

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Návrh osvětlení průmyslové haly**

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

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **David FREMR**  
Osobní číslo: **E13B0111P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**  
Název tématu: **Návrh osvětlení průmyslové haly**  
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

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

1. Popište základní principy a typy světelných zdrojů a svítidel použitelných pro osvětlení průmyslových objektů.
2. Shrňte současnou legislativu v ČR týkající se návrhu osvětlení v dané aplikační oblasti.
3. Navrhněte modernizaci osvětlovací soustavy v konkrétní průmyslové hale.
4. Ekonomicky a energeticky analyzujte navržené varianty a vyberte nejlepší řešení.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran


Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

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


Vedoucí bakalářské práce: Ing. Lenka Raková  
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: 14. října 2016  
Termín odevzdání bakalářské práce: 8. června 2017

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

V Plzni dne 14. října 2016



  
Doc. Ing. Aleš Hamáček, Ph.D.  
vedoucí katedry

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem osvětlovacích soustav průmyslové haly (truhlárny). Jsou zde zpracovány čtyři verze osvětlovací soustavy. Všechny jsou navrženy v programu Building Design pomocí modulu Wdls pro denní osvětlení a Wils pro umělé osvětlení. V závěrečné části práce je energetické a ekonomické zhodnocení.

## **Klíčová slova**

Umělé osvětlení, denní osvětlení, svítidlo, světelný zdroj, zářivka, LED, osvětlenost, návrh osvětlení, rovnoměrnost osvětlení, osvětlovací soustava, světelný tok, podání barev

**Abstract**

This thesis deals with design of lighting systems in industrial hall (carpenter). There are four versions of the lighting system. All of them are designed in Building Design using Wdls for daylight and Wils for artificial lighting. The final part of the work is energy and economic evaluation.

**Key words**

Artificial lighting, daylighting, lighting fitting, light source, fluorescent lamp, LED, illumination, design of lighting, uniformity of lighting, lighting system, light flux, color rendering

## **Prohlášení**

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

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

.....

podpis

V Plzni dne 6.6.2017

David Fremr

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval Ing. Lence Rakové, Ph.D. za odborné konzultace, rady a připomínky při tvorbě bakalářské práce.

## Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>8</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>10</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>12</b>
<b>1 ZÁKLADNÍ POJMY A VELIČINY SVĚTELNÝCH ZDROJŮ</b> .....	<b>13</b>
<b>2 SVĚTELNÉ ZDROJE</b> .....	<b>19</b>
2.1 KLASICKÁ ŽÁROVKA .....	19
2.2 HALOGENOVÁ ŽÁROVKA .....	20
2.3 LINEÁRNÍ ŽÁŘIVKA .....	21
2.4 NÍZKOTLAKÉ SODÍKOVÉ VÝBOJKY .....	23
2.5 VYSOKOTLAKÉ SODÍKOVÉ VÝBOJKY .....	24
2.6 VYSOKOTLAKÉ RTUŤOVÉ VÝBOJKY.....	25
2.7 HALOGENIDOVÉ VÝBOJKY.....	26
2.8 LED DIODY .....	27
<b>3 SVÍTIDLA</b> .....	<b>30</b>
3.1 TRÍDĚNÍ SVÍTIDEL.....	30
3.2 ZÁKLADNÍ ČÁSTI SVÍTIDEL .....	31
3.3 STUPNĚ KRYTÍ IP.....	32
3.4 TYPY A PŘÍKLADY PRŮMYSLOVÝCH SVÍTIDEL .....	32
3.4.1 <i>Zářivková svítidla</i> .....	33
3.4.2 <i>LED svítidla</i> .....	33
<b>4 OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY PRŮMYSLOVÝCH BUDOV</b> .....	<b>35</b>
4.1 POŽADAVKY NA OSVĚTLENÍ A OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY .....	35
4.2 LEGISLATIVA.....	39
<b>5 NÁVRH OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY TRUHLÁRNY</b> .....	<b>46</b>
5.1 POPIS A UMÍSTĚNÍ TRUHLÁRNY .....	46
5.2 DENNÍ OSVĚTLENÍ TRUHLÁRNY .....	48
5.3 UMĚLÉ OSVĚTLENÍ TRUHLÁRNY .....	51
5.3.1 <i>Původní osvětlovací soustava truhlárny</i> .....	51
5.3.2 <i>Nová osvětlovací soustava truhlárny</i> .....	53
5.3.3 <i>Modernizace stávající osvětlovací soustavy</i> .....	56
5.4 SOUHRN ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ UVEDENÝCH OSVĚTLOVACÍCH SOUSTAV .....	62
5.4.1 <i>Původní osvětlovací soustava</i> .....	62
5.4.2 <i>Nová osvětlovací soustava</i> .....	63
5.4.3 <i>Modernizace osvětlovací soustavy – první varianta</i> .....	64
5.4.4 <i>Modernizace osvětlovací soustavy – druhá varianta</i> .....	65



<b>6</b>	<b>ENERGETICKÉ A EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ .....</b>	<b>68</b>
6.1	ENERGETICKÉ ZHODNOCENÍ .....	68
6.2	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ .....	70
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>76</b>
	<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ .....</b>	<b>78</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>81</b>
	<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>1</b>

## Seznam symbolů a zkratk

$CIE$	Mezinárodní komise pro osvětlování
$ČSN$	Česká technická norma
$D_m$	Průměrný činitel denního osvětlení (%)
$D_{max}$	Maximální činitel denního osvětlení (%)
$D_{min}$	Minimální činitel denního osvětlení (%)
$E_m$	Udržovaná osvětlenost (lx)
$E_{min}$	Minimální osvětlenost (lx)
$E_{spotr}$	Spotřebovaná energie za rok (kWh)
$I_n$	Celkové pořizovací náklady (Kč)
$N_E$	Cena jedné kWh (Kč·kWh <sup>-1</sup> )
$N_{E/r}$	Náklady na elektrickou energii za rok (Kč)
$n_K$	Počet svítidel v soustavě (-)
$N_{pK}$	Cena svítidla (Kč)
$N_{prov/r}$	Celkové náklady na provoz za rok (Kč)
$N_{prov/úspora}$	Úspora peněz na nákladech (Kč)
$N_{vz}$	Náklady na výměnu zdroje ve svítidle (Kč)

---

$N_{vz/r}$	Celkové náklady na výměnu zdrojů za rok (Kč)
$n_z$	Počet světelných zdrojů ve svítidle (-)
$N_{z/r}$	Poměrné náklady na zdroje za rok (Kč)
$N_{zK}$	Cena světelných zdrojů ve svítidle (Kč)
$OS$	Osvětlovací soustava
$P_C$	Celkový instalovaný příkon (kW)
$P_K$	Příkon svítidla (kW)
$r$	Rovnoměrnost denního osvětlení (-)
$t_d$	Denní provoz soustavy (hod)
$t_n$	Doba návratnosti (roky)
$t_{pz}$	Poměrná životnost zdroje za rok (-)
$t_r$	Roční provoz soustavy (dny)
$t_z$	Životnost světelného zdroje (hod)
$U_0$	Rovnoměrnost osvětlení (-)

## Úvod

Světlo je důležitou a nepostradatelnou součástí života většiny organismů na Zemi. V člověku světlo vyvolává řadu fyziologických a psychologických reakcí. Světelné prostředí, které člověka obklopuje, se též nazývá světelné mikroklima. Nauka o vzniku a využití světla pro uspokojování nejrůznějších potřeb člověka se nazývá světelná technika. Její hlavní úlohou je tvorba a zajišťování co nejlepšího světelného mikroklimatu ve všech pracovištích, bytech i veřejných zařízeních. [1]

Tato práce je rozdělena do šesti kapitol. V první kapitole jsou uvedeny základní pojmy a veličiny, které se vztahují ke světelným zdrojům. Druhá kapitola se zabývá samotnými světelnými zdroji, popisuje jejich základní funkce, výhody a nevýhody. Ve třetí kapitole jsou popsány svítidla, jejich třídění i stupně ochrany. V neposlední řadě jsou zde uvedena zářivková a LED svítidla, která lze v současné době najít na trhu. Obsah čtvrté kapitoly je zaměřen na osvětlovací soustavy průmyslových budov. Zároveň je zde shrnuta legislativa, která se tohoto tématu týká. V páté kapitole jsou samotné návrhy osvětlovací soustavy průmyslové budovy. Tyto návrhy jsou vytvořeny v programu Building Design pro denní i umělé osvětlení. V závěrečné šesté kapitole je uvedeno energetické a ekonomické zhodnocení všech návrhů osvětlovacích soustav z páté kapitoly.

## 1 Základní pojmy a veličiny světelných zdrojů

Základní světelné veličiny a jejich jednotky spravuje mezinárodní komise pro osvětlování CIE. Citlivost oka pozorovatele se mění podle záření různých vlnových délek. Proto se ve světelné technice začalo pracovat s fotometrickými pojmy a veličinami. CIE zajišťuje, aby tyto veličiny platily všude na světě. Protože každý člověk je jinak citlivý na různé vlnové délky, CIE zavedla tzv. normálního fotometrického pozorovatele, jehož zrakové ústrojí reprezentuje průměrné lidské oko. K normálnímu fotometrickému pozorovateli se vztahují následující veličiny a jednotky, které CIE zavedla. [1], [2]

### Světelný tok

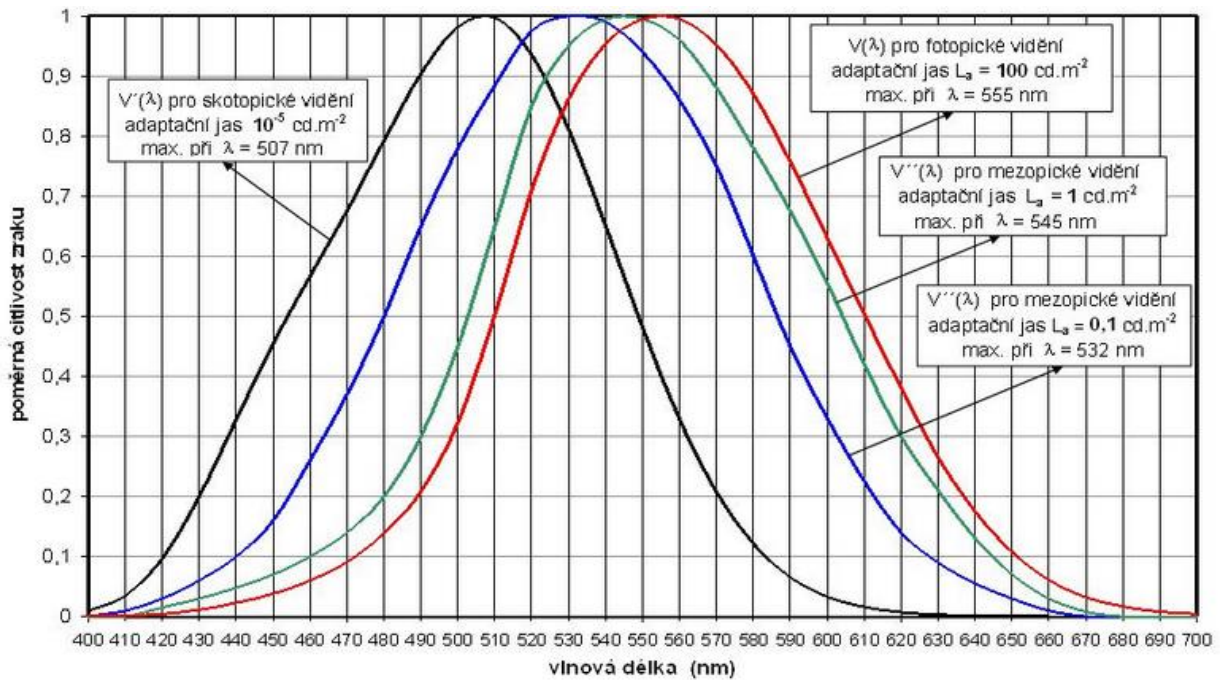
Světelný tok se označuje písmenem  $\Phi$  a jeho jednotkou je lumen (lm). Světelný tok vyjadřuje reakci oka na dopadající zářivý tok (energii přenesenou za jednotku času). Pokud je záření určité vlnové délky  $\lambda$  a je monochromatické, platí tento vztah [1], [2]:

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

kde  $\Phi(\lambda)$  je světelný tok,  $K(\lambda)$  označuje světelný účinek monochromatického záření. Tento účinek je rovný poměru světelného toku a k němu úměrnému zářivému toku  $\Phi_e(\lambda)$ . Veličina  $K_m$  je maximální hodnota spektrálního průběhu  $K(\lambda)$ .  $V(\lambda)$  značí poměrnou světelnou účinnost monochromatického záření, která je určena vztahem [1]

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

U normálního fotometrického pozorovatele při vlnové délce  $\lambda = 555 \text{ nm}$  dosahuje při fotopickém (denním) vidění maximální hodnoty  $K_m = 683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ . Tato konstanta byla schválena mezinárodní organizací CIE a ISO. Na Obr. 1 jsou vidět průběhy poměrné spektrální citlivosti lidského oka, popř. poměrné spektrální světelné účinnosti záření pro různé adaptační jasy  $L_a$ . [1]



Obr. 1. Průběhy poměrné spektrální citlivosti oka [1]

