

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Rekonstrukce osvětlení průmyslového objektu.

Reconstruction of Industrial Lighting Systems.

2015/2016

Roman Siwy

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Roman Siwy**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika
Téma: Rekonstrukce osvětlení průmyslového objektu.
Reconstruction of Industrial Lighting Systems .
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Požadavky na průmyslovou osvětlovací soustavu.
Rekonstrukce osvětlení konkrétního objektu.
Vícekritériární srovnání původního a výsledného stavu.
Zjednodušená projektová dokumentace výsledného řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:


Sokanský, K.: Světelná technika, ČVUT Praha, 2011
Oborové ČSN-EN normy (rozdávěče, rozvody nn, světelná technika)
Další dle pokynů vedoucího bakalářské práce

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Bernat, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2015

Datum odevzdání: 29.04.2016


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně za odborného vedení. Dále prohlašuji, že jsem uvedl všechny použité zdroje, literaturu a další podkladové materiály na konci bakalářské práce v seznamu literatury.

V Ostravě dne

29. 5. 2016

Roman Šimf

podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Petrovi Bernatovi, Ph.D. a prof. Ing. Karlovi Sokanskému, CSc. za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Lucii Moržolové za její podporu a pomoc.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je problematika návrhu osvětlení v průmyslových budovách v souladu s platnými normami v České republice. Práce pojednává o kvantitativních a kvalitativních požadavcích pro nové osvětlovací soustavy.

Praktická část se zabývá rekonstrukcí konkrétního průmyslového objektu. Je zde popsán stav osvětlení před a po rekonstrukci. Teoretický stav osvětlení před/po rekonstrukci byl simulován použitím programu ReluxPro.

Závěr práce obsahuje vícekriteriální srovnání původního a výsledného stavu osvětlení. Zjednodušená projektová dokumentace výsledného řešení byla zhotovena v prostředí programu Sichr.

Abstract

The aim of this bachelor's thesis is problematics of lighting systems in industrial objects according to standards in Czech Republic. It gives information about quantitative and qualitative requirements for new-designed lighting systems.

The practical part discuss reconstruction of particular industrial object. It describes state of lighting before and after reconstruction. Theoretical before/after lighting state was simulated using ReluxPro software.

The conclusion includes multi-criteria comparison of original and final state of lighting systems. Simplified project documentation was draw in Sichr software.

Klíčová slova

Požadavky na osvětlovací soustavu; průmyslový objekt; návrh osvětlení; rekonstrukce; denní osvětlení; umělé osvětlení; sdružené osvětlení; ovládání a řízení osvětlovacích soustav; světelné zdroje; svítidla

Keywords

Requirements for lighting systems; industrial object; lighting design; reconstruction; daily lighting; artificial lighting; united lighting; operation and control of lighting systems; light sources; lighting

Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolů
E_m	lx	Udržovaná osvětlenost
E	lx	Osvětlenost v kontrolním bodě
E_h	lx	Osvětlenost venkovní vodorovné nezacloněné roviny za stanovených podmínek
R_a	-	Index podání barev
UGR	-	Index oslnění
r	-	Rovnoměrnost osvětlení
D	%	Činitel denní osvětlenosti
D_m	%	Průměrný činitel denní osvětlenosti
D_{min}	%	Minimální činitel denní osvětlenosti
K	lm/W	Měrný výkon
I	A	Proud

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Význam
UGR	Unified Glare Rating

Obsah

1. Úvod.....	10
2. Požadavky na osvětlovací soustavu.....	11
2.1. Vstupní nároky na osvětlení.....	11
2.2. Viditelnost a rozlišitelnost.....	11
2.3. Výchozí podklady pro návrh osvětlení.....	11
2.3.1. Hladiny osvětlení.....	12
2.3.2. Rovnoměrnost osvětlení.....	13
2.3.3. Stálost osvětlení.....	13
2.3.4. Zábрана osvětlení.....	13
2.3.5. Směr dopadu a odrazu světla.....	14
2.3.6. Barevné vlastnosti světla.....	14
3. Osvětlovací soustavy.....	17
3.1. Denní osvětlení.....	17
3.2. Umělé osvětlení.....	20
3.2.1. Podle zdroje proudu a provozního účelu.....	20
3.2.2. Podle použitých svítidel (světelného toku).....	21
3.2.3. Podle rozložení sledovaných světelně technických veličin.....	23
3.3. Sdružené osvětlení.....	25
4. Ovládání a řízení osvětlovacích soustav.....	26
4.1. Zapnutí a vypnutí osvětlení.....	26
4.2. Optimalizace spotřeby elektrické energie.....	26
4.2.1. Optimalizace doby využití osvětlovací soustavy umělého osvětlení.....	26
4.2.2. Optimalizace využití denního světla.....	27
4.2.3. Eliminace předimenzování osvětlovací soustavy umělého osvětlení.....	27
4.3. Zlepšení komfortu.....	27
4.3.1. Osvětlení prostoru.....	28
4.3.2. Osvětlení místa zrakového úkolu.....	28
4.3.3. Ovládání osvětlení.....	28
4.3.4. Biodynamické osvětlení.....	28
4.4. Monitorování a diagnostika osvětlovací soustavy.....	29
5. Části osvětlovací soustavy.....	30
5.1. Světelné zdroje.....	30
5.2. Svítidla.....	31

5.3. Řídicí a osvětlovací systémy	31
6. Rekonstrukce osvětlení konkrétního objektu	33
6.1. Důvody rekonstrukce osvětlení	35
6.2. Návrh osvětlovací soustavy	35
7. Vícekriteriální srovnání původního a výsledného stavu	38
7.1. Srovnání svítidel	38
7.2. Další možnosti svítidla SEGA SE130	39
8. Zjednodušená projektová dokumentace výsledného řešení	41
9. Závěr	43
10. Seznam literatury	44
Přílohy	46

1. Úvod

Světlo bylo od začátku tím nejdůležitějším faktorem, které vyvolávají v člověku fyziologické a psychologické reakce. Člověk vnímá zrakem více jak 80% informací, které jsou kolem něj. Z tohoto důvodu se na návrh osvětlovací soustavy klade velký důraz.

V současné době je vývoj světelné techniky v největším rozmachu. Na osvětlení jsou kladeny čím dál tím větší požadavky. Z jedné strany aby světla byly co nejvýkonnější a z druhé strany aby byly co nejvíce ekologická. Světla by měla dosáhnout co největší účinnosti. Životnost by měla být stále větší, ale nesmíme zapomínat na kvantitativní a kvalitativní požadavky.

Svítit se bude pořád a vzhledem k tomu, že hodně firem má nepřetržitý provoz, tak kvalita a životnost osvětlení bude ještě žádanější. Z důvodu náročnosti návrhu osvětlení by tuto práci, měli provádět profesionální odborníci, kteří nebudou navrhovat nejúspornější svítidla na úkor kvality.

Právě s problematikou návrhu osvětlení by Vás měla více seznámit tato bakalářská práce a poukázat na parametry, které jsou důležité. Na co si při návrhu osvětlení dávat pozor a všeobecně ukázat proč je užitečné navrhovat dobré soustavy v průmyslových halách.

2. Požadavky na osvětlovací soustavu.

2.1. Vstupní nároky na osvětlení.

Nejdůležitějším požadavkem pro osvětlení je vytvořit uspokojivé podmínky pro vidění. Podle toho v jakém prostoru pracujeme, má osvětlení vytvořit takové podmínky, aby bylo dosaženo požadovaného výkonu a zrakové pohody člověka.

„V procesu vidění světlo zprostředkuje až 80 % všech našich zrakových vjemů na jedné straně, na straně druhé působí na činnost centrální soustavy daleko větší měrou, než se původně předpokládalo.“¹

Z těchto důvodů by se dalo vnitřní osvětlení rozdělit do následujících skupin:

- světlo má za úkol mimo jiné vytvořit takové podmínky, aby se mohlo úspěšně dosáhnout pracovní činnosti,
- světlo taky má pozitivní vjem na estetické působení osvětleného prostředí (osvětlení budov, kultura, apod),
- speciální nároky na osvětlení ve zdravotnictví, sportoviště, jeviště apod.

2.2. Viditelnost a rozlišitelnost

Přesto, že tyto dva pojmy jsou spolu spojené, musíme je při výběru osvětlení a podmínek vidění oddělit.

Viditelnost – pod tímto pojmem se rozumí takový typ umělého osvětlení, které zajišťuje orientaci a pohyb v osvětleném prostoru.

Rozlišitelnost – v prostoru již nejde jen o orientační pohyb, ale i o úspěšné vykonání pracovní činnosti.

2.3. Výchozí podklady pro návrh osvětlení

Tyto zásady se odvíjí od funkčních vlastností zraku, které jsou následující:

- velký rozsah vůči světlu vstupujícímu do oka,
- barevná rozlišitelnost,
- citlivost na směr světla vstupujícího do oka,
- prostorové vnímání v prostředí, kde se pozorovatel nachází,
- vnímání tvaru osvětlovaných předmětů,
- rychlost zrakového vnímání.

¹ PLCH 1999, s. 73.

Z těchto odrážek potom vychází kvalitativní a kvantitativní vlastnosti umělého osvětlení:

- hladiny osvětlení,
- rovnoměrnost osvětlení,
- stálost osvětlení,
- zábrana oslnění,
- směr dopadu a odrazu světla,
- barevné vlastnosti světla.

2.3.1. Hladiny osvětlení

Dle normy ČSN 36 0450, která je nahrazená normou ČSN EN 12464-1 [N. 6], se prostor dělí na čtyři základní kategorie.

Tab. 1. Kategorie osvětlení podle druhu vykonávané činnosti

Kategorie osvětlení	činnost	Pořadí důležitosti rozhodujících kritérií
A	S velkými požadavky na zrakový výkon	1. zrakový výkon 2. zraková pohoda
B	S průměrnými požadavky na zrakový výkon	
C	S malými požadavky na zrakový výkon	1. zraková pohoda 2. zrakový výkon
D	S přednostními požadavky na vnímání prostoru, tvaru a barev	

Jednotlivé typy úrovní osvětlení, jsou k nahlédnutí v normě ČSN EN 12464-1 [N. 6]. Jednotlivé úrovně se dělí podle druhu prostoru, úkolu nebo činnosti. Každý prostor, který je označen pod referenčním číslem, má svoji hodnotu osvětlenosti prostoru E_m (lx), index podání barev R_a (-) a oslnění UGR (-), viz tab. 2.

Tab. 2. Příklad požadavku na osvětlení pro místnosti dle normy [N. 6].

Referenční číslo	Druh prostoru, úkolu nebo činnosti	E_m (lx)	R_a (-)	UGR (-)
2.13.3	-svařování	300	60	25
2.13.4	-hrubé a střední strojní opracování, tolerance $\geq 0,1$ mm	300	60	22
2.13.5	- jemné strojní opracování, broušení, tolerance $\leq 0,1$ mm	500	60	19
2.13.6	- orýsování, kontrola	750	60	19
2.13.10	- výroba nástrojů a řezných nástrojů	750	60	19
2.13.11	- montážní práce - střední	300	80	25
	- jemné	500	80	22
	- velmi jemné	750	80	19

2.3.2. Rovnoměrnost osvětlení

Poměr nejmenší a průměrné osvětlenosti povrchu. Určuje se na srovnávací rovině v místě zrakové činnosti (1).

$$r = \frac{E_{min}}{E_{pr}} \quad (-) \quad (1)$$

Hodnoty rovnoměrnosti musí být nejméně:²

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

E_{pr} – stanovuje se z celkového půdorysu místnosti

E_{min} – místo, kde se nachází nejméně osvětlené předměty hlavní zrakové činnosti

2.3.3. Stálost osvětlení

Další z důležitých faktorů je stálost osvětlení. Souvisí to hlavně s psychikou člověka. Při rychlých časových změnách může dojít k tzv. stroboskopickému jevu, projevuje se tak, že plynulý pohyb se jeví jako přerušovaný a rotující části mohou být vnímány s jinou rychlostí nebo směrem otáčení nebo se mohou jevit jako statické.³ Je důležité osvětlení zabezpečit proti vzniku těchto nepříjemných vjemů, protože může dojít k vážným úrazům.

