) například u optických kabelů, nebo u bezdrátového přenosu na kratší vzdálenosti. (1)

Obr. 11 - LED žárovka (14)



Obr. 12 - Spektrum LED zdroje (13)

Využití:

- Kontrolní signalizace (náhrada doutnavek),
- Dopravní značení
- Automobily (například denní svícení, či osvětlení interiéru)
- Venkovní osvětlení (široké spektrum využití, například silnice, tunely, pěší zóny, či přímo pouliční osvětlení)
- Interiérová svítidla
- Světelné tabule
- Zobrazovací zařízení (TV, monitory, dálkové ovladače)
- Svítilny
- Již zmíněné datové kabely
- A mnohé další

Výhody:

- Různá geometrická provedení, což umožňuje snadné nahrazení jiných zdrojů.
- Nízké napájecí napětí, nevyžadují tedy předřadné obvody
- Snadná regulace svítivosti
- Vyráběny v široké škále barev, či přímo s RGB čipy
- Vysoký měrný výkon (až $160 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$)
- Dobrý index podání barev (80 i více u nejnovějších typů)

- Neobsahují rtuť
- Vysoká spolehlivost
- Velice dlouhý život, až 100 000 h
- Úbytek světelného toku během života do 40%
- Mechanická odolnost

Nevýhody

- Vyšší pořizovací náklady
- Samotné čipy jsou velice citlivé na napájecí napětí.
- Závislost života na okolní teplotě (je třeba u vyšších výkonů zajistit dostatečné chlazení)

2 Vlastní měření a simulace

Analyzovaným objektem byla budova menzy, která je součástí kampusu Bory. Menzu využívají především studenti a zaměstnanci fakult působících přímo v areálu. Bezesporu se jedná o velice frekventovanou budovu. Z toho důvodu je důležité udržovat v interiéru budovy příjemné prostředí, na čemž se do značné míry podílí i kvalita osvětlení.

2.1 Požadavky podle normy

Budovu menzy, resp. jídelnu lze zařadit do kategorie Školní jídelny podle ČSN EN 12464-1. Norma stanoví hodnoty umělého osvětlení $E_m = 200$ lx, $U_0 = 0,4$, $R_a = 80$, v případě pokladny $E_m = 250$ lx. Pro varnu, resp. kuchyni a výdejnu jsou hodnoty: $E_m = 500$ lx, $U_0 = 0,6$, $R_a = 80$.

Pro činitele odrazu platí dle ČSN 36 0011-1, resp. ČSN 73 0580-1 hodnoty:

Rovina	Činitel odrazu (-)
Strop	0,6 až 0,9
Stěna	0,3 až 0,8
Pracovní rovina	0,2 až 0,6
Podlaha	0,1 až 0,5

Tab. 1 - Činitel odrazu dle normy

Dle ČSN EN 12464-1:

Neobvyklá doba vykonávání úkolu nastává, pokud je výkon vykonáván v prostoru s nedostatečným denním osvětlením po celkovou dobu delší než 4 hodiny.

Hygienické minimum je hodnota udržované osvětlenosti 200 lx pro prostory s trvalým pobytem osob.

2.2 Současné osvětlení

Současná osvětlovací soustava se zakládá na zářivkách, resp. nízkotlakových rtuťových výbojkách. Toto řešení poskytuje dostatečné osvětlení v kombinaci s příjemným světlem a dobrým indexem podání barev. Nevýhodou je kratší doba života a degradace světelných parametrů v průběhu života světelných zdrojů.

Osvětlovací soustavu v prostoru jídelny tvoří svítidla čtvercového tvaru se třemi trubicemi o příkonu 18 W. Ta jsou rovnoměrně rozmístěna v podhledové konstrukci, což zajišťuje dostatečné osvětlení celého prostoru jídelny. Prostor výdejny je osvětlen obdélníkovým svítidlem se čtyřmi trubicemi o příkonu 35W. Tato svítidla jsou zde použita s ohledem na požadavky normy, jelikož se jedná o místo výkonu práce, na rozdíl od prostoru jídelny. Varna je osvětlována soustavou tvořenou svítidly se čtyřmi trubicemi o příkonu 35W.

V celém objektu se nachází několik svítidel s vadnými trubicemi. To způsobuje pokles osvětlenosti v přilehlém prostoru. Zároveň vzhledem ke stáří svítidel lze očekávat nižší svítivost vzhledem k degradaci světelných parametrů svítidla a znečištění.

2.3 Naměřené hodnoty

Tabulky naměřených hodnot jsou umístěny v příloze této DP. Měření bylo zaměřeno na denní a sdružené osvětlení, jelikož provozní doba menzy (po ukončení vydávání večeří) spadá do části dne, kdy je k dispozici denní světlo. Výsledek měření denního osvětlení poukazuje na zřejmý fakt, že pro část jídelny a celý pracovní prostor je zapotřebí vždy užít i umělé osvětlení. To je způsobeno tvarem objektu, kdy výdejna a pokladny jsou vzdáleny od oken a některé stoly stíněny sloupy, či jinými prvky.

Měření sdruženého osvětlení potvrdilo, že současné osvětlení splňuje požadavky stanovené normou. Na všech stolech určených ke konzumaci byla

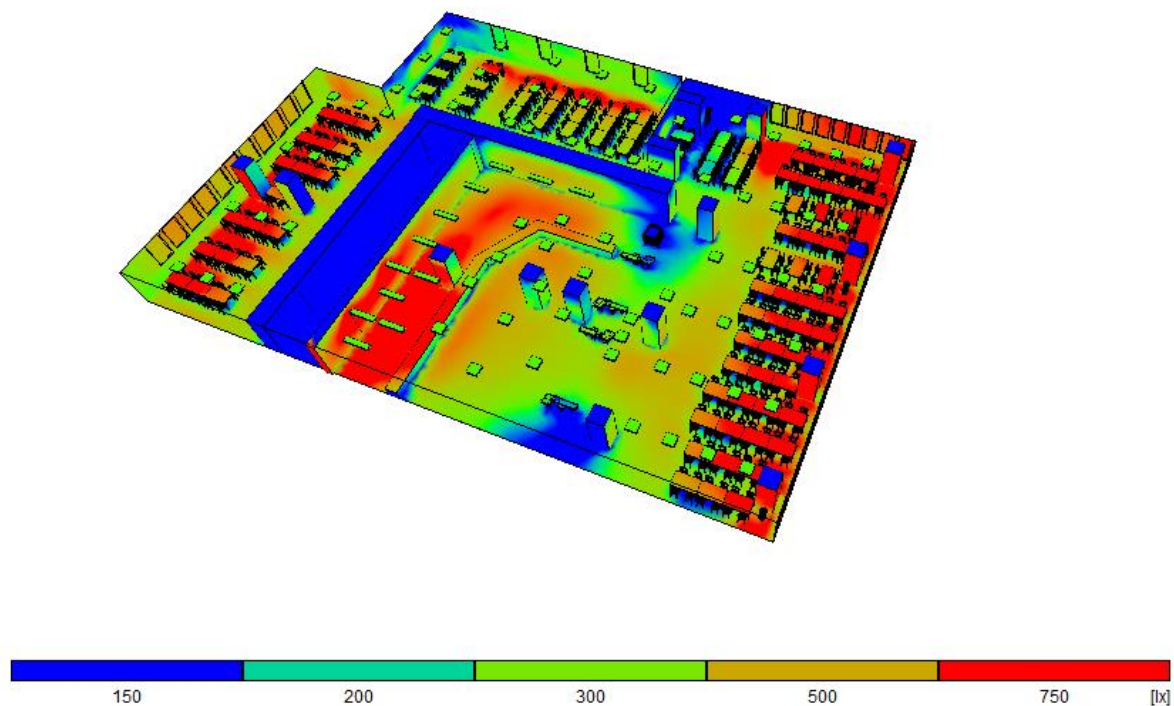
průměrná osvětlenost alespoň 200 lx. Stoly blíže u okna dosahovali samozřejmě vyšší osvětlenosti.

Ve varně byly (kromě zadní části oddělené přepážkou, která však není určena pro přímý výkon práce) naměřené průměrné hodnoty umělé osvětlenosti ve většině případů rovněž v souladu s požadavky stanovené normou. U strojů umístěných po obvodu místnosti je osvětlenost lehce pod 500 lx (požadavek normy), nejedná se však o místo trvalého úkolu. Důvodem může být i zašpinění svítidel, náprava by tedy spočívala pouze v jejich vyčištění. Hodnoty činitele odrazu jsou zcela v souladu s normou.

