

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Renovace vnitřního osvětlení průmyslové haly**

**Michal Hlavatý**

**2020**

# ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2019/2020

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Michal HLAVATÝ**  
Osobní číslo: **E18N0029K**  
Studijní program: **N2644 Aplikovaná elektrotechnika**  
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**  
Téma práce: **Renovace vnitřního osvětlení průmyslové haly**  
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

### Zásady pro vypracování

1. Stručně naznačte problematiku osvětlování se zaměřením na umělé osvětlení budov.
2. Popište počítačové programy, které se používají k numerickým výpočtům při osvětlování.
3. Objasněte stávající stav osvětlení v průmyslovém závodě.
4. Navrhněte nový systém osvětlení s ohledem na úsporu elektrické energie a další moderní trendy v osvětlování. Vytvořte odpovídající numerický model ve vhodném programu.
5. Nově navržený systém porovnejte se stávajícím a zhodnoťte.



Rozsah diplomové práce: **40 – 60 stran**  
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

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

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

Oponent diplomové práce: **Ing. Pavel Prusík**  
PRECIOSA-LUSTRY,a.s.

Datum zadání diplomové práce: **4. října 2019**  
Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2020**



L.S.

**Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.**  
děkan

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

## **Abstrakt**

Diplomová práce popisuje problematiku vnímání osvětlení lidským okem. Zabývá se na návrh vhodného osvětlení průmyslové haly se zaměřením na výrobní prostory. Součástí je i porovnání jednotlivých programů pro návrh osvětlení. Závěr práce je věnován návrhu nového osvětlení a porovnání se stávajícím.

## **Klíčová slova**

Relux, Wils, Building design, DIALux, renovace osvětlení, průmyslová hala, osvětlenost, luxmetr



## **Abstract**

This diploma thesis describes the issue lighting perception by the human eye. It deals with the design of suitable lighting for an industrial hall with a focus on production space. It includes also a comparison of individual programs for lighting design. The conclusion of this thesis is the design of new lighting and comparison with existing ones.

## **Key words**

Relux, Wils, Building design, DIALux, lighting renovation, industry hall, illuminance, luxmeter

## **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 3. 2. 2020

Michal Hlavatý

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Oldřichu Kroupovi, Ph.D. za jeho čas, cenné rady, vstřícnost a hlavně trpělivost při tvorbě této práce.

Dále bych chtěl poděkovat slečně Lence Dudové, bez jejíž podpory a bezbřehé trpělivosti by tato práce nikdy nevznikla.

## Obsah

Seznam symbolů a zkratk.....	10
Úvod.....	12
1 Základní pojmy.....	13
1.1. Lidské oko.....	13
1.1.1 Popis oka.....	13
1.1.2 Vnímání světla.....	13
1.1.3 Rozlišovací schopnost.....	13
1.1.4 Viditelné světlo.....	14
1.1.5 Zraková pohoda/nepohoda.....	14
1.1.6 Oslnění a adaptace.....	14
1.2. Základní veličiny.....	14
1.2.1 Světelný tok $\Phi$ (lm).....	14
1.2.2 Osvětlenost $E$ (lx).....	15
1.2.3 Svítivost $I$ (cd).....	16
1.2.4 Jas $L$ (cd.m <sup>-2</sup> ).....	16
1.2.5 Světlení $M$ (lm.m <sup>-2</sup> ).....	16
1.2.6 Měrný výkon světelného zdroje $\eta$ (lm.W <sup>-1</sup> ).....	17
1.2.7 Prostorový úhel $\Omega$ (sr).....	17
1.3. Světelné zdroje.....	18
1.3.1 Princip tepelného světelného zdroje.....	18
1.3.2 Princip výbojového světelného zdroje.....	19
1.4. Základní typy světelných zdrojů.....	19
1.4.1 Žárovka.....	19
1.4.2 Zářivka.....	20
1.4.3 Vysokotlaká výbojka halogenidová.....	21
1.4.4 LED.....	22
1.5. Svítidla.....	25
1.5.1 Světelný tok $\Phi_{SV}$ (lm).....	26
1.5.2 Světelná účinnost svítidla $\eta_S$ (-).....	26
1.5.3 Svítivost svítidla $I_{\gamma\zeta}$ (cd).....	26
1.5.4 Jas svítidla $L_{\gamma}$ (cd.m <sup>-2</sup> ).....	27
1.5.5 Rovnoměrnost osvětlení $r$ (-).....	27
1.5.6 Udržovací čísel $f_M$ (-).....	28
1.5.7 Předřadníky a ovládání světél (DALI, KNX).....	29
1.5.8 Osvětlení budovy.....	32
1.5.9 Řady osvětlenosti.....	32
1.5.10 Čísel oslnění $UGR$ (-).....	33
2 Problematika osvětlování vnitřních prostorů budov.....	35
2.1. Základní parametry.....	36
2.1.1 Čísel denní osvětlenosti $D$ (%).....	36
2.1.2 Oblohová složka $D_{ob}$ (%).....	36
2.1.3 Vnitřní odražená složka $D_i$ (%).....	36
2.1.4 Vnější odražená složka $D_e$ (%).....	36
2.1.5 Světelné vlastnosti látek.....	36
2.2. Požadavky na osvětlení.....	37
2.3. Osvětlování pracovních prostor uvnitř budovy.....	40
2.3.1 Obecné zadání.....	40

2.3.2 Přesné zadání.....	40
2.3.3 Modifikace.....	40
2.4. Možnosti energetických úspor.....	41
2.4.1 Senzory pohybu.....	41
2.4.2 LED.....	42
2.4.3 Plánování zapnutí a vypnutí.....	42
2.4.4 Regulace přísvitu.....	42
3 Programy pro výpočet osvětlení.....	43
3.1. Wils (Building design).....	43
3.2. DIALux.....	44
3.3. Zhitov.ru.....	44
3.4. Relux.....	45
4 Současný stav osvětlení.....	47
4.1. Problémy stávajícího osvětlení.....	51
4.1.1 Světlíky.....	52
4.1.2 Hodnoty činitele odrazivosti $\rho$ (-) materiálů v hale dle normy ČSN 73 0580-1.....	53
4.1.3 Rozsah činitelů odrazu $\rho$ hlavních povrchů místnosti doporučených normou ČSN 12464 – 1.....	53
4.2. Naměřené a simulované hodnoty osvětlenosti $E$ (lx) pro umělé osvětlení.....	55
4.3. Naměřené a simulované hodnoty osvětlenosti $E$ (lx) pro denní osvětlení.....	58
4.4. Naměřené a simulované hodnoty osvětlenosti $E$ (lx) pro denní osvětlení se započtením vlivu světlíku.....	59
5 Návrh nového osvětlení průmyslové haly.....	62
5.1. Požadavky na nové osvětlení.....	62
5.1.1 Dostatečná úroveň osvětlenosti.....	63
5.1.2 Barevné podání.....	63
5.1.3 Rychlá automatická regulace intenzity osvětlení.....	63
5.1.4 Uživatelské profily.....	63
5.1.5 Energetické úspory.....	63
5.1.6 Pořizovací a udržovací náklady s důrazem na nízkou spotřebu elektrické energie.....	63
5.1.7 Postup výpočtu udržovacího činitele $f_M$ .....	64
5.2. Návrh.....	65
5.2.1 Technické údaje haly.....	65
5.2.2 Vnější vlivy.....	65
5.2.3 Elektrický rozváděč a ovládání.....	65
5.2.4 Elektrické rozvody.....	65
5.2.5 Řízení osvětlení.....	65
5.2.6 Denní a umělé osvětlení.....	66
5.3. Volba typu svítidel.....	69
5.3.1 Volba typu svítidla s přihlédnutím k normám.....	69
5.3.2 Výpočet udržovacího činitele.....	71
6 Porovnání původního osvětlení s nově navrženým.....	75
6.1. Měření spotřeby.....	75
6.2. Srovnání hladiny osvětlenosti simulovaných hodnot svítidel Maxos a Cuba.....	76
6.3. Srovnání pořizovací ceny a spotřeby pro svítidla Cuba a Maxos.....	80
6.4. Výpočet návratnosti.....	82
7 Závěr.....	84
8 Seznam použité literatury a dalších zdrojů.....	86

9 Seznam obrázků.....	88
10 Přílohy.....	89

## Seznam symbolů a zkratek

$\Phi$	Světelný tok	(lm)
$E$	Osvětlenost	(lx)
$d\Phi$	Část světelného toku	(lm)
$A$	Rovinná plocha	(m <sup>2</sup> )
$dA$	Část rovinné plochy	(m <sup>2</sup> )
$L$	Jas	(cd.m <sup>-2</sup> )
$L_{OP}$	Jas ve směru osy OP	(cd.m <sup>-2</sup> )
$L_p$	Adaptační jas oka pozorovatele či jas pozadí	(cd.m <sup>-2</sup> )
$L_{zi}$	Jas svítících částí oslňujícího svítidla ve směru k oku pozorovatele	(cd.m <sup>-2</sup> )
$P_i$	Činitel podle Luckieshe a Guha charakterizující vliv polohy i-tého oslňujícího svítidla vůči ose pohledu pozorovatele	(-)
$n$	Počet svítidel, která pozorovatele v dané pozici oslňují	(-)
$M$	Světlení	(lm.m <sup>-2</sup> )
$d\Phi_V$	Světelný tok vyzařovaný z ohraničené plochy $dA$	(lm)
$\eta$	Měrný výkon světelného zdroje	(lm.W <sup>-1</sup> )
$P$	Elektrický příkon	(W)
$I$	Svítivost	(cd)
$\Omega$	Prostorový úhel	(sr)
$\Omega_i$	Prostorový úhel, pod nímž pozorovatel vidí svítící části i-tého oslňujícího svítidla	(sr)
$d\Omega$	Element prostorového úhlu	(sr)
$E_m$	Udržovaná osvětlenost	(lx)
$E_{eh}$	Osvětlenost venkovního prostoru	(lx)
$E_{mv}$	Nepřímá složka vertikální osvětlenosti	(lx)
$D$	Činitel denní osvětlenosti	(%)
$D_{min}$	Minimální hodnota činitele denní osvětlenosti	(%)
$D_m$	Průměrná hodnota činitele denní osvětlenosti	(%)
$D_{ob}$	Oblohová složka činitele denní osvětlenosti	(%)
$D_e$	Vnější odražená složka činitele denní osvětlenosti	(%)
$D_i$	Vnitřní odražená složka činitele denní osvětlenosti	(%)
$\Phi_\rho$	Světelný tok částečně odražený od materiálu	(lm)
$\Phi_\tau$	Světelný tok, který částečně projde materiálem	(lm)
$\Phi_\alpha$	Světelný tok částečně pohlcený v materiálu	(lm)

$\rho$	Činitel odrazu světelného toku	(-)
$\tau$	Činitel prostupu světelného toku	(-)
$\alpha$	Činitel pohlcení světelného toku	(-)
$l$	Vzdálenost	(m)
$r$	Poloměr koule	(m)
$\beta$	Úhel	(°)
$UGR$	Index oslnění	(-)
$R_a$	Index podání barev	(-)
$\Phi_s$	Světelný tok svítidla	(lm)
$P$	Elektrický příkon	(W)
$\eta_s$	Světelná účinnost svítidla	(lm)
$f_m$	Udržovací činitel	(-)
$\lambda$	Vlnová délka	(nm)
$K(\lambda)$	Světelný účinek monofrekvenčního záření	(lm·W <sup>-1</sup> )
$V(\lambda)$	Poměrná hodnota světelné účinnosti monofrekvenčního záření	(-)
$K_m$	Absolutní hodnota spektrální citlivosti zraku	(lm·W <sup>-1</sup> )
$\tau_{ze}$	Činitel znečištění na vnější straně	(-)
$\tau_{zi}$	Činitel znečištění na vnitřní straně	(-)
$f_m$	Udržovací činitel	(-)
$f_{LLM}$	Činitel poklesu světelného toku zdrojů	(-)
$f_{LS}$	Činitel předčasné mortality zdrojů	(-)
$f_{LM}$	Činitel poklesu světelného toku vlivem znečištění svítidla	(-)
$f_{NRL}$	Činitel znečištění povrchů místnosti	(-)
$f_{RSM}$	Činitel stárnutí materiálu svítidel	(-)
$T_{INV}$	Návratnost investice	(rok)
$W$	Spotřeba	(Wh)
EZS	Elektronický zabezpečovací systém	
EPS	Elektronický protipožární systém	
PZTS	Poplachový zabezpečovací a tísňový systém	
PIR	Pohybový detektor	
DALI	Digitální adresovatelné rozhraní užívané pro osvětlení	
DSI	Digitální sériové rozhraní (předchůdce DALI)	
KNX	Digitální adresovatelné sběrníkové rozhraní	
SW	Software	
el.	Elektrický	
PBŘ	Požární bezpečnostní zpráva	



## Úvod

Lidský zrak je jeden z pěti hlavních smyslů člověka. Každý z těchto smyslů je nedocenitelným darem, pomocí kterých je člověk schopen slyšet, cítit či vidět. V této práci se budeme zabývat jedním z nich – zrakem. Vnímání lidského oka je spojeno s okolním prostředím a hlavně s okolním světlem. Světlo má velký vliv na zdraví a duševní stav lidí, taktéž ovlivňuje jejich náladu a pracovní výkon.

Téma této diplomové práce vzniklo z důvodu nedostatečného a nevhodného osvětlení ve výrobní hale společnosti. Do povědomí majitele se informace o nevhodném osvětlení v hale dostala v souvislosti se snižující se efektivitou práce a s rostoucí nespokojeností výrobních pracovníků. Několik týdnů zabrala skutečnost definovat problém a hlavně jeho příčiny, ovšem povedlo se to.

Současné osvětlení vyhovovalo předchozímu nájemci, jehož produkce byla zaměřena čistě na dřevo-obrábění a kompletaci těchto obrobků. Současný nájemce se oproti tomu zabývá elektromontáží rozváděčových skříní. Pro tento typ výroby je potřeba vyšší intenzity světla a musíme také docílit lepšího barevného podání svítidel. Barevné podání je pro volbu správné barvy vodiče a následného korektního zapojení naprostou nezbytností.

Dalším překvapivě velkým problémem se ukázala být volba původních svítidel. Tato svítidla měla vyzářovací úhel naprosto nevhodný. Vyzářovací úhel vede k přesvícení určité malé plochy výrobního prostoru a bohužel k nedostatečnému osvětlení okolí této plochy. Je možné, že umístění do vyšší polohy by situaci zlepšilo, ale na úkor intenzity osvětlení. Tyto důvody vedly k tomu, že bylo nutné definovat kompletně nové osvětlení a původní zcela vyřadit z provozu. Jedním z cílů diplomové práce je navržení nového osvětlení výrobní haly. Nové osvětlení by tedy mělo splňovat několik základních podmínek: vyšší hladinu osvětlenosti, navýšení rovnoměrnosti, nízké pořizovací náklady a musí přinést úsporu elektrické energie.

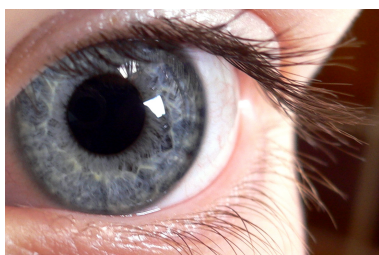
Diplomová práce je rozdělena do pěti částí. První se zabývá obecným popisem problematiky osvětlování, druhá se bude okrajově zabývat počítačovými programy, které se dnes užívají pro návrhy a výpočty osvětlení. Ve třetí části bude popsáno stávající osvětlení průmyslové haly. Ve čtvrté části bude navrženo nové osvětlení ve snaze o řešení splňující požadavky nového uživatele haly. Pátá část bude zaměřena na porovnání stávajícího a nově navrženého systému.

# 1 Základní pojmy

## 1.1. Lidské oko

### 1.1.1 Popis oka

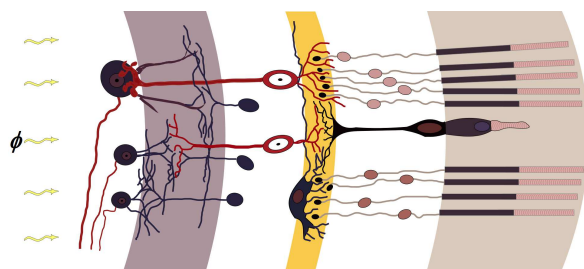
Oko je složeno z oční koule a přídavných orgánů. Vlastní světločivná vrstva oka, sítnice, obsahuje fotoreceptory. Fotoreceptory jsou speciální buňky, tyčinky a čípky, které reagují na světlo. Tyto reagující části jsou zanořeny v pigmentovém epitelu, který zajišťuje jejich výživu a světelnou izolaci. Člověk má v každém oku přes 100 miliónů těchto buněk.



Obrázek 1: Lidské oko [27]

### 1.1.2 Vnímání světla

Vnímání světla je založeno na citlivosti zrakových pigmentů na světlo. Světlo zrakové pigmenty rozkládá, což vede k chemické reakci, kterou je vyvolán elektrický potenciál, tzv. vzruchy, které přenášejí tuto informaci do zrkového centra v mozku. Fotoreceptory lidského oka jsou citlivé na světlo ve vlnovém rozsahu 380–780 nm.



Obrázek 2: Fotoreceptory v oku [27]

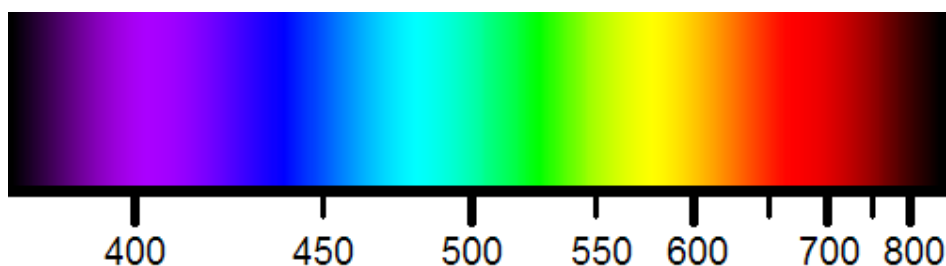
### 1.1.3 Rozlišovací schopnost

Vnímání barev zajišťují čípky. V normálním lidském oku existují tři druhy čípků, lišící se barevnými pigmenty a citlivostí k vlnovým délkám, které určují jednotlivé barvy. Lidské čípky vnímají červenou, zelenou a modrou barvu. Normální lidské vidění je tedy trichromatické, vidění barvoslepých lidí je např. dichromatické (dva druhy čípků). Člověk a ostatní primáti vnímají barvy od modré po červenou, tedy světlo s vlnovou délkou přibližně od 400 do 700 nanometrů.

Pro správné rozlišování předmětů jsou nutné dostatečně rozdílné jasy a barvy. Pro trojrozměrnost předmětů jsou nutné vhodné stíny.

#### 1.1.4 Viditelné světlo

Viditelné světlo je elektromagnetické vlnění o frekvenci od  $3,9 \cdot 10^{14}$  Hz do  $7,9 \cdot 10^{14}$  Hz. Ve vakuu tuto frekvenci můžeme vyjádřit vlnovou délkou v rozsahu **380 – 780 nm**. Tuto část elektromagnetického spektra nazýváme viditelným světlem, neboť jeho vlastností je, že při dopadu na fotoreceptory lidského oka, vyvolává zrakový vjem. Světlo je tedy záření Slunce nebo hvězd dopadající na povrch země po průchodu atmosférou.



Obrázek 3: Viditelné spektrum světla vlnová délka  $\lambda$  (nm) [25]

#### 1.1.5 Zraková pohoda/nepohoda

Zraková pohoda je příjemný psycho-fyziologický stav organismu, kdy zrak dokonale plní svou funkci, pozorovatel se cítí dobře a prostředí ve kterém se pohybuje, působí příjemně. Nepohoda oproti tomu narušuje zrakové funkce, nepříznivě ovlivňuje náladu, výkonnost a celkovou kondici, což vede k únavě očí a tím i organismu.

#### 1.1.6 Oslnění a adaptace

Oslnění je stav zraku, kdy je narušena zraková pohoda. Jedná se o nepříznivý jev, při kterém dochází ke ztížení či totálnímu selhání vidění, to vše v závislosti na síle oslnění. V extrémních případech může dojít k poruše zraku.

Adaptace oka je schopnost přizpůsobit se zvýšenému jasu či rozdílu jasů tak, aby nedošlo k oslnění. Nebude-li se oko schopno adaptovat, dojde k oslnění, stejně tak dojde k oslnění za pomalé adaptace oka při rychlých změnách jasů.

Adaptování zraku je proces změny průměru zornice a citlivosti fotoreceptorů.

## 1.2. Základní veličiny

### 1.2.1 Světelný tok $\Phi$ (lm)

Světelný tok  $\Phi$  je světelně technická veličina, která odpovídá zářivému toku  $\Phi_e$  a vyjadřuje schopnost zářivého toku způsobit zrakový vjem. Jednotkou světelného toku je 1 lumen. Světelný tok  $\Phi$  monofrekvenčního záření, je tedy záření jediné vlnové délky  $\lambda$ , které přenáší určitý zářivý výkon (tj. zářivý tok)  $\Phi_e$  (lm) a určí se ze vztahu:

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

kde  $K(\lambda)$  je světelný účinek monofrekvenčního záření (absolutní spektrální citlivost) a je roven poměru světelného toku  $\Phi$  a odpovídajícího zářivého toku  $\Phi_e$ . [8]

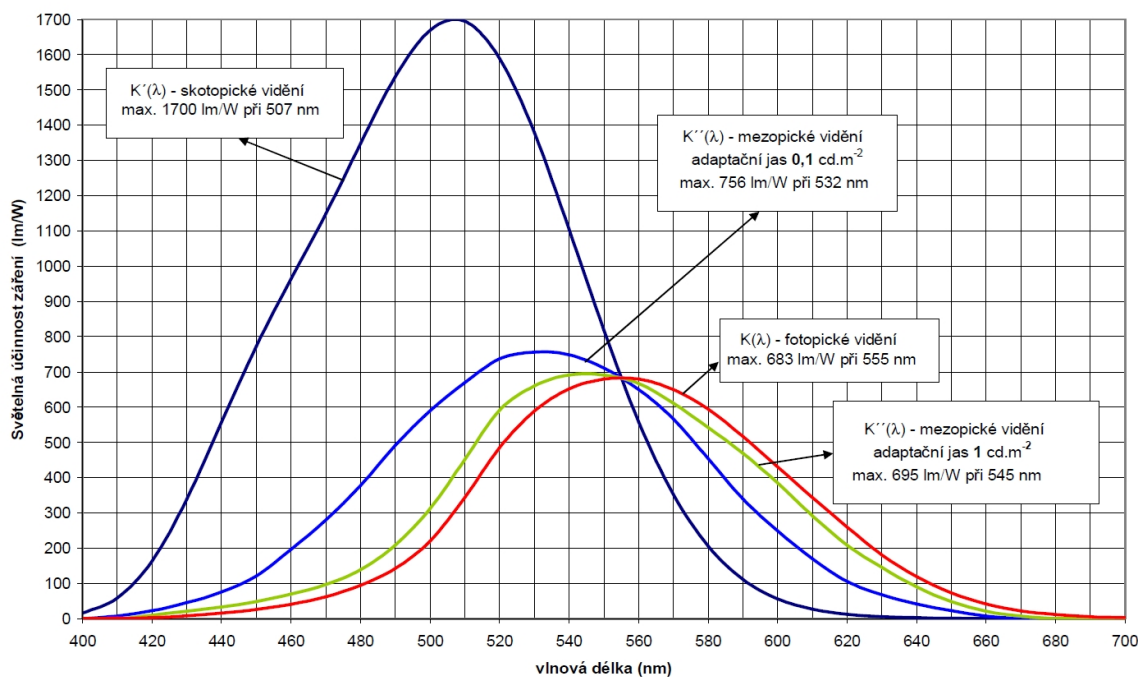
$$K(\lambda) = \frac{\Phi(\lambda)}{\Phi_e(\lambda)} \quad (\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}; \text{lm}, \text{W}) \quad (2)$$

a  $V(\lambda)$  je poměrná hodnota světelné účinnosti monofrekvenčního záření, pro kterou platí vztah: [3]

$$V(\lambda) = \frac{K(\lambda)}{K_m} \quad (-; \text{lm} \cdot \text{W}^{-1}, \text{lm} \cdot \text{W}^{-1}) \quad (3)$$

U normálního fotometrického pozorovatele bylo usnesením 16. generální konference „Míry a váhy“ v r. 1979 schváleno pracovat s hodnotou  $K_m = 683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ .

Pro denní i noční vidění je absolutní hodnota spektrální citlivosti zraku  $683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$  shodná (při vlnové délce 555 nm).



Obrázek 4: Průběhy absolutních hodnot světelných účinků záření zraku normálního fotometrického pozorovatele pro vidění fotonické, mezopické a skotopické, závislost světelného účinku záření  $K(\lambda)$  na vlnové délce  $\lambda$  (nm) [8]

V běžných výpočtech pracujeme se světelným tokem pro fotonické (denní) vidění. Hodnoty veličin  $V(\lambda)$  a  $V'(\lambda)$  jsou z tabulky v příloze č. 6. [8]

### 1.2.2 Osvětlenost $E$ (lx)

Osvětlenost (intenzita osvětlení)  $E$  rovinné plošky  $dA$  je plošná hustota světelného toku  $d\Phi$  dopadlého na plošku  $dA$ . Určuje jí vztah: [1]

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad (\text{lx}; \text{lm}, \text{m}^2) \quad (4)$$

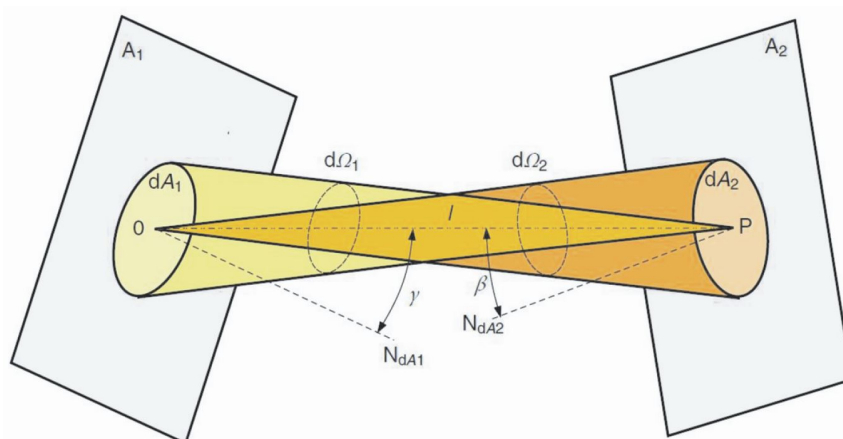
### 1.2.3 Svítivost $I$ (cd)

Svítivost je základní fotometrická veličina definována množstvím světelného toku vyzářeného v určitém směru do ohraničeného prostoru (tedy do tzv. prostorového úhlu  $\Omega$ ). [1]

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (\text{cd}; \text{lm}, \text{sr}) \quad (5)$$

### 1.2.4 Jas $L$ ( $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ )

Jas je fotometrická veličina definovaná jako měrná svítivost. Je určen plošnou a prostorovou hustotou světelného toku. Je to veličina, na kterou oko přímo reaguje (přesněji řečeno lidské oko reaguje na kontrast jasu). Jas se udává v kandelách na  $\text{m}^2$ . Nezáleží přitom, zda vychází jas svazku paprsků přímo ze zdroje záření, nebo je odražen od libovolné plochy. Vždy záleží na poloze pozorovatele a na směru jeho pohledu. [1]



Obrázek 5: Svazky rozbíhajících a sbíhajících se paprsků [4]

Jas je určen vztahem:

$$L_{OP} = \frac{d^2 \cdot \Phi}{d\Omega \cdot dA_n} \quad (\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}; \text{lm}, \text{sr}, \text{m}^2) \quad (6)$$

kde  $L_{OP}$  představuje jas ve směru osy OP (Obr. 3),  $d\Omega$  prostorový úhel, kterým se tyto paprsky šíří a  $dA$  plochu, která je kolmá k ose svazku paprsku. [1]

### 1.2.5 Světlení $M$ ( $\text{lm}\cdot\text{m}^{-2}$ )

Světlení je fotometrická veličina definována jako plošná hustota světelného toku  $d\Omega_V$ , jenž je vyzařována z plochy  $dA$  ( $\text{m}^2$ ). Jedná se o vlastnost samotného zdroje záření. Definuje tedy velikost světelného toku vycházejícího z této plochy  $dA$ . [1]

$$M = \frac{d\Omega_v}{dA} \quad (\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}; \text{lm}, \text{m}^2) \quad (7)$$

### 1.2.6 Měrný výkon světelného zdroje $\eta$ ( $\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$ )

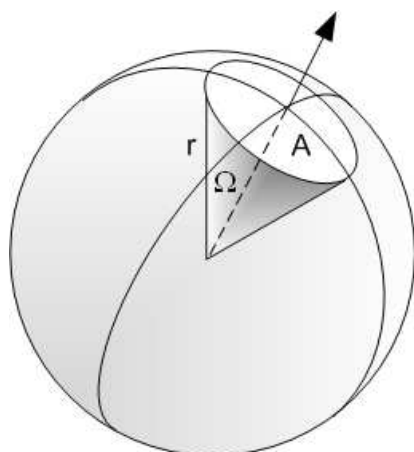
Udává účinnost přeměny elektřiny na světlo, čili kolik lumenů světelného toku získáme dodáním 1 W elektrické energie. Měrný výkon je určen vztahem:

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad (\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}; \text{lm}, \text{W}) \quad (8)$$

kde  $\Phi$  (lm) je světelný tok a  $P$  (W) je elektrický příkon. [1]

### 1.2.7 Prostorový úhel $\Omega$ (sr)

Prostorový úhel je geometrická veličina, kterou používáme ve světelných výpočtech. Jeho velikost je určena velikostí plochy, vyřaté obecnou kuželovou plochou na povrchu jednotkové koule, jejíž střed (vrchol prostorového úhlu) je totožný s vrcholem uvažované kuželové plochy. Jednotkou prostorového úhlu je steradián (sr), určený jednotkovou plochou ( $1 \text{ m}^2$ ) na povrchu jednotkové koule s poloměrem  $r = 1 \text{ m}$ . [1]



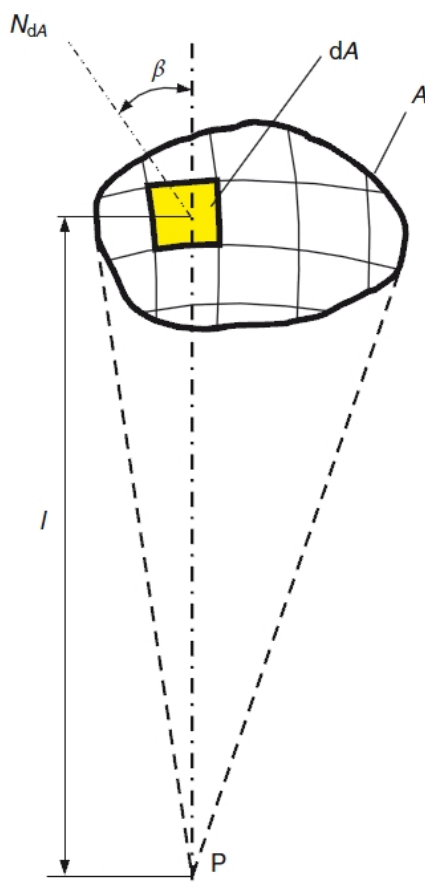
Obrázek 6: Prostorový úhel [1]

Prostorový úhel  $\Omega$ , pod nímž je ze středu koule o poloměru  $r$  vidět plocha  $A$  vyřatá na povrchu této koule, se stanoví z následujícího vztahu. [1]

$$\Omega = \frac{A}{r^2} \quad (\text{sr}; \text{m}^2, \text{m}) \quad (9)$$

Elementární ploška  $dA$  je z bodu P, umístěného podle obrázku 7 ve vzdálenosti  $l$ , vidět pod prostorovým úhlem  $d\Omega$ . [1]

$$d\Omega = \frac{dA \cdot \cos \beta}{l^2} \quad (\text{sr}; \text{m}^2, \text{m}) \quad (10)$$



Obrázek 7: Elementární plocha  $dA$  prostorového úhlu  $d\Omega$  [1]

### 1.3. Světelné zdroje

Rozeznáváme dva druhy světelných zdrojů. **Přírodní**, kde může být zdrojem Slunce a dále zdroje **umělé**, žárovka, výbojka či svítidla LED. Můžeme použít i dělení na primární a sekundární zdroje. Zdroje, ve kterých probíhá přeměna energie na světlo, nazýváme **primárními** zdroji (žárovky, zářivky, apod.), zdrojům, které světelné záření nevytváří a pouze ho odrážejí nebo propouštějí, říkáme zdroje **sekundární** (stínítka, měsíc). Pro účely osvětlování výrobních prostor v průmyslové hale se budeme zabývat pouze zdroji primárními, čili těmi, kde dochází k přeměně elektrické energie na světlo.