2.3.4. Zábava osvětlení

„Oslnění je nepříznivý stav zraku, k němuž dochází, je-li sítnice nebo její část vystavena jasů vyššímu, než na který je oko adaptováno.“⁴

V praxi tento jev nastává, pokud svítidla umístíme před tmavé, neosvětlené pozadí, nebo je-li střední část zorného pole značně jasnější než okolí. Oslnění je nebezpečné v tom, že může zásadně ovlivnit zrakové výkony a zrakovou pohodu. Může tedy dojít ke dvěma stupňům oslnění, a to psychologickému (pozorovatelné a rušivé) nebo fyziologickému (omezující a oslepující). Právě k tomuto fyziologickému oslnění nesmí dojít. K zamezení oslnění se používá clona osvětlení, speciální optické systémy, nepřímé osvětlení, antireflexní úprava povrchů, polarizace světla a další, nutné ale podotknout, že všechny tyto úpravy snižují účinnost osvětlení soustav a zvýšení její energetické náročnosti.

² PLCH 1999, s. 76.

³ Habel 2013, s. 329

⁴ Zábava oslnění při návrzích osvětlení. www.elektrika.cz. [online]. 7.07.2011 [cit. 2015-12-16]. Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/zabrana-oslneni-pri-navrzich-osvetlen>

V praxi se v rámci evropských norem používá pro hodnocení přímého rušivého oslnění od umělého osvětlení index oslnění UGR (Unified Glare Rating). Index oslnění říká, že míra oslnění roste se zvětšujícím se jasem oslňujícího zdroje a s jeho zvětšujícími se rozměry. Míru oslnění můžeme snížit zvětšením jasu pozadí, případně posunem oslňujícího zdroje směrem od osy pohledu pozorovatele.

2.3.5. Směr dopadu a odrazu světla

Je potřeba si uvědomit, že světlo v prostoru vytváří stíny a odlesky. Proto je důležité zvolit správnou polohu, počet a tvar svítidla.

2.3.6. Barevné vlastnosti světla

Barva světla je závislá na spektrálním složení světla (tab. 3). V praxi se barva světla určuje pomocí teploty chromatičnosti, která vypovídá o barevné jakosti světla a udává se ve stupních kelvina (K). Dále se tady setkáváme s pojmem kolorita povrchů, která zase vypovídá o barevné jakosti povrchů. Můžeme říct, že barva předmětů závisí na intenzitě světla vyzařovaného tělesem a spektrálním složení světla, kterým je předmět ozařován.⁵

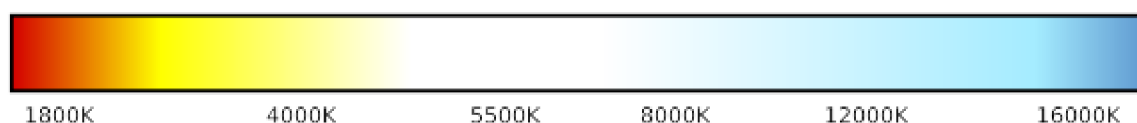
Existují rozdíly v teplotě chromatičnosti různých světél (obr. 1):

- 1200-1500 K: světlo svíčky,
- 2500-3200 K: běžná žárovka,
- 3000-4000 K: východ/západ slunce,
- 5000 K: denní světlo, zářivky,
- 5500 K: fotografické blesky, výbojky,
- 6000-8000 K: oblačno, mlhavo,
- 8000-11000 K: modré nebe bez slunce.

⁵Teplota chromatičnosti. www.is.mendelu.cz. [online]. [cit. 2015-12-16]. Dostupné z: https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=9104

Tab. 3. Rozsahy vlnových délek jednotlivých barev spektra⁶

Barevný vjem (chromatičnost)	Vlnová délka [nm]	Šířka pásma [nm]
Fialová	380 - 455	75
Modrá	455 - 492	37
Zelená	492 - 575	83
Žlutá	575 - 585	10
Oranžová	585 - 647	62
Červená	647 - 780	133



Obr. 1. Barevná teplota [3]

Index podání barev (Ra)–, charakterizuje kvalitu vjemu barev předmětu pozorovaného ve světle posuzovaného světelného zdroje v porovnání s vjemem barev téhož předmětu ve světle smluvního světelného zdroje.⁷ Všeobecně platí, že věrohodné podání barev dostaneme při hodnotách nad 90. V tab. 4 jsou skupiny všeobecného indexu podání barev.

Tab. 4. skupiny všeobecného indexu podání barev

Skupina	Index podání barev	Barevný tón	Příklad použití
1A	$R_a \geq 90$	Teple bílý	Porovnávání barev
		Neutrálně bílý	Klinická vyšetření
		Chladně bílý	Obrazové galerie
1B	$90 > R_a \geq 80$	Teple až neutrálně bílý	Domácnosti, hotely, restaurace, obchody, kanceláře, školy, nemocnice
		Neutrálně až chladně bílý	Tisk, barvy, textilní průmysl, náročné práce v průmyslu
2	$80 > R_a \geq 60$	Teple bílý	Průmyslová výroba
		Neutrálně bílý	
		Chladně bílý	
3	$60 > R_a \geq 40$		Těžký průmysl
4	$40 > R_a \geq 20$		

⁶PLCH 1999, s. 78.

⁷Habel 2013, str. 326

Obecná pravidla pro volbu světelných zdrojů a barev povrchových úprav ve vnitřních prostorech:⁸

1. Strop má být světlý nebo slabě tónovaný k barvě stěn.
2. Barevné řešení použitých materiálů, povrchů nebo nátěrů se má vybírat a hodnotit při osvětlení stejném nebo blízkém tomu, které bude použito v daném prostoru.
3. Barevné řešení má odpovídat hlavní funkci a využití prostoru.
4. Barvy pozadí (tj. hlavní povrchy – stěny, strop apod.) a předmětů zabírající velkou plochu mají být buď bílé, nebo pastelově zbarvené s velmi malou sytostí a velkým činitelem odrazu. Zvyšuje se tím velikost odražené složky.
5. Povrchy s teplejšími barevnými odstíny jsou posuzovány jako příjemnější ve světle s teplejším barevným tónem než ve světle se studenějším barevným tónem a naopak.
6. Ženy dávají přednost teplejším barevným odstínům (červená, žlutočervená, žlutá...), muži dávají přednost chladnějším barevným odstínům (zelená, modrá,...).
7. Barvy potravin jsou hodnoceny lépe ve světle s teplým tónem než s tónem studeným.
8. Osvětlené barevné povrchy jsou sekundárním zdrojem barevného světla, který ovlivňuje další barvy v prostoru a celkový dojem z prostoru.
9. Pocitově chladné prostředí lze neutralizovat teple bílým barevným tónem světla, naopak pocitově teplé prostředí lze neutralizovat chladně bílým barevným tónem světla.
10. Některé syté barvy, tvořící dlouhodobě podstatnou část zrakového prostředí, mají prokazatelný vliv na lidský organismus, který nemusí být vždy žádoucí. Z toho důvodu jsou pro hlavní plochy (podlahy, stěny, strop, velké předměty ve středu zorného pole) upřednostňovány barvy s nižší sytostí nebo barvy země, např. hnědá a béžová apod.

⁸Habel 2013, str. 327

3. Osvětlovací soustavy

Jedná se o funkční celek osvětlovacích prostředků, tzn. světelných zdrojů, svítidel a příslušenství (napájení a ovládání), vytvářejí v prostoru světelné prostředí. Cílem návrhu osvětlovací soustavy je vytvořit v prostoru takové podmínky, které umožní docílit úrovně zrakového výkonu a pohody s přijatelnou spolehlivostí, zajištění bezpečnosti osob a majetku, a to navzdory přiměřených finančních prostředků. Typ, který se zvolí, neovlivní pouze charakter osvětlení, ale především i její energetickou náročnost.

Podle toho jaký primární zdroj použijeme, tak rozlišujeme 2 základní typy, a to soustavu denního osvětlení a soustavu umělého osvětlení. Ve vnitřních prostorech se většinou používá kombinace těchto dvou variant. V normách se nerozlišuje, jaký zdroj se použil primárně pro dosažení světelně technických parametrů. Přístup denního světla do stavby se musí řešit již při počáteční fázi projektu stavby. Podle míry denního světla se pak rozliší prostory s dostatečným denním osvětlením a prostory bez denního osvětlení. Tomuto faktu se pak přizpůsobí umělé osvětlení tak, aby prostory vyhovovaly světelným podmínkám pro daný zrakový úkon.

3.1. Denní osvětlení

Za denní osvětlení se považuje přírodní světlo, pronikající přímo do místnosti osvětlovacími otvory, tak i světlo odražené od vnějších a vnitřních překážek. Postupem času se ukázalo, že denní světlo je nenahraditelné ve všech prostorech s trvalým pobytem osob. Ukázalo se, že sluneční světlo má příznivé psychické i fyziologické účinky. Hlavním zdrojem denního osvětlení je Slunce, které vyzařuje elektromagnetické záření, které pokrývá široké spektrum vlnových délek. Zemská atmosféra pohlcuje část těchto vlnových délek. Pronikne pouze optické záření v přibližném rozsahu od 280 do 3000nm. Část z tohoto záření je v oblasti ultrafialovém, toto záření má baktericidní účinky, tzn. dezinfikuje prostor, ve kterém je člověk. Toto UV záření může vyvolat nežádoucí fyzikální a chemické změny materiálů a předmětů uložených v interiéru. Pokud se stane, že v nějakém místě dojde k velké koncentraci jasů mezi osvětlenými a neosvětlenými plochami, případně odrazu od lesklých ploch, potom může dojít k narušení zrakové pohody.

V praxi se při návrhu a hodnocení denního osvětlení odděluje sluneční a oblohová složka denního světla. V konečném důsledku při hodnocení denního osvětlení ve vnitřních prostorech se pracuje pouze s oblohovou složkou. Když vezmeme v potaz to, že hladina osvětlení dána denním světlem je velmi proměnlivá, musíme pracovat s poměrnými hodnotami, které nejsou za určitých předpokladů jeho změnami ovlivněny. K hodnocení denního osvětlení se proto používá činitel denní osvětlenosti D (%), který lze stanovit takto (2):

$$D = \frac{E}{E_h} 100 (\%, lx, lx) \quad (2)$$

Kde je:

E osvětlenost v kontrolním bodě v místnosti (I_x),

E_h osvětlenost venkovní vodorovné nezacloněné roviny za stanovených podmínek (I_x).