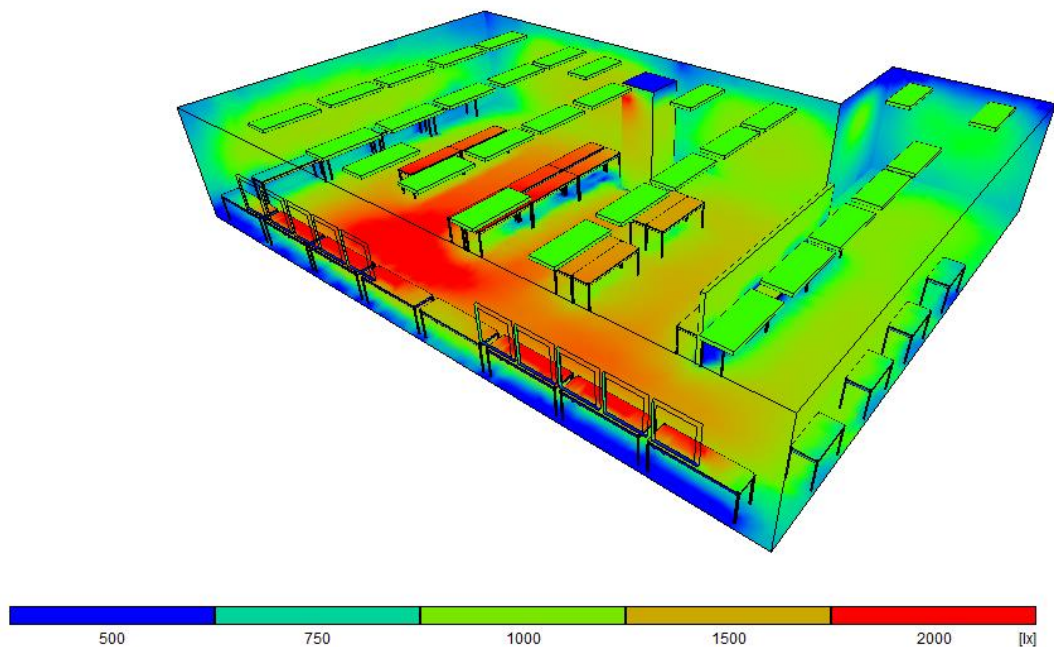
2.4 Výsledky simulace

Celá simulace byla provedena v programu Relux, verze 2017. 1. 8. 0. Jedná se o software šířený pod freeware licencí. V simulaci jsou provedena určitá zjednodušení, protože vybavení jídelny, či varny samozřejmě není dostupné v knihovnách Reluxu. Pro účely výpočtu tak byly tyto objekty nahrazeny většinou horizontální rovinou, resp. deskou stolu. Daná zjednodušení platí i pro svítidla, kdy byl použit typ s odpovídajícími světelnými parametry, avšak bez ohledu na značku výrobce, apod.

Výsledky simulace odpovídají výsledkům měření. Je třeba brát hodnoty ze simulace jen jako orientační, jelikož samozřejmě nejde o dokonalý model se stejnými podmínkami jako při měření. Rovněž vliv zašpinění, nefunkčnost a stáří svítidel způsobuje odchylky mezi měřením a simulací. Technické zprávy jsou součástí elektronické přílohy.



Obr. 13 - Simulace sdruženého osvětlení jídelny (4)



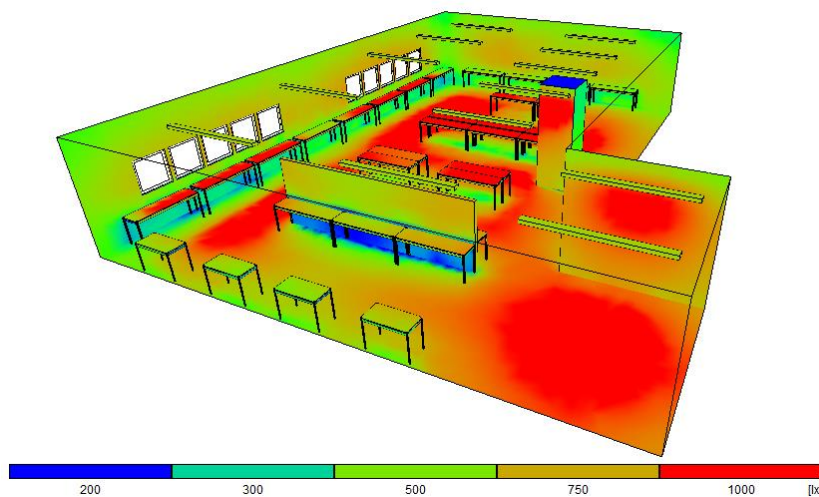
Obr. 14 - Simulace sdruženého osvětlení varny (4)

2.5 Návrh nové osvětlovací soustavy

Stávající osvětlovací soustava je bezesporu navržena správně. Splňuje normu a zcela plní svůj účel. Nicméně, vzhledem k vývoji svítidel je samozřejmě možné udělat určitá vylepšení a zlepšit tak celkově parametry osvětlení.

Nabízejícím se řešením je výměna stávajících zářivek za LED světelné zdroje. Přínosem by v takovém případě byla snadnější resp. méně častá údržba, jelikož LED svítidla mají delší dobu života. Měrný světelný výkon by v takovém případě byl také na lepší úrovni. Index podání barev by zůstal zachován, dle požadavků normy. Náhradní teplota chromatičnosti je volitelná, díky široké nabídce na trhu.

Nevýhoda spočívá v samotné rekonstrukci, jelikož by bylo zapotřebí vyměnit všechny světelné zdroje, z nichž většina je stále funkční. Ekonomická návratnost investice je v období dvou až tří let. Nejvýraznější úsporou je delší interval výměny svítidel v kombinaci s nižší elektrickou spotřebou.



Obr. 15 - Simulace sdruženého osvětlení varny s LED (4)

2.6 Ekonomická bilance

Ekonomická bilance je zaměřena na návratnost investice do LED osvětlení. Pro účely výpočtu nepočítám s náklady na práci, jelikož nemám k dispozici údaje o ceně údržby univerzitních objektů. Pokud univerzita zaměstnává údržbáře, dala by se tato položka označit za součást jejich práce, a tudíž by se náklady na práci zcela skládaly pouze z výplaty údržbářů. Pro účely výpočtu je tedy počítáno pouze s pořizovacími a provozními náklady. Cena svítidel odpovídá aktuální ceně daného svítidla, případně její možné náhradě (maloobchodní ceny jsou u některých svítidel z knihovny Reluxu velice obtížně dohledatelné).

Jídelna

	Současné	LED
Počet svítidel (3x18 W)	78	78
Počet trubíc na svítidle	3	3
Počet trubíc celkem	234	234
Cena za kus (Kč)	44	179
Pořizovací náklady celkem (Kč)	10296	41886
Měrný výkon ($\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$)	75	120
Elektrický výkon trubice (W)	18	10
Elektrický výkon svítidla (W)	54	30
Doba provozu za den (h)	6	6
Spotřeba / den (kWh / den)	25,27	14,04
Cena za 1 kWh (Kč) (5)	4,80	4,80
Cena za den provozu (Kč / den)	121,31	67,39
Cena provozu za rok (Kč)	44276,54	24598,08
Cenový rozdíl provozních nákladů (Kč)	-	19678,46
	<i>Současné</i>	<i>LED</i>
Počet svítidel (4x 35 W)	12	12
Počet trubíc na svítidle	4	4
Počet trubíc celkem	48	48
Cena za kus (Kč)	55	409
Pořizovací náklady celkem (Kč)	2640	19632
Měrný výkon ($\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$)	91,5	133,3
Elektrický výkon trubice (W)	35	24
Elektrický výkon svítidla (W)	140	96
Doba provozu za den (h)	6	6
Spotřeba / den (kWh / den)	10,08	6,91
Cena za 1 kWh (Kč)	4,80	4,80
Cena za den provozu (Kč / den)	48,38	33,18
Cena provozu za rok (Kč)	17660,16	12109,82
Cenový rozdíl provozních nákladů (Kč)	-	5550,34
Návratnost (rok)	2,44	

Varna

	zářivka	LED
Počet svítidel	30	13
Počet trubíc na svítidle	4	6
Počet trubíc celkem	120	78
Cena za kus (Kč)	49	449

Pořizovací náklady celkem (Kč)	5880	35022
Měrný výkon (lm · W ⁻¹)	90	110
Elektrický výkon trubice (W)	36	18
Elektrický výkon svítidla (W)	144	108
Doba provozu za den (h)	6	6
Spotřeba / den (kWh / den)	25,92	8,42
Cena za 1 kWh (Kč)	4,80	4,80
Cena za den provozu (Kč / den)	124,42	40,44
Cena provozu za rok (Kč)	45411,84	14758,85
Cenový rozdíl provozních nákladů (Kč)		30652,99
Návratnost (rok)	1,14	

Tab. 2 - Ekonomická bilance

2.7 Výpočty

2.7.1 Činitel denní osvětlenosti E(lx)

$$D = \frac{E}{E_h} \cdot 100 \quad (- ; \text{lx}, \text{lx}) \quad (14)$$

2.7.2 Rovnoměrnost denní osvětlenosti r(-)

$$r = \frac{D_{min}}{D_{max}} \quad (- ; - ; -) \quad (15)$$

2.7.3 Průměrná osvětlenost

$$\bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad (\text{lx}; \text{lx}, -) \quad (16)$$

