

VYŠŠÍ ODBORNÁ ŠKOLA, STŘEDNÍ ŠKOLA,
CENTRUM ODBORNÉ PŘÍPRAVY



ABSOLVENTSKÁ PRÁCE

**Návrh umělého osvětlení
pro odborné učebny.**

Sezimovo Ústí, 2013

Autor: Jan Holšán



ZADÁNÍ ABSOLVENTSKÉ PRÁCE

Student: **Jan Holšán**
Obor studia: 26-41-N/01 Elektrotechnika – mechatronické systémy
Název práce: **Návrh umělého osvětlení pro odborné učebny.**

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte seznámení s problematikou návrhu umělého osvětlení.
2. Zpracujte montážní dokumentace osvětlení učeben.
3. Proveďte návrh osvětlovací soustavy.
4. Změňte světelné parametry osvětlovací soustavy.
5. Zpracujte změřené parametry pomocí projekčního softwaru.
6. Porovnejte různé technologie použité v osvětlovací technice.
7. Absolventskou práci vypracujte problémově ve struktuře odpovídající vědecké práci.

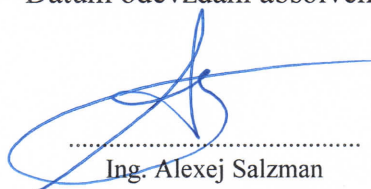
Doporučená literatura:

- [1] SOKANSKÝ K., *Světelná technika*. Praha – České vysoké učení technické, 2011, ISBN 80-010-4941-8
- [2] Firemní dokumentace Inge Opava s.r.o
- [3] Normy ČSN.

Vedoucí práce: Ing. Alexej Salzman, VOŠ, SŠ, COP, Sezimovo Ústí
Odborný konzultant práce: Ing. Petr Chobot, INGE s. r.o., Opava
Oponent práce: Ing. Václav Šedivý, VOŠ, SŠ, COP, Sezimovo Ústí

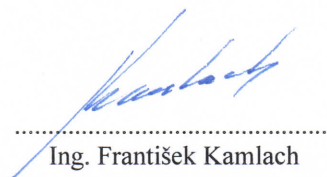
Datum zadání absolventské práce: **21.6.2012**

Datum odevzdání absolventské práce: **30.4.2013**


.....
Ing. Alexej Salzman

(vedoucí práce)



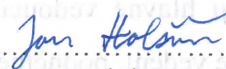

.....
Ing. František Kamlach

(ředitel školy)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou absolventskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

V Sezimově Ústí dne 24.4.2013



.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji především vedoucímu absolventské práce Ing. Alexandru Salzmanovi za jeho důsledné vedení, podnětné rady a čas, který věnoval mé práci. Dále bych rád poděkoval Ing. Vladimíru Chalupovi za kontrolu anglické anotace.

Anotace

Tato absolventská práce se zabývá návrhem a měřením umělého osvětlení odborných učeben dle zadání investora. Nejprve jsou popsány základní veličiny a vztahy používané v osvětlovací technice. Poté se práce věnuje problematice při návrhu umělého osvětlení a možnostem při výběru světelného zdroje. Součástí práce je seznámení a výpočet umělého osvětlení pomocí projekčního programu Wils.

Annotation

This graduate thesis deals with the design and measurement of an artificial lighting in classrooms according to the investor. First, the basic variables and relations are described that are used in lighting technology. Then the work deals with design problems of the artificial lighting options when choosing a light source. The part of this work is to present the calculation of an artificial lighting with the help of the software Wils.

Obsah

1 Úvod.....	1
2 Podstata světla.....	3
2.1 Základní veličiny ve světelné technice	3
2.2 Základní výpočetní vztahy	6
3 Návrh umělého osvětlení v budovách.....	7
3.1 Základní pojmy	7
3.2 Kritéria pro návrh osvětlení	8
3.2.1 Světelné prostředí.....	8
3.2.2 Rozložení jasu	8
3.2.3 Osvětlenost.....	9
3.2.4 Osvětlenosti bezprostředního okolí úkolu a rovnoměrnost osvětlení	10
3.2.5 Oslnění	10
3.2.6 Podání barev a barevný tón světla.....	11
3.2.7 Stroboskopické jevy a míhání	11
3.2.8 Udržovací činitel	12
4 Světelné zdroje.....	13
4.1 Vývoj světelných zdrojů	13
4.2 Žárovky	14
4.3 Halogenové žárovky.....	14
4.4 Lineární zářivky	15
4.4.1 Elektronické předřadníky	16
4.4.2 Regulace světelného toku zářivek.....	17
4.5 Kompaktní zářivky.....	18
4.6 Halogenidové výbojky	19
4.7 Nízkotlaké sodíkové výbojky.....	19
4.8 Vysokotlaké sodíkové výbojky	20
4.9 Vysokotlaké rtuťové výbojky	21
4.10 Indukční výbojky	21
4.11 LED diody.....	22
4.11.1 OLED	23
5 Měření osvětlení odborných učeben	25
5.1 Rozměry místnosti a rozložení světel	25

5.2	Digitální luxmetr Volcraft MS-1300.....	26
5.2.1	Popis principu a ovládání.....	27
5.2.2	Technické údaje.....	27
5.2.3	Spektrální citlivost světelného senzoru.....	28
5.3	Měření učebna C114 a C 116.....	28
5.4	Vyhodnocení naměřených výsledků.....	29
6	Zpracování změřených parametrů pomocí výpočetního programu.....	31
6.1	Popis programu Wils.....	31
6.1.1	Metody výpočtu.....	31
6.1.2	Hlavní okno programu.....	32
6.2	Výpočet umělého osvětlení pro odbornou učebnu C116.....	32
6.2.1	Založení projektu.....	33
6.2.2	Vlastnosti místnosti.....	33
6.2.3	Rozmístění překážek.....	35
6.2.4	Výběr svítidla a osvětlovacího zdroje.....	36
6.2.5	Návrh soustavy svítidel.....	37
6.2.6	Místo zřakového úkolu.....	38
6.2.7	Použitá svítidla a legenda místností.....	38
6.2.8	Nastavení bodového výpočtu.....	39
6.2.9	Nastavení zobrazení.....	40
6.2.10	Zobrazené hodnoty.....	40
6.2.11	Nastavení tisku a export do pdf.....	41
6.3	Výsledné hodnoty osvětlení v odborné učebně C 116.....	42
6.4	Výpočet umělého osvětlení pro odbornou učebnu C 114.....	43
6.5	Výsledné hodnoty osvětlení v odborné učebně C 114.....	43
7	Závěr.....	45
	Literatura.....	47
A	Použitý software.....	i
B	Požadavky na osvětlenost norma ČSN EN 12464-1.....	iii
C	Obsah příloženého DVD.....	v
D	Výpis z programu Wils pro odborné učebny C 114 a C 116.....	vii

Seznam použitých symbolů

Symbol	Význam
Φ	Světelný tok
I	Svítilivost
ω	Prostorový úhel
E	Osvětlenost, Intenzita osvětlení
H	Světlení
L	Jas
λ	Vlnová délka
m_{zd}	Měrný světelný výkon
T_c	Teplota chromatičnosti
T_{cp}	Náhradní teplota chromatičnosti
R_a	Index podání barev
E_m	Udržovací osvětlenost
E_{min}	Nejmenší hodnota osvětlenosti
E_{max}	Největší hodnota osvětlenosti
UGR	Index oslnění
LED	Světlo emitující dioda
OLED	Organická světlo emitující dioda
LCD	Displej z tekutých krystalů

Seznam obrázků

Obrázek 1: Maxwellova duha (převzato z http://praxis.pha.jhu.edu)	3
Obrázek 2: Prostorový úhel.....	4
Obrázek 3: Intenzita osvětlení.....	4
Obrázek 4: Jas	5
Obrázek 5: Výpočet svítivosti.....	6
Obrázek 6: Vliv světla	7
Obrázek 7: Vývoj měrných výkonů	13
Obrázek 8: Žárovka.....	14
Obrázek 9: Funkce zářivky	15
Obrázek 10: Paralelní kompenzace.....	16
Obrázek 11: Stupňovité řízení.....	17
Obrázek 12: Plynulé řízení v daném rozsahu.....	18
Obrázek 13: Kompaktní zářivka	18
Obrázek 14: Halogenidová výbojka.....	19
Obrázek 15: Nízkotlaká sodíková výbojka	20
Obrázek 16: Vysokotlaká rtuťová výbojka	21
Obrázek 17: Spektrální složení záření.....	22
Obrázek 18: Životnost LED	23
Obrázek 19: OLED	23
Obrázek 20: Rozměry a rozložení svítidel C114	25
Obrázek 21: Rozměry a rozložení svítidel C116	26
Obrázek 22: Digitální luxmetr Volcraft MS-1300.....	26
Obrázek 23: Popis luxmetru.....	27
Obrázek 24: Spektrální citlivost světelného senzoru	28
Obrázek 25: Měření osvětlení	29
Obrázek 26: Hlavní okno	32
Obrázek 27: Projekt.....	33
Obrázek 28: Vlastnosti místnosti, základní rozměry	33
Obrázek 29: Vlastnosti místnosti, odraznosti povrchů	34

Obrázek 30: Vlastnosti místnosti, údržba	34
Obrázek 31: Vkládání překážek	35
Obrázek 32: Obecná rozteč	35
Obrázek 33: Výběr svítidla a světelného zdroje	36
Obrázek 34: Návrh soustavy svítidel	37
Obrázek 35: Místo zrakového úhlu	38
Obrázek 36: Použitá svítidla	38
Obrázek 37: Nastavení bodového výpočtu	39
Obrázek 38: Styl zobrazení	40
Obrázek 39: Zobrazené hodnoty	41
Obrázek 40: Nastavení tisku	41
Obrázek 41: Izolinie C 116	42

Seznam tabulek

Tabulka 1: Rovnoměrnost osvětlení.....	10
Tabulka 2: Barevné tóny světelných zdrojů.....	11
Tabulka 3: Naměřené hodnoty C114	28
Tabulka 4: Naměřené hodnoty C116.	29
Tabulka 5: Vypočítané hodnoty C116.	42
Tabulka 6: Vypočítané hodnoty C114.	43

1 Úvod

Osvětlení patří k jednomu z nejdůležitějších faktorů, protože většina aktivit člověka je spojena s vykonáváním zrakové práce nebo se získáváním zrakových informací. Špatné osvětlení působí negativně, ať už na psychiku nebo například na nervový systém, který ovlivňuje množství světelné energie, prostorové rozložení, barevná jakost.



Cílem této práce je nejprve změřit osvětlení ve dvou odborných učebnách, poté navrhnout osvětlení v programu Wils podle zadaných parametrů od investora a ověřit, zda byly dodrženy normy a zda vyhovuje počet a rozmístění svítidel, které jsou namontované v odborných učebnách.

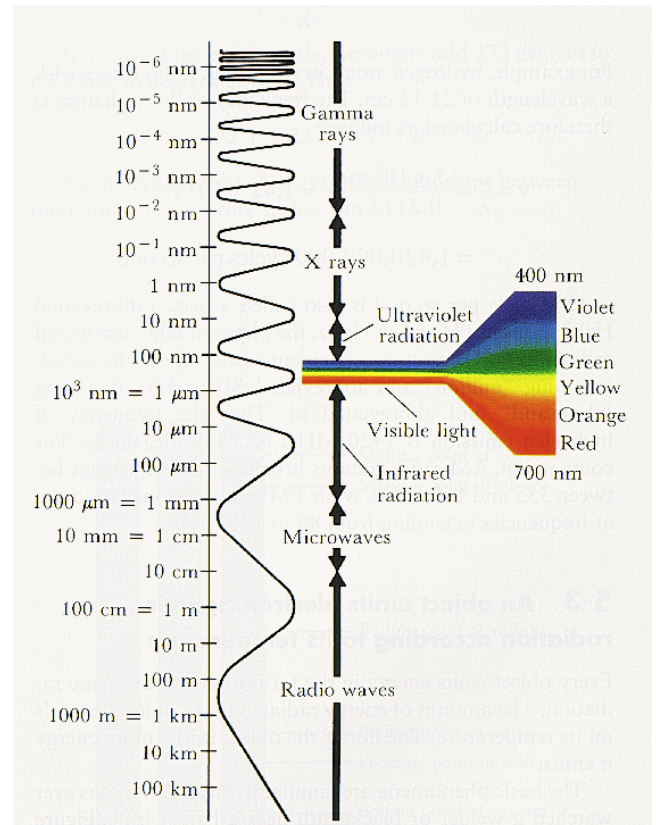
Tento projekt jsem si vybral z důvodu, že mě zajímalo, jak se postupuje při projektování osvětlení a jak se klade důraz na dodržování a kontrolu osvětlení. Abychom pochopili, co se v osvětlovací technice řeší je na začátku práce popsáno co to světlo je, jak vzniká a jaké má vlastnosti. K tomu je potřebné znát jednotky a vztahy. U umělého osvětlení potřebujeme znát kritéria, která musíme dodržet při návrhu nebo posouzení, zda je osvětlovací soustava vyhovující. Jsou také popsány světelné zdroje, které se nyní používají a které mají do budoucna velký potenciál k využití. Dále jsou změřeny osvětlovací soustavy dvou odborných učeben a hodnoty zapsány do tabulek. Nakonec je vysvětleno na jedné odborné učebně, jak se postupuje při návrhu v programu Wils.

Struktura této práce, která je napsaná v MS Word, je následující. Kapitola 2 se věnuje podstatě světla a základním veličinám. Kapitola 3 popisuje kritéria pro návrh umělého osvětlení. Kapitola 4 rozděluje světelné zdroje podle funkce a použití. Kapitola 5 se zabývá měřením osvětlení pomocí luxmetru. Kapitola 6 popisuje výpočet umělého osvětlení v programu Wils. V příloze práce jsou požadavky na osvětlenost ve vzdělávacích zařízeních podle normy ČSN EN 12464-1, použitý software a protokol z programu Wils pro odbornou učebnu C 114 a C 116.

2 Podstata světla

Podle Maxwellovy elektromagnetické teorie má světlo charakter elektromagnetického vlnění různých vlnových délek. V elektromagnetickém spektru patří světlo do oblasti optického záření, které zahrnuje záření ultrafialové (UV), záření viditelné a na straně druhé záření infračervené (IR). Na obrázku 1 je spektrum elektromagnetického záření.

Rozsah záření, které je viditelné pro člověka, je přibližně od 380 do 780 nm. Tento údaj se však nedá určit pro všechny, každý člověk má tuto hranici jinou. S přibývajícím věkem dochází u člověka ke zhoršení vidění. Barvy se zdají méně výrazné a modré tóny se jeví tmavší.



Obrázek 1: Maxwellova duha (převzato z <http://praxis.pha.jhu.edu>)

2.1 Základní veličiny ve světelné technice

Jako je tomu všude v technice, tak i ve světelné technice jsou definovány pojmy k ohodnocení vlastností světelných zdrojů, svítidel a jejich účinků a jsou určeny odpovídající jednotky.

Světelný tok Φ

Jednotka: Lumen

Zkratka: lm

Světelný tok udává, kolik světla celkem vyzáří světelný zdroj do všech směrů. Jde o světelný výkon, který je posuzován z hlediska lidského oka. [2]

Svítivost I

Jednotka: Candela

Zkratka: cd

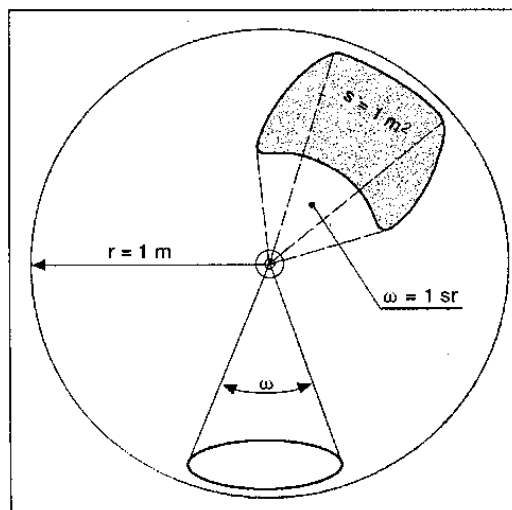
Kandela je základní fotometrická jednotka soustavy SI. Je to svítivost světelného zdroje, který v daném směru vyzařuje monochromatické záření o frekvenci 540×10^{12} hertzů a jehož zářivost v tomto směru činí $1/683$ wattů na jeden steradián. [4]

Prostorový úhel ω

Jednotka: Steradián

Zkratka: sr

Prostorový úhel je úhel při vrcholu kuželu. Jeho velikost je definována jako velikost kulové plochy A , kterou vyřezává úhel ω v kulové ploše o poloměru r a druhé mocniny tohoto poloměru ($\omega = A/r^2$). Prostorový úhel má hodnotu 1 steradián, když vyřizne z kulové plochy koule o poloměru 1 m plochu 1 m^2 (obr. 2). [2]



Obrázek 2: Prostorový úhel [2]

Intenzita osvětlení (osvětlenost) E

Jednotka: Lux

Zkratka: lx

Veličina udává, jak je určitá plocha osvětlována, to znamená, kolik světelného toku dopadá na 1 m^2 (obr. 3)

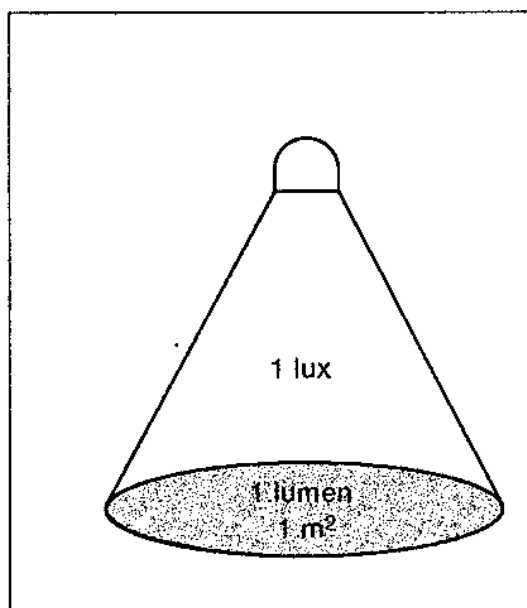
Světlení H

Jednotka: Lumen na metr čtvereční

Zkratka: lm/m^2

Tato veličina stanovuje velikost světelného toku.

[2]



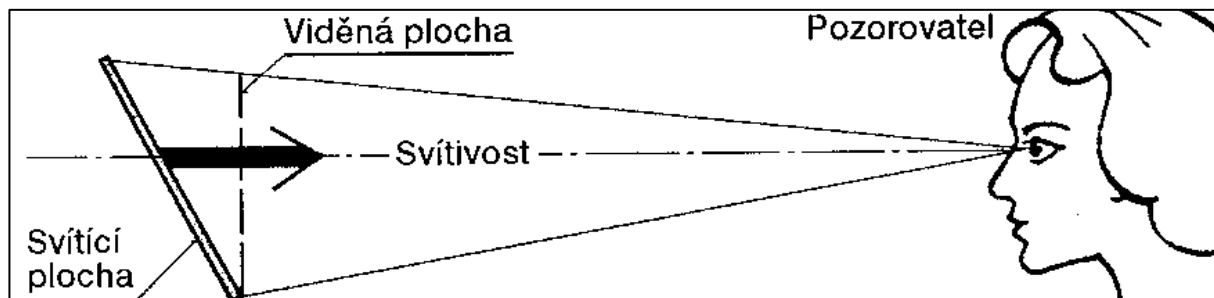
Obrázek 3: Intenzita osvětlení [2]

Jas L

Jednotka: Candela na metr čtvereční

Zkratka: cd/m^2

Jas je měřítkem pro vjem světlosti svítícího nebo osvětlovaného tělesa, jak je vnímá lidské oko (obr. 4).