### Prostorový úhel

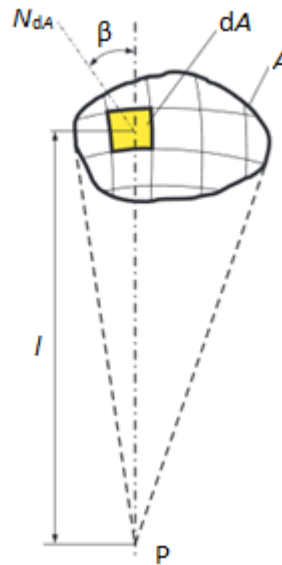
Prostorový úhel  $\Omega$  je prostor v kouli o poloměru  $r$ , který je vymezen geometrickým útvarem (nejčastěji kuželem) s vrcholem ve středu koule. Jednotkou prostorového úhlu je steradián (sr). Plocha vymezená kuželem na povrchu koule se značí  $A$ . Mezi prostorovým úhlem, plochou  $A$  a poloměrem koule platí vztah [2]:

$$\Omega = \frac{A}{r^2} \text{ (sr; } m^2, m\text{)}. \tag{3}$$

V případě, že plocha  $A$  je rovna celému povrchu koule ( $A=4\pi r^2$ ), dosáhne prostorový úhel maximální hodnoty  $\Omega_{\max} = 4\pi$ . [1]

Pro elementární plošku  $dA$ , která je vidět z bodu P ve vzdálenosti  $l$  pod prostorovým úhlem  $d\Omega$ , podle Obr. 2 platí vztah [1]:

$$d\Omega = \frac{(dA \cdot \cos \beta)}{l^2} \text{ (sr; } m^2, m\text{)}. \tag{4}$$



Obr. 2. Určení prostorového úhlu, pod kterým je z bodu P vidět plocha A [1]

### Osvětlenost

Osvětlenost  $E$  vyjadřuje plošnou hustotu světelného toku  $d\Phi_d$ , který dopadne na rovinnou plošku  $dA$ . Jednotka osvětlenosti je lux (lx). [1]

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

### Svítivost

Svítivost  $I$  určuje rozložení světelného toku v jednotlivých směrech světelného pole. Jednotka svítivosti je kandela (cd) a lze ji vyjádřit vztahem [1], [2]:

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (\text{cd}; \text{lm}, \text{sr}), \quad (6)$$

kde  $I$  je svítivost,  $d\Phi$  označuje světelný tok a  $d\Omega$  značí prostorový úhel. Spojením bodů se stejnou svítivostí na povrchu jednotkové koule, jejíž středem je zdroj světla, vzniknou izokandely, tzn. křivky s konstantní svítivostí. [1], [2]

### Jas svazku světelných paprsků

Jas svazku světelných paprsků určuje plošnou a prostorovou hustotu světelného toku. Jas se udává v kandelech na metr čtvereční a lze vyjádřit vztahem [1]:

$$L = \frac{d^2\Phi}{d\Omega \cdot dA_n} \quad (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}; \text{lm}, \text{sr}, \text{m}^2). \quad (7)$$

L je jas svazku paprsků,  $d\Omega$  označuje prostorový úhel šíření paprsků.  $dA_n$  značí plošku kolmou ke svazku paprsků. Jestliže je plocha, kterou pozorovatel vidí, pod určitým úhlem, výsledná ploška  $dA_n$  bude menší než skutečná plocha. [1], [2]

### Světlení

Světlení  $M$  určuje plošnou hustotu světelného toku, který se odrazí od plošky  $dA$ . Jednotka světlení je lumen na čtvereční metr ( $\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}$ ). [1]

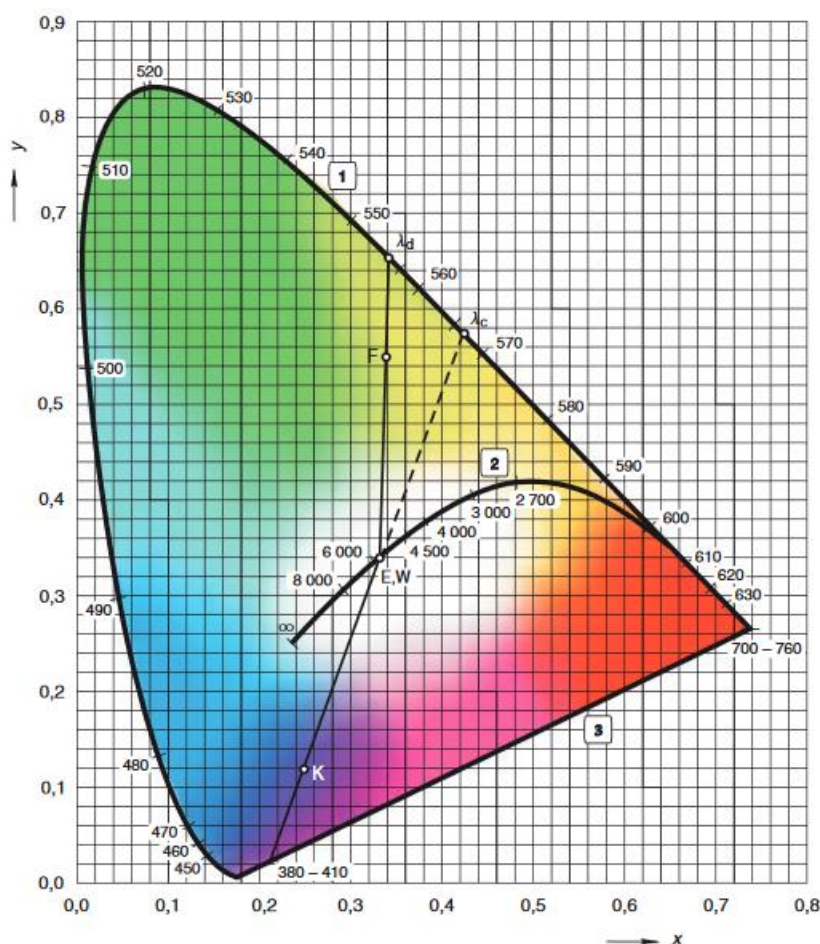
$$M = \frac{d\Phi_v}{dA} \quad (\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}; \text{lm}; \text{m}^2) \quad (8)$$



Následující odstavce se zabývají teplotou chromatičnosti, indexem podání barev a měrným výkonem světelných zdrojů. Tyto veličiny nepatří mezi fotometrické veličiny, nicméně jsou to důležité parametry při vybírání světelných zdrojů.

### Teplota chromatičnosti

Teplota chromatičnosti  $T_c$  je rovna teplotě tzv. černého zářiče. Jednotkou je kelvin (K). Čím je vyšší teplota absolutně černého tělesa, tím se u vyzařovaného spektra zvyšuje podíl modré složky a zároveň klesá podíl červené složky. Například denní obloha stejně jako zářivka se studeným denním světlem má teplotu chromatičnosti 6 500 K, plamen svíčky 1 800 K, žárovka 2 700 K. Na Obr. 3 je vidět jak se určité teploty blíží určitým barvám. [2], [3]



**Obr. 3. Diagram chromatičnosti mezinárodní kolorimetrické soustavy XYZ [1]**

1 – křivka spektrálních světél s vyznačenými vlnovými délkami v nanometrech,

2 – čára teplotních zářičů se stupnicí v kelvinech, 3 – přímka purpurů,

$\lambda_d$  – náhradní vlnová délka k záření charakterizovanému bodem F

$\lambda_c$  – doplňková vlnová délka k záření charakterizovanému bodem K v oblasti purpurů

### Index podání barev

Index podání barev určuje, jak je shodný vjem barvy předmětů (při určitých stanovených podmínkách pozorování), které jsou osvětlovány světelným zdrojem, s barvami týchž předmětů, které jsou osvětleny smluveným zdrojem světla. Index podání barev se značí  $R_a$  a udává se v rozmezí 0 až 100. Při  $R_a = 0$  je záření monochromatické a barvy se nedají rozlišit (např. u nízkotlakých sodíkových výbojek). Naopak u světelných zdrojů s  $R_a = 100$  je podání barev nejvěrnější, to znamená stejně jako při denním světle. V současné době se ve většině interiérů s trvalým pobytem osob požaduje index podání barev vyšší než 80. [1], [3]

### Měrný výkon světelných zdrojů a svítidel

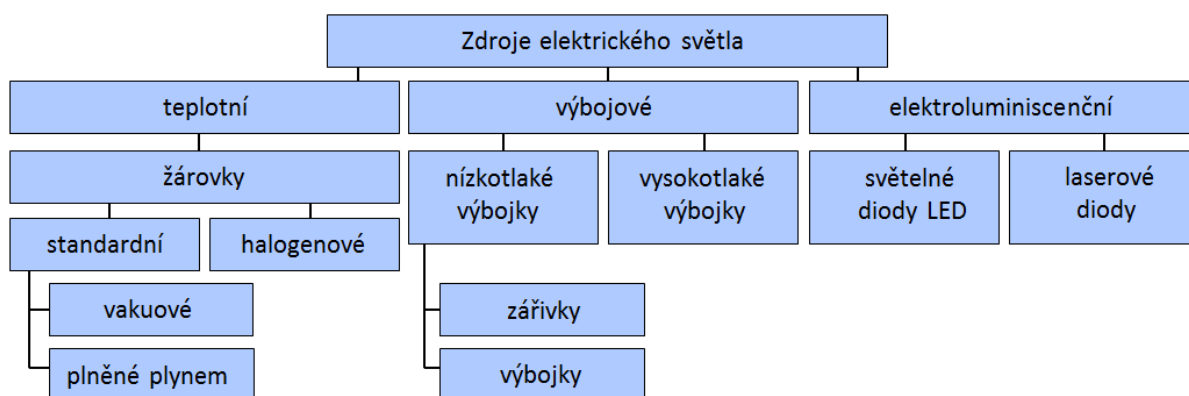
Měrný výkon  $\eta$  značí množství světelného toku, který je možno dostat z jednoho wattu elektrické energie. Je to tedy podíl světelného toku  $\Phi$  a elektrického příkonu  $P$ . [2]

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad (lm \cdot W^{-1}; lm, W) \quad (9)$$

U světelných zdrojů bez předřadníku (např. žárovka) je udávaný výkon rovný příkonu světelného zdroje. Zatímco u světelných zdrojů s předřadníkem (např. zářivka) je nutné přičíst příkon předřadníku k příkonu světelného zdroje. Měrný výkon svítidla se určí podílem světelného toku vyzářeného svítidlem a příkonem svítidla. Měrný výkon je nejdůležitější štitková hodnota, která slouží k porovnání jednotlivých světelných zdrojů a svítidel a vyjadřuje jejich účinnost. [1], [2], [3]

## 2 Světelné zdroje

Světelné zdroje jsou tělesa, které vyzařují optické, většinou viditelné záření. Dělí se na přírodní (slunce, měsíc, blesk apod.) a umělé (louč, svíčka, plynová lampa, žárovka, výbojka, světelná dioda – LED a další). Světlo, které vzniklo přeměnou energie a je vyzařováno z tělesa nebo jeho povrchu se nazývá primární zdroj světla. Sekundární zdroj světla světlo nevyzařuje, ale pouze jej odráží nebo propouští (nepatří mezi světelné zdroje). Podle principu na jakém vzniká světlo se světelné zdroje rozdělují na teplotní, výbojové a elektroluminiscenční. Podrobné grafické rozdělení je na Obr. 4. V průmyslových objektech se nejvíce využívají zářivky, u novějších prostorů světelné LED diody. Samozřejmě se používají i jiné světelné zdroje. Výběr závisí na mnoha parametrech. Například na rozměrech objektu, výšce stropu, druhu prováděných činnostech, požadované osvětlenosti atd. [1]



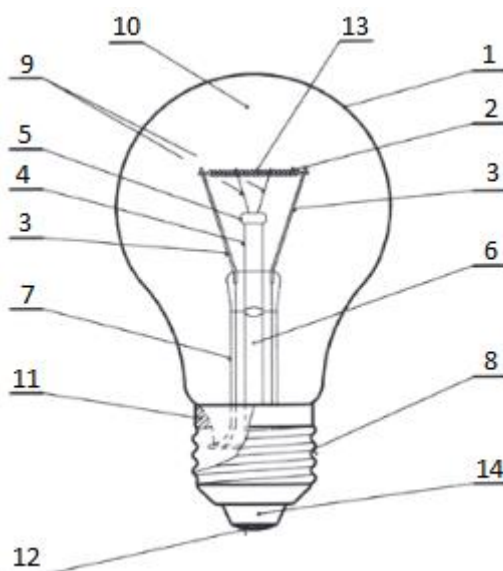
Obr. 4. Zdroje umělého elektrického světla [4]

### 2.1 Klasická žárovka

Klasická žárovka je zástupcem teplotních světelných zdrojů, které jsou založeny na zahřívání těles na teploty, kdy začnou vyzařovat viditelné záření. Kvůli nízké účinnosti (1 % až 3 %) se v posledních letech od žárovek odchází a 24. února 2016 byly vláknové žárovky pro domácnosti zcela zakázány. [1], [5]