2.7.4 Korekce osvětlenosti dle napětí

$$k_u = \left(\frac{U_n}{U_m}\right)^c \quad (-; V, V) \quad (17)$$

Zjednodušený vztah pro lineární zářivku:

$$\pm 1\% U \sim \pm 1,4\% E \quad (V; lx) \quad (18)$$

2.7.5 Odrazivost povrchu

$$\rho = \frac{\Phi_o}{\Phi} \quad (-; lm, lm) \quad (19)$$

$$\rho = \frac{E_o}{E} \quad (-; lx, lx) \quad (20)$$

2.8 Použité přístroje

Přístroj	Typ přístroje	Evidenční číslo
Luxmetr	LX-105 Light Meter L699742	104172
Luxmetr	Testo 545	194549
Jasoměr	Luminance meter LS 110 Minolta	21539
Dig. Multimetr	MS 8217 Fines 703 True RMS	
Ultrazvukový dálkoměr	Bosh Dus 20 plus	177631

Tab. 3 - Použité přístroje

3 Závěr

Cílem mé práce bylo zhodnotit současný stav osvětlenosti v prostoru menzy, konkrétně v jídelně a varně. Provedl jsem měření skutečných hodnot, pro jídelnu denní a sdružené osvětlenosti. Umělé světlo jsem v jídelně neměřil, jelikož při celé provozní době menzy je k dispozici denní světlo. Z naměřených hodnot vyplynulo, že není možné jídelnu osvětlovat jen pomocí denního světla, což je zapříčiněno tvarem a vnitřním uspořádáním stavby. Měření sdruženého osvětlení splnilo požadavky normy, s výjimkou prostoru pokladen, který patří do oblasti s trvalým pobytem osob. Zde je úroveň osvětlenosti nižší, než je požadavek normy. Tuto skutečnost lze vysvětlit nefunkčními zářivkami právě nad prostorem pokladen. V případě, že by osvětlenost nevyhovovala i po výměně trubice, lze tento nedostatek vyřešit přidáním svítidlem.

V prostoru varny jsem měřil jen umělé osvětlení, neboť i přes skutečnost, že zde jsou okna, mají tato okna naplno zatažené žaluzie. Krom toho se jedná o okna menších rozměrů, přičemž hlavní pracovní místa jsou několik metrů vzdálena. Naměřené hodnoty jsou však i při měření pouze umělého osvětlení plně v souladu s normou. Nižší osvětlenost než je 500 lx (požadavek normy) je jen v zadní části varny, která se však využívá sporadicky a nejedná se o místa dlouhodobějších úkonů.

Pro obě místnosti jsem také navrhl novou osvětlovací soustavu. Ačkoliv je současná soustava navržena správně, je zde vzhledem k vývoji svítidel možnost zlepšit její parametry. Podstatou návrhu je výměna současných zářivek za LED trubice. Díky širokému spektru produktů je možno trubice měnit kus za kus. LED trubice mají lepší měrný výkon a výrazně delší dobu života, přičemž tyto výhody nejsou na úkor dalších parametrů. Díky tomu je zajištěna návratnost investice, neboť se ušetří za elektrickou energii, i za údržbu.

Pro varnu i jídelnu jsem dále vytvořil simulaci v programu Relux, a to pro denní a sdruženou osvětlenost staré i navržené osvětlovací soustavy. Výsledky simulaci jsou velice podobné naměřeným hodnotám. Rozdíl je způsoben stářím svítidel, jejich znečištěním, či nefunkčními trubicemi. V případě navržené osvětlovací soustavy jsou splněny požadavky normy.

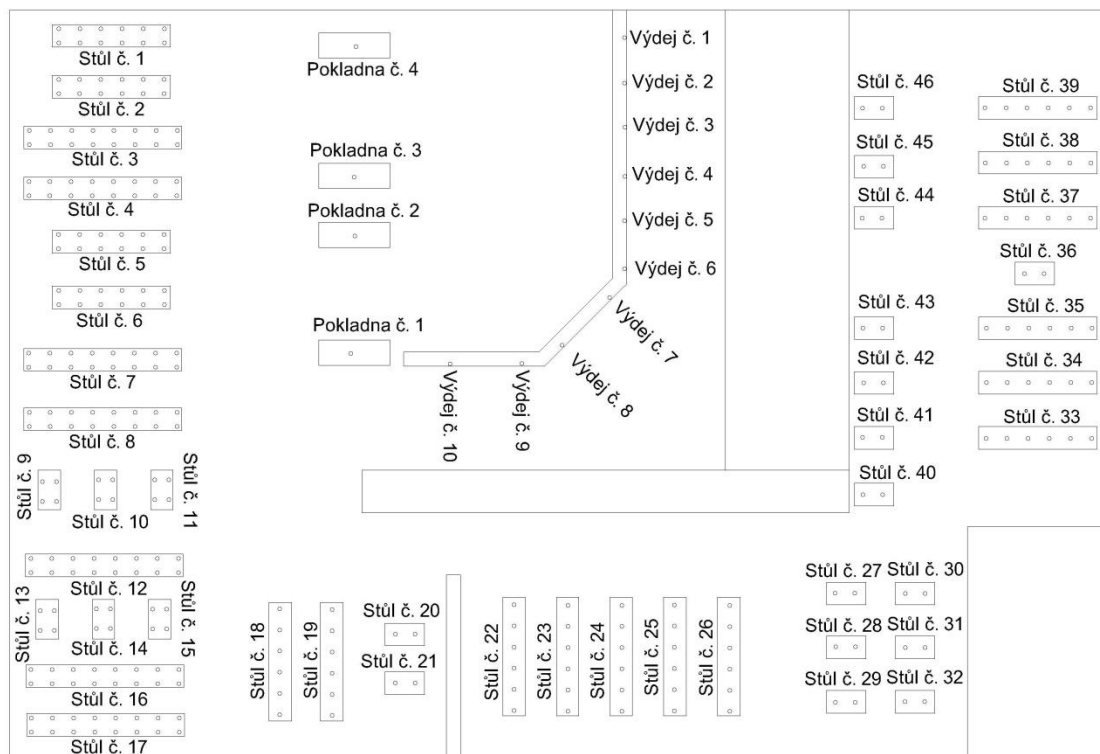
4 Přílohy

4.1 Naměřené hodnoty činitele odrazu ρ (-)

Prostor	Dopad E [lx]	Odraz E [lx]	Činitel odrazu ρ [-]
Prostor Jídelny			
Stůl	937	400	0,43
Zelený sloup	330	53	0,16
Podlaha	195	96	0,49
Stěna	450	352	0,78
Prostor Varny			
Dřevěný stůl	886	222	0,25
Nerez stůl	835	300	0,36
Stěna - dlaždice	427	326	0,76
Stěna	437	350	0,80
Podlaha	582	200	0,34

Tab. 4 – Hodnoty činitele odrazu ρ (-)

4.2 Rozmístění kontrolních bodů



Obr. 16 - Půdorys jídelny (4)

4.3 Příloha 1 – naměřené hodnoty denní osvětlenosti $E(lx)$ v prostoru jídelny

V tabulce jsou uvedeny naměřené hodnoty osvětlenosti E (lx) v měřených bodech.

Vlevo jsou umístěna okna, vpravo je směr k pokladnám a výdejním pultům. Jedná se o první část jídelny.

430	310	289	215	118	87
500	370	296	212	145	113

*Verifikace dosažení deklarovaných parametrů osvětlovací soustavy v interiéru budovy
ZČU Menza Bory.*

Patrik Vondráček 2017

Stůl č. 1

420	306	296	209	115	91
520	377	287	208	158	111

Stůl č. 2

3227	2171	1300	766	414	320	222	164
3260	2207	1200	711	403	291	216	168

Stůl č. 3

1600	1130	718	488	343	263	180	144
2570	1359	974	777	503	397	257	193

Stůl č. 4

1705	1145	808	535	354	299
1438	1170	793	550	415	292

Stůl č. 5

1880	1487	795	586	437	334
2320	2600	1500	1080	800	600

Stůl č. 6

2700	1400	745	528	383	316	262	224
2280	1250	660	443	320	240	189	150

Stůl č. 7

1290	803	463	349	258	202	167	147
1305	822	489	326	233	198	135	116

Stůl č. 8

480	391		266	236		122	124
314	330		264	249		138	132

Stoly č. 9, 10 a 11

1435	978	689	565	400	332	266	229
1463	1066	775	639	477	390	300	255

Stůl č. 12

1800	1450		720	556		319	282
1830	1520		698	580		326	311

Stoly 13, 14 a 15

2906	2450	1785	1315	942	737	595	515	455	430
3350	3060	2400	1606	1160	926	830	809	750	914

Stůl č. 16

2200	2190	2050	2000	1817	1712	1790	2015
2205	2185	2047	1997	1820	1705	1800	2016

Stůl č. 17

Následující hodnoty jsou hodnoty příčně umístěných stolů v části 1 a dvou stolů mezi příčkami. Okna jsou vpravo, vlevo je směr k salonku.

