

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh osvětlovací soustavy průmyslového objektu.

**Vedoucí práce: Prof. Ing. Jan Mühlbacher, CSc.
Autor: Bc. Zdeněk Uhlík**

2013

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Zdeněk UHLÍK**
Osobní číslo: **E11N0140P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektroenergetika**
Název tématu: **Návrh osvětlovací soustavy průmyslového objektu**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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

1. Navrhněte osvětlovací soustavu průmyslového objektu.
2. Vyberte vhodná svítidla.
3. Vypočítejte profesionálním programem intenzitu osvětlení v pracovním prostoru, určete koeficient rovnoměrnosti osvětlení.
4. Proveďte ekonomické zhodnocení, investiční náročnost, dobu životnosti daného zařízení.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.


Vedoucí diplomové práce: **Prof. Ing. Jan Mühlbacher, CSc.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **1. července 2013**
Termín odevzdání diplomové práce: **26. srpna 2013**


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

V Plzni dne 1. července 2013




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

Anotace

Ve své práci jsem se zaměřil na návrh osvětlení průmyslové haly.

Zpracoval jsem tři návrhy osvětlovací soustavy tokovou metodou. Tyto návrhy jsem následně ověřil profesionálním programem. Využil jsem program Modus Wils, ve kterém jsem provedl výpočet intenzity osvětlení v pracovním prostoru a stanovil koeficient rovnoměrnosti osvětlení.

V závěru práce je provedeno ekonomické zhodnocení.

Klíčová slova

Kompaktní zářivka, index podání barev, udržovací činitel, toková metoda, světelný tok, měrný světelný výkon

Annotation

In my thesis I concentrated on a suggestion of lighting system of industrial building. I worked up three suggestions of the lighting system with flow method. Subsequently I verified these proposals with professional program. I used program Modus Wils, in which I calculated the intensity of light in the work area. Next I determined lighting uniformity coefficient. In conclusion is carried out the economic evaluation.

Keywords

Compact fluorescent lamp, color rendering index, maintenance factor, flow method, luminous flux, luminous efficacy

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně a použil literárních pramenů a informací, které uvádím v seznamu použité literatury a zdrojů informací. Také prohlašuji, že veškerý software použitý při tvorbě mé práce je legální.“

V Plzni dne 26.8.2013

Jméno, příjmení

.....

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval svému konzultantovi Ing. Viktoru Majerovi za cenné rady při tvorbě mé diplomové práce. Dále chci vyjádřit poděkování panu Václavu Valešovi za poskytnutí podkladů ke zpracování mé diplomové práce. Další poděkování patří také vedoucímu mé diplomové práce Prof. Ing. Janu Mühlbacherovi, CSc.

Obsah práce:

Úvod	9
Použité symboly	10
1. Elektrické světlo	12
1.1 Zdroje elektrického světla.....	12
1.1.1 Přehled světelných zdrojů.....	12
1.1.2 Základní parametry světelných zdrojů.....	13
1.1.3 Žárovka	15
1.1.4 Halogenová žárovka	16
1.1.5 Lineární zářivka	18
1.1.6 Kompaktní zářivka.....	21
1.1.7 Vysokotlaká rtuťová výbojka	22
1.1.8 Vysokotlaká halogenidová výbojka.....	23
1.1.9 Nízkotlaká sodíková výbojka	24
1.1.10 Vysokotlaká sodíková výbojka.....	25
1.1.11 Indukční výbojka	26
1.1.12 LED dioda.....	28
1.2 Svítidla	30
1.2.1 Co je svítidlo.....	30
1.2.2 Druhy a dělení svítidel.....	30
2. Návrh osvětlovací soustavy	32
2.1 Požadavky na osvětlení	32
2.2 Popis a parametry osvětlovaného prostoru	32
2.3 Postup návrhu osvětlovací soustavy	33
2.3.1 Metody výpočtu	33
2.3.2 Stanovení udržovacího činitele z	35
2.3.3 Stanovení činitele využití η_E	40
2.3.4 Výběr světelných zdrojů a svítidel	41
2.4 Návrh osvětlovací soustavy	43
2.4.1 Varianta 1 (lineární zářivka).....	43
2.4.2 Varianta 2 (halogenidová výbojka)	45
2.4.3 Varianta 3 (LED trubice).....	48
3. Výpočet intenzity osvětlení pracovního prostoru profesionálním programem	51
3.1 Stručný popis programu	51
3.2 Výpočet intenzity pro jednotlivé varianty.....	52

3.2.1 Varianta 1 (lineární zářivka).....	52
3.2.2 Varianta 2 (halogenidová výbojka)	53
3.2.3 Varianta 3 (LED trubice)	55
3.3 Rovnoměrnost osvětlení pracovního prostoru	57
4. Ekonomické zhodnocení návrhu osvětlení	58
4.1 Varianta 1 (lineární zářivky)	58
4.2 Varianta 2 (halogenidové výbojky)	60
4.3 Varianta 3 (LED trubice)	61
4.4 Doba životnosti osvětlovací soustavy	62
5. Doplňková varianta-světlovody	63
5.1 Stručný popis světlovodů	63
5.2 Návrh počtu světlovodů	65
5.3 Cenová kalkulace světlovodů	66
5.4 Závěrečné zhodnocení varianty se světlovody	67
Použitá literatura a zdroje informací	68
Závěr	70

Úvod

Osvětlení vnitřních i vnějších prostorů je v dnešní době velmi důležitým oborem. Denní světlo je pro lidský organismus potřebné každý den. Nejenže poskytuje lepší světelné podmínky pro lidské oko a s nimi spojený i správný vývoj zraku, je také důležité pro správnou funkci denních biorytmů lidského těla. Při návrhu osvětlovací soustavy je nutné zohlednit parametry osvětlovaného prostoru, nároky na prováděnou zrakovou činnost a také ekonomickou výhodnost. Tato práce bude rozdělena do pěti částí. První část se bude zabývat popisem světelných zdrojů a svítidel. U každého světelného zdroje bude krátce popsán princip funkce a hlavní výhody i nevýhody. Nebudou opomenuty LED zdroje, které se dnes stále častěji stávají plnohodnotnou náhradou za starší, méně dokonalé, světelné zdroje. V oblasti zdrojů LED dochází nyní k rychlému vývoji parametrů, a proto je možné, že nynější uváděné parametry těchto zdrojů budou během jednoho roku výrazně překonány.

Druhá část této práce bude zaměřena na návrh umělého osvětlení průmyslové haly. Vyberu tři světelné zdroje, především podle ekonomických hledisek (měrný výkon, životnost a cena), a pro tyto zdroje vyberu odpovídající svítidla s ohledem na cenu a splnění požadavků normy na krytí (IPxx). Každá z těchto tří variant bude vypočítána dvěma metodami. Nejdříve metodou odhadu příkonu a poté pro zpřesnění metodou tokovou.

Takto navržené a vypočtené varianty ověřím ve třetí části mé práce s ohledem na požadovanou intenzitu osvětlení pracovního prostoru a na požadovanou rovnoměrnost osvětlení. Výpočet provedu v programu Wils. Výstupem budou diagramy zobrazující intenzitu osvětlení v pracovním prostoru (diagram s izoluxy) a také hodnoty činitele rovnoměrnosti osvětlení pracovního prostoru. Tyto hodnoty budou porovnány s požadavky normy.

Ve čtvrté části mé diplomové práce provedu ekonomické zhodnocení navržených variant osvětlovací soustavy. Stanovím investiční náklady na pořízení osvětlovací soustavy a provedu výpočet nákladů na provoz osvětlovací soustavy.

V poslední, páté části, se pokusím provést doplňkový návrh osvětlení průmyslové haly denním světlem a to pomocí světlovodů. Světlovody krátce popíšu (princip jejich funkce) a podle dostupných parametrů navrhnu počet světlovodů potřebných pro osvětlení haly. Zároveň vypočtu pořizovací náklady na soustavu světlovodů.

Použité symboly

P_p [W]	příkon světelného zdroje včetně předradníku
η [lm/W]	měrný výkon
t_z [h]	doba životnosti
R_a [-]	index podání barev
ϕ [lm]	světelný tok
\bar{E}_m [lx]	požadovaná udržovaná osvětlenost (intenzita osvětlení)
S [m ²]	velikost osvětlované plochy
z [-]	udržovací činitel
η_E [-]	činitel využití
r_p [-]	činitel snížení odraznosti povrchu
z_s [-]	činitel znečištění svítidel
z_p [-]	činitel znečištění ploch osvětlovaného prostoru
z_z [-]	činitel stárnutí světelných zdrojů
z_{fz} [-]	činitel funkční spolehlivosti světelných zdrojů
γ_z [-]	konstanta charakterizující průběh činitele stárnutí
T_z [h]	časová konstanta charakterizující průběh činitele stárnutí
γ_s [-]	konstanta charakterizující znečištění svítidel
T_s [-]	časová konstanta charakterizující znečištění svítidel
γ_p [-]	konstanta charakterizující znečištění osvětlovaných povrchů
T_p [-]	časová konstanta charakterizující znečištění osvětlovaných povrchů
t [h, měsíce]	čas
ρ_m [-]	konečný činitel odrazu
ρ [-]	počáteční činitel odrazu

p	měrný příkon [$\text{W}/\text{m}^2/100 \text{ lx}/10 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$]
μ	činitel geometrie prostoru [-]
R	koefficient rovnoměrnosti osvětlení [-]
N_i	investiční náklady [Kč]
N_e	náklady na spotřebovanou elektrickou energii [Kč]
N_o	náklady na údržbu a opravy [Kč]
n_1	počet světelných zdrojů [ks]
n_2	počet světelných zdrojů ve svítidle [ks]
t_p	doba provozu osvětlovací soustavy [h]
A	cena elektrické energie [Kč/kWh]
N_{zd}	cena světelného zdroje [Kč]
N_{vzd}	cena výměny světelného zdroje [Kč]
C	cena vyčištění 1 svítidla [Kč]

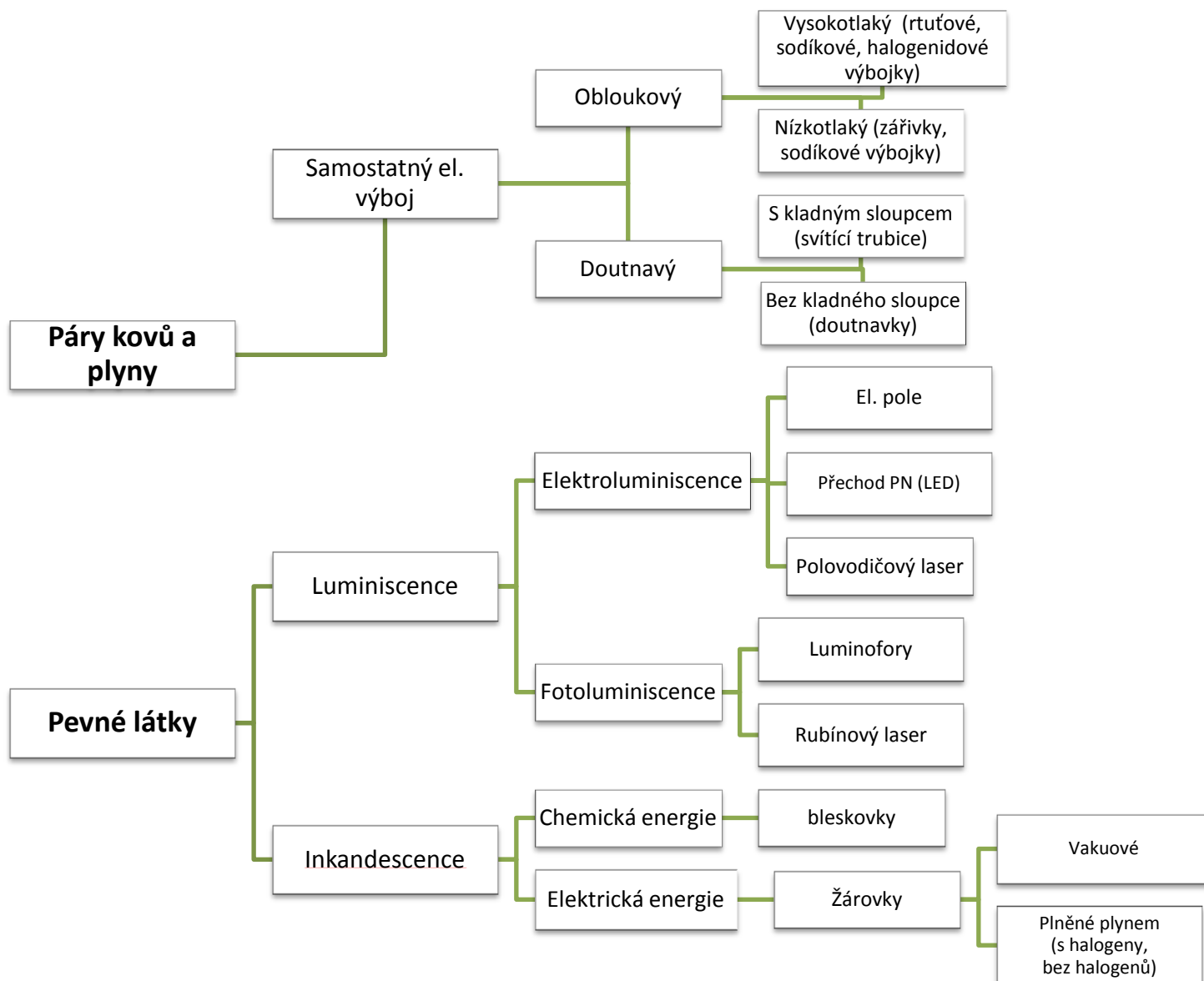
1. Elektrické světlo

Pojem elektrické světlo označuje světlo vzniklé umělými zdroji, které využívají některý z principů přeměn elektrické energie na světlo.

1.1. Zdroje elektrického světla

1.1.1. Přehled světelných zdrojů

Zdroje světla lze rozdělit do dvou hlavních skupin. Jsou to světelné zdroje, ve kterých světlo vzniká elektrickým výbojem v parách kovů a plynů, a zdroje s tvorbou světla v pevných látkách. Detailní rozdělení je znázorněno na obrázku 1. [1]



Obr. 1. Zdroje světla [1]

1.1.2. Základní parametry světelných zdrojů

Mezi základní jmenovité parametry světelných zdrojů patří:

- světelný tok ϕ [lm]
- příkon zdroje včetně předřadníku P_p [W]
- měrný výkon η [lm/W]
- doba životnosti t_z [h]
- index podání barev R_a [-]
- provozní vlastnosti (např. závislost světelného toku na napětí, okolní teplotě...)
- pořizovací cena

Světelný tok ϕ

Tato veličina udává, kolik světla vyzáří zdroj do svého okolí všemi směry. Jedná se v podstatě o světelný výkon posuzovaný z hlediska lidského oka.

Měrný výkon η

Udává, s jakou účinností je elektrická energie přeměňována ve zdroji na světlo. Kolik světelného toku se získá z 1W elektrické energie.

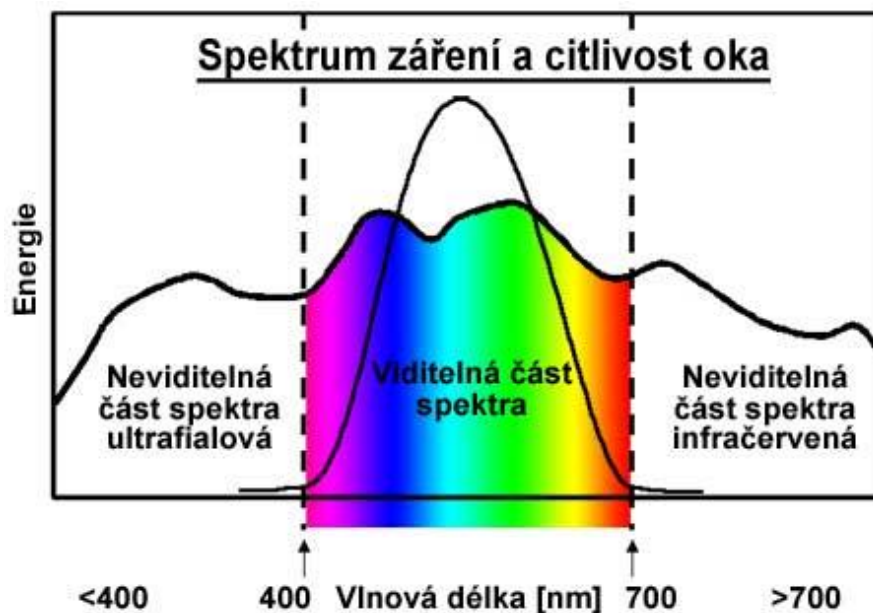
Doba životnosti t_z

Doba funkčnosti zdroje, po kterou zdroj splňuje předepsané parametry.

Index podání barev R_a

Index podání barev udává, jakou část ze spektra vnímaného lidským okem světelný zdroj vyzařuje. Tato hodnota je buďto bezrozměrná nebo se udává v procentech.