Obrázek 4: Jas [2]

Měrný světelný výkon m_{zd}

Jednotka: Lumen na watt

Zkratka: lm/W

Veličina udává, jakou „účinností“ je elektrická energie přeměňována ve světlo, tj. kolik lm světelného toku se získá z 1W elektrického příkonu. [2]

Teplota chromatičnosti T_c

Jednotka: Kelvin

Zkratka: K

Teplotou chromatičnosti světelného zdroje je označována ekvivalentní teplota tzv. černého zářiče (Planckova), při které je spektrální složení záření těchto dvou zdrojů blízké. Spektrum žárovek a halogenových žárovek je blízké černému zářiči, takže je zřejmá souvislost mezi spektrem a teplotou chromatičnosti. [2]

Index barevného podání R_a

Také označován jako CRI – color rendering index. Je to hodnocení věrnosti barevného vjemu, který vznikne osvětlením z nějakého světelného zdroje v porovnání s tím, jaký barevný vjem by vznikl ve světle slunce. Index barevného podání R_a může nabývat hodnoty od 0 do 100. Hodnota $R_a = 100$ znamená, že světelný zdroj podá věrohodně

všechny barvy ve světelném spektru. Naproti hodnota $R_a = 0$ znamená, že některé barvy rozeznat nelze. [2]

2.2 Základní výpočetní vztahy

$$\text{Měrný (světelný) výkon } \eta \text{ [lm/W]} = \frac{\text{světelný tok [lm]}}{\text{elektrický příkon [W]}} = \frac{\phi}{P}$$

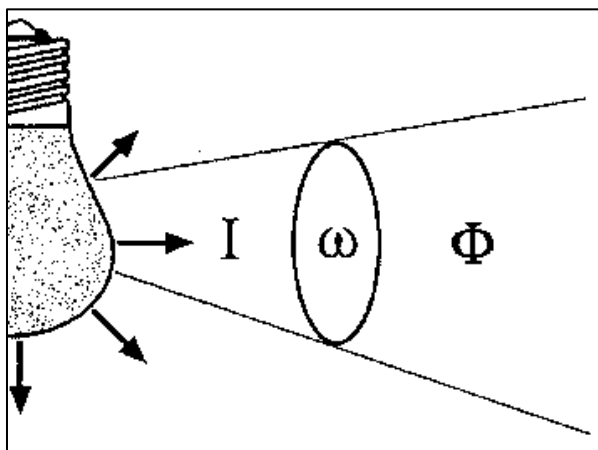
U zdrojů, kde se nepoužívá předřadník např. žárovka, je výkon zdroje stejný jako příkon svítidla.

$$\text{Svítivost } I \text{ [cd]} = \frac{\text{světelný tok do prostorového úhlu [lm]}}{\text{prostorový úhel } \omega \text{ [sr]}} = \frac{\phi}{\omega} \quad (\text{obr. 5})$$

$$\text{Osvětlenost } E_{pp} \text{ (bodového zdroje) [lx]} = \frac{\text{svítivost [cd]}}{\text{vzdálenost}^2 \text{ [m]}} = \frac{I \cdot \cos \beta}{l^2}$$

$$\text{Osvětlenost } E \text{ (Intenzita osvětlení) [lx]} = \frac{\text{dopadající světelný tok [lm]}}{\text{osvětlená plocha [m}^2\text{]}} = \frac{\phi}{S}$$

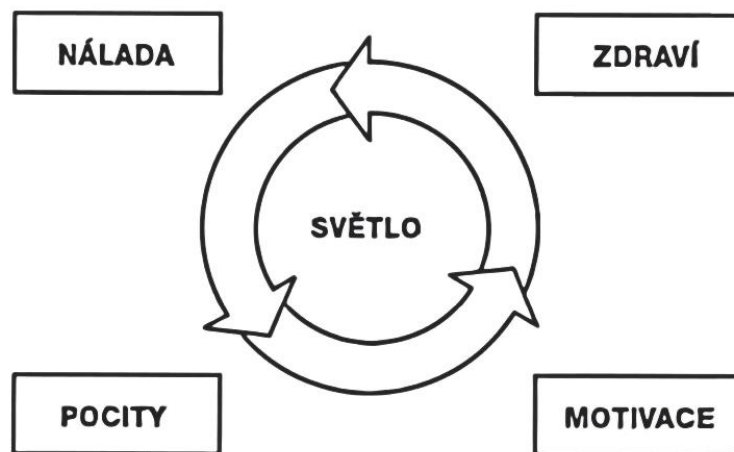
$$\text{Jas } L \text{ [cd/m}^2\text{]} = \frac{\text{svítivost [cd]}}{\text{viditelná svítící plocha [m}^2\text{]}} = \frac{I}{S_p}$$



Obrázek 5: Výpočet svítivosti [2]

3 Návrh umělého osvětlení v budovách.

Jedním z nejdůležitějších požadavků na osvětlení je vytvořit uspokojivé podmínky pro lidskou činnost. Přibližně 90% všech zrakových vjemů v procesu vidění zprostředkuje světlo, také působí ve velké míře na náš nervový systém. Jako důsledek špatného osvětlení může být únava, pálení očí, bolest hlavy. Je tedy důležité věnovat velkou pozornost vstupním nárokům na osvětlení. Na obr. 6 je vliv světla na člověka.



Obrázek 6: Vliv světla [2]

3.1 Základní pojmy

Při návrhu umělého osvětlení, je nejprve důležité pochopit terminologii, která se používá v normách. Pro nás jsou velmi důležité normy ČSN EN 12464-1 a ČSN EN 12665. Mezi nejdůležitější pojmy patří:

- **Srovnávací rovina** je rovina, na které se měří nebo určují parametry osvětlení.
- **Zraková pohoda** je to stav, při kterém plní zrakový systém optimálně všechny funkce a při kterém má člověk i po delším pobytu pocit, že vidí dobře.
- **Zrakový výkon** je množství informací zpracovaných zrakem za jednotku času.
- **Směrovost** je vlastnost osvětlení, charakterizuje převažující směr světla v daném místě.
- **Stínivost** je schopnost osvětlení vytvářet na předmětech stíny.
- **Osvětlovací soustava** je funkčně určený celek prostředků používaných v osvětlení. Patří sem například světelné zdroje, svítidla, včetně napájení.

- **Zrakový úkol** – vizuální prvky vykonávané práce
- **Udržovací osvětlenost** (E_m) – je průměrná hodnota intenzity osvětlení, pod kterou nesmí po celou dobu životnosti osvětlenost poklesnout.
- **Úhel clonění** je úhel mezi vodorovnou rovinou a směrem pohledu na svítidlo, při němž právě začíná být viditelná svítící část světelného zdroje ve svítidle.

Druhy hlavního osvětlení (bezporuchový stav):

- a) Celkové osvětlení – zajišťuje rovnoměrné osvětlení celé místnosti.
- b) Odstupňované osvětlení – zajišťuje rovnoměrné osvětlení v jednotlivých částech místnosti podle vykonávané zrakové činnosti.
- c) Místní osvětlení – zajišťuje přídatné osvětlení místa úkolu.

Poruchové osvětlení je osvětlení při poruše dodávky elektrické energie.

Nouzové, únikové osvětlení – zajišťuje osvětlení únikových cest a důležitých manipulačních míst při poruše. [3]

3.2 Kritéria pro návrh osvětlení

3.2.1 Světelné prostředí

Hlavní parametry určující světelné prostředí:

- rozložení jasu
- osvětlenost
- oslnění
- směrovost světla
- podání barev a barevný tón světla
- míhání světla
- denní světlo

3.2.2 Rozložení jasu

Rozložení jasu v zorném poli je velmi důležité, protože určuje úroveň adaptace zraku, která ovlivňuje viditelnost úkolu. Vyvážený adaptační jas je potřebný ke zvětšení zrakové ostrosti, kontrastní citlivosti, účinnosti zrakových funkcí to je například akomodace (zaostření oka), zmenšování zornic atd. Jelikož špatné rozložení jasu v zorném poli ovlivňuje také zrakovou pohodu, je nutné vyloučit příliš velké jasy, které

mohou zvětšit oslnění. Příliš velké kontrasty jasů mohou způsobit únavu očí. Oko se neustále readaptuje. Při malých jasech a kontrastech jasů je pracovní prostředí monotónní a nestimulující. [3]

Vhodný rozsah činitelů odrazů hlavních povrchů místnosti:

- strop 0,6 až 0,9
- stěny 0,3 až 0,8
- pracovní roviny 0,2, až 0,6
- podlaha 0,1 až 0,5

3.2.3 Osvětlenost

Rozložení osvětlenosti v místě zrakového úkolu má velký vliv na to jak rychle, bezpečně a pohodlně osoba vnímá a vykonává zrakový úkol. Všechny hodnoty osvětlenosti, které jsou uvedeny v normě ČSN EN 12464-1 jsou udržovací osvětlenosti. Hodnoty pro školská zařízení jsou uvedeny v příloze B, tyto hodnoty platí pro normální zrak a při zahrnutí činitelů jako je:

- zraková ergonomie
- hospodárnost
- bezpečnost
- požadavek na zrakový úkol

Hodnota osvětlenosti může být upřesněna nejméně o jeden stupeň řady osvětlenosti, liší-li se zrakové podmínky od normálních předpokladů. V normálních podmínkách osvětlení se požaduje přibližně 20lx, což je mez pro rozeznání rysů lidského obličeje, proto byla tato hodnota přijata jako nejnižší pro řadu osvětleností. Doporučená řada osvětleností [lx] je:

20 – 30 – 50 – 75 – 100 – 150 – 200 – 300 – 500 – 750 – 1 000 – 1 500 – 2 000 – 3 000 – 5 000

Požadovaná udržovaná osvětlenost musí být **zvětšena**, když je zraková činnost kritická, nebo by případné vzniklé škody způsobené chybami, bylo nákladné odstranit. I v případě, že jsou vykonávány úkoly neobvykle malé a málo kontrastní, nebo jsou zrakové schopnosti pracovníků pod normálem. Naopak, pokud je úkol vykonáván po krátkou dobu, nebo jsou kritické detaily úkolu velké, nebo mají velký kontrast, je možné požadované udržované osvětlení **zmenšit**. V prostorech kde je trvalý pohyb osob nesmí být udržovací úroveň osvětlenosti nižší než 200lx. [3]

3.2.4 Osvětlenosti bezprostředního okolí úkolu a rovnoměrnost osvětlení

Velké prostorové změny v osvětlenosti v okolí úkolu mohou způsobit namáhání zraku a tím i zrakovou pohodu. Osvětlenost bezprostředního okolí úkolu může být menší než okolí úkolu, ale nesmí být nižší než hodnoty uvedené v Tab. 1. Rovnoměrnost osvětlení místa úkolu a bezprostředního okolí úkolu nesmí být menší než hodnoty v Tab. 1. [3]

Tabulka 1: Rovnoměrnost osvětlení [3]

Osvětlenost úkolu (lx)	Osvětlení bezprostředního okolí úkolu (lx)
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	$E_{\text{úkolu}}$
rovnoměrnost osvětlení: $\geq 0,7$	rovnoměrnost osvětlení: $\geq 0,5$

3.2.5 Oslnění

Oslnění je požitok, který je způsobený povrchy v zorném poli s velkým jasem a může být pocíťován jako rušivé nebo omezující oslnění. Oslnění způsobené odrazy v zrcadlových površích je běžně chápáno jako závojové oslnění nebo oslnění odrazem. V případě oslnění může docházet k chybám, únavě a úrazům proto je důležité omezení oslnění. U světelných zdrojů je možné zabránit oslnění například vhodným cloněním, nebo v případě oken žaluziemi. Závojovému oslnění lze zabránit uspořádáním svítidel, povrchovou úpravou povrchů, omezením jasu svítidel. Činitel oslnění přímo od svítidel z vnitřního prostoru musí být stanoven, pro stanovení se používá tabulková metoda CIE (UGR) podle vztahu:

$$UGR = 8 \log_{10} \left(\frac{0,25}{L_b} \sum \frac{\omega L^2}{p^2} \right)$$

kde

L_b je jas pozadí v $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$

L - jas svítící části každého svítidla ve směru očí pozorovatele v $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$

ω - prostorový úhel (ve steradiánech)

p - činitel polohy podle Gutha pro každé svítidlo podle jeho odchýlení od směru pohledu

Výsledná hodnota nesmí překročit hodnotu uvedenou v příloze B. [3]

3.2.6 Podání barev a barevný tón světla

Jakost barvy světelných zdrojů smluvně bílého světla můžeme upřesnit pomocí dvou příznaků. Barevný vzhled (tón) světla samotného světelného zdroje a schopnost podání barev. Barevný vzhled (tón) světla se vztahuje k zdánlivé barvě vyzařovaného světla. Ta se kvantifikuje náhradní teplotou chromatičnosti (T_{cp}). Volba barevného tónu závisí na estetických, psychologických a přirozených požadavcích. Dále bude záviset na úrovni osvětlení, barvách stěn a druhu prostoru.

Tabulka 2: Barevné tóny světelných zdrojů

Barevný vzhled (tón) světla	Náhradní teplota chromatičnosti T_{cp} (K)
teple bílý	do 3300
Bílý	3300 až 5300
Denní	Nad 5300

Podání barev je důležité pro zrakový výkon a pocit celkové duševní pohody. Při správném podání barev jsou barvy předmětů a lidské pokožky podány přirozeně a věrně. Světelné zdroje s indexem podání barev menším než 80 se v prostorech, kde osoby pracují nebo pobývají dlouhodobě, použít nesmějí. V některých případech se připouští výjimky, např. ve vysokých halách, ale musí být zajištěna předepsané podání barev v místech s trvalou přítomností osob. Hodnoty R_a pro školská zařízení jsou v příloze B. [3]

3.2.7 Stroboskopické jevy a míhání

Míhání na nás působí rušivě a může vyvolat bolesti hlavy. Stroboskopický jev je takový jev, při kterém se nám zdá, že pohybující se těleso je v klidném stavu. Proto je nutné v případě osvětlování prostor, kde se vyskytují točivé stroje navrhovat osvětlovací soustavu tak, aby tyto jevy nevznikaly. Zabránit vzniku můžeme například výběrem jiného světelného zdroje. [3]

3.2.8 Udržovací činitel

Je důležité, aby byl projekt osvětlení vypracován s uvažováním celkového udržovacího činitele zvoleného pro zvolené osvětlovací zařízení, prostředí a plán údržby. Udržovaná osvětlenost je doporučená osvětlenost pro každý zrakový úkol. [3]

4 Světelné zdroje

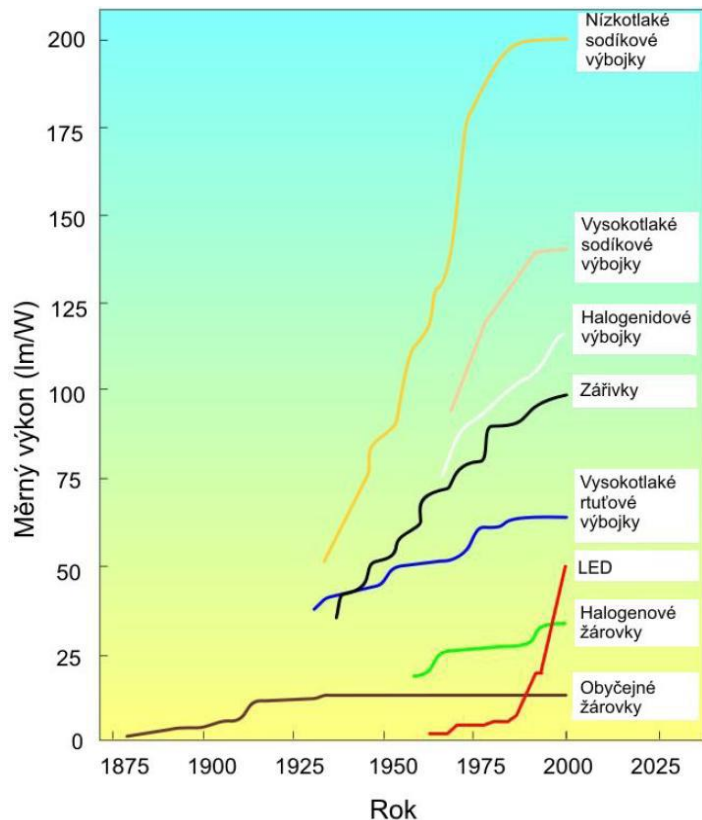
Světelné zdroje jsou základem pro tvorbu osvětlovacích soustav. Jedná se o umělé světelné zdroje, které jsou napájeny elektrickou energií. Na trhu je mnoho světelných zdrojů s různými principy fungování. Každý z těchto zdrojů má své výhody a nevýhody a způsoby použití.



V této kapitole budou vysvětleny principy fungování některých světelných zdrojů, které se používají v osvětlovací technice. U zářivek budou vysvětleny možnosti regulace světelného toku a funkce předřadníků. V poslední části se budu věnovat LED diodám, které se začínají v posledních letech více prosazovat v osvětlování.

4.1 Vývoj světelných zdrojů

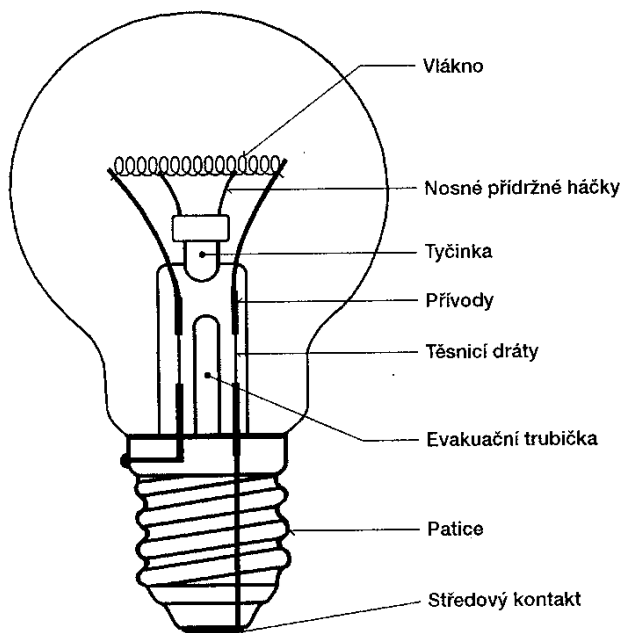
Při výběru světelného zdroje je jedním z nejdůležitějších parametrů měrný výkon. Na Obr. 7 jsou uvedeny měrné výkony zdrojů pro všeobecné osvětlování. Tyto závislosti ukazují míru přeměněné spotřebované elektrické energie na vyzářený světelný tok. Pro jednotlivé typy světelných zdrojů jsou zde uvedeny měrné výkony od doby, co se začaly používat až do teď. [5]



Obrázek 7: Vývoj měrných výkonů [5]

4.2 Žárovky

Žárovky jsou stále hodně používaným světelným zdrojem. Mezi výhody patří jednoduchá konstrukce, malé rozměry, nízká cena, okamžité svícení, jednoduché napájení, stabilní svícení během celé životnosti, index podání barev $R_a = 100$, spojitě spektrum a neobsahují nebezpečné látky, které by zatěžovaly životní prostředí. Žárovky mají však i své nevýhody, jako je malá životnost, malý měrný výkon a výrazná závislost na stabilitě napájení. Změna napětí o 1% vyvolá změnu měrného výkonu o 3,6%. [1]



Obrázek 8: Žárovka [2]

Elektrický proud prochází odporovým vláknem, které je vyrobeno z wolframu, vznikají zde ztráty a elektrická energie se nejprve mění na teplo, vlákno se zahřívá. Rozžhavené vlákno se stává zdrojem záření. [1]

4.3 Halogenové žárovky

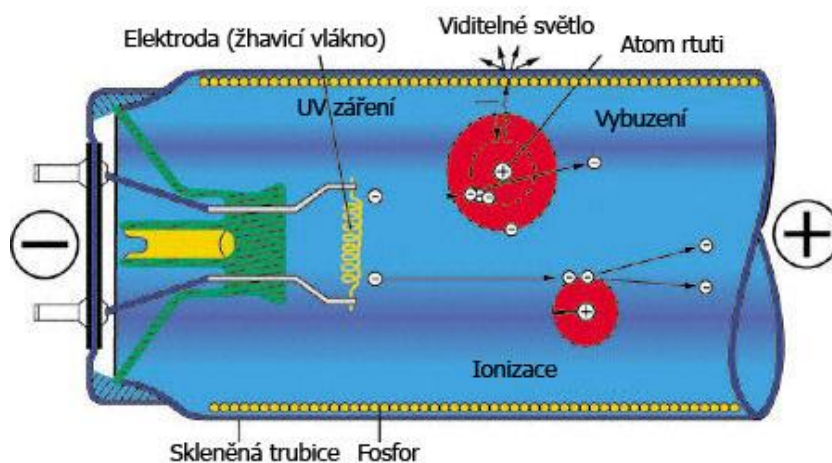
Halogenové žárovky se od obyčejných moc neliší. Pouze mají vylepšenou náplň, která obsahuje halogeny prvky (J, Br, Xe). U obyčejné žárovky, se wolfram z vlákna vypařuje a pokrývá povrch baňky, čímž se snižuje světelný tok. Kruhový proces uvnitř halogenové žárovky způsobuje, že se vypařený wolfram při povrchu baňky slučuje s halogenem a vlivem tepelného pole se vrací zpět na vlákno, kde dochází k disociaci, tj. wolfram se usazuje zpět na vlákno žárovky a halogen se vrací zpět k povrchu baňky.