181	221	263	326	338	308
-----	-----	-----	-----	-----	-----

Stůl č. 18

128	148	167	192	232	366
-----	-----	-----	-----	-----	-----

Stůl č. 19

98 91

92 111

Stoly č. 20 a 21

Následují hodnoty z druhé části jídelny, tj. z části se sběrnou tácků

Okna jsou orientována vpravo, vlevo je stěna

119 140 164 211 257 282
Stůl č. 22

132 164 199 271 340 446
Stůl č. 23

167 199 260 343 487 903
Stůl č. 24

180 222 260 330 475 491
Stůl č. 25

165 210 250 329 489 797
Stůl č. 26

120 207 597

150 237 555

Stoly č. 27, 28 a 29

100 134 98

120 178 247

Stoly č. 30, 31 a 32

Následující hodnoty jsou z poslední části jídelny.

Okna jsou orientována vlevo. Vpravo je stěna.

2870	2295	1325	1121	826	660
Stůl č. 33					
2950	2960	1615	1255	922	722
Stůl č. 34					
3168	2150	1507	1124	918	738
Stůl č. 35					
1340	1160				
Stůl č. 36					
2896	2071	1388	1152	880	700
Stůl č. 37					
3170	2220	1545	1164	915	700
Stůl č. 38					
2284	1675	1150	882	707	566
Stůl č. 39					
307	257				
Stůl č. 40					
320	345				
Stůl č. 41					
340	284				
Stůl č. 42					
367	335				
Stůl č. 43					
330	360				
Stůl č. 44					
300	256				
Stůl č. 45					
290	245				
Stůl č. 46					

Tab. 5 – Hodnoty denní osvětlenosti E(lx)

4.4 Osvětlenost venkovní horizontální roviny

6870	6810	6700	6500	6305	6210		
6850	6770	6680	6620	6570	6600		
Stůl č. 1							
6850	6800	6680	6480	6310	6240		
6860	6780	6700	6640	6580	6540		
Stůl č. 2							
12050	11270	10067	9990	9410	8720	8180	7690
12610	13100	13880	14130	14430	14630	14800	14880

*Verifikace dosažení deklarovaných parametrů osvětlovací soustavy v interiéru budovy
ZČU Menza Bory.*

Patrik Vondráček 2017

Stůl č. 3

12360	12470	12590	12720	12880	13000	13100	13310
12360	10700	10770	10850	10900	10980	11070	11150

Stůl č. 4

15100	15060	15020	15000	14990	14980		
15130	15170	15210	15250	15280	15320		

Stůl č. 5

16200	16160	16120	16070	16050	15990		
16230	16340	16770	16760	16680	16790		

Stůl č. 6

16670	16850	17010	17130	17310	17440	17580	17700
16420	16220	16040	15890	15700	15480	15310	15150

Stůl č. 7

13460	13720	13920	14160	14410	14600	14850	15040
13170	12920	12640	11730	11560	11350	11140	10900

Stůl č. 8

6300	6360		8090	7930		8160	8120
6320	6340		8050	7990		8140	8130

Stoly č. 9, 10 a 11

8600	8520	8430	8350	8270	8200	8190	8180
8670	8760	8810	8840	8850	8840	8820	8830

Stůl č. 12

8780	8780		8840	8790		8890	8850
8770	8770		8810	8880		8880	8860

Stoly č. 13, 14 a 15

9510	9420	9340	9270	9200	9140	9080	9040	9010	8990
12270	12480	12600	12770	12840	12930	12990	13030	13070	13120

Stůl č. 16

14240	13970	13880	13770	13700	13610	13550	13890
14320	14310	14210	14200	13980	13960	13950	13830

Stůl č. 17

1375	1376	1377	1379	1378	1386		
------	------	------	------	------	------	--	--

Stůl č. 18

1381	1382	1381	1381	1385	1377		
------	------	------	------	------	------	--	--

Stůl č. 19

1374		1371					
1375		1369					

Stoly č. 20 a 21

1351	1348	1346	1344	1341	1338		
------	------	------	------	------	------	--	--

Stůl č. 22

1333	1332	1321	1336	1321	1329		
------	------	------	------	------	------	--	--

Stůl č. 23

1339	1337	1339	1336	1333	1332		
------	------	------	------	------	------	--	--

Stůl č. 24					
	1333	1336	1339	1337	1339
Stůl č. 25					1340
	1348	1344	1343	1342	1341
Stůl č. 26					1340
	1350		1355		1360
	1353		1357		1357
Stoly č. 27, 28 a 29					
	1354		1356		1356
	1355		1356		1355
Stoly č. 30, 31 a 32					
	13830	13830	13830	13830	13830
Stůl č. 33					13840
	13830	13840	13840	13840	13850
Stůl č. 34					13840
	13830	13820	13820	13820	13820
Stůl č. 35					
	13800	13800			
Stůl č. 36					
	13820	13810	13820	13830	13820
Stůl č. 37					13880
	13850	13860	13870	13870	13880
Stůl č. 38					13870
	13880	13870	13900	13880	13880
Stůl č. 39					13900
	13910	13910			
Stůl č. 40					
	13900	13880			
Stůl č. 41					
	14160	13990			
Stůl č. 42					
	13710	14800			
Stůl č. 43					
	14810	14860			
Stůl č. 44					
	14866	14900			
Stůl č. 45					
	14862	14885			

Stůl č. 46

Tab. 6 – Osvětlenost E(lx) venkovní horizontální roviny

4.5 Činitel denní osvětlenosti D(-)

	6,26	4,55	4,31	3,31	1,87	1,40				
	7,30	5,47	4,43	3,20	2,21	1,71				
Stůl č. 1										
	6,13	4,50	4,43	3,23	1,82	1,46				
	7,58	5,56	4,28	3,13	2,40	1,70				
Stůl č. 2										
	26,78	19,26	12,91	7,67	4,40	3,67	2,71	2,13		
	25,85	16,85	8,65	5,03	2,79	1,99	1,46	1,13		
Stůl č. 3										
	12,94	9,06	5,70	3,84	2,66	2,02	1,37	1,08		
	20,79	12,70	9,04	7,16	4,61	3,62	2,32	1,73		
Stůl č. 4										
	11,29	7,60	5,38	3,57	2,36	2,00				
	9,50	7,71	5,21	3,61	2,72	1,91				
Stůl č. 5										
	11,60	9,20	4,93	3,65	2,72	2,09				
	14,29	15,91	8,94	6,44	4,80	3,57				
Stůl č. 6										
	16,20	8,31	4,38	3,08	2,21	1,81	1,49	1,27		
	13,89	7,71	4,11	2,79	2,04	1,55	1,23	0,99		
Stůl č. 7										
	9,58	5,85	3,33	2,46	1,79	1,38	1,12	0,98		
	9,91	6,36	3,87	2,78	2,02	1,74	1,21	1,06		
Stůl č. 8										
	7,62	6,15		3,29	2,98		1,50	1,53		
	4,97	5,21		3,28	3,12		1,70	1,62		
Stoly č. 9, 10 a 11										
	16,69	11,48	8,17	6,77	4,84	4,05	3,25	2,80		
	16,87	12,17	8,80	7,23	5,39	4,41	3,40	2,89		
Stůl č. 12										
	20,50	16,51		8,14	6,33		3,59	3,19		
	20,87	17,33		7,92	6,53		3,67	3,51		
Stoly č. 13, 14 a 15										
	30,56	26,01	19,11	14,19	10,24	8,06	6,55	5,70	5,05	4,78
	27,30	24,52	19,05	12,58	9,03	7,16	6,39	6,21	5,74	6,97
Stůl č. 16										
	15,45	15,68	14,77	14,52	13,26	12,58	13,21	14,51		

*Verifikace dosažení deklarovaných parametrů osvětlovací soustavy v interiéru budovy
ZČU Menza Bory.*

Patrik Vondráček 2017

Stůl č. 17	15,40	15,27	14,41	14,06	13,02	12,21	12,90	14,58
Stůl č. 18	13,16	16,06	19,10	23,64	24,53	22,22		
Stůl č. 19	9,27	10,71	12,09	13,90	16,75	26,58		
Stoly č. 20 a 21	7,13		6,64					
	6,69		8,11					
Stůl č. 22	8,81	10,39	12,18	15,70	19,16	21,08		
Stůl č. 23	9,90	12,31	15,06	20,28	25,74	33,56		
Stůl č. 24	12,47	14,88	19,42	25,67	36,53	67,79		
Stůl č. 25	13,50	16,62	19,42	24,68	35,47	36,64		
Stůl č. 26	12,24	15,63	18,62	24,52	36,47	59,48		
Stoly č. 27, 28 a 29	8,89		15,28		43,90			
	11,09		17,46		40,90			
Stoly č. 30, 31 a 32	7,39		9,88		7,23			
	8,86		13,13		18,23			
Stůl č. 33	20,75	16,59	9,58	8,11	5,97	4,77		
Stůl č. 34	21,33	21,39	11,67	9,07	6,66	5,22		
Stůl č. 35	22,91	15,56	10,90	8,13	6,64	5,34		
Stůl č. 36	9,71	8,41						
Stůl č. 37	20,96	15,00	10,04	8,33	6,37	5,04		
Stůl č. 38	22,89	16,02	11,14	8,39	6,59	5,05		
Stůl č. 39	16,46	12,08	8,27	6,35	5,09	4,07		
Stůl č. 40	2,21	1,85						
	2,30	2,49						