Elektrické světelné zdroje dělíme na dva typy. **Tepelné zdroje**, kam patří např. žárovka a **výbojové zdroje**. Do výbojových zdrojů řadíme zářivky a výbojky, které můžeme dále ještě dělit na vysokotlaké a nízkotlaké.

#### 1.3.1 Princip tepelného světelného zdroje

Průchodem elektrického proudu dochází k zahřátí kovové látky, která při určité teplotě začne vyzařovat světlo. Příkladem je klasická žárovka, ve které je průchodem elektrického proudu ohříváno wolframové vlákno.

Aby nedošlo k přepálení vlákna, je žhavicí vlákno umístěno dovnitř skleněné baňky naplněné speciálním plynem, díky kterému dochází pouze k minimálnímu opalování wolframového vlákna a tím se prodlužuje životnost žárovky.

### 1.3.2 Princip výbojového světelného zdroje

Průchodem elektrického proudu výbojkou, tedy průchodem elektrického proudu uzavřeným prostorem naplněným plynem dochází v tomto prostoru k elektrickým výbojům. Z hlediska složení plynu jsou tyto výboje přímo viditelné nebo se jedná o světelné záření vlnové délky okem nezachytitelné (ultrafialová část spektra), potom je vnitřní část nádoby potažena speciální látkou – luminoforem. Průchodem záření vrstvou luminoforu dojde ke změně světelného záření z oblasti neviditelného do viditelného spektra. Běžným příkladem tohoto světelného zdroje je **zářivka**. Použitý druh luminoforu ovlivňuje barvu vyzařovaného světla.

## 1.4. Základní typy světelných zdrojů

### 1.4.1 Žárovka

Žárovky jsou jedny z nejdéle užívaných zdrojů umělého světla. Používali se již v minulém století. Žárovka (Obr. 8) pracuje na principu ohřevu vlákna procházejícím elektrickým proudem. Vznikající teplota vlákna způsobí jeho rozžhavení a to vede k vyzařování světla v oblasti viditelného elektromagnetického vlnění.



Obrázek 8: Běžná  
žárovka se závitem  
E27 [28]

V původních žárovkách se používalo uhlíkové vlákno, nyní užíváme pro vlákno wolfram, který výrazně lépe odolává vysokým teplotám. Aby nedošlo k přepálení či shoření vlákna, je umístěno ve skleněné baňce, ze které je odsát vzduch (vakuum). Žárovky malých výkonů jsou vakuované, pro vyšší výkony se přidávají do baňky různé plyny či jejich směsi (argon a dusík, krypton, xenon).

Výhodou žárovek je, že s rostoucí teplotou wolframového vlákna se u nich zvyšuje teplota chromatičnosti. Jejich teplé světlo je proto velmi příjemné.

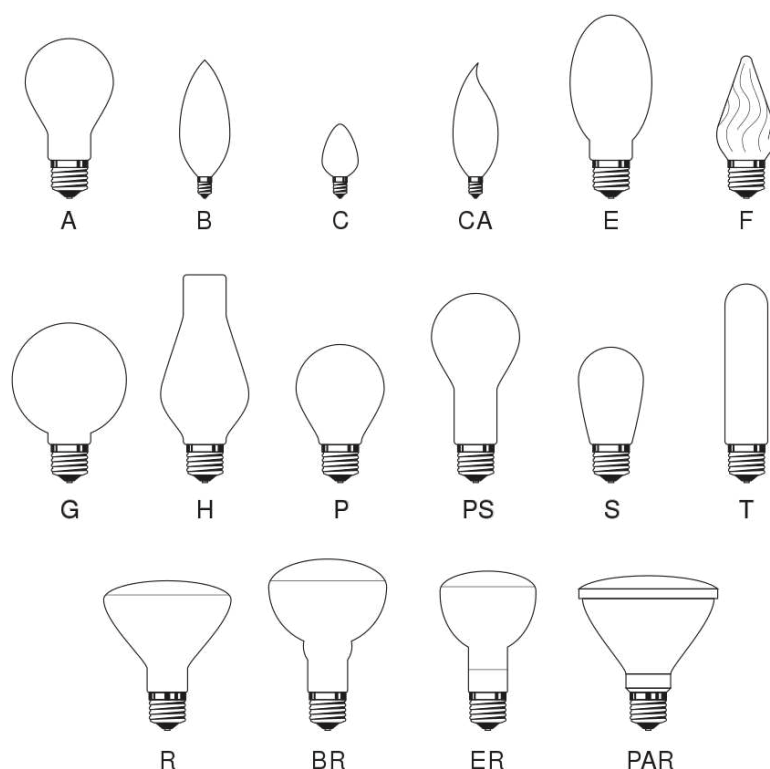
Nevýhodou ovšem je, že většina vyzářené energie se pohybuje v oblasti neviditelného spektra (infračervené záření).



Tabulka 1: Základní vlastnosti žárovky [2]

Měrný výkon halogenové žárovky $P$ (W)	20 lm.W <sup>-1</sup>
Životnost žárovky $t_z$ (h)	~ 3 000 hodin
Index barevného podání $R_a$ (-)	až 100
Teplota chromatičnosti $T_c$ (K)	2 900 – 3 100 K

Do nedávné doby docházelo k masivnímu vývoji v oblasti těchto zdrojů světla. Dosáhlo se delších životností, mnoha tvarů (Obr. 9), různých barevných odstínů a podobně. V současné době se výrobci soustředí hlavně na elektro-luminiscenční diody (LED).



Obrázek 9: Různé tvary žárovek [28]

### 1.4.2 Zářivka

Zářivky řadíme mezi nízkotlaké rtuťové výbojky se žhavenými elektrodami. Zářivka se skládá z trubice a z kovových elektrod upevněných na obou koncích trubice. Trubice je naplněna směsí plynů rtuti a argonu. Zevnitř je trubice pokryta speciálním luminoforem, který vybuzečné ultrafialové záření převede do viditelného spektra. Elektrody jsou tvořeny wolframovým vláknem, pokrývají je oxidy barya, stroncia a vápníku, takže při teplotě kolem 700 °C dobře emitují elektrony.

Zářivka je rozsvícena pomocí předřadníku. Bez předřadníku není rozsvícení možné. Obecně rozeznáváme dva typy. Starší varianta je někdy nazývána konvenčním předřadníkem (KP), novější elektronickým polovodičovým předřadníkem (EP).

Polovodičová varianta je dražší, ale prodlužuje životnost a potlačuje blikání při startu zářivky.



Obrázek 10: Zářivková trubice T8 Ecolite [38]

Tabulka 2: Základní vlastnosti zářivky [2]

Měrný výkon zářivky $\eta$ (lm.W <sup>-1</sup> )	100 lm.W <sup>-1</sup>
Životnost zářivky $t_z$ (h)	~ 20 000 hodin
Index barevného podání $R_a$ (-)	80
Teplota chromatičnosti (dle luminoforu) $T_c$ (K)	2 700 – 6 500 K



Obrázek 12: Elektronický předřadník Hadex pro 2 zářivky [37]



Obrázek 11: Konvenční předřadník Vossloh Schwabe [36]

KP - V praxi se jedná o tlumivku, startér (bimetalový spínač) a kondenzátor. Jednoduché a tím i vysoce spolehlivé provedení. Nevýhodou je nemožnost regulace, dále nepovedené starty vedou k opakovaným rozběhům a tím ke zkracování životnosti zářivky.

EP – Elektrický obvod s měničem a kondenzátorem, který přes tlumivku budí zářivku. Rozlišujeme studený (okamžitý) zážeh zářivky a teplý (pomalý) zážeh zářivky.

### 1.4.3 Vysokotlaká výbojka halogenidová

Výbojky mají obecně problém s vyzařováním světla v červené oblasti spektra. Jejich světelné vyzařování je zelené až modrobílé. To vede k celkově špatnému barevnému podání osvětlovaných předmětů. Abychom se této skutečnosti vyvarovali, přidáváme do výboje různé příměsi Halogenidů.

Vnější baňka výbojky již nemůže být vyrobena z obyčejného skla jako žárovka. Je vyrobena z borosilikátového skla, který odolá vysokým vnitřním tlakům. Tyto výbojky jsou používány v místech, kde je třeba věrného podání barev a dobré kvality osvětlení. Menší se používají pro osvětlení například výloh obchodů, větší a výkonnější pro osvětlování průmyslových hal. Provozují se podobně jako sodíkové, tedy se zapalovačem nebo s elektronickým předřadníkem.

Účinnost vysokotlakých halogenidových výbojek je ve srovnání se sodíkovými nižší, dosahují ale lepšího barevného podání. Velkou výhodou je dlouhá doba životnosti a prakticky žádná údržba. Nevýhodou je vyšší cena a nutnost provozu v uzavřeném svítidle. Díky provozu za vysokého tlaku a teploty může dojít k výbuchu. Další nevýhodou je pomalý náběh do hodnoty plného světelného toku (řádově minuty). Dle směsi halogenidů a typu použitého hořáku lze dosáhnout barevného podání  $R_a \sim 60 - 100$ .



Obrázek 13: Vysokotlaká halogenidová výbojka 250 W [2]

Tabulka 3: Základní vlastnosti halogenidové výbojky [2]

Měrný výkon zářivky $\eta$ ( $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$ )	120 $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$
Životnost zářivky $t_z$ (h)	$\sim 20\,000$ hodin
Index barevného podání $R_a$ (-)	60 - 100
Teplota chromatičnosti $T_c$ (K)	2 500 K – 4 200 K

#### 1.4.4 LED

Označení LED pochází z anglických slov Light Emitting Diode (světlo vyzařující dioda). Jedná se tedy o polovodičovou diodu, kde se při průchodu elektrického proudu přechodem emituje světelné záření. Historie LED diody jde zhruba do poloviny minulého století, přesto prudký rozvoj zažívá až ve století současném. Její princip funkce vede k mnoha výhodám, kterých u výbojek nelze dosáhnout nebo je to obtížné (ať už technicky nebo ekonomicky).

#### Výhody LED

- Malé napájecí napětí nevyžaduje ochranu
- Spojování do série pro vyšší světelný výkon
- Snadná regulace
- Okamžitá doba náběhu a rychlá odezva na změny bez vlivu na dobu života
- Plná stmívatelnost
- Energeticky úsporné osvětlení
- Velká účinnost
- Odolné vůči chladu, nárazu a vibracím
- Dlouhá životnost

## Nevýhody LED

- Polarita (nebude pracovat na střídavé napětí)
- Teplotní závislost
- Cena
- Malý výkon jedné diody, pro svítidlo je jich třeba velké množství
- Nutná správná polarita a hodnota U a I pro napájení

Existuje mnoho dalších výhod a nevýhod menšího i zásadního charakteru. Faktem ale je, že rozhodujícím faktorem pro používání LED diod v oblasti osvětlení byl jejich postupný vývoj, rozšíření oblastí jejich použití a tím i klesající cena. Právě cena byla hlavním problémem pro užití v osvětlovacích soustavách. Požadavkem na svítidlo je ideální poměr ceny a světelného výkonu. Tento požadavek ovšem představuje pro LED osvětlení problém. Pro dosažení požadovaného výkonu je nutné integrování mnoha LED diod do jednoho svítidla. Tato skutečnost v zatím ne příliš vzdálené minulosti neúměrně navyšovala cenu.

LED diody se začaly do oblasti osvětlení výrazněji nasazovat teprve před několika lety. Nehovořím o koupi jedné LED žárovky do obýváku, ale o pořízení několika stovek kusů LED svítidel. V minulosti se ještě jednalo o velký risk, protože nikdo nevěděl, jestli LED svítidla skutečně vydrží v provozu po požadovanou (výrobcem deklarovanou) dobu. Neexistovaly na to žádné testy, nebyla žádná praktická aplikace. Nebylo možné říct: „Toto venkovní osvětlení na mostě je tvořeno LED svítidly a svítí zde bez problémů již 10 let.“ To stejné platí pro průmyslové haly a jiné objekty. Ovšem díky několika odvážlivcům, kteří systémy LED svítidel nasadili, dnes již víme, že je to správná cesta.

Jak již bylo výše řečeno, většina klasických nevýhod LED svítidla byla vývojem postupně odstraněna. Poslední pilíř nedůvěry zvaný životnost se odboural relativně nedávno. Z vážných nevýhod ale zůstala například závislost na teplotě. Teplota má bohužel obrovský vliv na životnost LED diod. Vlivem vyšších teplot než jsou provozní, dochází k výraznému snížení životnosti a to v řádech desítek procent. Je možné tento vliv ovlivnit chlazením (např. v automobilech) či různými speciálními kryty, ale celkově ho odrušit zatím neumíme (toto tvrzení samozřejmě platí pro prakticko-ekonomická řešení).

Okolní teplota je tedy jedním z hlavních kritérií, které nyní musíme brát v potaz, při návrhu osvětlení s použitím LED svítidel.

Tabulka 4: Základní vlastnosti LED diod [2]<sup>1</sup>

Měrný výkon LED $\eta$ (lm.W <sup>-1</sup> )	~ 200 lm.W <sup>-1</sup>
Životnost LED $t_z$ (h)	100 000 – 1 000 000 hodin
Index barevného podání $R_a$ (-)	~ 100
Teplota chromatičnosti $T_c$ (K)	~ 6 500

<sup>1</sup> Údaje tabulky základních vlastností LED diod je nutné brát orientačně. Díky neustálému vývoji dochází k rychlým změnám těchto obecných hodnot.

**Porovnání světelných zdrojů**

Z výše uvedeného je zřejmé, že světelné zdroje LED urazily obrovský kus cesty a ta stále ještě není u konce, spíše naopak. Současný trend je tedy jasný, jsou jím světelné zdroje typu LED. V následující tabulce je uvedeno krátké porovnání vyzářeného světelného toku a elektrického příkonu jednotlivých světelných zdrojů.

Tabulka 5: Porovnání základních světelných zdrojů z hlediska příkonu  $P$  (W) a světelného toku  $\Phi$  (lm) [9]

Klasická žárovka	Halogenová žárovka	Úsporná žárovka	LED žárovka	Světelný tok
25 W	25 W	5 W	3 W	210 - 204 lm
40 W	40 W	9 W	5 W	400 - 450 lm
60 W	60 W	13 W	9 W	700 - 740 lm
100 W	100 W	22 W	15 W	1300 - 1500 lm

## 1.5. Svítidla

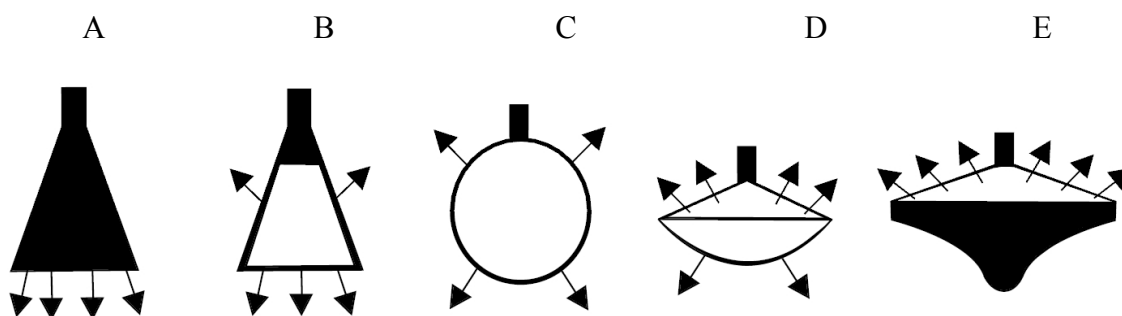
Samotné světelné zdroje se obvykle pro osvětlování nepoužívají. Důvodem může být nedostatečný světelný výkon, či nevhodný směr jeho vyzařování. Svítidla jsou tedy zařízení, která rozdělují, filtrují nebo mění světlo vyzařované jedním nebo více světelnými zdroji. Obsahují kromě světelných zdrojů samotných všechny díly nutné pro upevnění a ochranu těchto zdrojů. V případě potřeby mohou být součástí i pomocné obvody včetně prostředků pro jejich připojení k síti.

Světelně činné části svítidel slouží ke změně rozložení, usměrnění nebo rozptýlení světelného toku zdrojů, omezení oslnění - omezení jasu svítidla v úhlu, pod kterým může být svítidlo vnímáno pozorovatelem, filtraci – odstranění nežádoucí části spektra vyzařovaného světelným zdrojem.

Konstrukční části svítidla slouží k upevnění zdroje, k upevnění světelně činných částí, k ochraně zdrojů i světelně činných částí před vniknutím cizích předmětů a vody. Svítidla musí splňovat podmínky jednoduché a snadné montáže, jednoduché údržby, dlouhé životnosti a spolehlivosti a z hlediska teploty nesmí být nebezpečná pro své okolí. [2]

Svítidla dělíme dle použití na vnitřní a venkovní, případně dle montáže na stojanová, závěsná a podobně. Zde je dobré si uvědomit, že jeden typ světelného zdroje může být použit pro všechny druhy svítidel, stejně tak i jeden typ svítidla může být instalován na strop závěsem, či na stojan.

Volbu či výrobu vhodného svítidla ovlivňuje i požadavek na směr vyzařování světelného toku, jak je vidět na obrázku 14. Vyzařování světelného toku je dáno samotnou konstrukcí svítidla.



Obrázek 14: Piktogramy svítidel podle rozložení světelného toku  $\Phi$ , značeno dle DIN 5040 [1]

Tabulka 6: Klasifikace svítidel dle rozložení světelného toku  $\Phi$ , značeno dle DIN 5040 [1]

Třída rozložení světelného toku	Název	$\Phi_{\text{přímý}} / \Phi_{\text{celkový}}$	Označení dle DIN 5040
I	přímé	80 – 100 %	A
II	převážně přímé	60 – 80 %	B
III	smíšené	40 – 60 %	C
IV	převážně nepřímé	20 – 40 %	D
V	nepřímé	0 – 20 %	E

Usměrnění světelného toku se dosahuje pomocí konstrukčních prvků typu reflektor (odrazem), difuzor (rozptýlením), refraktor (propouštěním světla), případně jejich kombinacemi. Pro osvětlení průmyslových hal s vysokými stropy se nejčastěji používá svítidlo typu A, tedy přímé. Volbou vhodného typu svítidla se správným světelným výkonem a vhodným vyzářovacím kuželem dosáhneme rovnoměrného osvětlení prostoru pod svítidly.

### 1.5.1 Světelný tok $\Phi_{SV}$ (lm)

Světelný tok svítidla  $\Phi_{SV}$  je dán rozdílem světelných toků všech světelných zdrojů  $\Phi_Z$  uvnitř svítidla a ztraceného světelného toku  $\Phi_{ZTR}$ . [2]

$$\Phi_{SV} = \Phi_Z - \Phi_{ZTR} \quad (\text{lm}; \text{lm}, \text{lm}) \quad (11)$$

$\Phi_{ZTR}$  je světelný tok ztracený při optickém zpracování

$\Phi_Z$  je světelný tok všech zdrojů světla uvnitř svítidla

### 1.5.2 Světelná účinnost svítidla $\eta_s$ (-)

Účinnost svítidla charakterizuje hospodárnost svítidla a její hodnota je dána poměrem světelného toku svítidla ke světelnému toku zdrojů. [2]

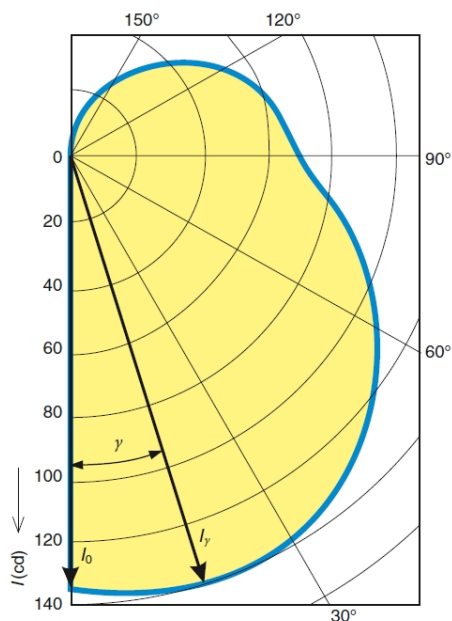
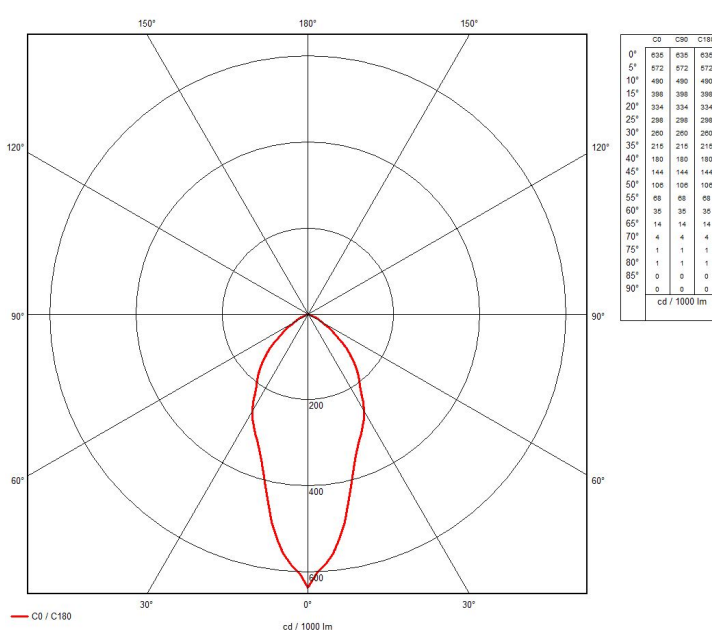
$$\eta_s = \frac{\Phi_{SV}}{\Phi_Z} \quad (-; \text{lm}, \text{lm}) \quad (12)$$

### 1.5.3 Svítivost svítidla $I_{\gamma\zeta}$ (cd)

Je prostorová hustota světelného toku, v různých směrech od zdroje světla. Svítivosti se udávají nejčastěji pomocí fotometrického systému  $C - \gamma$ .

Svítivost  $I_{\gamma\zeta}$  bodového zdroje ve směru určeném úhly  $\gamma, \zeta$  definujeme jako světelný tok obsažený v jednotkovém prostorovém úhlu. [2]

$$I_{\gamma\zeta} = \frac{d\Omega}{d\Omega_{\gamma\zeta}} \quad (\text{cd}; \text{lm}, \text{sr}) \quad (13)$$

Obrázek 15: Čára svítivosti  $I$  (cd) v polárních souřadnicích [2]Obrázek 16: Křivka svítivosti  $I$  (cd) svítidla Cuba

#### 1.5.4 Jas svítidla $L_\gamma$ ( $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ )

Jas svítidla je definován jako podíl svítivosti v daném směru a velikosti průmětu svítící plochy do roviny kolmé ke směru pozorování. [1]

$$L_\gamma = \frac{I_\gamma}{A \cdot \cos \gamma} \quad (\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}; \text{cd}, \text{m}^2) \quad (14)$$

$I_\gamma$  je svítivost svazku světelných paprsků (svítící plochy)  
 $A \cdot \cos \gamma$  je velikost průmětu pozorované svítící plochy

Snižování jasů za účelem zmenšení oslnění v kritických úhlech pohledu se u svítidel provádí dvěma způsoby. První způsob je ve zvětšení průmětu světelně činné plochy pod pozorovaným kritickým úhlem (použití difuzorů). Druhý způsob omezuje svítivost do daného úhlu použitím vhodně tvarovaných mřížek. [1]

#### 1.5.5 Rovnoměrnost osvětlení $r$ (-)

Základní parametr kvality osvětlení v osvětleném prostoru. Určuje se v definovaném místě jako poměr nejmenší a průměrné hodnoty osvětlení v daném místě. [2]

$$r = \frac{E_{\min}}{E_p} \quad (-; lx, lx) \quad (15)$$



Při celkovém osvětlení se průměrná hodnota stanoví v celém půdoryse místnosti a nejmenší hodnota se stanoví v místě, kde se nachází nejméně osvětlené předměty hlavní zrakové činnosti. [2]

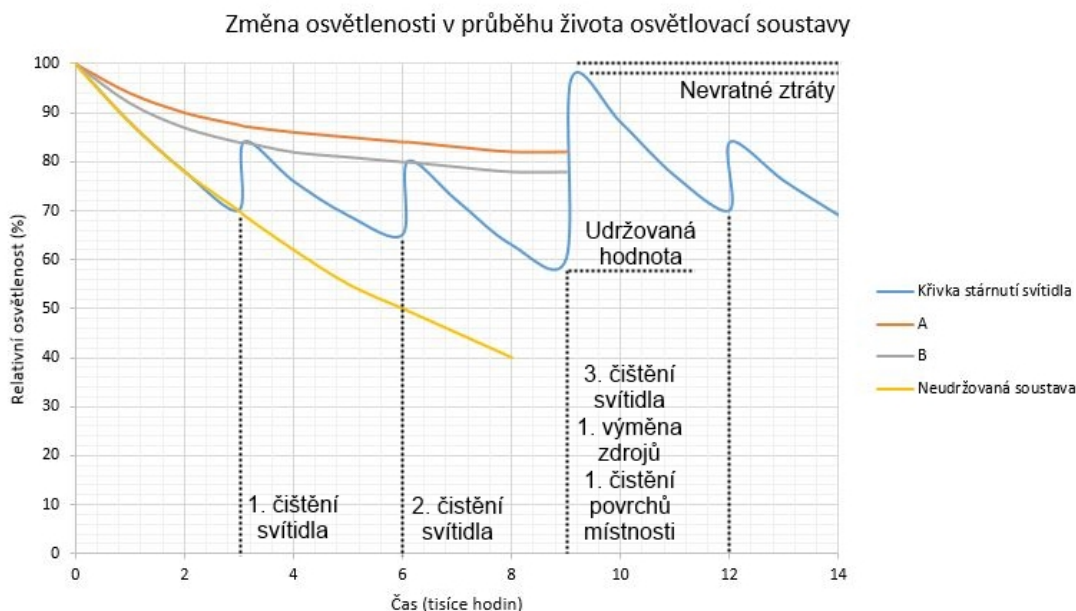
Hodnoty rovnoměrnosti musí být minimálně: [2]

1. pro trvalý pobyt  $r = 0,65$  (1:1,5)
2. pro krátkodobý pobyt  $r = 0,4$  (1:2,5)
3. pro občasný pobyt  $r = 0,1$  (1:10)

### 1.5.6 Udržovací činitel $f_M$ (-)

Udržovací činitel, nazývaný také faktor údržby, je prvek, který zohledňuje pokles světelného toku způsobený stárnutím svítidel. Stárnutí svítidel je ovlivněno mnoha faktory. Pro získání a hlavně udržení reálné hodnoty světelného toku osvětlovací soustavy po celou dobu její životnosti je nutné jeho zahrnutí do výpočtů. [32]

Činitel poklesu světelného toku zdrojů (**LLMF**, Lamp Luminous Flux Maintenance Factor) značíme  $f_{LLM}$ . Činitel funkční spolehlivosti světelných zdrojů (**LSF**, Lamp Survival Factor) značíme  $f_{LS}$ . Činitel znečištění svítidel (**LMF**, Luminaire Maintenance Factor) značíme  $f_{LM}$ . Činitel stárnutí materiálů svítidel (**NRLF**, Non-Recoverable Loss Factor) značíme  $f_{NRL}$ . Činitel znečištění povrchů místnosti (**RSMF**, Room Surface Maintenance Factor) značíme  $f_{RSM}$ . [32]



Obrázek 17: Průběh udržovacího činitele snížení osvětlení  $f_M$  (%) v závislosti na vykonávání údržby v čase  $t$  ( $10^3$  h) [32]

Popis k obrázku 17 [32]

A: Křivka stárnutí povrchů místnosti (činitel odrazu stropu/stěn/podlahy: 70/50/20 % pro čisté prostředí)

B: Křivka stárnutí světelného zdroje (zářivka se třípásmovým luminoforem)

Činitel poklesu světelného toku zdrojů  $f_{LLMF}$  je nutné zjistit z křivek, které poskytuje výrobce světelných zdrojů. Předčasná mortalita  $f_{LSF}$  představuje selhání individuálních světelných zdrojů, jejichž výměna se plánuje až v čase plánované pravidelné údržby.  $f_{LSF}$  je potřebné určit z potřebných křivek nebo tabulek. Obvykle jsou definovány výrobcem. Pokud nejsou od výrobce k dispozici, pomůžeme si obecnou křivkou mortality dle normy ČSN EN 13201-2. Činitel poklesu světelného toku vlivem znečištění svítidla  $f_{LMF}$  závisí na míře znečištění místnosti a na stupni krytí svítidla IP. Činitel znečištění povrchů místnosti  $f_{RSMF}$  závisí na rozměrech místnosti, činitelích odrazu všech stěn, podlahy a stropu, rozložení světelného toku a stupni znečištění místnosti. Činitel stárnutí materiálu svítidel  $f_{NRLF}$  určuje výrobce svítidla nebo výrobce materiálu. [32]

Celkový udržovací činitel  $f_M$  získáme vynásobením výše definovaných činitelů. [32]

$$f_M = f_{LLM} \cdot f_{LS} \cdot f_{LM} \cdot f_{NRLF} \cdot f_{RSM} \quad (-; -, -) \quad (16)$$

Udržovací činitel pro návrh osvětlení v hale bude spočítán pomocí kalkulačky dostupné na webu svetloblok.cz. [33]

### 1.5.7 Předřadníky a ovládání světél (DALI, KNX)

Hlavní důvody regulace osvětlení jsou dosažení požadovaného osvětlení s ohledem na vykonávanou činnost, přizpůsobení osvětlení požadavkům uživatele, dosažení požadovaného osvětlení v závislosti na úrovni denního světla a snížení provozních nákladů na osvětlení. Výsledkem regulace osvětlení je zlepšení kvality osvětlení, zpříjemnění pobytu a práce, snížení příkonu svítidel a ztrát na napájecím vedení. Dříve byly světelné zdroje regulovány z důvodu přizpůsobení jasů určité situaci, v posledních desetiletích osvětlovací zařízení regulují intenzitu osvětlení převážně z ekonomického hlediska.