Čím vyšší je index podání barev, tím větší část okem viditelného spektra zdroj vydává.



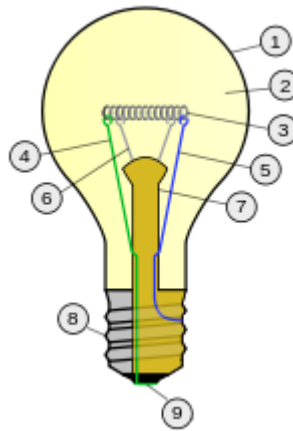
Obr.2 Spektrum záření a citlivost lidského oka

[http://www.fotografavani.cz/old-idif/fotografavani/images2/rom_spectrum.jpg]

Důležitost těchto základních parametrů světelných zdrojů se může měnit v závislosti na konkrétní aplikaci nebo projektu osvětlovací soustavy. Jako příklad lze uvést osvětlování obecných komunikací, kde nejdůležitějšími parametry jsou měrný výkon zdroje a doba životnosti. Index podání barev se v tomto případě téměř nezohledňuje. Důležitým však je v případě osvětlování interiérů.

Neexistuje žádný světelný zdroj, který by měl všechny tyto parametry optimální. Například klasická žárovka má index podání barev $R_a = 100$ a velmi nízkou pořizovací cenu, avšak její měrný výkon 12 lm/W a doba životnosti 1000 h jsou v dnešní době parametry velmi špatné. Oproti tomu sodíková výbojka má velký měrný výkon (150 lm/W), ale nízký index podání barev ($R_a = 20$) a výrazně vyšší pořizovací náklady. Vždy je tedy nutné zvolit jakýsi kompromis. [1]

1.1.3. Žárovka



Obr. 3. Žárovka

[http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Incandescent_light_bulb.svg]

- | | | |
|-------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| 1 - skleněná baňka | 2 - náplň (inertní plyn) | 3 - wolframové vlákno |
| 4 a 5 - kontaktní vlákno | 6 - podpůrné molybdenové háčky | 7 - nosná tyčinka |
| 8 - závit pro objímku (el. kontakt) | 9 -druhý el. kontakt | |

V žárovce vzniká světlo žhavením vlákna (většinou wolframové vlákno) v baňce, která je naplněna inertním plynem (argon, krypton, xenon) nebo směsí plynů. Vlákno je uchyceno na molybdenových háčcích, které jsou zakotveny do nosné skleněné tyčinky ve spodní části baňky.

Výhody žárovky jsou především nízká pořizovací cena, vysoký index podání barev, jednoduchý provoz bez pomocných zařízení, vysoká automatizace výroby a použití nejedovatých materiálů. Mezi výhody lze zařadit i závislost světelného toku na napájecím napětí a proto se této vlastnosti využívá při stmívání žárovek.

Nevýhodami jsou nízký měrný výkon a krátká životnost, způsobená odpařováním wolframového vlákna. [1]

1.1.4. Halogenová žárovka

Halogenová žárovka je principiálně téměř shodná s klasickou žárovkou. Dosahuje se v ní však vyšších teplot a tím i bělejšího světla a vyššího měrného výkonu.

V halogenové žárovce probíhá tzv. halogenový regenerační cyklus. V baňce je naplněn inertní plyn s příměsí halogenů (jod, brom, chlor) a jejich sloučeniny. Tyto příměsi výrazně omezují odpařování wolframu z vlákna a jeho usazování na stěnách baňky. Atomy wolframu, které se odpaří z vlákna, se v chladnějších místech baňky (u stěn) slučují s halogenovým plynem a vytváří sloučeninu halogenid wolframu. Tato sloučenina se vrací zpět do míst s vyšší teplotou (k vláknu) a zde dochází ke štěpení zpět na halogen a wolfram. Wolfram se usazuje zpět na vlákno (na jeho chladnější části), a tím způsobuje snížení odpařování vlákna.

Aby však mohl tento proces probíhat, je nutné zajistit potřebný teplotní režim. Je nutné zmenšit vnitřní objem žárovky a zvýšit povrchovou teplotu baňky (nad 250 °C). Baňky halogenových žárovek se proto vyrábějí z křemenného skla. Povrch křemenného skla se však snadno poruší, pokud byl před zahřátím žárovky na provozní teplotu zamaštěn (stačí dotykem ruky).

Halogenové žárovky se vyrábí ve dvou provedeních, dvoupaticové (lineární) a jednopaticové. Lineární dvoupaticová žárovka je na obrázku 4.1 a jednopaticová žárovka je na obrázku 4.2.



Obr. 4.1 Lineární halogenová žárovka

[http://www.hcstatic.cz/data/images/725/medium_img_725839.jpeg]



Obr. 4.2 Jednopaticová halogenová žárovka

[http://www.globallux.cz/pic_zbozi/gxzh024.jpg]

V dnešní době se pro světelné zvýraznění některých prvků v interiéru využívají žárovky vybavené speciálními reflektory s různými vyzařovacími úhly od 8° až do 60°. Tento typ žárovky je na obrázku 4.3.



Obr. 4.3 Halogenová žárovka s reflektorem

[http://elektro-instalacni-material.cz/_obchody/minimax2.shop5.cz/prilohy/1/halogenova-zarovka-eco-gu10-230v-40w-0.jpg.big.jpg]

Výhody halogenových žárovek jsou:

- vyšší světelný tok a měrný výkon než u klasické žárovky,
- delší doba životnosti,
- stálý světelný tok po celou dobu životnosti.

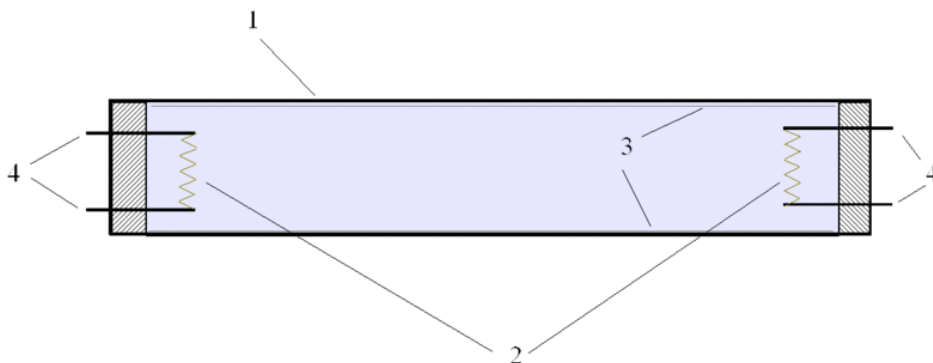
Nevýhodou halogenových žárovek je především jejich vyšší cena.

[1]

1.1.5. Lineární zářivka

Zářivky jsou nízkotlaké rtuťové výbojky. Tlak rtuťových par je 0,6 Pa. Kromě rtuti obsahuje výbojová trubice i vzácné plyny (argon, směs argonu a neonu), které usnadňují zapálení výboje a snižují jeho zápalné napětí. Tyto plyny také omezují tzv. rozprašování materiálu elektrod (materiál elektrod se odpařuje do trubice vlivem vysokých teplot). Elektrody zářivky jsou tvořeny wolframovými spirálami, na jejichž povrchu je vrstva kysličníků (barya, vápníku, stroncia) s velkou emisní schopností, která usnadňuje zapálení výboje. Elektrody jsou uchyceny na nosném systému a vyvedeny na kolíčkovou patici.

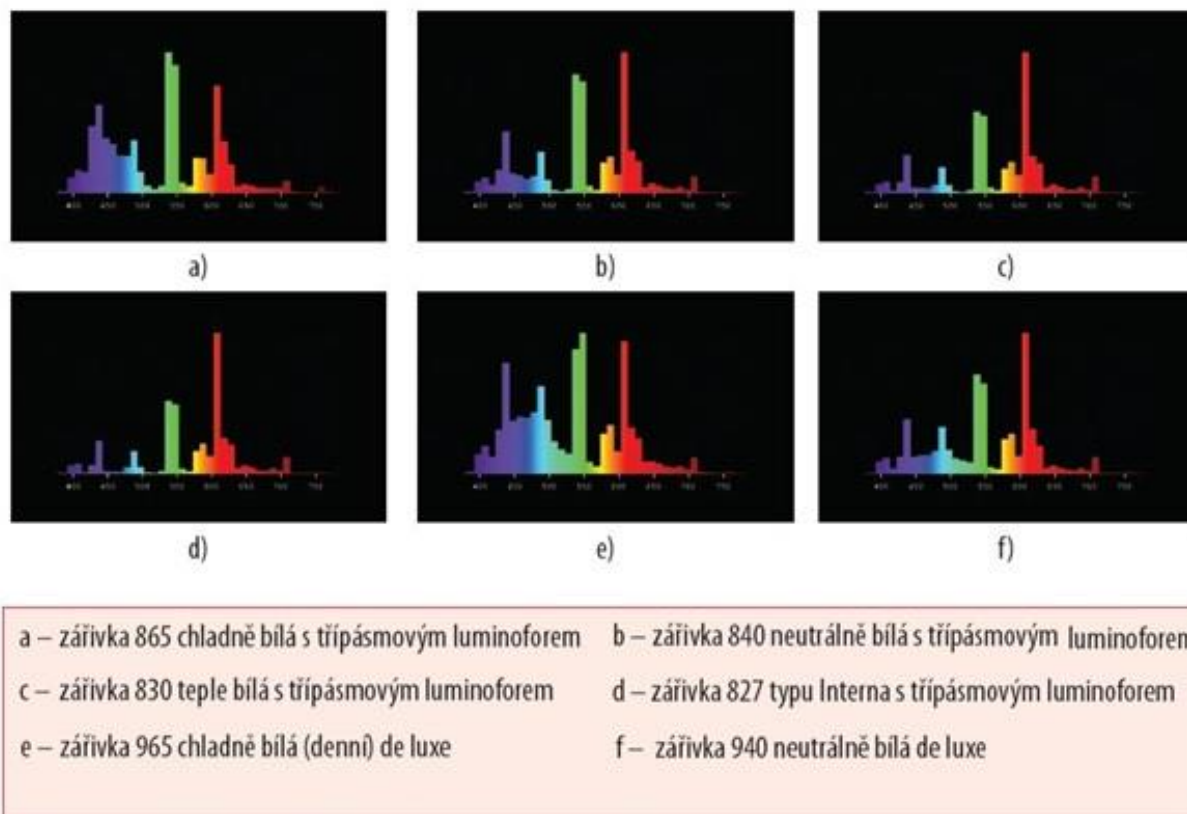
Výboj v parách rtuti vyzařuje v oblasti viditelného záření jen malou část přivedené energie (cca 2%). Přibližně 60% přivedené energie je vyzařeno v oblasti UV záření. Toto UV záření se pomocí vrstvy luminoforu, která je nanášena na vnitřní stěně trubice, převede na viditelné světlo. Energie převedená na světlo odpovídá asi 19 % energie UV záření, zbytek energie UV záření je pohlcen sklem trubice.



Obr. 5.1 Náčrt lineární zářivky

[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e0/Fluorescent_tube1.GIF/220px-Fluorescent_tube1.GIF]

1 - skleněná trubice 2 - žhavené elektrody 3 – luminofor 4 - vnější kontakty



Obr. 5.2 Spektra různých druhů lineárních zářivek.

[http://elektrika.cz/obr/09_svet.zdroj_07V.JPG]

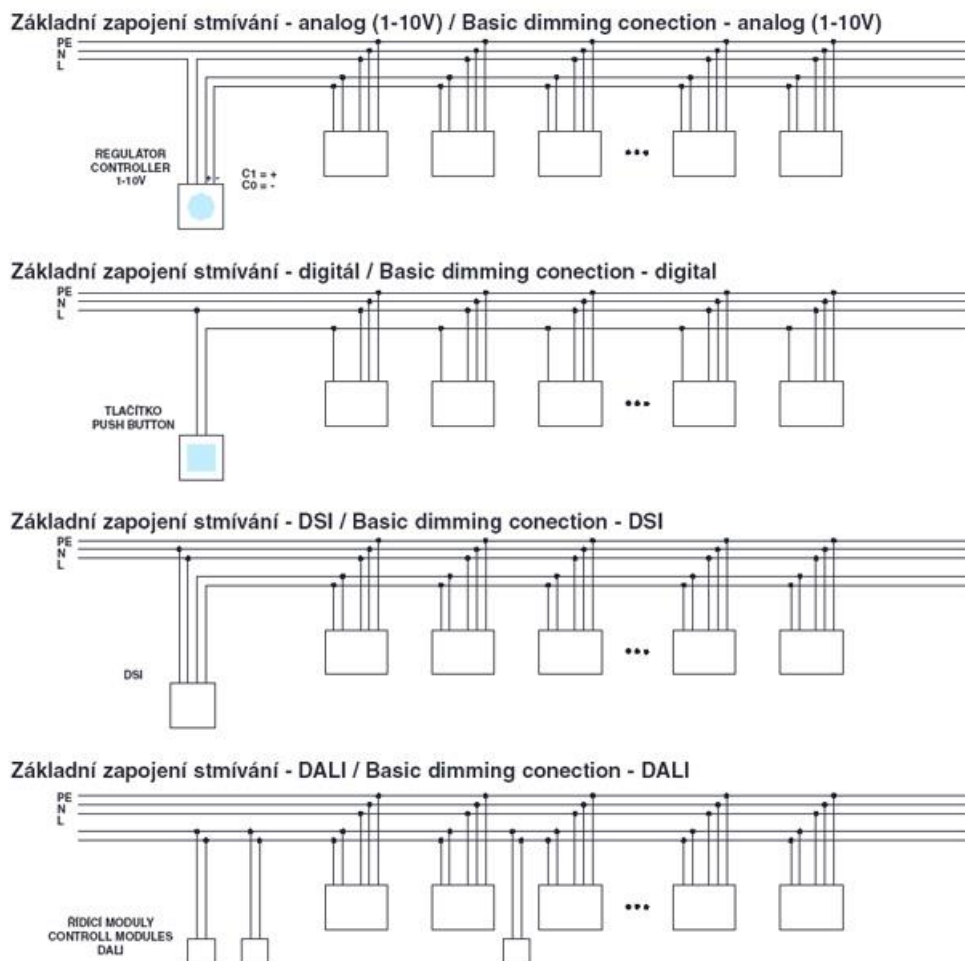
Výhodou lineárních zářivek je vyšší měrný výkon než má halogenová a klasická žárovka (až 100 lm/W) a také jejich životnost (při zapínání 8x za 24 hodin je životnost cca 8 000 hodin).

Nevýhodou zářivek je závislost světelného toku na teplotě trubice nebo okolí. Nejvyšší světelný tok vyzařují zářivky při teplotě trubice cca 40°C (teplota okolí cca 25°C). Při vyšších či nižších teplotách tento světelný tok klesá. [1]

Ještě do nedávné doby se mezi nevýhody řadila též nemožnost stmívání lineárních zářivek. Dnes však bývají lineární zářivky vybaveny elektronickým předřadníkem, který slouží především jako náhrada klasického zapalovače. Tento předřadník pak také umožňuje stmívání lineární zářivky.

Ke stmívání však nelze využít žárovkový stmívač. Je nutný stmívač speciální. Výrobci svítidel mají své systémy stmívání lineárních zářivek. Architektura těchto systémů je většinou podobná architektuře inteligentní elektroinstalace. Stmívač se ovládá povely vysílanými po sběrnici. Obvykle se využívá ovládací napětí 0-10 V a teprve výkonový stmívač umístěný například ve svítidle nebo rozvaděči provádí samotné stmívání zářivkových trubíc. Stmívání je možné od 1 do 100 %.

Jeden ze systémů stmívání lineárních zářivek je principiálně zobrazen na obrázku 5.3. Jedná se o sběrnicev systém DALI výrobce světelné techniky OSRAM.



Obr. 5.3 Systém stmívání lineárních zářivek DALI
[http://www.e-light.cz/pictures/ID_179_stmivani_zarivek-01.jpg]

1.1.6. Kompaktní zářivka

Kompaktní zářivka pracuje na stejném principu jako lineární zářivka. Skládá se ze zářivkové trubice a předřadníku. Trubic bývá více a mají většinou tvar písmene U, můžeme se ale setkat i s trubicemi tvarovanými do spirály. Na vnitřní stěně trubice je, stejně jako u lineární zářivky, nanesen luminofor. Uvnitř trubice je náplň malého množství rtuti a inertního plynu. O zapálení výboje se stará elektronický předřadník, který je umístěn v patici zářivky.

Patice bývá nejčastěji se závitem E27 a E14. Je to z důvodu nahrazení klasické neúsporné žárovky. Dnes se však dají koupit úsporné zářivky i s jinými závity, např. GU10 (bajonetový závit typický pro halogenové reflektorové žárovky).