V porovnání s žárovkami mají hned několik výhod, baňka nečerná a má stabilní světelný tok během celé životnosti, delší životnost, vyšší měrný výkon až $26 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$, velkou odolnost vůči teplotním změnám, vyšší teplotu chromatičnosti. U moderních halogenových žárovek se baňky pokrývají selektivním filtrem (tzv. IRC technologie), který vrací část infračerveného záření zpět na vlákno. Tímto se docílí zvýšení měrného výkonu až o 25%. [1] [2]

4.4 Lineární zářivky

Zářivky jsou jedny z nejpoužívanějších světelných zdrojů, vyrábějí okolo 70% veškerého umělého světla na celém světě. Mezi jejich hlavní výhody patří vysoký měrný výkon, malé provozní náklady v porovnání s žárovkou ta spotřebuje pět krát více proudu.

Zářivky neboli nízkotlaké rtuťové výbojky, které vyzařují hlavně v oblasti ultrafialového záření. Toto se transformuje ve viditelné záření pomocí luminofor. Zářivky fungují na principu, že jsou ve skleněné trubici vlivem elektrického pole mezi elektrodami vybuzeny páry rtuti, ve kterých dochází k emisi neviditelného UV záření. O přeměnu neviditelného UV záření na viditelné světlo se stará luminofor, který se nachází na vnitřní straně trubice, která je naplněna rtutí a plynem (argonem). Volbou luminofor lze měnit barvu světla zářivky. Na obr. 9 vidíme graficky znázorněný princip funkce zářivky. [1]



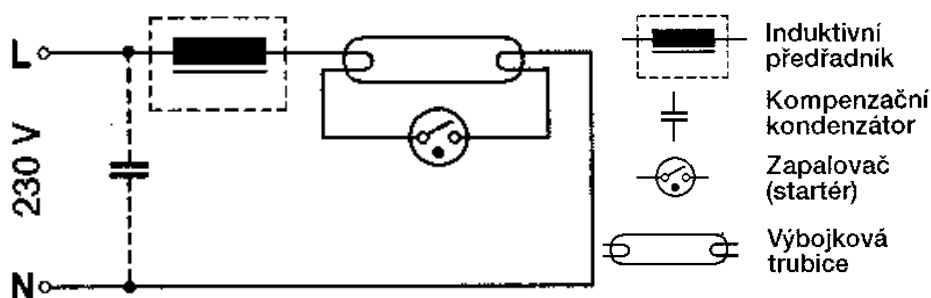
Obrázek 9: Funkce zářivky (převzato z www.osram.cz)

V zářivce je tlak vzácného plynu přibližně $4 \cdot 10^2$ Pa. Tento plyn snižuje zápalné napětí. Čím jen tlak plynu větší, tím větší je životnost zářivky, ale je obtížnější zapalování. Elektrody zářivek jsou z wolframového drátu a pokrývají se vrstvou kysličníku nebo barya, tím se docílí lepší emisní schopnosti a usnadní se zapálení. Během prvních 100 hodin provozu poklesne tok zářivek až o 10%, dále již klesá pomaleji. Příčinou poklesu je ztráta účinnosti luminiscenční vrstvy a zčernání vnitřního povrchu trubice (rozprášený wolfram v blízkosti elektrod). [2]

4.4.1 Elektronické předřadníky

U všech výbojových světelných zdrojů musí být předřadné přístroje. Po zapálení výboje je napětí na zářivce nižší než napájecí napětí. Na tlumivce se vytvoří úbytek napětí, který omezí proud tekoucí zářivkou. Zářivky lze také provozovat s elektronickými předřadníky, které plní stejnou funkci na vysoké frekvenci. Moderní plně elektronické vysokofrekvenční předřadníky nahrazují tlumivky a startéry a přispívají tak k větší hospodárnosti, vyššímu světelnému komfortu a delší době života zářivek. [5]

Účinnost předřadníku se pohybuje od 0,25 do 0,6, je tedy nutné použít kompenzaci. Nejčastěji se používá kompenzace individuální s paralelním zapojením obr. 10. Je však možné použít i kompenzaci skupinovou, například u velkých hal nebo průmyslových skladů. Jelikož tato kompenzace pracuje na frekvenci 50Hz, může zde docházet ke stroboskopickému efektu, pokud se jedná o provozy s točícími se stroji, je nutné tento jev odstranit například rozfázováním. [1]



Obrázek 10: Paralelní kompenzace [2]

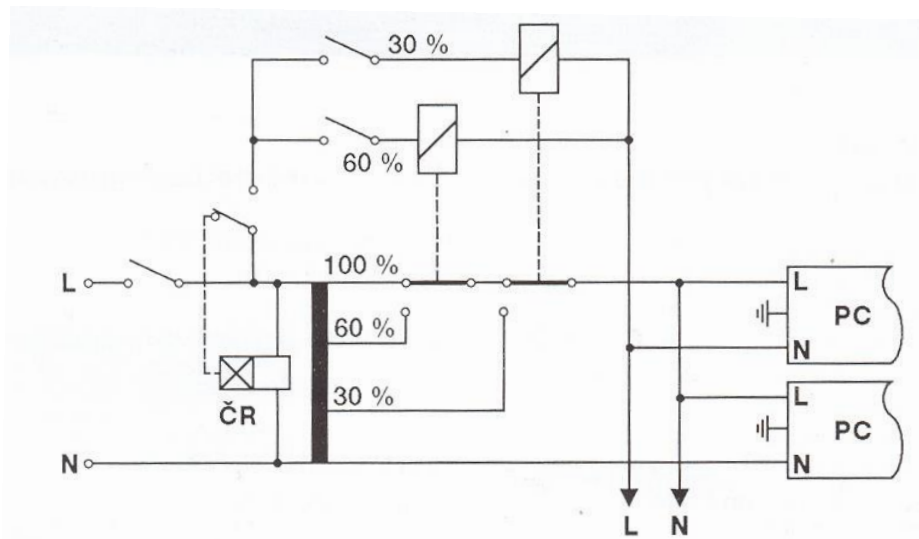
Elektronický předřadník má oproti indukčnímu několik výhod. Při startu světelného zdroje nedochází k nepříjemnému blikání. Pracuje na vysoké frekvenci nad 40 kHz, z toho důvodu nedochází ke stroboskopickému jevu. Výstupní proud a napětí si stabilizuje elektronika uvnitř předřadníků, není tedy potřeba tlumivky a zapalovače. Účinnost se pohybuje okolo 0,98, není tedy nutná kompenzace. Další výhodou je, že se elektronické předřadníky vyrábějí i ve verzích s možností stmívání. Mezi největší přednosti použití elektronického předřadníku pro zářivky jsou úspory energie až 30% u nestmívatelných předřadníků, ve srovnání s indukčními. V případě, že použijeme další systémy řízení osvětlení, je možné dosáhnout úspory energie až 75%. [1]

4.4.2 Regulace světelného toku zářivek

Tak jako u většiny světelných zdrojů i u zářivek můžeme řídit světelný tok. Můžeme toho dosáhnout několika způsoby, nejjednodušším způsobem je vhodné zapojení, nebo je možné použít modernější typy předřadníků, které umožňují plynulý rozsah regulace světelného toku. Lze tedy rozdělit řízení podle typu na:

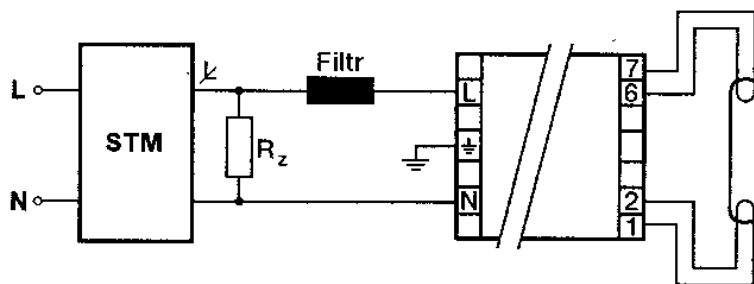
- Stupňové řízení
- Plynulé řízení v daném rozsahu
- Plynulé řízení v rozsahu 1 až 100 %

Stupňové řízení můžeme aplikovat všude tam, kde jsou předřadníky typu PC a PC-C. Na obr. 11 vidíme zapojení světelných zdrojů a předřadníků. Tento způsob je však možný jen v případě, že máme napájecí trafo, které má sekundární vinutí upravené tak, aby bylo možné provést změnu v napájení elektrických předřadníků světelných zdrojů. Tímto způsobem můžeme zregulovat světelný tok zářivky až na 50 %. U zářivek plněných argonem až na 30 %. [2]



Obrázek 11: Stupňovité řízení [2]

Dalším způsobem regulace je plynulé řízení v daném rozsahu. Tento způsob je vhodný pro všechna jedno a dvou trubicová svítidla, která používají předřadníky typu PC a PC-C. Na obr. 12 je schématické zapojení fázového stmívače, které umožňuje regulovat světelný tok zdroje od 50 až do 100 % u zářivek ve kterých je plyn argon je tato hranice posunutá a je možné regulovat v rozsahu 30 až 100 %. [2]



Obrázek 12: Plynulé řízení v daném rozsahu [2]

Posledním druhem řízení, které má největší možnost regulace je kontinuální řízení, které se uplatňuje u zářivek se stmívatelným elektrickým předřadníkem. Mění se parametry frekvence a napětí na výboji. Ovládání elektronických předřadníků probíhá buďto analogově, nebo digitálně. Největší výhodou stmívatelných elektronických předřadníků je tedy rozsah regulace světelného toku. U lineárních zářivek je rozsah regulace od 1 do 100 % a u kompaktních zářivek od 3% do 100%. [1]

4.5 Kompaktní zářivky

Kompaktní zářivky fungují na stejném principu jako lineární zářivky, jen s tím rozdílem, že je zde integrováno všechno do jednoho celku. Jeden z důvodů k tomuto kroku byla snaha využít výhody zářivek i ve svítidlech, která byla doposud určena pro obyčejné žárovky. Důležitý je zde tvar a rozložení výbojkových trubic, dochází zde k tzv. blízkostnímu jevu který je nutno minimalizovat. Tento jev má za následek zvyšování provozních teplot jednotlivých luminofor, které vede ke snížení účinnosti transformace a měrného výkonu.

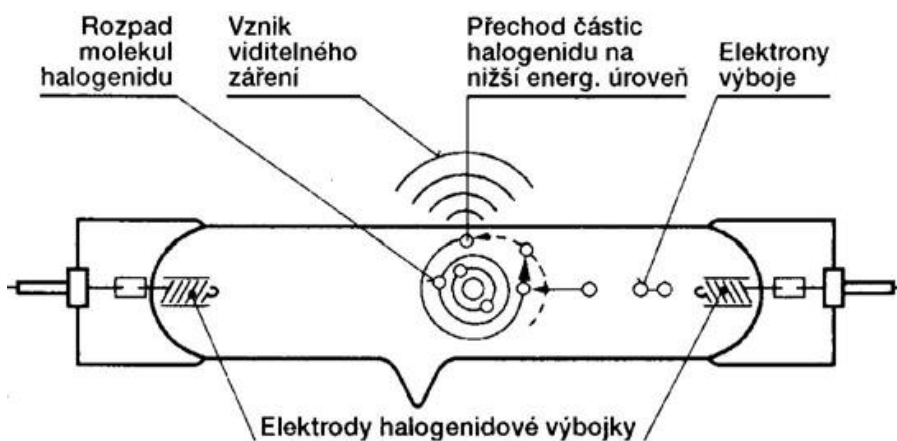
Kompaktní zářivky mají i svoje nevýhody, mezi které patří rychlost startu. V porovnání s žárovkou, která naběhne na jmenovitý světelný tok téměř okamžitě, kompaktní zářivka naběhne po zapnutí, zhruba na 50 % světelného toku. Další výraznou nevýhodou je teplotní závislost kompaktních zářivek, která v našich zeměpisných podmínkách zamezuje použití venku. Při teplotách pod bodem mrazu se pohybuje světelný tok na zhruba 30 % jmenovitého světelného toku. [1]



Obrázek 13: Kompaktní zářivka

4.6 Halogenidové výbojky

Použití těchto moderních světelných zdrojů ve školních nebo kancelářských podmínkách zpomaluje zatím několik nevýhod, jako je nemožnost stmívání, vysoké náklady na pořízení, nižší doba životnosti a pomalý náběh cca. 4 minuty, nemožnost okamžitého znovuzapálení u teplých výbojek. Využití si proto najdou především ve velkých pracovních prostorech, kde jsou zavěšeny ve velkých výškách a kde je podle normy ČSN EN 12464-1 požadavek na podání barev $R_a > 80$.



Obrázek 14: Halogenidová výbojka [2]

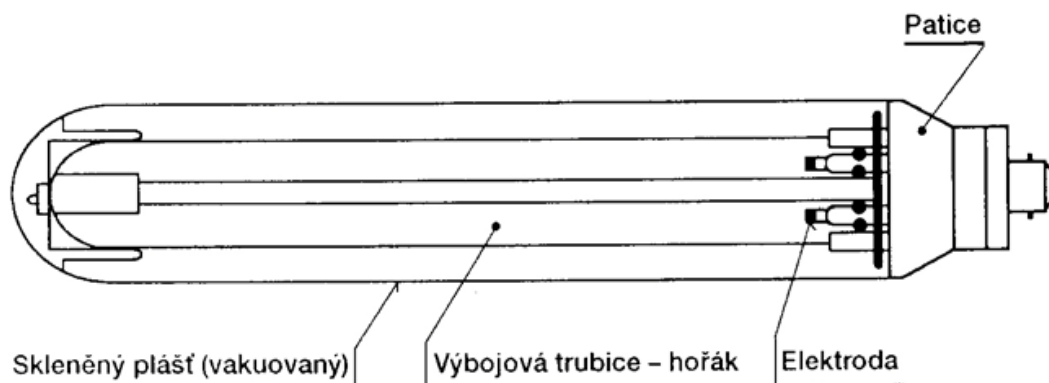
Pracují na principu vysokotlaké rtuťové výbojky, u nichž vzniká viditelné záření nejen v párách rtuti, ale také hlavně zářením produktů halogenidů (90% záření), neboli sloučenin halových prvků například s galiem nebo sodíkem apod. To má za následek zvýšení indexu podání barev až na $R_a = 90$ a měrného výkonu až na $130 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$.

V hořáku, který je z křemene nebo keramiky vzniká podobný cyklus jako u halogenových žárovek. Pracují při velkém rozsahu teplot od -20 až $60 \text{ }^\circ\text{C}$ a dosahují životnosti okolo 15 000 hodin. [1]

4.7 Nízkotlaké sodíkové výbojky

U těchto výbojek vzniká primární výboj, ve výbojové trubici vyrobené z boritého skla, v plynném argonu a neonu, výboj. Po určité době, kdy je trubice zahřátá na zhruba 300°C přejde sodík do plynného skupenství a dochází k vyzáření monochromatického záření. Vlnová délka tohoto záření je v pásmu 589 a 589,6 nm

to je žlutá oblast spektra obr. 1. Od toho se odvíjí index podání barev $R_a = 0$ není tedy možné rozlišovat barvy. Životnost je až 24 000 hodin.



Obrázek 15: Nízkotlaká sodíková výbojka [2]

Z důvodu špatného podání barev se tyto světelné zdroje používají při venkovním osvětlení například silnic a dálnic. Jelikož došlo ke značnému zlepšení parametrů vysokotlakých sodíkových výbojek, s dalším vývojem nízkotlakých se tedy nepočítá. [1]

4.8 Vysokotlaké sodíkové výbojky

U vysokotlakých sodíkových výbojek dochází k výboji v parách sodíku, který se vyznačuje intenzivním rezonančním dubletem, jako u nízkotlaké sodíkové výbojky, ve žluté části spektra. Jak se snižuje objem výbojového prostoru, tak se zvyšuje tlak par sodíku. Materiál, z kterého je vyroben hořák se nazývá korund, což je monokrystalický oxid hlinitý. Jak se zvýší tlak, rozšíří se spektrum vyzařování a dojde ke vzniku silného spojitého záření. Bohatší spektrum vyzařování má za následek lepší podání barev osvětlovaných předmětů.

Příkony těchto výbojek jsou od 50 do 1000 W. Index podání barev R_a se pohybuje okolo 25. Náběh trvá přibližně 5 až 7 minut. Nevýhodou je, že není možný opětovný start, pokud není vlákno vychladlé. Tyto výbojky musí být zapojeny v obvodu s tlumivkou a vhodným zapalovacím zařízením. Životnost vysokotlakých výbojek se pohybuje okolo 30 000 hodin.

Největší využití mají tyto výbojky ve veřejném osvětlování, především z důvodu významných úspor. Jelikož je podání barev těchto výbojek malé, nesmí se používat tam, kde je trvalý pobyt osob. Je tedy možné použití tyto výbojky ve skladech. [1]

4.9 Vysokotlaké rtuťové výbojky

Výboj probíhá v hořáku a viditelné záření vzniká v parách rtuti při tlaku 100 kPa. Z důvodu, že pouze 15% vyzářeného světla je ve viditelné oblasti je nutné použít luminofory a tím transformovat světlo do viditelné oblasti.

Vysokotlaké výbojky nepotřebují k provozu zapalovač jako zářivky, mají zapalovací elektrodu. Je však nutná tlumivka ke stabilizaci výboje. K ustálení výboje dojde po zhruba 3 až 5 minutách. V případě vypnutí a zapnutí dojde k opětovnému zapálení až po 7 minutách. Index podání barev R_a je v rozmezí 40 až 60 a měrný výkon je 50 až 80 $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$.

Použití těchto výbojek je v dnešní době značně omezené, jsou z velké části vytlačovány především vysokotlakými sodíkovými výbojkami, které dosahují lepších měrných výkonů. V budoucnu se již s těmito výbojkami nepočítá. [1]



Obrázek 16: Vysokotlaká rtuťová výbojka

4.10 Indukční výbojky

Mezi nízkotlaké výbojové zdroje patří i výbojky, které fungují na principu indukce. Tyto zdroje mají největší potenciál do budoucna. Na rozdíl od většiny světelných zdrojů nemají elektrody. K zapálení a hoření výboje slouží vysokofrekvenční elektromagnetické pole, které je podle výrobce tvořeno buďto jednou, nebo dvěma cívkami. Pro zapálení a provoz je zapotřebí speciální předřadník. První kdo uvedl použitelnou výbojku na trh byla v roce 1993 firma Philips.