S vývojem elektronických technologií se ustupuje od klasického způsobu ovládání osvětlovací soustavy změnou napájecího napětí. Přistupuje se k řízení osvětlení pomocí různých inteligentních řídicích systémů. Tyto systémy poskytují možnost řídit a ovládat osvětlovací soustavu z hlediska maximálního využití denního světla a přítomnosti osob. V dnešní době existují systémy, které se zabývají nejen řízením osvětlení, ale také ovládním všech technologií v budově, jako jsou vytápění, klimatizace, bezpečnostní systémy a požární signalizace. Přestože ekonomické a energetické úspory jsou hlavním kritériem pro volbu těchto systémů, nabízí tyto systémy také zvýšení komfortu osvětlování a provozní bezpečnosti.

### 1.5.7.1 Hlavní kritéria pro řízení umělého osvětlení

#### Komfort řízení

Spočívá v poskytnutí pohodlného ovládání dané osvětlovací soustavy. Komfort spojený s kvalitou řízení osvětlovací soustavy se dosahuje použitím různých senzorů a dálkových ovládání.

#### Úspora elektrické energie

Řídicí systémy dosahují vysoké úspory při optimálním návrhu osvětlovací soustavy ve spojení s využitím dostupného denního světla, s časovými spínači a s použitím světelných a pohybových senzorů.

### 1.5.7.2 Řízení osvětlení

#### Klasické spínače

Řízení rovnoměrně rozmístěné osvětlovací soustavy dosáhneme tzv. okruhování svítidel a jednotlivé okruhy spínáme vypínači nebo časovým naprogramováním. Je to jeden s nejjednodušších principů řízení osvětlovacích soustav. Nutná je ovšem podmínka zachování vyhovující rovnoměrnosti osvětlení a intenzity osvětlení. Hlavní výhodou tohoto řízení jsou nesporně velmi nízké investiční náklady.

#### Stmívače

Pomocí stmívačů dosahujeme plynulé regulace osvětlovací soustavy svítidel. Existují různé druhy stmívačů, od analogových až po elektronické, v závislosti na použitém zdroji osvětlení a předřadného přístroje. Tyto stmívače můžeme řídit ručně pomocí tlačítek, řídicím systémem nebo dálkovým ovládáním. Povel ke stmívání může být také spuštěn z čidla přítomnosti osob, čidlem na denní osvětlení nebo časovým spínačem. Při stmívání se snižuje měrný výkon světelných zdrojů. Při návrhu stmívání nemůžeme využívat celý rozsah změny světelného toku.

Princip regulace spočívá v předřadníku svítidla. Intenzita osvětlení se reguluje elektronicky v předřadníku pomocí pulzní šířkové modulace. Ovládání regulace je možno tlačítky, potenciometry a pomocí digitálních standardů.

#### Analogové řízení

Dříve používané analogově řízené elektronické předřadníky jsou ovládány úrovní řídicího napětí na vstupu předřadníku. Pro toto ovládání je použito dvou vodičového signálního vedení. U analogového systému dochází k úbytkům napětí na vedení a nemusí být tedy splněna podmínka nastavení všech elektrických předřadníků osvětlovací soustavy na stejnou úroveň. Řídicí napětí je v rozsahu 1 - 10 V.

#### Digitální řízení

Dnes již zaběhlým standardem je digitální řízení elektronických předřadníků. Zde se používá starší rozhraní DSI nebo novější DALI. Výhodou obou (DSI i DALI), oproti analogovému přenosu, je větší odolnost proti rušení a proti přepólování řídicího napětí.

DALI rozhraní má možnost zpětného hlášení nefunkčního světelného zdroje. Systémové rozhraní DALI navíc umožňuje uložit světelné scény do paměti přístroje, nejsou tedy zapotřebí další paměťové moduly. Řízení probíhá opět po vedení (sběrnici), ale pomocí digitálního telegramu. Digitálním ovládáním je zajištěno nastavení všech stmívatelných předřadníků na stejnou úroveň.

## **DALI**

Vlastní protokol DALI byl vyvinut v polovině devadesátých let mezinárodní elektrotechnickou komisí (International Electrotechnical Commission - IEC). Ovládání pomocí analogových rozhraní, jako je systém 1 - 10 V, neumožňuje ani flexibilitu ani možnost řízení jednotlivých svítidel v osvětlovacím systému. Proto byl vyvinut sběrniceový systém, který umožňuje digitální komunikaci mezi všemi zúčastněnými komponenty v osvětlovacím systému nebo v celých systémech správy budov. Systém DALI je možné integrovat jako subsystém do nadřazeného systému správy budovy.

DALI je akronymum a znamená (Digital Addressable Lighting Interface = digitální adresovatelné světelné rozhraní). Je to mezinárodní norma, která zaručuje vzájemnou kompatibilitu řízených stmívatelných předřadníků od různých výrobců. DALI protokol určuje vzájemnou digitální komunikaci mezi jednotlivými prvky osvětlovací soustavy. Každý prvek lze individuálně řídit, protože má svoji předepsanou adresu.

### **Omezení DALI**

- max. 64 individuálních jednotek (individuálních adres)
- max. 16 skupin (skupinových adres)
- max. 16 scén (světelných hodnot scén)

## **KNX**

Jediný celosvětový otevřený standard pro automatizaci domácností a systém technologie budov v souladu s EN 50090. Jde o inteligentní systém, který díky čidlům a senzorům přináší vyšší komfort a úsporu energií především u velkých komerčních budov. S výhodou lze tento systém použít u objektů, jako jsou administrativní budovy, obchody, banky, hotely, zařízení pro volný čas, sportovní areály, školy, nemocnice, průmyslové budovy a všude tam, kde je kladen důraz na komfort. [1]

U běžných elektrických instalací musíme předem určit, jak a kde budou spínací systémy budovy instalovány, dříve než výstavba vůbec začne, ale u KNX lze toto ponechat otevřené. Je tomu tak proto, že vše v systému lze kdykoli změnit nebo rozšířit bez obvyklého nepořádku a pokládání nových kabelů. Všechna zařízení a instalace technologie budovy jsou propojeny pomocí jediného sběrniceového vedení. Sběrniceové vedení je položeno paralelně k napájecímu vedení 230 V. Pokud se aktivuje čidlo (např. spínačem), akční člen (např. ovládání svinovací žaluzie) provede všechny potřebné přepínací povely. [1]

### 1.5.8 Osvětlení budovy

#### Denní osvětlení

Přímé sluneční světlo, světlo rozptýlené atmosférou, světlo odražené od vnitřních a venkovních povrchů.

#### Boční osvětlení

Denní osvětlení proudící konstrukčně upravenými cestami (osvětlovacími otvory) obvodem budovy. Osvětlovacími otvory mohou být okna, prosklené stěny a podobně.

#### Horní osvětlení

Denní osvětlení proudící konstrukčně upravenými cestami (osvětlovacími otvory) střechou budovy. Zde se nejčastěji jedná o světlíky, různá střešní okna atd.

#### Umělé osvětlení

Osvětlení je realizováno jedním nebo více umělými zdroji typu žárovka, zářivka, LED, atd.

#### Sdružené osvětlení

Kombinace denního a umělého osvětlení.

#### Kombinované osvětlení

Osvětlení budovy je možné řešit kombinací výše uvedených typů. Snahou je zachovat co nejvyšší podíl denní složky světla. To samozřejmě není vždy postačující, ať už z důvodu zamračené oblohy nebo noci. Z toho důvodu se do každého systému zavádí i dodatečně instalované umělé zdroje světla.

#### Světlovody<sup>2</sup>

Denní i umělé světlo může být přivedeno přímo ze zdroje na požadované místo zařízením, kterému říkáme světlovod. Obvykle se jedná o světlovodnou trubici, u které je zdrojem světla slunce. Rozlišujeme dva druhy světlovodů. Světlovod s vývodem světelného toku pouze na konci a s vývodem světelného toku i na bocích světlovodu.

#### Svítilna

Svítilna jsou zdroje umělého osvětlení, která jsou montována do prostorů s nedostatkem denního světla. Podrobněji je to popsáno v kapitole 1.5.

### 1.5.9 Řady osvětlenosti

Osvětlenost svítidel  $E$  (lx) rozlišujeme takto:

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

Osvětlenost 20 lx je hraniční osvětlenost nutná pro rozpoznání rysů lidského obličeje.

---

2 Světlovody nejsou zdrojem umělého osvětlení, ale vzhledem ke komplikované mechanické montáži je nyní řadím do kategorie k samotným svítilnám, čili zdrojům umělého světla.

### 1.5.10 Činitel oslnění UGR (-)

Důvodem vzniku oslnění je nejčastěji rozdíl v jasech jednotlivých prostorů či přílišný jas v zorném poli oka. Oslněním bývá narušena zraková pohoda a v případě skutečně velkého oslnění dojde i ke ztrátě vidění. [2]

V publikaci Elektrické světlo 1 - Habel [8] je uvedena tato informace, kterou je nutné v návrzích osvětlení brát velmi vážně.

*„Oslepující a omezující oslnění by se nemělo v osvětlovacích soustavách vyskytovat. Bránit je však nutno již vzniku rušivého oslnění, zejména v pracovních prostorech.“*

Dle normy ČSN EN 12464-1 [12] „Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory“ se činitel oslnění spočítá takto:

$$UGR = 8 \cdot \log_{10} \left[ \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{L_p} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{L_{zi}^2 \cdot \Omega_i}{P_i^2} \right] \quad (-, cd \cdot m^{-2}, cd \cdot m^{-2}, sr, -) \quad (17)$$

$L_p$  ..... adaptační jas oka pozorovatele či jas pozadí ( $cd \cdot m^{-2}$ )

$L_{zi}$  ..... jas svítících částí i-tého oslňujícího svítidla ve směru k oku pozorovatele ( $cd \cdot m^{-2}$ )

$\Omega_i$  ..... prostorový úhel, pod nímž pozorovatel vidí svítící části i-tého oslňujícího svítidla (sr)

$P_i$  ..... činitel podle Luckieshe a Guha charakterizující vliv polohy i-tého oslňujícího svítidla vůči ose pohledu pozorovatele

$n$  ..... počet svítidel, která pozorovatele v dané pozici oslňují

Jas  $L_p$  se počítá z nepřímé složky vertikální osvětlenosti  $E_{nv}$ . [2]

$$L_p = \frac{E_{nv}}{\pi} \quad (cd \cdot m^{-2}; lx, -) \quad (18)$$

Činitel oslnění se počítá v bodech, v nichž uživatelé prostoru vykonávají požadovanou činnost, a to v průměrné výši očí buď sedící (1,2 m) nebo stojící (1,5 m) osoby, a v převážně se vyskytujících směrech jejího pohledu. V každém kontrolním bodě se pak z hodnot činitele oslnění stanovených pro různé směry pohledu uvažuje **nejvyšší** hodnota a ta **musí být nižší** než **maximální** dovolená hodnota uvedená v tabulkách v normě ČSN EN 12464-1. Mezní hodnoty činitele oslnění jsou vybrány z řady 16, 19, 22, 25, 28. Nejnižší hodnota 16 se požaduje pro prostory s nejpřísnějšími požadavky na zábranu rušivého oslnění, např. pro pracovny s monitory, a naopak hodnota 28 se uvažuje pro prostory s nejnižšími nároky na omezení oslnění. [2]

Tabulka 7: Přípustné hodnoty indexu oslnění UGR (-) ve vybraných vnitřních pracovních prostorech dle ČSN EN 12464-1 [12]

Typ pracoviště		UGR (-)
pracoviště s počítači		16
kanceláře		19
průmyslová pracoviště	jemná výroba	22
	běžná výroba	25
	hrubá výroba	28

## 2 Problematika osvětlování vnitřních prostorů budov

Lidé pro činnost uvnitř budov potřebují vhodné osvětlení. Toto osvětlení přispívá k psychické pohodě a celkově působí pozitivně na zdravotní stav. Pohoda a dobrý zdravotní stav pak pomáhají pracovníkům zadané úkoly plnit co nejefektivněji. Zároveň platí, že vhodně zvolené osvětlení správné intenzity je prevencí i proti úrazům.

Osvětlení uvnitř budovy lze řešit dvěma způsoby. První způsob je přivedení denního světla okny, světlíky či speciálními světlo-vodnými prvky. Druhý způsob je řešení osvětlení pomocí umělého zdroje, tj. cestou různých světelných zdrojů typu žárovka, zářivka, výbojka a podobně. Ideální situace nastává v okamžiku, kdy je možné osvětlení realizovat pouze denním světlem, které má příznivé fyziologické účinky na lidský organismus. To však v praxi prakticky není možné.

Zdrojem denního světla je Slunce. Sluneční svit vede ke dvěma hlavním složkám denního světla. První složkou je **přímé sluneční světlo**, druhou složkou je **oblohové světlo**.

- přímé sluneční světlo – světlo, které dopadne na povrch Země po průchodu a zeslabení v atmosféře
- oblohové světlo – část viditelného světelného záření, které se rozptýlí vlivem atmosféry a jejích nečistot

V praxi se tedy běžně používá kombinace denního i umělého osvětlení. Vše je ale dáno konstrukčními možnostmi. Jsou místa, kam se denní světlo nevyplatí vést a dále jsou místa, kde je to ekonomicky příliš komplikované.

Aby bylo dosaženo co nejvhodnějšího osvětlení, je nutné tedy respektovat mnoho kritérií, z nichž některé jsou nařízené normou, ostatní vycházejí ze snahy o dosažení zrakové pohody. Finální návrh osvětlení respektuje tato kritéria, ale zároveň je omezuje ze strany technického provedení, pořizovací ceny, spotřeby a ceny údržby. Je tedy nutné najít určitý kompromis ve snaze zavést nejlepší možné osvětlení s minimálními technickými, pořizovacími a udržovacími náklady.

Tabulka 8: Typické úrovně osvětlenosti  $E$  (lx) pro denní a umělé osvětlení [2]

Charakteristika dne	$E$ (lx) pro denní osvětlení	Druh prostor	$E$ (lx) pro umělé osvětlení
slunečný letní den	60 000 až 100 000	kanceláře	300 až 1 000
zamračený letní den	do 20 000	průmyslové haly	100 až 500
zamračený zimní den	do 3 000	obytné prostory	100 až 300
jasná měsíční noc	do 0,25	sklady	50 až 100
jasná noc – měsíc v Novu	do 0,01	-	-



## 2.1. Základní parametry

### 2.1.1 Činitel denní osvětlenosti $D$ (%)

Poměr osvětlenosti vnitřního  $E$  a venkovního prostoru  $E_{eh}$  za rovnoměrně zatažené oblohy. Zároveň jsou do hodnoty činitele denní osvětlenosti zahrnuty hodnoty respektující vliv nečistot, prostupu světla, zasklení atd. [1]

$$D = \frac{E}{E_{eh}} \cdot 100 \quad (\%; lx, lx) \quad (19)$$

Činitel denní osvětlenosti  $D$  lze stanovit výpočtem. [1]

$$D = D_{ob} + D_e + D_i \quad (\%; \%, \%, \%) \quad (20)$$

### 2.1.2 Oblohová složka $D_{ob}$ (%)

$$D_{ob} = \frac{E_{ob}}{E_{eh}} \cdot 100 \quad (\%; lx, lx) \quad (21)$$

### 2.1.3 Vnitřní odražená složka $D_i$ (%)

$$D_i = \frac{E_i}{E_{eh}} \cdot 100 \quad (\%; lx, lx) \quad (22)$$

### 2.1.4 Vnější odražená složka $D_e$ (%)

$$D_e = \frac{E_e}{E_{eh}} \cdot 100 \quad (\%; lx, lx) \quad (23)$$

Zdrojem oddílů 2.1.1, 2.1.2, 2.1.3, 2.1.4 je publikace. [1]

### 2.1.5 Světelné vlastnosti látek

Vlivem dopadajícího světelného toku na určité látky dochází k pohlcení, odražení a průchodu tohoto toku látkou. [2]

Světelný tok, který je částečně odražen od materiálu, značíme  $\Phi_\rho$ , činitel odrazu  $\rho$  se pak spočítá: [2]

$$\rho = \frac{\Phi_\rho}{\Phi} \quad (-; lm, lm) \quad (24)$$

Světelný tok, který částečně projde skrze materiál, značíme  $\Phi_\tau$ , činitel prostupu  $\tau$  se pak spočítá: [2]

$$\tau = \frac{\Phi_{\tau}}{\Phi} \quad (-; lm, lm) \quad (25)$$

Světelný tok, který je částečně pohlcen v materiálu, značíme  $\Phi_{\alpha}$ , činitel pohlcení  $\alpha$  se pak spočítá: [2]

$$\alpha = \frac{\Phi_{\alpha}}{\Phi} \quad (-; lm, lm) \quad (26)$$

Součet těchto činitelů je roven 1. Tedy: [2]

$$\rho + \tau + \alpha = 1 \quad (27)$$

Činitelé  $\rho$ ,  $\tau$  a  $\alpha$  nejsou závislé pouze na vlastnostech látky, viz Tabulka 9, ale jsou závislé i na úhlu dopadu a vlnové délce světla: [2]

Tabulka 9: Průměrné hodnoty činitele prostupu světla  $\tau$  běžných materiálů dle ČSN EN 12464-1 [12]

Druh materiálu	Činitel prostupu světla $\tau$ (-)
Čiré tabulkové sklo	0,92
Surové sklo	0,88
Vzorované sklo	0,85 – 0,90
Drátové sklo 6-7 mm	0,60 – 0,86
Mdlené sklo	0,75 – 0,80
Laminát se skelným vláknem	0,35 – 0,85
Akrylát činný	0,85 – 0,92
Akrylát rozptylný	0,60 – 0,80
Determální skla	0,35 – 0,70
Reflexní skla	0,55 – 0,65
Skleněné tvárnice jednovrstvé	0,85 – 0,89
Skleněné tvárnice dvouvrstvé	0,55 – 0,62
Záclony	0,50 – 0,75

## 2.2. Požadavky na osvětlení

Norma ČSN EN 12464-1 definuje prostory, úkoly a prováděné činnosti v těchto prostorech. Naši výrobu, pro kterou provádím návrh osvětlení, jsem zařadil do oblasti průmyslových prostor a činností. Definoval jsem vykonávané činnosti jako montážní práce jemné. Z toho nám již plyne průměrná hodnota osvětlenosti, index oslnění a barevného podání. Nebudeme se ovšem držet spodní hranice osvětlenosti, náš cíl bude pracovat s minimální hodnotou 600 lx. Vycházím z teorie, že ztlumit výkonnější svítidlo lze, ale pokud bude světla méně, náprava bude ekonomicky velice náročná.

Tabulka 10: Požadavky na osvětlení pro místnosti (prostory), úkoly a činnosti dle ČSN EN 12464-1 [12]

Druh prostoru, úkolu nebo činnosti	$E_m$ (lx)	UGR (-)	$R_a$ (-)
Komunikační zóny a společné prostory uvnitř budov			
- komunikační prostory a chodby	100	28	40
- schodiště, eskalátory, pohyblivé chodníky	150	25	40
- kantýny, spíže	200	22	80
- odpočívárny	100	22	80
- šatny, umývárny, koupelny, toalety	200	22	80
- ošetřovny	500	16	90
- provozní místnosti, rozvodny	200	25	60
- expedice a balírny	300	25	60
- regálové sklady – uličky s obsluhou	150	22	60
– uličky bez obsluhy	20	-	40
Průmyslové činnosti a prostory			
- svařování	300	25	60
- hrubé a střední strojní opracování, tolerance $\geq 0,1$ mm	300	22	60
- jemné strojní opracování, broušení, tolerance $\leq 0,1$ mm	500	19	60
- rýsování, kontrola	750	19	60
- výroba náradí a řezných nástrojů	750	19	60
- montážní práce - střední	300	25	80
- jemné	500	22	80
- velmi jemné	750	19	80
Administrativní prostory (kanceláře)			
- zakládání dokumentů, kopírování, atd.	300	19	80
- psaní, psaní na stoji, čtení, zpracování dat	500	19	80
- technické kreslení	750	16	80
- konferenční a zasedací místnosti	500	19	80
- archivy	200	25	80
Obchodní prostory	300	22	80
- prodejní prostory	300	22	80
- prostory u pokladen	500	19	80
- vstupní haly	100	22	80
- šatny, toalety	200	25	80

Tabulka 11: Třídy zrakových činností a hodnoty činitele denní osvětlenosti dle ČSN EN 12464-1 [12]

Třída zrakové činnosti	Charakteristika zrakové činnosti	Poměrná pozorovací vzdálenost	Příklady zrakových činností	Hodnota činitele denní osvětlenosti $D$ (%)	
				minimální $D_{min}$ (%)	průměrná $D_m$ (%)
I	mimořádně přesná	3 330 a větší	Nejpřesnější zraková činnost s omezenou možností použití zvětšení	3,5	10
II	velmi přesná	1 670 až 3 330	Velmi přesné činnosti při výrobě a kontrole	2,5	7
III	přesná	1 000 až 1 670	Přesná výroba a kontrola, rýsování, technické kreslení	2	6
IV	středně přesná	500 až 1 000	Středně přesná výroba a kontrola, čtení psaní	1,5	5
V	hrubší	100 až 500	Hrubší práce, manipulace s předměty a materiálem	1	3
VI	velmi hrubá	menší než 100	Udržování čistoty, sprchování a mytí, převlékání	0,5	2
VII	celková orientace	-	Chůze, doprava materiálu, skladování hrubého materiálu	0,2	1

**Požadavky pro návrh nového osvětlení**

V návaznosti na doporučení normy a na potřeby výroby volím následující hodnoty:

$$E_m = \min 600 \text{ lx}$$

$$R_a = 0,85 - 0,9$$

$$UGR = 22$$

### 2.3. Osvětlování pracovních prostor uvnitř budovy

Prakticky nezbytným úkonem, který je nutné provést při řešení osvětlení průmyslové haly nebo jiných objektů či prostor, je zpracování projektu pro osvětlení. Tento projekt je řešen dle podkladů, které jsou k dispozici od zadavatele/investora. Zde je vhodné vědět, jaké bude rozložení technologií ve výrobních prostorách či jak to bude vypadat v prostorách kancelářských. Z těchto informací je poté možné s přihlédnutím ke speciálním požadavkům a normám vycházet při řešení samotného projektu. Nejsou-li tyto informace k dispozici, vychází se z obecných předpokladů, norem a praktických zkušeností.

Pro každý projekt osvětlení je tedy třeba co nejpřesnější zadání a dostatek informací o technologiích a činnostech, které budou v daném místě provozovány.

#### Obecně můžeme říci, že v praxi nastávají tyto problémy

##### 2.3.1 Obecné zadání

Toto zadání bohužel vede k instalaci osvětlení, které se může ukázat jako nevhodné pro budoucího provozovatele prostorů. Pro provoz bude zřejmě nutné dodatečné osvětlení ať už mobilní, částečné nebo úplné. Mobilní osvětlení může doplnit chybějící osvětlení v některých místech i žádoucím způsobem, ale jeho nevýhoda spočívá v dalších pořizovacích nákladech, zabírá další prostor vyhrazený pro výrobu a může být ekonomicky dost nevhodné. Dodatečné osvětlení částečné či úplné spočívá v doinstalování dalších svítidel do současné rozvodné sítě, což je investice opět velmi nákladná.

##### 2.3.2 Přesné zadání

Zadání investorem je maximálně přesné. Je tedy možné vytvořit perfektní projekt osvětlení, který bude odrazem veškerých prostor, denního přísvitu, rozmístění technologií, povrchů, rozmístění vybavení, definicí uživatelských ploch, tříd osvětlení a prostě všeho, co je pro osvětlení nezbytností. Dle tohoto projektu je montážní firma schopna správně osadit zvolená svítidla. Předpokladem je výše uvedená snaha o co nejlepší světelné podmínky za minimální náklady.

##### 2.3.3 Modifikace

Situace vychází z přesného zadání, viz bod výše. Bohužel těsně před realizací samotného projektu dojde ke změnám a je nutné projekt upravit. Běžně se stává, že realizační firmy neprovedou instalaci dle požadavků, pak dochází ke střetu technologií. Příkladem je třeba běžná instalace vzduchotechniky. Potrubí pro úpravu vzduchu bylo posunuté a nyní brání instalaci svítidel tak, že nemohou být instalována nebo jsou kompletně zakryta. Zde obvykle nastává situace, že kdo dříve přijde, ten problémy neřeší. A osvětlení se obvykle instaluje v posledních fázích. Dalším běžným problémem je kompletní změna zadavatelské dokumentace a podobně.

Samotná úprava projektu je pak náročnou záležitostí. Prakticky je nutné návrh a spoustu výpočtů provést znovu.

Druhým problémem je, že v tomto stádiu jsou již běžně svítidla vyrobena, elektroinstalace provedena. Další změny jsou tedy nejen nevhodné, ale bohužel z časových a finančních důvodů velmi nepříjemné.

## 2.4. Možnosti energetických úspor

### 2.4.1 Senzory pohybu

#### Princip činnosti

Jedno z nejjednodušších řešení pro úsporu elektrické energie je použití senzorů pohybu. Nejčastěji se jedná o čidla typu PIR (zkratka z anglického označení pasivní infračervený detektor). Čidla pracují na principu pyroelektrického jevu, kde při změně teploty dojde k vyvolání elektrického potenciálu. Prakticky to znamená, že když osoba vejde do místnosti, čidlo zaznamená pohyb. Nejedná se ale o snímání pohybu, nýbrž o snímání tepla v určené oblasti. Změna teploty v oblasti, způsobená teplotou lidského těla, je čidlem vyhodnocena a dojde k reakci. Reakcí běžně bývá sepnutí relé, na které je připojeno svítidlo.

Čidla typu PIR se nehodí pro všechna prostředí. Nevhodně umístěné čidlo PIR může vyvolávat nechtěná sepnutí svítidel. Typickým případem, kde čidlo PIR nepoužít, je osazení v blízkosti výdechů vzduchotechniky. Proudění ohřátého vzduchu vyvolá reakci čidla.

Druhým řešením čidel pohybu je princip rádiový. Rádiový signál je vysílán do okolí a jeho odražená složka je v čidle následně analyzována. Tímto způsobem lze detekovat předměty nevyzařující teplo do okolí, například otevření dveří a podobně. Použitím tohoto typu čidla můžeme vyřešit problém u zmiňované vzduchotechniky.

Oba typy čidel mají své výhody a nevýhody. Použitím obou systémů najednou vznikne čidlo kombinované. Tyto čidla jsou pak odpovědi na přesné snímání pohybu bez ohledu na okolní prostředí. Nejčastěji se používají tyto typy montáže: stropní, nástěnné a do podhledů.

Zmíněná čidla jsou totožná s těmi, které se používají v zabezpečovací technice PZTS.

#### Použití

Běžně se setkáváme se situací, kdy osoba odejde z místnosti a nezhasne. Nezáleží na tom, zda je to způsobené tím, že zapomene, nebo má plné ruce, či spěchá. Ve všech případech se jedná o zbytečnou ztrátu elektrické energie a tím o ztrátu finanční.