Stůl č. 41		
	2,40	2,03
Stůl č. 42		
	2,68	2,26
Stůl č. 43		
	2,23	2,42
Stůl č. 44		
	2,02	1,72
Stůl č. 45		
	1,95	1,65
Stůl č. 46		

Tab. 7 - Činitel denní osvětlenosti D(-)

4.6 Průměrné hodnoty denního osvětlení

Místo měření	\bar{E} (lx)	Místo měření	\bar{E} (lx)	Místo měření	\bar{E} (lx)	Místo měření	\bar{E} (lx)
Stůl č. 1	257,08	Stůl č. 13	1650,00	Stůl č. 25	326,33	Stůl č. 37	1514,50
Stůl č. 2	258,17	Stůl č. 14	638,50	Stůl č. 26	373,33	Stůl č. 38	1619,00
Stůl č. 3	1065,00	Stůl č. 15	309,50	Stůl č. 27	135,00	Stůl č. 39	1210,67
Stůl č. 4	743,50	Stůl č. 16	1396,75	Stůl č. 28	222,00	Stůl č. 40	282,00
Stůl č. 5	792,00	Stůl č. 17	1971,81	Stůl č. 29	576,00	Stůl č. 41	332,50
Stůl č. 6	1201,58	Stůl č. 18	272,83	Stůl č. 30	110,00	Stůl č. 42	312,00
Stůl č. 7	755,63	Stůl č. 19	205,50	Stůl č. 31	156,00	Stůl č. 43	351,00
Stůl č. 8	456,44	Stůl č. 20	95,00	Stůl č. 32	172,50	Stůl č. 44	345,00
Stůl č. 9	378,75	Stůl č. 21	101,00	Stůl č. 33	1516,17	Stůl č. 45	278,00
Stůl č. 10	253,75	Stůl č. 22	195,50	Stůl č. 34	1737,33	Stůl č. 46	267,50
Stůl č. 11	129,00	Stůl č. 23	258,67	Stůl č. 35	1600,83		
Stůl č. 12	641,19	Stůl č. 24	393,17	Stůl č. 36	1250,00		

Tab. 8 - Průměrné hodnoty osvětlenosti \bar{E} (lx)

4.7 Rovnoměrnost denního osvětlení U_0 (-)

Stůl č. 1	Stůl č. 2	Stůl č. 3	Stůl č. 4	Stůl č. 5	Stůl č. 6	Stůl č. 7	Stůl č. 8
0,19	0,19	0,04	0,05	0,17	0,13	0,06	0,1
Stůl č. 9	Stůl č. 10	Stůl č. 11	Stůl č. 12	Stůl č. 13	Stůl č. 14	Stůl č. 15	Stůl č. 16
0,65	0,91	0,88	0,17	0,79	0,78	0,87	0,16
Stůl č. 17	Stůl č. 18	Stůl č. 19	Stůl č. 20	Stůl č. 21	Stůl č. 22	Stůl č. 23	Stůl č. 24
0,78	0,54	0,35	0,94	0,82	0,42	0,3	0,18
Stůl č. 25	Stůl č. 26	Stůl č. 27	Stůl č. 28	Stůl č. 29	Stůl č. 30	Stůl č. 31	Stůl č. 32
0,37	0,21	0,8	0,87	0,93	0,83	0,75	0,4
Stůl č. 33	Stůl č. 34	Stůl č. 35	Stůl č. 36	Stůl č. 37	Stůl č. 38	Stůl č. 39	Stůl č. 40
0,23	0,24	0,23	0,87	0,24	0,22	0,25	0,84
Stůl č. 41	Stůl č. 42	Stůl č. 43	Stůl č. 44	Stůl č. 45	Stůl č. 46		
0,93	0,85	0,85	0,92	0,85	0,84		

Tab. 9 - Rovnoměrnost denního osvětlení U_0 (-)

4.8 Naměřené hodnoty sdruženého osvětlení $E(lx)$ v prostoru jídelny

V tabulce jsou uvedeny naměřené hodnoty osvětlenosti $E(lx)$ v měřených bodech.

Vlevo jsou umístěna okna, vpravo je směr k pokladnám a výdejním pultům. Jedná se o první část jídelny.

	352	342	300	249	239	231		
	359	348	305	247	228	225		
Stůl č. 1								
	360	332	293	250	250	242		
	368	323	291	255	240	235		
Stůl č. 2								
	656	513	392	352	292	258	245	227
	652	526	425	370	320	288	268	260
Stůl č. 3								
	640	520	430	395	356	312	300	285
	599	520	428	380	334	317	308	281
Stůl č. 4								
	335	322	346	307	275	285		
	381	395	381	334	346	311		
Stůl č. 5								
	546	510	442	394	372	343		
	422	436	458	420	411	362		
Stůl č. 6								
	1257	992	700	550	426	429	406	365
	1293	987	727	558	459	387	346	311
Stůl č. 7								
	1156	860	627	537	440	376	348	326
	1189	890	652	530	422	360	329	306
Stůl č. 8								
	427	458						
	498	421						

Stůl č. 9

317 313

338 281

Stůl č. 10

223 220

242 242

Stůl č. 11

1020 648 514 478 403 364 345 327

1079 750 530 489 426 365 355 329

Stůl č. 12

850 795

886 795

Stůl č. 13

466 447

438 425

Stůl č. 14

365 350

338 344

Stůl č. 15

1030 883 675 858 509 436 396 378 352 350

958 849 675 580 522 450 409 385 364 364

Stůl č. 16

650 652 663 600 542 554 534 540

509 637 620 619 557 567 640 617

Stůl č. 17

Následující hodnoty jsou hodnoty příčně umístěných stolů v části 1 a dvou stolů mezi příčkami. Okna jsou vpravo, vlevo je směr k salonku.

550 560 530 470 430 412

Stůl č. 18

530 456 430 395 370 363

Stůl č. 19

915 240
 Stůl č. 20

270 210
 Stůl č. 21

*Následují hodnoty z druhé části jídelny, tj. z části se sběrnou táci
 Okna jsou orientována vpravo, vlevo je stěna*

370 370 340 350 370 400
 Stůl č. 22

650 580 490 630 420 430
 Stůl č. 23

1070 700 600 550 520 540
 Stůl č. 24

712 803 700 620 580 600
 Stůl č. 25

1190 800 626 550 500 515
 Stůl č. 26

560
 502
 Stůl č. 27

582
 540
 Stůl č. 28

840
 1030
 Stůl č. 29

500
 420
 Stůl č. 30

500
 430

Stůl č. 31

666

370

Stůl č. 32

Následující hodnoty jsou z poslední části jídelny.

Okna jsou orientována vlevo. Vpravo je stěna.

2620 5150 1583 1460 1230 1080
Stůl č. 33

2500 2250 1950 1660 1430 1240
Stůl č. 34

2550 2070 1740 1530 1280 1080
Stůl č. 35

1430 1400
Stůl č. 36

2290 1930 1660 1350 1212 1000
Stůl č. 37

2340 2000 1700 1460 1250 1080
Stůl č. 38

2027 1664 1350 1190 1009 930
Stůl č. 39

660 496
Stůl č. 40

637 563
Stůl č. 41

632 555
Stůl č. 42

637 550
Stůl č. 43

620 570

Stůl č. 44

680 630
Stůl č. 45

630 540
Stůl č. 46

Tab. 10 - Hodnoty sdruženého osvětlení $E(\text{lx})$

4.9 Průměrné hodnoty sdruženého osvětlení $\bar{E}(lx)$

Průměrná osvětlenost $\bar{E}(lx)$							
Měřený bod	$\bar{E}(lx)$	Měřený bod	$\bar{E}(lx)$	Měřený bod	$\bar{E}(lx)$	Měřený bod	$\bar{E}(lx)$
Stůl č. 1	285,42	Stůl č. 13	831,50	Stůl č. 25	669,17	Stůl č. 37	1573,67
Stůl č. 2	286,58	Stůl č. 14	444,00	Stůl č. 26	696,83	Stůl č. 38	1638,33
Stůl č. 3	377,75	Stůl č. 15	349,25	Stůl č. 27	935,00	Stůl č. 39	1361,67
Stůl č. 4	400,31	Stůl č. 16	571,15	Stůl č. 28	561,00	Stůl č. 40	578,00
Stůl č. 5	334,83	Stůl č. 17	593,81	Stůl č. 29	531,00	Stůl č. 41	600,00
Stůl č. 6	426,33	Stůl č. 18	492,00	Stůl č. 30	518,00	Stůl č. 42	593,5
Stůl č. 7	637,06	Stůl č. 19	424,00	Stůl č. 31	465,00	Stůl č. 43	593,50
Stůl č. 8	584,25	Stůl č. 20	577,50	Stůl č. 32	460,00	Stůl č. 44	595,00
Stůl č. 9	451,00	Stůl č. 21	240,00	Stůl č. 33	2187,17	Stůl č. 45	655,00
Stůl č. 10	312,25	Stůl č. 22	366,67	Stůl č. 34	1838,33	Stůl č. 46	585,00
Stůl č. 11	231,75	Stůl č. 23	533,33	Stůl č. 35	1708,33		
Stůl č. 12	526,38	Stůl č. 24	663,33	Stůl č. 36	1415,00		