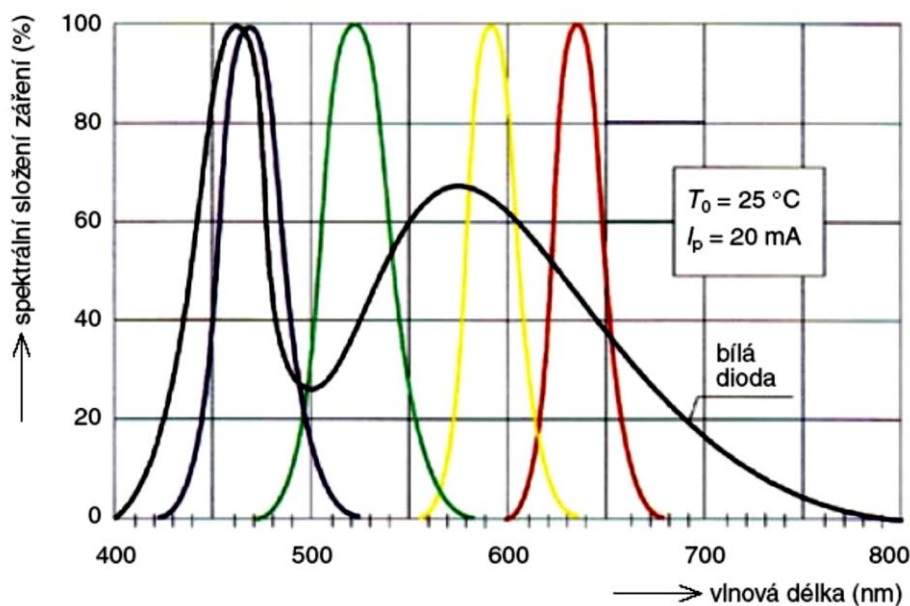
Mezi největší výhody těchto zdrojů patří dlouhá životnost, která je udávaná 60 000 hodin. Index podání barev R_a je okolo 85. Mezi další výhody patří okamžité znovuzapálení a rychlý náběh na jmenovitý výkon. Měrný výkon dosahuje hodnoty až 93 $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$

Používají se v prostorech, kde není možná častá výměna světelného zdroje, z důvodu nepřístupnosti, například u mostů, tunelů apod. [1]

4.11 LED diody

LED diody se začínají ve světelné technice prosazovat v posledních letech ve velké míře. Může to být z důvodu, že došlo k velkému nárůstu měrného výkonu. V současné době je možné pořídit LED diody se všemi teplotami chromatičnosti, tím pádem mohou být použity ve vnitřních prostorách a zároveň i ve veřejném osvětlení. K tomu přispívá i dostatečný index podání barev R_a , který je v rozsahu 70-90.

Zjednodušeně můžeme říci, že LED dioda funguje na principu rekombinace elektronů a děr v polovodiči v blízkosti PN přechodu. Při této reakci dochází k vyzáření určitého kvanta energie. K usměrnění světelného toku se používají kryty nebo optické prvky. LED diody jsou zdrojem monochromatického záření, které má úzké pásmo vlnových délek. Podle použitého materiálu a příměsí substrátu, má záření určitou vlnovou délku ve světelné oblasti, viz obr. 17.

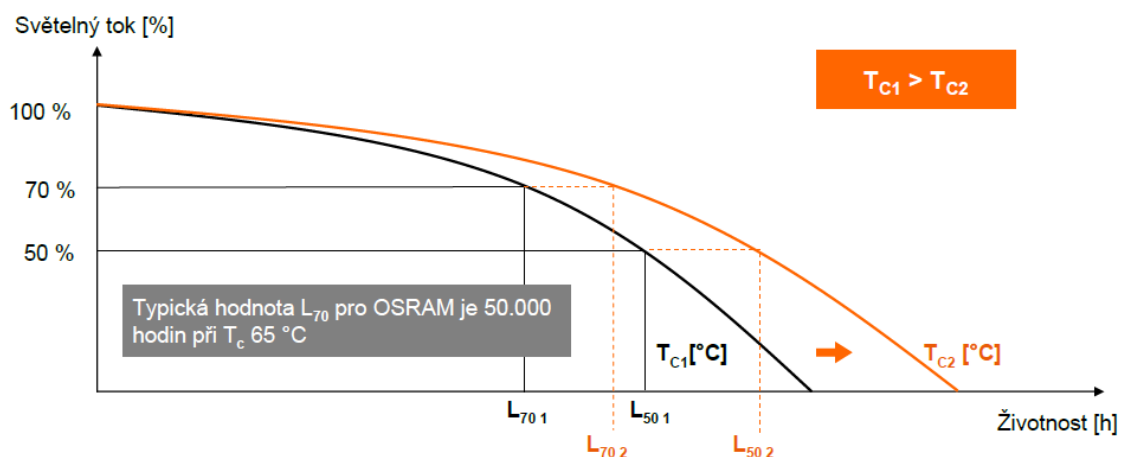


Obrázek 17: Spektrální složení záření

V začátcích nebylo možné vyrobit LED, která by emitovala bílé světlo. Dnes známe několik způsobů jak je možné toto světlo vyrobit:

- Smícháním barev diod R, G, B.
- UV diodou, která budí třípásmový luminofor, který obsahuje celé spektrum.
- Modrou LED diodou (InGaN) s luminoforem, který je buzen modrou diodou a doplní zbytek spektra.

Mezi jednu z nevýhod LED osvětlení patří nutnost účinného chlazení. Má velký vliv hned na několik faktorů. Z obr. 18 je vidět závislost teploty na životnosti. Při L_{70} světelný tok poklesl na 70% původní hodnoty.

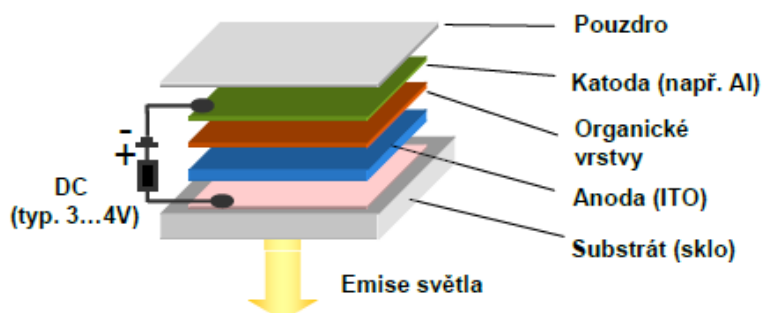


Obrázek 18: Životnost LED [7]

- Dřívější ukazatel L_{50} byl nahrazen ukazatelem L_{70}
- Nouzové osvětlení vyžaduje L_{80}
- Snížením teploty T_{C2} prodlužuje životnost ve srovnání s T_{C1}
- Měřicí bod T_C je výrobcem uváděn na LED modulu a předřadníku. [7]

4.11.1 OLED

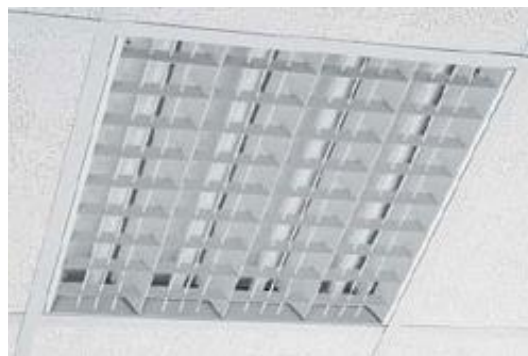
Zkratka **OLED** znamená organické světelné diody. Pracují na podobném rekombinačním procesu jako klasické LED diody obr. 19. Charakteristickými vlastnostmi jsou mimořádně tenké osvětlovací moduly, vysoce kvalitní bílé světlo, okamžité rozsvícení a zhasnutí, nízký jas, nevyzařují ultrafialové a infračervené záření. Není potřeba teplotní management ani doplňková optika. Z toho důvodu se stávají nejrychleji rozvíjející světelné zdroje a můžeme očekávat velký rozvoj v nadcházejících letech. V listopadu 2009 představil OSRAM produkt ORBEOS jako první komerční osvětlovací produkt typu OLED na světě. [7]



Obrázek 19: OLED [7]

5 Měření osvětlení odborných učeben

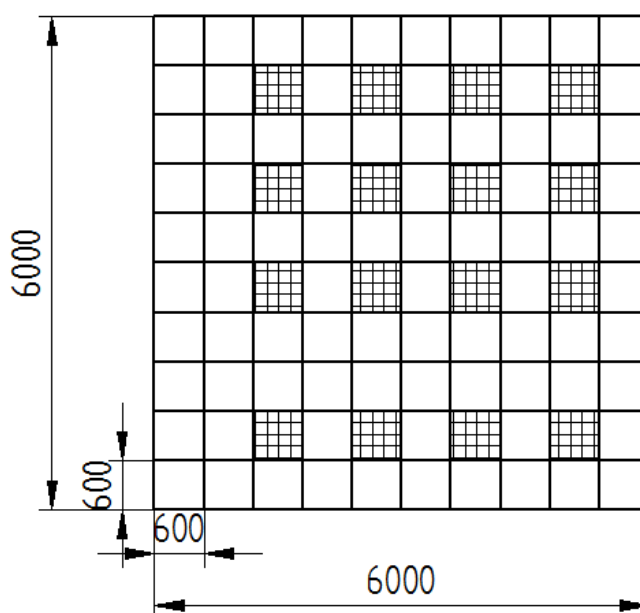
V této kapitole se budu zabývat měřením osvětlení odborných učeben, zpracováním rozměrů místnosti a rozložením světel. Cílem bude seznámit se s digitálním luxmetrem Voltcraft MS-1300. Následně s ním změřím osvětlenost v předem daných místech v učebnách. Naměřené hodnoty napíši do tabulky. V dalším kroku porovnáám naměřené hodnoty s normovými hodnotami pro osvětlení odborných učeben a rozhodnu, jestli tato místnost vyhovuje požadavkům na osvětlenost.



5.1 Rozměry místnosti a rozložení světel

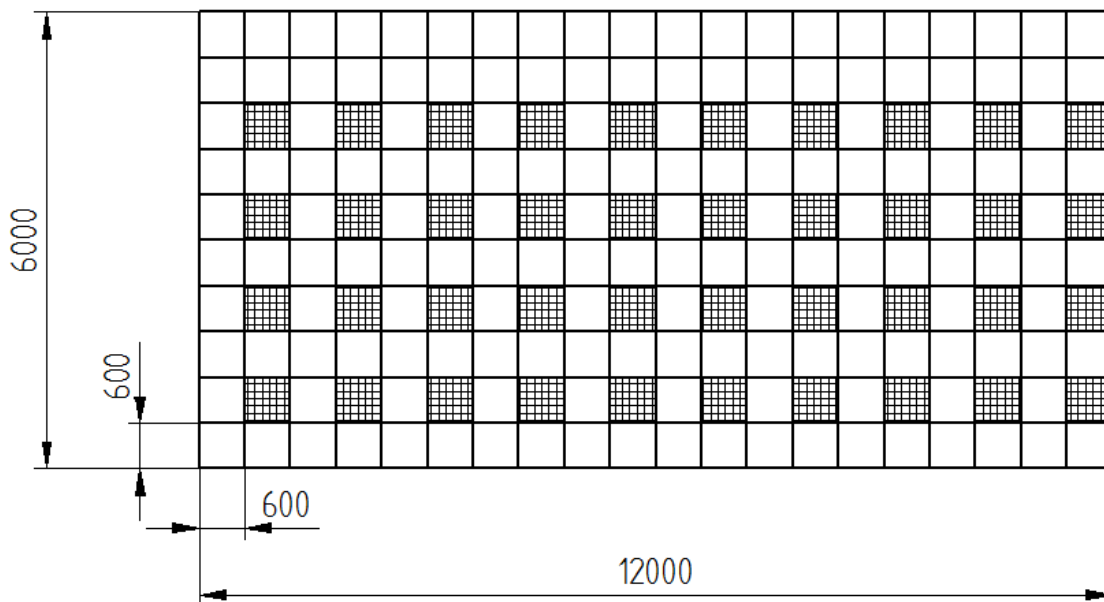
Rozměry místnosti byly změřeny výsuvným metrem a poté bylo do rastru zakresleno rozložení svítidel. Tyto údaje budou následně použity při návrhu osvětlení pomocí výpočetního programu Wils.

Výška odborné učebny je 2,82 m a srovnávací rovina se nachází ve výšce 0,75 m. Na obr. 20 je rozložení svítidel pro odbornou učebnu C 114.



Obrázek 20: Rozměry a rozložení svítidel C114

Jako další byla změřena odborná učebna C 116, výška odborné učebny je 2,82 m a srovnávací rovina s nachází ve výšce 0,75 m. Rozměry a rozložení svítidel je vidět na obr. 21.



Obrázek 21: Rozměry a rozložení svítidel C116

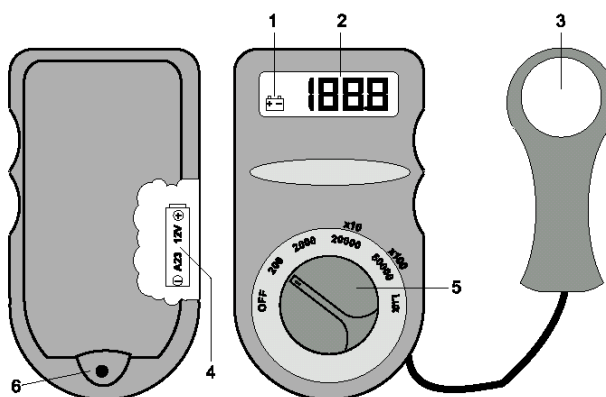
5.2 Digitální luxmetr Volcraft MS-1300

Tento měřicí přístroj slouží k přesnému měření intenzity světelného záření v obytných a pracovních místnostech, v nemocnicích, školách atd. Nejčastěji se přístroj používá k zjištění dostatečné intenzity světla na pracovních stolech v kancelářích, laboratořích nebo v televizních studiích a slouží dále ke kontrole intenzity světla jednotlivých osvětlovacích těles. [6]



Obrázek 22: Digitální luxmetr Volcraft MS-1300 [6]

5.2.1 Popis principu a ovládání



Obrázek 23: Popis luxmetru [6]

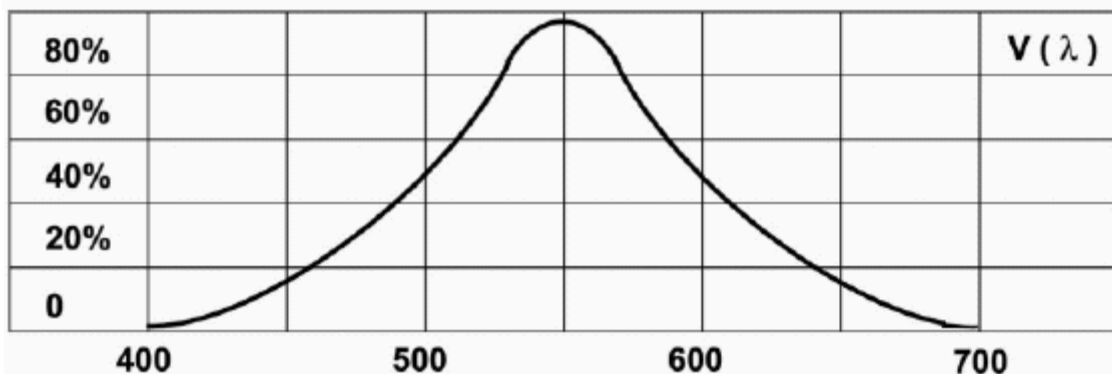
1. Symbol indikující vybitou baterii. V případě, že se objeví vyměňte baterii.
2. Pole zobrazení naměřené hodnoty intenzity osvětlení.
3. Světelný senzor se zabudovanou fotodiodou (fototranzistorem) a ochranným krytem.
4. Alkalická baterie 12V typu 23A.
5. Otočný přepínač pro volbu měřících rozsahů a vypnutí. Jsou zde 4 rozsahy.
Rozsahy 200, 2000 lux odpovídají naměřené hodnoty přímo jednotkám lx.
V rozsahu měření 20000 lux musíme naměřenou hodnotu vynásobit deseti.
V rozsahu měření 50000 lux musíme naměřenou hodnotu vynásobit stem.
6. Šroubek k otevření krytu pro výměnu baterie. [6]

5.2.2 Technické údaje

Rozsah měření :	0,01 až 50.000 lux (4 rozsahy)
Přesnost měření:	$\pm 5 \% + 10$ posl. znaků na displeji (< 10.000 lux) $\pm 10 \% + 10$ posl. znaků na displeji (> 10.000 lux)
Opakovatelnost:	$\pm 2 \%$
Maximální četnost měření:	1,5 měření za sekundu (nominální hodnota)
Zobrazení přetečení rozsahu:	1
Teplotní charakteristika:	$\pm 0,1 \%$ na $1 \text{ }^\circ\text{C}$
Displej:	3 ½- místný LCD
Rozměry fotosenzoru:	115 x 60 x 27 mm
Rozměry přístroje:	188 x 64,5 x 24,5 mm
Hmotnost:	160 g

5.2.3 Spektrální citlivost světelného senzoru

Pevně zabudovaný světelný senzor s integrovanou fotodiodou a předřazeným filtrem vykazuje následující charakteristiku spektrální citlivosti:



Obrázek 24: Spektrální citlivost světelného senzoru [6]

5.3 Měření učebna C114 a C 116

Měření bylo prováděno 27. 2. 2013 v 18.00 hodin se zataženými žaluziemi, aby byly minimalizovány okolní vjemy. Pro dosažení výšky 750 mm byl použit vozík na vodu a houbu. V učebně C114 byly určeny body pro měření půl metru od stěn a metr od sebe. Po sundání ochranného krytu, byl nastaven měřicí rozsah 0 – 2000lux. Postupně byly změřeny všechny body a naměřené hodnoty napsány do tabulky. Na obr. 25 můžeme vidět reálnou fotku z měření.

Tabulka 3: Naměřené hodnoty C114

délka [mm]	osvětlení [lx]					
	500	1500	2500	3500	4500	5500
5500	600	1222	1225	1157	1160	981
4500	925	1306	1550	1632	1600	1300
3500	950	1360	1630	1693	1565	1159
2500	860	1430	1560	1645	1457	1120
1500	730	1050	1284	1380	1220	890
500	480	936	995	1103	960	860

Další měření bylo provedeno v odborné učebně C116. Okolní podmínky byly stejné jako u předchozího měření. Tato učebna je větší, z toho důvodu byly určeny body pro měření dva metry od sebe na šířku a metr na délku. Hodnoty byly postupně napsány do tabulky.

Tabulka 4: Naměřené hodnoty C116.

délka [mm]	osvětlení [lx]					
	1000	3000	5000	7000	9000	11000
5500	1300	1517	1550	1590	1601	1420
4500	1690	1799	1760	1794	1730	1530
3500	1670	1820	1800	1736	1700	1495
2500	1350	1790	1530	1630	1570	1392
1500	1300	1200	1170	1310	1390	1235
500	1060	850	930	830	1100	880

5.4 Vyhodnocení naměřených výsledků

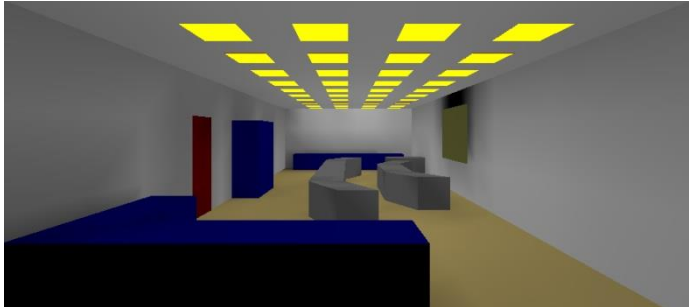
Naměřené hodnoty v obou odborných učebnách jsou hodně nad hodnotami, které udává norma ČSN EN 12464-1. V této normě je uvedena udržovací osvětlenost pro odborné učebny 500 lx. V některých místech v učebnách jsou nejvyšší hodnoty osvětlenosti, větší než 1800 lx to je 3x víc než dovoluje norma. Z tohoto hlediska by tedy učebny nevyhovovaly normě.



Obrázek 25: Měření osvětlení

6 Zpracování změřených parametrů pomocí výpočetního programu.

V dnešní době se většina návrhů umělého osvětlení provádí pomocí projekčních softwarů, na trhu je jich několik. V mém případě jsem zvolil český projekční a výpočetní software Wils 6.4 od firmy ASTRA MS Software s.r.o. z důvodu, že tento software počítá podle českých a evropských norem.



V první části je popsáno, jak postupovat při prvním spuštění programu. V další části, jak postupovat při vytváření projektu. Zadání předmětů v místnosti, rozmístění a výběru svítidel a jaké zde jsou možnosti pro výpočet osvětlení.