Oblohu s rozptýleným slunečním světlem lze přirovnat ve srovnání s vnitřním prostorem k plošnému zdroji světla. Tento světelný zdroj se během roku dynamicky mění v závislosti na poloze Slunce a na oblačnosti. V přímé závislosti se proto mění i osvětlení denním světlem v interiéru. Činitel denní osvětlenosti, definovaný jako poměr dvou současných osvětleností, již není tak náchylný na uvedené změny. Přesto lze tyto hodnoty jednoznačně určit jen při předem definovaných vlastnostech oblohy. Při běžných výpočtech se počítá s nejméně příznivým stavem oblohy (tzn. zcela zatažená obloha v zimě). Úroveň jasů mohou ovlivnit jen odrazné vlastnosti terénu. V tabulce (tab. 5) lze nalézt základní požadavky na úroveň denního osvětlení. Požadavky jsou odstupňovány podle zrakové náročnosti. Podrobnější požadavky na různé druhy budov lze nalézt v normách (obytné domy [N. 1], školy [N. 2] a průmyslové objekty [N. 3]).

Tab. 5. Hodnoty činitele denní osvětlenosti pro různé třídy zrakových činností⁹

Třída zrakové činnosti	Charakteristika zrakové činnosti	Poměrná pozorovací vzdálenost	Příklady zrakových činnosti	Činitel denní osvětlenosti	
				D_{min} (%)	D_m (%)
I	Mimořádně přesná	330 a vyšší	Nejpřesnější zraková činnost s omezenou možností použití zvětšení, s požadavkem na vyloučení chyb v rozlišení, nejobtížnější kontrola	3,5	10
II	Velmi přesná	1670 až 3330	Velmi přesné činnosti při výrobě a kontrole, velmi přesné rýsování, ruční rytí s velmi malými detaily	2,5	7
III	Přesná	1000 až 1670	Přesná výroba a kontrola, rýsování, technické kreslení, obtížné laboratorní práce, náročné vyšetření, jemné šití	2	6
IV	Středně přesná	500 až 1000	Středně přesná výroba a kontrola, čtení, psaní (rukou i strojem), obsluha strojů, běžné laboratorní práce	1,5	5
V	Hrubší	100 až 500	Hrubší práce, manipulace s předměty a materiálem, konzumace jídla a obsluha, oddechové činnosti	1	3
VI	Velmi hrubá	Menší než 1000	Udržování čistoty, sprechování a mytí, převlékání, chůze po komunikacích přístupných veřejnosti	0,5	2
VII	Celková orientace	-	Chůze, doprava materiálu, skladování hrubého materiálu, celkový dohled	0,25	1

⁹Habel 2013, str. 332

Každá činnost, která je uvedena v tabulce (tab. 5.) musí splňovat ve všech kontrolních bodech minimální hodnoty činitele osvětlenosti D_{\min} . Ve vnitřních prostorech, kde se trvale vyskytují osoby, musí být minimální hodnota činitele denní osvětlenosti $D_{\min} = 1,5\%$ a průměrná hodnota $D_m = 3\%$.

Pro osvětlovací soustavy denního osvětlení zatím neexistuje žádná metoda hodnocení oslnění. V současných normách se pouze uvádí, že denní osvětlení musí být navrženo tak, aby osoby ve vnitřních prostorech byly chráněny proti oslnění při zatažené, polojasné a jasné obloze. Dále se v normách uvádí, že úhly menší jak 60° od obvyklého směru pohledu nemá poměr jasu pozorovaného předmětu a oblohy překročit hodnotu 1:200.

K snížení oslnění okny se můžou použít tyto techniky¹⁰:

- použití pokovených skel nebo folií s malým činitelem prostupu,
- zešíkmené hluboké okenní špalety s vysokým činitelem odrazu a s podobnou povrchovou úpravou okenních rámu a příček,
- přisvětlení okenních stěn zvláštními střešními světlíky nebo přídavnými svítidly.

V některých případech může být sluneční světlo nežádoucí. Jedná se především o zrakovou třídu činnosti I až IV, kdy může dojít k zhoršení zrakové pohody a oslnění. Mezi prostředky přímého slunečního záření patří¹¹:

- vhodná orientace budovy na neslunečnou stranu nebo do okolní stínící zástavby či krajiny,
- redukce zasklených ploch,
- použití speciálního skla pohlcujícího tepelnou složku slunečního záření,
- naklonění prosklené fasády,
- použití slunečních clon (vnější, vnitřní, vodorovné, svislé).

K zabránění oslnění především slunečním světlem způsobeného odrazem od povrchu ve vnitřních prostorech budov se mají používat nelesklé materiály nebo povrchové úpravy. Lidské oko je nejcitlivější v dolní části zorného pole, proto je pro oko nejkritičtější situace, kdy dochází k odrazení slunečního záření od dolní poloviny stěn, případně podlahy. K zabránění této situace se používají (žaluzie, rolety apod.), je důležité si uvědomit, že použitím těchto systémů dojde k ovlivnění barevných vlastností výsledného osvětlení prostoru i indexu podání barev. Ve vnitřních prostorech s trvalým pobytem osob musí být index podání barev $R_a > 80$.

Denní osvětlení můžeme realizovat dvěma způsoby (obr. 2.). První druh je boční osvětlovací systém, který využívají okna umístěná v obvodovém plášti budovy. Druhý je horní osvětlovací systém, který využívá světlíky ve střešní konstrukci. Musíme vzít v potaz, že při bočním osvětlení denní osvětlenost rychle klesá se vzdáleností od okna. V případech, jako je například obytná místnost nebo malá kancelář, je tato nerovnoměrnost vítána. V případě použitého horního osvětlovacího systému můžeme dosáhnout velmi rovnoměrného denního osvětlení za předpokladu, že osvětlení bude pečlivě navrženo. Boční osvětlení v mnoha případech nevyhovuje dané činnosti, a musí se proto doplnit umělým osvětlením. Přes tento nedostatek je třeba si uvědomit, že okna plní jednu ze svých

¹⁰Habel 2013, str. 333

¹¹Habel 2013, str. 333

základních funkcí, tj. umožňují získávat informace o vnějším prostředí, a tím zajišťují kontakt s venkovním prostředím, což je z psychologického pohledu důležité pro člověka.

Denní osvětlovací systém hraje velkou roli v energetické bilanci budovy. Toto osvětlení z hlediska úspory energie umožňuje snížit energetickou náročnost soustavy umělého osvětlení. Musíme vzít v potaz, že sluneční záření proniká v letním období osvětlovacími otvory do vnitřních prostorů. Vnitřní prostory je nutné posléze chladit. Naopak v zimním období dochází k úniku tepla, tzn., zvýší se nároky na vytápěcí systém. Důležité je proto pečlivě zvážit, když vezmeme v potaz všechna fakta, energetickou bilanci celé budovy. Nicméně energetické požadavky nelze v žádném případě nadřazovat nad požadované světelně technické parametry, které jsou uvedeny v příslušných normách a předpisech.



Obr. 2. Příklad použití bočního a horního osvětlovacího systém [8]

3.2. Umělé osvětlení

Soustava umělého osvětlení nám slouží k zajištění dostatečných světelných podmínek i v době, kdy není v místnosti dostatek denního osvětlení. Umělé osvětlení můžeme rozdělit následovně.

3.2.1. Podle zdroje proudu a provozního účelu

Soustavu umělého osvětlení dělíme na normální a nouzové (tab. 6). *Normální osvětlení* má zajistit v daném prostoru požadované osvětlení při bezporuchovém stavu. Normální osvětlení můžeme dále rozdělit na hlavní a pomocné. *Nouzové osvětlení* se zřizuje pro případ přerušení dodávky elektriny pro normální osvětlení. Je napájeno z jiného zdroje.

Tab. 6. Dělení osvětlovacích soustav umělého osvětlení podle napájení¹²

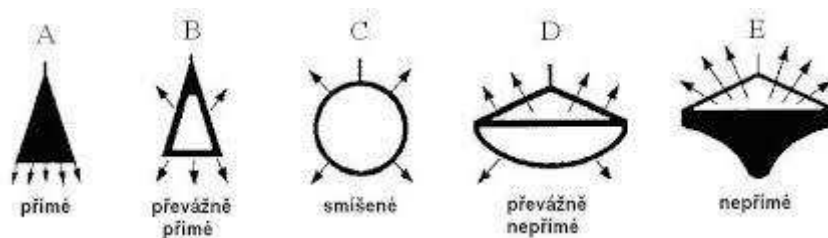
Normální osvětlení	Hlavní		Část osvětlovací soustavy, která zajišťuje osvětlení pro hlavní pracovní činnosti a využití prostoru.
	Pomocné		Část soustavy, která se používá pro jiné činnosti, než jsou hlavní zrakové činnosti, např. úklid, údržba apod.
Nouzové osvětlení	Náhradní osvětlení		Nouzové osvětlení umožňující pokračovat v běžné činnosti bez podstatných změn.
	Nouzové únikové osvětlení	Nouzové osvětlení únikových cest	Nouzové osvětlení, které zajišťuje, aby osoby přítomné v daném prostoru mohly účinně rozeznat únikové prostředky a bezpečně je použít.
		Protipanické osvětlení	Nouzové osvětlení, které má zabránit panice a poskytnout osvětlení umožňující lidem dosáhnout místa, odkud lze rozeznat únikovou cestu.
		Nouzové osvětlení prostorů s velkým rizikem	Nouzové osvětlení, které poskytuje osvětlení pro bezpečnost lidí zúčastněných v potenciálně nebezpečných procesech nebo situacích, umožňuje řádně ukončit práci bez nebezpečí pro operátora a ostatní osoby přítomné v budově.

3.2.2. Podle použitých svítidel (světelného toku)

Podle použitých svítidel (světelného toku) rozlišujeme osvětlení (obr. 3) na:

1. **Přímé** – svítidla jsou umístěna na stropě, část celkového vyzařovaného toku dopadá přímo na pracovní rovinu (90% – 100%)
2. **Převážně přímé** – svítidla bývají na stěně nebo jsou zavěšená. Část světelného toku dopadá přímo na pracovní rovinu (60 % – 90%).
3. **Smíšené** – světelný tok je vyzařován jak do horního, tak do dolního poloprostoru (40% – 60%)
4. **Převážně nepřímé** – převážná část světelného toku je vyzařována do horního poloprostoru (10 % – 40%)
5. **Nepřímé** – stojanová svítidla, světelný tok se vyzařuje do horního poloprostoru (0 % - 10%)

¹²Habel 2013, str. 335



Obr. 3. Rozdělení svítidel, podle rozložení jejich světelného toku [3]

Přímá osvětlovací soustava – veškerý světelný tok je vyzařován do dolního poloprostoru. Tato soustava je nejvíce používanou soustavou. Tyto soustavy opticky snižují výšku prostoru a potlačují rovinu stropu a současně zvýrazňují horizontální roviny (pracovní plochy a podlahu). Spektrální složení odražené složky světla ovlivňuje v tomto případě barevné řešení podlahy. Problém může nastat tehdy, máme-li prostor s velkou rozlohou a relativně malou výškou, protože může dojít k tomu, že se změní barevný odstín stropu. Máme-li světla s výrazným cloněním, je světelný tok dopadající na stěny prostoru malý. Nízký jas stěn pak může vyvolat pocit, že prostor je nedostatečně osvětlený. Tento problém se dá eliminovat nebo zmírnit přisvětlením stěn. Problém můžeme vyřešit dvěma způsoby: použitím svítidel s širokou křivkou svítivosti, nebo doplňkovými svítilny po obvodu místnosti. Z ekologického hlediska je tento typ osvětlovací soustavy nejučinnější.