Tab. 11 - Průměrné hodnoty sdruženého osvětlení $\bar{E}(lx)$

4.9.1 Naměřené hodnoty osvětlenosti $E(\text{lx})$ na pracovním místě pokladny

Pokladna č. 1	130
Pokladna č. 2	167
Pokladna č. 3	120
Pokladna č. 4	65

Tab. 12 - Hodnoty sdružené osvětlenosti $E(\text{lx})$ pokladen

4.9.2 Naměřené hodnoty sdruženého osvětlení $E(\text{lx})$ v prostoru výdejny

Vlevo dole se nachází výdej nejbližší vchodu (standardně těstoviny se 4 druhy omáčky), v levém horním rohu výdejna polévky, vpravo pult s vegetariánským koutkem a výčepem.

		výdej č. 8	výdej č. 9	výdej č. 10
Výdej č. 7	420	476	396	265
Výdej č. 6	550			
Výdej č. 5	520			
Výdej č. 4	580			
Výdej č. 3	600			
Výdej č. 2	600			
Výdej č. 1	550			

Tab. 13 - Hodnoty sdruženého osvětlení výdejny $E(\text{lx})$

4.9.3 Průměrná hodnota osvětlenosti $\bar{E}(\text{lx})$ výdejny

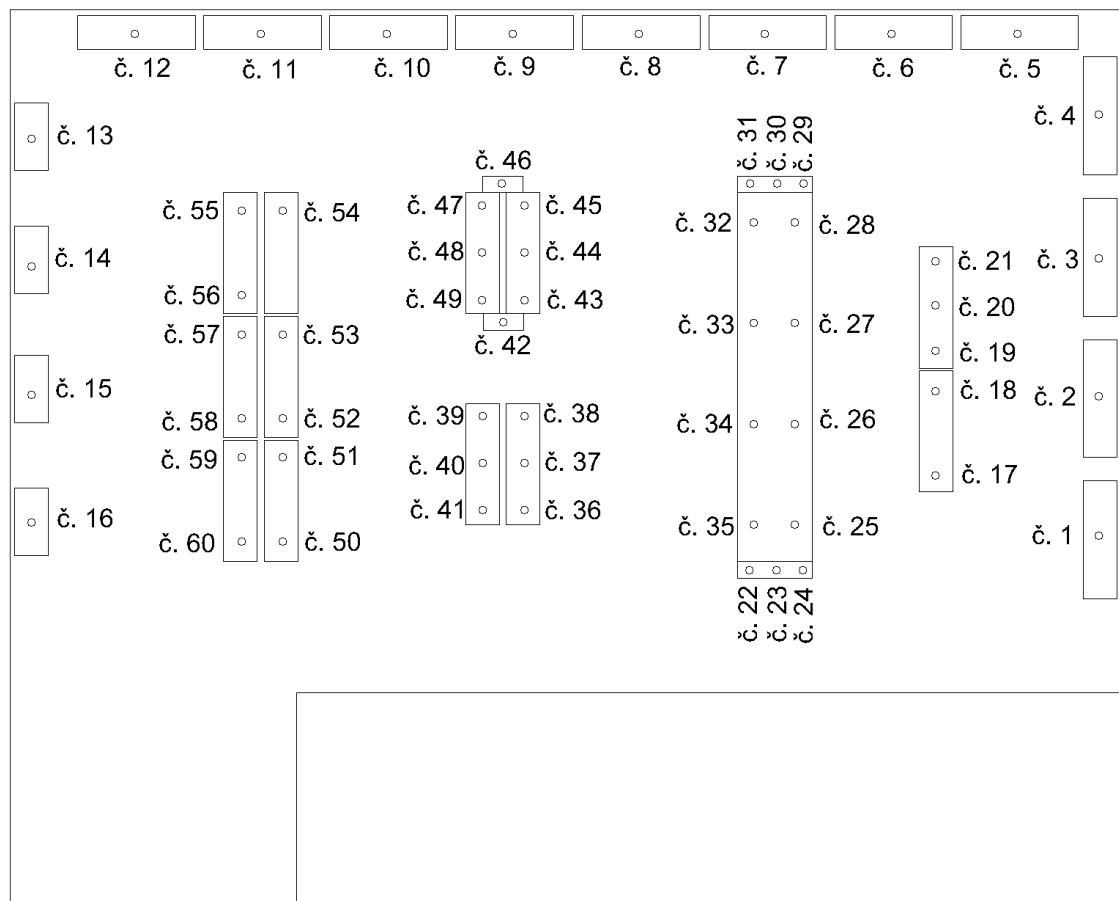
Průměrná osvětlenost výdejny $\bar{E}(\text{lx})$

\bar{E} 495,7 lx

Tab. 14 - Průměrná osvětlenost výdejny $\bar{E}(\text{lx})$

4.10 Naměřené hodnoty umělého osvětlení $E(lx)$ v prostoru varny

4.10.1 Půdorys varny



Obr. 17 - Půdorys varny

4.10.2 Naměřené hodnoty osvětlenosti $E(lx)$

Měřený bod	$E(lx)$	Měřený bod	$E(lx)$
1	640	31	755
2	660	32	697
3	570	33	363
4	530	34	715
5	500	35	624
6	591	36	909
7	650	37	905
8	525	38	900
9	640	39	896

10	380	40	854
11	240	41	814
12	520	42	776
13	490	43	880
14	320	44	863
15	240	45	855
16	317	46	915
17	520	47	836
18	726	48	854
19	785	49	860
20	810	50	530
21	795	51	630
22	663	52	640
23	600	53	575
24	542	54	840
25	416	55	688
26	504	56	530
27	533	57	405
28	620	58	700
29	725	59	368
30	666	60	300

Tab. 15 - Hodnoty umělého osvětlení $E(\text{lx})$

4.10.3 Naměřené hodnoty osvětlenosti $E(\text{lx})$ korigované na napětí $U(\text{V})$

Měřený bod	$E(\text{lx})$	Měřený bod	$E(\text{lx})$
1	613,90	31	724,21
2	633,08	32	668,57
3	546,75	33	348,20
4	508,39	34	685,84
5	479,61	35	598,55
6	566,90	36	871,93
7	623,49	37	868,09
8	503,59	38	863,30
9	613,90	39	859,46
10	364,50	40	819,17
11	230,21	41	780,80
12	498,79	42	744,35
13	470,02	43	844,11
14	306,95	44	827,80
15	230,21	45	820,13
16	304,07	46	877,68
17	498,79	47	801,91

18	696,39	48	819,17
19	752,99	49	824,93
20	776,97	50	508,39
21	762,58	51	604,31
22	635,96	52	613,90
23	575,53	53	551,55
24	519,90	54	805,74
25	399,03	55	659,94
26	483,45	56	508,39
27	511,26	57	388,48
28	594,71	58	671,45
29	695,43	59	352,99
30	638,84	60	287,77

Tab. 16 - Hodnoty osvětlenosti $E(lx)$ korigované na napětí

4.10.4 Průměrná osvětlenost

Měřený bod	$\bar{E} (lx)$
č. 1 - č. 4	575,53
č. 5 - č. 12	485,12
č. 13 - č. 16	327,81
č. 17 - č. 21	697,54
č. 22 - č. 28	531,41
č. 29 - č. 35	622,81
č. 36 - č. 38	867,77
č. 39 - č. 41	819,81
č. 42 - č. 45	809,10
č. 46 - č. 49	830,92
č. 50 - č. 54	616,78
č. 55 - č. 60	478,17