Kompaktní zářivky lze v dnešní době také stmívat (obdobně jako lineární zářivky). Tato řešení nejsou zatím příliš rozšířena, ještě v nedávné době totiž vznikaly problémy se správným stmíváním zářivek od různých výrobců. Docházelo k brzkému poškození světelných zdrojů a poškození samotných stmívačů. Jediným řešením bylo zakoupení stmívače od výrobce a dle jeho doporučení zakoupení světelného zdroje výrobcem testované značky.



Obr. 6.1 Kompaktní zářivka se závitem E27

[http://aa.ecn.cz/img_upload/e6ffb6c50bc1424ab10ecf09e063cd63/albums/userpics/10009/usporna_zarovka.jpg]



Obr. 6.2 Kompaktní zářivka s reflektorem a závitem GU10

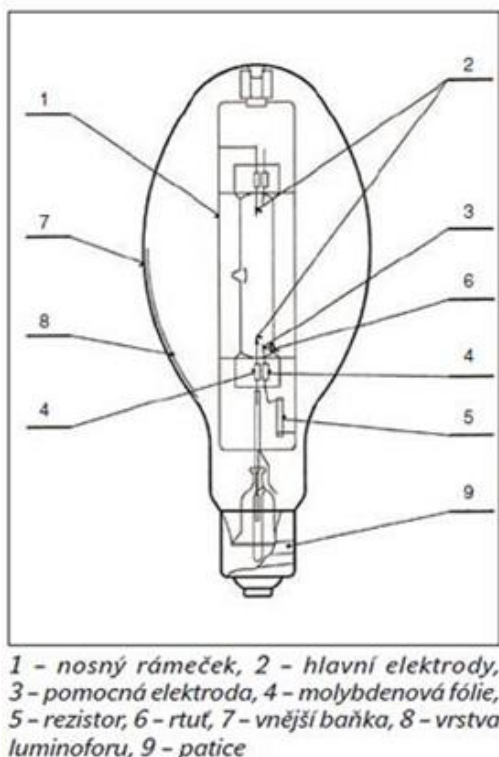
[http://www.svitidla-osvetleni.cz/svitidla-obrazky/t_334.jpg]

Výhody kompaktních zářivek je třeba hodnotit vzhledem ke světelnému zdroji, který mají nahrazovat. Tím je klasická žárovka. Výhodou kompaktní zářivky je její velký měrný výkon a dlouhá životnost.

Nevýhodou jsou výrazně vyšší pořizovací náklady než u žárovky a také zkracování životnosti častým zapínáním. [2]

1.1.7. Vysokotlaká rtuťová výbojka

U této výbojky dochází také k vyzařování UV záření ve rtuťových parách pod tlakem 10^5 Pa. UV záření je pomocí luminoforu transformováno na viditelné světlo. Do hořáku výbojky se přidává ještě argon, který usnadňuje zapálení výboje. Konstrukce výbojky je na obrázku 7.



Obr. 7 Konstrukce vysokotlaké Hg výbojky

[<http://www.4-construction.com/cz/magazin/obrazky/svetelne-zdroje-vysokotlake-rtutove-vybojky-smesove-vybojky/2097>]

Vnější baňka eliptického tvaru je vyrobena z borosilikátového skla a je naplněna směsí argonu a dusíku. Tato náplň chrání nosný systém výbojky před oxidací, tepelně izoluje hořák a pohlcuje UV záření. Na vnitřní straně baňky je vrstva luminoforu. Nosný systém slouží k upevnění hořáku, který je vyroben z křemenného skla. Uvnitř hořáku jsou dvě hlavní wolframové elektrody žhavené výbojem. V hořáku je ještě pomocná molybdenová zapalovací elektroda, která je připojena přes odpor velikosti 10-25 kΩ k protilehlé hlavní elektrodě.

Po připojení výbojky k napětí vznikne nejdříve doutnavý výboj v argonu mezi pomocnou a hlavní elektrodou. Tento výboj postupně ohřívá hořák a tím dochází k odpařování rtuti. Po určité chvíli přejde výboj z doutnavého na obloukový mezi hlavními elektrodami.

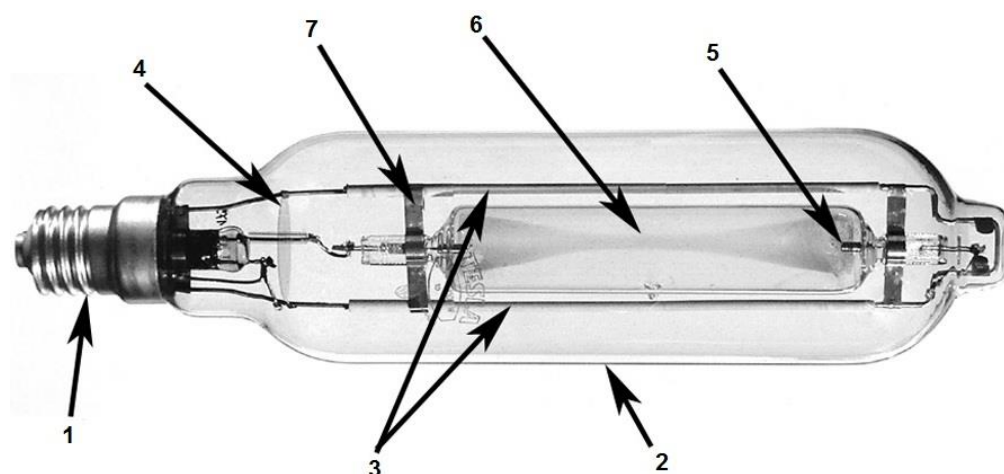
Výhodou vysokotlaké rtuťové výbojky je především velký měrný světelný výkon. Nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady a nutnost použití předradné indukčnosti. [1]

1.1.8. Vysokotlaká halogenidová výbojka

Princip halogenidové výbojky je obdobný jako u vysokotlaké rtuťové výbojky. Světlo vzniká výbojem rtuťových par, ve kterých jsou ale ještě přidány další prvky (sodík, lithium, thalium). Tyto prvky vznikají rozpadem přidaných halogenidů a ve výboji rtuti září. Zvyšují tak měrný světelný výkon a barevné podání zdroje (index podání barev Ra).

Po zapálení výboje se postupně odpařuje rtuť a ze stěn hořáku halogenid. Molekuly halogenidu putují směrem ke středu výboje, do míst s nejvyšší teplotou. Zde dojde k rozpadu molekul na atomy halogenu a alkalického kovu. V obloukovém výboji dojde k vybuzení atomu alkalického kovu a k vyzáření fotonu. Po vyzáření fotonu se atom kovu přesune zpět do chladnějšího místa (ke stěně hořáku) a dojde k opětovnému vytvoření halogenidu. Tento proces se neustále opakuje, lze jej přirovnat k procesu uvnitř halogenové žárovky.

Konstrukční uspořádání halogenidové výbojky je na obrázku 8.



Obr.8 Halogenidová výbojka
[<http://www.vybojky-zarovky.cz/2013/vp026.jpg>]

- 1 – patice 2 - skleněná baňka 3 - držák hořáku
4 - kolečko zabraňující teplu pronikat k patici 5 - elektroda v hořáku 6 - hořák
7 - plíšek držící hořák na konstrukci

Výhodou halogenidové výbojky je především její lepší index podání barev Ra (oproti rtuťové vysokotlaké výbojce).

Nevýhodou je závislost teploty chromatičnosti na napájecím napětí. Z tohoto důvodu je nutné udržovat kolísání napájecího napětí výbojky v rozmezí maximálně $\pm 5\%$.

[1]

1.1.9. Nízkotlaká sodíková výbojka

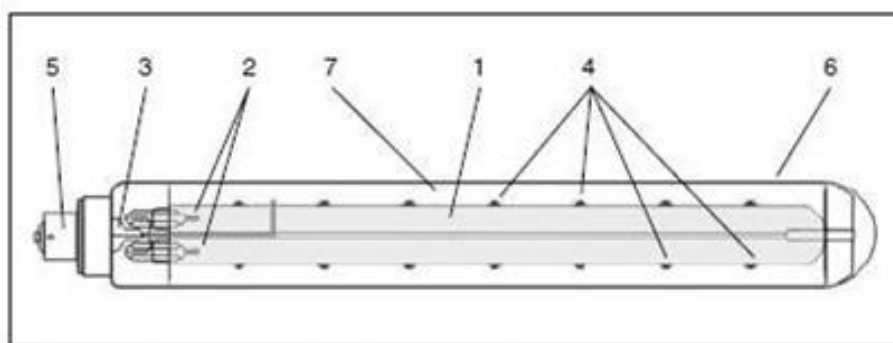
Tlak sodíkových par uvnitř hořáku je přibližně 0,5 Pa, teplota stěny výbojové trubice dosahuje až 270 °C.

Výbojová trubice bývá ohnuta do tvaru písmene U nebo bývá lineární. Trubice je vyrobena ze sodnovápenatého skla a z vnitřní strany je slabá vrstva skla boritého, které dokáže lépe odolávat agresivním parám sodíku. Trubice se plní sodíkem a neonem. Neon slouží jako zápalný plyn. Po zapnutí vznikne mezi samožhavenými wolframovými elektrodami výboj nejprve v neonu, tím dochází k zahřívání a odpařování sodíku. Při překročení teploty 200°C vznikne výboj v parách sodíku.

Světlo vyzařované nízkotlakou sodíkovou výbojkou je monochromatické, protože výbojka vyzařuje pouze vlnovou délku 589 nm a 589,6 nm. Tato vlnová délka je blízko maxima poměrné spektrální citlivosti lidského oka, a proto mají nízkotlaké sodíkové výbojky vysoký měrný výkon (až 200 lm/W).

Nevýhodou této výbojky je nulový index podání barev Ra. V takovém světle nedokáže lidské oko rozlišovat barvy.

Popis částí nízkotlaké sodíkové výbojky je na obrázku 9. [1]



1 - výbojová trubice, 2 - katoda, 3 - nožka, 4 - chladná místa,
5 - patice, 6 - vnější baňka s odraznou vrstvou, 7 - vakuum

Obr.9 Nízkotlaká sodíková výbojka

[http://www.cne.cz/data/editor/111cs_4.png?gcm_date=1297625388]

1.1.10. Vysokotlaká sodíková výbojka

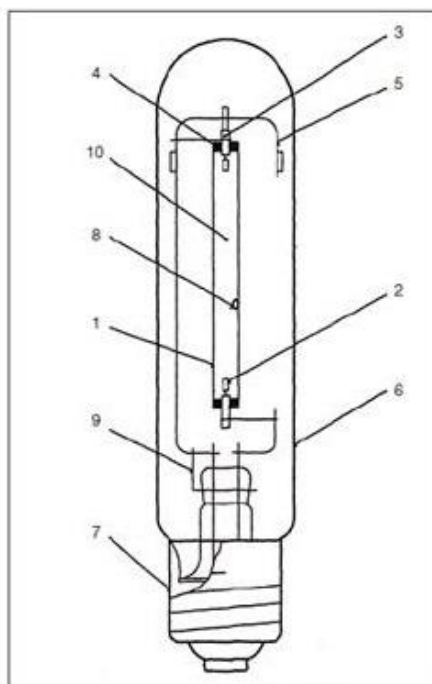
Tlak sodíkových par v této výbojce je asi $2,6 \cdot 10^4$ Pa. Při zvýšení tlaku sodíkových par dojde ke zvýšení indexu barevného podání Ra. Současně ovšem klesne měrný světelný výkon na hodnotu přibližně 140 lm/W.

Provozní teplota hořáku je velmi vysoká (až 750°C), a proto se hořák vyrábí z průsvitného polykrystalického kysličníku hlinitého (korund). Uvnitř hořáku jsou připevněny dvě wolframové elektrody s emisí kysličníkovou vrstvou. Hořák je naplněn amalgámem sodíku a argonem nebo xenonem.

Vysokotlaká sodíková výbojka potřebuje pro zapálení vysokonapěťové impulzy velikosti 3-4,5 kV. Tyto impulzy zajišťuje vnější tyristorový zapalovač.

Existují však také speciální vysokotlaké sodíkové výbojky, které nepotřebují tyristorový zapalovač. Tyto výbojky mají označení SHCP a SHLP. Zapálení výboje umožňuje speciální náplň hořáku (tzv. Penningova směs) a pomocná zapalovací elektroda, která je navinuta vně hořáku.

Tyto výbojky jsou určeny především jako náhrada za vysokotlaké rtuťové výbojky, není totiž nutné provádět žádné úpravy svítidla. [1]



1 - korundová trubička, 2 - elektroda, 3 - niobová průchodka, 4 - pájecí kroužek, 5 - nosný rámeček, 6 - vnější baňka, 7 - patice, 8 - amalgám sodíku, 9 - getr, 10 - plynná náplň

Obr. 10 Vysokotlaká sodíková výbojka

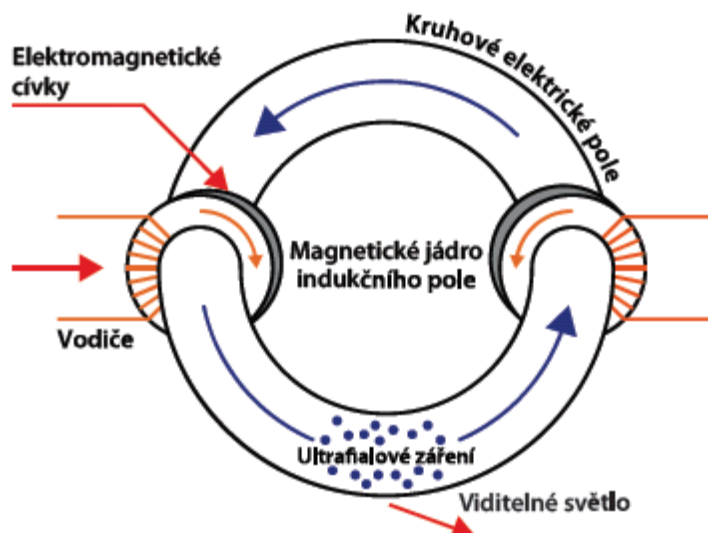
[http://www.4-construction.com/up/images/featured/slideshow/923/Vysokotlake_sodikove_vybojky_2.png]

1.1.11. Indukční výbojka

Indukční výbojka se v dnešní době teprve dostává na trh a do povědomí spotřebitelů. Pracuje na bázi vysokofrekvenčního magnetického pole (až 2,5 MHz), které je tvořeno pomocí dvou vnějších cívek, a trubice uzavřené do kruhu.

Výbojky jsou tvořeny trubicí naplněnou směsí plynů, cívkami umístěnými vně na trubici výbojky a předřadníkem.

Výboje vznikají v trubici bez použití elektrod. Elektromagnety vně trubice vytváří nestálé magnetické pole, které způsobuje, že se v molekulách média uvnitř trubice excitují elektrony. Ve chvíli, kdy se při změně magnetického pole vrací tyto elektrony zpět na svoji původní kvantovou dráhu, uvolňuje se UV záření. Toto záření se pomocí luminoforu na stěnách trubice mění ve viditelné světlo.



Obr. 11.1 Princip indukční kruhové výbojky

[http://www.lvdosvetleni.cz/loadFile.php?fn=/content/V%C3%BDbojky/princip_lvd.jpg]



.Obr. 11.2 Indukční výbojka v kruhovém provedení

[<http://www.dovimex.cz/img/p/401-1358-large.jpg>]



Obr. 11.3 Indukční výbojka v provedení nahrazujícím klasické žárovky
[<http://www.elkovo-cepelik.cz/editor/filestore/Image/teorie/genura.jpg>]

Životnost těchto výbojek bývá výrobcí udávána až 100 000 hodin. Této životnosti je dosaženo díky absenci elektrod uvnitř trubice. Nedochozí tedy k opalování elektrod.

Výhodou těchto výbojek je jejich dlouhá životnost, vysoký index podání barev (udáván $R_a=85$), rychlý náběh (výbojky nepotřebují při opětovném zapínání chladnout a nabíhají téměř okamžitě). Při náběhu nezpůsobují proudové rázy v síti a jsou schopny pracovat s udanými parametry již při $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Další výhodou, dle mého názoru nejvýraznější, je obsah rtuti ve výbojce. Rtuti je v indukční výbojce 5000 x méně než v dnes až příliš prosazovaných kompaktních zářivkách. [7]

1.1.12. LED dioda

LED dioda je polovodičová součástka, která je tvořena přechodem PN. Pokud je tento přechod zapojen v propustném směru (na polovodič typu P se připojí kladný potenciál, na polovodič typu N záporný potenciál), začnou z oblasti polovodiče typu N přecházet elektrony do oblasti P. Elektrony v P rekombinují s volnými dírami, které polovodič typu P obsahuje. Touto rekombinací se uvolňuje energie v podobě fotonů, které tvoří světlo.