Cílem bude navrhnout osvětlení podle zadaných parametrů místnosti a svítidel. V poslední části budou porovnány, vypočítané hodnoty pro osvětlenost a oslnění s normovými hodnotami pro odborné učebny, a jestli byl při projektování osvětlení zvolen vhodný počet svítidel a rozmístění.

6.1 Popis programu Wils

Program Wils 6.4 od firmy ASTRA MS Software s.r.o. slouží ke stanovení parametrů umělého osvětlení, jejichž hodnoty je třeba znát ke správnému návrhu osvětlení tak, aby bylo dosaženo požadovaného zřakového výkonu i zřakové pohody.

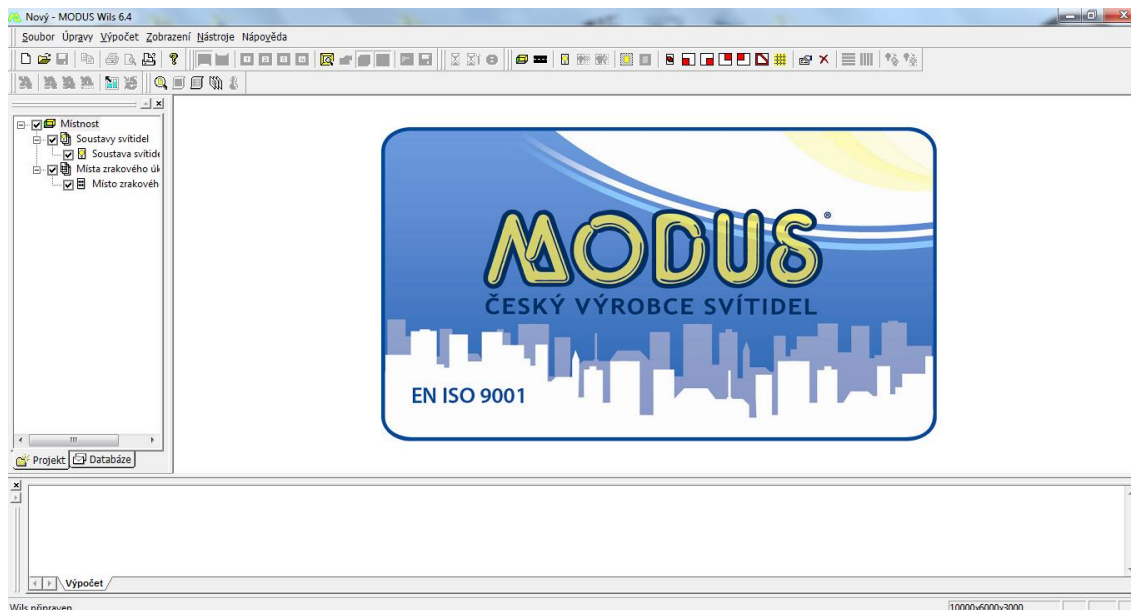
6.1.1 Metody výpočtu

Program poskytuje několik možností výpočtu:

- bodovou metodu "dělení zdrojů" výpočtu přímé složky osvětlenosti
- bodovou metodu mnohonásobných odrazů výpočtu odražené složky osvětlenosti - numerická integrace
- tokovou metodu rychlého návrhu počtu svítidel v prostoru
- výpočet činitele oslnění UGR (vnitřní prostory) podle ČSN EN 12464-1

6.1.2 Hlavní okno programu

Po otevření programu Wils 6.4 se nám zobrazí Hlavní okno. Toto okno se dá rozdělit na následující části.



Obrázek 26: Hlavní okno

- Zobrazovací oblast – jedná se o největší oblast, která slouží ke grafickému zobrazení vstupních a výstupních dat.
- Pracovní oblast – toto okno se nachází vlevo a obsahuje stromovou strukturu místností, je zde soustava svítidel a překážek. V této oblasti zadáváme data k ovládní systému.
- Informační oblast – je spodní část okna, jsou zde zobrazené průběhy operací
- Menu – slouží k ovládní celého programu.
- Nástrojové panely – jsou to graficky znázorněné položky v menu, používají se pro rychlé ovládní programu. [8]

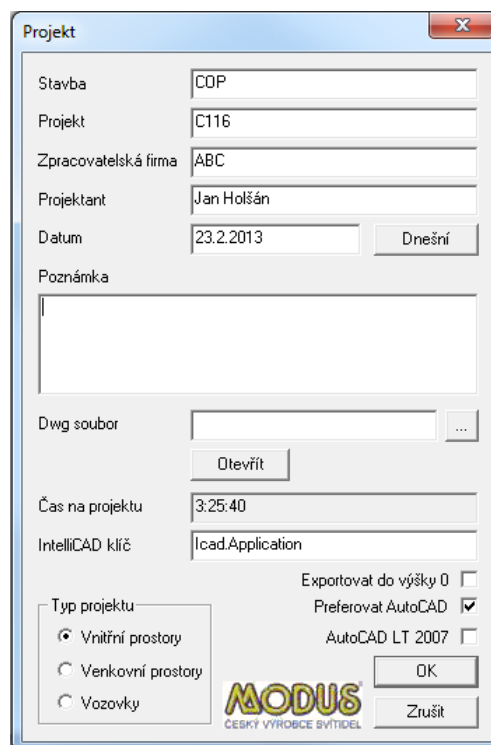
6.2 Výpočet umělého osvětlení pro odbornou učebnu C116

Postup je následující nejprve se změří rozměry místnosti a rozmístění lavic, skříní. Dále budeme toto vybavení nazývat překážky. Najdeme si výrobce svítidel a typy světelných zdrojů, které jsou zde použity.

6.2.1 Založení projektu

Po otevření programu si založíme nový projekt. Okno se objeví, když klikneme z nabídky **Soubor** na funkci **Nový** nebo když z nabídky **Soubor** použijeme funkci **Vlastnosti projektu**. Zde můžete zadat název stavby, projektu atd. Pokud máte výkres ve formátu DWG je možné nastavit obousměrnou komunikaci s AutoCAD 2000. Důležité je zvolit typ projektu výběrovým tlačítkem vlevo dole. Pokud zvolíte:

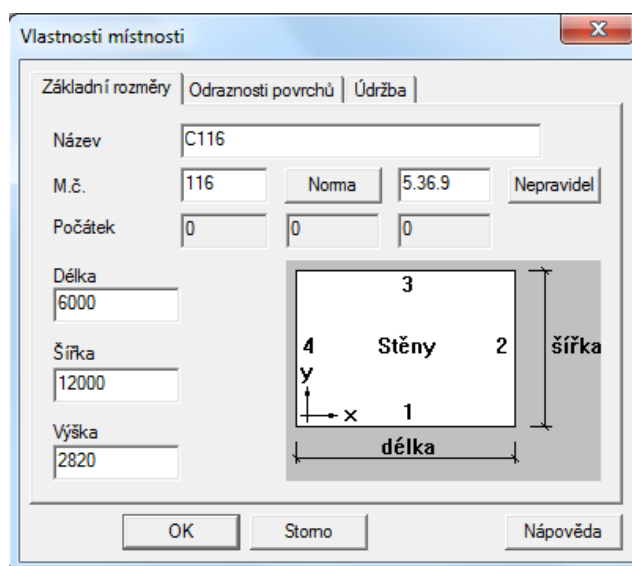
- **Vnitřní prostor** – automaticky se provede standartní nastavení pro výpočet interiéru včetně odražené složky.



Obrázek 27: Projekt

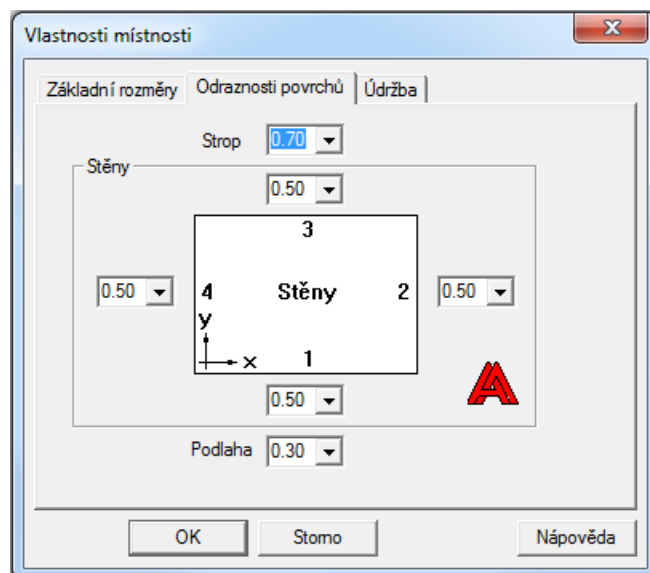
6.2.2 Vlastnosti místnosti

Po kliknutí pravým tlačítkem do pracovní oblasti na pole místnost se zobrazí menu, kde vybereme možnost vlastnosti. Poté se zobrazí nové okno, kam můžeme zadávat hodnoty, které jsme změřili, nebo které nám byly zadány. (obr. 28).



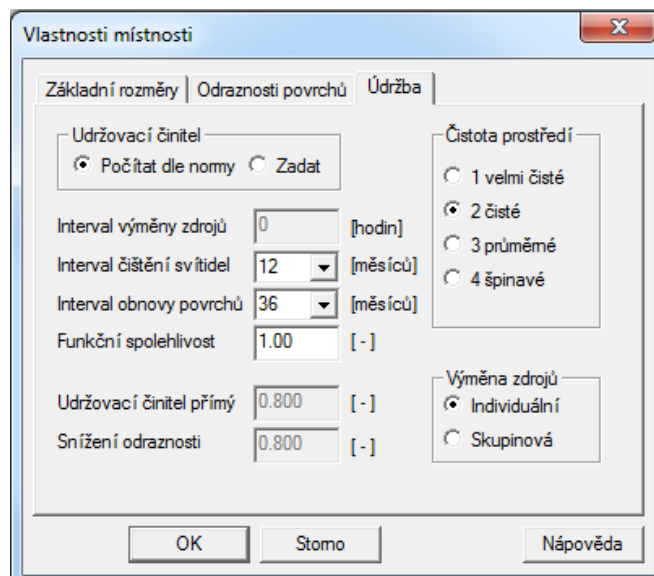
Obrázek 28: Vlastnosti místnosti, základní rozměry

Záložka odraznosti povrchů, slouží k zadání odrazných vlastností základních povrchů v místnosti. Odraznost je poměrné číslo, které je definováno poměrem mezi světelným tokem od plochy odraženým ke světelnému toku na plochu dopadeným. Z toho vyplývá, že jejich hodnota je v rozmezí 0 až 1.0 (obr. 29).



Obrázek 29: Vlastnosti místnosti, odraznosti povrchů

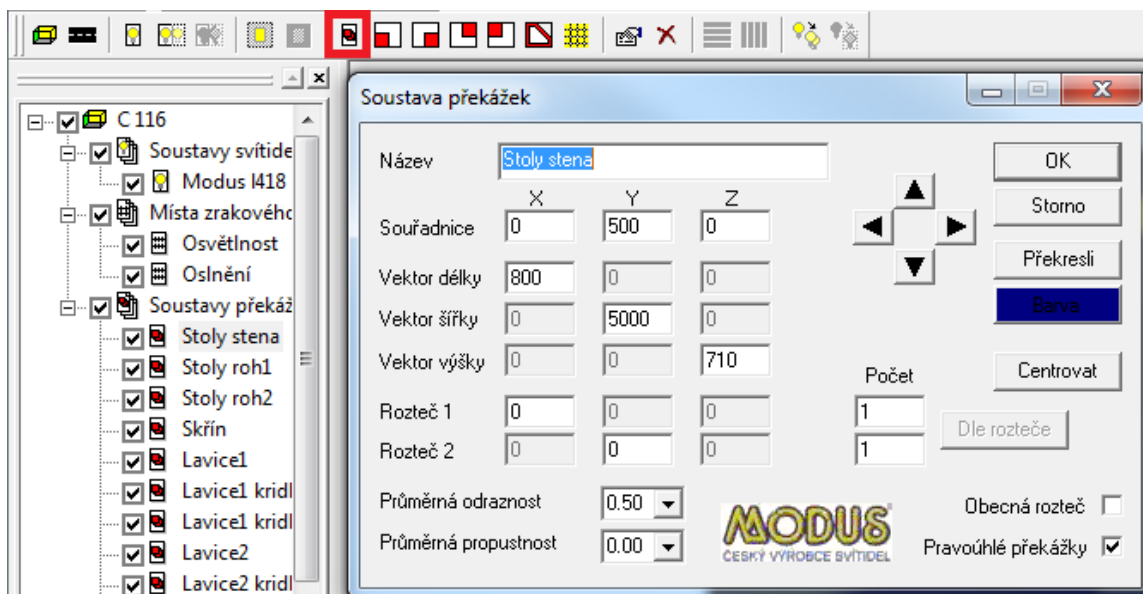
Poslední záložkou je údržba. Udržovací činitel lze použít dvěma způsoby. Počítat pomocí normy ČSN 12464-1/Z1 pro interiér nebo dle CIE pro venkovní prostor (obr. 30). Nebo **zadat** udržovací činitel přímé složky a snížení odraznosti. [8]



Obrázek 30: Vlastnosti místnosti, údržba

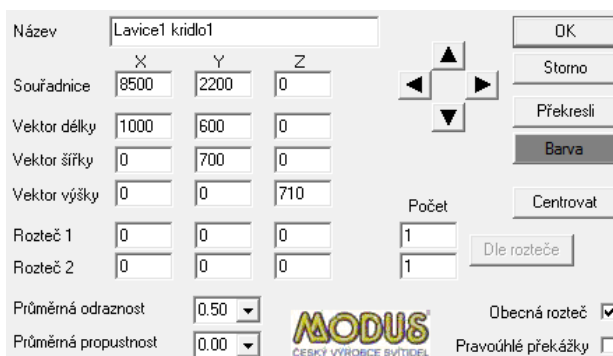
6.2.3 Rozmístění překážek

Další důležitou vlastností je možnost rozmístění překážek, to jsou lavice, skříně, stoly a další vybavení v odborných učebnách. Máme dvě možnosti, jak překážku vytvořit. První možnost je kliknout pravým tlačítkem na myši do pracovní oblasti a zvolit **nová soustava překážek**. Nebo můžeme, přímo z nástrojového panelu vybrat ikonku **nová soustava překážek**.



Obrázek 31: Vkládání překážek

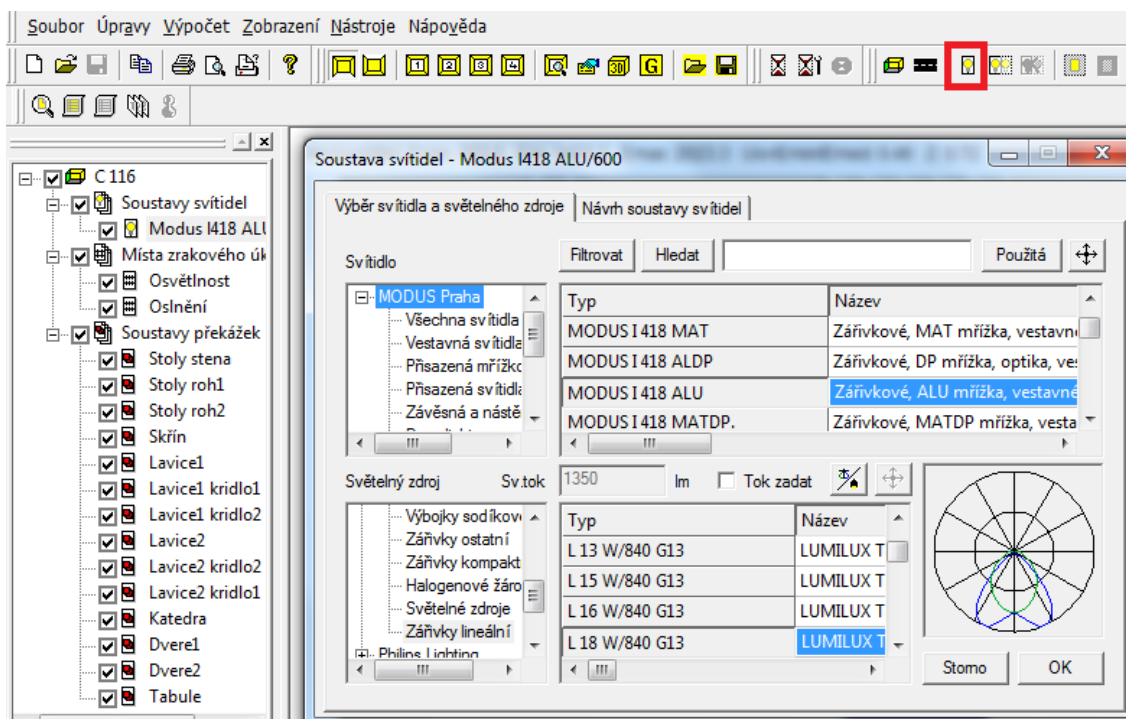
Vytvoří se soustava překážek, do názvu napíšeme název překážky, abychom se v případě více překážek ve stromu vyznali. Souřadnicemi si umístíme překážku podle potřeby. Tlačítka se šipkami je možné použít k posouvání překážky v rovině XY. Pokud zadáváme nepravoúhlé předměty, je třeba zaškrtnout okénko **obecná rozteč**. Poté je možné zadávat hodnoty do všech polí. Tuto funkci jsem použil na krajní lavice, které nejsou pravoúhlé (obr. 32).



Obrázek 32: Obecná rozteč

6.2.4 Výběr svítidla a osvětlovacího zdroje.

Pokud dosud nemáme vytvořenou soustavu svítidel. Vytvoříme soustavu kliknutím na ikonu v panelu nástrojů. Nebo kliknutím pravého tlačítka na myši do pracovní oblasti a vybereme, **nová soustava svítidel** (obr. 33).

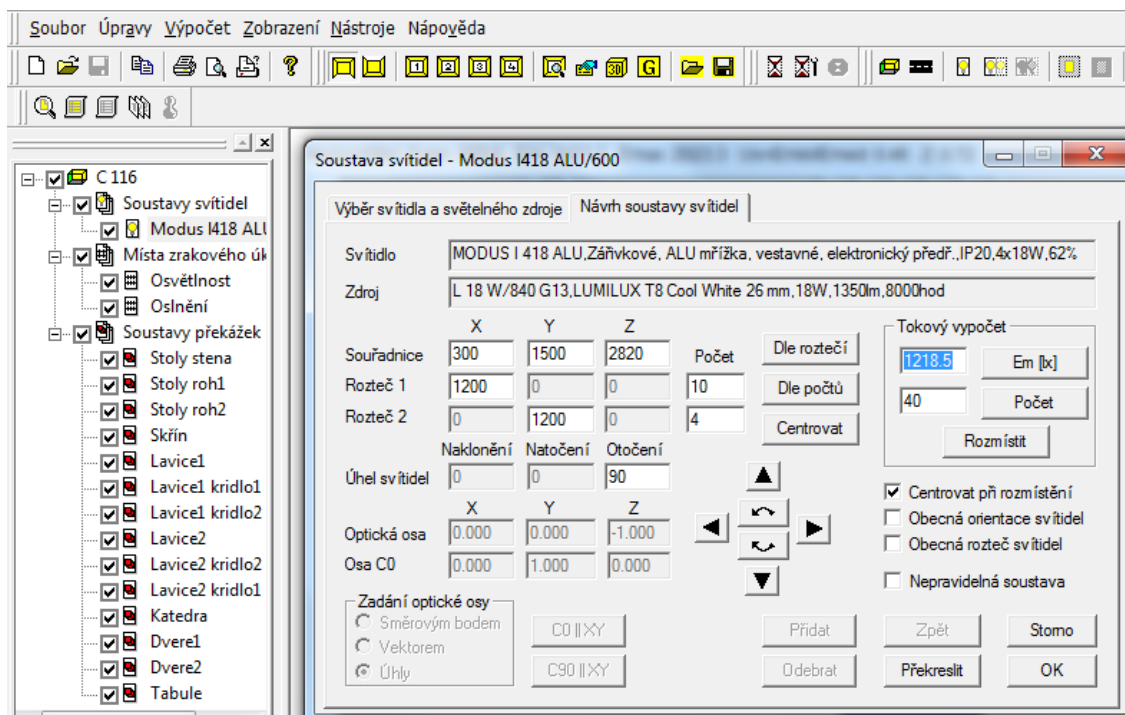


Obrázek 33: Výběr svítidla a světelného zdroje

Jako první vybereme databázi výrobce, ve které si zvolíme skupinu svítidel. To provedeme standardním prolistováním ve stromu **Svítidlo**. Za druhé si vybereme ze seznamu svítidel již požadované svítidlo. Svítidla byla zvolena od firmy Modus a jsou to podhledová svítidla typ I418 ALU600 velikosti 600x600 mm. Na obrázku v pravém dolním rohu je vidět orientační křivka svítivosti zvoleného svítidla. Pokud známe dopředu typ svítidla, je možné použít tlačítko **Hledat**. Pokud klikneme na tlačítko **Použítá**, dostaneme k výběru pouze svítidla, která byla doposud v projektu použita. Tlačítkem vedle křivky svítidla lze přepnout na reálnou fotku svítidla, pokud je k dispozici, nebo můžeme dvakrát kliknout na obrázek.