Nepřímá osvětlovací soustava – veškerý světelný tok je vyzařován do horního poloprostoru. Světlo rozptyluje a odráží od povrchu stropu a stěn do dolního poloprostoru, tím působí jako sekundární zdroje světla. Tuto soustavu lze přirovnat k denní zatažené obloze. Osvětlení je klidné, měkké a rozptýlené, bez světelného důrazu a stínů a má velmi omezenou modelaci. U světelného tohoto typu se nesetkáváme s problémem oslnění, ale na druhou stranu se prostor jeví prázdným. Prostor postrádá místa se světelným důrazem a stíny, které dávají prostoru informace o rozměrech předmětu a prostoru. To vede k zhoršení prostorové orientace. Abychom tento fakt eliminovali, je vhodné prostor doplnit akcentovým osvětlením nebo osvětlením stěn. Dojde-li k tomu, že stěna nad svítilny a strop budou mít výrazně vyšší jas než části stěn pod svítilny, pak prostor v dolní části, bude působit jako nedostatečně osvětlený. Hlavní nevýhodou nepřímého osvětlení soustav v porovnání s přímým je jeho výrazně vyšší energetická náročnost.

Smíšená osvětlovací soustava – kombinace nepřímé a přímé osvětlovací soustavy. Jaký poměr této kombinace zvolíme, takový charakter bude mít osvětlení. Budeme-li chtít, aby výsledné osvětlení mělo převážně přímý charakter, s cílem zvýraznit modelaci předmětů a horizontální roviny, pak se nepřímá složka světelného toku používá ke zvýšení jasů stropu, případně stěn. Osvětíme-li stropy a stěny, zlepšíme tím prostorové rozložení jasů, prostor pak působí příjemnějším a přirozenějším dojmem. Jestliže strop bude mít velkou odrazivost (okolo 0,65), budeme moci i v relativně malém poměru (tzn. za podílu nepřímé složky v rozsahu 10 – 20%) dosáhnout přijatelného rozložení jasů. Přímá složka ve smíšených osvětlovacích soustavách se spíše používá pro doplnění akcentů, stínů a k vytvoření vhodných vizuálních podmětů, které zlepšují orientaci v prostoru, kdežto nepřímá složka zas vytvoří klidné osvětlení s jemnější modelací. Smíšené osvětlovací systémy lze vytvořit kombinací soustav přímých a nepřímých svítidel nebo jednou soustavou smíšených svítidel.

3.2.3. Podle rozložení sledovaných světelně technických veličin

Podle rozložení sledovaných světelně technických veličin v řešeném prostoru (na srovnávací rovině) se osvětlovací soustavy dělí na celkové, odstupňované a kombinované.



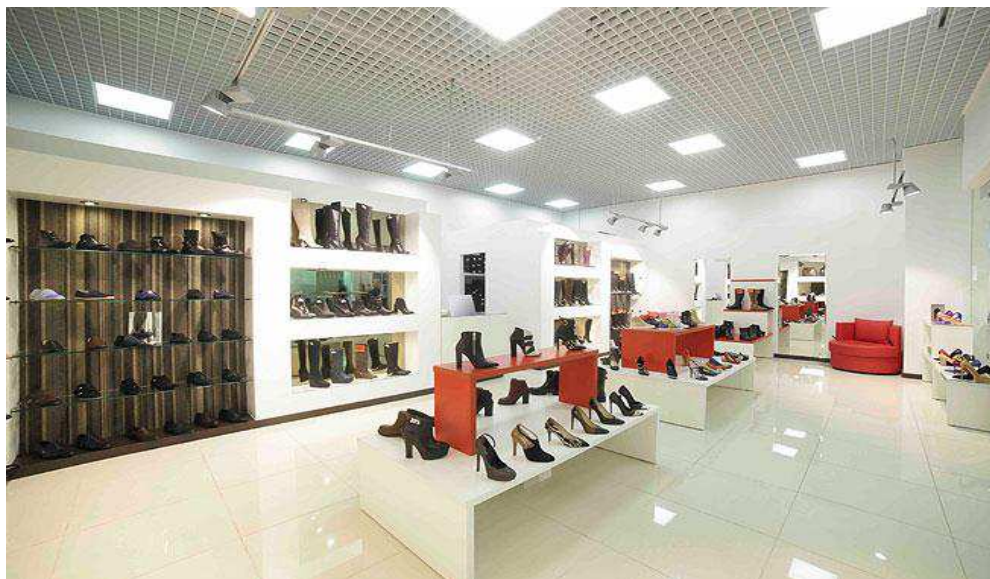
Obr. 4. Příklad celkového osvětlení prostoru [9]

Celkové osvětlení (obr. 4.) má za úkol zajistit v celém prostoru požadované osvětlení s předepsanou rovnoměrností. V tomto případě se za vhodné osvětlení považuje osvětlenost pro nejnáročnější zrakové úkoly v řešeném prostoru. Toto řešení se volí v prostorech, kde¹³:

- zrakové úkoly vyžadují relativně nízkou hladinu osvětlenosti,
- v celém prostoru nebo v jeho převážné části jsou vykonávány úkoly se stejnou zrakovou obtížností,
- dispoziční uspořádání pracovišť a polohy zrakových úkolů se v čase mění,
- místní osvětlení nelze s přijatelnou investiční náročností technicky realizovat.

Při tomto řešení je třeba kontrolovat, aby světelně technické parametry vyhověly na všech místech zrakového úkolu (např. postaví-li se v daném místě nějaká konstrukce, která zastíní okolí...). Největší výhodou těchto kanceláří je flexibilita při organizaci pracovišť v daném prostoru. Proto se toto osvětlení používá ve velkých prostorech, jako jsou velkoprostorové kanceláře, dílny, tovární haly a skladovací prostory. Naopak nevýhodou u tohoto řešení je jeho energetická náročnost. Důvod je takový, že celý prostor je osvětlený na hladinu osvětlenosti, která se ale vyžaduje pouze na konkrétní zrakové úkoly, které se nacházejí jen na konkrétních místech, tzn., že dochází k zbytečnému osvětlování na prostorech, kde to není třeba.

¹³Habel 2013, str. 338



Obr. 5. Příklad odstupňovaného osvětlení [10]

Odstupňované osvětlení (obr. 5.) stejně tak jako v předchozím případě, cílem odstupňovaného osvětlení je zajistit potřebné podmínky v celém prostoru. Rozdíl je v tom, že v tomto případě je prostor rozdělen do zón. Tyto zóny jsou funkčně vymezené části prostoru, které se liší charakterem a náročností zrakové činnosti. Světelně technicky je zapotřebí popsat každou zónu, a to z pohledu zrakové činnosti. Tento systém se používá pro¹⁴:

- prostory s funkčně vymezenými zónami s různou zrakovou náročností (např. obrábění, mezisklad, komunikace),
- prostory, kde jsou prováděny různé činnosti splňující podmínky pro použití kombinovaného osvětlení, ale kde z technologického nebo bezpečnostního hlediska nelze místní osvětlení použít.

Výhodou odstupňovaného osvětlení oproti celkovému je účinnější využití osvětlovací soustavy, a tím i nižší energetická náročnost v porovnání s celkovým osvětlením. Nevýhodou je, že rozložení prostoru už není tak jednoduché, proto je důležité mít dost informací o tom, kde se co bude nacházet. Změny v rozložení pracovišť nejsou pak jednoduché.

Kombinované osvětlení (obr. 6.) je kombinace celkového nebo odstupňovaného osvětlení s osvětlením místním. V tomto případě celkové osvětlení zajišťuje minimální požadavky osvětlení, tzn. v místě, kde je trvalý pohyb osob, kde je potřeba zajistit minimální hodnotu průměrného osvětlení 200lx. Místní osvětlení má za úkol s kombinací s předchozími dvěma variantami zajistit požadovanou osvětlenost v místě konkrétního zrakového úkolu. Použití kombinovaného osvětlení se doporučuje v těchto případech:

- osvětlení náročných zrakových úkolů, vyžadující vysoké osvětlenosti (nad 1000lx),
- osvětlení prostoru, kde se vykonávají zrakové činnosti s rozdílnými požadavky na úroveň osvětlení,

¹⁴Habel 2013, str. 339

- osvětlení zřakových úkolů, které vyžadují specifický směr dopadu světla, například pro rozlišování tvarů a textury povrchů,
- osvětlení členěného prostoru, kdy například dělicí příčky nedovolí dosáhnout celkovým osvětlením požadované osvětlenosti v místě zřakového úkolu,
- osvětlení zřakových úkolů, které vykonávají starší zaměstnanci nebo zaměstnanci s poruchami zraku, vyžadující vyšší hladiny osvětlenosti,
- osvětlení prostorů s nepravidelným nebo částečným obsazením pracovních míst.



Obr. 6. Příklad kombinovaného osvětlení [11]

Tento systém přináší hned dvě výhody. První je energetická účinnost osvětlení, protože nedochází ke zbytečnému přesvětlování míst, kde se nevykonává žádný zřakový úkon. Druhou výhodou je dobrá flexibilita, tzn. individuální přizpůsobení světelně technických parametrů v takém místě, kde chceme provádět daný úkon.

3.3. Sdružené osvětlení

Sdružené osvětlení je záměrné současné osvětlení vnitřního prostoru denním a doplňujícím umělým osvětlením.¹⁵ Používá se hlavně v prostorech, kde pro danou zřakovou úroveň není dostatečné denní osvětlení. Příkladem mohou být pracoviště zastíněná nebo jsou daleko od oken. Důvod, proč se objevilo sdružené osvětlení v normách, je jednak potřeba využít starších budov s nedostatečným denním osvětlením a jednak snaha o optimalizaci vnitřních prostředí z pohledu celkové energetické náročnosti budov. Sdružené osvětlení sice nenahradí denní osvětlení, ale je to přece jen lepší varianta než použití umělého osvětlení. V normě [N.4], která se zabývá sdruženým osvětlením je napsáno, že sdružené osvětlení lze použít u nově navrhnutých budov nebo v jejich funkčně vymezených částech pouze v odůvodněných případech. U rekonstruovaných a modernizovaných budov je toto osvětlení možno zavést v odůvodněných případech, jestliže se zlepší doposud nevyhovující stav [N.5].

Je evidentní, že sdružené osvětlení je taková výjimka v požadavcích na úroveň denního osvětlení, kterou jde v odůvodněných případech použít.

¹⁵Habel 2013, str. 343

4. Ovládání a řízení osvětlovacích soustav

Způsob, jak budeme ovládat a řídit soustavu, ovlivňuje účelnost, účinnost ale i energetickou náročnost. Ze začátku se k ovládání a řízení soustavy používalo zapnutí a vypnutí osvětlení. S rozvojem techniky se začaly používat pokročilejší systémy, které umožňují stmívat osvětlení, vytvářet světelné scény atd. V dnešní době se tyto systémy používají téměř všude. Řídicí systémy osvětlení jsou tak jedním ze základních prvků dobrého návrhu osvětlení, dále jsou nedílnou součástí strategií měřených na úspory elektrické energie pro osvětlení.

Účelná osvětlovací soustava má důležitou podmínku, a to, aby rozmístění svítidel respektovalo nejen využití prostoru a rozmístění míst zrakových úkolů, ale také možné využití denního světla, časové využití prostoru a pracovních míst. Po získání těchto informací můžeme navrhnout sdružení svítidel do společně ovládaných skupin, způsob ovládání (místní nebo centrální) a rozmístění ovládacích prvků. Po zvážení této věci můžeme začít uvažovat, zda je vhodné použít technicky propracovanější způsob ovládání. Pro toto rozhodování je důležité stanovit účel řídicího systému a ten může být následovný:

- zapnutí a vypnutí osvětlení,
- optimalizace spotřeby elektrické energie,
- zlepšení komfortu,
- monitoring a diagnostika osvětlovací soustavy.