Řešením je osazení prostor čidlem pohybu, které vyhodnotí situaci a ve vhodných okamžicích bude svítidla spínat a vypínat. Zpravidla je tento systém doplněn o předdefinované zpoždění. Důvodem je praktičtější využití. Ničemu neposlouží, když nevhodně dojde k okamžitému vypnutí osvětlení. Příkladem může být osoba, co se bez pohybu po určitou dobu pozoruje v zrcadle.

Čidla, která slouží pouze pro zapínání a vypínání jednotlivých svítidel či celých skupin svítidel, osazujeme do těchto prostor:

- Chodby
- Sociální zařízení
- Technické místnosti

Jde o prostory, kde není nutné regulovat intenzitu osvětlenosti či realizovat zapínání a vypínání dle určitého harmonogramu.

#### 2.4.2 LED

Úspora použitím LED světelných zdrojů namísto starších technologií typu výbojka či žárovka, je v dnešní době již zřejmá. Pomocí LED jsme schopni dosáhnout mnohem vyššího světelného toku za výrazně nižšího instalovaného elektrického příkonu. Při zvažování modernizace osvětlení může stále ještě být nevýhodou vyšší pořizovací cena LED svítidel, ale v dlouhodobějším horizontu se to po ekonomické stránce rozhodně vyplatí. Při zvažování nového typu osvětlení, například u stavby budovy, je LED dnes už jasnou volbou.

#### 2.4.3 Plánování zapnutí a vypnutí

Pomocí nadřazeného systému, který bude osvětlení ovládat, můžeme jednoduše docílit toho, aby se svítidla aktivovala sama v přesně stanovenou dobu. Příkladem může být výrobní hala s jednosměrným provozem. Směna začíná v 6:00, proto se osvětlení automaticky aktivuje krátce před jejím započítím. Stejná situace platí pro vypínání. Není třeba se spoléhat na paměť pracovníků, systém vše ukončí sám. Automatika je běžně doplněna i o senzory a ovládací prvky. Nebylo by vhodné, kdyby při prodloužení směny systém vše shodil a stejně tak by nebylo dobré, aby nešlo osvětlení aktivovat manuálně.

#### 2.4.4 Regulace přísvitu

Podobně jako jsme používali senzory pro snímání pohybu, je možné použít i senzory pro snímání osvětlenosti místností. Senzor tedy neustále snímá úroveň osvětlenosti a informuje o tom nadřazený systém. Systém vyhodnotí situaci a provede regulaci přísvitu. V případě nižší úrovně osvětlenosti, způsobené například zataženou oblohou, navýší výkon svítidel a naopak. Senzory obvykle bývají duální, obsahují tedy sensoriku pro snímání úrovně osvětlenosti a zároveň i pohybové čidlo.

Použití je obvykle v kancelářských prostorách. Duální senzor předává nadřazenému systému i informaci o tom, že v místnosti už není žádná osoba. Systém pak automaticky ztlumí nebo vypne osvětlení.

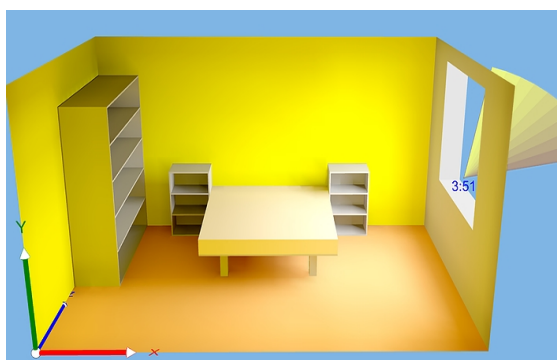
Regulací výkonu svítidla a vypnutím osvětlení tedy dochází k výrazné úspoře elektrické energie.

## 3 Programy pro výpočet osvětlení

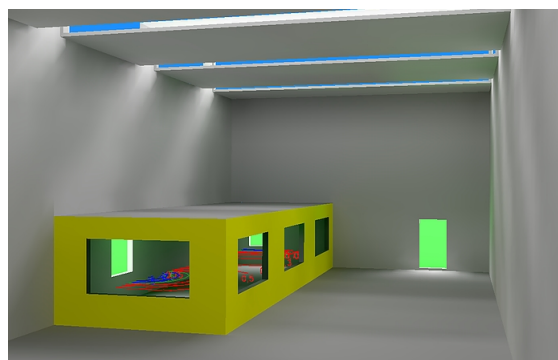
### 3.1. Wils (Building design)

Wils je program pro návrhy a výpočet osvětlení od českého výrobce ASTRA MS Software s.r.o. Oproti programům Relux a DIALux působí jednodušším dojmem. To ale neznamená, že by byl ochuzen o výpočetní funkce. Disponuje algoritmy pro výpočet denního a umělého osvětlení, včetně jejich kombinací a dalšími prvky pro kompletní světelné výpočty a simulace. Obsaženy jsou i normy pro srovnání nasimulovaných a vypočítaných výsledků. V kombinaci s novým modelářem osvětlovaných prostorů BuildingDesign se jedná o výkonný nástroj pro návrhy a výpočty osvětlení.

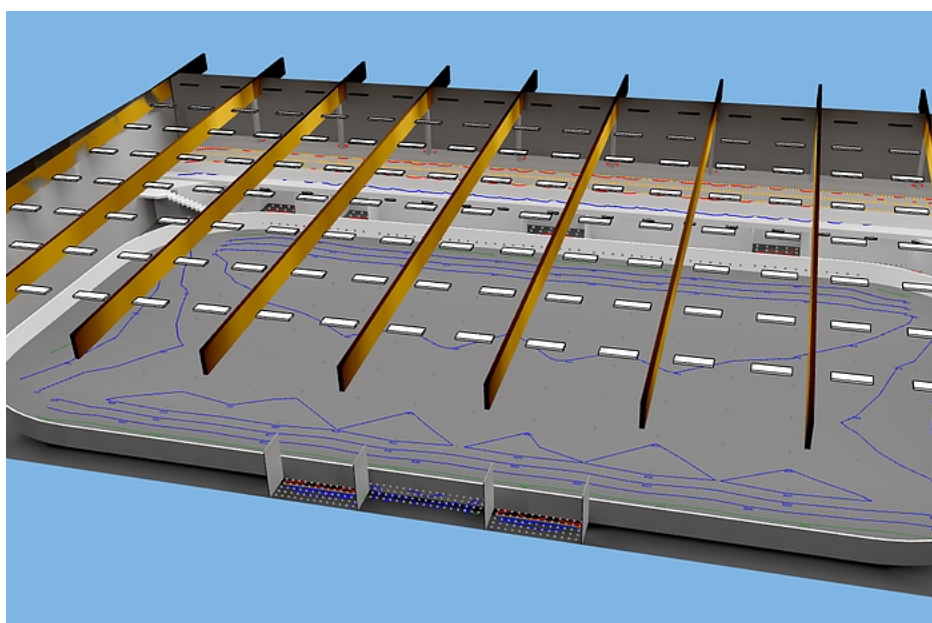
Program je po registraci zdarma, je možné zakoupit další výpočetní moduly a rozšiřující katalogy svítidel. Od stejného výrobce je možné používat i programy pro výpočet vzduchotechniky a pro tvorbu elektronických výkresů.



Obrázek 19: Wils - osvětlení místnosti [21]



Obrázek 18: Wils - osvětlení haly [21]

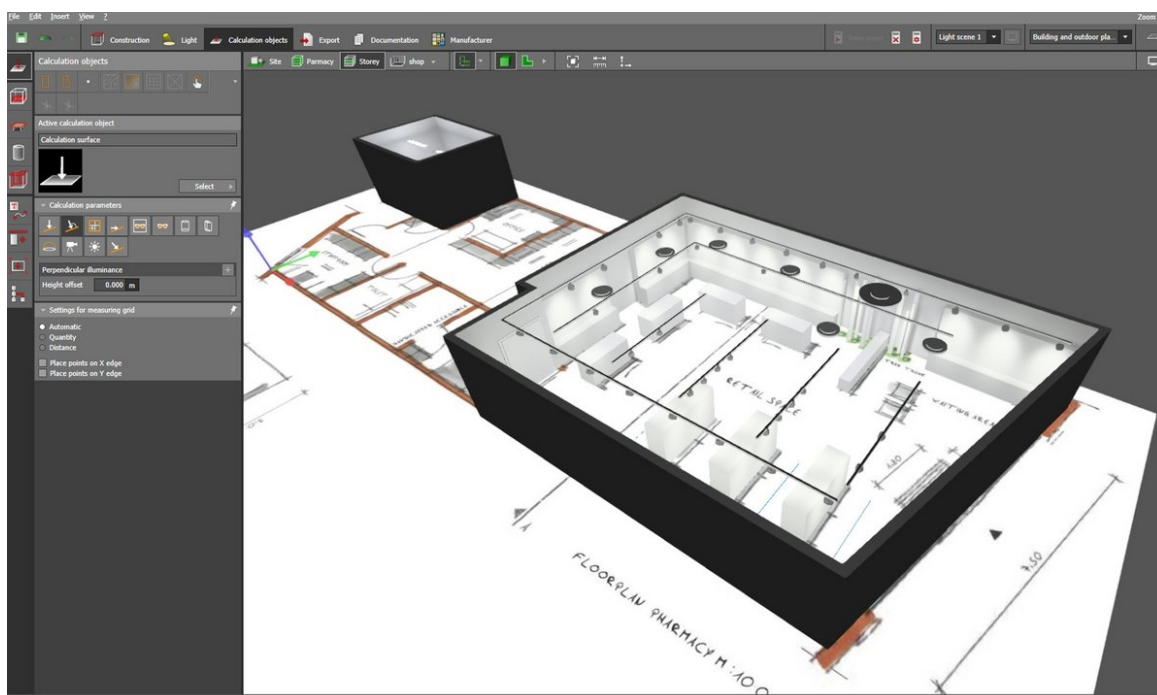


Obrázek 20: Wils - výpočet osvětlení průmyslové haly [21]



### 3.2. DIALux

DIALux lze popsat jako efektivní software pro plánování a výpočty osvětlení. Vývoj a aktualizace provádí firma DIAL GmbH se sídlem v Německu. Můžeme v něm vytvářet interiéry i exteriéry pro plánování světla vnitřního či venkovního osvětlení. Software díky jeho jednoduchosti, mohou využívat prakticky všichni uživatelé (technici, projektanti, designéři, atd). Součástí programu je rozsáhlá databáze svítidel světových výrobců. Stejně jako u dalších komplexních programů pro výpočet osvětlení, ani zde nechybí import CAD souborů. Vypočítané hodnoty a vzniklá řešení je možné porovnat s příslušnými normami a mezinárodními předpisy, které jsou součástí DIALuxu. Software DIALux je zdarma pro komerční i osobní potřeby.



Obrázek 21: Návrh osvětlení v programu DIALux – místnost lékárny[20]

### 3.3. Zhitov.ru

Na webu lze najít několik kalkulaček pro základní světelné výpočty. Nejedná se o žádné komplexní programy, jako DIALux, Relux a podobně. Prakticky se jedná o kalkulačku, kde je možné vložit několik vstupních parametrů a výstupem je počet a výkon svítidel. Někdo si možná řekne, že je to zbytečný nástroj, ale s tím já nesouhlasím. Ve své podstatě se jedná o velice rychlý, maximálně jednoduchý a všem přístupný nástroj, k získání základních informací, bez nutnosti stahovat a instalovat velké balíky programů, platit licence, modelovat budovy či hledat výkresy budov pro jejich import a následnou práci s nimi. Samozřejmě v těchto nástrojích nebudeme projektovat osvětlení průmyslových budov, mostů a silnic či osvětlení opery v Sydney. Pokud ale chceme zjistit, kolik svítidel určitého výkonu chceme mít v dětském pokoji, tyto programy jsou správnou volbou.

Jako ukázkou jsem zvolil nástroj pro výpočet osvětlení od programátora Dmitri Zhitova. Na jeho stránkách lze najít neskutečně mnoho praktických kalkulaček pro návrhy a výpočty mnoha problémů, které se týkají vesměs stavebnictví (návrh schodiště, objem nařezaného dřeva nebo i množství cementu pro beton). Nutno ovšem dodat, že podobnou kalkulačku pro výpočet osvětlenosti lze najít i na stránkách Reluxu.

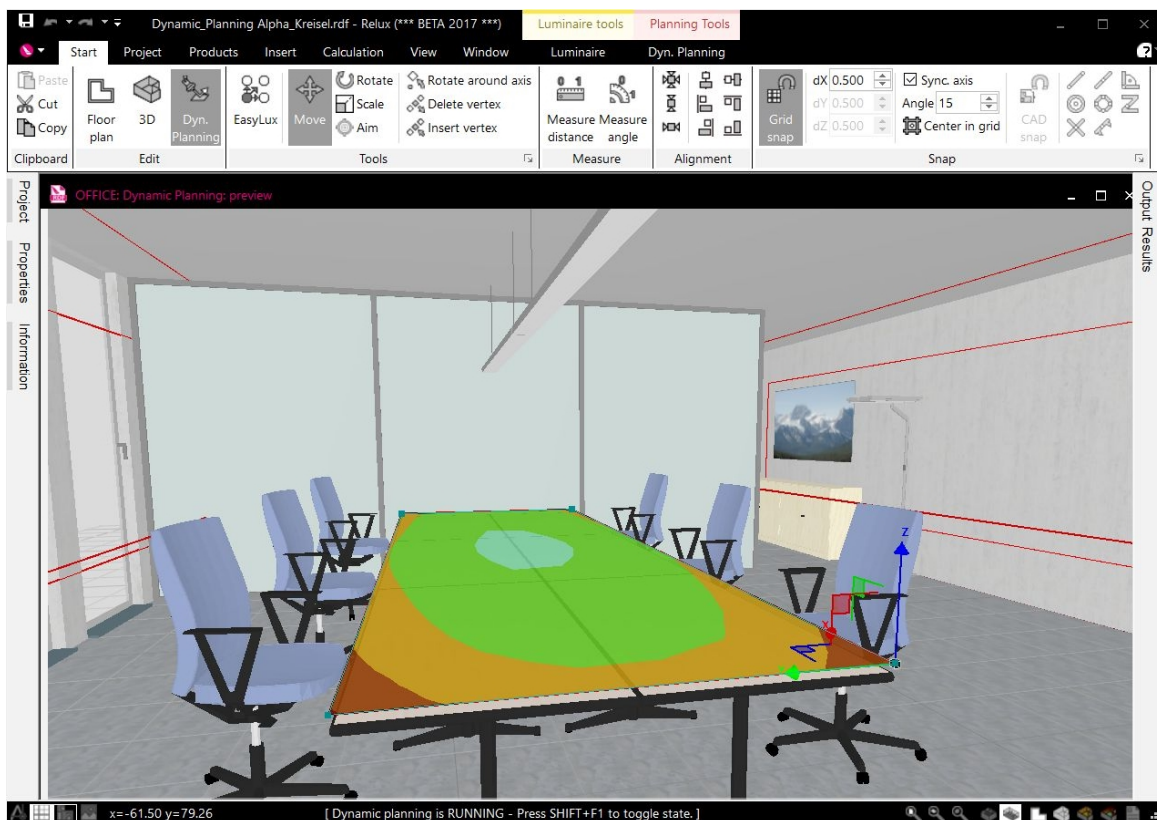
Obrázek 22: Kalkulačka pro výpočet osvětlení od Dmitri Zhitova [22]

### 3.4. Relux

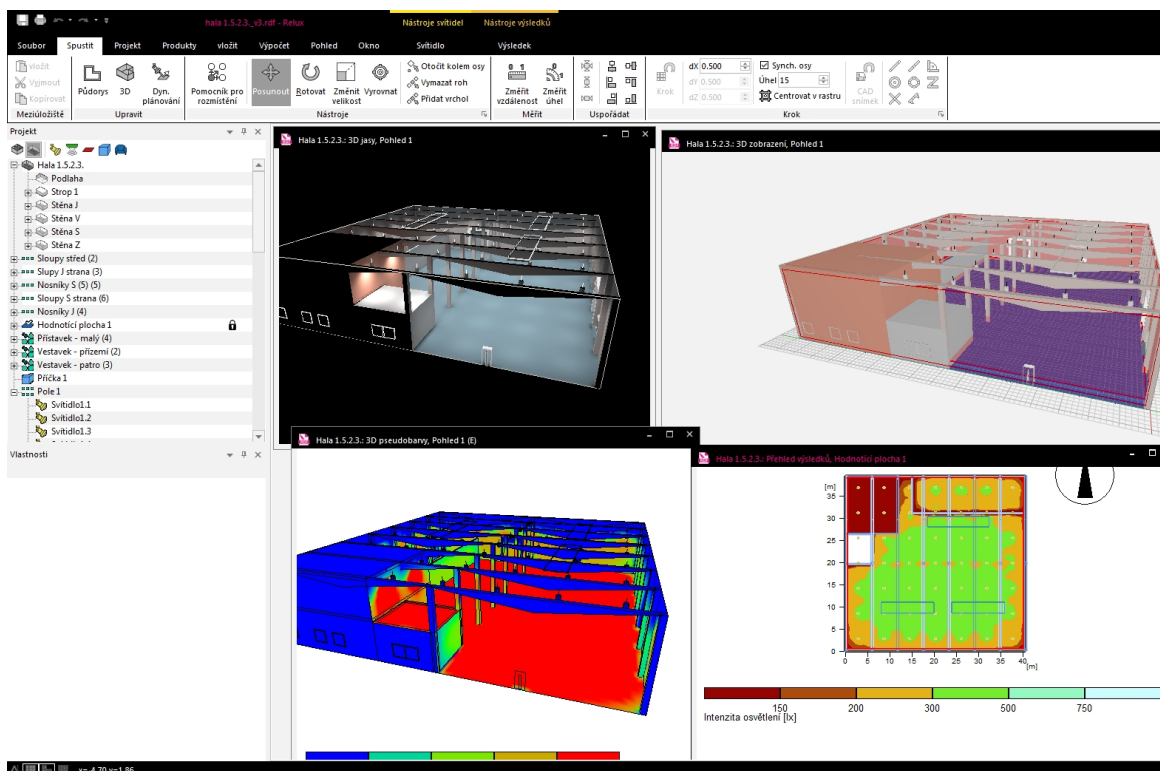
Světelně technický výpočetní program Relux je švýcarský program na špičkové evropské úrovni s možností připojení databází svítidel českých i mezinárodních výrobců. V porovnání s programem Wils je mnohem propracovanější a nabízí přívětivější 3D prostředí. Program umožňuje práci s několika formáty světelně technických dat a možnost importovat charakteristiky jednotlivých svítidel. Pomocí tohoto programu je možné počítat umělé, denní, sdružené i nouzové osvětlení. V programu je obsaženo velké množství vnitřního vybavení, nábytku, materiálu a textur pro možný výpočet vnitřního, venkovního a pouličního osvětlení.

V případě půdorysných podkladů v provedení 2D a 3D je možné importovat objekt z CAD programu, poté navrhnout osvětlovací soustavu umělého osvětlení v programu Relux a po vrácení do CAD programu se objeví navržená osvětlovací soustava v půdorysu daného prostoru. Následně je možné s touto soustavou pracovat, případně ji rozdělit, ovšem v této situaci je nutné opět provést výpočet světelných parametrů v programu Relux a ověřit, zda tyto parametry vyhovují požadavkům uvedeným v normách. Také lze využít formáty dxf, vrml, 3ds a wmf, což podstatně usnadní práci s vytvářením daného objektu určeného k návrhu osvětlení. [10]

Obrovskou výhodou programu RELUX je obsáhlá databáze svítidel. WEB výrobce ovšem obsahuje informací mnohonásobně více. Je možné v katalogu osvětlení nadefinovat požadovaný typ svítidla a tento pak jednoduše dvěma kliknutími importovat do programu. V základní verzi je program RELUX (relux desktop) zdarma. Je možné dokoupit rozšiřující doplňky.



Obrázek 23: Návrh osvětlení v programu Relux – jednací místnost [19]



Obrázek 24: Návrh osvětlení v programu Relux řešené průmyslové haly

## 4 Současný stav osvětlení

Průmyslová hala byla pronajata jako výrobní hala, kde předchozí pronajímatel vyráběl a kompletoval dřevěné obrobky. Hala byla téměř čtvercového půdorysu s jednopatrovou vestavěnou místností pro kancelářské, technické a sociální zázemí. Okna jsou umístěna pouze v nevýrobních prostorech. Ve stropě haly je 5 sedlových světlíků různých velikostí, propouštějící do výrobních prostor denní světlo. Světlíky jsou dálkově ovládané, čili je možné je polohovat ve smyslu otevřít/zavřít. Polohovatelnost nás v novém návrhu nebude zajímat, světlíky jsou trvale zavřené.

Hala je osazena 48 vysokotlakými halogenidovými výbojkami typu Elettroplastica Cuba 2 Refl. 450 LC0006422 které jsou umístěny po celé délce haly ve dvou zkrácených řadách po 5 výbojkách a ve čtyřech řadách po 7 výbojkách. Pravý dolní roh haly byl zřejmě posílen dalšími třemi výbojkami stejného typu.

### Údaje o svítidle

Účinnost svítidla	: 62.49%
Účinnost svítidel	: 41.37 lm/W
Klasifikace	: A60 □ 100.0% ↑ 0.0%
CIE Flux Codes	: 73 97 100 100 62
UGR 4H 8H	: 21.3 / 21.3
Předřadník	: conventional inductive ballast, with ignition device
Výkon	: 287 W
Světelný tok	: 11873.1 lm

Rozměry : Ø454 mm x 540 mm

### Osazeno

Počet	: 1
Označení	: MT//OSRAM
Výkon	: 250 W
Barva	: 4500K
Světelný tok	: 19000 lm
Podání barev	: 65



Obrázek 25: Svítidlo Elettroplastica Cuba 2 Refl. LC0006422

Technické parametry svítidla Elettroplastica Cuba 2 Refl. LC0006422 jsou uvedeny v příloze č. 4.

Osvětlení je ovládáno centrálními vypínači rozdělenými do 3 sekcí. Sekce jsou ovládány manuálně z centrálního vypínače, umístěného na stěně kancelářských prostor u hlavního vchodu do haly. Intenzita osvětlení je ovladatelná manuálně.

Další částí osvětlení v hale je nezávislé zálohované bezpečnostní osvětlení, které má automaticky nabíhat při výpadku elektrické energie a při mimořádných stavech. Pro nouzové zálohované osvětlení jsou použita bezúdržbová svítidla typu UNILUX UX-EMERGENCY 2841 s nouzovým polepem (Obr. 26).





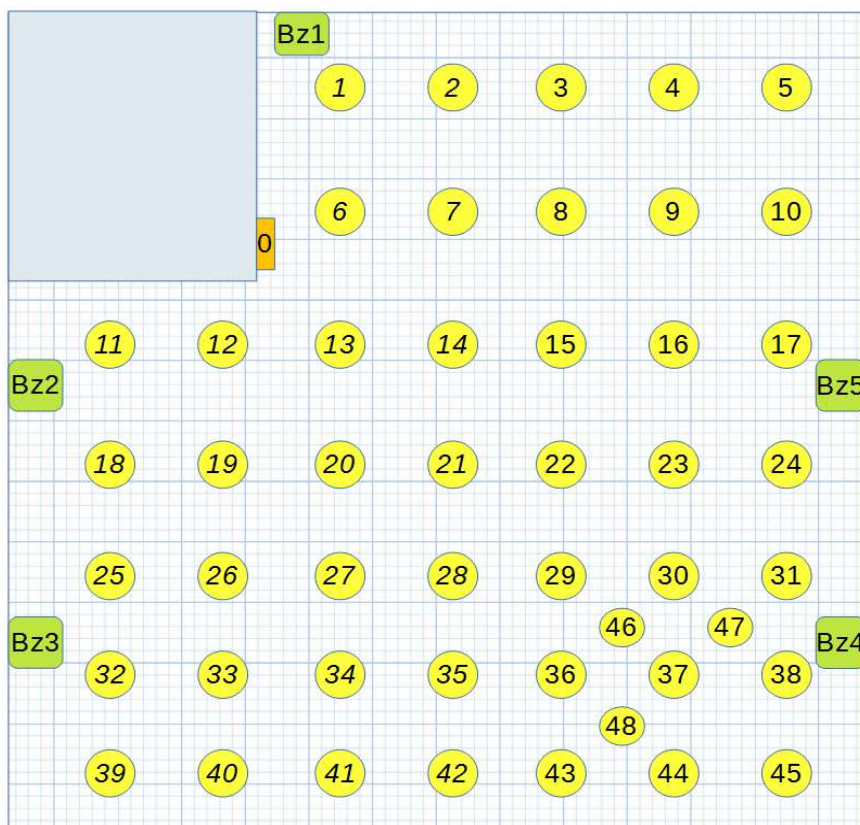
Obrázek 26: Svítidlo UNILUX UX-EMERGENCY 2841

Bezpečnostní osvětlení haly je též nevyhovující. Rozmístění svítidel a jejich počet není postačující pro evakuaci v případě nouze. Druhým problémem je zřejmě jejich nefunkčnost. Po rozebrání svítidla Bz5 nebyla objevena baterie, nebylo ani napojeno na centrální UPS systém. Zprávou PBŘ nedisponujeme, čili neumím zjistit, jestli byla záloha vyžadována, ale běžně to tak bývá. Pominu-li zálohování, bezpečnostní neboli únikové osvětlení se neaktivuje při výpadku elektřiny, stejně tak ani při poplachu EPS.

Kancelářské prostory jsou vybaveny čtvercovými svítidly EATON - MODUSPEC MS6414ZT se čtyřmi zářivkami. Tato svítidla jsou zabudována v podhledech místností ve výšce 2,5 m případně 3,5 m. Všechny kanceláře jsou dále prosvíceny denním světlem. Zářivkami se svítí pouze když je obloha zakryta mraky a dojde k poklesu osvětlenosti, pochopitelně také ve večerních a nočních hodinách, kdy je úbytek světla též velice znatelný. Ovládání světel je manuální, řešené standardními nástěnnými vypínači ABB typ Tango. Osvětlení kancelářských prostor je dostatečné, dále se jím zabývat nebudeme.

Sociální a skladové (archiv) prostory řešit také nebudeme. Osvětlení je provedeno klasickou nebo halogenovou žárovkou postačujícího světelného výkonu, umístěnou ve svítidle neznámého typu. Jedinou zajímavostí na tomto provedení je dodatečná instalace pohybového senzoru, na základě kterého je světlo aktivováno. Důvodem byla pochopitelně snaha o úsporu energie.

Technické místnosti (výměník 1, výměník 2 a rozvodna) jsou osvětleny dvěma svítidly a pro své účely je to též plně postačující. Jedná se o zářivku typu Ecolite TL3902A - 2x36/EVG. Stavební úpravy ukazují na to, že byly přidány dodatečně.



Obrázek 27: Umístění výbojek původního osvětlení ve výrobních prostorách

Na obrázku výše je schematicky zobrazeno rozmístění původních svítidel, včetně únikového/bezpečnostního osvětlení a ovládacího panelu.

O	Ovládání
Bz1 - Bz4	Bezpečnostní osvětlení
1 - 48	Svítidla 1 - 48

Svítidla jsou rozdělena do 3 skupin, přičemž každá je ovládána samostatně z ovládacího panelu O.

1. Skupina 1 - 5, 11 - 17, 25 - 31, 39 - 45
2. Skupina 6 - 10, 18 - 24, 32 - 38
3. Skupina Dodatečná svítidla 46 - 48

Dle technické zprávy budovy jsou svítidla doplněna o manuální regulaci, kdy je intenzita osvětlení regulována ze 100 % na 70 % a 30 %. Bohužel se nejedná o regulaci, ale pouze o možnost zapnutí všech svítidel pomocí ovládacího panelu na jednu z uvedených hodnot intenzity osvětlení. Nelze tedy plynule regulovat intenzitu v závislosti na příspěvku denního osvětlení. Nelze nastavit jednu skupinu světla na 30 % a jinou na 70 %.

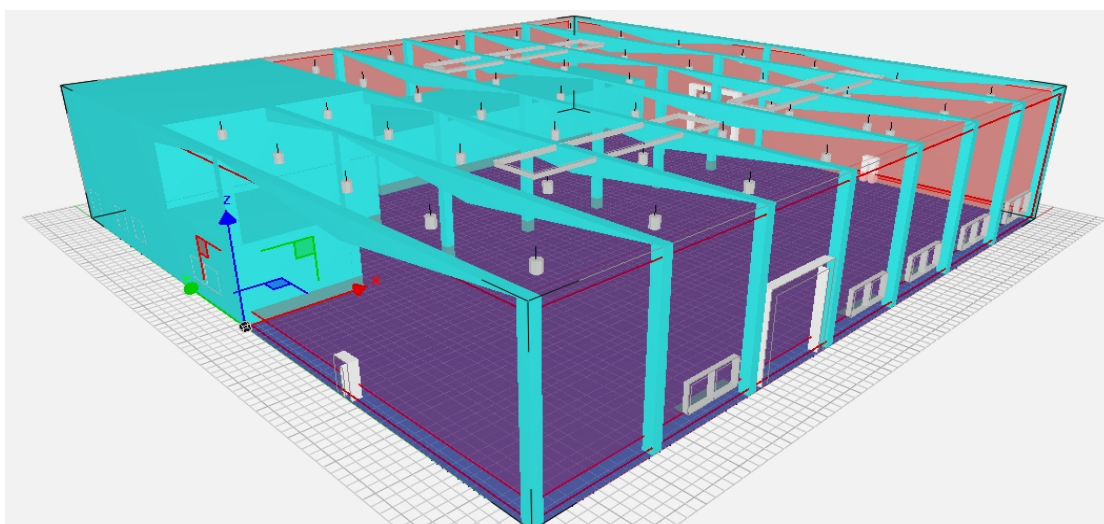
Při stavbě této průmyslové haly a následné instalaci technologie bylo zřejmě použito **obecné zadání** popsané v kapitole 2.3.1. Nejdříve byla postavena samotná hala bez ohledu na následný provoz. Doplněna byla instalace osvětlovací soustavy dle obecného projektu.