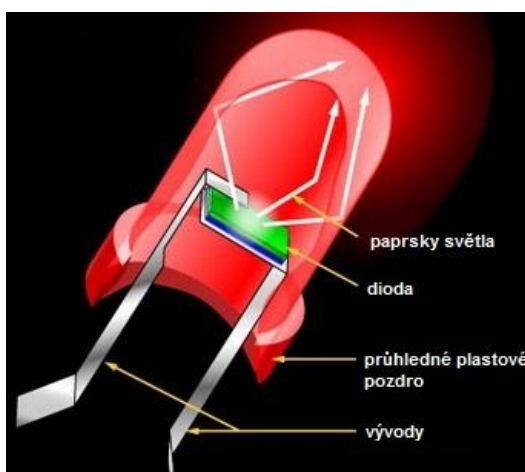
Světlo LED diody je monochromatické. Spektrum světla LED diody je závislé na chemickém složení přechodu PN.

Měrný výkon závisí na proudové hustotě a barvě světla. Příkon je velmi malý, při napětí 5V je asi 100 mW. Životnost je až 10^5 h.

Zajímavý je vznik bílého světla v LED diodě. Samotný přechod neumožňuje emitovat záření s vlnovou délkou rovnou bílému světlu. Využívají se tedy dvě technologie.

První technologie je založena na aditivním míšení barev. Dioda vyzařuje modré, zelené a červené světlo a tyto tři složky následně vytvoří bílé světlo.

Druhá technologie využívá modře svítící diodu. Do těla samotné diody emitující modré světlo se přidá luminofor. Luminoforem bývá fosfor. Ten způsobí, že část modrého světla se přetransformuje na světlo žluté (větší vlnová délka) a následným smícháním modrého a žlutého světla vznikne světlo lidským okem vnímané jako bílé. Tato technologie umožňuje dosažení indexu barevného podání $Ra=80$, což je hodnota normou požadovaná pro osvětlení obytných prostor.



Obr. 12.1 Konstrukce LED diody

[<http://www.petraenergy.cz/data/content/LED1.jpg>]



Obr. 12.2 Led „žárovka“ s patičí GU10
[http://www.b2c.cz/PRODUCT/big/285020_00342827.jpg]

V dnešní době se světelné zdroje tvořené LED diodami pomalu stávají běžnou náhradou za klasické žárovky. Ceny výrazně poklesly (přesto jsou ještě vysoké) a pokročily i technologie výroby. Na obrázku 12.2 je náhrada halogenové žárovky GU10 tvořená LED diodami.

Velkou výhodou světelných zdrojů z LED diod je jejich nízká spotřeba a dlouhá životnost (až 100 000 hodin). Měrný světelný výkon bílé diody se pohybuje okolo 30 lm/W. V laboratorních podmínkách však bylo dosaženo hodnoty 100 lm/W. Další nespornou výhodou je, že LED zdroje pracují s velmi malým napětím a s malými hodnotami proudu. Například zelená LED dioda má potřebné napětí v propustném směru 2,6 V a modrá LED dioda 3 V.

Nevýhodou zdrojů LED je především malý vyzařovací úhel (dnes se ale vyrábějí diody s úhly až 120°). Je tedy nutné použití různých reflektorů. Dnešní vysocesvitivé diody však mívají problémy s přehříváním aktivní části (přechodu PN). Přibývá tedy nutnost chlazení, což může být problém z hlediska rozměrového. [2]

1.2. Svítidla

1.2.1. Co je svítidlo

Svítidlo je prvek světelné soustavy, který slouží především ke změně rozložení, rozptýlení nebo usměrnění světelných paprsků vydávaných světelným zdrojem. Může omezovat oslnění a také filtrovat nežádoucí části světelného spektra. Dále umožňuje upevnění světelného zdroje, jeho napájení a také ochranu zdroje před nežádoucími vlivy.

Svítidlo musí splňovat požadavky na snadnou montáž a údržbu. Musí mít dlouhou životnost a vysokou spolehlivost. Většina světelných zdrojů vydává velké množství tepla, toto teplo musí svítidlo umožnit odvést, ale zároveň nesmí být svítidlo těmito tepelnými účinky pro své okolí nebezpečné. [2]

1.2.2. Druhy a dělení svítidel

Svítidla lze rozdělit dle mnohých hledisek. Na obrázku 13.1 je znázorněno dělení svítidel dle jejich použití, případně účelu.



Obr. 13.1 Dělení svítidel dle jejich použití.

Dále lze svítidla dělit dle typu montáže na:

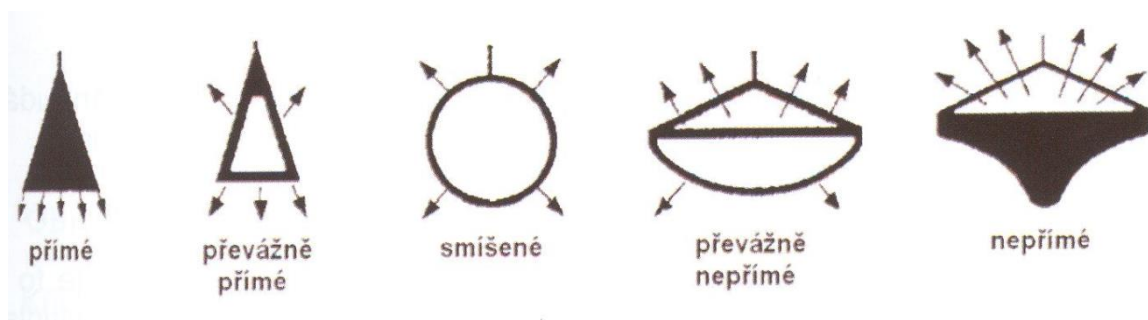
- závěsná
- zápusťná
- stojanová
- na stožár nebo konzolu
- přisazená (lze dále dělit na stropní a nástěnná).

Třetím způsobem třídění svítidel je třídění dle rozložení světelného toku. Toto třídění je uvedeno v tabulce 1.

[2]

Tab.1 Rozdělení svítidel dle rozložení světelného toku.

Třída rozložení sv. toku	I	II	III	IV	V
Název	přímé	převážně přímé	smíšené	převážně nepřímé	nepřímé
$\Phi_{\text{přímý}}/\Phi_{\text{celkový}}$	80-100%	60-80%	40-60%	20-40%	0-20%



Obr. 13.2 Piktogramy rozložení světelného toku

[2]

2. Návrh osvětlovací soustavy

2.1. Požadavky na osvětlení

Osvětlování vnitřních prostorů se provádí přírodním a umělým světlem. Musí být dodrženy požadované parametry pro konkrétní zrakový úkol. Tyto parametry jsou různé pro pracovní prostory a pro odpočinkové prostory. Parametry pro pracovní prostory jsou dány požadovanou zrakovou činností, parametry pro odpočinkové místnosti jsou většinou dány požadavkem navození zrakové pohody. Při respektování všech důležitých parametrů osvětlovací soustava přispívá k vytvoření příjemného a zdravého pracovního prostředí.

Při osvětlování pracovních prostorů je nutné brát v úvahu několik aspektů. Jde samozřejmě především o rozměry objektu a jeho dispoziční řešení (umístění oken apod.). Dále je pak důležité zohlednit provedení povrchů stěn, podlahy a stropu, které má vliv na činitel odrazu.

[1]

2.2. Popis a parametry osvětlovaného prostoru

Osvětlovaným prostorem je průmyslová hala na výrobu čokoládových bonbónů. Potřebné parametry pro výpočet počtu svítidel byly získány ze stavebního projektu.

Rozměry haly jsou:

- šířka 29493 mm
- délka 48816 mm
- výška 4500 mm (výška osvětlovací soustavy nad pracovní rovinou).

Činitel odrazu stropu je 0,7; činitel odrazu stěn je u všech stěn roven 0,5 a činitel odrazu podlahy je 0,3.

Dle normy ČSN EN 12 464-1 se jedná o čisté prostředí. Požadovaná udržovaná intenzita osvětlení pracovního prostoru \bar{E}_m je 500 lx a index podání barev R_a alespoň 80. Interval čištění svítidel je stanoven na 12 měsíců a interval obnovy povrchů na 36 měsíců.

[N.1]

2.3. Postup návrhu osvětlovací soustavy

2.3.1. Metody výpočtu

Při návrhu osvětlovací soustavy se využívá několik metod. Nejprve se provádí odhad příkonu osvětlovací soustavy. Následně se k přesnějšímu návrhu osvětlovací soustavy používají metody, které lze rozdělit do dvou hlavních skupin. Jsou to metody tokové a metody bodové.

Tokové metody vycházejí z požadované průměrné hodnoty celkové osvětlenosti obvykle na vodorovné srovnávací rovině. Stanovuje se potřebný světelný tok zdrojů osvětlovací soustavy. Z těchto parametrů pak vyplývá počet světelných zdrojů a svítidel.

Bodové metody umožňují stanovit hodnoty ukazatelů jakosti osvětlení (například hodnoty osvětleností libovolně natočených a umístěných pracovních rovin). Stanovují se maximální a minimální hodnoty sledovaných veličin i hodnoty jejich rovnoměrnosti.

Ve své práci využívám k návrhu osvětlovací soustavy odhad příkonu soustavy a následně tokovou metodu. [3]

Odhad příkonu osvětlovací soustavy

Potřebný elektrický příkon osvětlovací soustavy pro udržovanou osvětlenost \bar{E}_m a konkrétní světelné zdroje s měrným výkonem η se stanoví dle vztahu:

$$P = p \cdot S \cdot \frac{10}{\eta} \cdot \frac{\bar{E}_m}{100} \quad [W] \quad (1)$$

kde	P	je	elektrický příkon navrhované osvětlovací soustavy [W]
	\bar{E}_m		požadovaná udržovaná osvětlenost [lx]
	S		plocha osvětlovaného prostoru [m ²]
	η		měrný výkon světelných zdrojů [lm/W]
	p		měrný příkon [W/m ² /100 lx/10 lm·W ⁻¹]

Měrný příkon p se stanoví z tabulky 2 pro typ svítidel, činitel geometrie prostoru μ a světlost povrchů v místnosti.

Tab. 2 Měrné příkony osvětlovací soustavy

Typ svítidel	Činitel geometrie μ	Stěny a strop osvětleného prostoru		
		světlé	střední	tmavé
Měrný příkon lm/W				
Přímá	1	51	59,5	79,4
	1-1,5	43,4	50,2	62,7
	1,5-2	33,4	37,4	41,4
	2-3	29,0	31,6	34,2
	3-4	25,8	27,8	29,9
	4-6	23,5	25,1	26,3
	>6	22,3	23,8	24,6
Smíšená	1<	84	142,9	204,1
	1-1,5	73,1	116,1	161,6
	1,5-2	56,6	80,4	107,1
	2-3	45,9	63,2	83,3
	3-4	38,3	51,3	66,8
	4-6	33,4	43,7	55,7
Nepřímá	>6	31,1	39,7	49,3
	1<	95,2	158,7	-
	1-1,5	89,6	144,3	-
	1,5-2	73,1	116,0	208,3
	2-3	57,5	93	168,7
	3-4	48,1	76	144,3
	4-6	41,5	63,8	119,9
>6	39,7	59,5	109,9	
Nepřímé stropními římsami	-	91,4	137,1	-

Činitel geometrie prostoru μ se spočte jako poměr šířky místnosti k její výšce.

Počet světelných zdrojů se následně stanoví jednoduchým výpočtem:

$$n = \frac{P}{P_{SV}} \quad (2)$$

kde P_{SV} je příkon jednoho světelného zdroje. [3]

Toková metoda

Při výpočtu tokovou metodou vycházíme ze vztahu:

$$\Phi = \frac{\bar{E}_m \cdot S}{z \cdot \eta_E} \quad (3)$$

kde	Φ	je	světelný tok
	\bar{E}_m		požadovaná udržovaná osvětlenost
	S		plocha osvětlovaného prostoru
	z		udržovací činitel
	η_E		činitel využití

Počet světelných zdrojů se určí ze vztahu:

$$n = \frac{\Phi}{\phi_s} \quad (4)$$

kde ϕ_s je světelný tok jednoho světelného zdroje. [2]

2.3.2. Stanovení udržovacího činitele z

Udržovací činitel z se stanovuje výpočtem jako součin jednotlivých dílčích činitelů.

Těmito činiteli jsou:

- činitel stárnutí světelných zdrojů z_z
- činitel znečištění svítidel z_s
- činitel znečištění ploch osvětlovaného prostoru z_p
- činitel funkční spolehlivosti světelných zdrojů z_{fz}

$$z = z_z \cdot z_s \cdot z_p \cdot z_{fz} \quad (5)$$

Činitel stárnutí světelných zdrojů z_z

Tento činitel se určí na základě parametrů daných výrobcem světelného zdroje. Při individuální výměně světelných zdrojů se stanovuje tento činitel podle následujícího vzorce:

$$z_z = \gamma_z + \left\{ \frac{(1 - \gamma_z) \cdot T_z}{2 \cdot t_z} \right\} \cdot \left[1 - e^{-2 \cdot \frac{t_z}{T_z}} \right] \quad (6)$$

kde t je čas v hodinách
 γ_z konstanta charakterizující průběh činitele stárnutí [-]
 T_z časová konstanta charakterizující průběh činitele stárnutí [h]
 t_z délka životnosti světelných zdrojů [h]

Činitel znečištění svítidel z_s

Činitel znečištění svítidel se stanovuje v závislosti na provedení krytu svítidla a čistotě prostředí. Z tabulky 3 "Zatřídění svítidel" se svítidlo zařadí do kategorie a následně dle tabulky 4 "Konstanty charakterizující znečištění svítidel" se stanoví koeficienty T_s a γ_s pro uvedenou kategorii a čistotu prostředí.

Tab. 3 Zatřídění svítidel

Kategorie svítidla	Kryt v horní části svítidla	Kryt v dolní části svítidla
I	1. žádný	1. žádný
II	1. žádný 2. průhledný s otvory $\eta_{sh} \geq 15\%$ 3. průsvitný s otvory $\eta_{sh} \geq 15\%$ 4. neprůsvitný s otvory $\eta_{sh} \geq 15\%$	1. žádný 2. mřížky nebo lamely
III	1. průhledný s otvory $\eta_{sh} < 15\%$ 2. průsvitný s otvory $\eta_{sh} < 15\%$ 3. neprůsvitný s otvory $\eta_{sh} < 15\%$	1. žádný 2. mřížky nebo lamely
IV	1. průhledný bez otvorů 2. průsvitný bez otvorů 3. neprůsvitný bez otvorů	1. žádný 2. mřížky
V	1. průhledný bez otvorů 2. průsvitný bez otvorů 3. neprůsvitný bez otvorů	1. průhledný bez otvorů 2. průsvitný bez otvorů
VI	1. žádný 2. průhledný 3. průsvitný 4. neprůsvitný	1. průhledný 2. průsvitný 3. neprůsvitný

Tab. 4 Konstanty charakterizující znečištění svítidel

Kategorie svítidel	γ_s	T_s				
		prostředí velmi čisté	prostředí čisté	prostředí průměrné	prostředí špinavé	prostředí velmi špinavé
I	0,69	0,0068	0,0128	0,0200	0,0292	0,0542
II	0,62	0,0710	0,0146	0,0219	0,0315	0,0403
III	0,70	0,0139	0,0186	0,0251	0,0323	0,0414
IV	0,72	0,0117	0,0219	0,0361	0,0525	0,0755
V	0,53	0,0209	0,0343	0,0509	0,0667	0,0860
VI	0,88	0,0085	0,0173	0,0245	0,0319	0,0445

Výpočet:

$$z_s = e^{(-T_s \cdot t^{\gamma_s})} \quad (7)$$

kde T_s je časová konstanta charakterizující znečištění svítidel (tabulka 4)
 γ_s konstanta charakterizující znečištění svítidel (tabulka 4)
 t čas v měsících

Činitel znečištění ploch osvětlovaného prostoru z_p

Činitel znečištění osvětlovaných ploch se stanovuje pro časový úsek, který uplynul od poslední obnovy povrchů a pro míru znečištění prostoru. Určuje se konečná velikost činitele odrazu ρ_m , který se stanovuje pomocí činitele snížení odraznosti povrchu r_p .

$$r_p = \gamma_p + (1 - \gamma) \cdot e^{\frac{-t}{T_p}} \quad (8)$$

kde γ_p je konstanta charakterizující znečištění osvětlovaných povrchů dle tabulky 5
 T_p časová konstanta charakterizující znečištění osvětlovaných povrchů (tab. 5)

Tab. 5 Konstanty charakterizující znečištění povrchů

Prostředí	γ_p	T_p [měsíce]
velmi čisté	0,848	16,68
čisté	0,767	15,48
průměrné	0,701	14,05
špinavé	0,635	13,33
velmi špinavé	0,571	11,39

Ze známých hodnot počáteční osvětlenosti E_0 a odpovídajícího činitele odraznosti ρ se pro konečný činitel odraznosti stanoví konečná osvětlenost E_1 , která je potřebná pro konečný výpočet činitele znečištění ploch osvětlovaného prostoru.

Činitel znečištění ploch osvětlovaného prostoru se pak vypočte:

$$z_p = \frac{E_1}{E_0} \quad (9)$$

Jelikož uvažuji u všech variant osvětlovacích soustav stejné intervaly údržby (obnova povrchů apod.) bude tento činitel pro všechny varianty shodný.