Tab. 17 - Hodnoty průměrné osvětlenosti $\bar{E}(lx)$

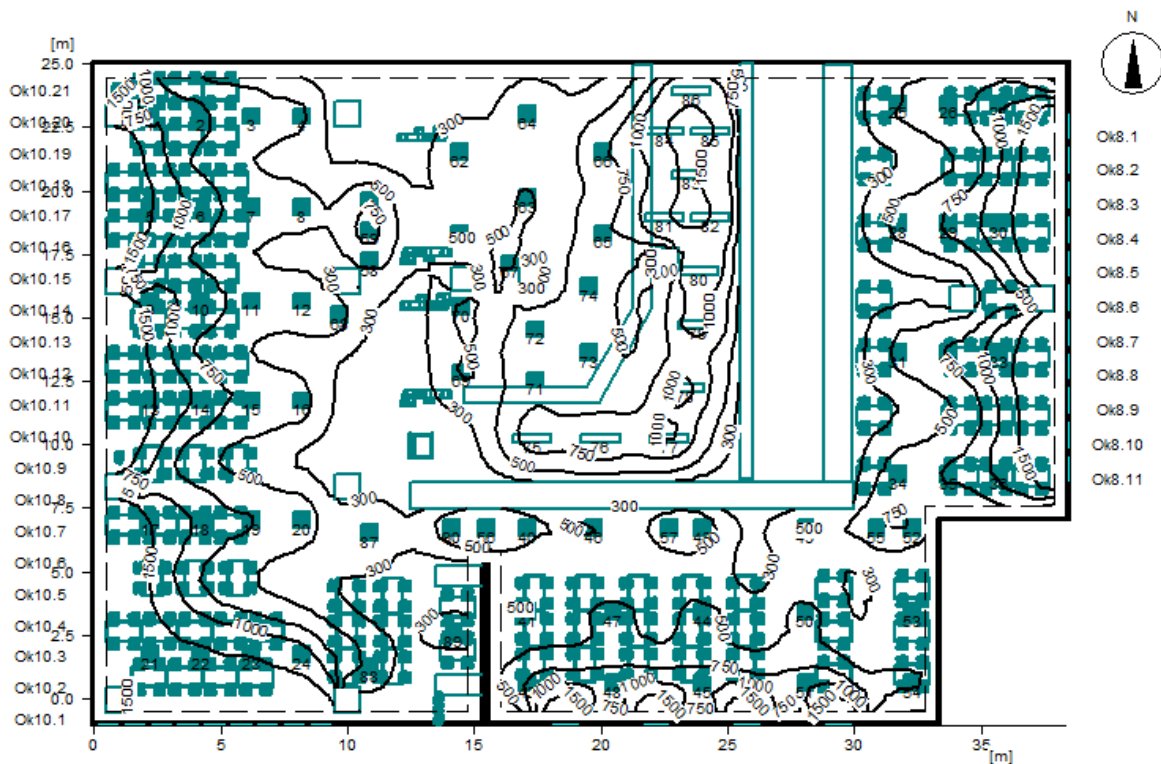
4.11 Podmínky při měření

	Varna	Jídelna
Napětí v síti (V)	236,7	236,5
Teplota vzduchu (°C)	21,3	22,1
Směr oken	Jih	Západ, jih, východ
Výměna světelných zdrojů	individuální	individuální
Stav svítidel	lehce znečištěné	téměř čisté