Použito bylo 48 závěsných svítidel s metal-halogenidovou výbojkou o výkonu 250 W a teplotě chromatičnosti  $T_c = 4\,500\text{ K}$ ). Dle požadavků bylo osvětlení haly projektováno na 300 lx, což je hodnota osvětlení pro střední obrábění a střední stupeň montáže [14] s rovnoměrným rozložením. Podle všeho bylo po samotné instalaci provedeno měření na ověření definovaných požadavků stanovených projektem. Jakých hodnot bylo dosaženo, se nám zjistit nepovedlo, ale tato informace není podstatná. Naším vlastním měřením bylo zjištěno, že hodnoty se pohybují mezi 150 - 800 lx, v závislosti na příspěvku denního osvětlení ze světlíků. Naše orientační měření bylo obecné, proběhlo pouze v několika místech výrobních prostor.

Použitý měřicí přístroj byl luxmetr LX-1108. Tímto měřením jsme si ověřili nedostatečné osvětlení nejen dle hygienických norem, ale hlavně nevhodnost osvětlení pro současný typ výroby.



Obrázek 28: Průmyslová hala, střešní světlíky a fotovoltaika



Obrázek 29: 3D model průmyslové haly se současným osvětlením

#### 4.1. Problémy stávajícího osvětlení

- 1) Nedostačující intenzita světla
- 2) Nevyhovující barva světla (index podání barev)
- 3) Denní světlo procházející světlíkem navyšuje osvětlenost výrobních prostor a v kombinaci s osvětlením oslňuje
- 4) Při nedostatku denního světla, je intenzita osvětlení na mnoha místech nedostatečná viz bod 1)
- 5) Není možné osvětlení dostatečně a plynule regulovat
- 6) Neexistující uživatelské nastavení s možností definovat plán, kdy světla rozsvítit a vypnout
- 7) Nefunkční bezpečnostní/únikové osvětlení

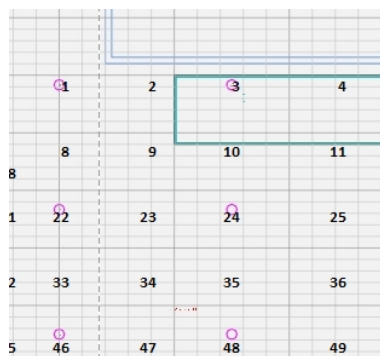
Tyto problémy byly, jak jsem již zmiňoval, zřejmě způsobeny cestou **obecného zadání** viz bod 2.3.1. Zároveň se na situaci podepsal zub času a nedostatečná údržba.

V současné době třístupňová skoková regulace (typu vypnout a zapnout) osvětlenosti nefunguje. Funkční jsou pouze stupně 100 % a 70 %. Stupeň nejvyšší intenzity je vhodný pouze v noci, při absenci denního osvětlení, dochází ale k nerovnoměrnému osvětlení. Druhou nevýhodou jsou výpadky celého systému při této intenzitě. Ve dne dochází v kombinaci s umělým osvětlením a přímým slunečním světlem (čili osvětlenosti více než 20 000 lx) k nepříjemným odrazům světla a k oslňování pracovníků. Nižší stupeň výkonu je vhodný k provozu v kombinaci s denním osvětlením při zamračené obloze (intenzita světlenosti kolem 5 000 lx). Třetí nejnižší stupeň je nefunkční. Teoreticky by mohl být hodný pro použití v kombinaci s příspěvkem denního přímého slunečního světla, ale tuto kutečnost již nelze nastavit a tudíž ani ověřit. I kdyby byla třetí varianta funkční a vhodná, celkový systém současného osvětlení není vhodný pro rychlou regulaci v návaznosti na změny intenzity denního osvětlení.

Prakticky je tedy manuální regulace nepoužitelná. K rozdílu osvětlenosti díky světlíkům vždy dojde. Znamená to, že pokaždé si na to musí pracovníci zvyknout, nebo se někdo musí sebrat a jít to přepnout. Už jen toto je špatný systém. Pomineme-li nevhodný systém přepínání z důvodu pomalé odezvy náběhu, samotné vypínání a opětovné zapínání těchto svítidel, snižuje jejich životnost. Druhou stranou nevhodnosti je lidský faktor. Za předpokladu, že je určen pracovník v blízkosti svítidla, který to má na starosti, mohou nastat situace, že dojde k návratu osvětlenosti krátce po jejím „regulování“. Neřešíme ani stavy, kdy určený pracovník není k dispozici. Tento typ manuální regulace pro osvětlení je jednoduše zcela nevhodný.

Pro posouzení konkrétního stavu bylo provedeno měření ve 181 definovaných bodech dle rastru v příloze č. 8.





Obrázek 30: Náhled měřicího rastru haly

Bylo vhodné si ověřit naměřenou skutečnost se simulací. Simulací jsou myšleny výstupní údaje programu RELUX. Díky absenci výkresů ve formátu .dwg, byla v programu RELUX vyprojektována celá hala včetně všech konstrukčních prvků (vestavky, nosníky, plášť, podlaha, atd.), které mohou mít vliv na osvětlení. Po zavedení příslušných parametrů, které ovlivňují světelný výpočet, byla do programu přidána i samotná svítidla Cuba. Jejich rozmístění bylo stejné, jako bylo stávající osvětlení.

Provedením výpočtů a porovnáním s naměřenými hodnotami pro denní osvětlení bylo zjištěno, že údaje simulace jsou ve všech měřicích bodech rozdílné. Jednalo se o rozdíl 10 – 40 %. Naměřené reálné hodnoty intenzity osvětlenosti byly tedy zhruba o 20 % nižší než v simulaci. Stejný test byl proveden i pro měření a výpočet umělého osvětlení. Překvapením bylo, že pro umělé osvětlení se výsledky příliš neliší, ale pro denní osvětlení již ano. Nejednalo se ale o chybu programu nebo chybu či nepřesnost v měření. Největší rozdíl naměřených a vypočítaných hodnot se projevoval pouze uprostřed haly, konkrétně v měřicí rovině pod světlíky. Zároveň se rozdíl vůbec neprojevoval, jak již bylo zmíněno, za použití pouze umělého osvětlení. Na vině byly skutečně světlíky, respektive již dříve zmiňovaná špatná údržba.

Program pracuje s předdefinovanou prostupností světla skrze materiál světlíku. Současné znečištění nebylo při výpočtu nijak zohledněno. Po změně údajů, na vyšší znečištění světlíků a tím i horší prostupnosti světla, se rozdíl mezi vypočtenými a naměřenými hodnotami zmenšil na takovou úroveň, kdy jsem mohl konstatovat, že světelné výsledky simulace a měření jsou dostatečně podobné, odchylka byla v řádech jednotek procent.

Výsledky jsou znázorněny na obrázcích 33, 34, 35 a 36, doplněné o příslušný komentář.

#### 4.1.1 Světlíky

Šikmé osvětlovací otvory na střeše haly. Po prozkoumání fyzického stavu je dle tabulek 9 a 12 řadím do kategorie střední stupeň znečištění.

vnější znečištění  $\tau_{ze} = 0,7$

vnitřní znečištění  $\tau_z = 0,9$

prostupnost materiálu (laminát čirý)  $\tau = 0,7$

Souhrnný činitel světelné propustnosti je pak roven  $\tau_{celk} = 0,7 \times 0,9 \times 0,7 = 0,441 (-)$



Obrázek 31: Sedlový světlík na střeše haly [39]

Tabulka 12: Činitelé znečištění  $\tau_{ze}$  a  $\tau_{zi}$  dle normy ČSN 73 0580-1 [14]

Druh osvětlovacího otvoru	Sklon zasklení osvětlovacího otvoru	Znečištění vzduchu	Činitel znečištění $\tau$ (-)	
			Na vnější straně $\tau_{ze}$ (-)	Na vnitřní straně $\tau_{zi}$ (-)
Svislý	90°	malé	0,95	0,95
		střední	0,90	0,85
		velké	0,85	0,65
Šikmý	45°	malé	0,80	0,95
		střední	0,70	0,90
		velké	0,60	0,80
Vodorovný	0°	malé	0,70	0,95
		střední	0,60	0,90
		velké	0,50	0,80

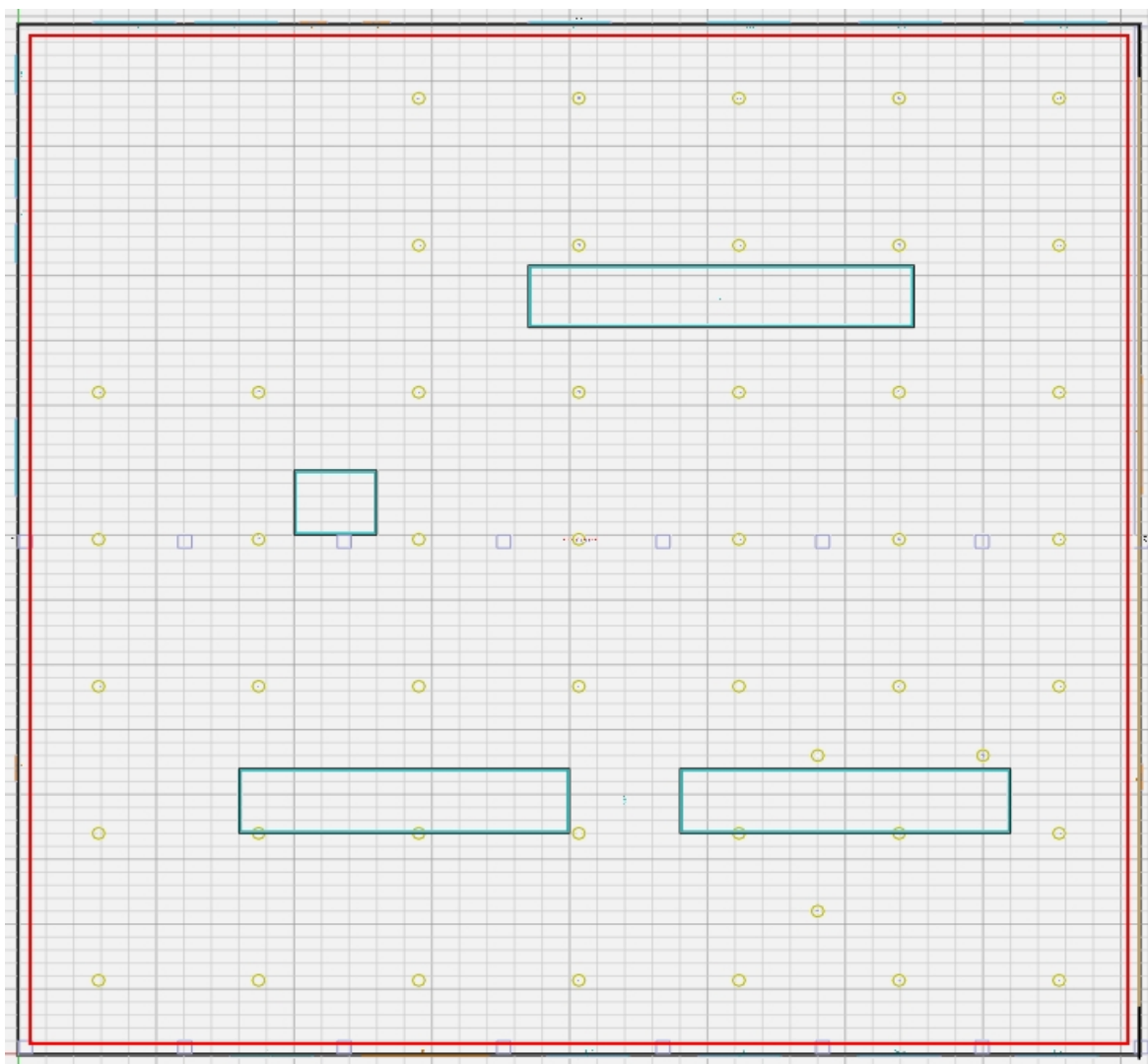
#### 4.1.2 Hodnoty činitele odrazivosti $\rho$ (-) materiálů v hale dle normy ČSN 73 0580-1

Stěny haly: 0,45  
 Podlaha haly: 0,4  
 Přístavek velký stěny: 0,75  
 Přístavek velký strop: 0,2  
 Vestavek stěny: 0,6  
 Přístavek malý stěny: 0,75  
 Přístavek malý strop: 0,2

#### 4.1.3 Rozsah činitelů odrazu $\rho$ hlavních povrchů místnosti doporučených normou ČSN 12464 – 1

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

Na obrázku 32 vidíme rozmístění svítidel CUBA. Zajímavostí je posílení systému svítidel o další 3 kusy v pravém dolním rohu haly.



Obrázek 32: Schéma rozmístění původních svítidel Cuba LC0006422

### Popis výkresu na obrázku 32

Světlíky – zelená barva

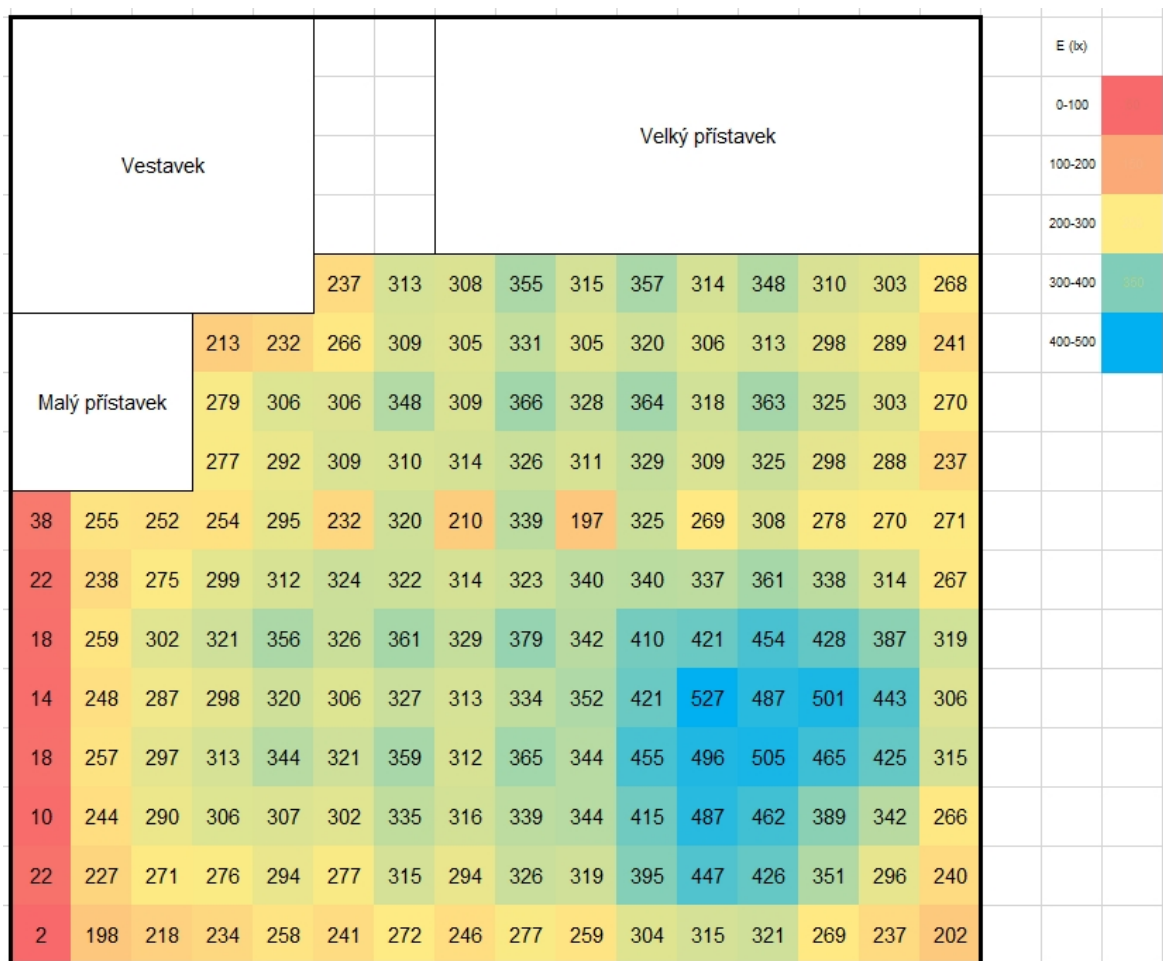
Svítidla Cuba – fialová barva

Vnitřní plášť haly – červená barva

Příčky a vestavky – modrá barva

## 4.2. Naměřené a simulované hodnoty osvětlenosti $E$ (lx) pro umělé osvětlení

Na obrázku 33 a 34 je vidět rozdíl reálných naměřených hodnot a hodnot simulovaných bez započtení vlivu prostupu světla znečištěnými světlíky. Jedná se tedy o měření a simulaci umělého osvětlení. Měření bylo provedeno v nočních hodinách, aby byl eliminován vliv denního světla.

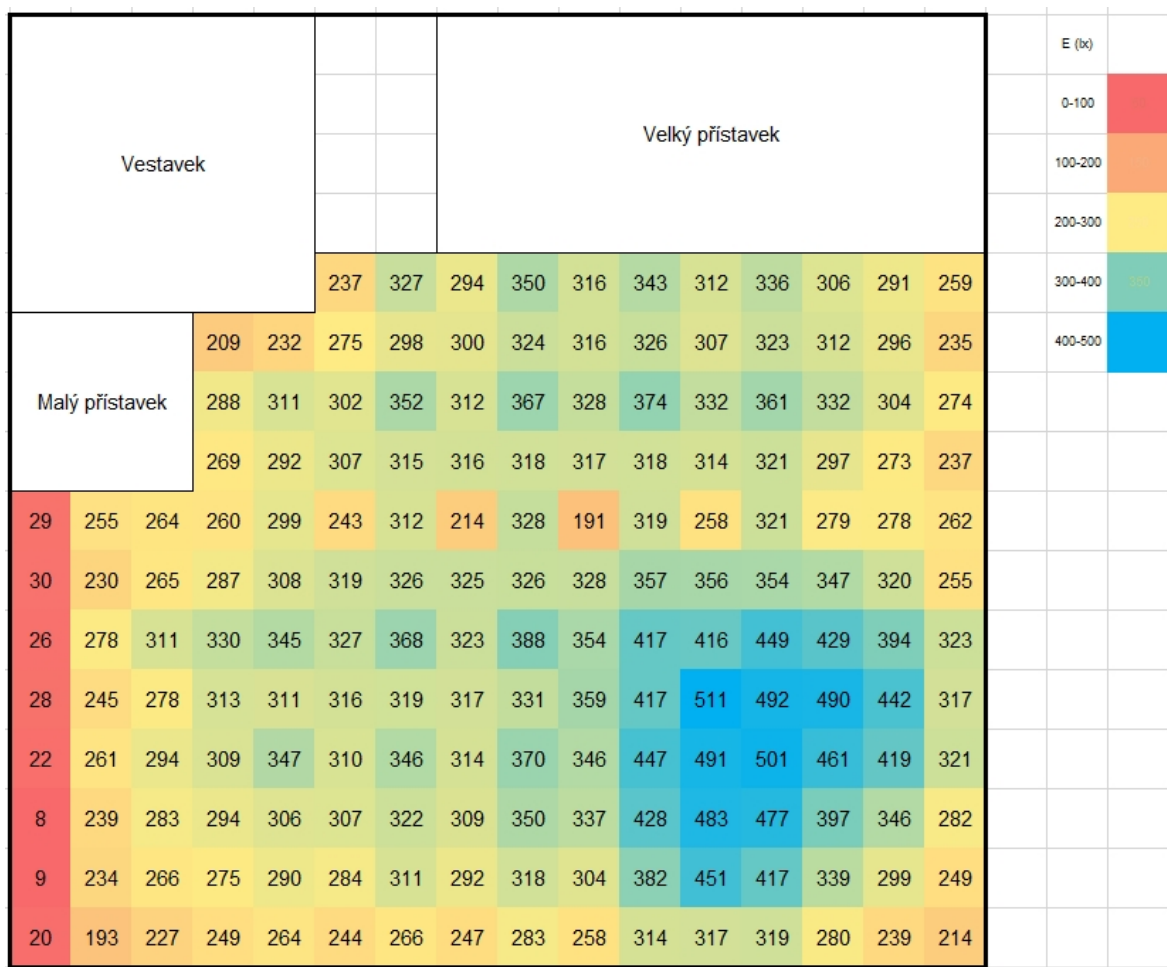


Obrázek 33: Hodnoty naměřené osvětlenosti  $E$  (lx) umělého osvětlení původních svítidel Cuba

Hodnoty osvětlenosti byly měřeny v nočních hodinách, aby bylo možné dokonale odfiltrovat vliv denního světla. Naměřené hodnoty jsou barevně odlišené pro jednodušší orientaci.

Bíle vyznačené hodnoty v rastru (Obr. 33) jsou místa, která byla vyjmuta z porovnání. Jedná se o místa, kde nás výpočet nezajímá, protože se nejedná o prostory, které řešíme a o místa, kde svítidla nejsou umístěna (vestavek a přístavky).

Z těchto údajů lze pozorovat nedostatečné osvětlení prakticky ve všech částech haly. Jedinou výjimkou je místo, kde byla dodatečně přidána svítidla v pravém dolním rohu haly (Obr. 32). V tomto prostoru je osvětlenost postačující ( $E \sim 430$  lx).



Obrázek 34: Hodnoty vypočítané osvětlenosti  $E$  (lx) umělého osvětlení původních svítidel Cuba v programu RELUX

Obrázek 34 zobrazuje hodnoty, které jsou výstupem simulace v programu RELUX. Surová data byla pouze upravena a převedena do podoby použité pro měření. Výsledkem je pak jednodušší porovnání naměřených a simulovaných výsledků tedy obrázků 33 a 34.

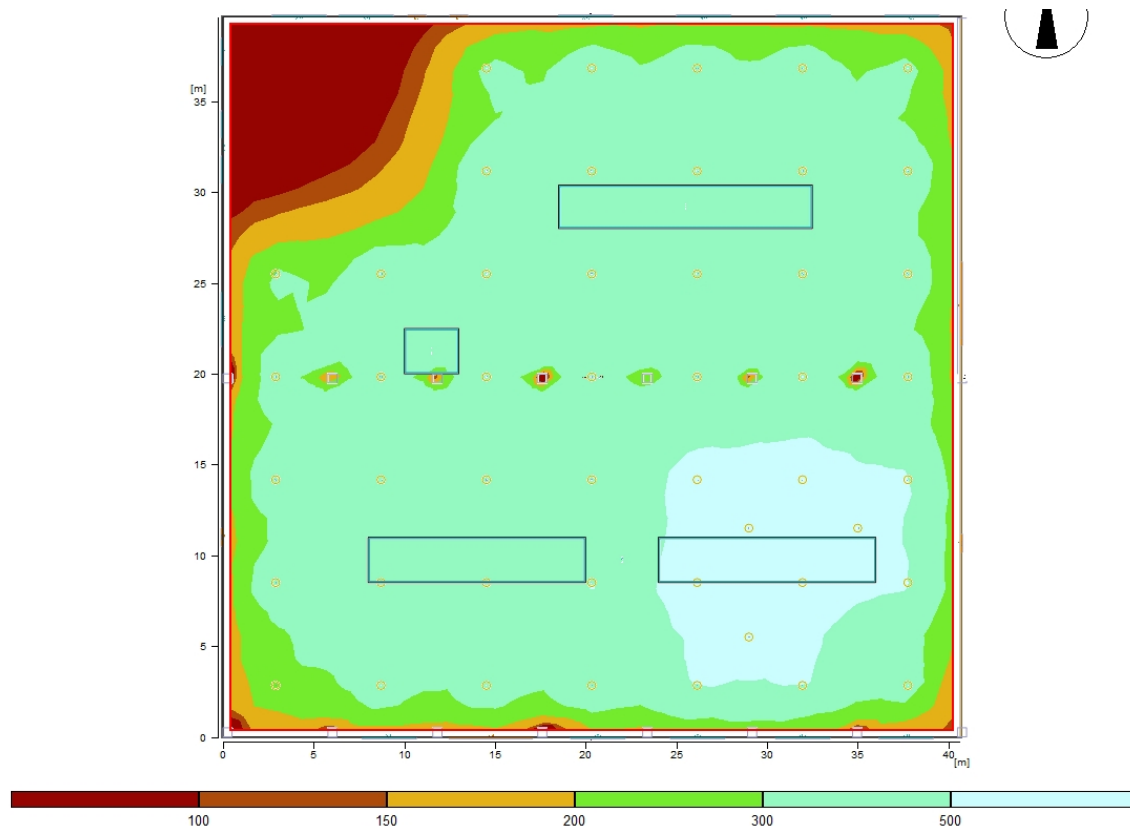
Použité úpravy:

1. Zaokrouhlení hodnot výstupu ze 3 desetinných míst na číslo celé (pro potřeby světelného návrhu nepotřebujeme pracovat s tak detailními čísly)
2. Odstranění nepotřebných hodnot v prostorách vestavku a přístavků
3. Přesunutí hodnot do rastru a použití funkce podmíněného formátování

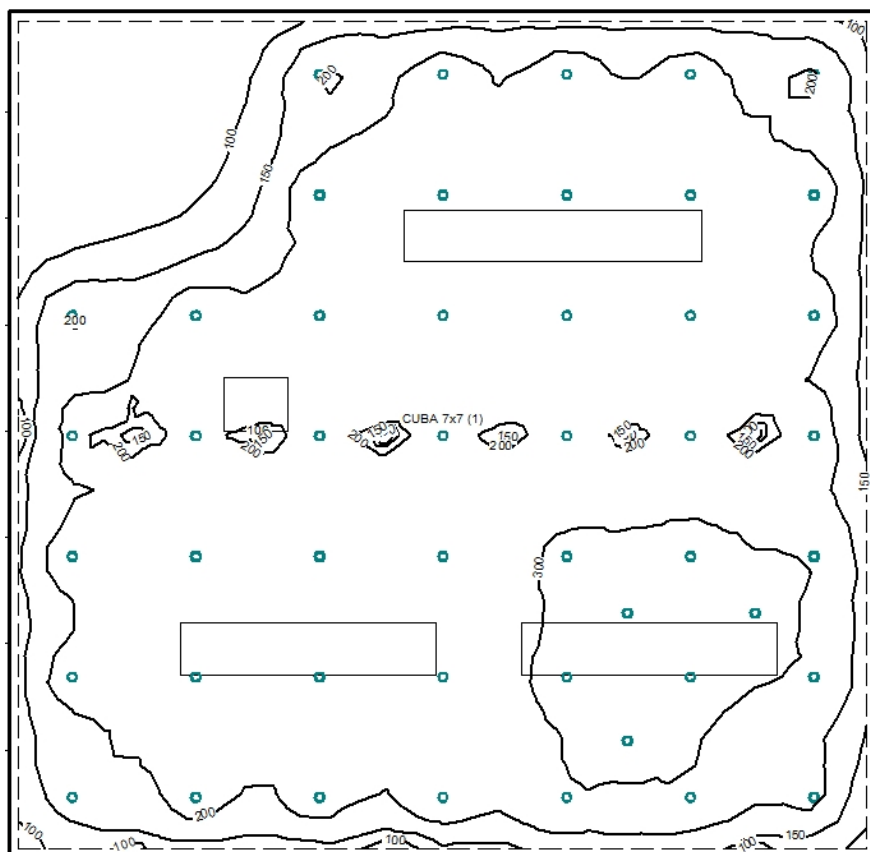
Při detailním srovnání je vidět, že simulované hodnoty se skutečně blíží hodnotám naměřeným. Odchytky jsou v řádech jednotek procent. Na základě toho můžeme tvrdit, že simulace byla úspěšná.

Pro názornost přikládám přímý výstup nasimulovaných hodnot z programu RELUX. Vypočítané hodnoty intenzit osvětlenosti jsou přímo zpracovány a barevně znázorněny

na obrázku 35. Program RELUX je označuje jako znázornění výstupu v pseudobarvách. Dalším z možných grafických výstupů jsou izoluxní křivky intenzit osvětlení (Obr. 36).



Obrázek 35: Průběh osvětlenosti  $E$  (lx) umělého osvětlení původních svítidel Cuba, přímý výstup z programu RELUX



Obrázek 36: Izoluxní křivky osvětlenosti  $E$  (lx) umělého osvětlení původních svítidel Cuba



### 4.3. Naměřené a simulované hodnoty osvětlenosti $E$ (lx) pro denní osvětlení

Dále bylo nutné zjistit stav denního osvětlení. Měření proběhlo při rovnoměrně zatažené obloze. Pro měření byl zvolen stejný rastr, jako v předcházejících případech.

Vestavek		Velký přístavek												E (lx)						
		209	322	363	706	850	939	714	495	258	222	127	0-200	200-400	400-700	700-900	900-1200			
Malý přístavek		145	211	263	224	440	740	934	936	872	536	291	225	129						
		209	281	223	287	404	543	654	720	611	411	252	194	116						
		275	346	240	307	382	302	351	319	249	160	163	146	106						
42	0	192	85	399	226	484	179	399	177	386	174	307	89	153	72					
34	56	145	267	268	396	309	426	382	269	339	312	298	194	198	146					
25	79	187	340	496	635	601	628	607	605	561	615	575	435	345	220					
31	16	211	479	600	799	1013	952	891	839	852	949	830	612	453	180					
27	82	218	461	581	805	1030	961	846	803	858	922	836	643	337	354					
16	71	161	349	454	577	642	639	584	584	599	679	566	441	238	259					
8	56	85	243	423	265	206	384	532	429	468	374	538	361	347	227					
3	14	47	13	127	51	235	36	211	51	198	50	187	38	111	35					

Obrázek 37: Hodnoty naměřené osvětlenosti  $E$  (lx) denního osvětlení původních svítidel Cuba

Porovnáním obrázku výsledků měření a simulace, tedy obrázků 37 a 38 zjistíme velký rozdíl osvětlenosti haly. V některých měřících bodech rastru dosahuje tento rozdíl několika desítek procent. Po zkontrolování simulace a ověření měřením osvětlenosti v některých zvolených bodech rastru jsem byl nucen konstatovat, že měření i výpočet je v pořádku. Porovnáváním konkrétních hodnot rastru jsem zjistil, že minimálních odchylek je dosaženo v rozích haly a nejvíce se odchylky projevují uprostřed. V barevném rastru jsou nejméně shodné hodnoty znázorněny modrou barvou a jejími odstíny.