Stanovení:

Z tabulky 5 (str. 36) jsem získal potřebné konstanty.

Po dosazení do rovnice (8):

$$r_p = 0,767 + (1 - 0,81) \cdot e^{\frac{-36}{15,48}} = 0,7856$$

Jelikož je podlaha pravidelně vytírána, zůstává činitel odrazu podlahy stále na původní úrovni. Činitel odrazu stropu není třeba uvažovat, strop není svítidly osvětlován.

Stanovení konečného činitele odrazu stěn:

$$\rho_m = r_p \cdot \rho = 0,7856 \cdot 0,5 = 0,39 \quad (10)$$

$E_0 = 500 \text{ lx}$

$E_1 = 390 \text{ lx}$.

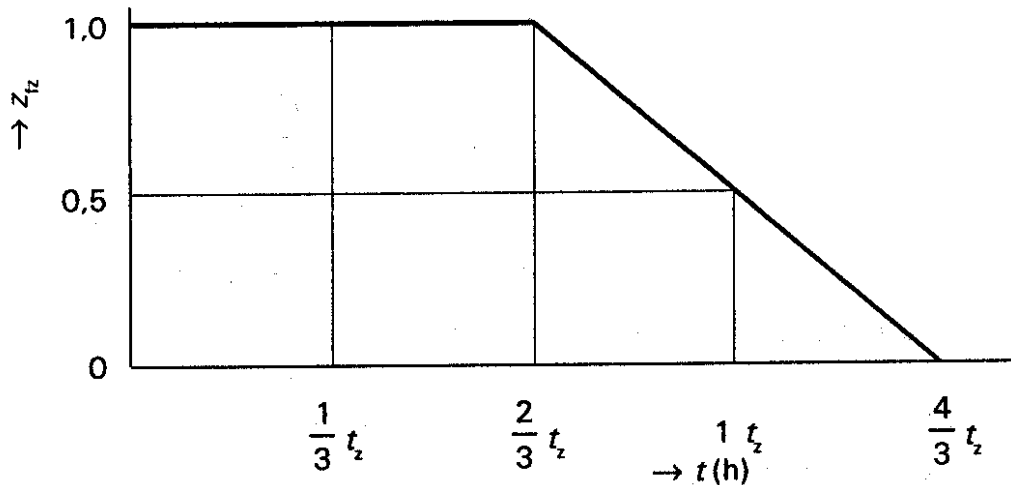
Výsledný činitel znečištění ploch osvětlovaného prostoru:

$$z_p = \frac{E_1}{E_0} = \frac{390}{500} = \underline{\underline{0,78}} \quad (11)$$

Činitel funkční spolehlivosti světelných zdrojů z_{fz}

V praxi nastávají tyto případy:

- vadné zdroje se ihned vyměňují – individuální výměna $z_{fz} = 1,0$
- vadné zdroje se nevyměňují ihned, ale po skupinách $z_{fz} \leq 1,0$



Obr. 14 Průběh činitele funkční spolehlivosti pro hromadnou výměnu

kde:

t_z je doba životnosti světelného zdroje

V této práci budu vždy uvažovat individuální výměnu světelných zdrojů, proto bude vždy

$$z_{fz}=1$$

[N.1]

2.3.3. Stanovení činitele využití η_E

Činitel využití udává, kolik světelného toku vyzařovaného světelnými zdroji se plně využije k osvětlení pracovního prostoru. Tento činitel je závislý na indexu místnosti a odraznosti povrchů a proto bude pro všechny varianty osvětlovacích soustav shodný.

Nejdříve je potřeba určit index místnosti. Ten se pro místnost obdélníkového půdorysu určí dle následujícího vzorce:

$$m = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} \quad (12)$$

kde a, b jsou rozměry podlahové plochy
 h je výška svítidel nad pracovní plochou

Pro činitel odrazu stropu ρ_1 , stěn ρ_2 , podlahy ρ_3 a index místnosti se podle následující tabulky určí činitel využití.

Tab. 6

m	Činitelé odrazu								
	ρ_1	0,7				0,5		0,3	0,0
	ρ_2	0,7	0,5	0,3	0,1	0,5	0,3	0,1	0,0
	ρ_3	0,1							0,0
0,8	η_E	0,51	0,47	0,43	0,41	0,43	0,40	0,36	0,33
1,0		0,56	0,52	0,48	0,46	0,47	0,44	0,40	0,37
1,5		0,63	0,60	0,57	0,54	0,54	0,52	0,46	0,42
2,0		0,68	0,65	0,62	0,60	0,58	0,56	0,50	0,45
2,5		0,70	0,68	0,66	0,64	0,61	0,59	0,53	0,46
3,0		0,72	0,70	0,68	0,66	0,63	0,61	0,55	0,48
4,0		0,74	0,72	0,71	0,69	0,65	0,64	0,57	0,49
5,0		0,75	0,74	0,73	0,71	0,66	0,65	0,58	0,49

Výpočet dle vzorce (12):

$$m = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{48\,816 \cdot 29\,493}{4500 \cdot (48\,816 + 29\,493)} = 4,0856$$

Pro činitel odrazu stropu $\rho_1=0,7$ stěn $\rho_2=0,5$ a index místnosti roven přibližně 4 vychází dle tabulky 6 činitel využití

$$\eta_E = 0,72.$$

[3]

2.3.4. Výběr světelných zdrojů a svítidel

V tabulce 7 je pro přehled porovnání nejběžněji používaných zdrojů elektrického světla. Pro výběr variant návrhu osvětlení budu vycházet především z parametrů uvedených v tabulce.

Technické parametry byly získány z katalogů výrobců. Ceny jsou převážně z internetových obchodů, a proto je možné, že v jiných obchodech budou mírně nižší nebo naopak vyšší.

Tab. 7 Parametry světelných zdrojů

zdroj	životnost t_z [h]	měrný výkon η [lm/W]	cena [Kč]
lineární zářivka T8 58W/840 (výrobce Osram)	10 000	89	79
halogenidová výbojka CDM-TD 150W/942 (výrobce Philips)	9 000	95	500
rtuťová výbojka HQL-125W (výrobce Osram)	20 000	50	276
halogenová žárovka R7S 1000W (výrobce Osram)	2 000	22	250
indukční výbojka MASTER QL 165W (výrobce Philips)	100 000	72	2 400
LED trubice TL Pro 100 865 (výrobce Luxerna)	50 000	100	1 450

Na základě porovnání životnosti a měrného výkonu zdrojů vybírám 3 následující varianty:

Varianta 1

Zdroj:

-lineární zářivka Osram Lumilux T8 58W/840

Svítidlo:

-Modus P 258 PC (2xT8, krytí IP 65)

Varianta 2

Zdroj:

- halogenidová výbojka Philips CDM-TD 150W/942

Svítilno:

- Modus DELO 150 Q

Varianta 3

Zdroj:

- LED trubice Luxerna TL Pro 100 865

Svítilno:

- Mivvy LMPB120 (2x LED T8)

Svítilna volím především dle ceny a dostatečného krytí požadovaného normou pro čisté prostředí.

2.4. Návrh osvětlovací soustavy

2.4.1. Varianta 1 (lineární zářivka)

Zdroj:

-lineární zářivka Osram Lumilux T8 58W/840

Svítilno:

-Modus P 258 PC (2xT8, krytí IP 65)

Udržovací činitel z:

- Činitel stárnutí světelných zdrojů z_z

Z katalogu výrobce světelného zdroje jsem získal následující údaje:

- $\gamma_z = 0,81$
- $T_z = 4\,300$ h
- $t_z = 10\,000$ h

Po dosazení do rovnice (6):

$$z_z = 0,81 + \left\{ \frac{[(1 - 0,81) \cdot 4300]}{(2 \cdot 10000)} \right\} \cdot \left[1 - e^{-2 \cdot \frac{10000}{4300}} \right] = \underline{0,8505}$$

- Činitel znečištění svítidel z_s

Z tabulky 3 "Zatřídění svítidel" (str. 35) jsem svítidlo zařadil do kategorie V a dle tabulky 4 "Konstanty charakterizující znečištění svítidel" (str. 36) jsem stanovil koeficienty T_s a γ_s pro uvedenou kategorii a čistotu prostředí.

Po dosazení do rovnice (7):

$$z_s = e^{(-0,0343 \cdot 12^{0,53})} = \underline{0,8798}$$

- Činitel znečištění ploch osvětlovaného prostoru z_p

$$z_p = 0,78 \text{ (viz str. 37)}$$

- Činitel funkční spolehlivosti světelných zdrojů z_{fz}

$$z_{fz} = 1 \text{ (viz str. 38)}$$

Výsledný udržovací činitel z:

Dosazením do rovnice (5):

$$z = 0,8505 \cdot 0,8798 \cdot 0,78 \cdot 1,00$$

$$\underline{z = 0,5837}$$

Činitel využití η_E :

$$\eta_E = 0,72 \text{ (viz str. 39)}$$

Odhad příkonu osvětlovací soustavy

$$\bar{E}_m = 500 \text{ lx}$$

$$\eta = 90 \text{ lm/W}$$

$$P_{SV} = 58 \text{ W}$$

Měrný příkon p dle tabulky 2 pro vypočtené μ :

$$\mu = \frac{\check{s}}{h} = \frac{29\,493}{4\,500} = 6,554$$

$$p = 23,8 \text{ [W/m}^2\text{/100 lx/10 lm}\cdot\text{W}^{-1}\text{]}$$

Celkový příkon-dosazení do rovnice (1):

$$P = p \cdot S \cdot \frac{10}{\eta} \cdot \frac{\bar{E}_m}{100} = 23,8 \cdot 1439,73 \cdot \frac{10}{90} \cdot \frac{500}{100} = 19\,036,43 \text{ W}$$

Počet světelných zdrojů dle rovnice (2):

$$n = \frac{P}{P_{SV}} = \frac{19036,43}{58} = 328,21 \text{ ks}$$

-zaokrouhluji na 328 ks zdrojů → 164 ks svítidel 2x58W.

Toková metoda

Dosazení do rovnice (3):

$$\Phi = \frac{\bar{E}_m \cdot S}{z \cdot \eta_E} = \frac{500 \cdot 1439,73}{0,5837 \cdot 0,72} = 1\,712\,887,6 \text{ lm}$$

Počet světelných zdrojů dle rovnice (4):

$$n = \frac{\Phi}{\Phi_{sv}} = \frac{1712887,6}{5200} = 329,4 \text{ ks}$$

-zaokrouhluji na 330 ks zdrojů → 165 ks svítidel 2x58W.

2.4.2. Varianta 2 (halogenidová výbojka)

Zdroj:

- halogenidová výbojka Philips CDM-TD 150W/942

Svítidlo:

- Modus DELO 150 Q

Udržovací činitel z:

- Činitel stárnutí světelných zdrojů z_z

Z katalogu výrobce světelného zdroje jsem získal následující údaje:

- $\gamma_z = 0,78$
- $T_z = 4\,200 \text{ h}$
- $t_z = 9\,000 \text{ h}$

Po dosazení do rovnice (6):

$$z_z = 0,78 + \left\{ \frac{[(1 - 0,78) \cdot 4200]}{(2 \cdot 9000)} \right\} \cdot \left[1 - e^{-2 \cdot \frac{9000}{4200}} \right] = \underline{0,83}$$

- Činitel znečištění svítidel z_s

Z tabulky 3 "Zatřídění svítidel" (str. 35) jsem svítidlo zařadil do kategorie V a dle tabulky 4 "Konstanty charakterizující znečištění svítidel" (str. 36) jsem stanovil koeficienty T_s a γ_s pro uvedenou kategorii a čistotu prostředí.

Po dosazení do rovnice (7):

$$z_s = e^{(-0,0343 \cdot 12^{0,53})} = \underline{0,8798}$$

- Činitel znečištění ploch osvětlovaného prostoru z_p

$$z_p = 0,78 \text{ (viz str. 37)}$$

- Činitel funkční spolehlivosti světelných zdrojů z_{fz}

$$z_{fz} = 1 \text{ (viz str. 38)}$$

Výsledný udržovací činitel z:

Dosazením do rovnice (5):

$$z = 0,83 \cdot 0,8798 \cdot 0,78 \cdot 1,00$$

$$\underline{z = 0,5696}$$

Činitel využití η_E :

$$\eta_E = 0,72 \text{ (viz str. 39)}$$

Odhad příkonu osvětlovací soustavy

$\bar{E}_m = 500 \text{ lx}$
 $\eta = 95 \text{ lm/W}$
 $P_{SV} = 150 \text{ W}$

Měrný příkon p dle tabulky 2 pro vypočtené μ :

$$\mu = \frac{\check{s}}{h} = \frac{29\,493}{4\,500} = 6,554$$

$$p=23,8 \text{ [W/m}^2\text{/100 lx/10 lm}\cdot\text{W}^{-1}\text{]}$$

Celkový příkon-dosazení do rovnice (1):

$$P = p \cdot S \cdot \frac{10}{\eta} \cdot \frac{\bar{E}_m}{100} = 23,8 \cdot 1439,73 \cdot \frac{10}{95} \cdot \frac{500}{100} = 18\,034,51 \text{ W}$$

Počet světelných zdrojů dle rovnice (2):

$$n = \frac{P}{P_{sv}} = \frac{18034,51}{150} = 120,23 \text{ ks}$$

-zaokrouhluji na 120 ks.

Toková metoda

Dosazení do rovnice (3):

$$\Phi = \frac{\bar{E}_m \cdot S}{z \cdot \eta_E} = \frac{500 \cdot 1439,73}{0,5696 \cdot 0,72} = 1\,755\,288,79 \text{ lm}$$

Počet světelných zdrojů dle rovnice (4):

$$n = \frac{\Phi}{\Phi_{sv}} = \frac{1755288,79}{14200} = 123,61 \text{ ks}$$

-zaokrouhluji na 120 ks zdrojů (z důvodu rovnoměrného rozmístění svítidel)

2.4.3. Varianta 3 (LED trubice)

Zdroj:

- LED trubice Luxerna TL Pro 100 865

Svítilno:

- Mivvy LMPB120 (2x LED T8)

Udržovací činitel z:

- Činitel stárnutí světelných zdrojů z_z

Z katalogu výrobce světelného zdroje jsem získal následující údaje:

- $\gamma_z = 0,70$
- $T_z = 6\,000\text{ h}$
- $t_z = 50\,000\text{ h}$

Po dosazení do rovnice (6):

$$z_z = 0,70 + \{[(1 - 0,70) \cdot 6000] / (2 \cdot 50000)\} \cdot \left[1 - e^{-2 \cdot \frac{50000}{6000}}\right] = \underline{0,72}$$

- Činitel znečištění svítidel z_s

Z tabulky 3 "Zatřídění svítidel" (str. 35) jsem svítidlo zařadil do kategorie V a dle tabulky 4 "Konstanty charakterizující znečištění svítidel" (str. 36) jsem stanovil koeficienty T_s a γ_s pro uvedenou kategorii a čistotu prostředí.

Po dosazení do rovnice (7):

$$z_s = e^{(-0,0343 \cdot 12^{0,53})} = \underline{0,8798}$$

- Činitel znečištění ploch osvětlovaného prostoru z_p

$$z_p = 0,78 \text{ (viz str. 37)}$$

- Činitel funkční spolehlivosti světelných zdrojů z_{fz}

$$z_{fz} = 1 \text{ (viz str. 38)}$$

Výsledný udržovací činitel z:

Dosazením do rovnice (5):

$$z = 0,72 \cdot 0,8798 \cdot 0,78 \cdot 1,00$$

$$\underline{z = 0,4941}$$

Činitel využití η_E :

$$\eta_E = 0,72 \text{ (viz str. 39)}$$

Odhad příkonu osvětlovací soustavy

$$\begin{aligned} \bar{E}_m &= 500 \text{ lx} \\ \eta &= 100 \text{ lm/W} \\ P_{SV} &= 17,5 \text{ W} \end{aligned}$$

Měrný příkon p dle tabulky 2 pro vypočtené μ :

$$\mu = \frac{\check{s}}{h} = \frac{29\,493}{4\,500} = 6,554$$

$$p = 23,8 \text{ [W/m}^2\text{/100 lx/10 lm} \cdot \text{W}^{-1}\text{]}$$

Celkový příkon-dosazení do rovnice (1):

$$P = p \cdot S \cdot \frac{10}{\eta} \cdot \frac{\bar{E}_m}{100} = 23,8 \cdot 1439,73 \cdot \frac{10}{100} \cdot \frac{500}{100} = 17\,132,79 \text{ W}$$

Počet světelných zdrojů dle rovnice (2):

$$n = \frac{P}{P_{SV}} = \frac{17132,79}{17,5} = 979,02 \text{ ks}$$

-zaokrouhluji na 980 ks.