Základním principem je průchod proudu wolframovým drátem (průměr je od 10  $\mu\text{m}$  do 120  $\mu\text{m}$ ), který je svinutý do jednoduché nebo dvojitě šroubovice. Vlákno je zafixováno v požadované poloze na podpěrných molybdenových háčcích, které jsou uchyceny k tyčince. Ta spolu s talířkem a čerpací trubičkou tvoří nožku. Nožka s vláknem je

zatavena do baňky, která je vyrobená z měkkého sodno-vápenatého skla. Baňka je naplněna inertním plynem (argon nebo krypton), který zpomaluje rychlost vypařování vlákn. Dále plyn zvyšuje teplotu a tím i měrný výkon žárovky. Patice se přichytí ke skleněné baňce tmelem. Patice je mnoho druhů (E10, E14, E27, E40), nejčastěji se používá patice E27, která je vyrobena z hliníku nebo galvanicky poniklované mosazi. Umístění jednotlivých částí žárovky je zobrazeno na Obr. 5. [1], [5], [6]



**Obr. 5. Schéma žárovky [1]**

1 - skleněná baňka, 2 - wolframové vlákno, 3 - přívody, 4 - tyčinka, 5 - čočka, 6 - čerpací trubička, 7 - talířek, 8 - patice, 9 - háčky (podpěrky), 10 - plynná náplň, 11 - tmel, 12 - pájka, 13 - getr, 14 - izolace patice

Mezi výhody například patří okamžitý start bez blikání, jednoduchá konstrukce, hromadná automatizovaná výroba, vysoký index podání barev ( $R_a = 100$ ) a nízká pořizovací cena. Žárovky také neobsahují žádné zdraví škodlivé látky, a proto mohou být odloženy do komunálního odpadu. Hlavní nevýhodou klasických žárovek je malý měrný výkon. Životnost a další parametry jsou závislé na napájecím napětí. V průběhu života klasických žárovek klesá světelný tok. [1], [5]

## 2.2 Halogenová žárovka

Halogenové žárovky se konstrukčně podobají klasickým žárovkám. Baňky halogenových žárovek jsou plněné inertním plynem s vyšším tlakem s příměsí halogenů (chlor, jod, brom) nebo jejich sloučenin. Tyto sloučeniny zabraňují odpařování wolframu z vlákn a jeho uchycení na vnitřní stěně baňky. Když se atomy vypařeného wolframu dostanou ke stěně baňky (kde je nižší teplota), sloučí se s halogenem a vznikne halogenid

wolframu. Halogenid wolframu prostupuje směrem k vláknu, kde se při dosažení vyšší tzv. disociační teploty (950 – 2 200 K) rozštěpí na halogen a wolfram. Díky tomu se zvyšuje koncentrace wolframových par v blízkosti vlákna, a proto se snižuje vypařování dalšího wolframu přímo z vlákna. [6]

Baňka halogenových žárovek má mít povrchovou teplotu větší než 250 °C, a proto je vyrobena z křemenného skla. Pokud se povrch skla zamastí (např. dotykem ruky), jeho struktura se při zahřátí na provozní teplotu poruší. Příklad halogenové žárovky s reflektorem je na Obr. 6. [6]

Halogenové žárovky mají velmi podobné výhody jako klasické žárovky. Dále mají vyšší účinnost, delší životnost, vyšší světelný tok a měrný výkon než klasické žárovky. Mezi nevýhody halogenových žárovek patří vysoká pořizovací cena a podstatně náročnější technologie výroby (zejména u žárovek pod 100 W síťového napětí). [1], [6], [7]



**Obr. 6. Halogenová žárovka s reflektorem [8]**

### **2.3 Lineární zářivka**

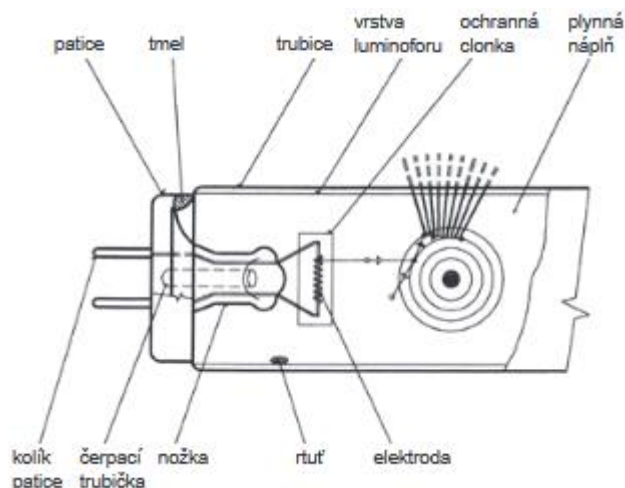
Zářivka je výbojka, která obsahuje rtuťové páry (tlak cca 0,6 Pa) a vzácné plyny (tlak  $4 \cdot 10^2$  Pa). Na vnitřní straně trubice je nanesen luminofor, který mění UV záření výboje na viditelné světlo. Zářivky se vyrábějí většinou trubicové (lineární) nebo mohou mít trubicí různě tvarovanou. Díky různým typům luminoforu lze změnit barevný odstín vyzařovaného světla a také index podání barev  $R_a$ . [1], [6]

Na každém konci trubice je zatavena elektroda z wolframu. Pro usnadnění zapalování je na povrchu elektrod nanesena vrstva kysličníků (barya, vápníku nebo stroncia) s emisní schopností. Přibližně 60 % dodané energie se mění na UV záření, pomocí luminoforu se

část tohoto záření přemění na viditelné světlo. Zbytek UV záření pohltí trubice, která je vyrobena z měkkého skla. Na teplo se přemění poměrně velká část dodané energie. Pro omezení černání konců zářivek a stabilizaci světelného toku je okolo elektrod umístěna ochranná kovová clonka, která zabraňuje usazování vypařené emisní hmoty na vrstvě luminoforu. Nákres zářivkové trubice je znázorněn na Obr. 7. [1], [6]

Zářivka potřebuje pro správné fungování rtuť. Protože během života žárovky dochází k jejímu úbytku, výrobce jí do zářivky dává v přebytku. Kvůli problémům při výrobě a likvidaci zářivek, které jsou spojeny s toxicitou rtuti, se rtuti dává pouze minimální nutné množství (lze vystačit s pouze 3 mg rtuti na zářivku). [1]

Průměr zářivkové trubice se v katalozích a odborné literatuře obvykle uvádí v osminách palce za písmenem T. Např. označení T12 odpovídá průměru trubice 38 mm, T8 odpovídá průměru 26 mm, atd. [1], [9]



**Obr. 7. Nákres trubice zářivky [9]**

K výhodám zářivek patří jejich vysoká účinnost přeměny elektrické energie na světelnou (až 104 lm/W při vysokofrekvenčním napájení), široká nabídka příkonů (od 4 W do cca 200 W) a barev vyzařovaného světla, nízká cena (díky vysoce produktivním výrobním linkám) a vysoká životnost (u speciálních typů dosahuje přes 20 000 hodin). Mezi nevýhody zářivek lze zařadit závislost světelného toku na teplotě okolního prostředí a potřeba předřadných a startovacích obvodů, které částečně snižují měrný výkon osvětlovací soustavy jako celku. Další nevýhodou je vliv počtu zapnutí na život zářivky.

Zářivka také obsahuje toxickou rtuť, která zatěžuje prostředí, a proto nelze odkládat do komunálního odpadu. [1], [9]

## 2.4 Nízkotlaké sodíkové výbojky

Výbojky jsou plněné sodíkovými parami s tlakem v rozmezí 0,1 až 1,5 Pa. Pracovní teplota stěny trubice je 270 až 300 °C. Sodíkové páry vyzáří monochromatické záření s vlnovou délkou 589 nm a 589,6 nm ve žluté části viditelného spektra. Kvůli monochromatickému záření není možné v jejich světle rozlišovat barvy ( $R_a = 0$ ). Měrný výkon nejvýkonnějších typů těchto výbojek dosahuje téměř hodnoty 200 lm/W, a proto jsou zatím nízkotlaké sodíkové výbojky nejúčinnější umělé světelné zdroje. [1], [3], [10]

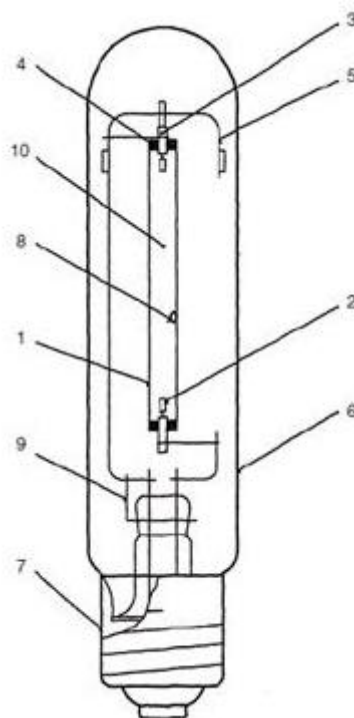
Trubice výbojky, obvykle vytvarovaná do písmene U, je vyrobena ze sodnovápenatého skla. Kvůli vyšší odolnosti vůči agresivním sodíkovým parám je na vnitřní straně potažena vrstvou boritého skla. Výbojová trubice je naplněna sodíkem a neonem. Po spuštění výbojky probíhá výboj mezi wolframovými elektrodami výhradně v neonu. Při tom se trubice zahřívá a odpařuje se sodík. Po dosažení teploty 200 °C vznikne výboj v parách sodíku, který se stane jediným zdrojem záření. Aby se zamezilo tepelným ztrátám, je výbojová trubice zabudována do vnější baňky, která je vyčerpána na vysoké vakuum. [1], [6]

K hlavním výhodám nízkotlakých sodíkových výbojek patří hlavně vysoký měrný výkon, který u nejvýkonnějších typů dosahuje 200 lm/W. Výbojky mají dlouhou životnost dosahující až 20 000 h a po celou dobu života mají stabilní světelný tok. Výbojky jsou dobře viditelné i v husté mlze, jejich zápal je spolehlivý i při teplotách -20 °C, a proto se používají jako osvětlení silnic a dálnic. V neposlední řadě nejsou zdraví škodlivé, protože neobsahují rtuť, ale kvůli vysokému obsahu sodíku se nesmí odkládat do komunálního odpadu. Nevýhodou nízkotlakých sodíkových výbojek je špatné podání barev z důvodu monochromatického záření. Výbojky potřebují vyšší zápalné napětí, z tohoto důvodu musí být opatřeny speciálními předřadnými obvody. Náročná je také jejich technologie sériové výroby. [1], [3], [10]

## 2.5 Vysokotlaké sodíkové výbojky

Vysokotlaké sodíkové výbojky jsou plněny z většiny sodíkovými parami s provozním parciálním tlakem 3 až 60 kPa. Díky zvýšení tlaku sodíkových par dochází ke zlepšení barevného podání ( $R_a > 20$ ), ale klesá měrný výkon na maximální hodnotu 150 lm/W. [1], [6]

Kvůli vysokému tlaku sodíkových par se teplota zvýšila až na 750 °C. Proto se hořák musí vyrábět z polykrystalického korundu, který odolá teplotě i působení sodíku (viz Obr. 8). Trubička hořáku je uzavřena dvěma niobovými průchodkami, na kterých jsou upevněny wolframové elektrody s emisní hmotou. Niobové průchodky jsou připájeny k trubičce skelnou pájkou. Kvalita této pájky velmi výrazně ovlivňuje život výbojky. Hořák je naplněn inertním plynem (většinou xenonem) a sodíkem s rtutí v podobě amalgámu. Celý hořák je z důvodu omezení tepelných ztrát a ochrany niobových průchodek před oxidací umístěn do vnější baňky, která je vyčerpaná na vysoké vakuum. Dále se na baňku přitmelí patice se závitem E27 nebo E40. [1], [6]



**Obr. 8. Návrh vysokotlaké sodíkové výbojky [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

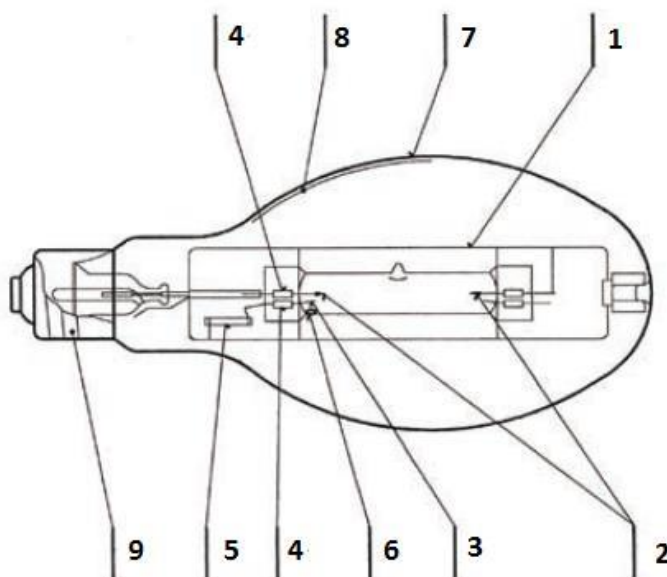


Mezi hlavní výhody vysokotlakých sodíkových výbojek patří vysoký měrný výkon a přijatelné podání barev ( $R_a$  v rozmezí 20 až 25). Výbojka má také dlouhou životnost (až 30 000 h) a po celou dobu života dobrou stabilitu světelného toku. Cena výbojek je přijatelná, díky zvládnuté technologii výroby. [1]

## 2.6 Vysokotlaké rtuťové výbojky

Ve vysokotlakých rtuťových výbojkách vzniká výboj v rtuťových parách při tlaku 100 kPa. Baňka těchto výbojek je pokryta luminoforem, který mění část vyzařovaného UV záření na viditelné záření. [6]