Po srovnání měřicího rastru s výkresem haly bylo jasné, že nejvíce rozdílné hodnoty jsou přímo pod světlíky. Místa bez vlivu světlíků jsou zasažena minimálně. V prostorech, kam dopadá přímé denní světlo, dochází k odchylce.

#### 4.4. Naměřené a simulované hodnoty osvětlenosti $E$ (lx) pro denní osvětlení se započtením vlivu světlíku

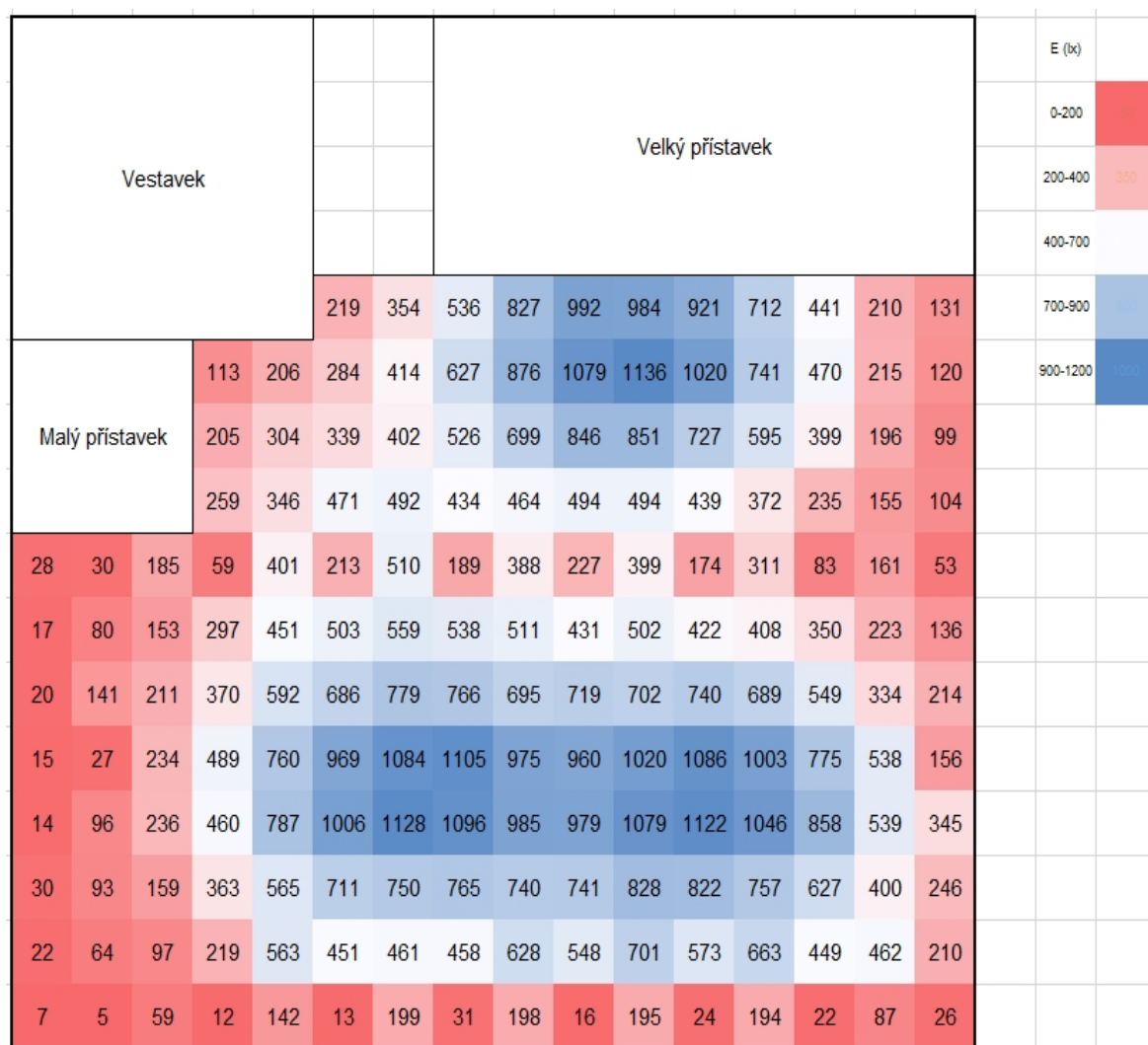
Zjištěná skutečnost z předchozího bodu 4.3 mě vedla k závěru, že světlíky mohou být díky minimální údržbě silně znečištěné, což může vést k rozdílům mezi hodnotami simulovanými a naměřenými. Tuto myšlenku bylo nutné ověřit. Program RELUX umožňuje nastavit vliv znečištění či průchodnost světla přes sklo. V simulaci jsem tedy změnil hodnoty z čistých, maximálně propustných světlíků na střední stupeň znečištění. Další provedené výpočty se tím výrazně zpřesnily. Po této korekci se rozdíly mezi naměřenými hodnotami osvětlenosti (Obr. 38) a simulovanými hodnotami osvětlenosti (Obr. 39) pohybovaly mezi 5 - 10 procenty. Toto je maximální zpřesnění simulace, které jsem schopen dosáhnout.

Dalším negativním vlivem na simulaci a měření je zcela jistě to, že simulace probíhá dle normou dané osvětlenosti rovnoměrně zatažené oblohy tedy  $E = 5\,000$  lx. Mé vlastní měření probíhalo při  $E = 4\,253$  lx. Tato informace ovšem není podstatná pro další průběh práce, čili návrh nového osvětlení. Pro návrh nového osvětlení ale použijeme informaci o stavu znečištění světlíků.

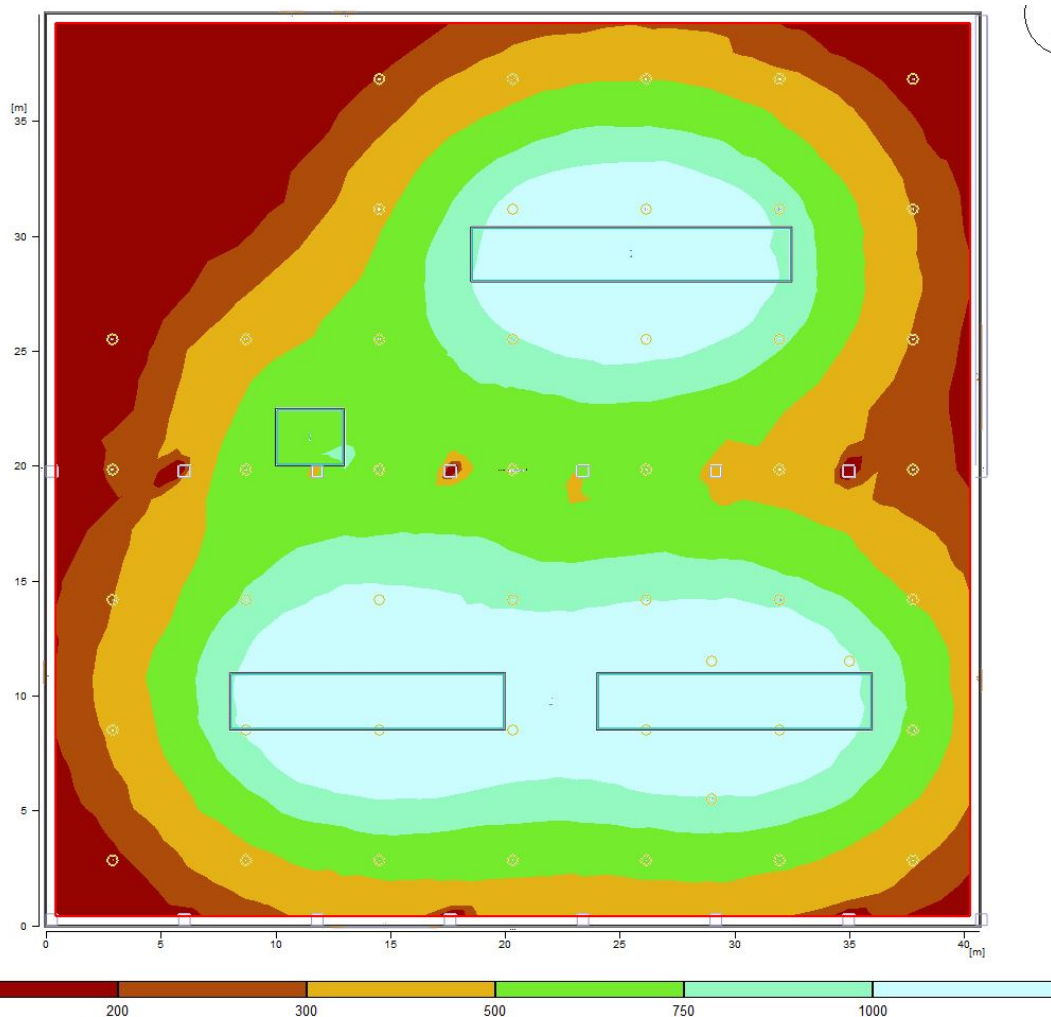
Vestavek		Velký přístavek													E (lx)		
		272	418	639	856	1048	1097	996	748	466	303	183	0-200	200-400			
Malý přístavek	180	238	339	424	681	918	1108	1177	1061	764	487	300	146	400-700	700-900		
	232	344	420	487	618	748	848	891	814	618	420	270	182	900-1200			
	338	397	530	506	528	550	553	544	482	415	283	197	164				
27	51	222	146	457	306	539	230	448	259	435	229	347	151	229	137		
38	116	217	362	466	539	579	594	559	496	518	497	484	395	257	206		
59	176	261	432	630	776	837	809	749	761	801	788	748	582	422	282		
35	81	272	505	805	1067	1170	1137	997	1019	1118	1148	1045	840	612	221		
47	171	272	507	801	1086	1148	1089	1042	1020	1100	1170	1065	868	591	381		
15	122	212	388	609	769	808	821	803	787	819	862	808	664	511	293		
41	126	160	265	589	527	477	525	719	617	758	622	732	529	554	277		
19	18	92	51	176	105	269	57	251	69	240	113	239	96	159	59		

Obrázek 38: Hodnoty osvětlenosti  $E$  (lx) denního osvětlení původních svítidel Cuba ze simulace RELUX

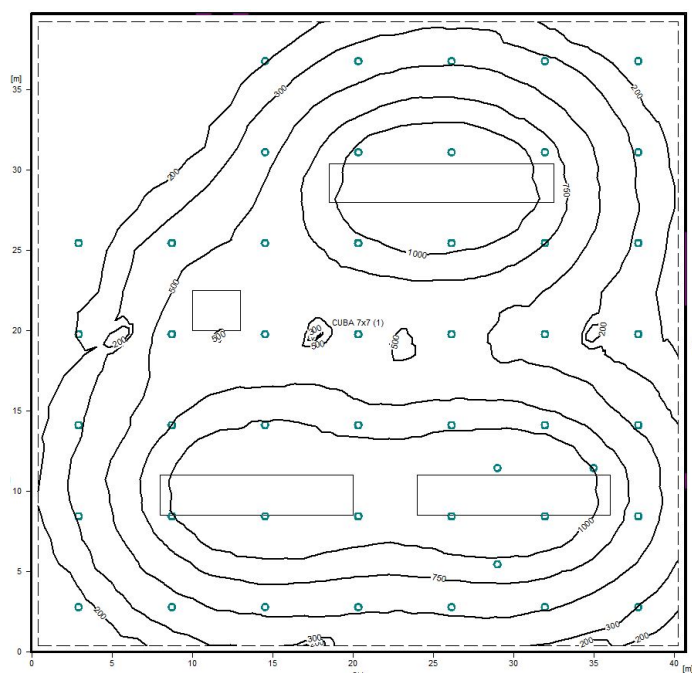




Obrázek 39: Hodnoty osvětlenosti E (lx) denního osvětlení svítidel Cuba ze simulace RELUX se zanesenou korekcí znečištění světlíku



Obrázek 40: Hodnoty osvětlenosti  $E$  (lx) denního osvětlení svítidel Cuba ze simulace Relux se zanesenou korekcí znečištění světlíku, přímý výstup z programu Relux



Obrázek 41: Izoluxní křivky osvětlenosti  $E$  (lx) denního osvětlení svítidel Cuba se zanesenou korekcí znečištění světlíku

## 5 Návrh nového osvětlení průmyslové haly

Návrh samotného osvětlení je třeba přizpůsobit, respektive optimalizovat dle mnoha kritérií. Zde neřešíme již jen technickém provedení, ale je třeba se zaměřit i na komfort, který je dán rovnoměrností osvětlení, poměrem úrovní osvětlenosti, dostatečnou hodnotou činitele denního osvětlení a dalšími parametry. Budeme se tedy při návrhu držet normy ČSN 730580-1 [14] pro výpočet denního osvětlení. Vzhledem k nedostatečnému a nestálému dennímu osvětlení je nutné z velké části použít i umělé osvětlení, zde tedy budeme postupovat dle ČSN EN 12464-1 [12] a dle ČSN EN 12665. [13]

### 5.1. Požadavky na nové osvětlení

- 1) **Dostatečná intenzita osvětlenosti**
- 2) **Vhodné barevné podání**
- 3) **Rychlá automatická regulace světla s odezvou v řádech sekund**
- 4) **Uživatelsky definovatelné profily**
- 5) **Energetické úspory**
- 6) **Nízké pořizovací a udržovací náklady s důrazem na nízkou spotřebu elektrické energie**

Většina požadavků bude vyřešena volbou jiného typu svítidla. Pořizovací a udržovací náklady jsou obvykle v rozporu, takže zde bude nutné nastolit vhodný kompromis. Vzhledem k požadavku na rychlou regulaci světla je nutné použít svítidla na jiném principu než současné vysokotlaké halogenidové zdroje, které mají dlouhou dobu náběhu a pomalou odezvu na regulační odchylku. Pod stropními světlíky budou namontovány senzory, které budou připojeny do centrální regulace osvětlení. Hodnota slunečního záření zaznamenaná senzorem bude zpracována v PLC a na základě této hodnoty bude automaticky upravena intenzita vnitřního umělého osvětlení. Vzhledem k požadavku na velice rychlou odezvu bude toto nejtěžším úkolem. Zde nebude možné postupovat důsledně v souladu s normami. Některé doporučené údaje budou naddimenzovány. Odezva na změnu musí být dostatečně rychlá, aby nedošlo k příliš velkému poklesu osvětlení na dlouhou dobu a zároveň dostatečně pomalá aby při zastínění slunce malým mráčkem, nedošlo k utlumení osvětlení a následně k okamžitému nahození zpět. Z hlediska komfortu oka je lepší útlum i náběh osvětlení řešit pomaleji a plynule. Oko se pak snadněji přizpůsobuje těmto změnám.

Výhodou této regulace bude ale i úspora energie, o které se při současném řešení nedá hovořit. Malou pomocí zde bude velké znečištění samotných světlíků, čili vliv denního světla nemusí být až tak razantní, ale to ukáže až simulace a měření.

Dalším problémem, který je nutné vzít v úvahu, je i samotná výroba v této hale. Jedná se o výrobu rozváděčů či rozváděčových polí. Jde o rozváděče standardní výšky od 1,8 m do 2 m a šířky od 1 do 2 m pro jednotlivé rozváděče až po například do 10 m v případě velkého rozváděčového pole. Díky osazování techniky přímo na montážní desku uvnitř rozváděče je opět nutné přistupovat k problému pečlivě a se zvážením všech důsledků z toho plynoucích.

### 5.1.1 Dostatečná úroveň osvětlenosti

Norma ČSN EN 12464-1 říká, že s ohledem na prováděnou činnost by intenzita osvětlenosti neměla poklesnout pod 300 lx. Naše zkušenost s výrobou je ovšem taková, že se potřebujeme pohybovat minimálně o stupeň výše. Pro potřeby výrobních pracovníků byl stanoven požadavek na osvětlenost v rozsahu 500 - 750 lx.

### 5.1.2 Barevné podání

Barevné podání je jeden z parametrů, kterou současné halogenidové výbojky splňovaly dostatečně. My se toho budeme držet i u nového osvětlení, takže index barevného podání  $R_a$  budeme požadovat v rozsahu  $R_a = 0,85 - 0,95$  a teplotu chromatičnosti minimálně 5 300 K.

### 5.1.3 Rychlá automatická regulace intenzity osvětlení

Pomocí řídicího systému a DALI sběrnice jsme schopni adresovat jednotlivá svítidla. Adresace umožňuje svítidla přidat do skupin a ovládat je pak najednou. Pochopitelně je možné ovládat i svítidla samostatná. Podmínkou je pouze svítidlo s možností napojení na DALI (tedy vhodný předřadník). Ovládání je již jednoduché. Pro systém ZAP/VYP je třeba definovat spínací režimy případně harmonogram zapínání. Pro regulaci intenzity osvětlenosti je třeba mít zpětnou vazbu, čili připojit do systému senzory pro indikaci pohybu nebo měření osvětlenosti. LED svítidla reagují okamžitě v návaznosti na elektrický výkon, čili v kombinaci s výše uvedenými prvky je možné regulovat prakticky cokoli na jakoukoliv intenzitu požadovanou rychlostí. Rychlé změny intenzity nejsou dobré pro zrakovou pohodu, čili tato skutečnost musí být zohledněna v programování.

### 5.1.4 Uživatelské profily

Principem profilů je definovat systému co vypnout a v kterou dobu. Tímto lze z hlediska plánování výroby řešit například nezhasnuté osvětlení po skončení výroby. Uživatelský profil znamená, že vše lze modifikovat dle potřeb změn výroby.

### 5.1.5 Energetické úspory

Tato situace byla podrobně popsána již v kapitole 2.5. Bude se jednat o propojení těchto prvků principů a technologií: LED svítidla, časový harmonogram, senzory pohybu a osvětlenosti.

### 5.1.6 Pořizovací a udržovací náklady s důrazem na nízkou spotřebu elektrické energie

V rámci pořízení nových svítidel LED nebude jednoduché dodržet podmínku nízkých pořizovacích nákladů. Udržovací náklady pro LED svítidla jsou nyní velice nízké. Vzhledem k 5 leté záruční době garantované výrobcem a načerpaných zkušenostech víme, že tyto náklady nebudou významné. Nemá smysl se o tom více rozepisovat, vše ukáže až skutečnost. Výrazným faktorem zde je spotřeba elektrické energie. Už nyní víme, že nová svítidla mají zhruba 4x menší spotřebu než stávající osvětlení, takže tato podmínka bude splněna. Dalším prvkem, který bude udržovat spotřebu na co nejnižším stupni je výše zmíněná regulace (body 5.1.3, 5.1.4 a 5.1.5).

### 5.1.7 Postup výpočtu udržovacího činitele $f_M$

Pro výpočet udržovacího činitele byla použita kalkulačka na webu svetloblok.cz. Definováním vstupních hodnot jsme se tak dobrali k výslednému činiteli  $f_M$ . Hodnota vypočítaného činitele byla použita pro návrh osvětlení v programu RELUX.

<b>Typ svítidla:</b>	Svítidlo chráněné proti prachu IP5X, typicky DFF = 0 ▾	
<b>Typ vyzařování:</b>	přímé (DFF = 0) ▾	
<b>Typ světelného zdroje:</b>	LED ▾	
<b>Užitečný střední život LED:</b>	L 90 ▾ =	100 000 ▾ h
<b>Plánovaná životnost LED soustavy:</b>	15	roků instalace ▾
<b>Počet provozních hodin:</b>	3100 h/rok (jedna směna, 6 dnů týdně/310/10/ne) ▾	
<b>Kategorie znečištění:</b>	Normální ▾	
<b>Činitele odrazu (strop/stěny/podlaha):</b>	0,80 / 0,30 / 0,20 ▾	
<b>Interval skupinové výměny světelných zdrojů:</b>	bez skupinové výměny, vždy individuální výměna ▾	
<b>Individuální výměna vyhořelých zdrojů:</b>	<input checked="" type="radio"/> ano <input type="radio"/> ne	
<b>Interval čištění svítidel a povrchů místnosti:</b>	2,0 ▾	

Obrázek 42: Výpočet udržovacího činitele  $f_M$  vnitřní osvětlovací soustavy [33]

## 5.2. Návrh

### 5.2.1 Technické údaje haly

Tabulka 13: Technická elektro-specifikace

Napěťová soustava	3NPE 400/230V, 50 Hz, TN-C-S
Ochrana před úrazem el. proudem	ČSN EN 61140 ed. 2 a ČSN 33 2000-4-41 ed. 2
Základní ochrana	Izolací a kryty živých částí
Ochrana při poruše	Pospojováním a samočinným odpojením
Doplňková ochrana	Doplňujícím pospojováním
Celkový instalovaný příkon $P$	140 kW

### 5.2.2 Vnější vlivy

Nebyl k dispozici protokol o vnějších vlivech dle ČSN 33 2000-5-51 ed. 3. Z toho důvodu byl tento protokol dodatečně vytvořen ve spolupráci s investorem. Vnější vlivy byly pro projekt stanoveny takto: AA5, AB5, AC1, AD1, AE4, AF1, AG2, AH2, AK1, AC1, AM1, AN1, AP1, AQ1, AR1, AS1, BA4, BC3, BD1, BE1, CA1, CB1. Osvětlovací prostor byl stanoven jako **prostor nebezpečný**.

### 5.2.3 Elektrický rozváděč a ovládání

Ovládací skříňka bude namontována vedle současného ovládání původního osvětlení. Jednotlivými tlačítky budou ovládány konkrétní sekce. V technické místnosti bude namontován rozváděč, do kterého budou přivedeny datové a silové vodiče.

### 5.2.4 Elektrické rozvody

Kabely budou vedeny od rozváděče k nosným trasám svítidel ve stávající kabelové trase společně s kabely současného osvětlení, převážně ve drátěných kabelových žlabech. Mezi svítidly budou kabely uloženy v nosných ocelových profilech. Trasy k ovládacím prvkům budou provedeny v elektro-instalačních lištách. Silové napájení svítidel a ovládací prvky budou napojeny v novém rozváděči osvětlení. Tento rozváděč bude umístěn v technické místnosti.

### 5.2.5 Řízení osvětlení

Pro řízení osvětlení bude použit systém DALI. Soustava bude složena z hlavní řídicí jednotky, jednotky vstupů a výstupů, případně dalších periférií. Svítidla a celý systém budou propojeny pomocí DALI sběrnice, pracující na napětí 18 – 20 V. Toto napětí není možné využít pro jiné účely než datové komunikace osvětlení. Systém datové komunikace bude odolný vůči rušení i krátkodobému přepětí. Chování systému bude kompletně závislé na programátorem nastavené konfiguraci, na ovládacích prvcích a na profilech samostatně definovatelných uživatelem.

Pro tyto účely bude ovládání osvětlení doplněno jednotkami, které jsou připojitelné do sítě ethernet a tudíž dosažitelné přes uživatelský SW lokálně i vzdáleně. Vzhledem k hladině napětí, určené pro komunikaci, je nutné zabránit k připojení jakéhokoliv jiného zdroje napětí do této sběrnice, jinak dojde k poškození řídicí jednotky.

Všechna svítidla budou vybavena digitálním elektronickým předřadníkem, který umožňuje regulaci výkonu v rozsahu 1 – 100 %. Přednastavené skupiny svítidel je možné ovládat pomocí ovládacích tlačítek či uživatelských profilů.

### 5.2.6 Denní a umělé osvětlení

Z hlediska denního osvětlení bude bráno v úvahu pouze světlo procházející střešními světlíky.

#### Světlík

Šikmý osvětlovací otvor - střední stupeň znečištění.

vnější znečištění  $\tau_{ze} = 0,7$

vnitřní znečištění  $\tau_{zi} = 0,9$

prostupnost materiálu (laminát čirý)  $\tau = 0,7$

Souhrnný činitel světelné propustnosti je pak roven  $\tau_{celk} = 0,7 \times 0,9 \times 0,7 = 0,441 (-)$

#### Okna

Na severní straně nemají žádný vliv na osvětlení haly z důvodu bariéry způsobené stěnou velkého vestavku. Stejná situace je s okny na západní stěně haly díky přepažení malým vestavkem. Okna na jižní stěně haly jsou trvale zacloněna, na osvětlení vnitřku haly to má tedy vliv minimální. Prostorová situace je viditelná na plánu haly viz příloha 3.

#### Vestavek

Místnost dodatečně vyprojektovaná a postavená v hale. Na samotný návrh osvětlení bude mít vliv ve dvou bodech:

1. Zabraňuje průchodu bočního denního osvětlení do prostoru haly.
2. Díky jinému materiálu než jsou stěny haly a podlaha, se změní hodnoty odrazivosti a pohlcení světla

Rozsah činitelů odrazu  $\rho (-)$  povrchů místnosti doporučených normou ČSN 12464 – 1:

strop 0,6 - 0,9

stěny 0,3 - 0,8

pracovní roviny 0,2 - 0,6

podlaha 0,1 - 0,5

#### Rovnoměrnost osvětlení

Osvětlenost bezprostředního okolí úkolu musí souviset s osvětlením úkolu a musí poskytovat vyvážené rozložení jasů v zorném poli. Velké prostorové změny osvětleností v okolí úkolu mohou způsobit namáhání zraku a zrakovou nepohodu.

Osvětlenost bezprostředního okolí může být menší než osvětlení úkolu, avšak nesmí být nižší než hodnoty uvedené v tabulce 14. Osvětlení místa zrakového úkolu musí být co nejrovnoměrnější. Rovnoměrnost osvětlení místa úkolu a bezprostředního okolí úkolu nesmí být menší než hodnoty uvedené v tabulce 14. [3]

Tabulka 14: Rovnoměrnost osvětlení a poměr osvětleností bezprostředního okolí a úkolu [3]

Osvětlenost úkolu $E$ (lx)	Osvětlenost bezprostředního okolí úkolu $E$ (lx)
$\geq 750$	500
500	300
300	200
200	$E_{\text{úkolu}}$
Rovnoměrnost $r \geq 0,7$ (-)	Rovnoměrnost $r \geq 0,5$ (-)

### Nouzové osvětlení

Nouzové osvětlení může být provedeno dvojím způsobem. Svítidly s vlastními trvale dobíjenými akumulátory a svítidly napájenými z centrálního zdroje dle ČSN EN 50171 Centrální napájecí systémy. [18]

### Svítidla s vlastními trvale dobíjenými akumulátory

Svítidla, která jsou funkční, svítí pouze z vlastního vestavěného akumulátoru. Napájecí kabely zajišťují trvalé dobíjení akumulátorů zabudovaných ve svítidle a jsou napojeny z rozvodu normálního osvětlení. V případě požáru a při případném porušení či přerušení kabelu se svítidlo ihned automaticky přepne na svůj vlastní zabudovaný zdroj. Kabelové trasy k těmto svítidlům nemusí splňovat požadavky na systémy se zachováním funkčnosti při požáru. Tato svítidla jsou při požáru napájena pouze z jednoho zdroje. Tato výjimka je možná pouze v případě, že požadovaná doba na minimální dobu provozu nouzového osvětlení je maximálně 30 minut. [18]

Svítidly napájenými z centrálního zdroje se zabývat nebudeme, pro naše účely budeme používat akumulátorové typy. Důvody jsou jednoznačné. V hale není žádný zálohovaný zdroj napájení. To by byly další vícenásledky jen za jeho instalaci, dalším problémem je instalace/kabeláž a v neposlední řadě je problémem zajišťovat neustálé revize a provádět časté testy. S akumulátory je to výrazně jednodušší.

Požadavky na minimální dobu provozu nouzového osvětlení stanoví právní předpisy s odvoláním na normové hodnoty v závislosti na druhu jím osvětleného prostoru rozdílně. Základní přehled požadavků na minimální dobu provozu nouzového osvětlení uvádí norma ČSN EN 50171. [18] Nouzové osvětlení únikových cest musí dosáhnout 50 % požadované osvětlenosti do 5 sekund a plně požadované osvětlenosti do 60 sekund. [18]



**Volba typu nouzového svítidla**

Dodavatelem svítidel bylo doporučeno svítidlo TM.ONTEC R M5 105 M ST. Jedná se o typ, který v sobě obsahuje baterii. Toto svítidlo bude elektricky napojené na EPS ústřednu. V okamžiku výpadku elektrické energie nebo požárního alarmu bude kontaktem uvedeno v činnost.

**Požadavky ČSN 730848**

Tato norma platí pro projektování prostorů kabelových tras z hlediska požární bezpečnosti a stanovení cílových požadavků na funkčnost kabelových tras napájejících požárně bezpečnostní zařízení a elektrická zařízení, která musí zůstat v provozu v případě požáru. V normě jsou rovněž stanoveny upřesňující požadavky na zajištění provozu (dodávky elektrické energie) pro požárně bezpečnostní zařízení v případě požáru. [16]

U objektů, které svým charakterem provozu vyžadují podrobnější, případně odchylné řešení oproti této normě při řešení napájení požárně bezpečnostních zařízení a zařízení, která musejí zůstat v případě požáru funkční, se doporučuje zpracování expertizní zprávy nebo expertizního posudku jako součást požárně bezpečnostního řešení stavby. Při zpracování „Expertizní zprávy“ nebo „Expertizního posudku“ se doporučuje vycházet pro řešení napájení elektrickou energií z podrobné analýzy a hodnocení rizik provozované činnosti v posuzovaném objektu. [16]

### 5.3. Volba typu svítidel

Po prostudování mnoha typů svítidel, různých systémů montáže a doporučeních mě vcelku oslovil výrobce svítidel Philips se svým systémem Maxos Fusion. Jedná se o relativně nový stavebnicový systém s flexibilní montáží samotných svítidel. Princip spočívá v lištovém systému upevněném v podhledech nebo zavěšeném na lankách pod stropem. Do těchto lišt se připojí samotná osvětlovací LED část dle požadovaných světelných parametrů.