6.2.5 Návrh soustavy svítidel

Slouží k návrhu osvětlovací soustavy. Nejprve musí být zvoleno svítidlo a zdroj. Zvolené svítidlo a zdroj jsou zobrazené v editačních polích.

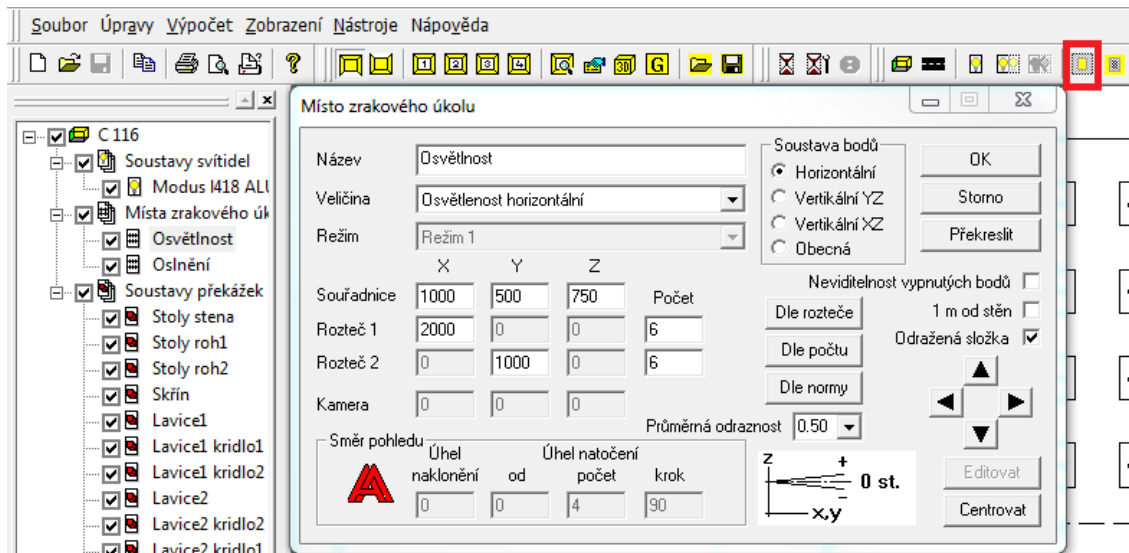


Obrázek 34: Návrh soustavy svítidel

Svítidla se umísťují pomocí souřadnic X, Y a Z. Nulový bod se nachází, ve středu svítidla. Z toho důvodu je pro první svítidlo souřadnice X= 300 mm. Abychom se dostali svítidlem na kraj stropu. Jelikož byl dán počet svítidel a jejich rozteč byla pravidelná, bylo možné zadat vzdálenost pomocí roztečí. Tím bylo docíleno vzdálenosti mezi svítidly 600 mm. V pravé části v dialogu **Tokový výpočet** je možné provést orientační tokový výpočet osvětlení. Jsou zde dvě možnosti jak postupovat. Jedna možnost je zadat si požadovanou osvětlenost v poli Em a automaticky se nám dopočítá počet svítidel, nebo zadáme-li počet svítidel, bude se nám počítat udržovací osvětlenost Em. V případě, že potřebujeme nastavit svítidlo, které nebude rovnoběžné s podlahou, zatrhneme **Obecná orientace svítidel** a poté je možné vybrat ze skupiny tlačítek **Zadání optické osy**. Tuto možnost použijeme například při osvětlování tabule, kde bývá svítidlo většinou nakloněno pod určitým úhlem, aby bylo dosaženo lepších světelných vlastností.

6.2.6 Místo zrakového úkolu

Místo zrakového úkolu slouží k zadání sítě výpočetních bodů. Jsou to body, pro které se bude počítat osvětlenost. V rozbalovacím seznamu **Veličina** lze nastavit veličinu, která bude příslušet editačnímu místu úkolu. Pro přidání dalšího místa klikneme na ikonu vytvořit nové místo zrakového úkolu a jako veličinu vybereme činitel oslnění UGR.



Obrázek 35: Místo zrakového úhlu

6.2.7 Použitá svítidla a legenda místností

Legenda svítidel slouží k vykreslení do AutoCADu, nebo do textového editor jako je Word, nebo tabulkový Excel. Legenda místností vypadá stejně a má také možnost kopírování do schránky.

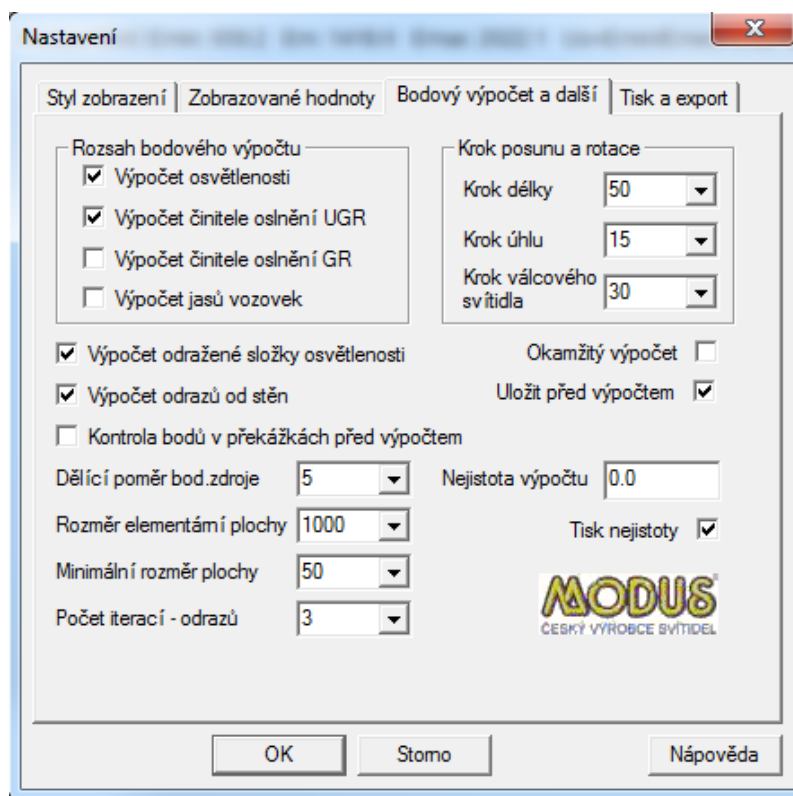
O...	Typ	Název	Výrobce	Krytí	Zdroj	Počet svítidel
*	MODUS I418 ALU	Zářivkové, ALU mřížka, vesta...	MODUS Praha	IP20	L 18 W/840 G13,LUMILU...	40

Buttons: Seřadit, Vyčistit, Storno, OK

Obrázek 36: Použitá svítidla

6.2.8 Nastavení bodového výpočtu

Pro nastavení bodového výpočtu vybereme z hlavní nabídky možnost **Výpočet**, kde zvolíme nastavení bodového výpočtu. Zobrazí se nastavení obr. 37.



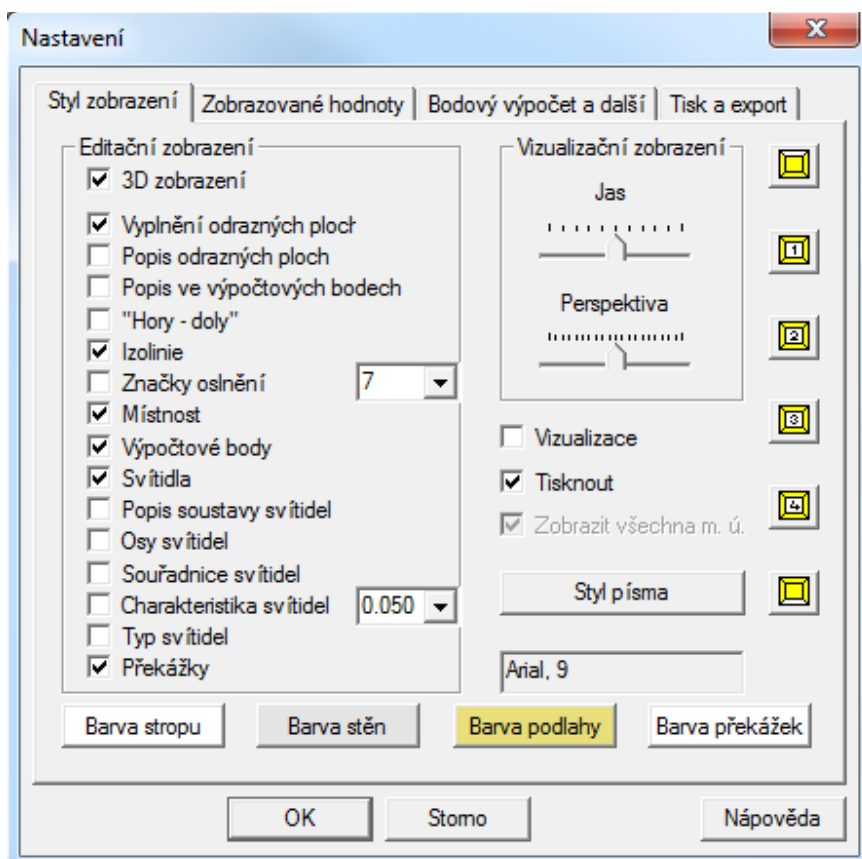
Obrázek 37: Nastavení bodového výpočtu

V rozsahu bodového výpočtu zvolíme veličiny, které budeme chtít vypočítat. Výpočet činitele oslnění UGR se provádí dle Sørensen. Další dvě možnosti v našem případě nepoužijeme, jelikož se používají při výpočtu činitele oslnění na vozovkách. Výpočet odražené složky je pro nás důležitý. V místnostech dochází k odrazům od stěn nebo překážek.

Editační okénka slouží ke zpřesnění celého výpočtu. Dělicí poměr bodového zdroje je možné nastavit od 1 do 10, v mém případě nebyla místnost velká, proto jsem zvolil hodnotu 5. Pokud je počet odrazů nastaven na tři, považuje systém po třech odrazech složku za ustálenou. Při nastavení na vyšší hodnotu docházelo jen k zanedbatelné změně, proto jsem zvolil hodnotu tří odrazů. Rozměr elementární plochy si můžeme představit jako fiktivní čtverec, pro který se provádí samostatný výpočet. Tato hodnota má podstatný vliv na dobu výpočtu proto jsem zvolil hodnotu 1000. [8]

6.2.9 Nastavení zobrazení

V tomto okně si nastavíme vlastnosti zobrazení pro zvolený zrakový úkol nebo pro místnost obr. 38. Záleží na aktuálním výběru při spuštění nastavení.

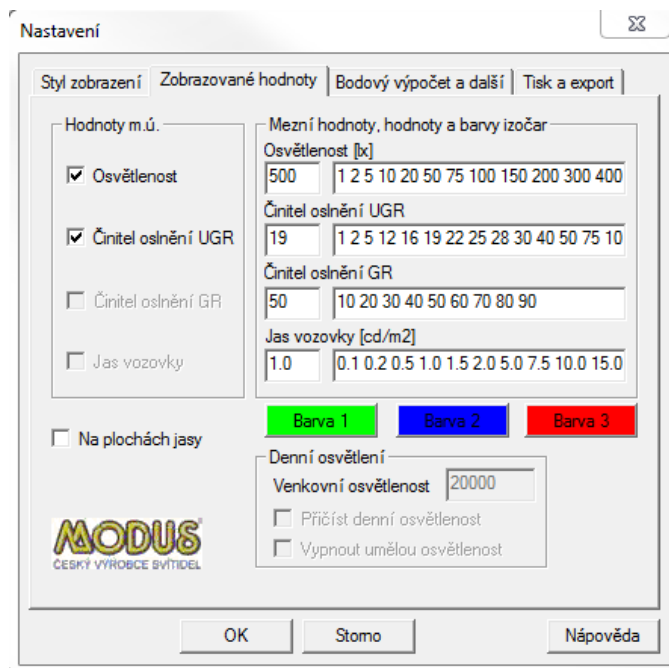


Obrázek 38: Styl zobrazení

V **editačním zobrazení** máme možnost nastavit rozsah zobrazovaných dat, která se nám budou ukazovat v návrhovém zobrazení. Změny v tomto zobrazení mají vliv na tisk i export. Z důvodu přehlednosti jsem označil pouze data, která jsou pro mě důležitá.

6.2.10 Zobrazované hodnoty

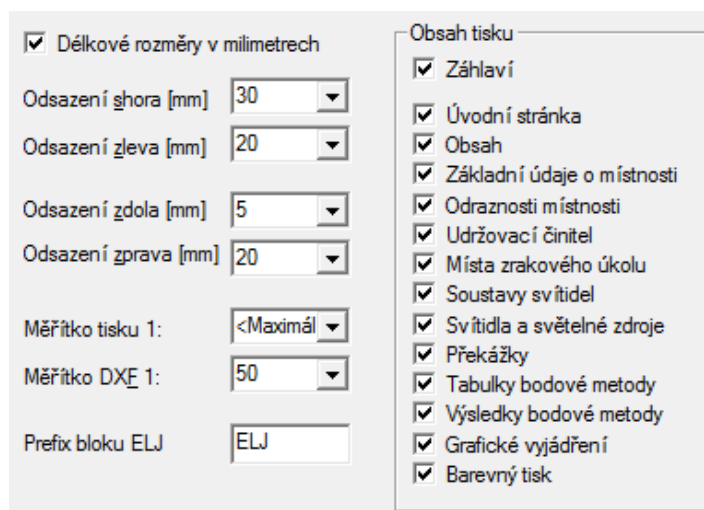
V tomto okně nastavujeme zobrazované hodnoty, tak jako u předchozího nastavení, tak i zde se toto nastavení vztahuje k aktuálně vybranému místu úkolu, nebo místnosti. Na rozdíl od předchozího, nemá toto nastavení na tisk vliv. Ve skupině hodnoty m.ú., jsem označil **činitel oslnění UGR**, aby se také zobrazoval. Nastavené mezní hodnoty jsou na obr. 39.



Obrázek 39: Zobrazované hodnoty

6.2.11 Nastavení tisku a export do pdf

V poslední části se dostaneme k nastavení vzhledu tiskového výstupu a k uložení výsledného protokolu do pdf. V mém případě bylo důležité nastavit odsazení zleva a zprava, aby bylo možné svázat výsledný protokol z programu do vazby AP. Poté byl vytisknut protokol pomocí programu PDF Architect, který umožňuje tisknout do PDF.



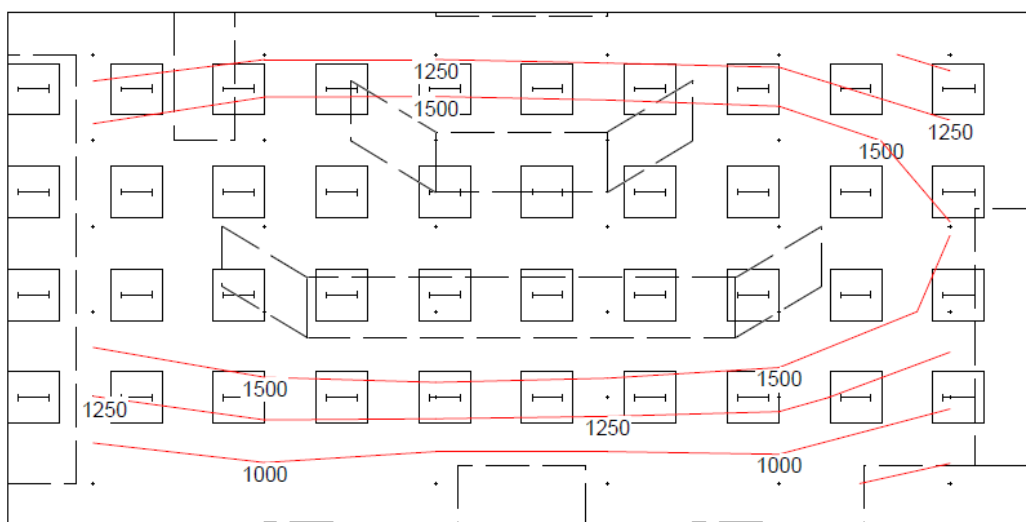
Obrázek 40: Nastavení tisku

6.3 Výsledné hodnoty osvětlení v odborné učebně C 116

Z programu Wils byly vyexportovány vypočítané hodnoty osvětlenosti pro zvolené body. Celý protokol z programu Wils pro odbornou učebnu C 116 je v příloze D. V tab. 5 je vidět, že minimální hodnota osvětlenosti (E_{\min}) je 659,8 lx střední hodnota (E_m) je 1421 lx a maximální hodnota (E_{\max}) je 2023,3 lx. V místech, kde jsou umístěny lavice, je osvětlenost největší obr. 41, norma udává udržovací osvětlenost pro odborné učebny 500 lx. Norma tedy nebyla v udržovací osvětlenosti dodržena. Pokud se podíváme na činitel oslnění UGR (příloha D) dosahuje maximální hodnoty 17,5 v normě je povolena maximální hodnota 19. Poslední hodnotou, která je udaná v normě, je podání barev R_a 80. Tuto hodnotu udává výrobce světelného zdroje.

Tabulka 5: Vypočítané hodnoty C116.

délka [mm]	osvětlení [lx]					
	1000	3000	5000	7000	9000	11000
5500	1094,4	1220,6	1216,3	1194,8	1171,3	922,3
4500	1601,1	1784,3	1801,3	1774,6	1719,5	1351,1
3500	1786,6	1996,9	2023,3	1993,9	1925,9	1509
2500	1684,4	1881,8	1907,3	1881,5	1816,3	1424,1
1500	1241	1382,2	1411,2	1388,6	1330,3	1051
500	787,1	877,7	754,6	766,5	830,9	659,8



Obrázek 41: Izolinie C 116

6.4 Výpočet umělého osvětlení pro odbornou učebnu C 114

Výpočet umělého osvětlení pro odbornou učebnu C 114, probíhal podle stejného postupu jako výpočet osvětlení pro učebnu C 116. Na začátku jsem založil projekt, ve kterém jsem nastavil rozměry místnosti, rozmístění překážek a svítidel. V dalším kroku byla nastavena místa zrakových úkolů a proveden bodový výpočet. Výsledný protokol z měření pro odbornou učebnu C 114 je v příloze D.

6.5 Výsledné hodnoty osvětlení v odborné učebně C 114

Vypočítané hodnoty osvětlenosti pro určené body byly vyexportovány z programu Wils do tabulky 6. Celý protokol z programu Wils pro odbornou učebnu C 114 je v příloze D. V tab. 5 vidíme, že minimální hodnota osvětlenosti (E_{\min}) je 449,3 lx, střední hodnota (E_m) je 1061,8 lx a maximální hodnota (E_{\max}) je 1702,5 lx. V odborné učebně C 114 jsou rozmístěny stoly po stranách a ve středu místnosti. Na lavicích, které jsou umístěny u stěn, se pohybuje osvětlenost od 450 do 1100 lx. Osvětlenost na stole ve středu je okolo 1500 lx. Pro tuto odbornou učebnu udává norma udržovací osvětlenost 500 lx. Z tohoto hlediska tudíž norma dodržena nebyla. Dalším parametrem, který udává norma je činitel oslnění UGRL 19. V některých místech dosahuje max. hodnoty 20, ale může to být způsobeno nepřesností v nastavení. Poslední hodnotou, která je udána v normě, je podání barev R_a min. 80. U světelného zdroje LUMILUX T8 Cool White 26 mm 18W je podání barev R_a 80. Obrázek izolinií pro učebnu C 114 je v příloze D.