Složení vysokotlaké rtuťové výbojky je ukázáno na Obr. 9. Do hořáku, který je vyroben z křemenného skla, jsou zataveny hlavní wolframové elektrody a jedna elektroda pomocná. Na elektrody jsou nanášeny emisní vrstvy oxidu barya a vápníku. Hořák je naplněn rtuťí a argonem o tlaku 2,7 kPa. Vnější baňka je vyrobena ze sodno-vápenatého nebo borito-křemičitého skla (záleží na velikosti příkonu). Na vnitřní stranu je nanášen luminofor. Inertní atmosféra, která je ve vnější baňce (směs argonu a dusíku o tlaku cca 50 kPa.) chrání hořák a molybdenové folie před oxidací. Podle příkonu se na výbojku přitmelí patice E27 nebo E40. [1]



**Obr. 9. Nákres vysokotlaké rtuťové výbojky [1]**

1 – nosný rámeček, 2 – hlavní elektrody, 3 – pomocná elektroda, 4 – molybdenová folie, 5 - rezistor, 6 – rtuť, 7 – vnější baňka, 8 – vrstva luminoforu, 9 - patice

Jako první po přivedení napětí vznikne doutnavý výboj v argonu mezi hlavní a pomocnou elektrodou. Tento výboj ohřívá hořák a tím se odpařuje rtuť. Po několika minutách se změní doutnavý výboj na obloukový mezi hlavními elektrodami. Až po vychladnutí výbojky je možné výboj znovu zapálit. [6]

Výbojky o výkonu 125 W existují také ve verzi bez luminoforu s černou vnější baňkou, které propouští pouze UV záření v oblasti mezi 300 až 400 nm. Tyto výbojky se používají např. v kriminalistice nebo při kontrole pravosti bankovek. Dále se vyrábějí vysokotlaké rtuťové výbojky bez vnější baňky, které se používají jako zdroj UV záření. Tyto výbojky najdou uplatnění např. při výrobě CD a DVD disků, při vytvrzování barev, atd. [1]

Výhodou vysokotlakých rtuťových výbojek je jejich dlouhá životnost 12 000 h až 16 000 h. Mezi další přednosti patří spolehlivý provoz i při nízkých teplotách, dobrá stabilita světelného toku a nízká cena díky vysoké automatizaci výroby. Mezi nevýhody patří nemožnost po vypnutí výbojky ji opětovně zapnout (musí se počkat na vychladnutí), poměrně malá účinnost a horší podání barev. Z důvodu obsahu rtuti se také vyhořelé výbojky nesmí odkládat do komunálního odpadu. [1]

## 2.7 Halogenidové výbojky

V halogenidových výbojkách vzniká světlo v parách rtuti a také z produktů rozpadu halogenidů. Halogenidové výbojky mají index podání barev  $R_a = 90$  a měrný výkon až 130 lm/W. [3], [6]

Vnější baňka výbojky je vyrobena z boritosilikátového skla a samotný hořák je zhotoven z křemenného skla. Tlak halogenidů v hořáku je asi  $1,33 \cdot 10^2$  Pa a tlak rtuťových par  $10^5$  Pa. Pro zapálení výboje je vyžadován zapalovač, který zapálí náplň hořáku vysokonapětovým impulsem. Po zapálení výboje se zvyšuje teplota, začne se odpařovat rtuť a ze stěn hořáku se odpařuje také halogenid. Odpařené molekuly halogenidu prostupují k ose výboje, kde je vyšší teplota. Tam se molekuly rozpadnou na atomy alkalických kovů a halogenu. Ve výboji se po vybuzení atomu kovu vyzáří foton. Atomy alkalických kovů zahřátých na pracovní teplotu vyzařují červenou složku spektra. Poté se atom kovu přesune

v kolmém směru k ose výboje ke stěně hořáku. Tam se při nižší teplotě opět sloučí s ostatními atomy a vznikne původní halogenid. [3], [6]

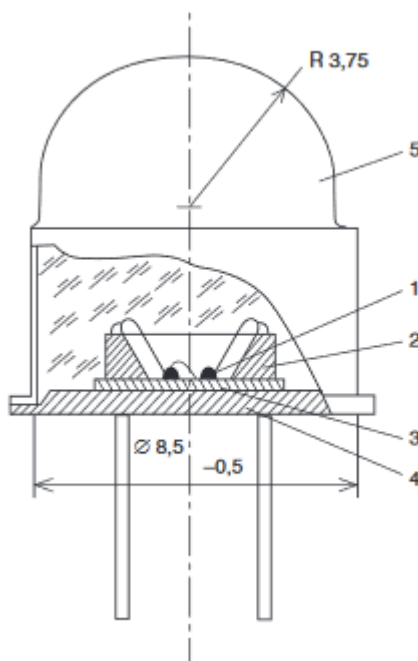
K výhodám halogenidových výbojek patří velký rozsah příkonů (od 70 do 5 000 W), velmi dobré podání barev, dlouhá životnost a široké možnosti úpravy spektra vyzařovaného světla. Mezi nevýhody halogenidových výbojek patří nutnost použít zapalovací zařízení (až na několik výjimek), vyšší pořizovací cena a citlivost na kolísání síťového napětí. [1], [11]

## 2.8 LED diody

Zkratka LED pochází z anglického slova Light Emitting Diode. Světelné a laserové diody jsou polovodičové součástky. Obsahují PN přechod, který při průchodu proudem emituje optické záření. Polovodičový PN přechod je vyroben obvykle z polovodiče typu  $A^{III}B^V$  vysoké čistoty s malým množstvím příměsí. Příměsí určují, zda bude v polovodiči více elektronů (polovodič typu N) nebo více děr (polovodič typu P). PN přechod vzniká v místě styku obou polovodičů. Pokud se připojí stejnosměrné napětí správné polarity, začnou se elektrony a díry přitahovat k PN přechodu a tím dojde k jejich rekombinaci. Při každé rekombinaci se uvolní určité množství tepelné nebo zářivé energie. LED diody vyzařují nekoherentní, monochromatické světlo. Konstrukce LED diody se dvěma krystaly je zobrazena na Obr. 10. [1], [12]

Diody se vyrábějí ve všech různých barvách. Historicky první byla dioda červené barvy, dále se objevily zelené, žluté, oranžové a modré. Vyrábějí se i LED diody, které vyzařují ultrafialové nebo infračervené záření. [1]

Díky novým polovodičovým materiálům (např. GaAs, GaP, ZnSe, InGaN), lepším a náročnějším technologickým postupům se zvýšila účinnost LED diod. Odolnost proti vlhkosti a vyšší teplotě se také zvýšila. Tyto materiály zlepšily výrobní proces tak, že se diody s barvami zelené žluté, červené a oranžové mohou vyrábět stejnou technologií. Jejich barva se určuje jen šířkou zakázaného pásu. Modré LED diody se vyrábějí odlišnou výrobní technologií. [1], [12]



**Obr. 10. Konstrukce LED diody se dvěma krystaly [1]**

1 – polovodič s přechodem PN, 2 – reflektor, 3 – keramická destička odvádějící teplo, 4 – podložka, 5 – polokulová čočka

Pro masivnější rozšíření LED diod bylo důležité vyvinout diody bílé barvy, které lze dosáhnout dvěma způsoby. První způsob je smíšení světla z červené, zelené a modré LED diody. Toto řešení je ale velmi náročné na hardware a software. Jednotlivé druhy čipů mají nerovnoměrnou degradaci barev, a proto může dojít k nežádoucímu posunu výsledné barvy vyzařovaného světla. Další způsob je podobný jako vznik světla v klasických zářivkách. Využívá se při něm fosforescence luminoforů, který mění ultrafialové záření na viditelné světlo. U tohoto způsobu se používají ultrafialové diody, které budí třípásmový luminofor anebo modré diody InGaN, které budí luminofor ytрито-hlinitý granát aktivovaný cerem. Druhá varianta je v porovnání s první variantou úspornější, rozměrově menší, avšak má horší podání barev osvětlovaných předmětů z důvodu potlačení zelené a červené složky v jejím výsledném modro-žlutém spektru. [1]

První vyrobené čipy měly plochu jen  $0,05 \text{ mm}^2$ . Dodávaný proud byl v jednotkách miliampérů a celkový příkon v desetinách wattů. Vyzařovaný světelný tok byl tedy jen v jednotkách lumenů. Postupem času se díky vývoji zvětšila plocha (jednotky  $\text{mm}^2$ ), zvýšil proud (jednotky ampérů) i příkon (až 10 W). Z tohoto důvodu dosahuje světelný tok v reálných podmínkách až 1000 lumenů. Pro zvýšení světelného toku se může zapojit více

krystalů do série nebo se použije jeden krystal s větší plochou, který ovšem vyžaduje chlazení v místě PN přechodu. [1]

V dnešní době se výrobci snaží nahradit starší světelné zdroje LED diodami. Proto se umístí potřebný počet diod, napájecí modul a odpovídající chlazení do vnější baňky, která je tvarově shodná např. s baňkou klasické nebo reflektorové žárovky. K baňce se přitmelí klasická patice např. E27, E14, atd. Na Obr. 11 je znázorněna LED žárovka s paticí E27. Tento výrobek se může použít ve stávajících svítidlech a to bez dalších investic. Obdobné to je i u zářivkových trubic. Do trubice s matným povrchem, o stejném průměru jako mají lineární zářivky, se umístí potřebný počet diod a celá trubice se opatří zářivkovými paticemi. Po určitých změnách v předřadných obvodech se trubice může nainstalovat přímo do klasického zářivkového svítidla. [1]



**Obr. 11. LED žárovka s paticí E27 [13]**

LED diody mají velmi mnoho výhod. Mezi významné výhody patří malé rozměry, vysoká účinnost, rychlá odezva a doba náběhu, spolehlivost, velmi vysoká životnost a odolnost konstrukce vůči mechanickému poškození. Diody mají velký počet barev s vysokou čistotou. Jejich spojením lze dosáhnout téměř jakéhokoli barevného odstínu. Vyrábí se i diody, které září v ultrafialové či infračervené oblasti spektra. Výhodou je také prostor pro budoucí zlepšení jejich parametrů. V neposlední řadě diody neobsahují rtuť, a proto nemají negativní vliv na životní prostředí. Mezi nevýhody LED diod patří vyšší pořizovací cena a závislost hlavních parametrů diod na okolní teplotě. [1], [12]

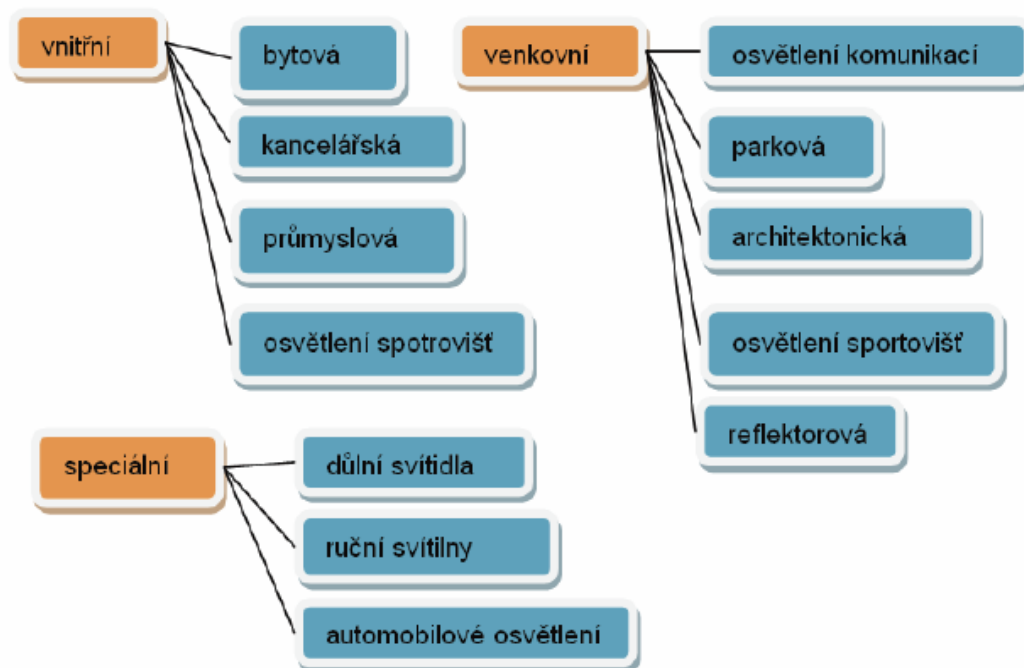
### 3 Svítidla

Svítidlo je zařízení, které dokáže ovlivňovat parametry světla vyzařovaného ze světelných zdrojů. Svítidla tedy mění rozložení, usměrňují nebo rozptylují světelný tok zdrojů, v určitých směrech cloní nebo snižují jas, tak aby nedošlo k oslnění, zatímco soustředí světelný tok na osvětlované místo. [2], [6]

Svítidlo obsahuje světelný zdroj, díly nutné k upevnění, prostředky pro napájení a v případě potřeby pomocné obvody. Také zajišťuje ochranu světelných zdrojů před vniknutím cizích předmětů a vody. Svítidla musí mít jednoduchou údržbu a montáž, dlouhou životnost a samozřejmě nesmí být nebezpečná z hlediska teploty i dotyku živých částí. [2]