Toková metoda

Dosazení do rovnice (3):

$$\Phi = \frac{\bar{E}_m \cdot S}{z \cdot \eta_E} = \frac{500 \cdot 1439,73}{0,4941 \cdot 0,72} = 2\,023\,502,33 \text{ lm}$$

Počet světelných zdrojů dle rovnice (4):

$$n = \frac{\Phi}{\Phi_{sv}} = \frac{2023502,33}{1760} = 1149,72 \text{ ks}$$

-zaokrouhluji na 1150 ks zdrojů (z důvodu rovnoměrného rozmístění svítidel) → 575 ks svítidel (2 x LED T8)

3. Výpočet intenzity osvětlení pracovního prostoru profesionálním programem

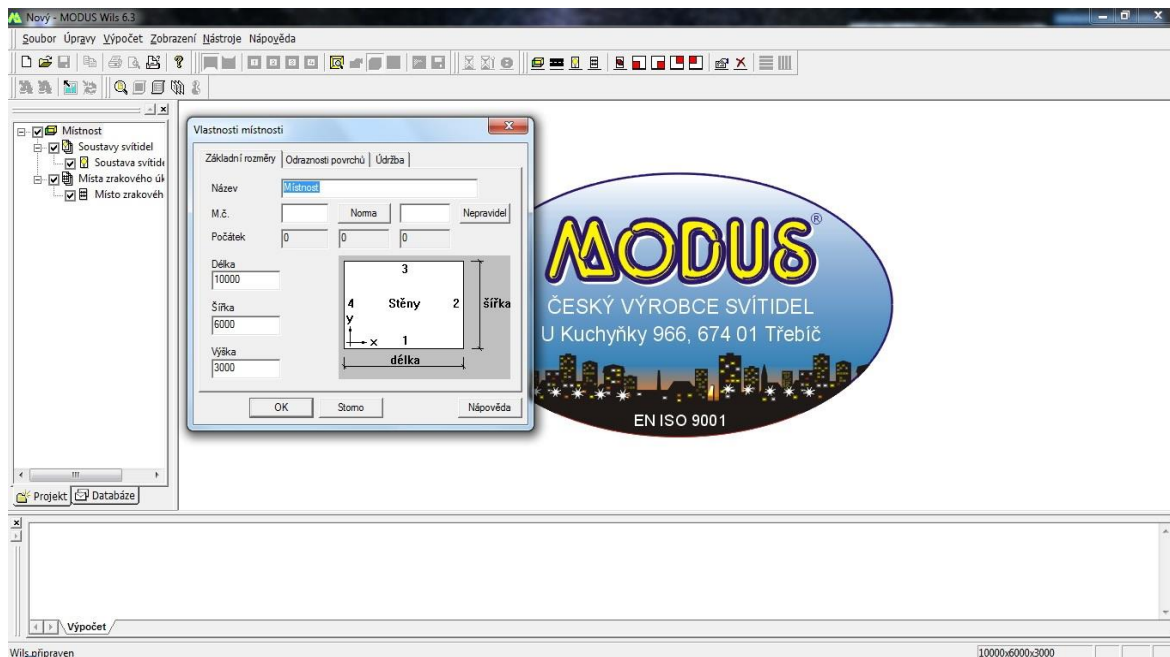
3.1. Stručný popis programu

K výpočtu intenzity osvětlení pracovního prostoru a určení koeficientu rovnoměrnosti osvětlení jsem využil program Wils od českého výrobce svítidel Modus.

Po grafické stránce patří tento program mezi méně propracované (např. oproti programům Relux a Dialux), ovšem ovládání je přehledné a nechybí ani různé nadstavbové funkce jako například výstup ve spolupráci s CAD systémy.

Výpočty jsou prováděny v souladu s platnými technickými normami a je možno je provádět několika metodami. Například bodovou metodou „dělení zdrojů“ (výpočet přímé složky osvětlenosti), metodou mnohonásobných odrazů (výpočet odražené složky osvětlenosti), tokovou metodou rychlého návrhu počtu svítidel. Lze provést výpočet udržovacího činitele a určit i činitele oslnění ve vnitřních i venkovních prostorech.

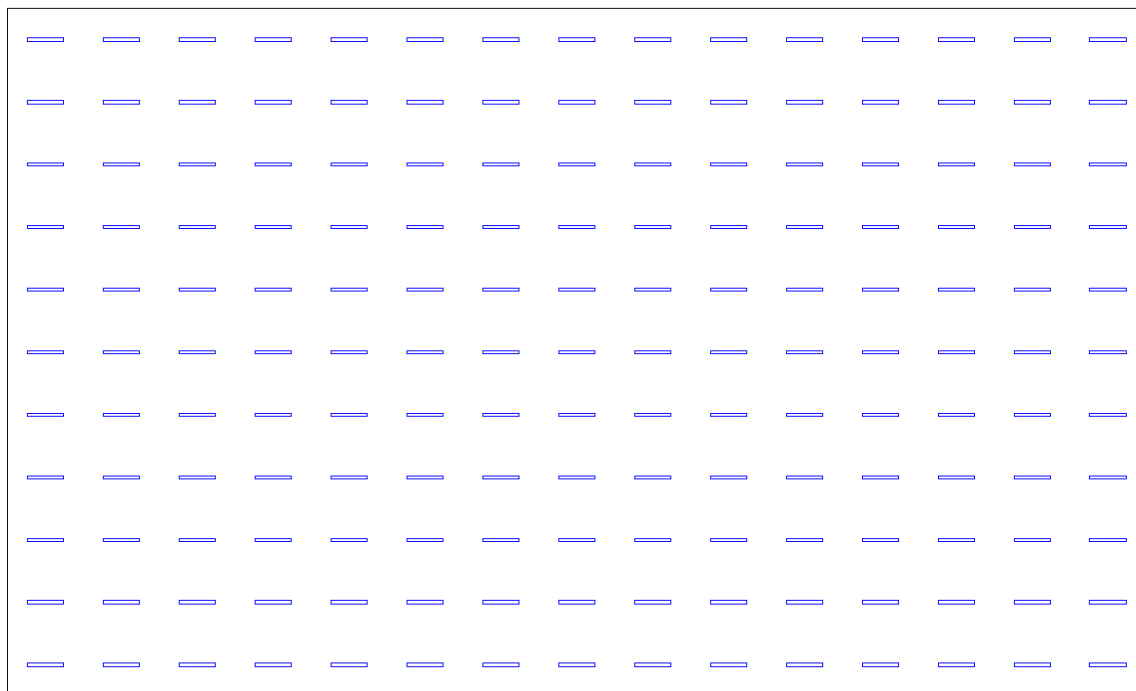
Program Wils umožňuje zobrazení výsledků výpočtů osvětlenosti nebo jasu formou tabulky nebo izo diagramu. Výsledky výpočtu činitele oslnění lze zobrazit tabulkou, izo diagramem nebo značkami oslnění.



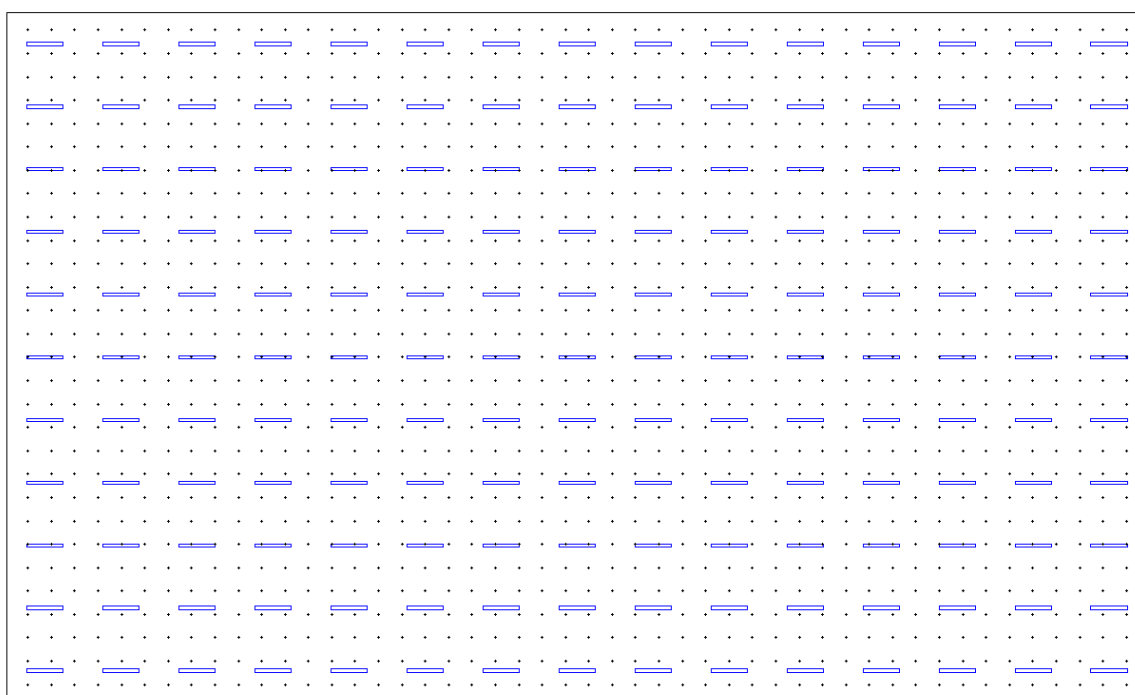
Obr. 15 Pracovní prostředí programu Modus Wils.

3.2. Výpočet intenzity pro jednotlivé varianty

3.2.1. Varianta 1 (lineární zářivka)

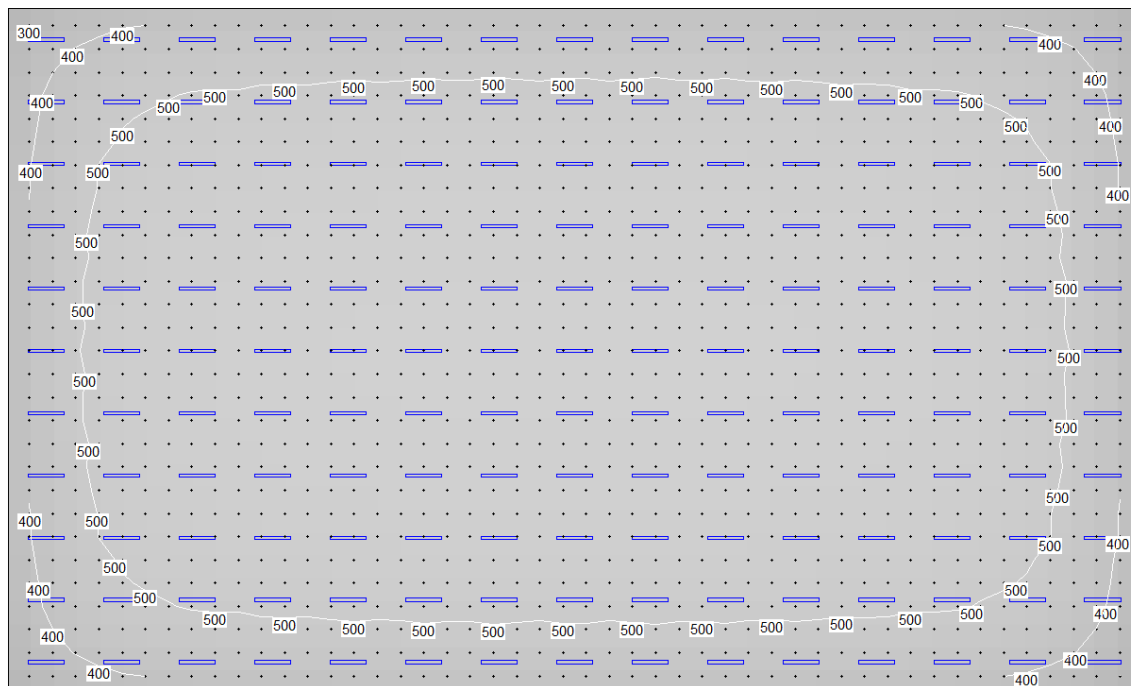


Obr. 16.1 Navržená osvětlovací soustava (165 ks svítidel 2xT8)



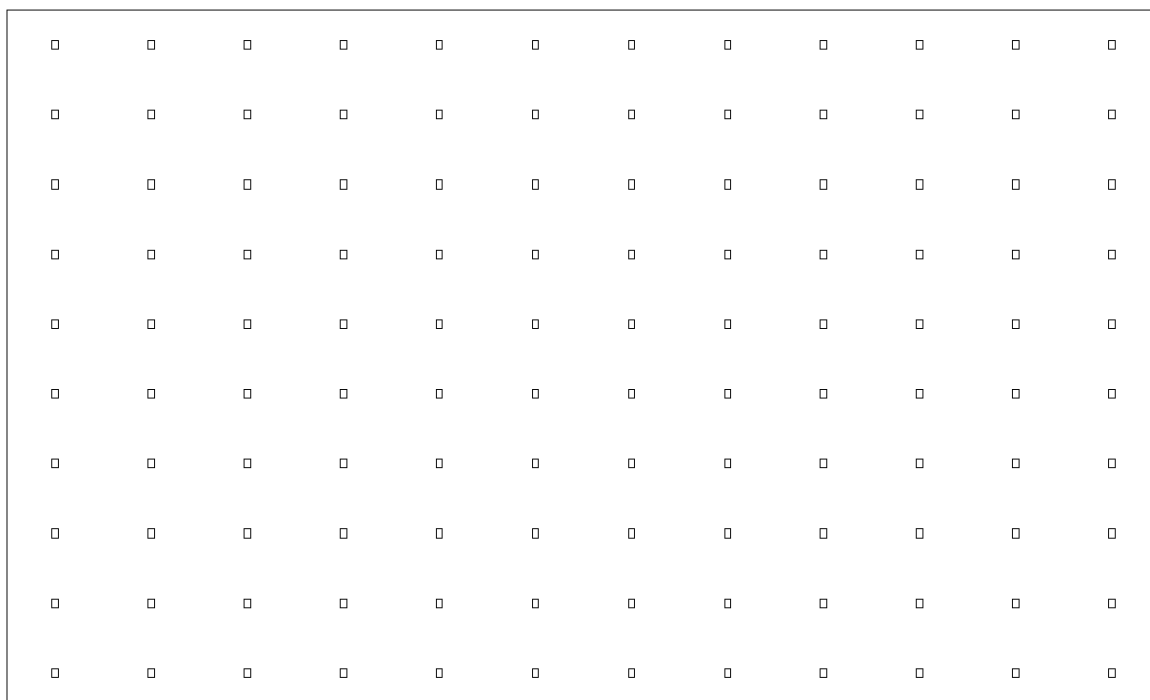
Obr. 16.2 Osvětlovací soustava se sítí kontrolních bodů