Tabulka 6: Vypočítané hodnoty C114.

délka [mm]	osvětlení [lx]					
	1000	3000	5000	7000	9000	11000
5500	521,2	833,6	1132,8	1200,2	1074,5	728,4
4500	697,3	1111,7	1520,9	1610,3	1444,8	976,9
3500	737,2	1172,7	1605,3	1702,5	1523,6	1027,1
2500	670,3	1059,7	1446,2	1535,8	1371,7	930,5
1500	567,1	889,2	1211,3	1284,8	1148,5	781,5
500	449,3	716,7	969,1	1027	920,8	625,2

7 Závěr

Za přínos této absolventské práce považuji seznámení s měřením a návrhem umělého osvětlení, které je důležité pro vytvoření zrakové pohody. V této absolventské práci seznamuji čtenáře se základními veličinami a výpočetními vztahy, které se ve světelné technice používají. V další části jsem se pokusil pochopit, jak postupujeme při návrhu umělého osvětlení a jaké parametry jsou pro nás důležité. Porovnáním různých světelných zdrojů jsem si osvoji znalosti v možnostech uplatnění a výhodách či nevýhodách jednotlivých světelných zdrojů.

Při přípravě k měření bodového osvětlení učeben jsem se naučil, jak postupovat při měření umělého osvětlení, jaké jsou u nás na trhu měřicí přístroje pro měření osvětlenosti. Ve škole byl k zapůjčení měřicí přístroj od firmy Volcraft. Tento luxmetr jsem se naučil ovládat a měřit s ním osvětlenost. Změřené hodnoty jsem porovnal s normovými hodnotami pro umělé osvětlování, školských a výchovných zařízení. Abych splnil celé zadání absolventské práce, navrhl jsem umělé osvětlení pro obě učebny podle parametrů, které mi zadal investor. K návrhu jsem použil výpočetní program Wils. Popsal jsem kompletní postup ovládání tohoto programu. Od založení projektu přes rozmístění překážek, výběr světelného zdroje, až po celkový výpočet umělého osvětlení. Podle zadání investora jsem provedl hodnocení výsledků s normou a výsledný protokol s výpočtem z programu Wils jsem vytiskl do příloh. Výpočtem i měřením bylo zjištěno, že při projektování obou odborných učeben byla zanedbávána udržovací osvětlenost. Při lepším projektu osvětlení by bylo možné dosáhnout požadované osvětlenosti se značnými úsporami energie i svítidel a to by mohl být úkol pro další studenty VOŠ do budoucna.

Literatura

- [1] SOKANSKÝ, Karel, a kol. *Světelná technika*. 1. vydání. Praha: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 80-010-4941-8.
- [2] PLCH, Jiří. *Světelná technika v praxi*. 1. vydání. Praha: IN-EL, 1999, 210 s. ISBN 80-862-3009-0.
- [3] ČSN EN 12464-1. *Světlo a osvětlení - Světlení pracovních prostorů: Část 1: - Vnitřní pracovní prostory*. Praha: ČSN, 2004. 52 s.
- [4] DARULA, Stanislav, a kol. *Osvětlování světlovody*. 1. vyd. Praha: Grada, 2009, 160 s. ISBN 978-80-247-2459-1.
- [5] SOKANSKÝ, Karel, a kol. *Základy základů světelné techniky*, VŠB-TU Ostrava [online] , poslední revize 10.2.2013 [cit.2013-2-10] . Dostupné na <<http://fei1.vsb.cz/kat410/studium/studijni_materialy/vuee/VUEE_Zaklady_svetelne_tec_hniky.pdf>>
- [6] VOLCRAFT s.r.o, *oficiální stránky firmy Conrad* [online] poslední revize 3.3.2013 [cit.2013-3-3] Dostupné na <<http://www2.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/100000-124999/101148-an-01-cs-Digitalni_luxmetr_MS_1300.pdf>>
- [7] OSRAM s.r.o, *oficiální stránky firmy Osram* [online] poslední revize 14.4.2013 [cit.2013-4-14] Dostupné na <<http://www.osram.cz/osram_cz/NSTROJE_A_SLUBY/Udlosti/Building_KnowLEDge_Tour/Prezentace_ke_staen/Forum_1_-_Zakladni_znalosti_o_LED.pdf>>
- [8] MODUS s.r.o, *oficiální stránky firmy Modus* [online] poslední revize 24.4.2013 [cit.2013-4-24] Dostupné na << <http://www.modus.cz/cze/index.php?section=software&action=wils#>>>

Přílohy A

Použitý software

Microsoft Office <http://office.microsoft.com/cs-cz/>

PDF Architect <http://www.pdfarchitect.org/>

Modus WILS 6.4 <http://www.modus.cz/cze/technicka-podpora/software-wils/>

Solid Edge ST3 <http://www.solidedge.com/>

Adobe Photoshop <http://www.adobe.com/cz/products/photoshop.html>

Přílohy B

Požadavky na osvětlenost norma ČSN EN 12464-1.

Tabulka 5.6 – Školská a výchovná zařízení

6.1 Mateřské školy a jesle					
Referenční číslo	Druh prostoru, úkolu nebo činnosti	\bar{E}_m (lx)	UGR_L	R_a	Poznámky
6.1.1	herna	300	19	80	dtto
6.1.2	dětský pokoj	300	19	80	
6.1.3	ruční práce	300	19	80	
6.2 Školské a vzdělávací budovy					
Referenční číslo	Druh prostoru, úkolu nebo činnosti	\bar{E}_m (lx)	UGR_L	R_a	Poznámky
6.2.1	učebny, konzultační místnosti	300	19	80	osvětlení má být regulovatelné
6.2.2	učebny pro večerní studium a vzdělávání dospělých	500	19	80	osvětlení má být regulovatelné
6.2.3	přednáškové haly	500	19	80	osvětlení má být regulovatelné
6.2.4	tabule	500	19	80	zamezit zrcadlové odrazy
6.2.5	demonstrační stůl	500	19	80	v přednáškových sálech 750 lx
6.2.6	místnosti pro výtvarnou výchovu	500	19	80	
6.2.7	místnosti pro výtvarnou výchovu v uměleckých školách	750	19	80	$T_{cp} \geq 5\,000\text{ K}$
6.2.8	kreslírny (technické)	750	16	80	
6.2.9	místnosti pro praktickou výuku a laboratoře	500	19	80	

Referenční číslo	Druh prostoru, úkolu nebo činnosti	\bar{E}_m (lx)	UGR_L	R_a	Poznámky
			–	–	
6.2.10	místnosti pro ruční práce	500	19	80	
6.2.11	učební dílny	500	19	80	
6.2.12	místnosti pro hudební cvičení	300	19	80	
6.2.13	počítačové učebny	300	19	80	práce s displeji viz 4.11
6.2.14	jazykové laboratoře	300	19	80	
6.2.15	přípravny a dílny	500	19	80	
6.2.16	vstupní haly	200	22	80	
6.2.17	komunikační prostory a chodby	100	25	80	
6.2.18	schodiště	150	25	80	
6.2.19	společenské místnosti a shromažďovací haly pro studenty a žáky	200	22	80	
6.2.20	místnosti vyučujících	300	19	80	
6.2.21	knihovny: police	200	19	80	
6.2.22	knihovny: místa pro čtení	500	19	80	
6.2.23	sklady učebních materiálů	100	25	80	
6.2.24	sportovní haly, tělocvičny, bazény (pro běžné použití)	300	22	80	pro specializované činnosti musí být použity požadavky EN 12193
6.2.25	školní jídelny	200	22	80	
6.2.26	kuchyně	500	22	80	

Příloha C

Obsah přiloženého DVD

Na DVD jsou přiloženy následující soubory:

- Absolventská práce v MS Word 2010
- Soubory z programu Wils učeben C114.wls a C116.wls
- Výpis z programu Wils C114.pdf a C116.pdf
- Holsan_AP_2012_2013.pdf

Příloha D

Výpis z programu Wils pro odborné učebny C 114 a C 116.

Výpočet umělého osvětlení dle ČSN EN 12464-1:2012



Zpracovatel : Jan Holšán
Soubor: C114.wls
Datum : 23.2.2013

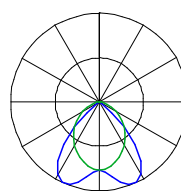
Obsah

Použitá svítidla
C 114

2
3

Použitá svítidla

MODUS Praha
Typ: MODUS I 418 ALU
Označení: -
Název: Zářivkové, ALU mřížka, vestavné, elektronický předř.
Krytí: IP20
Zdroj: L 18 W/840 G13, LUMILUX T8 Cool White 26 mm
18W, 1350lm, 8000hod, Ra 80
Počet svítidel: 16



C 114

Prostor Norma	C 114 5.36.9	- -
Délka Šířka Výška	6000 6000 2820	mm mm mm
Činitel odrazu stropu Činitel odrazu stěn 1,2,3,4 Činitel odrazu podlahy	0.70 0.50 0.50 0.50 0.50 0.30	- - -
Udržovací činitel	Počítán	-
Čistota prostředí Interval čištění svítidel Interval obnovy povrchů Interval výměny zdrojů Nejistota výpočtu	Čisté 12 36 Individuální 0.0	- Měsíců Měsíců - %

Rozmístění výpočetních bodů

Místo zřakového úkolu	Osvětlnost			-
Souřadnice prvního bodu	500	500	750	mm
Rozteč bodů 1	1000	0	0	mm
Rozteč bodů 2	0	1000	0	mm
Počet ve směru rozteče 1,2	6	6		-

Místo zřakového úkolu	Oslnění			-
Souřadnice prvního bodu	500	500	750	mm
Rozteč bodů 1	1000	0	0	mm
Rozteč bodů 2	0	1000	0	mm
Počet ve směru rozteče 1,2	6	6		-
Úhel naklonění	0			-

Rozmístění svítidel

Soustava svítidel 1	Soustava svítidel I418ALU600 sx			-
Svítidlo	MODUS I 418 ALU			-
Světelný zdroj	L 18 W/840 G13			-
Souřadnice prvního svítidla	1500	2700	2820	mm
Rozteč svítidel 1	1200	0	0	mm
Rozteč svítidel 2	0	1200	0	mm
Počet ve směru rozteče 1,2	4	3		-
Počet svítidel	12			-
Vektor optické osy	0.00	0.00	-1.00	-
Vektor osy C0	1.00	0.00	0.00	-
Úhel otočení	0			°
Úhel naklonění	0			°
Úhel natočení	0			°

Soustava svítidel 2	Soustava svítidel I418ALU600 sxa			-
Svítilo	MODUS I 418 ALU			-
Světelný zdroj	L 18 W/840 G13			-
Souřadnice prvního svítidla	1500	900	2820	mm
Rozteč svítidel 1	1200	0	0	mm
Rozteč svítidel 2	0	900	0	mm
Počet ve směru rozteče 1,2	4	1		-
Počet svítidel	4			-
Vektor optické osy	0.00	0.00	-1.00	-
Vektor osy C0	1.00	0.00	0.00	-
Úhel otočení	0			°
Úhel naklonění	0			°
Úhel natočení	0			°

Rozmístění překážek

Soustava překážek	Prostřední stul			-
Souřadnice první překážky	1750	2500	0	mm
Rozteč překážek 1	0	0	0	mm
Rozteč překážek 2	0	0	0	mm
Počet ve směru rozteče 1,2	1	1		-
Délka překážky	2500	0	0	mm
Šířka překážky	0	1000	0	mm
Výška překážky	0	0	750	mm
Odraznost překážky	0.500			-
Propustnost překážky	0.000			-

Soustava překážek	Stoly levá strana			-
Souřadnice první překážky	0	0	0	mm
Rozteč překážek 1	0	0	0	mm
Rozteč překážek 2	0	0	0	mm
Počet ve směru rozteče 1,2	1	1		-
Délka překážky	6000	0	0	mm
Šířka překážky	0	750	0	mm
Výška překážky	0	0	750	mm
Odraznost překážky	0.500			-
Propustnost překážky	0.000			-

Soustava překážek	Stoly pravá strana			-
Souřadnice první překážky	0	5250	0	mm
Rozteč překážek 1	0	0	0	mm
Rozteč překážek 2	0	0	0	mm
Počet ve směru rozteče 1,2	1	1		-
Délka překážky	6000	0	0	mm
Šířka překážky	0	750	0	mm
Výška překážky	0	0	750	mm
Odraznost překážky	0.500			-
Propustnost překážky	0.000			-

Soustava překážek	Tabule			-
Souřadnice první překážky	5960	800	1000	mm
Rozteč překážek 1	0	0	0	mm
Rozteč překážek 2	0	0	0	mm
Počet ve směru rozteče 1,2	1	1		-
Délka překážky	40	0	0	mm
Šířka překážky	0	1700	0	mm
Výška překážky	0	0	1200	mm
Odraznost překážky	0.500			-
Propustnost překážky	0.000			-

Soustava překážek	Dvere			-
Souřadnice první překážky	5960	2550	0	mm
Rozteč překážek 1	0	0	0	mm
Rozteč překážek 2	0	0	0	mm
Počet ve směru rozteče 1,2	1	1		-
Délka překážky	40	0	0	mm
Šířka překážky	0	900	0	mm
Výška překážky	0	0	2000	mm
Odraznost překážky	0.500			-
Propustnost překážky	0.000			-

Horizontální udržovaná osvětlenost v kontrolních bodech - Osvětlnost

Udržovací činitel **0.74**
Minimální hodnota **449.3 lx**
Střední hodnota **1061.8 lx**
Maximální hodnota **1702.5 lx**
Rovnoměrnost **0.42**

Y\X	500	1500	2500	3500	4500	5500
500	449.3	716.7	969.1	1027.0	920.8	625.2
1500	567.1	889.2	1211.3	1284.8	1148.5	781.5
2500	670.3	1059.7	1446.2	1535.8	1371.7	930.5
3500	737.2	1172.7	1605.3	1702.5	1523.6	1027.1
4500	697.3	1111.7	1520.9	1610.3	1444.8	976.9
5500	521.2	833.6	1132.8	1200.2	1074.5	728.4

Činitel oslnění UGR v kontrolních bodech - Oslnění

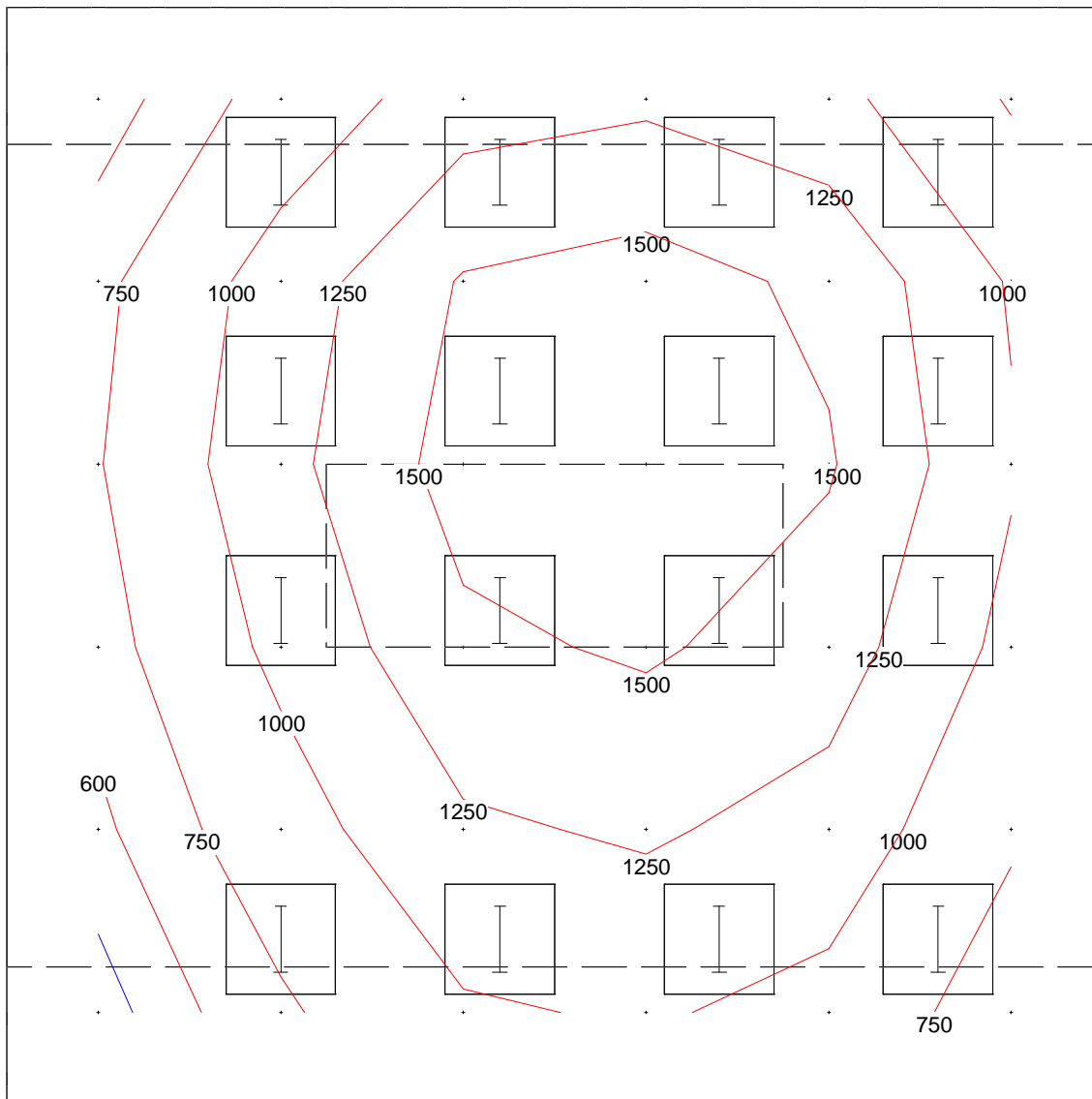
Minimální hodnota **14.2 -**
Střední hodnota **17.1 -**
Maximální hodnota **20.2 -**

Y\X	500	1500	2500	3500	4500	5500
500	18.0	18.7	20.0	20.0	19.1	18.0
1500	15.4	16.1	17.6	17.7	16.7	15.2
2500	15.1	15.4	19.0	19.0	15.6	14.7
3500	15.0	15.2	18.6	18.5	14.7	14.5
4500	14.6	15.3	16.6	16.4	15.5	14.2
5500	18.1	18.9	20.2	20.2	19.3	17.9