#### 3.1 Třídění svítidel

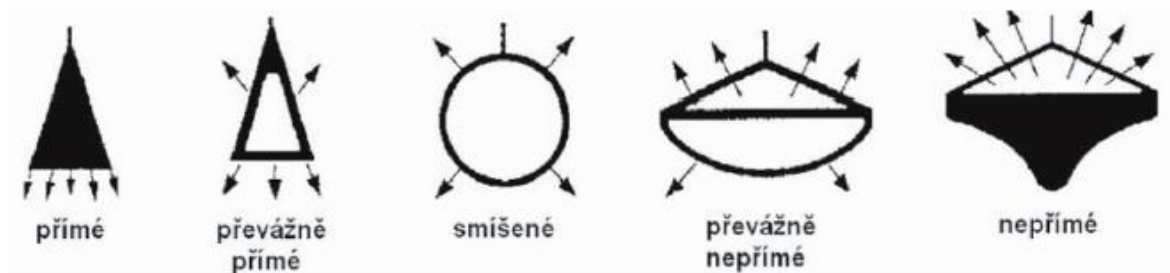
Svítidla se mohou třídit podle mnoha kritérií. Mohou se třídit podle instalovaného zdroje světla (žárovková, zářivková, výbojková), podle oblasti použití (viz Obr. 12), podle způsobu upevnění na stacionární s pevným připojením a nestacionární s pohyblivým přívodem nebo podle rozložení světelného toku (viz Tab. 1 a Obr. 13) [2], [6]



Obr. 12. Druhy svítidel z hlediska oblasti použití [11]

Tab. 1. Třídění svítidel podle světelného toku [11]

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



Obr. 13. Značky rozložení světelného toku [11]

### 3.2 Základní části svítidel

Světelně činné části, elektrotechnické části a konstrukční části jsou základní části svítidel. [2]

Světelně činné části upravují světelný tok, který jde ze svítidla. Patří sem reflektor, refraktor a difuzor. Reflektor pomocí odrazu světla mění rozložení světelného toku. Refraktorem světlo prostupuje a dochází k jeho lomu do požadovaného směru. Difuzor využívá rozptylu světla tak, aby vyzařovaný tok byl rovnoměrně rozptýlený po ploše. [2], [6]

Elektrotechnické části musí odpovídat použitým světelným zdrojům. Tyto části zajišťují provoz světelného zdroje a přivádějí k němu elektrickou energii. Elektrotechnické části zahrnují objímky, svorkovnice, vypínače, zásuvky a vidlice, předřadné přístroje, vnitřní vedení vodiče, kondenzátory a zapalovače. [2], [3]

Konstrukční části jsou základní tělesa svítidel. Slouží k upevnění svítidla a zároveň poskytují ochranu proti dotyku a vniknutí vody. Do konstrukčních částí patří ochranná skla, nosná konstrukce, upevňovací části, ochranná mříž, klouby, stojany, atd. Materiály svítidel jsou po celou dobu života namáhány stálým působením vysoké teploty, světelného

a ultrafialového záření a vlhkostí. Materiály proto musí mít tepelnou a světelnou stálost, musí být mechanicky odolné a také odolné proti korozi. Svítidla do interiérů se obvykle zhotovují z plastů nebo tenkého plechu, který je potažený komaxitovou barvou. Svítidla do exteriérů se většinou vyrábí z hliníku. [2]

### 3.3 Stupně krytí IP

Svítidla se umísťují do různých typů prostředí. Prostor může být prašné, vlhké či mokré, výbušné, chemické, atd. Podle konkrétního prostoru se vybere svítidlo s určitým stupněm krytí IP. Za IP se dosazují čísla podle stupně ochrany.

První číslo určuje stupeň ochrany před dotykem nebezpečných částí a před vniknutím cizích pevných těles. [14]

- IP 0x - Nechráněno.
- IP 1x - Chráněno před vniknutím pevných cizích těles o průměru 50mm a větších).
- IP 2x - Chráněno před vniknutím pevných cizích těles o průměru 12,5mm a větších.
- IP 3x - Chráněno před vniknutím pevných cizích těles o průměru 2,5mm a větších.
- IP 4x - Chráněno před vniknutím pevných cizích těles o průměru 1mm a větších.
- IP 5x - Chráněno před dotykem drátem a částečně před prachem.
- IP 6x - Úplně chráněno před prachem. [14]

Druhé číslo určuje stupeň ochrany proti vniknutí vody. [14]

- IP x0 - Nechráněno.
- IP x1 - Ochrana proti svisle padajícím kapkám vody.
- IP x2 - Ochrana před přímým dopadem vody do 15° od svislice.
- IP x3 - Ochrana před přímým dopadem vody až 60° od svislice.
- IP x4 - Ochrana proti vodě stříkající ze všech směrů.
- IP x5 - Ochrana proti proudu vody nízkého tlaku ze všech směrů.
- IP x6 - Ochrana proti dočasnému zaplavení vodou.
- IP x7 - Ochrana proti dočasnému ponoření do vody (15 cm až 1 m hloubky).
- IP x8 - Ochrana proti potopení do vody. Zařízení je schopné nepřetržitého potopení do vody. [14]

### 3.4 Typy a příklady průmyslových svítidel

Průmyslových svítidel existuje mnoho druhů. V průmyslové hale, kterou se tato práce zabývá, jsou použity zářivková a LED svítidla. Následující podkapitoly se proto zabývají těmito svítidly, aby vznikl základní přehled o produktech, které jsou dostupné na českém trhu.



### 3.4.1 Zářivková svítidla

Na trhu existuje zářivkových svítidel nespočet druhů. Zářivková svítidla jsou vestavěná, závěsná nebo přisazená. Vyrábí se svítidla s mnoha stupni krytí. V prašném i vlhkém prostředí jako je průmyslová hala, sklad, sklep, dílna se může použít např. PRACHO IP54 nebo s ještě vyšší ochranou PRACHO IP65. Oba typy vyrábí firma ELEKTROSVIT Svatobořice, a. s. Zcela vodotěsná svítidla (zářivková i LED) s ochranou IP68 mimo jiné vyrábí firma PRACHT CZ s.r.o. Do výbušných prostor je vhodné například nevýbušné svítidlo PRIMA Ex (IP65) od společnosti TREVOS, a.s. Tato firma má také v nabídce zářivkové svítidlo PRIMA T8 ABS (Obr. 14), které má vysokou chemickou odolnost, ale nehodí se do prostor s nebezpečím výbuchu. [15] až [19]



Obr. 14. Svítidlo PRIMA T8 ABS [19]

### 3.4.2 LED svítidla

Všechny společnosti, které jsou uvedeny v předchozím odstavci, produkuje samozřejmě i LED svítidla. Do výrobních hal jsou vhodné například svítidla typu GOOD (IP54) nebo FOCUS (IP54) od firmy ELKOVO ČEPELÍK, s.r.o. Společnost TREVOS, a.s. má v nabídce také svítidla PRIMA LED MAX (IP66), která jsou určena do zastřešených prostor a vydrží teploty od  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Specialitou společnosti ELEKTROSVIT Svatobořice, a.s. je výroba nevýbušných svítidel do dolů, rafinerií, chemických provozoven, jaderných a tepelných elektráren, atd. Například jejich produkt MINIMINEX (IP65) je nevýbušné svítidlo určené do dolů, kde hrozí nebezpečí výbuchu. Do těžkého

průmyslu (vnitřních i venkovních prostor) je adresováno svítidlo PEGAS LED (IP65), které je velmi odolné vůči mechanickému namáhání (Obr. 15). Do výbušných prostředí je určené také svítidlo ÄTNA (IP65) od firmy PRACHT CZ s.r.o. [20] až [26]



**Obr. 15. Svítidlo PEGAS LED [25]**

## 4 Osvětlovací soustavy průmyslových budov

Existuje velmi mnoho druhů průmyslových objektů a budov. Tato oblast zahrnuje prostory od malých dílen až po rozsáhlé jednopodlažní i vícepodlažní průmyslové haly. Při navrhování osvětlení těchto prostorů se také musí klást důraz na činnosti, které se v prostorách vykonávají. Nejprve se hodnotí denní osvětlení, a pokud nevyhovuje normě, tak se dále navrhuje sdružené osvětlení a až nakonec se navrhuje umělé osvětlení. Tato hierarchie je z důvodu, že vytvoření vyhovujících světelných podmínek pomocí umělého osvětlení, které odpovídají osvětlení denním světlem, je technicky a ekonomicky náročné a především proto, že lidský zrak je vývojem uzpůsoben na denní světlo. [1]

V některých prostorech je návrh a realizace osvětlení jednoduchá. Osvětlení lze realizovat soustavou rovnoměrně rozmístěných svítidel. Zatímco v jiných objektech mohou být zvláštní požadavky na osvětlení (např. eliminace odlesků a oslnění). Velké stroje mohou působit jako clony a bránit vstupu světla do důležitých pracovních míst. Dále jsou v řadě průmyslových prostor specifické podmínky jako vyšší prašnost, vlhkost, vysoké nebo nízké teploty, atd. Všechny tyto věci je nutné brát v úvahu při návrhu osvětlovací soustavy. [1]

Provoz umělého osvětlení má nezanedbatelný podíl v celkových provozních nákladech podniku. Proto hraje významnou roli účinnost osvětlovací soustavy a efektivní využití denního světla. Správné osvětlení ovlivňuje kvalitu práce i pracovní výkon zaměstnanců, s čímž samozřejmě souvisí i bezpečnost práce. [1]

### 4.1 Požadavky na osvětlení a osvětlovací soustavy

Z důvodu bezpečnosti a kvality pracovního výkonu je důležitá zábrana vůči přímému oslnění. Tuto zábranu lze zlepšit svítidly s menším jasem v kritických úhlech, větším úhlem mezi směrem pohledu a zdrojem oslnění nebo zvětšením jasu pozadí, proti kterému je zdroj oslnění pozorován. [1]

Dalším problémem je riziko oslnění odrazem. Vzniká tam, kde se v zorném poli objevují lesklé povrchy, jako jsou leštěné kovy, obrobené kovové povrchy nebo stupnice měřících přístrojů. Problém s oslnění odrazem lze řešit použitím světelných zdrojů s nízkým jasem nebo eliminací lesklých povrchů v interiéru. Především podlaha a desky

pracovních stolů by neměly mít vysoký integrální činitel odrazu. Tento činitel určuje světelný tok, který se odrazí od materiálu vztažený k celkovému světelnému toku, který na daný materiál dopadl. Doporučené hodnoty činitele odrazu jsou napsány v kapitole 4.2. [1], [2]

### **Denní osvětlení**

V průmyslových budovách je velmi důležité správné využití denního světla. Boční denní osvětlení se využívá ve vícepodlažních objektech. Tyto budovy jsou ekonomicky výhodné a hodí se například pro potravinářský nebo oděvní průmysl. Halové jednopodlažní stavby využívají zpravidla boční a horní denní osvětlení.

V prostorech s trvalým pobytem osob a v prostorech, kde je výška hrany okna větší než 2 metry nad podlahou se kontroluje průměrná hodnota činitele denní osvětlenosti i pro boční osvětlení. Hodnota požadovaného činitele se mění podle zrakové činnosti, která je v objektu vykonávána. Zraková činnost je rozdělena do sedmi tříd. V Příloze I je uvedena tabulka třídění zrakových činností a hodnoty činitele denní osvětlenosti podle normy ČSN 73 0580-1. Třída I až III vyžaduje průměrnou hodnotu činitele denní osvětlenosti  $D_m \geq 5$  %, třída IV požaduje  $D_m \geq 3$  % a ve třídách V až VII musí dosahovat  $D_m \geq 2$  %. Podrobný popis činitele denní osvětlenosti je uveden v kapitole 4.2. [1]

### **Sdružené osvětlení**

Sdružené osvětlení znamená současné osvětlení denním a doplňujícím celkovým nebo odstupňovaným umělým osvětlením. U novějších průmyslových objektů se již účinně využívá denního světla a je to zahrnuto i v návrhu budov. Proto se sdružené osvětlení používá pouze v případech, kdy nelze docílit vyhovujícího denního osvětlení. [1], [2]

### **Umělé osvětlení**

Osvětlovací soustavy, které se využívají v průmyslových objektech, lze rozdělit na celkové, odstupňované a kombinované. [1]

Výhodou celkového osvětlení je, že dává volnost v rozmístění pracovních stolů i strojů. Tuto osvětlovací soustavu tvoří rovnoměrně rozmístěná svítidla v pravidelných řadách nebo rastru. V prostorech, kde jsou svítidla umístěna do výšky 3 m, je třeba myslet na zábrany proti přímému oslnění a oslnění odrazem. V této výšce lze svítidla umístit do řad (nejlépe podél s okenní stěnou) nebo do rastru s pravidelnou roztečí. Svítidla, která jsou umístěna mezi 3 a 4 m nad povrchem, se zpravidla umísťují do souvislých nebo přerušovaných řad podélně s okenní stěnou a zároveň jsou tyto řady kolmé na rozmístění pracovních stolů a strojů. Výrobní haly a průmyslové budovy s výškou svítidel mezi 4 až 7 m často potřebují doplnit denní světlo světlem umělým i v průběhu dne (okna jsou obvykle umístěna ve vyšších polohách). V tomto případě je to běžně vyřešeno řadami zářivkových svítidel s reflektorem, které mohou být rozloženy kolmo nebo rovnoběžně s okenní stěnou. Svítidla se montují přímo na strop nebo do výšky cca 4 m nad povrchem (při vyšším stropu). Alternativou je upevnit svítidla do výšky nad 6 m při použití výkonnějších svítidel (např. vysokotlaké výbojky), ale v menším počtu a většími rozestupy. U průmyslových objektů nad 7 m, kde se využívají velké stroje a podobná zařízení, je osvětlovací soustava umístěna v horní části budovy. Tuto soustavu tvoří obvykle vysokotlaké výbojové zdroje v závěsných svítidlech rozmístěných v pravidelném rastru. [1]