Výhodou tohoto systému je nacvaknutí zářivé části svítidla LED do základny systému v potřebném místě. Lze tedy jednoduše svítidlo kdykoliv odepnout z daného umístění, přesunout na jinou pozici v lištovém systému a nacvaknout. To vše bez nutnosti dalšího přesvorkování konců vodičů, dělání změn v kabeláži či jiné adresace svítidel.

Lištová základna elektricky propojuje 13 vodičů, lze jí tedy využít pro jednoduché a neřízené typy osvětlení, pro řízená osvětlení například přes DALI sběrnici a též pro nouzová osvětlení. Svítidla jsou dostupná i s krytím IP54 takže je můžeme použít v naší průmyslové hale. Podrobnější popis systému Maxos fusion je uveden v příloze č. 7.

#### 5.3.1 Volba typu svítidla s přihlédnutím k normám

Norma ČSN udává, že pro volbu svítidla je nutné postupovat v několika krocích a zvážit tato kritéria: [2]

- 1) Definování typu místností dle účelu využití
- 2) Určení rozměrů prostoru
- 3) Parametry denního osvětlení
- 4) Určení prostředí dle požadavků na osvětlovací soustavu
- 5) Zjištění provedení a určení činitelů odrazu světla
- 6) Posouzení míry znečištění
- 7) Délka pracovního využití (doba práce)
- 8) Zvláštní požadavky

#### Dále stanovíme

- 1) Kategorii osvětlení
- 2) Barevný tón
- 3) Stupeň podání barev
- 4) Omezení oslnění
- 5) Udržovací činitel

Po zvážení výše uvedených kritérií jsem byl schopen zvolit konkrétní typ svítidla. Vyfiltroval jsem si v katalogu potřebné technické parametry a získal jsem zhruba 30 typů LED svítidel Philips, lišící se výkonem, spotřebou a dalšími parametry. Po několika obecných simulacích a propočtech bylo zvoleno svítidlo LL523X XA 1 xLED160S/840 WB. Kompletní technické parametry jsou uvedeny v příloze č. 5.

Na stránkách RELUXu jsem se za použití jednoduché kalkulačky pokusil zjistit orientační počet svítidel. Ukázalo se, že tato jednoduchá kalkulačka neumožňuje plynule měnit různé typy svítidel pro předdefinované parametry prostorů a osvětlenosti. Bylo nutné

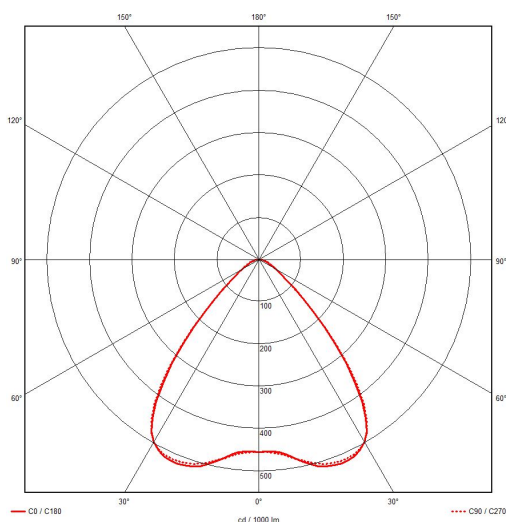
zvolit konkrétní typ svítidla, ručně opět vyplnit parametry prostoru, osvětlenost a to byla zbytečná práce.

Navrátil jsem se zpět k programu RELUX. Hala už byla namodelována z doby, kdy byla prováděná simulace pro ověření stavu současného osvětlení. Do projektu byla tedy doplněna nově zvolená svítidla v orientačním počtu za spolupráce pomocníka pro rozmístění ve zvoleném rastru. Doplnil jsem pouze požadavek na osvětlenost 500 lx. Ostatní parametry nyní neřeším. Zatím jde pouze o orientační návrh, ze kterého má výstupem být uvažovaný počet svítidel a jejich maximální elektrický příkon. Tyto informace nám obratem poví, jestli vybraný typ svítidla je vhodný či nikoliv.

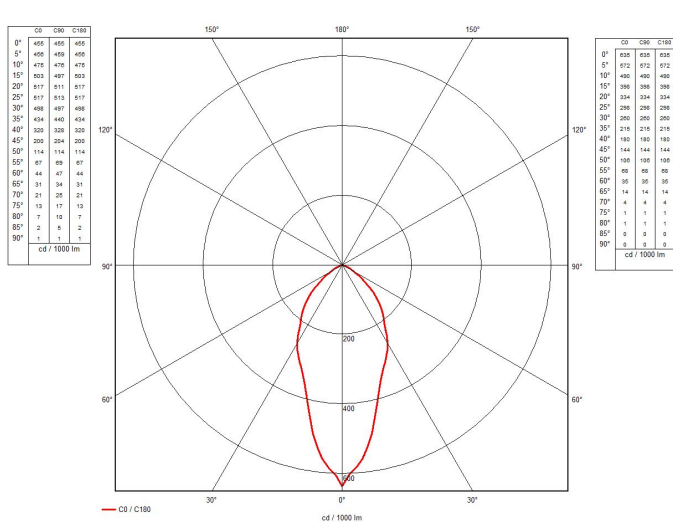
Někdo může namítnout, že s kalkulačkou od RELUXu by to bylo rychlejší, ovšem dle mých zkušeností, nebylo.

Vycházel jsem z předpokladu, že chci dosáhnout mnohem lepší osvětlenosti (navýšení stávající osvětlenosti o 100 - 200 lx) a zároveň z představy, že na provozu ušetříme 2/3 nyní vydávané elektrické energie. Předpoklad s navýšením osvětlenosti by měl být řešitelný volbou jiného typu svítidla, ovšem představa ekonomických úspor snížením spotřeby o 2/3 se může ukázat nedosažitelnou.

Současný typ nevyhovujícího svítidla mě nasměroval pro použití zcela odlišného typu z hlediska vyzařování světelného toku. Původní typ má kužel světelného toku koncentrovaný do bodu. Jedná se o jednu z příčin oslnění pracovníků a zároveň o důvod nerovnoměrného osvětlení výrobní haly.



Obrázek 43: Křivka svítivosti I (cd) svítidla Maxos



Obrázek 44: Křivka svítivosti I (cd) svítidla Cuba

Volím z těchto důvodů svítidlo s vyzařovacím kuželem výrazně širším. Je nutné dát si pozor na výšku závěsu a šířku kuželu, aby se svítidla v sousedních řadách nepřekrývala. Vedlo by to k navýšení osvětlenosti v překrytých oblastech, což nechci. Důsledkem by byla nerovnoměrnost osvětlení, náchylnost k případnému oslnění a dalším nechtěným vlivům.

### 5.3.2 Výpočet udržovacího činitele

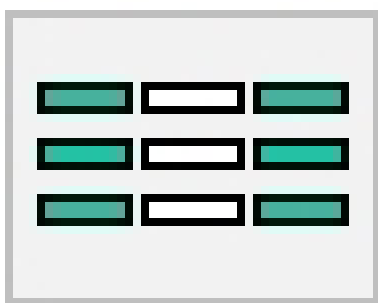
Zadané parametry:

- typ svítidla: *svítidlo chráněné proti prachu IP5X*
- vyzařování: *přímé*
- typ světelného zdroje: *LED*
- užitečný střední život:  *$L_{90} = 100\ 000$  hodin*
- životnost LED soustavy (instalace soustavy): *15 let (46 500 hodin)*
- počet provozních hodin: *3 100 hodin/rok*
- kategorie znečištění: *normální*
- činitele odrazu: *0,80/0,30/0,20*
- interval skupinové výměny světelných zdrojů: *bez skupinové výměny, vždy individuální*
- individuální výměna vyhořelých zdrojů: *ano,  $LSF = 1$*
- interval čištění svítidel a povrchů místnosti: *2 roky*

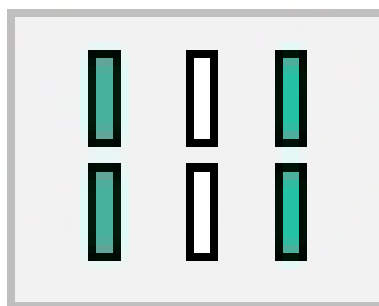
Vypočtené parametry:

- doba svícení do skupinové výměny: *pouze individuální výměna*
- potenciální životnost LED soustavy při zadané provozní době: *32,3 roků*
- činitel stárnutí světelného zdroje  $f_{LLMF}^3$ : *0,95*
- činitel funkční spolehlivosti světelných zdrojů  $f_{LSF}$ : *1,00*
- udržovací činitel svítidla  $f_{LMF}$ : *0,86*
- udržovací činitel povrchů  $f_{RSMF}$ : *0,93*
- udržovací činitel  $f_M = 0,76$

Simulací v RELUXu bylo zjištěno, že vodorovné umístění svítidel má o trochu nižší intenzitu osvětlenosti a také rovnoměrnost osvětlení. Svítidla byla tedy navržena svisle viz obrázek 46.



Obrázek 45: Vodorovné rozmístění svítidel



Obrázek 46: Svislé rozmístění svítidel

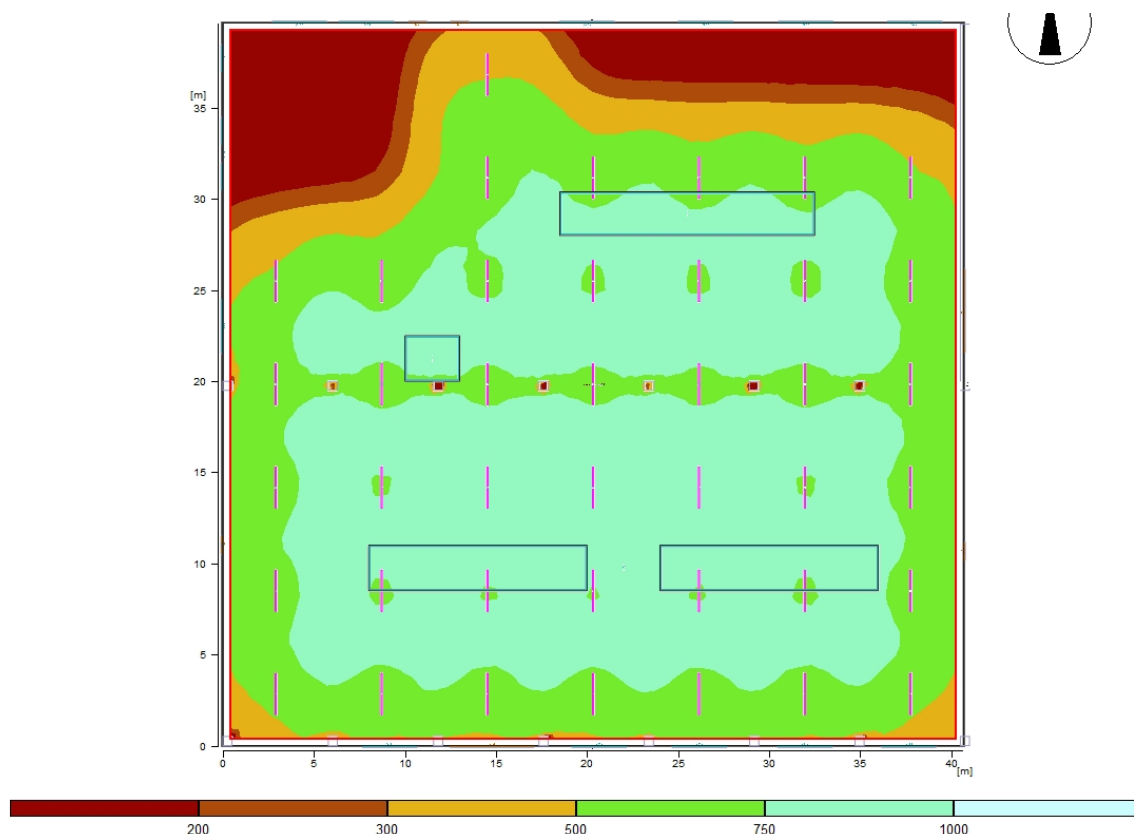
3  $LLMF$  vypočteno lineární interpolací pro LED soustavu s plánovanou životností 46 500 hodin svícení z tabulkových hodnot 0,95 (45 000 h) a 0,95 (50 000 h).

Pracoval jsem v simulaci s hrubým rozložením svítidel způsobem 6 x 6 do předem definovaného rastru. Rastrem je zde myšlen strop haly. Počet a pravidelné rozložení 6 x 6 se ukázal jako téměř ideální varianta pro osvětlení, bylo tak takřka dosaženo požadované hodnoty intenzity osvětlenosti, ale rovnoměrnost osvětlenosti byla stále nízká. Podle izoluxních křivek a barevného rozložení intenzit osvětlenosti je vidět, že problém s nedostatečným osvětlením vzniká ve standardně problematických místech v rozích a stěnách haly.

V jiných výrobních prostorách by bylo možné toto zanedbat, ale v této výrobní hale jsou u stěn další montážní stoly. Prostory ve spodních rozích haly u stěn jsou vyhrazeny pro zámečnickou dílnu a zkušebnu. Zámečnická dílna by nerovnoměrnost ustála, ale zkušebna by byl příliš velký risk. Zvažoval jsem doplnění těchto prostor o dodatečné osvětlení jiného typu, například s montáží na stěnu přímo v těchto prostorách. Druhou možností bylo posílení stropního osvětlení o další řadu tak, aby světlo dopadalo přímo na problematická místa. Tím by se nejen navýšila intenzita osvětlenosti, ale vedlo by to i k lepší rovnoměrnosti osvětlení.

Propočet ceny dodatečného osvětlení se ukázal jako položka, která výrazně navyšuje cenu osvětlení haly. V porovnání s přidáním stejného počtu svítidel systému Maxos, šlo pro dodatečná svítidla o nárůst celkové ceny osvětlení zhruba o 10 %. Do ceny nebyla započítána dodatečná práce a to, že by svítidla nebyla napojena ani na nadřazený ovládací systém DALI.

Ideální je tedy použít navrhovaný systém Maxos. Je jednodušší pro instalaci, napojený na řízení a levnější. Zbývalo tedy zjistit, jestli bude možné tento systém použít tak, aby došlo k navýšení požadovaných parametrů.

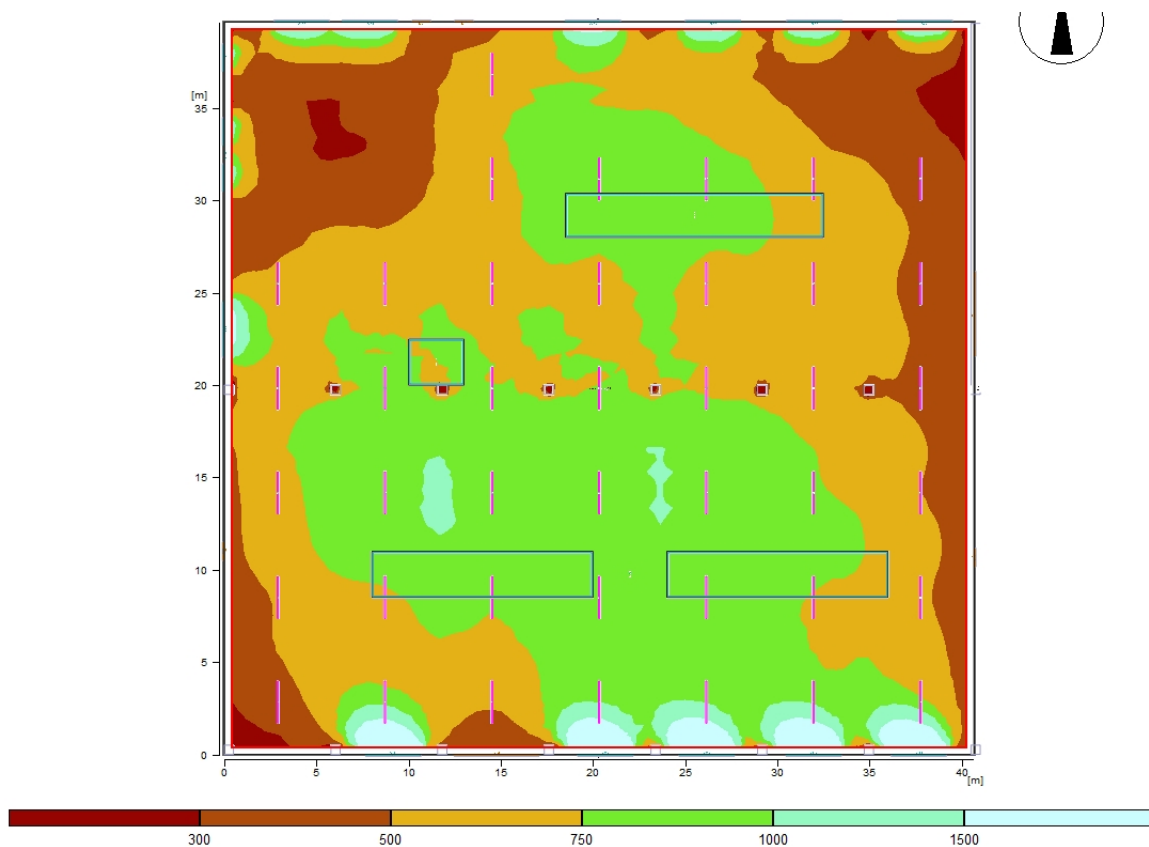


Obrázek 47: Průběh osvětlenosti  $E$  (lx) umělého osvětlení nových svítidel Maxos z programu RELUX

Simulace v RELUXu ukázala, že rovnoměrnost osvětlení se dostala do ideálních parametrů, ovšem na úkor vyšší úrovně osvětlenosti. To by neměl být problém, protože svítidla budou zaregulována na intenzitu nižší. Tím sice dojde k poklesu rovnoměrnosti osvětlení, ovšem nejedná se o nijak dramatická čísla. Prakticky jsme si tím potvrdili obecnou pravdu, že pro osvětlení je lepší mít větší počet svítidel s menším výkonem, než menší počet s větším světelným výkonem.

Z obrázku 48 je patrný vliv kombinace denního a umělého osvětlení. Můžeme zde vidět dost vysoké hladiny osvětlenosti v prostorech pod světlíky. Tato skutečnost bude vyřešena regulací. Pod světlíky bude umístěn světelný senzor, který bude neustále dávat informaci nadřazenému řídicímu systému o skutečném stavu osvětlenosti. Řízením předřadníků skupiny svítidel po DALI sběrnici pak bude plynule regulována intenzita osvětlení. Stejným způsobem bude regulován i zbytek svítidel.

Výstup z programu RELUX návrhu nového osvětlení průmyslové haly s použitím svítidel Maxos je uveden v příloze 2.



Obrázek 48: Průběh osvětlenosti  $E$  (lx) sruženého osvětlení nových svítidel Maxos z programu RELUX

## 6 Porovnání původního osvětlení s nově navrženým

Pro porovnání jsem použil údaje od výrobců z produktových listů, naměřené a simulované hodnoty. Porovnával jsem světelné a elektrické parametry a v neposlední řadě i náklady. Původně jsem chtěl porovnat i aktuální pořizovací ceny obou typů svítidel (Cuba, Maxos) a cenu instalace. Bohužel se cenu ke svítidlu Cuba nepodařilo na webu dohledat a cenu instalace se zjistit také nepovedlo. Komunikace s italským výrobcem také nikam nevedla a nájemce slíbené podklady nedodal. Porovnání ceny za osvětlení se tedy nezdařilo, ovšem to nebylo ani požadavkem.

### 6.1. Měření spotřeby

Pro měření spotřeby starého i nového osvětlení byla použita měřicí proudová trať od firmy LEM. Napěťové výstupy z traf byly zapojeny do vstupních napěťových analogových karet 0 - 10 V. Vyhodnocení spotřeby bylo provedeno v PLC.

Měření spotřeby původního osvětlení bylo komplikované, měřili jsme pouze pro dvě hodnoty nastavení, tj. pro 70 % a pro 100 % výkonu osvětlení. Hodnota pro 100 % výkonu osvětlení se nepovedla naměřit, než se hodnota ustálila, došlo k výpadku osvětlení. Toto měření bylo opakováno třikrát. Do tabulky byla zanesena průměrná poslední zaznamenaná hodnota z těchto třech pokusů, uložená v PLC. Vzhledem k této situaci tuto hodnotu nebudeme při porovnávání brát v potaz.

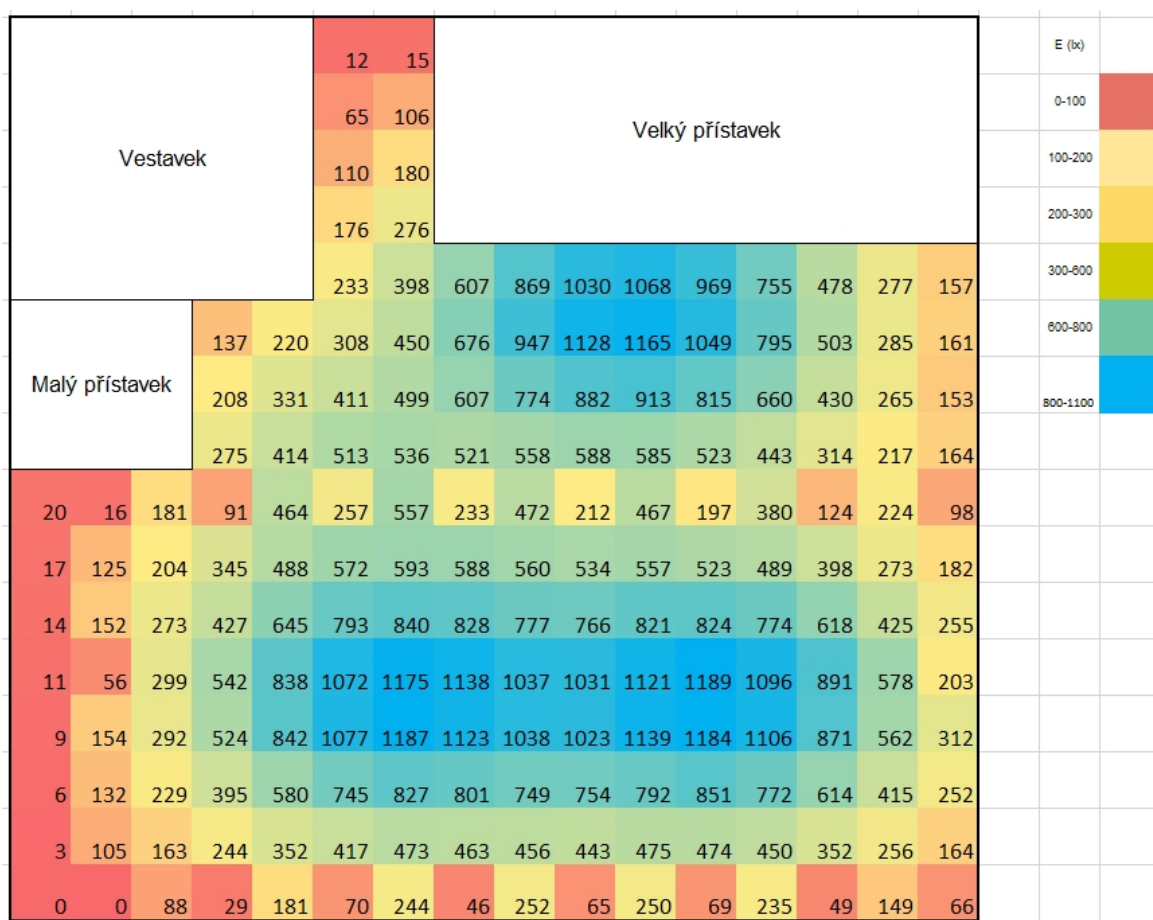
Měření nového osvětlení proběhlo již bez komplikací. Bylo provedeno pro všechny tři hodnoty nastavení dle původního osvětlení, tedy pro 30 %, 70 % a 100 % hodnoty výkonu osvětlení. Pro nové osvětlení nemá toto nastavení a vlastně i porovnání žádný význam, ale pro názornost je provedeno. Všechna měření proběhla při rovnoměrně zatažené obloze dle normy.

V tabulce 15 jsou uvedeny hodnoty světelných toků samotných svítidel. U svítidla Cuba můžeme vidět, že je provozováno se světelným tokem výrazně nižším, než je světelný tok samotné halogenidové výbojky. Zde je tedy vidět první rozdíl, ve kterém vychází svítidlo typu LED Maxos výrazně lépe. Druhým velkým rozdílem je samotný příkon jednotlivých svítidel. Z katalogových hodnot můžeme pozorovat, že svítidlo Maxos je schopno dodat o více než čtvrtinu větší světelný tok, ale při třetinové spotřebě. O tom ostatně vypovídá i měrný světelný výkon.

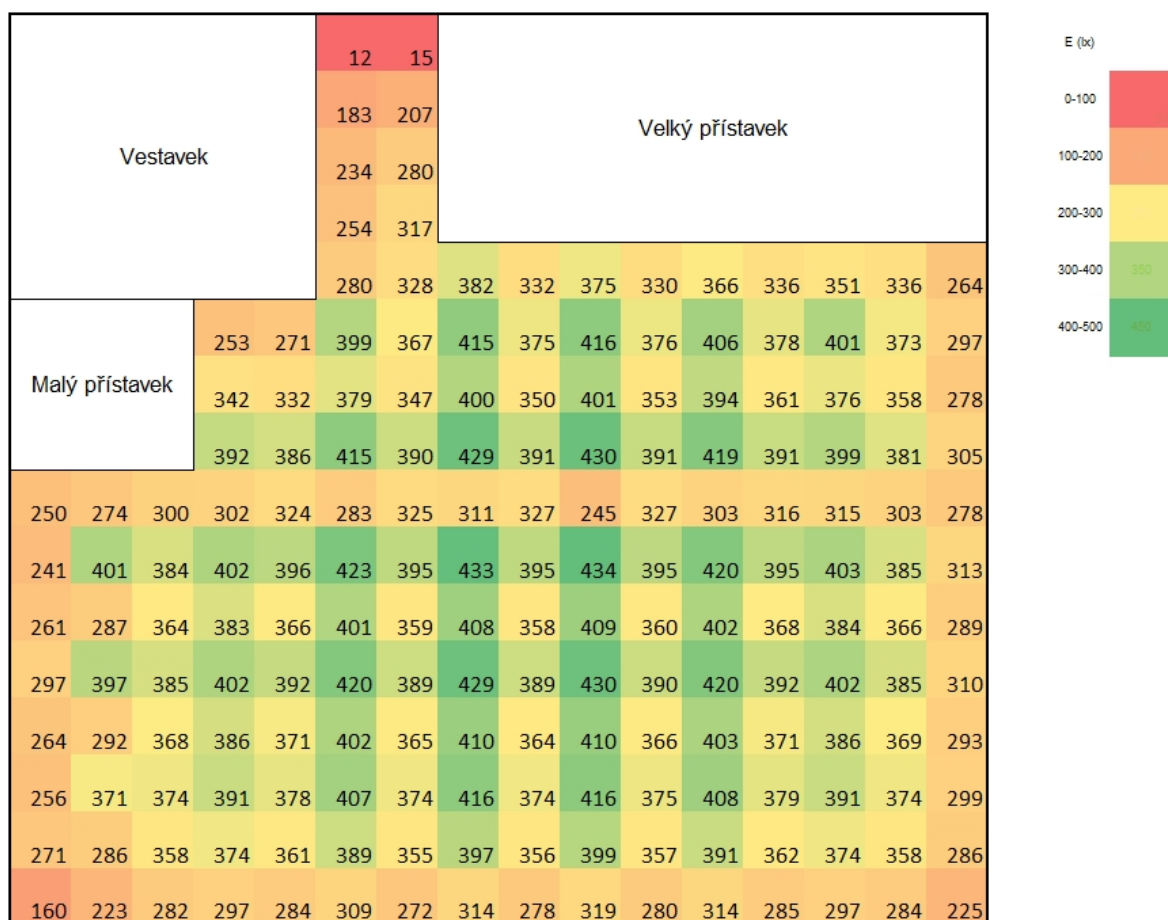


### 6.2. Srovnání hladiny osvětlenosti simulovaných hodnot svítidel Maxos a Cuba

Simulované hodnoty z programu Relux osvětleností původních svítidel Cuba pro umělé (Obr. 34), denní (Obr. 38) a sdružené osvětlení (Obr. 49) jsem porovnal s příslušnými simulacemi nových svítidel Maxos pro umělé (Obr. 50), denní (Obr. 51) a sdružené osvětlení (Obr. 52). Z porovnání jasně vidíme, že osvětlení se svítidly Maxos dosahuje vyšší hladiny intenzity osvětlení a lepší rovnoměrnosti osvětlení.