Tab. 18 - Podmínky při měření

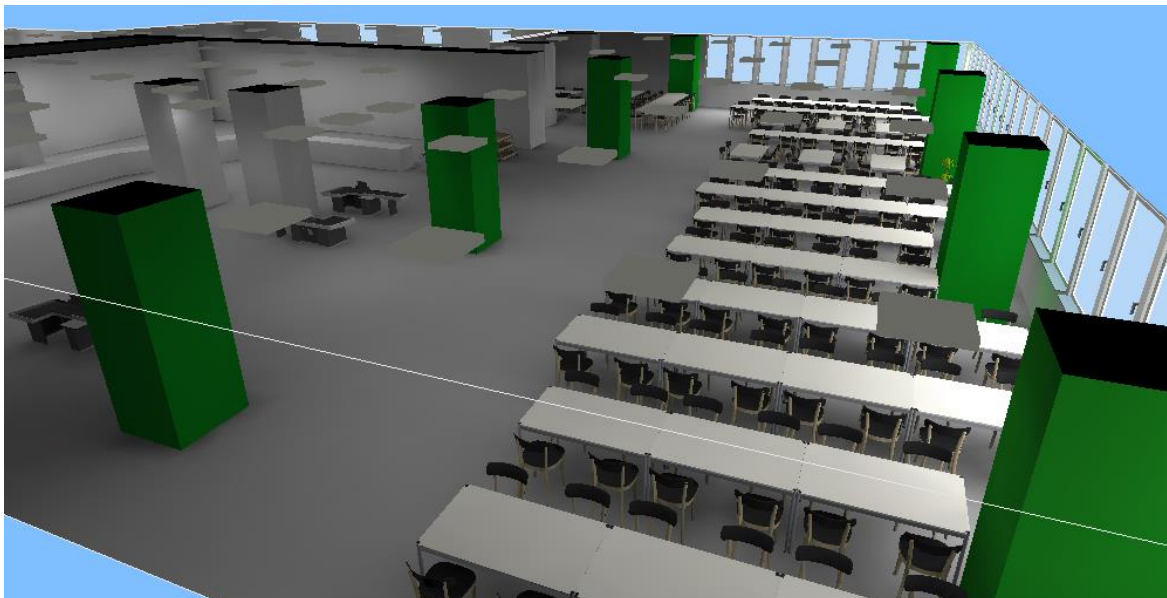
4.12 Obrázky simulace

4.12.1 Izočáry osvětlenosti stávajícího sdrúženého osvětlení jídelny



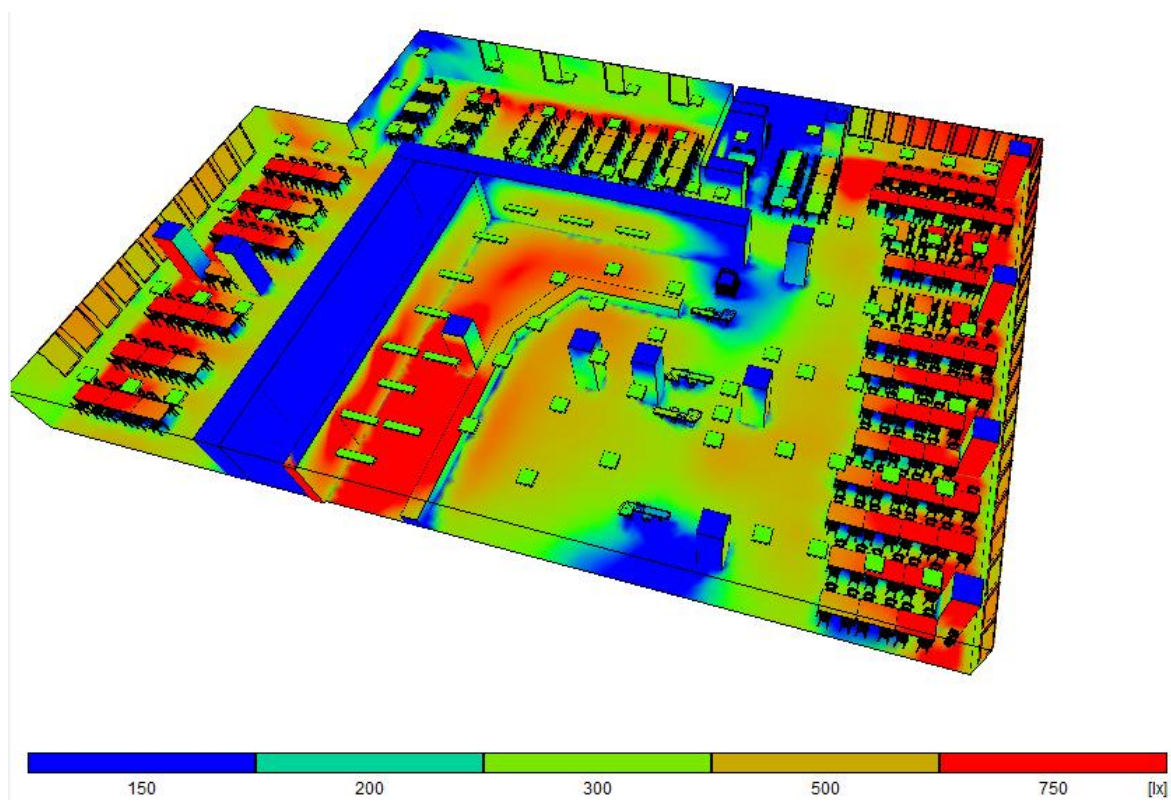
Obr. 18 - Izočáry osvětlenosti

4.12.2 Rozložení jasů, simulace současného osvětlení jídelny



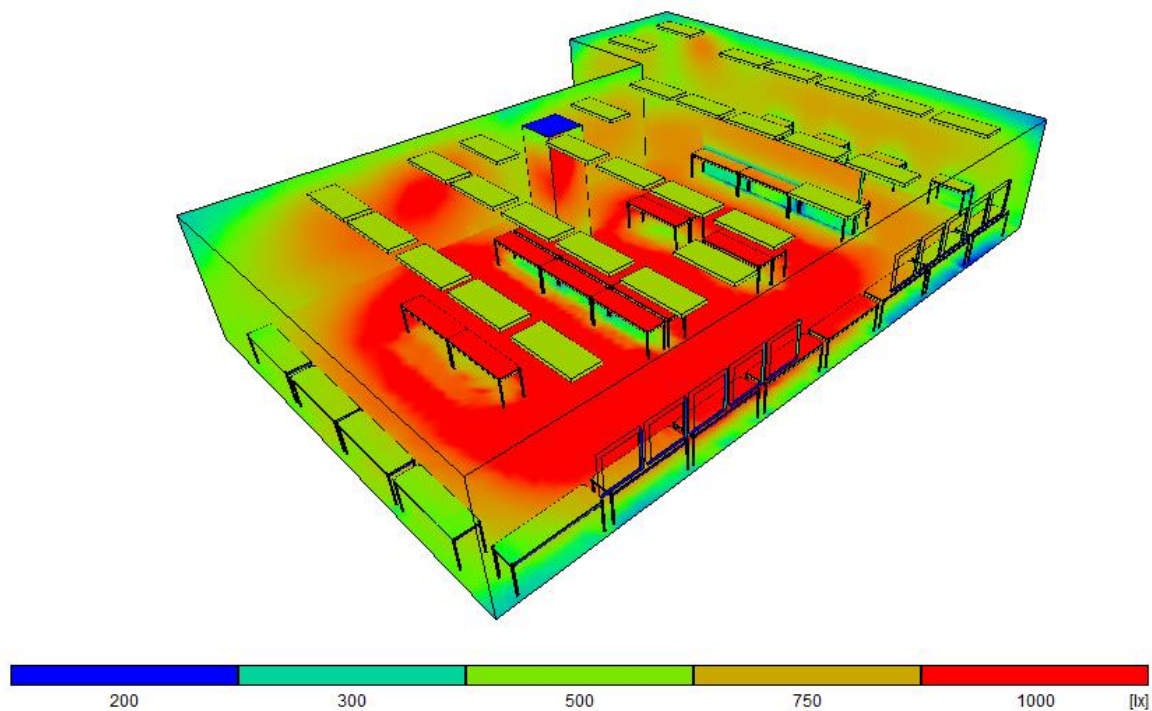
Obr. 19 - Rozložení jasů

4.12.3 Rozložení osvětlenosti stávajícího sdruženého osvětlení



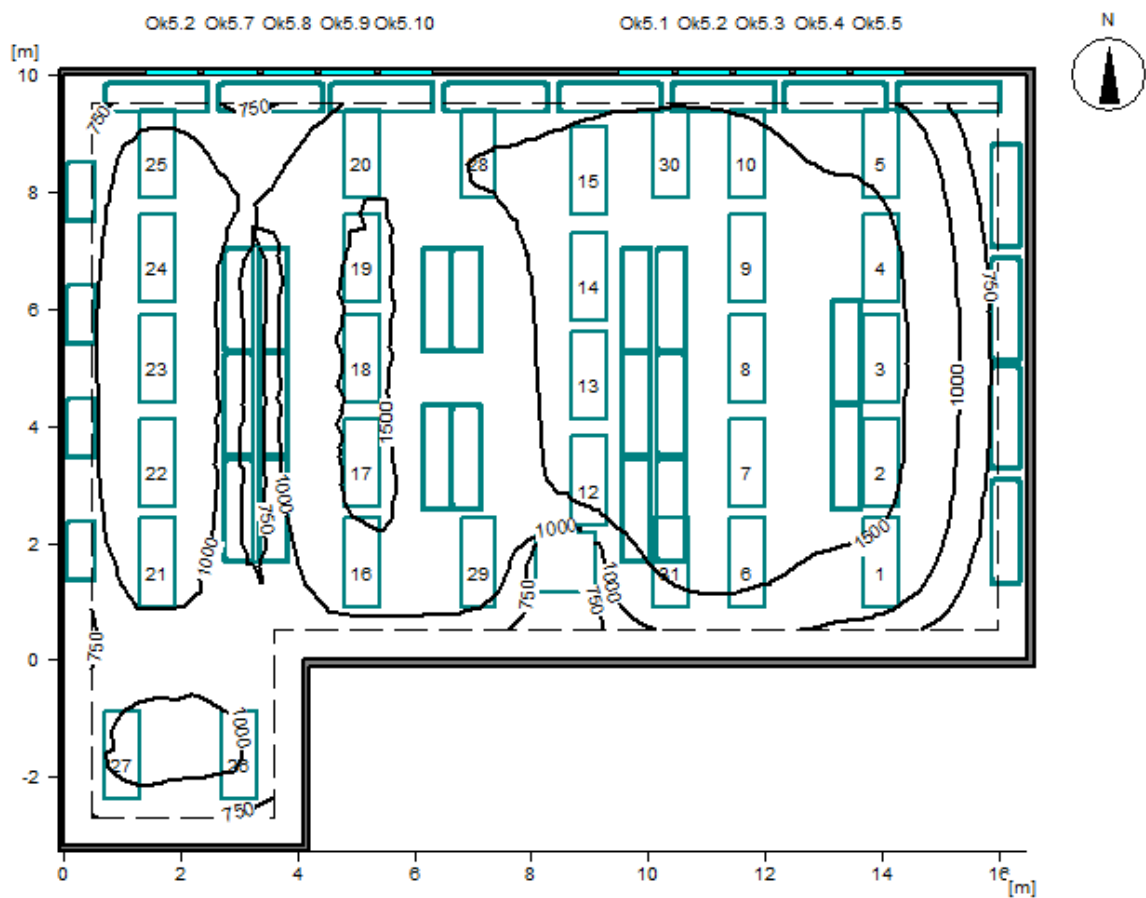
Obr. 20 - Sdružené osvětlení varny

4.12.4 Rozložení osvětlenosti stávajícího umělého osvětlení varny



Obr. 21 – Osvětlenost, umělé osvětlení varny

4.12.5 Izočáry osvětlenosti stávající umělého osvětlení varny



Obr. 22 - Izočáry, umělé osvětlení varny

5 Bibliografie

1. **Jiří, Habel.** *Světlo a osvětlování.* Praha : FCC Public, 2013. 978-80-86534-21-3.
2. **Tržil, Miroslav.** *Displej z kapalných krystalů.* České Budějovice : Česko-anglické gymnázium s.r.o, 2015.
3. *Pixabay.com.* [Online] [Citace: 9. 5 2017.] <https://pixabay.com/cs/lightbult-elektrick%C3%A9-sv%C4%9Btlo-%C5%BE%C3%A1rovka-26606/>.
4. **Vlastní.**
5. Porovnání cen elektrické energie 2017. *Elektrina.cz.* [Online] [Citace: 25. 4 2017.] http://www.elektrina.cz/srovnani-cen-elektriny?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_content=cena-elektriny&utm_campaign=SE_elektrina.cz.
6. **Mayhaymate.** Wolfram-Halogenglühlampe. *Wikimedia.* [Online] [Citace: 2. 5 2017.] <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wolfram-Halogengl%C3%BChlampe.png>.
7. **Degl6328.** Germicidal UV discharge tube glow. *Wikimedia.* [Online] [Citace: 6. 5 2017.] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Germicidal_UV_discharge_tube_glow.jpg.
8. **Proton02.** LPS Lamp 35W. *Wikimedia.* [Online] [Citace: 27. 4 2017.] https://et.wikipedia.org/wiki/Fail:LPS_Lamp_35W.jpg.
9. **Sabinezhawang.** *Wikimedia.* Lampe à induction. [Online] [Citace: 2. 5 2017.] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lampe_%C3%A0_induction.jpg.

10. **Tylercat5**. MV Lamp 175 W. *Wikimedia*. [Online] [Citace: 8. 5 2017.]
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MV_Lamp_175_W.JPG.

11. GE Lighting CSD 250/2 Halogen-Metalllamp. *Thomann*. [Online] [Citace: 11. 5 2017.]
https://www.thomann.de/de/ge_lighting_csd2502_metalllamp.htm.

12. **Anonimski**. Sodiumlamp. *Wikimedia*. [Online] [Citace: 4. 5 2017.]
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sodiumlamp.jpg>.

13. **Ellande**. LED01 spectrum. *Wikimedia*. [Online] [Citace: 2. 5 2017.]
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LED01_spectrum.png.

14. **Led-neolight**. Br20 1. *Wikimedia*. [Online] [Citace: 1. 5 2017.]
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Br20_1.jpg.

15. Denní osvětlení. *Wikiskripta*. [Online] [Citace: 6. 5 2017.]
http://www.wikiskripta.eu/index.php/Denn%C3%AD_osv%C4%9Btlen%C3%AD.

16. **VELUX Česká republika, s.r.o.** Posouzení denního osvětlení místnosti. *Tzb info*. [Online] 10. 7 2013. [Citace: 2. 5 2017.] <http://stavba.tzb-info.cz/denni-osvetleni-a-osluneni/10129-posouzeni-denniho-osvetleni-mistnosti>.

17. **Slezák, Ing. Jiří**. Měření denního osvětlení. *Tzb info*. [Online] 16. 2 2012. [Citace: 28. 4 2017.] <http://stavba.tzb-info.cz/denni-osvetleni-a-osluneni/8491-mereni-denniho-osvetleni>.

18. Denní a sdružené osvětlení. [Online] Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. [Citace: 9. 5 2017.] http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_08.pdf.

19. **Ing. Viktor Zwiener, Ph.D.** Umělé osvětlení z pohledu projektanta. [Online] atelier-dek, 2011. <https://atelier-dek.cz/umele-osvetleni-z-pohledu-projektanta-203>.

20. **Martin.Janda.** Purkyňův efekt. *Wikisofia*. [Online] [Citace: 8. 5 2017.]
https://wikisofia.cz/wiki/Purky%C5%88%C5%AFv_efekt.