V průmyslových halách s výškou do 6 m s malým zastíněním pracovních ploch nebo tam, kde jsou stroje a další vybavení uspořádány do souvislých řad s uličkami pro obsluhu a dopravu, lze použít odstupňované osvětlení. V porovnání s celkovým osvětlením umožňuje odstupňované osvětlení individuálně přizpůsobit osvětlení na pracovišti. Výhodou jsou nižší provozní náklady. Z důvodu vyšší hladiny osvětlenosti v místech zřakového úkolu a přilehlých ploch se svítidla montují relativně nízko nad pracovní plochy. U tohoto typu osvětlení se musí dát pozor na nevhodné rozložení jasů. [1]

Kombinované osvětlení se používá u typů prací, které jsou náročně a přesné. Tyto práce vyžadují tak velkou hladinu a kvalitu osvětlenosti, že je nelze zajistit celkovým ani odstupňovaným osvětlením. Proto se v místě zřakového úkolu, které nelze dostatečně osvětlit celkovým osvětlením použije místní osvětlení. Zřakový úkol je potřeba podrobně analyzovat z důvodu správného návrhu místního osvětlení. [1]

V průmyslových halách a objektech je možno použít přímé, smíšené nebo nepřímé osvětlení. Přímé osvětlení nejúčinněji využívá světelný tok, a proto je nejpoužívanějším způsobem osvětlení. V prostorech s nižším stropem se montují svítidla přímo na strop, ve vyšších prostorech se svítidla obvykle zavěšují. V průmyslových objektech s nízkou výškou je možné použít smíšené osvětlení, jehož nepřímá složka pomáhá odstranit temný vzhled prostoru. Samotné nepřímé osvětlení se až na výjimky pro celkové osvětlení nepoužívá. [1]

### **Světelné zdroje**

Pro montážní výšky do 6 m se používají v osvětlovacích soustavách lineární zářivky. Ve starších soustavách jde o zářivky T8 s příkony 36 W nebo 58 W. U novějších soustav se vyskytují zářivky T5 s příkony od 28 W do 80 W. Pro montážní výšky nad 6 m se obvykle vyskytují vysokotlaké výbojky. Používají se hlavně halogenidové výbojky (od 150 W do 1000 W), od rtuťových a sodíkových vysokotlakých výbojek se odchází, protože index podání barev  $R_a$  má být vyšší než 80 v prostorech s trvalým pobytem osob. V současné době světelné diody nahrazují starší světelné zdroje v osvětlovacích soustavách. [1]

### **Svítidla**

Svítidla se do průmyslových prostor vybírají tak, aby vyhovovaly danému prostředí a bezpečnosti provozu. Dále je třeba eliminovat tzv. stroboskopický jev. Stroboskopický jev vzniká vlivem pulsace světelného toku světelných zdrojů, které jsou napájeny střídavým proudem síťového kmitočtu. V tomto případě točivé části v závislosti na rychlosti otáčení mohou být vnímány jako otáčení odlišným směrem nebo odlišnou rychlostí než je skutečné otáčení nebo se dokonce jeví jako stojící. Toto může mít za následek vážné úrazy. Stroboskopický jev lze vyřešit u žárovkových svítidel pro místní osvětlení stejnosměrným napájením. V případě výbojových svítidel se sousední svítidla zapojí do různých fází trojfázové soustavy nebo lze použít elektronické předřadníky.

Ve většině průmyslových prostor, kde se vykonává práce blíží kancelářské práci, se používají stropní, podhledová nebo závěsná zářivková svítidla. V menších průmyslových objektech s vyšším znečištěním se montují běžná svítidla s vyšším stupněm

krytí (IP54, IP65). Pro usnadnění montáže, napájení a zapojení svítidel u rozsáhlých osvětlovacích soustav se obvykle používají tzv. systémy rychlé montáže. Využívá se nosných profilů, ve kterých je vedení s vodiči a lze tak snadno rozdělit svítidla do jednotlivých fází. Profily zároveň slouží k upevnění i zapojení svítidel. [1]

## 4.2 Legislativa

### Denní osvětlení

*„Denní osvětlení vnitřních prostorů budov se navrhuje a posuzuje podle těchto základních hledisek:*

- a) úroveň denního osvětlení (vyjádřená hodnotami činitele denní osvětlenosti);*
- b) rovnoměrnost osvětlení;*
- c) oslnění;*
- d) rozložení světelného toku a převažující směr světla;*
- e) výskyt dalších jevů ovlivňujících zrakovou pohodu (například barva světla).“*  
[27]

### Činitel denní osvětlenosti D

Hodnoty činitele denní osvětlenosti se určují v kontrolních bodech, které jsou rozmístěny v pravidelné síti. Síť je na vodorovné rovině ve výšce 0,85 m nad podlahou, pokud není požadována jiná výška. Určí se dostatečný počet kontrolních bodů podle druhu a velikosti vnitřního prostoru, tak aby vznikla jasná představa o průběhu denního osvětlení. Krajiní řady kontrolních bodů jsou ve vzdálenosti 1 m od stěn a vzájemná vzdálenost bodů je obvykle od 1 m do 6 m. Pokud není uvedeno jinak, měří se za rovnoměrně zatažené oblohy a za předpokladu tmavého terénu. V nadmořských výškách vyšších než 600 m se měří úroveň denního osvětlení při rovnoměrně zatažené obloze a při zasněženém terénu, který má činitel odrazu od 0,5 do 0,85. Měří se současně dvěma luxmetry ve vodorovné poloze, které nesmí být zacloněné. [27]

Činitel denní osvětlenosti  $D$  lze určit vztahem

$$D = \frac{E}{E_{eh}} \cdot 100 (\%), \quad (10)$$

kde  $E$  ( $lx$ ) označuje osvětlenost v bodě dané roviny,  $E_{eh}$  ( $lx$ ) označuje srovnávací osvětlenost v bodě venkovní nezastíněné roviny. [2]

#### Rovnoměrnost denního osvětlení

Podíl nejmenší a největší (průměrné) hodnoty činitele denní osvětlenosti v kontrolních bodech je vztah pro rovnoměrnost denního osvětlení. Pro třídy zrakových činností I až IV nemá být menší než 0,2 avšak u tříd I až III se doporučuje minimálně 0,3. [27]

Rovnoměrnost denního osvětlení u boční osvětlovací soustavy je dána vztahem:

$$r = \frac{D_{min}}{D_{max}} (-). \quad (11)$$

U horního a kombinovaného osvětlovacího systému je rovnoměrnost osvětlení denním světlem definovaná rovnicí:

$$r = \frac{D_{min}}{D_m} (-). \quad (12)$$

#### Rozložení světelného toku a zábrana oslnění

Zejména při práci pravou rukou je dobré, aby hlavní směr osvětlení přicházel z levé strany pozorovatele. Dále dostatečné množství světla odraženého a přímého z ostatních směrů by mělo doplňovat hlavní směr osvětlení, který by neměl být nijak zastíněn. Osoby musí být chráněni proti oslnění při jasné, polojasné i zatažené obloze. Při běžném směru pohledu nesmí být jas z osvětlovacích otvorů tak velký, aby způsobil oslnění. [27]



## Sdružené osvětlení

Pokud nelze docílit v nově navrhovaných objektech vyhovujícího denního osvětlení, lze v odůvodněných případech použít celkové sdružené osvětlení. Ve sdruženém osvětlení musí být obsažen dostatečný podíl denní složky (činitele denní osvětlenosti), která závisí na třídě zrakové činnosti (Tab. 2). Doplnující umělá složka se zvolí tak, aby vyhovovaly všechny kladené požadavky. [28]

**Tab. 2. Hodnoty činitele denní osvětlenosti pro sdružené osvětlení [2]**

Třída zrakové činnosti	Hodnota činitele denní osvětlenosti v (%)	
	Minimální $D_{\min}$	Průměrná $D_m$
I, II	1,0	2,5
III	0,7	2,0
IV	0,5	1,5
V - VII	0,5	1,0

Sdružené osvětlení by mělo co nejlépe využívat denního světla, aby se co nejméně světla nahrazovalo umělým. Již při návrhu sdruženého osvětlení se denní složka navrhuje tak, aby se zabránilo oslňování. Výbojové zdroje, které jsou energeticky úsporné a mají velký měrný výkon, se používají jako doplňující umělé osvětlení. Cílem osvětlovací soustavy doplňujícího umělého osvětlení je splnění požadavků na kvalitu a úroveň osvětlení pro předpokládané zrakové činnosti. Důležité také je dostatečně osvětlit s přiměřenými jasy různě orientované svislé povrchy, stěny i stropy. [28]

## Umělé osvětlení

Zraková pohoda, zrakový výkon a bezpečnost jsou tři základní potřeby, na které je třeba dbát při návrhu denního, sdruženého i umělého osvětlení. [29]

### Rovnoměrnost osvětlení a síť kontrolních bodů osvětlenosti

Rovnoměrnost osvětlení ( $U_o$ ) je poměr minimální a průměrné hodnoty osvětlenosti na srovnávací rovině. V bezprostředním okolí úkolu musí být  $U_o \geq 0,4$  a v pozadí úkolu musí být  $U_o \geq 0,1$ . Pro výpočet a kontrolu hodnot osvětlenosti v místě zrakového úkolu, jeho bezprostředním okolí i v pozadí úkolu se vytvoří síť kontrolních bodů. Bezprostřední

okolí úkolu je pás o šířce minimálně 0,5 m, který je v zorném poli kolem místa úkolu. Pozadí úkolu je plocha o šířce minimálně 3 m, která přiléhá k bezprostřednímu okolí úkolu. Maximální rozměr buňky sítě  $p$  (m) lze určit ze vztahu

$$p = 0,2 \cdot 5^{\log_{10} d}, \quad (13)$$

kde  $d$  (m) je delší rozměr plochy (v případě, že podíl delší a kratší strany je větší nebo roven 2, tak  $d$  je kratší rozměr plochy). Maximální rozměr buňky má být  $p \leq 10$ . Podíl  $d/p$  vyjádří počet bodů v příslušném rozměru plochy. [29]

### Činitele odrazu povrchů a osvětlenost povrchů

Doporučený činitel odrazu pro strop je 0,7 až 0,9, pro stěny 0,5 až 0,8 a pro podlahu 0,2 až 0,4. Osvětlenost v uzavřených prostorech má mít hodnotu  $E_m > 50$  lx při  $U_o \geq 0,1$  na stěnách a na stropu  $E_m > 30$  lx při  $U_o \geq 0,1$ . Veličina  $E_m$  je udržovaná osvětlenost a představuje hodnotu průměrné osvětlenosti, pod kterou nesmí osvětlenost klesnout. [29]

Dle normy ČSN EN 1837+A1 Bezpečnost strojních zařízení – Integrované osvětlení strojů [30]: „musí být zajištěna průměrná osvětlenost nejméně 500 lx s minimální rovnoměrností 0,7 v místě zrakového úkolu. V nejbližším okolí oblasti úkolu musí být zajištěna průměrná udržovaná osvětlenost nejméně 300 lx s minimální rovnoměrností 0,3. Je-li požadováno, aby obsluha používala ochranný štít nebo optické pomůcky, musí být osvětlenost násobena převrácenou hodnotou činitele prostupu světla použitých pomůcek. Pokud není tento činitel znám, musí být osvětlenost zvýšena nejméně o 50 %.“

### Rušivé oslnění

Oslnění, které nezhoršuje činnost zraku, ale způsobuje nepříjemný pocit, se nazývá rušivé oslnění. Velikost rušivého oslnění je dána vztahem:

$$UGR = 8 \log_{10} \left( \frac{0,25}{L_B} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right) \quad (14)$$

kde  $L_B$  ( $cd \cdot m^{-2}$ ) označuje jas pozadí,  $L$  ( $cd \cdot m^{-2}$ ) je jas svítících částí každého svítidla ve směru oka pozorovatele,  $\omega$  ( $sr$ ) značí prostorový úhel, pod kterým vidí pozorovatel svítící části svítidel,  $p$  je činitel polohy podle Gutha. [29], [31]

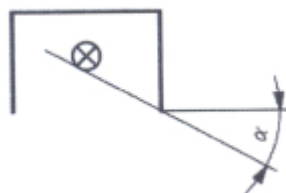
Parametr, kterým se měří nepříznivé subjektivní odezvy na světelné prostředí, se jmenuje míra oslnění. Míra oslnění lze stanovit vzorcem UGR. UGR má stupnici, která určuje jak vysoké je rušivé oslnění. Její rozsah je od 10 do 30. Hodnoty menší než 10 říkají, že osvětlovací soustava nezpůsobuje rušivé oslnění, naopak s vyššími hodnotami se pravděpodobnost výskytu rušivého osvětlení zvyšuje. [31]

### Omezení oslnění cloněním

Velmi jasné zdroje umělého i přírodního světla mohou způsobit nežádoucí oslnění a zhoršit viditelnost předmětů. Řešením je vhodné odstínění denního světla a clonění světelných zdrojů. V Tab. 3 jsou uvedeny minimální úhly clonění pro jasy světelných zdrojů. Úhel clonění je znázorněn na Obr. 16. [29]