4.1. Zapnutí a vypnutí osvětlení

Tento způsob ovládání patří mezi ty nejzákladnější. Základem ovládání je návrh rozmístění ovládacích prvků, kterými můžeme zapnout nebo vypnout jak osvětlovací soustavy, tak jejich části. Tento jednoduchý způsob ovládání může při vhodném rozmístění ovládacích prvků nepřímo, ale výrazně ovlivnit jak spotřebu elektrické energie, tak komfort uživatelů a světelnou pohodu v daném prostoru. Proto je vhodné na toto pamatovat již v úvodní fázi navrhování osvětlení.

4.2. Optimalizace spotřeby elektrické energie

Řízení a ovládání osvětlení umožňuje nastavit provoz soustavy tak, aby světelně technických parametrů bylo dosaženo energeticky co nejúčinnějším způsobem. Tyto parametry jdou ovládat na základě získaných informací z ovládacích zařízení (čidla, spínací hodiny apod.). Řídicí systém pak upravuje příkon nebo dobu využití osvětlovací soustavy, a tím ovlivňuje její celkovou spotřebu. K optimalizaci lze použít tyto způsoby:

- optimalizace doby využití osvětlovací soustavy umělého osvětlení,
- optimalizace využití denního světla,
- eliminace předimenzování osvětlovací soustavy umělého osvětlení.

4.2.1. Optimalizace doby využití osvětlovací soustavy umělého osvětlení

K navržení této optimalizace jsou časové plány činností a využití jednotlivých prostorů v osvětlovaném objektu. Z těchto časových plánů lze stanovit, zda se jedná o pravidelné využití prostoru nebo nepravidelné. V budovách, kde se v průběhu dne činnosti opakují pravidelně, lze provoz

svítidel řídit podle pevného časového plánu. Jedná se o budovy průmyslových závodů, škol, knihovna, úřadů apod. V těchto objektech je známa pracovní doba (tj. časový plán), na základě které může řídicí systém umělé osvětlení vypnout nebo jej ztlumit na nižší úroveň. Naopak jsou zde prostory, kde pracovní doba (časový plán) není pevně stanovena. Jedná se o budovy, v kterých pobyt osob nemá danou časovou dobu, kdy se tam kdo vyskytuje. Můžou to být ku příkladu, kanceláře, toalety, chodby, jedná se o místnosti, které se nepoužívají pravidelně. V těchto prostorech, kde nelze stanovit pevný časový plán, se pro místní automatické ovládání osvětlení používají čidla. Na základě informací z čidla může řídicí systém osvětlení opět zapnout, vypnout nebo nastavit na zadanou úroveň.

4.2.2. Optimalizace využití denního světla

Úsporu elektrické energie můžeme dosáhnout i tak, že světla, která se nachází poblíž stěn, kde je boční osvětlovací soustava, případně je-li světlo poblíž horní osvětlovací soustavy, vypneme nebo upravíme úroveň osvětlení tak, aby vyhovovala danému úkonu, tzn., snažíme se využívat denního světla co nejvíce. K sledování denního světla slouží čidla. Na základě informace z čidla potom vyhodnotí řídicí systém situaci.

4.2.3. Eliminace předimenzování osvětlovací soustavy umělého osvětlení

Hlavním důvodem, proč se musí osvětlení předimenzovat, je stárnutí osvětlení. Každé světlo, když je nové, svítí s nějakým světelným tokem, stárnutím jeho světelný tok klesá. Nesmí dojít k situaci, kdy osvětlenost, která je předepsaná pro daný zákrok normami, klesla pod normativní hodnoty. Tato rezerva v předimenzované soustavě umožňuje pokrýt pokles osvětlenosti v průběhu provozu.

Další případ předimenzování osvětlovací soustavy je, že se světelné zdroje svítidla vyrábějí v různých výkonových řadách. Pro dosažení požadovaných světelně technických parametrů se volí nejbližší vyšší výkonová řada.

Specifickým případem může být také flexibilní dispoziční uspořádání, kde může dojít k předimenzování osvětlovací soustavy. Důvod je takový, že v těchto prostorech lze vytvářet různé velké prostorové jednotky. Osvětlovací soustavu je nutno navrhnout tak, aby byla dostatečná osvětlenost i při nejnepříznivějším uspořádání, z toho vyplývá, že soustava je v normálním stavu uspořádání předimenzována.

Předimenzování osvětlovací soustavy lze eliminovat použitím stmívatelných svítidel připojených na řídicí systém osvětlení. Při tomto stmívání je potřeba dodržet potřebné parametry osvětlení. To se docílí tak, že se skokovou nebo průběžnou změnou světelného toku měníme současně příkon svítidel.

4.3. Zlepšení komfortu

V dnešní době si každý potrpí na komfort. S tím je úzce spojeno i vyrábění věcí co nejjednodušších. Světelná technika se ani v tomto ohledu neopozdila. Zlepšením komfortu v této oblasti zajišťují řídicí systémy a to tak, že umožňují přizpůsobit jak parametry osvětlení, tak i způsob ovládání osvětlovací soustavy. Komfort pak můžeme zlepšit v těchto oblastech:

- osvětlení prostoru,
- osvětlení místa zrakového úkolu,

- ovládání osvětlení,
- biodynamické osvětlení.

4.3.1. Osvětlení prostoru

Řídicí systémy v daném prostoru umožňují přizpůsobit a měnit světelnou atmosféru i parametry světelného prostředí. V místnosti může dojít k více náhlým změnám, které je zapotřebí řešit. Jednou ze změn může být náhlá změna denního osvětlení, která může vyvolat nedostatek světla v místnosti, poměry jasů mezi okny a sousedícími stěnami jsou nepřiměřeně velké a rušivé. Řídicím systémem lze tyto změny eliminovat nebo částečně eliminovat. Příkladem může být poměr jasů mezi okny a sousedícími stěnami, tento problém lze řešit tak, že řídicí systém omezí vstupující světlo spuštěním žaluzií, nebo zvýšením povrchového jasů stěn zvětšením příspěvku od umělého světla.

Světelné scény lze vytvářet buď kombinací jednoduchého spínače a stmívače, nebo řídicím systémem. Světelné scény pak v místnosti přizpůsobí osvětlení prostoru, které je potřeba při změně využití nebo z estetických důvodů. Svítidla jsou proto rozdělena do skupin. K jednotlivým světelným scénám je stanoveno, které skupiny se zapnou a v jakém regulačním stupni. Lze navrhnout jak statické, tak i dynamické scény, které mohou pracovat jak s běžným bílým světlem, tak s kombinací barev. Je důležité, aby bylo při použití světelných scén ovládání jednoduché, přehledné a v přiměřeném počtu.

4.3.2. Osvětlení místa zrakového úkolu

Jedná se především o místní osvětlení. Výhodou tohoto osvětlení je to, že lze světelné podmínky přizpůsobit na konkrétním místě. Místní přizpůsobení světelných podmínek může mít různé důvody. Jedním z důvodů může být změna náročnosti pracovního úkolu. Dalším důvodem mohou být rozdílné vlastnosti zrakového systému jednotlivých zaměstnanců. S přirůstajícím věkem zrak ochabuje. Proto možnost individuálního přizpůsobení světelných podmínek na pracovišti je velmi důležitá. V těchto případech, se používá ruční regulace, protože místní osvětlení zrakového úkolu se provádí nepravidelně a individuálně nebo jednorázově.

4.3.3. Ovládání osvětlení

Flexibilitu ovládání osvětlení soustavy při dispozičních a prostorových změnách interiéru umožňují řídicí systémy. Tyto řídicí systémy nám umožní takovou flexibilitu, že při jakýchkoliv změnách (změna pracoviště, úprava pracovní činnosti apod.) lze ovládání osvětlení pouhým přeprogramováním bez zásahu (nebo jen s minimálním zásahem) do zapojení osvětlovací soustavy změnit. Specifickým ovládáním jsou dotykové displeje. Pomocí dotykový displejů lze soustavu ovládat přehledně a jasně, tzn., můžeme jimi nahradit velká tabla s tlačítky a vypínači.

4.3.4. Biodynamické osvětlení.

Tento druh osvětlení se používá ve vnitřních prostorech k napodobení průběhu denního osvětlení. V řídicím systému jsou naprogramovány dynamické scény, které se mění na základě toho, kolik je hodin, jaké je roční období, dokonce se liší tyto parametry v závislosti na zeměpisné poloze objektu. Tento řídicí systém může měnit jak intenzitu osvětlení, index podání barev, ale i směrové vlastnosti. Biodynamické osvětlení bylo zavedeno na základě nejnovějších poznatků o účinnosti osvětlení na lidský organismus. Biodynamický systém osvětlení se používá v bezokenných prostorech.

4.4. Monitorování a diagnostika osvětlovací soustavy

Pomocí diagnostické funkce, kterou mají řídicí systémy, lze detekovat poruchové stavy v osvětlovací soustavě. Diagnostika nám může například detekovat vadný předřadník nebo nefunkční světelné zdroje. Díky diagnostice pak můžeme rychle odstraňovat poruchy a optimalizovat údržbu. Další funkcí, kterou umí diagnostika, je detekovat výpadek v napájecí soustavě a aktivovat nouzové osvětlení. Nedílnou součástí je monitorování a měření spotřeby elektrické energie a i informace o okamžitém příkonu.

5. Části osvětlovací soustavy

Osvětlovací soustava se skládá z jednotlivých částí, mezi které patří světelné zdroje, svítidla a řídicí a osvětlovací systémy. Při volbě zařízení si je třeba uvědomit, že pro každý prostor (zrakovou činnost) je daná jiná norma, proto si musíme uvědomit, co se v prostoru bude dělat a podle toho vybrat osvětlovací soustavu.

5.1. Světelné zdroje

Neexistují žádná jednotná pravidla, která by stanovovala, kde přesně se dá jaký zdroj použít. Proto se světelné zdroje hodnotí podle světelně technických a technicko-ekonomických parametrů. Je třeba vědět, jakou funkci bude plnit prostor, charakter zrakové činnosti, požadavky na osvětlení a druh osvětlovací soustavy. Při volbě světelného zdroje jsou důležité tyto parametry:¹⁶

- index podání barev (-),
- teplota chromatičnosti (K),
- světelný tok (lm),
- měrný výkon ($\text{lm} \cdot \text{K}^{-1}$),
- příkon (W),
- doba životnosti (h),
- stabilita světelného toku (časová, teplotní apod.),
- rozměry (mm),
- provozní vlastnosti (funkční spolehlivost, vliv teploty okolí, vliv kolísání napětí, odolnost proti otřesům, doba náběhu, vliv četnosti spínání, velikost a průběh náběhového proudu apod.),
- možnost řízení světelného toku,
- cena.

Jediný normativní světelně technický parametr je index podání barev (Ra). Jako jediný parametr vymezuje použitelnost světelných zdrojů pro osvětlování vnitřních prostorů. Konkrétní hodnoty nalezneme v normách, které řeší zvlášť zrakovou činnost a prostory [N.6], [N.7], [N.8], [N.9]. Světelný tok ovlivňují kvantitativní a kvalitativní světelně technické parametry, které charakterizují světelné prostředí v prostoru.

Další parametry úzce souvisí s energetickou náročností osvětlovacích soustav a provozních nákladů. Patří zde parametry, jako je měrný výkon, elektrický příkon, stabilita světelného toku, doba života a cena. Zbylé parametry, jako je vliv teploty na okolí, vliv četnosti spínání atd., mohou vymezovat jejich použití pro určité aplikační oblasti.