Horizontální: Emin: 299.4 Em: 512.7 Emax: 573.9 R=Emin/Emed: 0.58 Z: 0.64

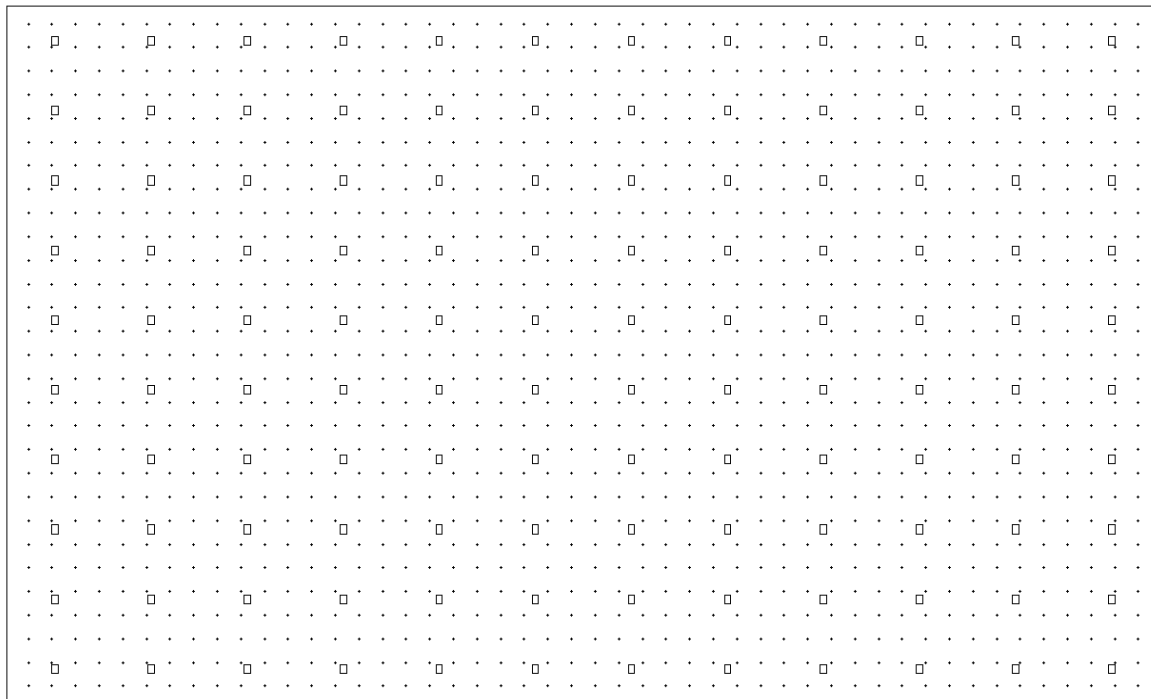


Obr. 16.3 Výsledný izo diagram navržené osvětlovací soustavy

3.2.2. Varianta 2 (halogenidová výbojka)

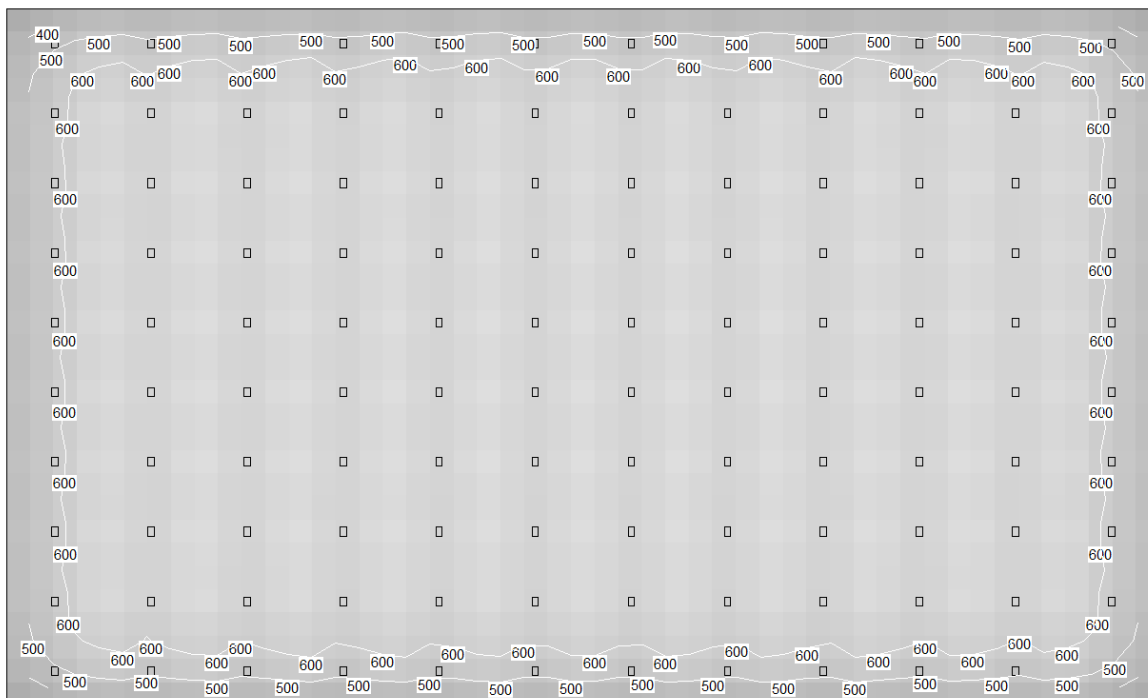


Obr. 17.1 Navržená osvětlovací soustava (120 ks svítidel)



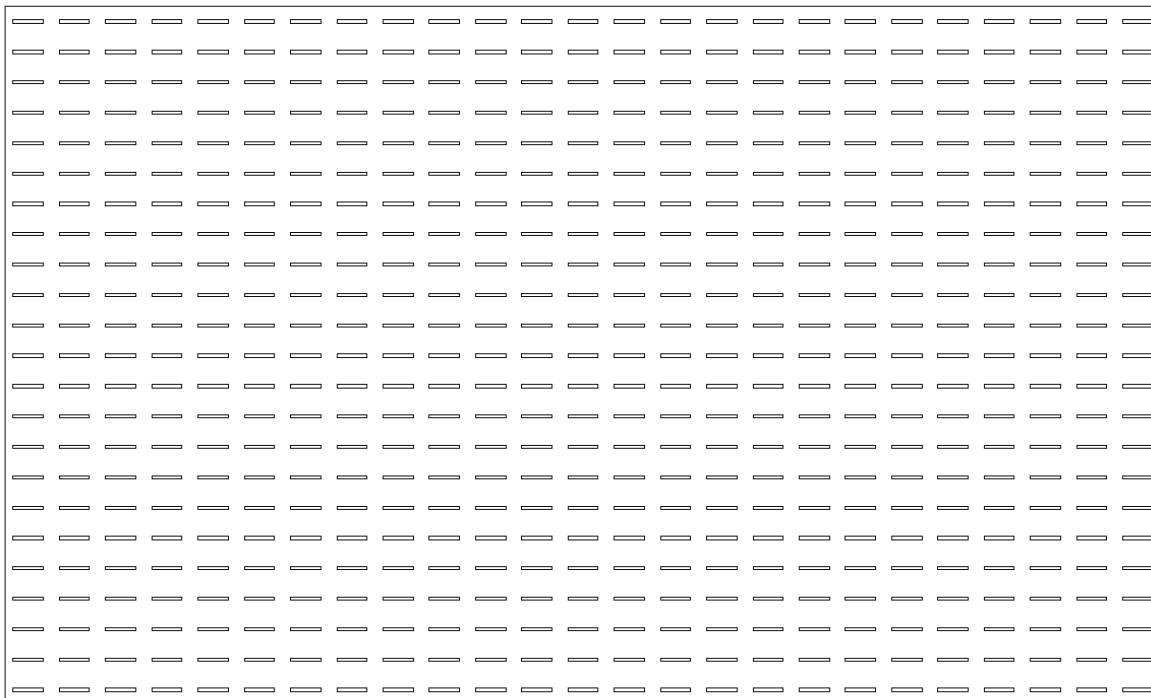
Obr. 17.2 Osvětlovací soustava se sítí kontrolních bodů

Horizontální: Emin: 362.0 Em: 625.2 Emax: 686.0 R=Emin/Emed: 0.58 Z: 0.63

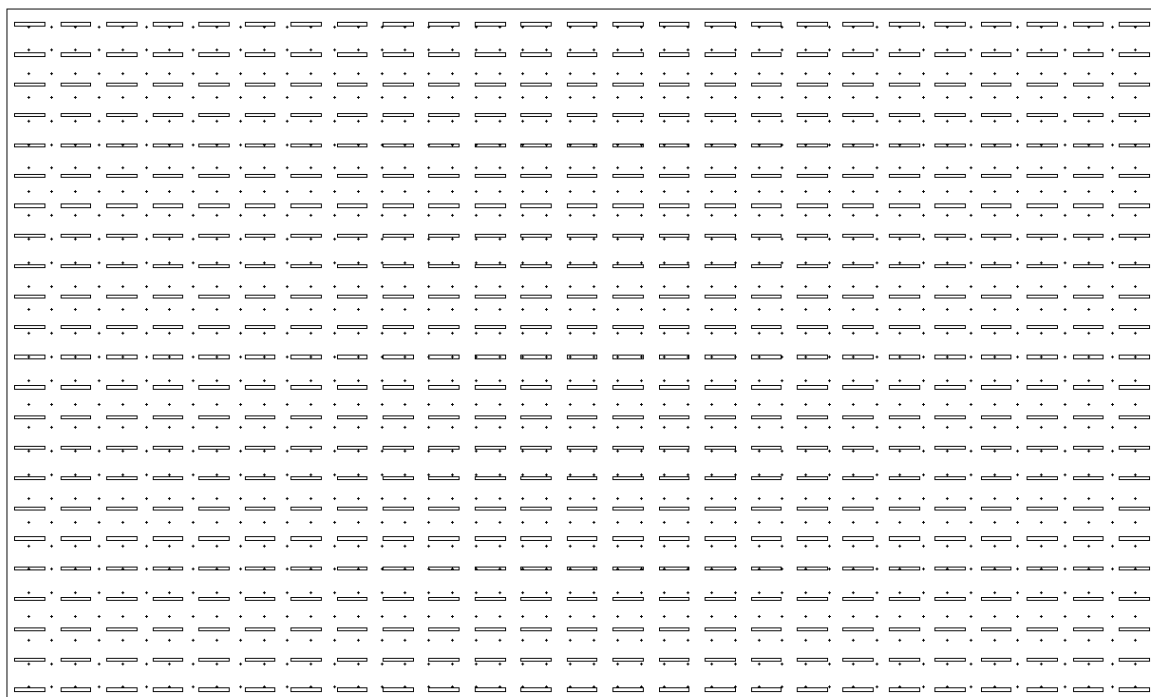


Obr. 17.3 Výsledný izo diagram navržené osvětlovací soustavy

3.2.3. Varianta 3 (LED trubice)

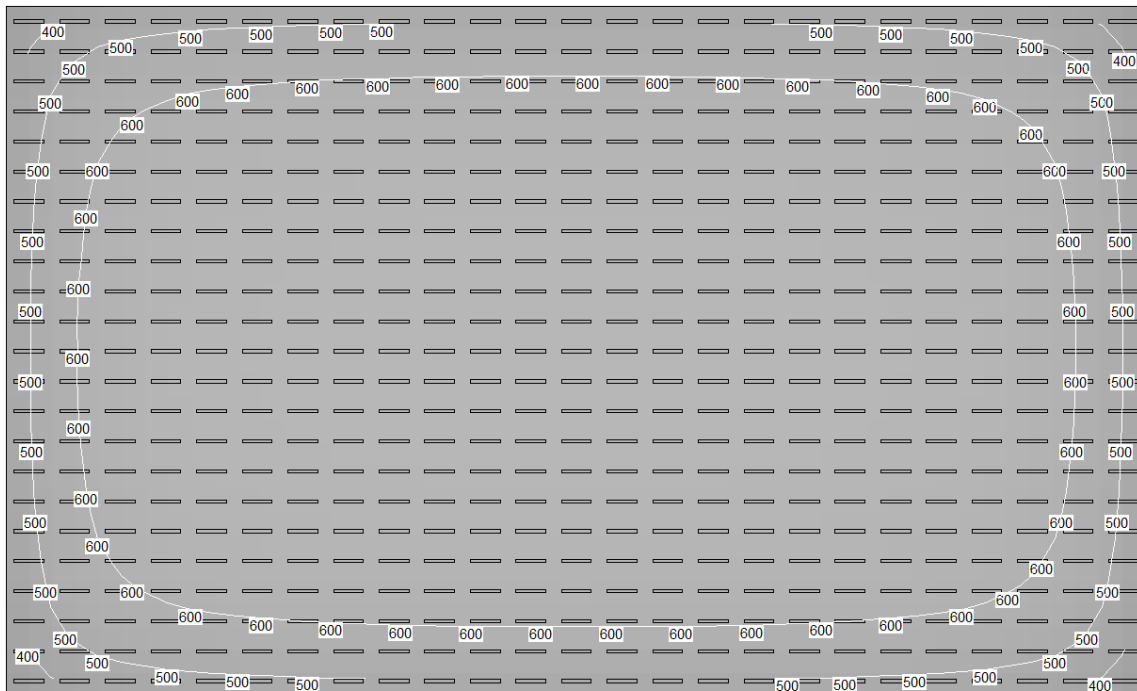


Obr. 18.1 Navržená osvětlovací soustava (575 ks svítidel 2x LED T8)



Obr. 18.2 Osvětlovací soustava se sítí kontrolních bodů

Horizontální: Emin: 350.1 Em: 617.5 Emax: 690.4 R=Emin/Emed: 0.57 Z: 0.59



Obr. 18.3 Výsledný izo diagram navržené osvětlovací soustavy

Je zřejmé, že z hlediska intenzity osvětlení všechny tři varianty osvětlovacích soustav vyhovují (varianty 2 a 3 jsou mírně naddimenzovány).

3.3. Rovnoměrnost osvětlení pracovního prostoru

Norma požaduje pro průmyslové prostory s výrobou potravin a pochutin koeficient rovnoměrnosti osvětlení R v rozsahu 0,4 – 0,7. [N.1]

Přehled výsledků

Varianta	1	2	3
Koeficient rovnoměrnosti osvětlení R	0,58	0,58	0,57

Všechny tři varianty tento požadavek splňují.

4. Ekonomické zhodnocení návrhu osvětlení

4.1. 1. varianta (lineární zářivky)

Investiční náklady:

počet svítidel $p_1 = 165$ ks

počet světelných zdrojů $p_2 = 330$ ks

cena jednoho svítidla $c_1 = 906$ Kč (svítidlo Modus P 258 PC včetně předřadníku)

cena jednoho světelného zdroje $c_2 = 79$ Kč (lineární zářivka Osram Lumilux L 58W/840)

$$Ni = p_1 \cdot c_1 + p_2 \cdot c_2 \quad (13)$$

$$Ni = 165 \cdot 906 + 330 \cdot 79$$

$$Ni = \underline{175\,560 \text{ Kč}}$$

Roční provozní náklady:

Provozní náklady se skládají z nákladů na spotřebovanou elektrickou energii a nákladů na údržbu a opravy.

Určí se dle vzorce:

$$Np = Ne + No \quad (14)$$

- Náklady na elektrickou energii:

$$Ne = n_1 \cdot t_p \cdot P_p \cdot A \cdot 10^{-3} \quad (15)$$

Kde:	n_1	je	počet světelných zdrojů [ks]
	t_p		doba provozu osvětlovací soustavy za rok [h]
	P_p		příkon zdroje včetně předřadníku [W]
	A		cena elektrické energie [Kč/kWh]

Dosazení do vzorce (15):

$n_1 = 330$ ks

$t_p = 4160$ h (dvousměnný provoz 5 dní v týdnu)

$P_p = 58$ W (z katalogu výrobce Osram) [6]

$A = 2,57$ Kč/kWh (cena pro průmyslová odvětví pro rok 2012)

$$Ne = 330 \cdot 4160 \cdot 58 \cdot 2,57 \cdot 10^{-3}$$

$$Ne = 204\,629,57 \text{ Kč}$$

- Náklady na údržbu a opravy:

$$No = n_1 \cdot \left[t_p \cdot \left(\frac{N_{zd} + N_{vzd}}{t_z} \right) + \frac{C}{n_2} \right] \quad (16)$$

Kde:	n_1	je	počet světelných zdrojů [ks]
	t_p		doba provozu osvětlovací soustavy za rok [h]
	N_{zd}		cena světelného zdroje [Kč]
	N_{vzd}		cena výměny světelného zdroje [Kč]
	t_z		životnost světelného zdroje [h]
	C		cena vyčištění 1 svítidla [Kč]
	n_2		počet světelných zdrojů ve svítidle [ks]

Dosazení do vzorce (16):

$$n_1 = 330 \text{ ks}$$

$$t_p = 4160 \text{ h (dvousměnný provoz 5 dní v týdnu)}$$

$$N_{zd} = 79 \text{ Kč}$$

$$N_{vzd} = 200 \text{ Kč (odhad dle srovnání cen několika firem)}$$

$$t_z = 10\,000 \text{ h}$$

$$C = 70 \text{ Kč (odhad dle srovnání cen několika firem)}$$

$$n_2 = 2 \text{ ks}$$

$$No = 330 \cdot \left[4160 \cdot \left(\frac{79 + 200}{10000} \right) + \frac{70}{2} \right]$$

$$No = 49\,851,12 \text{ Kč}$$

Celkové provozní náklady:

Dosazení do vzorce (14):

$$Np = 204629,57 + 49851,12$$

$$\underline{Np = 254\,480,70 \text{ Kč}}$$

4.2. 2. varianta (halogenidové výbojky)

Investiční náklady:

počet svítidel $p_1 = 120$ ks

počet světelných zdrojů $p_2 = 120$ ks

cena jednoho svítidla $c_1 = 2\,200$ Kč (svítidlo Modus DELO 150Q včetně předřadníku)

cena jednoho světelného zdroje $c_2 = 500$ Kč (halogenidová výbojka Philips CDM-TD 150W/942)

Dosazení do rovnice (13):

$$Ni = 120 \cdot 2200 + 120 \cdot 500$$

$$Ni = \underline{324\,000 \text{ Kč}}$$

Roční provozní náklady:

- Náklady na elektrickou energii:

Dosazení do vzorce (15):

$n_1 = 120$ ks

$t_p = 4160$ h (dvousměnný provoz 5 dní v týdnu)

$P_p = 170$ W (z katalogu výrobce Philips) [9]

$A = 2,57$ Kč/kWh (cena pro průmyslová odvětví pro rok 2012)

$$Ne = 120 \cdot 4160 \cdot 170 \cdot 2,57 \cdot 10^{-3}$$

$$Ne = 218\,100,48 \text{ Kč}$$

- Náklady na údržbu a opravy:

Dosazení do vzorce (16):

$n_1 = 120$ ks

$t_p = 4160$ h (dvousměnný provoz 5 dní v týdnu)

$N_{zd} = 500$ Kč

$N_{vzd} = 200$ Kč (odhad dle srovnání cen několika firem)

$t_z = 9\,000$ h

$C = 70$ Kč (odhad dle srovnání cen několika firem)

$n_2 = 1$ ks

$$No = 120 \cdot \left[4160 \cdot \left(\frac{500 + 200}{9000} \right) + \frac{70}{1} \right]$$

$$No = 47\,226,67 \text{ Kč}$$

Celkové provozní náklady:

Dosazení do vzorce (14):

$$Np = 218100,48 + 47226,67$$

$$\underline{Np = 265\,327,15\,Kč}$$

4.3. 3. varianta (LED trubice)Investiční náklady:počet svítidel $p_1 = 575$ kspočet světelných zdrojů $p_2 = 1\,150$ kscena jednoho svítidla $c_1 = 933$ Kč (svítidlo Mivvy LMPB120)cena jednoho světelného zdroje $c_2 = 1\,450$ Kč (LED trubice Luxerna TL Pro 100 865)

Dosazení do rovnice (13):

$$Ni = 575 \cdot 933 + 1150 \cdot 1450$$

$$Ni = \underline{2\,203\,975\,Kč}$$

Roční provozní náklady:

- Náklady na elektrickou energii:

Dosazení do vzorce (15):

 $n_1 = 1\,150$ ks $t_p = 4160$ h (dvousměnný provoz 5 dní v týdnu) $P_p = 17,5$ W (z katalogu výrobce Luxerna) [11] $A = 2,57$ Kč/kWh (cena pro průmyslová odvětví pro rok 2012)

$$Ne = 1150 \cdot 4160 \cdot 17,5 \cdot 2,57 \cdot 10^{-3}$$

$$Ne = 215\,160,40\,Kč$$

- Náklady na údržbu a opravy:

Dosazení do vzorce (16):

$$n_1 = 1\,150 \text{ ks}$$

$$t_p = 4160 \text{ h (dvousměnný provoz 5 dní v týdnu)}$$

$$N_{zd} = 1\,450 \text{ Kč}$$

$$N_{vzd} = 200 \text{ Kč (odhad dle srovnání cen několika firem)}$$

$$t_z = 50\,000 \text{ h}$$

$$C = 70 \text{ Kč (odhad dle srovnání cen několika firem)}$$

$$n_2 = 2 \text{ ks}$$

$$N_o = 1150 \cdot \left[4160 \cdot \left(\frac{1450 + 200}{50000} \right) + \frac{70}{2} \right]$$

$$N_o = 198\,122 \text{ Kč}$$

Celkové provozní náklady:

Dosazení do vzorce (14):

$$N_p = 215\,160,40 + 198\,122$$

$$\underline{N_p = 416\,282,40 \text{ Kč}}$$

[2]

4.4. Doba životnosti osvětlovací soustavy

Jelikož u všech vybraných typů svítidel výrobce garantuje barevnou stálost krytů, odhaduji životnost jednotlivých osvětlovacích soustav dle životnosti předřadníků. Výměna předřadníků by byla větší investice do celé osvětlovací soustavy, a proto ji beru jako limitující.

U první varianty (lineární zářivky) mají elektronické předřadníky životnost 30 000 hodin. Při počtu ročních provozních hodin $t_p=4160$ h vychází životnost této osvětlovací soustavy na 7,21 roků.

U druhé varianty (halogenidové výbojky) udává výrobce životnost předřadníku 40 000 hodin. Životnost tedy vychází na 9,61 roku.

LED trubice ve třetí variantě nepotřebují žádné předřadníky. Tudíž při stanovení životnosti osvětlovací soustavy lze vycházet jen ze životnosti samotných zdrojů. Při životnosti LED trubice 50 000 hodin vychází životnost minimálně na 12 let.

5. Doplnková varianta-světlovody

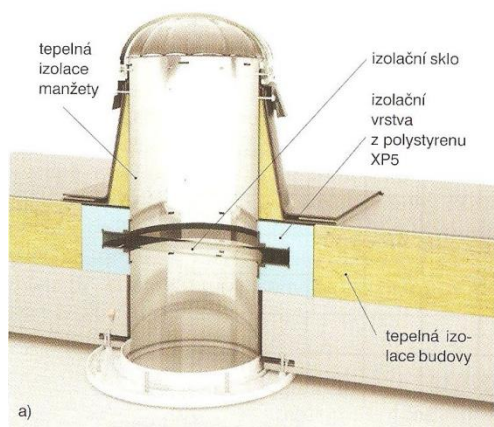
5.1. Stručný popis světlovodů

Světlovod je optické zařízení, které slouží k přenosu světelného toku z vnějšího prostředí do interiéru.

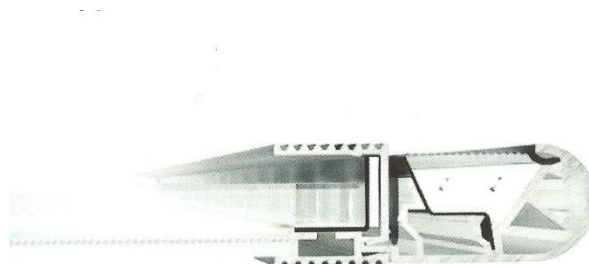
Dělí se na duté a plné.

Vnitřní povrch dutých světlovodů je tvořen materiálem, který má velký činitel odrazu. Duté světlovody se používají k osvětlování prostorů s nedostatečným denním osvětlením.

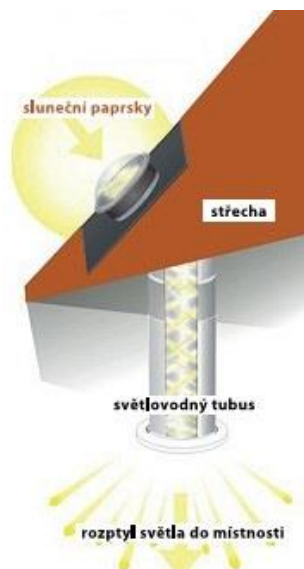
Plné světlovody využívají jev, který se nazývá „úplný vnitřní odraz“. Tyto světlovody se dělí na deskové světlovody a optické kabely. Deskové světlovody se používají k rozvedení světelného toku na velkou plochu. Optické kabely se používají na přenos světelného toku zdroje na velkou vzdálenost (nejčastěji slouží k přenosu informací).



Obr. 19 Popis dutého světlovodu [3]



Obr. 20 Svítidlo s deskovým světlovodem (řez) [3]



Obr. 21 Princip funkce světlovodu

(http://www.allux.cz/svetlovody_ub/svetlovod_rez_ub03.jpg)

Na obrázku 22 je fotografie střešní části světlovodů firmy Allux a na obrázku 23 je vyfocen stropní difuzor světlovodu stejné firmy.



Obr. 22 Střešní části světlovodů Allux
(<http://www.allux.cz/svetlovody/svetlovod014.jpg>)



Obr. 23 Stropní difuzor světlovodu Allux
(<http://www.allux.cz/svetlovody/svetlovod039.jpg>)

5.2. Návrh počtu světlovodů

Zvolil jsem firmu Allux-stav s.r.o., která vyrábí světlovody průměru 250 mm, 350 mm, 550 mm a nově také 850 mm. Já jsem pro návrh soustavy světlovodů zvolil světlovody největší, tedy 850 mm.

Výrobce na svých stránkách udává následující výkony tohoto světlovodu:

- léto - cca 2.270 lx
- jaro (podzim) - cca 1.480 lx
- zima - cca 1.000 lx

- Světlovod ALLUX 850 Plus osvětlí cca 65 m² plochy. [13]

Jelikož se mi nepodařilo zajistit bližší specifikace světlovodu, budu při návrhu počtu světlovodů vycházet z údaje výrobce o osvětlené ploše jedním světlovodem ($S_1=65 \text{ m}^2$). Tento návrh tedy bude pouze orientační.

Plocha haly:

$$S = 29,493 \cdot 48,816 = 1\,439,73 \text{ m}^2 \quad (17)$$

Počet světlovodů:

$$n = \frac{S}{S_1} = \frac{1439,73}{65} = 22,15 \text{ ks} \quad (18)$$

-zaokrouhluji na 22 ks světlovodů.

5.3. Cenová kalkulace světlovodů

Firma Allux-stav s.r.o. mi poskytla následující cenovou kalkulaci na podobnou průmyslovou halu. Z této kalkulace budu vycházet při odhadu nákladů na pořízení 22 ks světlovodů.

popis - materiál	počet ks	cena / ks	celkem Kč
Světlovod ALLUX 850 Plus (pevný zrcadlový tubus) - průměr tubusu 85 cm			
Základní sada: kopule (nerozbitný polykarbonát s UV filtrem) střešní manžeta s oplechováním (střešní rám - barvený hliník) kruhový stropní difuzér - akrylátové dvojsklo (čiré + prismatické)	2	22 500,00	45 000,00
pevný světlovodný tubus 60 cm - prodloužení (zrcadlový povrch)	6	3 700,00	22 200,00
Doplňky: nosník pro úspornou žárovku (nebo LED zdroj)	2	1 200,00	2 400,00
Podsada (základna) pod světlovod do ploché střechy (FeZn zateplená - izolace ISOVER tl. 6 cm, bez napojení hydroizolace, výška 30 cm) (možno dodat i výšku 50 cm, dodáváme jen pokud si objednatel nezajistí sám)	???	4 800,00	
Izolace tubusu minerální vatou (400 Kč/1m délky tubusu včetně práce) doporučujeme u nezateplených střech	4	400,00	1 600,00
Sleva	1	-4 000,00	-4 000,00
Doprava, montáž, kotevní materiál	1	11 000,00	11 000,00
Celková cena bez DPH			78 200,00

1 komplet světlovodu:

- Základní sada
- Pevný světlovodný tubus 60 cm 2x (výška mezi stropem a střešní krytinou je 1m)
- Izolace tubusu minerální vatou
- Základna pod světlovod do ploché střechy

Celková cena 1 světlovodu (komplet):

$$C = 22500 + 2 \cdot 3700 + 400 + 4800 = 35\,100 \text{ Kč (bez DPH)}$$

Celková cena za 22 ks světlovodů:

$$C_c = C \cdot 22 = 35100 \cdot 22 = 772\,200 \text{ Kč (bez DPH)}$$

5.4. Závěrečné zhodnocení varianty se světlovody

Návrh této varianty musí být brán jen jako dosti orientační. Výrobce předem neposkytuje detailní specifikace světlovodů. Bylo tedy nutné vycházet z hodnoty osvětlované plochy jedním světlovodem.

Řešení osvětlovací soustavy pomocí světlovodů je dle mého názoru velmi zajímavá alternativa a v budoucnu najdou světlovody jistě větší využití. Z pohledu ekonomického se nejedná o příliš výhodnou variantu (dosti velké investiční náklady), především proto, že bude nepochybně nutné soustavu světlovodů doplnit ještě soustavou umělého osvětlení (např. lineárními zářivkami).

Použitá literatura a zdroje informací

- [1] Doc. Ing. Linda, J., CSc.: Elektrické světlo II, ZČU Plzeň, 1994
- [2] Prof. Ing. Sokanský, K., CSc. a kol.: Světelná technika, ČVUT Praha, 2011
- [3] Prof. Ing. Habel, J., DrSc. a kol.: Světlo a osvětlování, FCC Public Praha, 2013
- [4] Ing. Dašek, M. a kol.: Osvětlování vnitřních prostorů, SEVEN, Středisko pro efektivní využívání energie, 2002
- [N.1] ČSN EN 12 464-1
- [N.2] ČSN EN 15 193

Internet:

- [5] <http://www.svitidla-deltalight.cz/clanky/jak-vznika-navrh-osvetleni-interieru/>
- [6] http://www.osram.com/osram_com/
- [7] <http://www.lhmagnet.cz>
- [8] http://tzb.fsv.cvut.cz/vyucujici/14/teorie_osvetleni.pdf
- [9] http://www.lighting.philips.cz/?main=cz_cs
- [10] <http://www.luxerna.de>
- [11] <http://www.olino.org/us/articles/2009/12/21/luxerna-tl-pro-100-760-120cm-dipled>
- [12] <http://www.mivvyenergy.eu/cs/uvod/>
- [13] <http://www.allux.cz>

Zdroje obrázků:

- http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Incandescent_light_bulb.svg
- http://www.hcstatic.cz/data/images/725/medium_img_725839.jpeg
- http://www.globallux.cz/pic_zbozi/gxzh024.jpg
- http://elektro-instalacni-material.cz/_obchody/minimax2.shop5.cz/prilohy/1/halogenova-zarovka-eco-gu10-230v-40w-0.jpg.big.jpg

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e0/Fluorescent_tube1.GIF/220px-Fluorescent_tube1.GIF

http://aa.ecn.cz/img_upload/e6ffb6c50bc1424ab10ecf09e063cd63/albums/userpics/10009/usporna_zarovka.jpg

http://www.svitidla-osvetleni.cz/svitidla-obrazky/t_334.jpg

<http://www.4-construction.com/cz/magazin/obrazky/svetelne-zdroje-vysokotlake-rtutove-vybojky-smesove-vybojky/2097/>

<http://www.vybojky-zarovky.cz/2013/vp026.jpg>

http://www.cne.cz/data/editor/111cs_4.png?gcm_date=1297625388

http://www.4-construction.com/up/images/featured/slideshow/923/Vysokotlake_sodikove_vybojky_2.png

http://www.lvdosvetleni.cz/loadFile.php?fn=/content/V%C3%BDbojky/princip_lvd.jpg

<http://www.dovimex.cz/img/p/401-1358-large.jpg>

<http://www.elkovo-cepelik.cz/editor/filestore/Image/teorie/genura.jpg>

<http://www.petraenergy.cz/data/content/LED1.jpg>

http://www.b2c.cz/PRODUCT/big/285020_00342827.jpg

http://www.fotografovani.cz/old-idif/fotografovani/images2/rom_spectrum.jpg

http://elektrika.cz/obr/09_svet.zdroj_07V.JPG

http://www.e-light.cz/pictures/ID_179_stmivani_zarivek-01.jpg

<http://www.allux.cz/svetlovody/svetlovod039.jpg>

<http://www.allux.cz/svetlovody/svetlovod014.jpg>

http://www.allux.cz/svetlovody_ub/svetlovod_rez_ub03.jpg

Závěr

První část mé práce se zabývá popisem světelných zdrojů a svítidel. U každého světelného zdroje jsem krátce popsal princip funkce a hlavní výhody i nevýhody. Neopomenul jsem LED zdroje, které se dnes stále častěji stávají plnohodnotnou náhradou za starší, méně dokonalé, světelné zdroje.

Hlavním cílem této práce bylo provést návrh osvětlovací soustavy průmyslové haly. Tento návrh jsem zpracoval v druhé části mé diplomové práce. Dle technickoekonomických ukazatelů, jako je měrný výkon, životnost, cena jsem vybral tři světelné zdroje a k nim odpovídající svítidla, tak aby svítidla poskytovala dostatečné krytí pro čisté prostředí haly a zároveň byla cenově dostupná. Pro každou takto zvolenou variantu (svítidlo + zdroj) jsem vypočítal potřebný počet světelných zdrojů. Ten jsem nejdříve určil metodou poměrného příkonu a následně zpřesnil metodou tokovou. Světelné zdroje, pro které jsem návrh zpracovával, byly lineární zářivky, halogenidové výbojky a LED trubice nahrazující lineární zářivky v provedení s patičí G13.

U každé takto navržené varianty jsem ve třetí části diplomové práce pomocí programu Wils ověřil, zda splňují požadavky na intenzitu osvětlení pracovního prostoru (500 lx) a také požadavek na rovnoměrnost osvětlení (rovnoměrnost 0,4 až 0,7). Všechny tři varianty tyto požadavky splnily.

Ve čtvrté části jsem provedl ekonomické zhodnocení jednotlivých variant. K mému překvapení vychází varianta s LED osvětlením jako nejméně ekonomicky výhodná. Nejvýhodnější varianta je varianta první, osvětlení lineárními zářivkami. Má nejnižší pořizovací náklady a zároveň nejnižší provozní náklady. U všech výpočtů ekonomické náročnosti jsem vycházel z cen uváděných na internetu.

Ve čtvrté kapitole jsem se také pokusil stanovit životnost jednotlivých variant osvětlení. Vycházel jsem především z životnosti elektronických předřadníků. U varianty s LED trubicemi pak z životnosti samotných LED trubic, jelikož tyto světelné zdroje nepotřebují předřadník. Osvětlovací soustava s lineárními zářivkami by mohla mít životnost přibližně 7 roků, soustava s halogenidovými výbojkami asi 9,5 roku a osvětlení pomocí LED trubic až 12 let.

V páté části mé diplomové práce jsem navrhnul osvětlení průmyslové haly pomocí světlovodů. Nejprve jsem stručně popsal princip funkce světlovodu a pak jsem dle dostupných údajů od výrobce, firmy Allux-stav s.r.o., stanovil velmi hrubě potřebný počet světlovodů pro osvětlení haly denním světlem. Ze získaného ceníku jsem poté vypočítal pořizovací náklady na soustavu světlovodů.

Řešení osvětlovací soustavy pomocí světlovodů je dle mého názoru velmi zajímavá alternativa. Z pohledu ekonomického se nejedná o příliš výhodnou variantu, protože představuje poměrně velké investiční náklady. Bude proto nepochybně nutné soustavu světlovodů doplnit ještě soustavou umělého osvětlení (např. lineárními zářivkami).