**Tab. 3. Minimální úhly clonění pro uvedené jasy světelných zdrojů [29]**

Jas světelného zdroje ( $kcd \cdot m^{-2}$ )	Minimální úhel clonění $\alpha$ ( $^\circ$ )
20 až < 50	15
50 až < 500	20
$\geq 500$	30



**Obr. 16. Úhel clonění  $\alpha$**

### Podání tvaru

Osvětlení konstrukčních prvků, osob a předmětů nemá být příliš směrované, avšak aby nevzniklo příliš monotónní prostředí, nesmí být ani příliš difuzní, aby se podání tvaru neztratilo. Pokud je možné vnímat tvar a texturu osob a předmětů příjemně a jasně,

zlepšuje to celkový vzhled vnitřního prostoru. Schopnost rozlišovat předměty je spojeno se stínivostí, která se hodnotí dle činitele podání tvaru nabývající hodnot od nuly až po čtyřku. Nulový činitel podání tvaru znamená, že předmět je osvětlen ze všech stran shodným světelným tokem a netvoří se tím pádem stíny. Naopak pokud se vyžaduje vytvoření ostrých stínů, je předmět nasvícen pouze z jednoho směru a činitel podání tvaru je poté roven 4. [29]

#### Směřované osvětlení zřakových úkolů

U některých zřakových úkolů pomůže osvětlení z určitého směru, které zlepší viditelnost a ukáže detaily. Nežádoucí ostré stíny, oslnění odrazem a závojové odrazy se mají eliminovat. [29]

#### Hlediska barvy

Denní světlo a bílé světlo ze světelných zdrojů se popisují barevným tónem světla a indexem podání barev  $R_A$ . Index podání barev je popsán v kapitole 1 a ve vnitřních prostorech by měl být  $R_A > 80$ . [29]

Barevný tón se vyjadřuje pomocí náhradní teploty chromatičnosti ( $T_C$ ). V průběhu dne se barevný tón denního světla mění, avšak barevný tón umělého světla lze vyjádřit pomocí Tab. 4. Zvolení barevného tónu závisí na několika kritériích. Mezi tyto kritéria patří např. barva stěn a nábytku, oblast použití a klimatické pásmo (čím chladnější podnebí, tím teplejší barevný tón). [29]

**Tab. 4. Barevný tón světla světelných zdrojů [29]**

Barevný tón světla	Náhradní teplota chromatičnosti $T_C$ (K)
teple bílý	do 3 300
neutrálně bílý	3 300 až 5 300
chladně bílý	nad 5 300

### Míhání a stroboskopické jevy

*„Míhání působí rušivě a může vyvolat fyziologické projevy, např. bolesti hlavy. Stroboskopické jevy mohou vést k nebezpečným situacím při změně vnímaného pohybu strojů s točivým nebo vratným pohybem. Osvětlovací soustavy mají být navrženy tak, aby se zabránilo míhání a stroboskopickým jevům.“ [29]*

Příloha A normy ČSN EN 1837+A1 Bezpečnost strojních zařízení – Integrované osvětlení strojů [30] navíc uvádí příklady správného a nesprávného typu a umístění svítidel u vrtačky brusky či soustruhu, tak aby bylo zajištěno, že světelné podmínky v místě pracovního úkolu budou z pohledu obsluhy strojů co nejlepší.

## 5 Návrh osvětlovací soustavy truhlárny

Celkový návrh je proveden v programu BuildingDesign s výpočtním modulem Wdls 5.0 pro návrh a výpočet denního osvětlení a modulem Wils 7.0 pro návrh a výpočet umělého osvětlení.

### 5.1 Popis a umístění truhlárny

Truhlárna společnosti Kuchyně KYPR s.r.o. sídlí ve Štáhlavech u Plzně. Na Obr. 17 je vidět umístění budovy (č. 1230), která je z jedné strany obklopena vysokými listnatými stromy. Objekt se nachází na těchto GPS souřadnicích 49°40'25.88"N, 13°29'49.68"E. Fotografie truhlárny je na Obr. 18.



Obr. 17. Mapa katastru nemovitostí

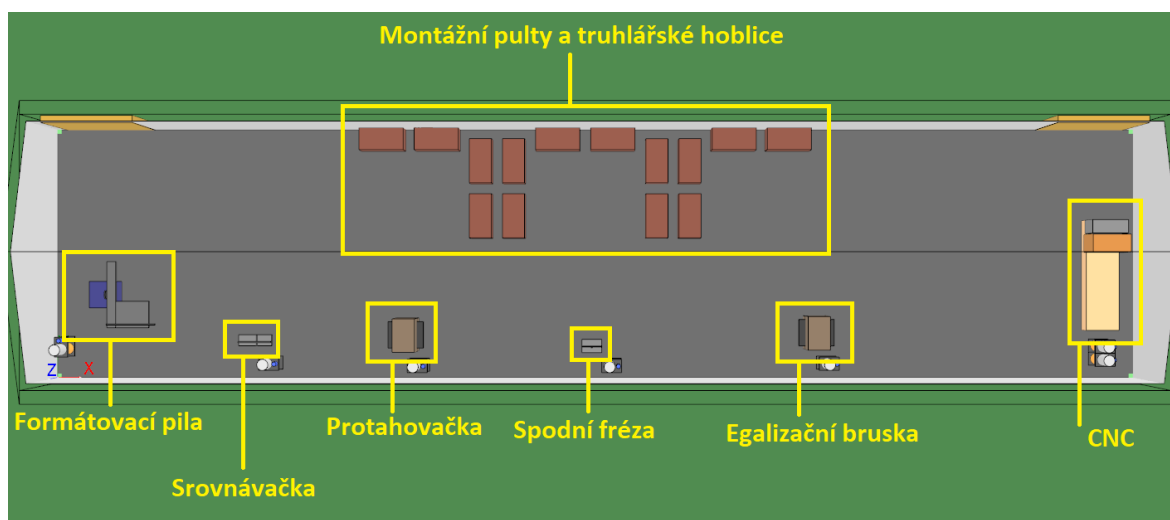


**Obr. 18. Fotografie truhlárny**

Samotná truhlárna je jedna velká hala, jejíž náčrtek s rozměry je uveden v Příloze II. Požadavky na kvalitu osvětlovací soustavy pro průmyslové a řemeslné činnosti lze vyčíst z Tab. 5. U hlavních vrat je po levé straně skladovací prostor hotových výrobků. Za ním je montážní prostor s truhlářskými hoblicemi a montážními pulty, kde se provádí konečná montáž. A dále pokračuje prostor pro uložení jednotlivých komponentů (zásuvkových systémů, pantů a ostatního nábytkového kování). Po pravé straně jsou truhlářské stroje – formátovací pila, srovnávačka, protahovačka, spodní fréza, egalizační bruska a CNC frézovací centrum. Součástí každého stroje je mobilní jednotka na odsávání odpadu. Rozmístění zařízení truhlárny je zobrazeno na Obr. 19. Svítidla jsou rozmístěna ve třech řadách podélně s okenními stěnami. Levá část haly spadá podle Tab. 5 pod referenční číslo 5.25.4, zatímco pro pravou část, kde jsou umístěny dřevoobráběcí stroje, platí referenční číslo 5.25.6.

Tab. 5. Požadavky na osvětlení při výrobě a zpracování dřeva [29]

Ref. číslo	Druh prostoru, úkolu nebo činnosti	$E_m$ (lx)	$UGR_L$ (-)	$U_0$ (-)	$R_a$ (-)	Specifické požadavky
5.25.1	automatické procesy, např. sušení, výroba překližovaných desek	50	28	0,4	40	
5.25.2	pařící jámy	150	28	0,4	40	
5.25.3	rámová pila	300	25	0,6	60	Zabránit stroboskopickému jevu.
5.25.4	práce na truhlářské stoličce, lepení, montáž	300	25	0,6	80	
5.25.5	broušení, lakování, umělecké truhlářství	750	22	0,7	80	
5.25.6	práce na dřevoobráběcích strojích, např. soustružení, drážkování, rovinné frézování, spárování, stříhání, řezání, frézování	500	19	0,6	80	Zabránit stroboskopickému jevu.
5.25.7	třídění (výběr) dýh	750	22	0,7	90	$4\ 000\ K \leq T_{CP} \leq 6\ 500\ K$
5.25.8	intarzování, vykládání dřevem	750	22	0,7	90	$4\ 000\ K \leq T_{CP} \leq 6\ 500\ K$
5.25.9	kontrola kvality	1 000	19	0,7	90	$4\ 000\ K \leq T_{CP} \leq 6\ 500\ K$



Obr. 19. Umístění jednotlivých zařízení a vybavy truhlárny

## 5.2 Denní osvětlení truhlárny

Truhlárna využívá pouze boční osvětlení. Z jedné strany je asfaltová cesta a další budova a z druhé strany je jen několik metrů od oken široký pás vzrostlých listnatých stromů. Na levém boku objektu je 10 párů oken a na každém konci jsou umístěna vstupní vrata. Na pravém boku je 12 párů oken. Rozměr jednoho okna je 1,2 x 1,5 m. Truhlárna

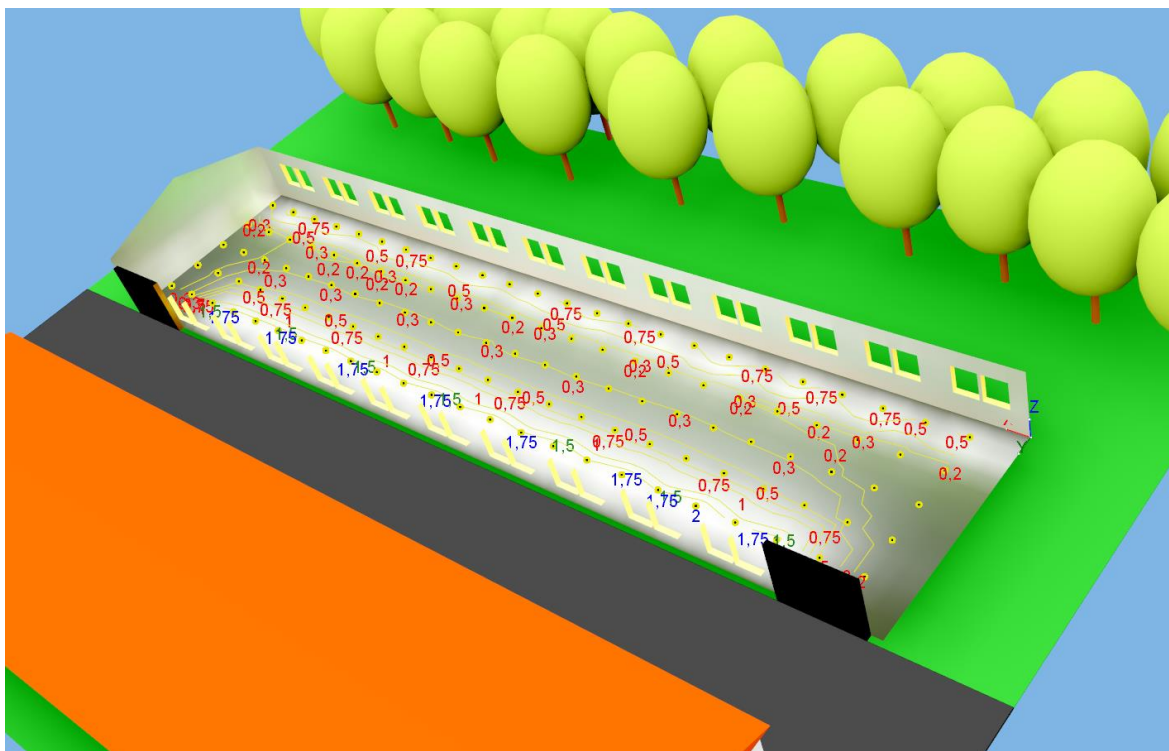


spadá podle normy ČSN 73 0580-4 do třídy zrakové činnosti IV. Z toho vyplývá, že minimální činitel denní osvětlenosti má být 1,5 %, neboť je hala truhlárny osvětlena denním světlem pomocí bočního osvětlovacího systému. Pokud by byla osvětlena horním či kombinovaným osvětlovacím systémem, hodnotila by se úroveň světelných podmínek pomocí průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti, která má být 5 %. Na obrázcích se simulací značí modrá čísla hodnoty vyšší, než jsou požadované, zelená čísla jsou přesně požadované hodnoty a červená čísla jsou nedostačující hodnoty.