¹⁶Habel 2013, str. 351

5.2. Svítidla

Svítidla oproti světelným zdrojům mají užší oblast použití. Podle toho, jakou má svítidlo konstrukci a tvar, se určí, pro jakou konkrétní aplikační oblast nebo zrakový úkon budou použity. Volba svítidla samozřejmě úzce souvisí s výběrem světelného zdroje, typem osvětlovací soustavy, s funkcí, účelem a charakterem prostoru. Nejdůležitějšími parametry při výběru svítidla jsou tyto:¹⁷

- charakter vyzařování (křivka svítivosti),
- světelný tok instalovaných světelných zdrojů (lm),
- jas světelně činných částí ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$),
- clonění,
- provozní účinnost (%),
- časová stálost vlastností světelně činných částí,
- elektrický příkon,
- vzhled,
- provozně technické parametry (krytí, třída ochrany, mechanická odolnost, odolnost vůči agresivním vlivům prostředí apod.),
- způsob napájení a upevnění,
- náročnost údržby,
- cena.

Hlavními parametry svítidla jsou rozložení svítivosti, instalovaný světelný tok a použitý světelný zdroj. Zmíněné parametry v místnosti vytvářejí světelnou atmosféru, určují počet svítidel a jejich rozmístění. Dalším důležitým parametrem je jas, který ovlivňuje zrakovou pohodu. Jas lze zmenšit rozložením jasu na větší plochu nebo mechanickým zacloněním svítidla v kritickém směru. Se zacloněním svítidla souvisí úhel clonění, který je jako jediný parametr normativní [N.6]. Jelikož je svítidlo elektrické zařízení, je nutné dodržet zásady bezpečnosti. Požadavky na bezpečnost jsou spojeny s tím, v jakém prostředí se nachází. Parametry jako rozložení svítivosti, provozní účinnost, časová stálost vlastností optických částí, druh světelného zdroje a předřadník ovlivňují energetickou náročnost. Nesmíme zapomenout, že i vzhled hraje výraznou roli v estetice prostředí.

5.3. Řídicí a osvětlovací systémy

Řídicí systémy se začínají čím dál více používat, a to hlavně z důvodu zvětšení komfortu a snížení energetické náročnosti osvětlení. Do nedávna záviselo na projektantovi, zda zavede tento systém. V poslední době je tento systém nepřímo podpořen v normě, která hovoří o energetické náročnosti budov [N.10]. Mezi základní parametry charakterizující řídicí systém patří:¹⁸

- rozsah řídicího systému,
- typologie řídicího systému,
- způsob přenosu řídicího signálu,
- druh řídicího signálu.

¹⁷Habel 2013, str. 352

¹⁸Habel 2013, str. 353

Řídicí systémy nepatří mezi levnější záležitosti, proto je potřeba pečlivě zvážit, zda se nebude jednat o nadbytečnou součást osvětlovací soustavy.

6. Rekonstrukce osvětlení konkrétního objektu

Objekt, v kterém probíhala rekonstrukce, se nachází v průmyslové zóně Ostrava- Hrabová (obr. 7). Celý komplex je 500m široký, 550 m dlouhý, v nejvyšší části má hala 19m a ve zbytku má hala výšku 14m. V hale je tří směnný provoz a jede zde plně automatizované lisování plechu. Prostředí je průměrně čisté, tzn. vznikají zde nečistoty, které jsou viditelné, a v prostoru je potřeba dělat pravidelné úklidy.



Obr. 7 Průmyslová hala, v které probíhala rekonstrukce

V hale bylo denní osvětlení realizováno pomocí horního osvětlovacího systému, kde jeden světlík má velikost 3x1,5m. Zdroj umělého osvětlení zajišťovalo svítidlo Cabana2 BY150P (obr. 8) se světelným zdrojem vysokotlaká halogenidová výbojka od značky Philips HPI-P400W-BU.

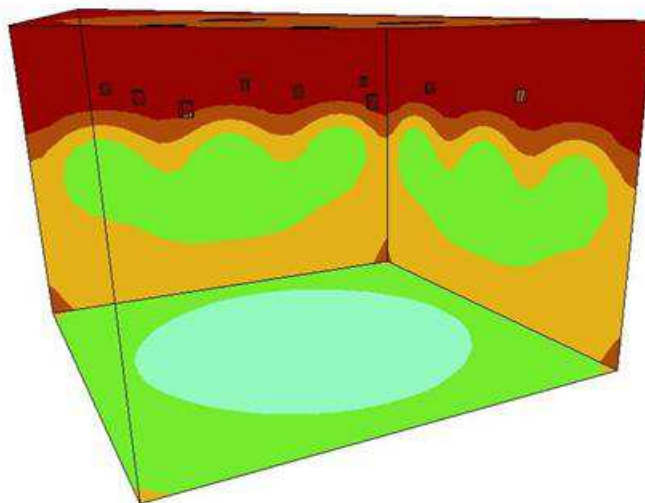


Obr. 8 Zdroj umělého osvětlení Cabana2 By150P se světelným zdrojem Philips HPI-P400W-BU

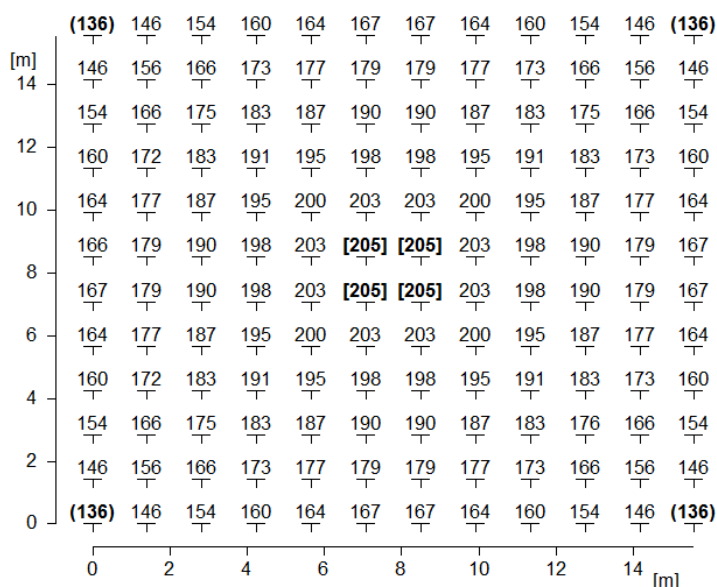
I přesto, že hala má horní osvětlovací systém, jako primární zdroj světla je umělé osvětlení. Umělé osvětlení v hale je situováno jako celkové osvětlení. Soustava osvětlení je rozdělena do rastru. Toto osvětlení má výhodu v tom, že rozložení pracovišť není nijak limitováno. Jelikož světelné zdroje

již byly zastaralé, jejich světelný tok značně poklesl. Podle produktového manuálu halogenidové vysokotlaké výbojky, klesne světelný tok po prvních 5000h o 20%, po 7500 o 30% a po 20000 odsvícených hodinách dokonce až o 40% (obr. 16). Je jasné, že po čtyřletém téměř nepřetržitém provozu nespĺňovaly minimální světelně technické požadavky pro daný zrakový úkon. Vzhledem k tomu, že nemám k dispozici žádné naměřené hodnoty, abych ověřil, jaká je skutečná intenzita osvětlení v prostoru, použil jsem program ReluxPro, ve kterém jsem nasimuloval situaci, která byla před rekonstrukcí osvětlení. V programu jsem nepočítal s celou halou, ale pouze s částí, která je hnědě vyznačena na obrázku 7, tj. rozměry haly 20x20m, světla byla zavěšena ve výšce 11,5m (obr. 9). Vzal jsem

v úvahu, že světelný tok po 20000h klesne až o 40%. Upravil jsem proto světelný tok v programu tak, ať odpovídá téměř reálnému stavu (obr. 10).



Obr. 9 Průřez haly



Obr. 10 Rozložení intenzity osvětlení v prostoru

Podle normy [N. 6], která hovoří o požadavcích určující světelně technické parametry pro daný zrakový úkon, by měly být v prostorech, kde se zpracovává kov, tyto parametry:

- Intenzita osvětlení $E_m = 200 - 1000 \text{ lx}$
- Index oslnění $UGR = 19 - 25 (-)$
- Index podání barev $Ra = 80 (-)$

Je patrné, že světelný zdroj již nevyhovoval normativním požadavkům. Udržovaná osvětlenost vychází $E_m = 176 \text{ lx}$.

6.1. Důvody rekonstrukce osvětlení

První důvod, proč bylo nutné vyměnit osvětlení, je nedodržení normativních světelně technických parametrů (obr. 11). Je třeba si uvědomit, že světlo ovlivňuje nejen psychiku člověka, jeho pracovní výkon, ale i z hlediska bezpečnosti hraje významnou roli a udržovaná osvětlenost $E_m = 176 \text{ lx}$ je malá.



Obr. 11. V zadní části haly je vidět nedostatečné normativní světelně technické parametry.

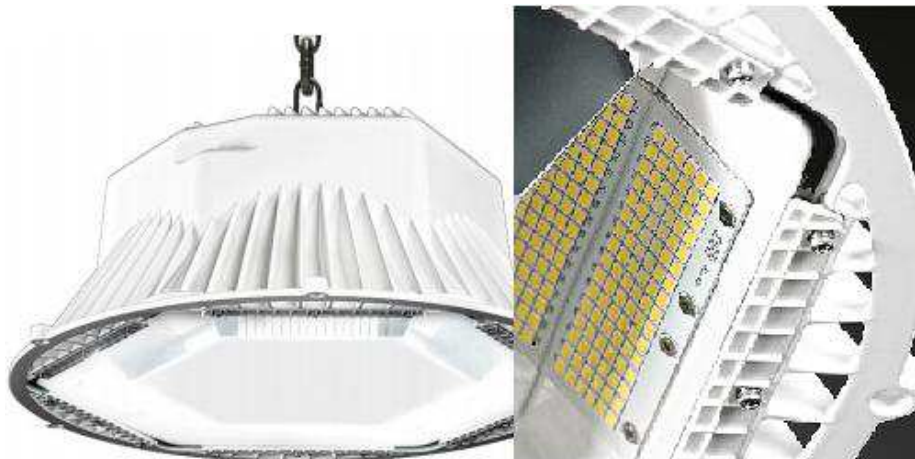
Druhým důvodem je energetická náročnost. V zjednodušeném návrhu, který jsem dal do programu ReluxPro, vychází, že celkový výkon při 9 svítidlech je 3600W, z čehož můžeme určit, že celkový výkon na ploše (400m^2) je 9 W/m^2 . V dnešní době, kdy se snaží každý ušetřit, je toto jasným podmětem pro výměnu osvětlovací soustavy.