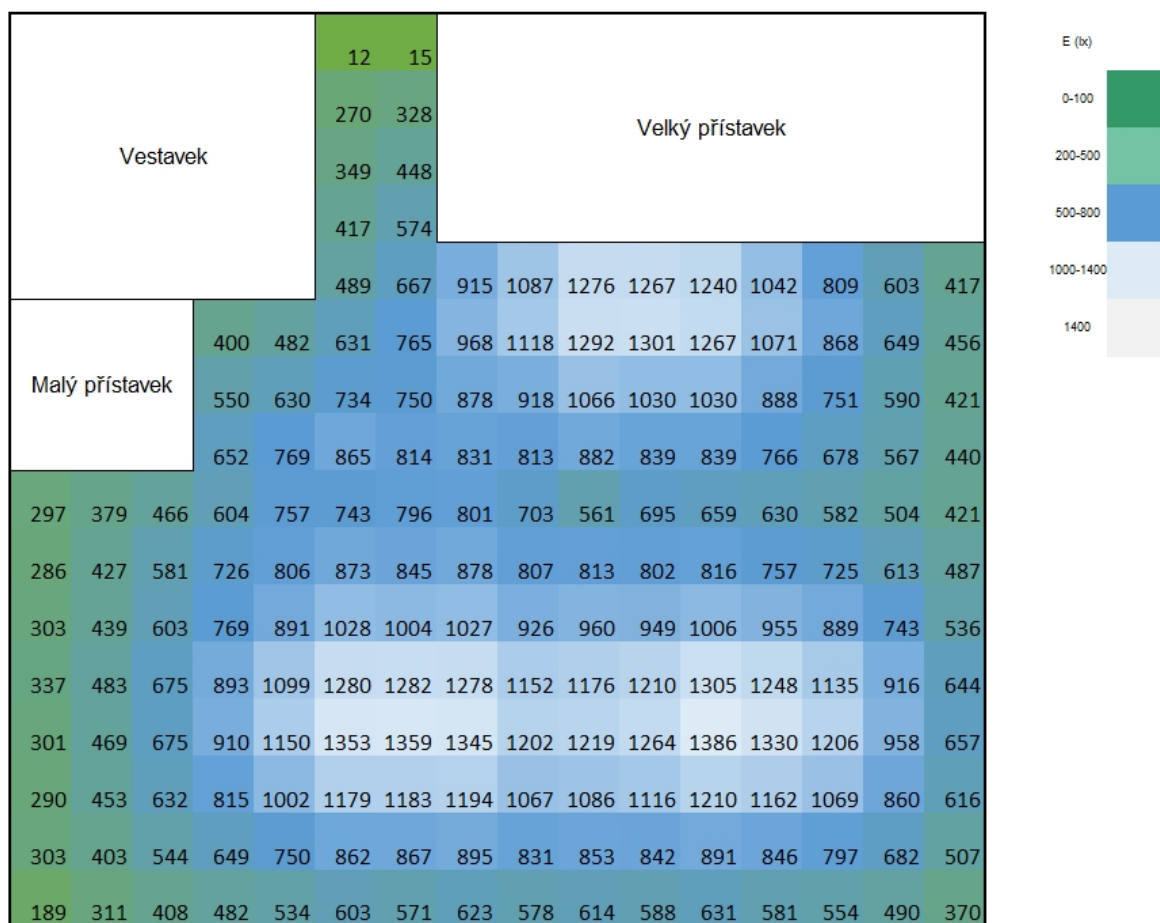


Obrázek 49: Hodnoty osvětlenosti E (lx) sdruženého osvětlení původních svítidel Cuba ze simulace RELUX



Obrázek 50: Hodnoty osvětlenosti E (lx) umělého osvětlení nových svítidel Maxos ze simulace RELUX





Obrázek 52: Hodnoty osvětlenosti  $E$  (lx) sdruženého osvětlení nových svítidel Maxos ze simulace RELUX

### 6.3. Srovnání pořizovací ceny a spotřeby pro svítidla Cuba a Maxos

V rámci cen uvedu pouze celkovou cenu svítidla Maxos (lišta, svítidlo, napájení, kryty a konektor). Je to jen pro informaci, není s čím to porovnat. Dále uvedu celkovou cenu za osvětlení. Tato celková cena bude použita pro porovnání, respektive výpočet návratnosti investice. Do celkové ceny bude tedy započteno nejen 41 kusů svítidel, ale i veškeré instalační prvky, které k nim přísluší, včetně dokumentace, revize, kabeláže atd. Instalačními prvky jsou myšleny lišty, do kterých budou svítidla nadvaknuta, montážní prvky pro stropní instalaci, propojovací konektory, jak bylo uvedeno výše, dále senzory a řídicí systém pro DALI.

#### Světelná instalace obsahuje:

- 41 ks svítidel
- 41 ks montážních sad (lišta, napájecí sada, spojka, závěsy s lanky)
- 3 ks senzorů
- 3 ks řídicích jednotek
- 1 ks rozhraní ethernet
- 5 ks nouzových svítidel Ontec

Tabulka 15: Seznam všech dílů pro osvětlení haly

Typ materiálu	Popis
LL523X LED160S/840 PSD MB 7 WH	LED svítidlo
LL546T 9 WH	lišta
LL500Z 2xEP CU WH	propojky
LL500Z CPE WH	plechová krytka
LL500Z MB-SW2 L5000 WH	montážní sada
LL500Z BC L2300 WH	krycí plech
LL500Z BA WH	konektory
DDRC1220FR-GL-V3	manuální ovládání - relé
DDBC120-DALI	stmívač
DDNP1501	ethernetová brána

#### Spotřeba

Spotřeba je počítána z denního pracovního intervalu. Tento interval je dán výrobními pracovníky, kteří nemají sjednocenou dobu začátku a konce výroby. Někteří pracovníci začínají v 6 hodin a končí ve 14:30, jiní mají pracovní dobu posunutou z důvodu komplikované dostupnosti dopravními prostředky. Jednodenní interval tedy pokrývá celkovou 8 hodinovou pracovní dobu všech těchto pracovníků a je tedy protažen na 10 hodin. Tento interval je použit i pro další výpočty, kde pracujeme s měsíci a roky. Porovnání spotřeby svítidel je provedeno pro spotřebu naměřenou v časovém intervalu od 6:00 do 16:00 a pro nastavení světelného výkonu osvětlení na 70 %.

### Celková pořizovací cena

U celkové ceny je brána v úvahu pořizovací cena svítidel a všech příslušných prvků. Dále je do celkové ceny započítána projektová dokumentace, regulační prvky, rozváděč, kabeláž, montáž a výchozí revize.

### Provozní náklady

Provozními náklady jsou myšleny pouze náklady přímé, tedy vlastní spotřeba elektrické energie. Cena údržby svítidel, revize, testy a čištění byla úmyslně nezahrnuta do kalkulace. Pro porovnání nemá smysl, protože by probíhala pro staré i nové osvětlení.

### Energetický tarif

Hala je napojena na distributora elektrické energie EON. V současné době je nasmlouván tarif, kde za 1 kWh je nutné zaplatit 4,47 Kč<sup>4</sup>. Nebudeme se zabývat podrobnými údaji v tarifu, tj. změny ceny za kWh ve vysokém a v nízkém tarifním režimu.

### Výpočet

V samotném výpočtu měsíčních a ročních spotřeb neuvažují roční období a tím i změnu osvětlenosti, tedy i spotřeby. Porovnání je provedeno pro pevně nastavenou hladinu osvětlenosti, tedy na 70 %.

### Vstupní parametry výpočtu

1 den = 10 hodin

1 měsíc = 30 dnů

1 rok = 365 dnů

naměřená spotřeba svítidel Cuba/1 den = 89,16 kWh

naměřená spotřeba svítidel Maxos/1 den = 26,13 kWh

Tabulka 16: Celková spotřeba elektrické energie  $W$  (MWh) v uvedených časových obdobích

Časový úsek	Spotřeba svítidla Cuba	Spotřeba svítidla Maxos
1 den <sup>5</sup>	0,09 MWh	0,03 MWh
1 měsíc	2,67 MWh	0,79 MWh
1 rok	976,30 MWh	286,12 MWh
2 roky	1952,60 MWh	572,25 MWh
10 let	9763,02 MWh	2861,24 MWh

4 Cena za elektřinu je netypicky uvedena v korunách, důvodem je jednotná fakturační skupina EON pro zákazníky v České Republice.

5 Jednodenní provoz pracovníků odpovídá 10 hodinám.

Tabulka 17: Celková cena spotřeby elektrické energie v uvedených časových obdobích v českých korunách

Časový úsek	Cena spotřeby svítidla Cuba	Cena spotřeby svítidla Maxos
1 den	399 Kč	117 Kč
1 měsíc	11 956 Kč	3 504 Kč
1 rok	145 469 Kč	42 632 Kč
2 roky	290 938 Kč	85 265 Kč
10 let	1 454 690 Kč	426 324 Kč

#### 6.4. Výpočet návratnosti

Časový úsek 2 roky je doplněn pouze pro potřeby firmy. Slouží jako orientační ukazatel návratnosti. Firma se bude za 2 roky stěhovat do nové haly, jejíž výstavba momentálně probíhá. Tato hodnota bude použita pro jednání s pronajímatelem. Tématem jednání bude odkup osvětlení Maxos pronajímatelem od nájemce. Ukazatel 10 let se používá pro srovnání běžně, jedná se o udávanou dobu životnosti svítidel výrobcem.

Pro převod EUR do Kč byl pro přepočítání použit únorový kurz dle ČNB kde 1 EUR = 25,05 Kč. Celková cena za osvětlení je tedy = 489 477 Kč.

Srovnáním ceny spotřeby dle tabulky 18 vidíme, že návratnost investice do nového osvětlení Maxos je do 5 let.

Tabulka 18: Rozdíl ceny spotřeby elektrické energie svítidel Cuba a Maxos v českých korunách

Časový úsek	Rozdíl ceny spotřeby elektrické energie svítidel Cuba a Maxos
2 roky	205 673 Kč
5 let	514 673 Kč
10 let	1 028 366 Kč

Tabulka 19: Porovnání svítidel Cuba a Maxos

Porovnávané veličiny		Svítidlo Cuba	Svítidlo Maxos
Světelný tok	$\Phi$ (lm)	19 000	16 000
Reálný světelný tok	$\Phi$ (lm)	12 783	16 000
Měrný světelný výkon	$\eta$ (lm.W <sup>-1</sup> )	41	172
Příkon jednoho svítidla	$P$ (W)	287	93
Příkon 48 svítidel Cuba/41 svítidel Maxos	$P$ (W)	11 873	3 813
Spotřeba při provozu na 70 % za 1 den	$W$ (Wh)	91 510	26 130
Cena za jeden ks svítidla	(EUR <sup>6</sup> )	-	195
Návratnost investice	$T_{INV}$ (rok)	-	do 5 let
Celková cena investice	(EUR)	-	19 540

V Tabulce 19 jsou uvedena srovnání technických parametrů svítidel, dále srovnání příkonů a spotřeb pro jednotlivá svítidla. Ve spodní části tabulky je celková cena investice a návratnost. Cenu investice bohužel nebylo možné porovnat, nepodařilo se dohledat vstupní údaje svítidel Cuba.

<sup>6</sup> Ceny osvětlení jsou uvedeny v EUR. Je to proto, že společnost má tuto měnu jako hlavní a veškeré nabídky proběhly v této měně.



## 7 Závěr

První část práce byla věnována problematice osvětlování budov se zaměřením na umělé osvětlení. V této části jsem popsal veličiny, které v dalších návrzích a výpočtech používám. Obecně jsem popsal problematiku umělého osvětlení a objasnil možnosti svítidel.

Druhou částí byl popis programů, které se používají pro výpočet osvětlení. Popsáno bylo několik programů od jednoduchých nástrojů typu kalkulačka, až po skutečně komplexní sofistikované programy typu RELUX či DiaLUX. Osobně jsem otestoval všechny programy uvedené v této práci. Pro návrh samotného osvětlení jsem zvažoval použití Dialuxu a RELUXu. Nakonec jsem zvolil program RELUX. Důvodem pro tuto volbu nakonec bylo to, že s tímto programem mám nejvíce zkušeností, takže nebylo nutné přeorientovat se na trochu jiné rozhraní. Zde je třeba konstatovat, že výsledného projektu je možno dosáhnout ve všech programech určených pro návrh osvětlení.

Třetí část práce jsem věnoval popisu stávajícího stavu osvětlení v průmyslové hale. Systém osvětlení byl podrobně popsán se všemi nedostatky, které jsou důvodem pro návrh nového osvětlení. Jedním z problémů je i nefunkční nouzové osvětlení. Zde musím konstatovat, že jsem vycházel ze špatného původního předpokladu. Při testování nouzových svítidel bylo zjištěno, že nenabíhají v nouzových stavech. Po rozebrání jednoho svítidla se ukázalo, že nedisponují záložní baterií. Předpoklad, že i ostatní nouzová svítidla Unilux jsou všechna bez záložní baterie, se ukázal být chybný. Poměrně nedávno byla rozebrána i ostatní nouzová svítidla a ta záložní baterii již obsahovala. Bez baterie bylo tedy pouze svítidlo, které bylo rozmontováno jako první. Tato skutečnost ovšem nic nemění na tom, že svítidla při výpadku elektrické energie nebo při poplachu EPS nenabíhají. Problém byl zohledněn při samotném návrhu a vznikl tedy druhý požadavek. Tím bylo doplnění osvětlení haly i o nouzová svítidla. Pro nouzové osvětlení byla zvolena svítidla TM.ONTEC R M5 105 M ST s bateriovým napájením.

Čtvrtá část byla zaměřená na samotný návrh nového osvětlení. Pro návrh byl použit program RELUX. Do programu byly doplněny všechny proměnné, které souvisely s materiály haly. Dále byla přidána klíčová hodnota světelné prostupnosti znečištěných světlíků. Parametr znečištění světlíku byl zjištěn při měření denního osvětlení. Pro srovnání byla provedena simulace denního osvětlení v RELUXu. Porovnáním naměřených a simulovaných hodnot byly zjištěny rozdílné hodnoty osvětlenosti v prostorech pod světlíky. Na základě této skutečnosti bylo zjištěno a definováno znečištění povrchů světlíků. Provedenými simulacemi jsem dospěl k volbě ideálního svítidla. Pro návrh osvětlení bylo použito svítidlo LL523X LED160S/840 PSD MB 7 WH v systému Maxos od výrobce Philips. Tento typ svítidla splňoval parametry požadované investorem. Výsledky simulací jsou vidět na obrázcích 47 a 48, dále na obrázcích 50, 51 a 52. V příloze č. 2 je uvedena část výstupu z programu RELUX.

V páté části jsem provedl srovnání stávajícího a nového osvětlení. Srovnání bylo provedeno po stránce světelné a ekonomické. Z hlediska samotného osvětlení je vidět, že nově navržené osvětlení s LED systémem Maxos dosahuje požadované hladiny osvětlenosti a splňuje požadavky na větší hodnotu rovnoměrnosti osvětlení

Po stránce ekonomické konstatují toto. Už jen samotná volba LED svítidla je zárukou nižší spotřeby, což je jasně vidět i z technických parametrů obou svítidel, konkrétně ze srovnání světelného toku a hodnot měrných světelných výkonů. Zde jednoznačně vede LED svítidlo. Pro přesnější srovnání bylo provedeno měření spotřeby za jeden pracovní den pro oba typy svítidel. Tyto hodnoty byly použity pro určení spotřeby za období 1, 2, 5 a 10 let. Porovnáním těchto hodnot jsem dospěl k jednoznačnému závěru, že nově navržené osvětlení se svítidly Maxos je úspornější. Vzhledem k výsledkům uvedeným v tabulkách 16 a 17 mohu tvrdit, že nové osvětlení má ve srovnání se starým téměř čtvrtinovou spotřebu elektrické energie. V tabulce 18 je srovnán rozdíl vynaložených nákladů na provoz osvětlení. Ze srovnání je vidět návratnost nového osvětlení. Mohu tedy říci, že návratnost nastane do 5 let od začátku jeho provozu.

V návaznosti na výše uvedené mohu konstatovat, že požadavky pro návrh nového osvětlení se povedlo naplnit v těchto bodech: vyšší hladina osvětlenosti, navýšení rovnoměrnosti osvětlení a úspora elektrické energie. Poslední bod, který se týkal nízkých pořizovacích nákladů, je sporný. V první řadě je třeba definovat, co jsou to nízké náklady. Budu vycházet z předpokladu, že termín nízké náklady znamená pořízení osvětlení splňující všechny požadované parametry za nejnižší možnou cenu na trhu. V tomto okamžiku mohu tedy tvrdit, že tento bod nebyl naplněn. Lze pořídit osvětlení splňující požadavky dokonce o 10 – 30 % levněji. Tato osvětlení ovšem nebudou modulární, nebo je nebude možné regulovat. Z těchto důvodů byl použit dražší systém. Je nutné ještě zmínit, že do ekonomického porovnání nebyla zahrnuta možnost regulace. Tato regulace přinese další úsporu elektrické energie, takže návratnost investice bude dříve, než za vypočtených 5 let.

Na závěr bych zmínil ještě jednu důležitou skutečnost. Jednou věcí jsou návrh, simulace a výpočty. Druhou je ovšem střet s realitou. Obvykle se v reálu vyskytne mnoho skutečností, které nejdou jednoduše zjistit ve výpočtech a simulacích, nebo se některý vstupní parametr opomene. Tyto skutečnosti často negativním způsobem ovlivňují návrh. Příkladem může být například to, že z důvodu jiných technologií není možné svítidla umístit v definovaných místech. Tím dochází ke zkreslení parametrů simulace a výpočtů. V této hale se naštěstí nejednalo o tyto problémy, ale dodatečně se objevil jiný problém.

Nesrovnalostí, možná lépe řečeno nepřesností v návrhu, která znehodnocuje optimální návrh vnitřního osvětlení haly, je odrazivost světla od bílých matných ploch montážních stolů. Plochy stolů odráží denní i umělé světlo takovým způsobem, že místy dochází k mírnému oslnění pracovníků. Tato skutečnost se v době měření a návrhu neprojevila. Byla zjištěna až v důsledku současné koronavirové situace. V této době došlo k poklesu výrobních zakázek, což vedlo k tomu, že montážní stoly běžně zaplněné díly pro výrobu rozváděčů, byly nyní prázdné. Stoly, na kterých bylo rozmístěné vybavení pro osazování rozváděčů, byly kompletně zakryté a k žádným nevhodným odrazům při definování vstupních parametrů pro výpočet tehdy nedocházelo. Přestože se jedná o rušivou záležitost, tak osvětlení nebude modifikováno. Pokud by se situace s propadem zakázek nezlepšila, nebude důvod investovat další prostředky do řešení této situace. Nebudou-li zakázky, nebude ani ve výrobě žádný pracovník, který by mohl být oslněn.

## 8 Seznam použité literatury a dalších zdrojů

- [1] SOKANSKÝ, Karel. *Světelná technika*. Praha: ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-04941-9.
- [2] SOKANSKÝ, Karel a kolektiv. *ZÁKLADY ZÁKLADŮ SVĚTELNÉ TECHNIKY*. OSTRAVA 2007.
- [3] SOKANSKÝ, Karel. *Racionalizace v osvětlování kancelářských, školských a bytových prostor*, Publikace ČEA, Ostrava 2004
- [4] SOKANSKÝ, Karel. *Racionalizace v osvětlování venkovních prostor*, Publikace ČEA, Ostrava 2005
- [5] LINDA, Josef. *Elektrické světlo I*. Plzeň: ZČU, 1993. ISBN 80-7082-094-2
- [6] LINDA, Josef. *Elektrické světlo II*. Plzeň: ZČU, 1994. ISBN 80-7082-167-1.
- [7] LINDA, Josef. *Elektrické světlo III*. Plzeň: ZČU, 1995. ISBN 80-7082-223-6.
- [8] HABEL, Jiří. *Elektrické světlo I*. Praha: ČVUT, 2011. ISBN 97
- [9] HABEL, Jiří. *Světlo a osvětlování*. Praha: FCC Public, 2013. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [10] HABEL, Jiří. *Světelná technika a osvětlování*. FCC Public, Praha 1995.
- [11] PLCH, Jiří. *Světelná technika v praxi*. IN-EL spol. s.r.o., Praha 1999.
- [12] ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů, 4/2012
- [13] ČSN EN 12665 Světlo a osvětlení – Základní termíny a kritéria pro stanovení požadavků na osvětlení, 7/2007
- [14] ČSN 730580-1 Denní osvětlení budov. Část 1: základní požadavky, 9/2014
- [15] TNI 36 0450 Rušivé oslnění při osvětlení vnitřních prostorů, 5/2009
- [16] ČSN 73 0848 - Požární bezpečnost staveb - Kabelové rozvody, 2/2015
- [17] ČSN 36 0020 (360020) - Sdružené osvětlení, 1/2015
- [18] ČSN EN 50171 - Centrální napájecí systémy 1/2002
- [19] <https://www.relux.com>
- [20] <https://www.dial.de/en/dialux/>
- [21] <https://www.astrasw.cz/lighting>
- [22] <http://www.zhitov.ru/cs/>
- [23] <https://www.lighting.philips.cz/prof/vnitri-osvetleni/rychlomontazni-systemy/Maxos-rychlomontazni-system/Maxos-fusion>
- [24] <https://www.bozpinfo.cz/intenzita-osvetleni-jako-dulezity-parametr-k-zajisteni-bezpecnosti-ochrany-zdravi-pri-praci>
- [25] [https://www.wikiskripta.eu/w/Viditeln%C3%A9\\_sv%C4%9Btlo](https://www.wikiskripta.eu/w/Viditeln%C3%A9_sv%C4%9Btlo)
- [26] [https://cs.wikipedia.org/wiki/Fotometrick%C3%A9\\_veli%C4%8Diny](https://cs.wikipedia.org/wiki/Fotometrick%C3%A9_veli%C4%8Diny)
- [27] <https://cs.wikipedia.org/wiki/Zrak>
- [28] <https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%BD%C3%A1rovka>
- [29] <https://www.dum-svitidel.cz/zdroje/master-hpi-t-plus-250w645-e40-1sl-philips.htm>

- [ 30 ] <https://support.relux.com/en/support/solutions/articles/17000041931-dynamic-planning>
- [ 31 ] <https://www.svet-svitidel.cz/clanky-svetelny-tok-a-intenzita-osvetleni/>
- [ 32 ] <http://www.top-osvetleni.cz/clanky/udrzovaci-cinitel-svetelne-soustavy>
- [ 33 ] <https://www.svetloblog.cz/index.php?svetlo=vypocet-udrzovaciho-cinitele>
- [ 34 ] [https://www.osram.cz/ecat/LUMILUX%20T8-Z%C3%A1%C5%99ivky%20T8-Z%C3%A1%C5%99ivky-Sv%C4%9Bteln%C3%A9%20zdroje-Digital%20Systems/cz/cs/GPS01\\_1027891/PP\\_EUROPE\\_CZ\\_eCat/](https://www.osram.cz/ecat/LUMILUX%20T8-Z%C3%A1%C5%99ivky%20T8-Z%C3%A1%C5%99ivky-Sv%C4%9Bteln%C3%A9%20zdroje-Digital%20Systems/cz/cs/GPS01_1027891/PP_EUROPE_CZ_eCat/)
- [ 35 ] [https://www.osram.cz/ecat/QUICKTRONIC%20PROFESSIONAL%205-Elektronick%C3%A9%20p%C5%99ed%C5%99adn%C3%ADky%20pro%20%C3%A1%C5%99ivky%20a%20kompaktn%C3%AD%20%C3%A1%C5%99ivky,%20bez%20stm%C3%ADv%C3%A1n%C3%AD-Elektronick%C3%A9%20p%C5%99ed%C5%99adn%C3%ADky%20pro%20%C3%A1%C5%99ivky%20a%20kompaktn%C3%AD%20%C3%A1%C5%99ivky-Electronic%20Control%20Gears%20for%20Lamps-Digital%20Systems/cz/cs/GPS01\\_1027993/PP\\_EUROPE\\_CZ\\_eCat/#&gid=1&pid=1](https://www.osram.cz/ecat/QUICKTRONIC%20PROFESSIONAL%205-Elektronick%C3%A9%20p%C5%99ed%C5%99adn%C3%ADky%20pro%20%C3%A1%C5%99ivky%20a%20kompaktn%C3%AD%20%C3%A1%C5%99ivky,%20bez%20stm%C3%ADv%C3%A1n%C3%AD-Elektronick%C3%A9%20p%C5%99ed%C5%99adn%C3%ADky%20pro%20%C3%A1%C5%99ivky%20a%20kompaktn%C3%AD%20%C3%A1%C5%99ivky-Electronic%20Control%20Gears%20for%20Lamps-Digital%20Systems/cz/cs/GPS01_1027993/PP_EUROPE_CZ_eCat/#&gid=1&pid=1)
- [ 36 ] <https://www.eibabo.cz/houben/konveneni-predradnik-529029-eb11403317>
- [ 37 ] [https://www.hadex.cz/g090-elektronicky-predradnik-eb-2x36-pro-2-zarivky-36w/?gclid=EA1aIQobChMI6rHlqobc6QIV1pTVCh3i-wwZEAQYByABEgKXifD\\_BwE](https://www.hadex.cz/g090-elektronicky-predradnik-eb-2x36-pro-2-zarivky-36w/?gclid=EA1aIQobChMI6rHlqobc6QIV1pTVCh3i-wwZEAQYByABEgKXifD_BwE)
- [ 38 ] [https://www.palmat.cz/zarivkova-trubice-t8-10w-tube-26-10/?gclid=EA1aIQobChMIwcWdionc6QIVg4XVCh1q8gjaEAQYCSABEgLSM\\_D\\_BwE](https://www.palmat.cz/zarivkova-trubice-t8-10w-tube-26-10/?gclid=EA1aIQobChMIwcWdionc6QIVg4XVCh1q8gjaEAQYCSABEgLSM_D_BwE)
- [ 39 ] <https://www.svetliky-pasove.cz/produkty/sedlove-pasove-svetliky/>

## 9 Seznam obrázků

1. Lidské oko [27]
2. Fotoreceptory v oku [27]
3. Viditelné spektrum světla [25]
4. Průběhy absolutních hodnot světelných účinků záření zraku normálního fotometrického pozorovatele pro vidění fotopické, mezopické a skotopické [8]
5. Svazky rozbíhajících a sbíhajících se paprsků [4]
6. Prostorový úhel [1]
7. Elementární plocha  $dA$  prostorového úhlu  $d\Omega$  [1]
8. Běžná žárovka se závitem E27 [28]
9. Různé tvary žárovek
10. Zářivková trubice T8 Ecolite [38]
11. Elektronický předřadník Hadex pro 2 zářivky [37]
12. Konvenční předřadník Vossloh Schwabe [36]
13. Vysokotlaká halogenidová výbojka 250 W [2]
14. Piktogramy svítidel podle rozložení světelného toku  $\Phi$ , značeno dle DIN 5040 [1]
15. Křivka svítivosti  $I$  (cd) v polárních souřadnicích [2]
16. Křivka svítivosti  $I$  (cd) svítidla Cuba
17. Průběh udržovacího činitele snížení osvětlení  $f_M$  (%) v závislosti na vykonávání údržby  $t$  ( $10^3$  h) [32]
18. Wils - osvětlení haly [21]
19. Wils - osvětlení místnosti [21]
20. Wils - výpočet osvětlení průmyslové haly [21]
21. Návrh osvětlení v programu DIALux – místnost lékárny [20]
22. Kalkulačka pro výpočet osvětlení od Dmitry Zhitova [22]
23. Návrh osvětlení v programu RELUX – jednací místnost [19]
24. Návrh osvětlení v programu RELUX řešeného osvětlení průmyslové haly
25. Svítidlo Elettroplastica Cuba 2 Refl. 450 LC0006422
26. Svítidlo UNILUX UX-EMERGENCY 2841
27. Umístění výbojek současného osvětlení ve výrobních prostorách
28. Průmyslová hala, střešní světlíky a fotovoltaika
29. 3D model průmyslové haly se současným osvětlením
30. Náhled měřicího rastru haly
31. Sedlový světlík na střeše haly [39]
32. Schéma rozmístění původních svítidel Cuba LC0006422
33. Hodnoty naměřené osvětlenosti  $E$  (lx) umělého osvětlení Cuba
34. Hodnoty vypočítané osvětlenosti  $E$  (lx) umělého osvětlení Cuba v programu RELUX
35. Průběh osvětlenosti  $E$  (lx) umělého osvětlení Cuba z programu RELUX
36. Izoluxní křivky osvětlenosti  $E$  (lx) umělého osvětlení původních svítidel Cuba
37. Hodnoty naměřené osvětlenosti  $E$  (lx) denního osvětlení původních svítidel Cuba

38. Hodnoty osvětlenosti  $E$  (lx) denního osvětlení původních svítidel Cuba ze simulace RELUX
39. Hodnoty osvětlenosti  $E$  (lx) denního osvětlení původních svítidel Cuba ze simulace RELUX se zanesenou korekcí znečištění světlíku
40. Hodnoty osvětlenosti  $E$  (lx) denního osvětlení původních svítidel Cuba ze simulace RELUX se zanesenou korekcí znečištění světlíku, přímý výstup z programu RELUX
41. Izoluxní křivky osvětlenosti  $E$  (lx) denního osvětlení původních svítidel Cuba se zanesenou korekcí znečištění světlíku
42. Výpočet udržovacího činitele  $f_M$  vnitřní osvětlovací soustavy [33]
43. Křivka svítivosti  $I$  (cd) svítidla Maxos
44. Křivka svítivosti  $I$  (cd) svítidla Cuba
45. Vodorovné rozmístění svítidel
46. Svislé rozmístění svítidel
47. Průběh osvětlenosti  $E$  (lx) umělého osvětlení nových svítidel Maxos z programu RELUX
48. Průběh osvětlenosti  $E$  (lx) sdruženého osvětlení nových svítidel Maxos z programu RELUX
49. Hodnoty osvětlenosti  $E$  (lx) sdruženého osvětlení původních svítidel Cuba ze simulace RELUX
50. Hodnoty osvětlenosti  $E$  (lx) umělého osvětlení nových svítidel Maxos ze simulace RELUX
51. Hodnoty osvětlenosti  $E$  (lx) denního osvětlení nových svítidel Maxos ze simulace RELUX
52. Hodnoty osvětlenosti  $E$  (lx) sdruženého osvětlení nových svítidel Maxos ze simulace RELUX

## 10 Přílohy

1. Simulace stávajícího osvětlení v programu RELUX
2. Návrh nového osvětlení v programu RELUX
3. Půdorys průmyslové haly firmy
4. Technické informace svítidla Cuba 2 Refl. 450 LC0006422 [19]
5. Technické informace svítidla Philips - Maxos fusion - LL523X XA 1 xLED160S/840 MB [19]
6. Hodnoty poměrné spektrální citlivosti normálního fotometrického pozorovatele při denním vidění  $V(\lambda)$  a při vidění nočním  $V'(\lambda)$  [8].
7. Popis systému Maxos fusion [23]
8. Měřicí rastr