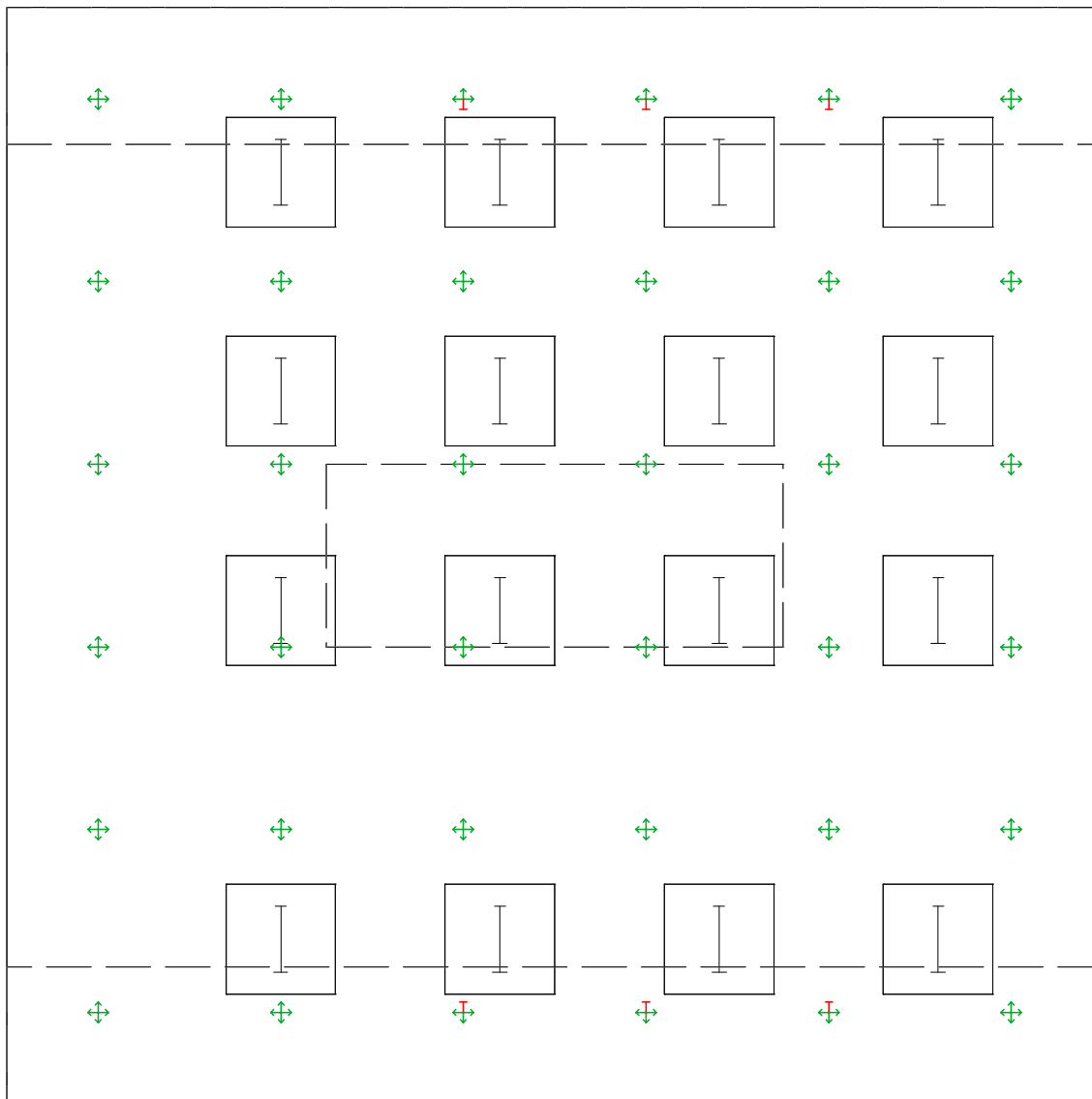
C 114

Osvětlnost - Udržovaná osvětlenost v kontrolních bodech

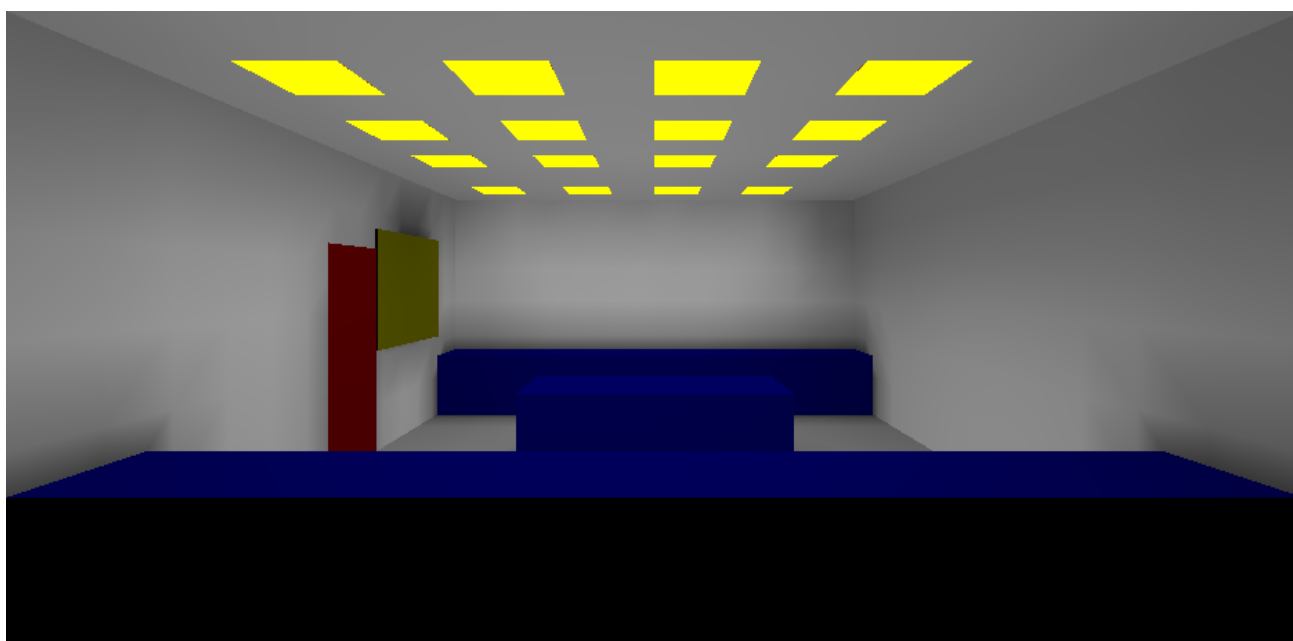
Emin: 449.3 Em: 1061.8 Emax: 1702.5 Uo=Emin/Emed: 0.42 Z: 0.74



C 114
Oslnění - Činitel oslnění UGR dle Sorensena
UGRL: 19: UGRmin: 14.2 UGRmed: 17.1 UGRmax: 20.2



C 114



Výpočet umělého osvětlení dle ČSN EN 12464-1:2012



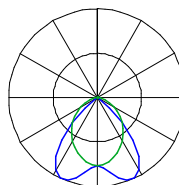
Zpracovatel : Jan Holšán
Soubor : C116.wls
Datum : 23.2.2013

Obsah

Použitá svítidla	2
C 116	3

Použitá svítidla

MODUS Praha
Typ: MODUS I 418 ALU
Označení: -
Název: Zářivkové, ALU mřížka, vestavné, elektronický předř.
Krytí: IP20
Zdroj: L 18 W/840 G13, LUMILUX T8 Cool White 26 mm
18W, 1350lm, 8000hod, Ra 80
Počet svítidel: 40



C 116

Prostor Norma	C 116 5.36.9	- -
Délka Šířka Výška	12000 6000 2820	mm mm mm
Činitel odrazu stropu Činitel odrazu stěn 1,2,3,4 Činitel odrazu podlahy	0.70 0.50 0.50 0.50 0.50 0.30	- - -

Udržovací činitel	Počítán	-
Čistota prostředí Interval čištění svítidel Interval obnovy povrchů Interval výměny zdrojů Nejistota výpočtu	Čisté 12 36 Individuální 0.0	- Měsíců Měsíců - %

Rozmístění výpočetních bodů

Místo zřakového úkolu	Osvětlnost			-
Souřadnice prvního bodu	1000	500	750	mm
Rozteč bodů 1	2000	0	0	mm
Rozteč bodů 2	0	1000	0	mm
Počet ve směru rozteče 1,2	6	6		-

Místo zřakového úkolu	Oslnění			-
Souřadnice prvního bodu	1000	500	750	mm
Rozteč bodů 1	2000	0	0	mm
Rozteč bodů 2	0	1000	0	mm
Počet ve směru rozteče 1,2	6	6		-
Úhel naklonění	0			-

Rozmístění svítidel

Soustava svítidel 1	Modus I418 ALU/600			-
Svítilo	MODUS I 418 ALU			-
Světelný zdroj	L 18 W/840 G13			-
Souřadnice prvního svítidla	300	1500	2820	mm
Rozteč svítidel 1	1200	0	0	mm
Rozteč svítidel 2	0	1200	0	mm
Počet ve směru rozteče 1,2	10	4		-
Počet svítidel	40			-
Vektor optické osy	0.00	0.00	-1.00	-
Vektor osy C0	0.00	1.00	0.00	-
Úhel otočení	90			°
Úhel naklonění	0			°
Úhel natočení	0			°

Rozmístění překážek

Soustava překážek	Stoly stena			-
Souřadnice první překážky	0	500	0	mm
Rozteč překážek 1	0	0	0	mm
Rozteč překážek 2	0	0	0	mm
Počet ve směru rozteče 1,2	1	1	0	-
Délka překážky	800	0	0	mm
Šířka překážky	0	5000	0	mm
Výška překážky	0	0	710	mm
Odraznost překážky	0.500			-
Propustnost překážky	0.000			-

Soustava překážek	Stoly roh1			-
Souřadnice první překážky	10000	0	0	mm
Rozteč překážek 1	0	0	0	mm
Rozteč překážek 2	0	0	0	mm
Počet ve směru rozteče 1,2	1	1	0	-
Délka překážky	2000	0	0	mm
Šířka překážky	0	700	0	mm
Výška překážky	0	0	710	mm
Odraznost překážky	0.500			-
Propustnost překážky	0.000			-

Soustava překážek	Stoly roh2			-
Souřadnice první překážky	11300	700	0	mm
Rozteč překážek 1	0	0	0	mm
Rozteč překážek 2	0	0	0	mm
Počet ve směru rozteče 1,2	1	1	0	-
Délka překážky	700	0	0	mm
Šířka překážky	0	3000	0	mm
Výška překážky	0	0	710	mm
Odraznost překážky	0.500			-
Propustnost překážky	0.000			-

Soustava překážek	Skřín			-
Souřadnice první překážky	5250	0	0	mm
Rozteč překážek 1	0	0	0	mm
Rozteč překážek 2	0	0	0	mm
Počet ve směru rozteče 1,2	1	1	0	-
Délka překážky	1500	0	0	mm
Šířka překážky	0	700	0	mm
Výška překážky	0	0	2000	mm
Odraznost překážky	0.500			-
Propustnost překážky	0.000			-

Soustava překážek	Lavice1			-
Souřadnice první překážky	3500	2200	0	mm
Rozteč překážek 1	0	0	0	mm
Rozteč překážek 2	0	0	0	mm
Počet ve směru rozteče 1,2	1	1	0	-
Délka překážky	5000	0	0	mm
Šířka překážky	0	700	0	mm
Výška překážky	0	0	710	mm
Odraznost překážky	0.500			-
Propustnost překážky	0.000			-

Soustava překážek	Lavice1 kridlo1			-
Souřadnice první překážky	8500	2200	0	mm
Rozteč překážek 1	0	0	0	mm
Rozteč překážek 2	0	0	0	mm
Počet ve směru rozteče 1,2	1	1		-
Délka překážky	1000	600	0	mm
Šířka překážky	0	700	0	mm
Výška překážky	0	0	710	mm
Odraznost překážky	0.500			-
Propustnost překážky	0.000			-

Soustava překážek	Lavice1 kridlo2			-
Souřadnice první překážky	2500	2800	0	mm
Rozteč překážek 1	0	0	0	mm
Rozteč překážek 2	0	0	0	mm
Počet ve směru rozteče 1,2	1	1		-
Délka překážky	1000	-600	0	mm
Šířka překážky	0	700	0	mm
Výška překážky	0	0	710	mm
Odraznost překážky	0.500			-
Propustnost překážky	0.000			-

Soustava překážek	Lavice2			-
Souřadnice první překážky	5000	3900	0	mm
Rozteč překážek 1	0	0	0	mm
Rozteč překážek 2	0	0	0	mm
Počet ve směru rozteče 1,2	1	1		-
Délka překážky	2000	0	0	mm
Šířka překážky	0	700	0	mm
Výška překážky	0	0	710	mm
Odraznost překážky	0.500			-
Propustnost překážky	0.000			-

Soustava překážek	Lavice2 kridlo2			-
Souřadnice první překážky	4000	4500	0	mm
Rozteč překážek 1	0	0	0	mm
Rozteč překážek 2	0	0	0	mm
Počet ve směru rozteče 1,2	1	1		-
Délka překážky	1000	-600	0	mm
Šířka překážky	0	700	0	mm
Výška překážky	0	0	710	mm
Odraznost překážky	0.500			-
Propustnost překážky	0.000			-

Soustava překážek	Lavice2 kridlo1			-
Souřadnice první překážky	7000	3900	0	mm
Rozteč překážek 1	0	0	0	mm
Rozteč překážek 2	0	0	0	mm
Počet ve směru rozteče 1,2	1	1		-
Délka překážky	1000	600	0	mm
Šířka překážky	0	700	0	mm
Výška překážky	0	0	710	mm
Odraznost překážky	0.500			-
Propustnost překážky	0.000			-

Soustava překážek	Katedra			-
Souřadnice první překážky	1950	4500	0	mm
Rozteč překážek 1	0	0	0	mm
Rozteč překážek 2	0	0	0	mm
Počet ve směru rozteče 1,2	1	1		-
Délka překážky	700	0	0	mm
Šířka překážky	0	1500	0	mm
Výška překážky	0	0	710	mm
Odrážnost překážky	0.500			-
Propustnost překážky	0.000			-

Soustava překážek	Dvere1			-
Souřadnice první překážky	3000	0	0	mm
Rozteč překážek 1	0	0	0	mm
Rozteč překážek 2	0	0	0	mm
Počet ve směru rozteče 1,2	1	1		-
Délka překážky	800	0	0	mm
Šířka překážky	0	40	0	mm
Výška překážky	0	0	2000	mm
Odrážnost překážky	0.500			-
Propustnost překážky	0.000			-

Soustava překážek	Dvere2			-
Souřadnice první překážky	8000	0	0	mm
Rozteč překážek 1	0	0	0	mm
Rozteč překážek 2	0	0	0	mm
Počet ve směru rozteče 1,2	1	1		-
Délka překážky	800	0	0	mm
Šířka překážky	0	40	0	mm
Výška překážky	0	0	2000	mm
Odrážnost překážky	0.500			-
Propustnost překážky	0.000			-

Soustava překážek	Tabule			-
Souřadnice první překážky	5000	5950	900	mm
Rozteč překážek 1	0	0	0	mm
Rozteč překážek 2	0	0	0	mm
Počet ve směru rozteče 1,2	1	1		-
Délka překážky	2000	0	0	mm
Šířka překážky	0	50	0	mm
Výška překážky	0	0	1500	mm
Odrážnost překážky	0.500			-
Propustnost překážky	0.000			-

Horizontální udržovaná osvětlenost v kontrolních bodech - Osvětlnost

Udržovací činitel 0.72
Minimální hodnota 659.8 lx
Střední hodnota 1421.2 lx
Maximální hodnota 2023.3 lx
Rovnoměrnost 0.46

Y\X	1000	3000	5000	7000	9000	11000
500	787.1	877.7	754.6	766.5	830.9	659.8
1500	1241.0	1382.2	1411.2	1388.6	1330.3	1051.0
2500	1684.4	1881.8	1907.3	1881.5	1816.3	1424.1
3500	1786.6	1996.9	2023.3	1993.9	1925.9	1509.0
4500	1601.1	1784.3	1801.3	1774.6	1719.5	1351.1
5500	1094.4	1220.6	1216.3	1194.8	1171.3	922.3

Činitel oslnění UGR v kontrolních bodech - Oslnění

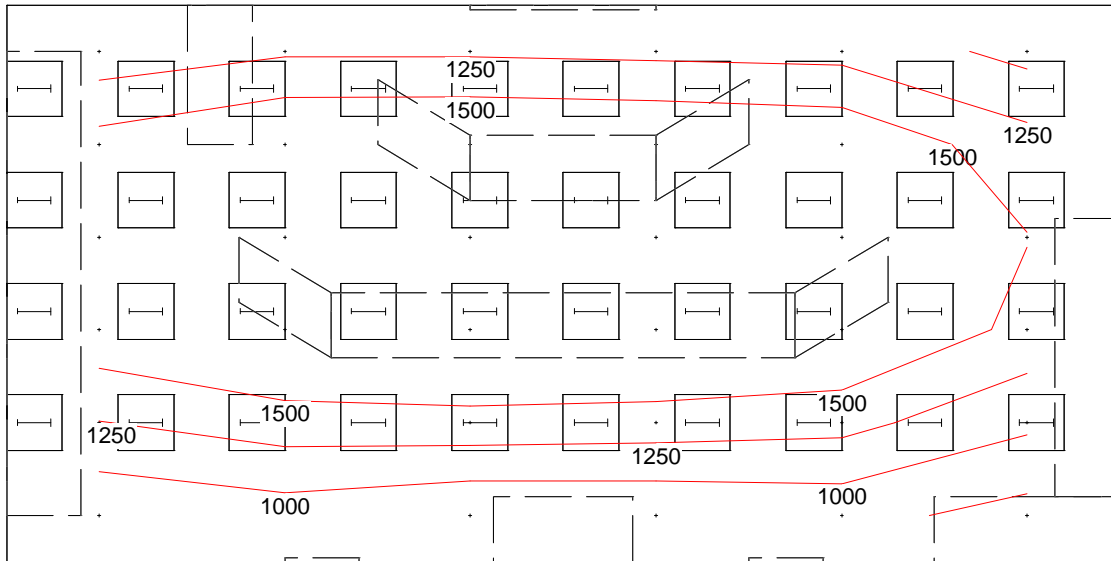
Minimální hodnota 14.0 -
Střední hodnota 15.9 -
Maximální hodnota 17.5 -

Y\X	1000	3000	5000	7000	9000	11000
500	15.4	15.4	14.8	14.9	15.5	15.7
1500	16.0	16.1	15.6	15.7	16.2	16.4
2500	17.1	14.0	14.7	14.9	16.4	17.5
3500	17.1	17.2	16.9	16.8	17.1	17.5
4500	16.5	16.4	14.2	15.0	16.5	16.7
5500	15.7	15.3	15.3	15.4	15.2	15.5

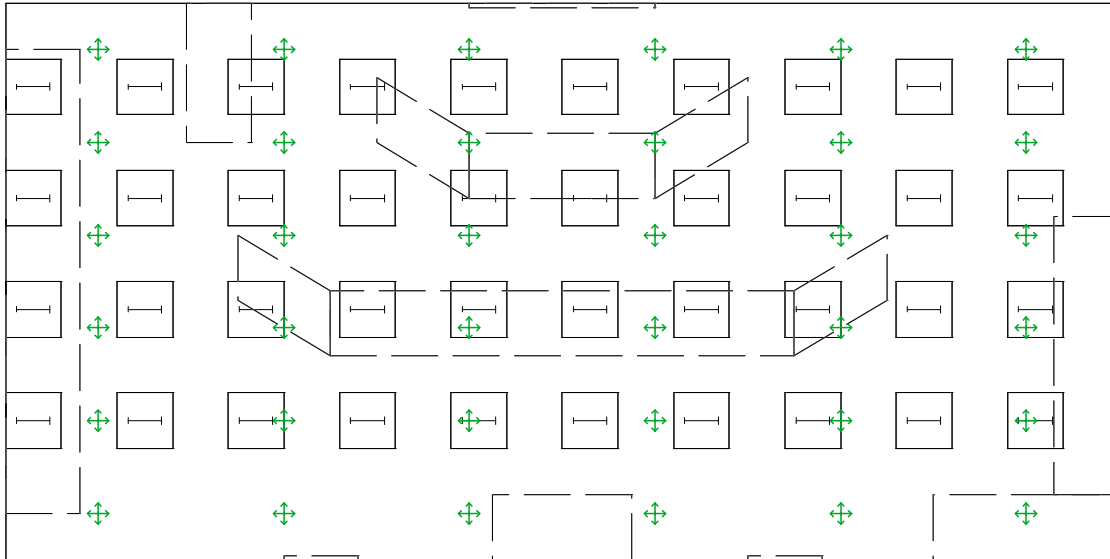
C 116

Osvětlnost - Udržovaná osvětlenost v kontrolních bodech

Emin: 659.8 Em: 1421.2 Emax: 2023.3 Uo=Emin/Emed: 0.46 Z: 0.72



C 116
Oslňení - Činitel oslnění UGR dle Sorensena
UGRL: 19: UGRmin: 14.0 UGRmed: 15.9 UGRmax: 17.5



C 116