6.2. Návrh osvětlovací soustavy

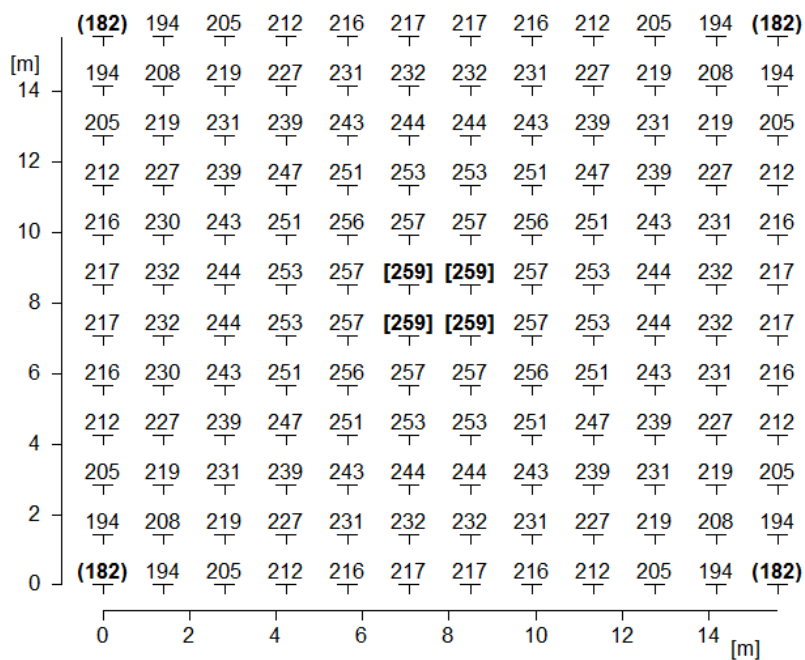
Pro rekonstrukci osvětlení jsme vybrali kvalitní led osvětlení od firmy Gigatera, konkrétně svítidlo SEGA s označením SE130 (obr. 12). Tento model se vyznačuje vysokou světelnou účinností a velmi nízkou spotřebou (viz kap. 7).

Vhledem k tomu, že toto svítidlo nelze dohledat v databázi programu ReluxPro, musel jsem zvolit podobný model s upravenými parametry k tomu, abych mohl nasimulovat, jaké budou přibližné

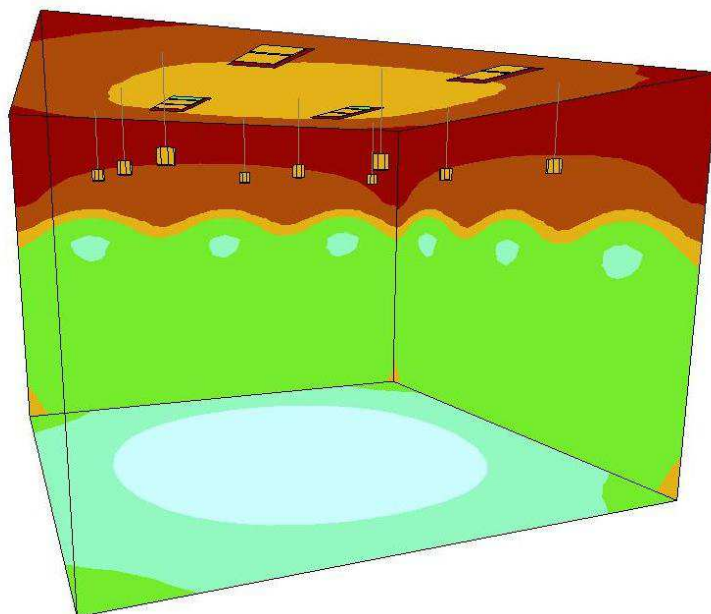
teoretické změny. Lze vidět, že teoretický výsledek již odpovídá normativním požadavkům (obr. 12). Udržovaná osvětlenost vychází $E_m = 229$ lx. Rozložení intenzity osvětlení v prostoru vychází lépe, což lze vidět i na průřezu haly (obr. 13).



Obr. 12 SEGA SE130[9]



Obr. 13 Rozložení intenzity osvětlení v prostoru nových svítidel



Obr. 14 Průřez haly

První důvod je tedy splněn. Intenzita osvětlení je dostatečná pro daný zrakový úkon, rozložení jasu v prostoru je taky lepší. Druhý důvod, který se týkal energetické náročnosti, dopadl taky hodně dobře. Celkový výkon pro simulovaný průřez je 1170 W a celkový výkon na ploše (400 m²) vychází 2,92 W/m². Energie na novém osvětlení by měla tedy být přibližně 3krát menší než na původním osvětlení. Po výměně svítidel je prostor také živější a působí celkově lepším dojmem (obr. 14).



Obr. 15 Pohled na halu po výměně osvětlovacích systémů

7. Vícekriteriální srovnání původního a výsledného stavu

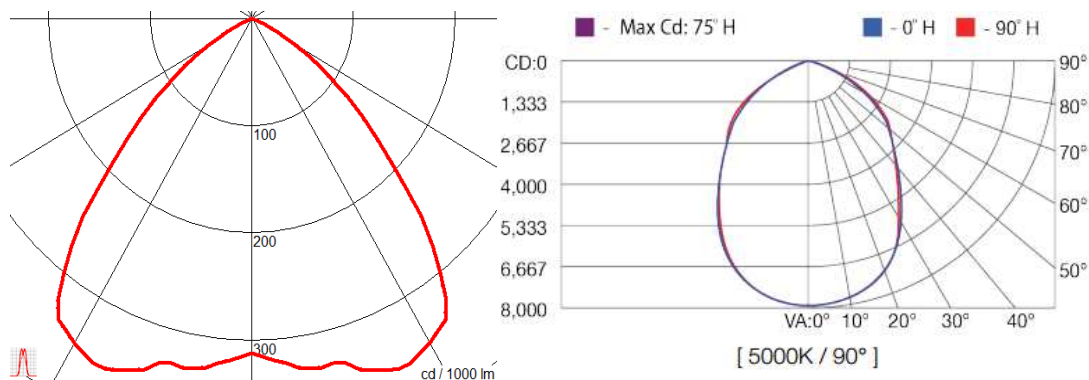
Tab. 7 Srovnání svítidel

Název	Příkon	Index podání barev	Měrný výkon	Světelný tok	Teplota chromatičnosti	Životnost
	W	Ra (-)	(lm/w)	(lm)	(K)	(h)
BY150P HPI-P400W-BU	400	65	82	32500	4500	20000
SEGA SE130	130	80	130	16900	5000	50000

Oba svítidla mají své výhody i nevýhody (tab. 7). Světelné soustavy je nutno rozebrat detailněji [6], [7], [9].

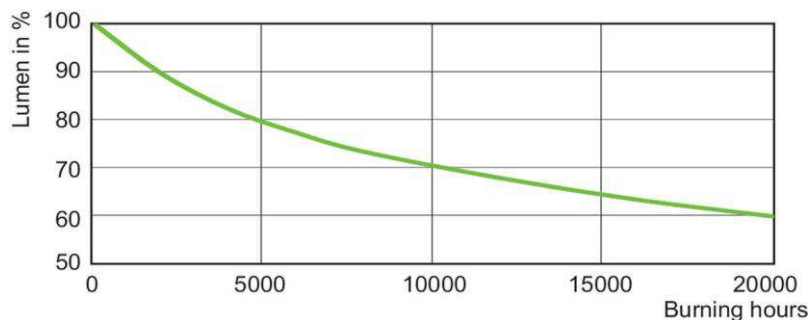
7.1. Srovnání svítidel

- Oba dva svítidla mají přímé osvětlení (obr. 15). Tento způsob osvětlení je nejpoužívanější v průmyslových halách, protože světelný tok světelných zdrojů je nejučinněji využit.



Obr. 16 Křivky svítivosti (vlevo BY150P HPI-400W-BU, vpravo SEGA SE130)[12],[9]

- Svítidlo s halogenidovou výboj má skoro 2x větší světelný tok. Tento světelný tok s počtem nasvícených hodin klesá (obr. 16). Oproti tomu mají led diodové osvětlení výhodu. Jejich světelný tok s časem tak razantně neklesá.



Obr. 17 Závislost světelného toku na čase halogenidové výbojky[13]

- *Měrný výkon*, který udává, s jakou účinností se převádí příkon na světelný tok. Led osvětlení má mnohem větší měrný výkon, takže energie nepřijde zbytečně na zmar.
- Dalším parametrem, který souvisí s náročností na energii je příkon. Led osvětlení má přibližně 3x menší příkon než svítidlo s halogenidovou výbojkou. Vezmeme-li v potaz, že jeden z důvodů rekonstrukce je úspora energií led osvětlení nejen, že má menší příkon, ale i mnohem větší účinnost v přeměně elektrické energie na světlo.
- *Životnosti* je parametr, který je velmi důležitý. Led osvětlení má 2,5x větší životnost.
- *Index podání barev* by měl být podle norem v průmyslových halách $R_a = 80$. V tomto ohledu halogenidová výbojka je nedostatečná.
- *Teplota chromatičnosti* (viz kap 2.3.6) tento parametr je hodně důležitý a není lehké určit, která teplota je lepší. Obecně platí, že studené světlo člověka probouzí, proto se v pracovních prostorech doporučuje zvolit zdroj s větší teplotou chromatičnosti.
- Důležitý faktor, který se nesmí opomenout je váha. Nesmíme zapomenout, že průmyslové haly jsou vysoké a montovat v takové výšce těžké světlo není nic jednoduchého. Svítidlo od firmy Philips váží 11,6kg, kdežto svítidlo od firmy Gigatera pouhých 6kg.
- *Clonění*, čím menší bod, z kterého vyzařuje světlo, tím větší je oslnění a pro oko nepříjemné. S tímto problémem se potácí led osvětlení, aby se tento nepříjemný vjem zmírnil, jedním způsobem je použití clonění (obr. 18). Po přidání clony se od ní odráží světlo a tím se zmírní oslnění.



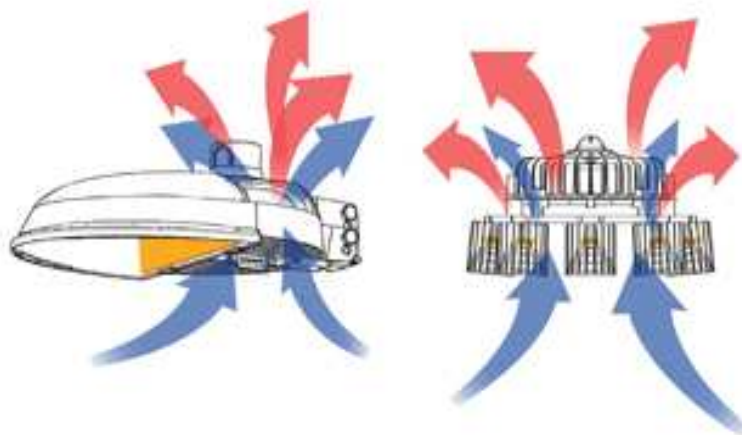
Obr. 18 Clona, která se připevňuje na svítidlo

7.2. Další možnosti svítidla SEGA SE130

Světlo lze řídit a monitorovat pomocí zabudovaného komunikačního systému ZigBee. Díky tohoto jednoduchého komunikačního standartu můžeme měnit teplotu chromatičnosti (v rozsazích 3000K, 4000K, 5700K a 6500K), dále je možno světlo stmívat. Svítidlo je také osazeno senzorem, pro snímání denní složky.

Odvod tepla je hrozně důležitý. Při optimálních teplotách zařízení dosahují delších životností. Jsou dva zdroje tepla, s kterými se LED osvětlení potýká. Jeden zdroj tepla je sám o sobě světelný zdroj, druhým zdrojem je usměrňovač, který mění střídanou složku na stejnosměrnou, která je použitá

pro napájení LED čipů. Tyto dva zdroje se chladí pouze odvodem do konstrukce (obr. 19). Konstrukce je tvarovaná tak, aby posílilo proudění vzduchu.

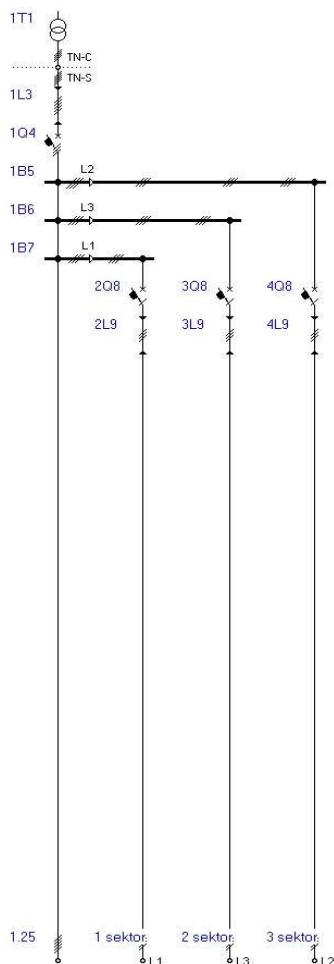


Obr. 19 Princip chlazení svítidla [9]

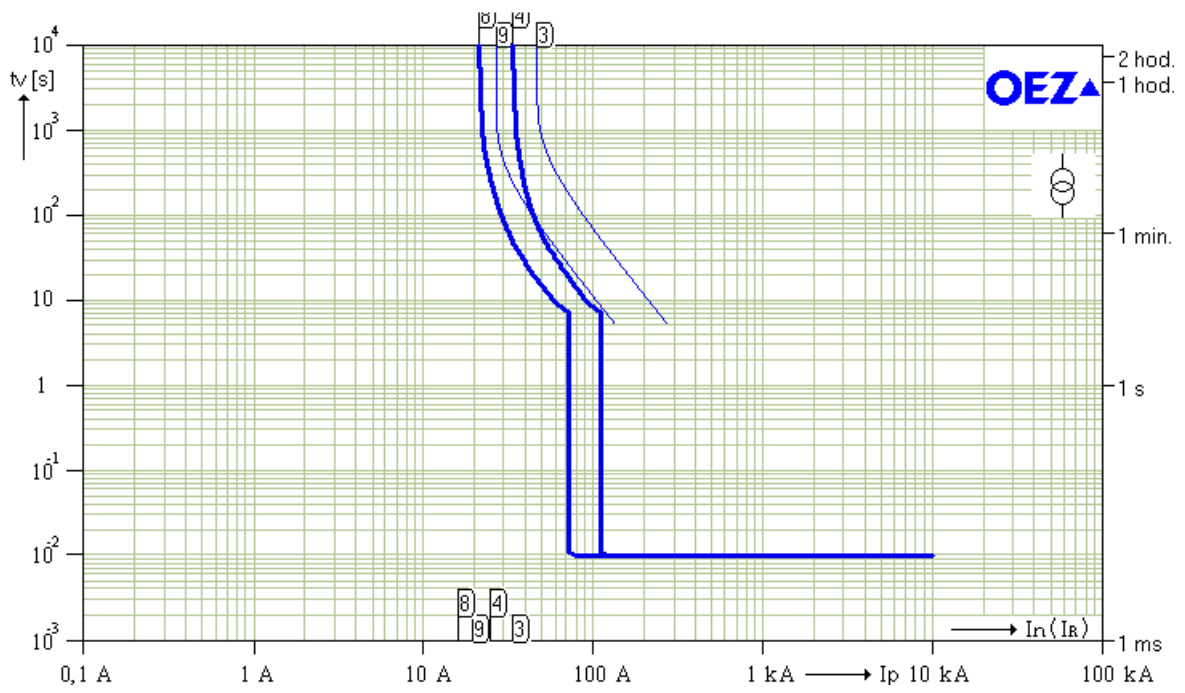
8. Zjednodušená projektová dokumentace výsledného řešení

V programu Sichr jsem vypracoval zjednodušenou dokumentaci výsledného řešení. Jelikož v hale je instalováno přibližně 400 světel, pro zjednodušení jsem vybral pouze tři sektory. Každý sektor obsahuje 9 světel a je připojeno na samostatnou fázi (obr. 20). Nasimuloval jsem si, jak by to pro tuto danou situaci mohlo vypadat. Dle katalogového listu jedna světelná soustava má vstupní proud $I = 1,6A$. Díky této informaci jsem mohl, navrhnout jednotlivé vývody, kde jeden vývod má celkový proud $I = 14,4A$. K jištění jednotlivých sektorů jsem použil jistič LTN-16B. Jako kabeláž, která je připevněna v trubcích na stěně a je dlouhá 50m jsem zvolil CYKY 3x1,5mm. Všechny tyto sektory jsou jištěny jističem LTN-25B. Přívodní kabel jsem zvolil CYKY 5x4mm.

Navolené jsem tyto parametry do programu Sichr a nechal jsem propočíst všechny parametry. Tento program zkontroloval a vypočítal selektivitu jištění (obr. 21), tloušťku jednotlivých kabelů, vypočítat zkratové proudy atd. Mnou zadané parametry vyšly, že jsou všechny v pořádku. Navržený simulovaný obvod je tak selektivní, jeho průřezy jsou dostačující a v případě nadproudu nebo zkratu je sektor případně celé osvětlení odpojené od sítě.



Obr. 20 Paprskové schéma

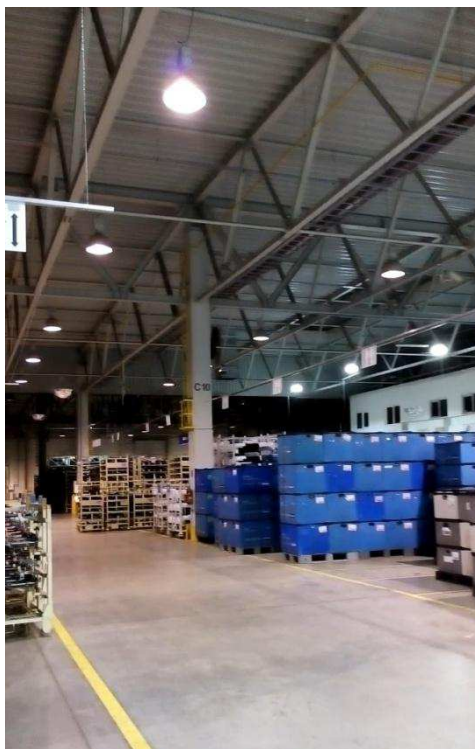


Obr. 21 Vypínací charakteristika jedného sektoru

9. Závěr

Oba světla mají své výhody i nevýhody. Podle srovnání lze vidět že, led osvětlení ještě zdaleka nedokážou vyvinout tak velký světelný tok. Musíme však vzít v potaz, že led osvětlení se stále vyvíjí. Na druhou stranu jsou schopná s velkou účinností přeměnit vstupní energií na světelný tok. Z ekonomického hlediska je led osvětlení dobrou volbou. Jejich světelná stálost a životnost je velmi dobrá. Největší nevýhodou u led osvětlení je právě riziko oslnění. Díky rychlému vývoji led osvětlení, je tento problém řešitelný např.: cloněním. Další výhodou je lepší monitorování a řízení. I když je denní osvětlení nenahraditelné, současné umělé osvětlení je na tak dobré úrovni, že v místnosti vytvoří osvětlení, které je velmi podobné dennímu osvětlení (biodynamické osvětlení).

Po rekonstrukci osvětlovací soustavy se v prostoru značně zlepšily hygienické podmínky (obr. 15). Na první pohled lze vidět rozdíly mezi původní a výslednou osvětlovací soustavou (obr. 22). Celý prostor je tak živější a taky bezpečnější.



Obr. 22 Srovnání původního (levá strana obrázku) a výsledného (pravá strana obrázku) stavu

10. Seznam literatury

Technické normy:

- [N.1] ČSN 73 0580-2 *Denní osvětlení budov - Část 2: Denní osvětlení obytných budov*, Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [N.2] ČSN 73 0580-3 *Denní osvětlení budov - Část 3: Denní osvětlení škol*, Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [N.3] ČSN 73 0580-4 *Denní osvětlení budov - Část 4: Denní osvětlení průmyslových budov*, Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [N.4] ČSN 36 0020 *Sdružené osvětlení*, Praha: Český normalizační institut, 2007
- [N.5] ČSN 73 0580-1 *Denní osvětlení budov - Část 1: Základní požadavky*, Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [N.6] ČSN EN 12464-1 *Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - Část 1: Vnitřní pracovní prostory*, Praha: Český normalizační institut, 2012.
- [N.7] ČSN EN 12193 *Světlo a osvětlení - Osvětlení sportovišť*, Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [N.8] ČSN EN 1838 *Světlo a osvětlení - Nouzové osvětlení*, Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [N.9] ČSN 73 4301 *Obytné budovy*, Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [N.10] ČSN EN 15193 *Energetická náročnost budov - Energetické požadavky na osvětlení*, Praha: Český normalizační institut, 2008.

Literatura:

- [1] PLCH, Jiří. *Světelná technika v praxi*. Vyd. 1. Praha: IN-EL, 1999. ISBN 80-86230-09-0.
- [2] HABEL, Jiří, DVOŘÁČEK Karel, ŽÁK Petr, *Světlo a osvětlování*. Praha: FCC Public, 2013. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [3] SOKANSKÝ, Karel. *Světelná technika*. 1. vyd., Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04941-9

Internetové zdroje:

- [4] *Zábrana oslnění při návrzích osvětlení*. www.elektrika.cz. [online]. 7.07.2011 [cit. 2015-12]. Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/zabrana-oslneni-pri-navrzich-osvetlen>
- [5] *Teplota chromatičnosti*. www.is.mendelu.cz. [online]. [cit. 2015-12-16]. Dostupné z: https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=9104

- [6] BY150P 1xHPI-P400W-BU K IC SGR IP65. *Philips*. [online]. [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: http://www.lighting.philips.com/main/prof/indoor-luminaires/high-bay-and-low-bay/high-bay/cabana2-by150p/910925438246_EU/product
- [7] MASTER HPI Plus 400W/645 BU E40 1SL/6. *MASTER HPI Plus*. [online]. [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: http://download.p4c.philips.com/lfb/f/jp-928481100092/fp-928481100092_pss_en_aa_001.pdf
- [8] HŮLKA, Ctibor a Pavel ŠTAJNRT. Návrh horního osvětlení hal [online]. In: . 2006 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <http://atelier-dek.cz/navrh-horniho-osvetleni-hal-231>
- [9] Application Examples: Catalog [online]. In: , GigaTera. Republic of Korea, 2014 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: http://www.gigateraled.com/led_product/usa/sega.asp
- [10] LED Lighting Systems [online]. In: , Wessel LED Lighting Systems Inc. 2015 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <https://www.led-lighting-systems.net/retailpoint-sale-design/>
- [11] Osvetlenie v priemysle. In: Slovenská inovačná a energetická agentúra [online]. Slovenská republika, 2013 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <https://www.siea.sk/uvod-aktuality/c-3905/osvetlenie-v-priemysle/>
- [12] PHILIPS LIGHTING / CABANA2 BY150P. In: Relux [online]. [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: http://reluxnet.relux.com/en/search/luminaires/philips_lighting/phi___cabana2_by150p/CZ/#gavs=601000000%2C611040000&art=phi___by150p_1xhpi-p40_19ac1b5b812e1cea&var=1&lamp=8-23500-400-30000-_-_-4300-_-&config=1028721
- [13] MASTER HPI Plus 400W/645 BU E40 1SL/6 : Catalog. [online]. In: . PHILIPS [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: http://www.lighting.philips.com/main/prof/lamps/high-intensity-discharge-lamps/quartz-metal-halide/master-hpi-plus/928481100092_EU/product

Přílohy

Příloha č. 1 - Katalog světelného systému SEGA SE130

Příloha č. 2 - Katalog svítidla Cabana2 BY150P

Příloha č. 3 - Katalog světelného zdroje Philips HPI-P400W-BU