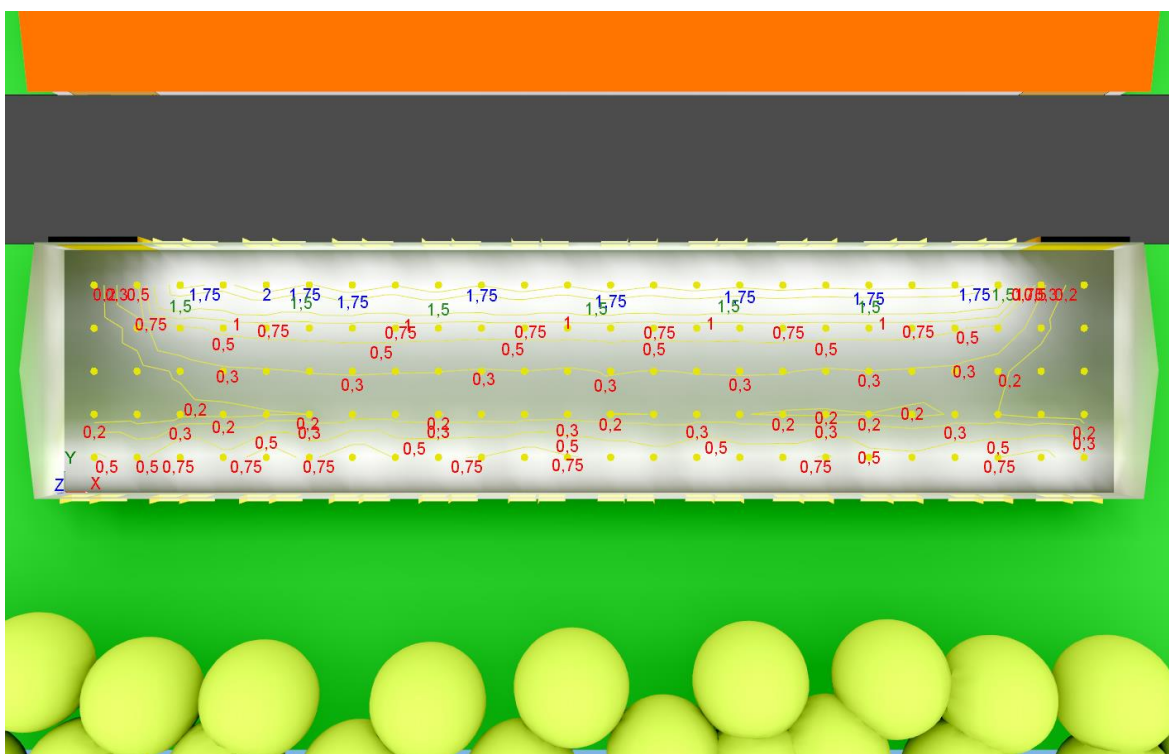
Jako v případě umělého osvětlení se po celé části vnitřního prostoru rozmístí síť kontrolních bodů. U denního osvětlení je síť ve výšce 0,85 m nad povrchem. Obrázek 21 a Obr. 22 ukazuje prázdnou budovu a je vidět, že přijatelný činitel denní osvětlenosti je pouze v úzkém pásu u oken v levé části budovy. Minimální hodnota činitele denní osvětlenosti, která je vidět na Obr. 20, činí 0,1 %. Podle Tab. 2 uvedené v kapitole 4.2 musí být průměrná hodnota činitele denní osvětlenosti minimálně 1,5 %, aby se mohlo použít sdružené osvětlení. Norma tedy není splněna a musí se po celou dobu užívat umělé osvětlení. Jelikož měření nevyhovuje již v prázdné budově, není třeba provádět simulaci s halou vyplněnou výrobním zařízením.

Název <input type="text"/>	Minimální hodnota	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Rovnoměrnost
<b>Budova 1 - Podlaží 2 - hala truhlárny</b>				
činitel denního osvětlení - Činitel denní osvětlenosti	0,1 / 1,5 	0,6	2,0	0,054

**Obr. 20. Hodnoty činitele denního osvětlení**



Obr. 21. Činitel denní osvětlenosti v prázdné budově



Obr. 22. Činitel denní osvětlenosti v prázdné budově

### 5.3 Umělé osvětlení truhlárny

Barevné rozlišení výsledných izolux na srovnávací rovině je shodné jako u simulace denního osvětlení, tzn. modrá barva reprezentuje hodnoty vyšší, než požaduje norma, zelené izoluxy znázorňují hodnoty přesně požadované normou a červeně jsou vyznačeny hodnoty, které normu nesplňují.

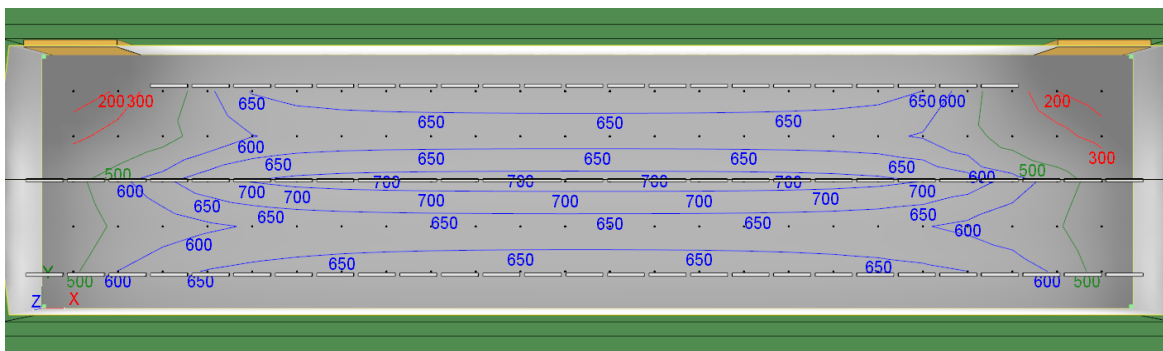
#### 5.3.1 Původní osvětlovací soustava truhlárny

Původní osvětlovací soustava truhlárny byla vybavena zářivkovými svítidly DICHT-258/PS 2x58W/EVG od firmy Kanlux s. r. o. Tyto svítidla mají vysoký stupeň krytí IP65, používají dvě zářivky o průměru T8 a maximálním výkonu jedné zářivky 58 W. Světelný tok osazeného světelného zdroje je 5 200 lm, délka činí 1,5 m, index podání barev  $R_a > 80$ , teplota chromatičnosti je 4 000 K a životnost je až 20 000 hodin. V osvětlovací soustavě je rozmístěno 75 svítidel, které mají od sebe rozstup 0,2 m. Celkový příkon soustavy činí tedy 8 700 W.

Při návrhu osvětlovací soustavy bylo vybráno z databáze svítidlo, které se nejvíc podobá svítidlu reálnému. Jde o svítidlo Modus P 258 PC 2 x L 58 W/840, jehož technické parametry byly upraveny podle reálného světelného zdroje. V Příloze III jsou obrázky použitých svítidel. Výsledek simulace osvětlení v prázdné hale lze vidět na Obr. 24. V tomto případě šlo o pravidelnou síť kontrolních bodů ve výšce 0,75 m nad povrchem. Jejich rozteč byla nastavena podle normy. Dále byla požadována hodnota  $E_m = 500$  lx. Z Obr. 24 je vidět, že tato hodnota byla splněna, kromě prostoru u obou vstupních vrat. Výsledné hodnoty k Obr. 24 jsou na Obr. 23.

Název <input type="text"/>	Minimální hodnota	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Rovnoměrnost
<b>truhlárna - Podlaží 1 - hala</b>				
Normálová osvětlenost	135 lx	601 / 500 lx ✓	723 lx	0,22

Obr. 23. Výsledky k Obrázku 24

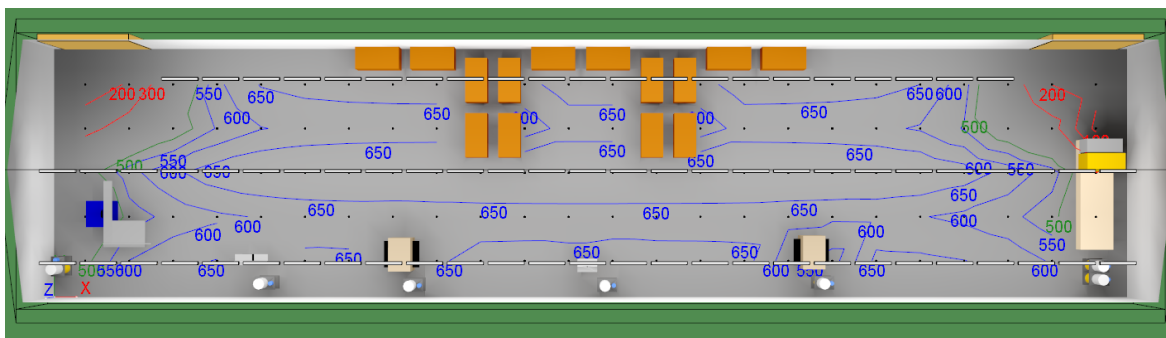


**Obr. 24. Simulace umělého osvětlení se zářivkami v prázdné truhlárně i s výsledky**

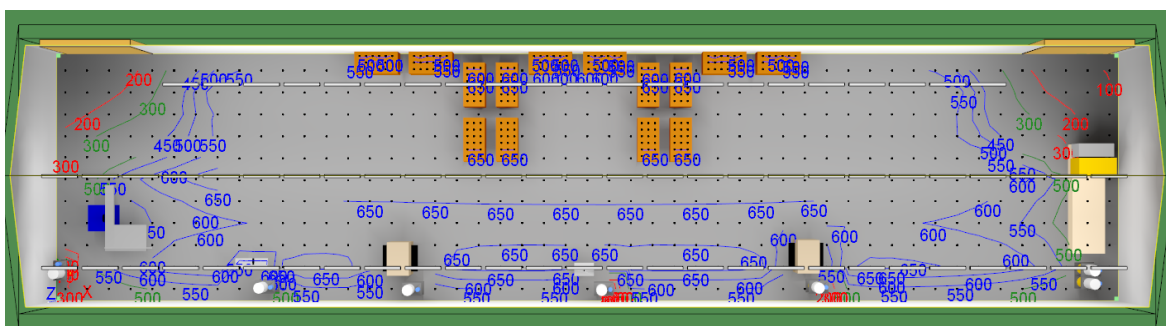
Při simulaci s halou, která byla plně vybavena výrobním zařízením, byly výsledky téměř totožné s prázdnou halou. Kontrolní body byly rozestaveny podle normy na stejná místa jako v případě s prázdnou halou. Nejprve byla simulace provedena jen se sítí ve výšce 0,75 m. Simulace je vidět na Obr. 26, výsledky z této simulace jsou na Obr. 25. Po této simulaci byl prostor rozdělen na dvě sítě s výškou 0,75 m. V části, kde jsou rozestaveny stroje, byl požadavek na osvětlenost nastaven na  $E_m = 500$  lx a v části s montážními pulty a hoblicemi byl nastaven požadavek  $E_m = 300$  lx. Dále byla navíc umístěna síť kontrolních bodů na každý montážní pult a truhlářskou hoblici. Osvětlenost haly s výrobním zařízením je vidět na Obr. 27, detailní výsledky této simulace jsou v Příloze IV. Na všech montážních stolech i truhlářských hoblicích byla  $E_m \geq 470$  lx, i když by podle Tab. 5 stačilo  $E_m \geq 300$  lx. Výsledkem je, že stará osvětlovací soustava s lineárními zářivkami plně vyhovovala normě. Nicméně z důvodu energetické i pozdější finanční úspory byla soustava předělána na LED osvětlení, která je zhodnocena v kapitole 5.3.2.

Název <input type="text"/>	Minimální hodnota	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Rovnoměrnost
<b>truhlárna - Podlaží 1 - hala</b>				
Normálová osvětlenost	76 lx	591 / 500 lx ✓	721 lx	0,13

**Obr. 25. Výsledky k Obrázku 26**



**Obr. 26. Simulace umělého osvětlení se zářivkami v plně vybavené truhlárně i s výsledky**



**Obr. 27. Simulace umělého osvětlení v plně vybavené truhlárně s podrobněji rozdělenou sítí kontrolních bodů**

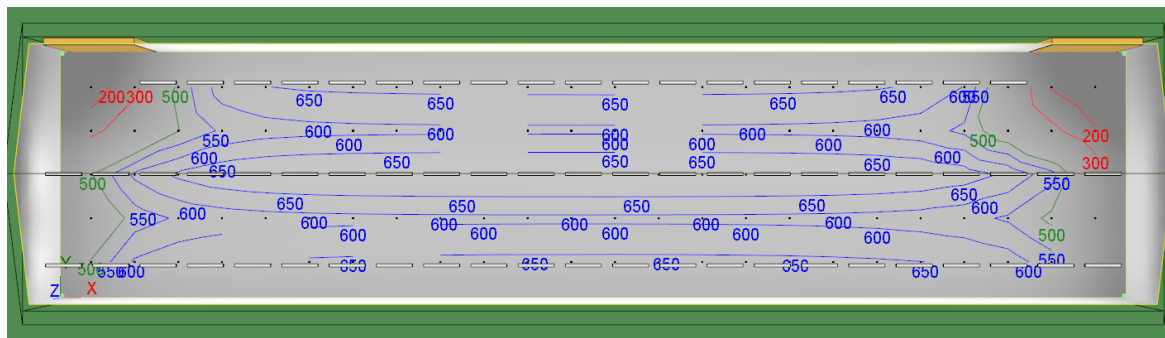
### 5.3.2 Nová osvětlovací soustava truhlárny

V nové osvětlovací soustavě byly použity zářivková svítidla pro LED trubice. Svítidla jsou od značky Modus a jde o typ PL7000L2W4, který má stupeň krytí IP65. Svítidlo obsahuje dvě řady LED pásků, na každém je 81 LED čipů. Příkon svítidla je 61 W, světelný tok 7 700 lm, teplota chromatičnosti 4 000 K, index podání barev  $R_a \geq 80$ . Udávaná životnost je až 50 000 hodin. V Příloze III je obrázek tohoto svítidla i s charakteristikou svítivosti.

V nové soustavě jsou stále tři řady svítidel podélně s okenní stěnou, avšak zde jsou svítidla od sebe vzdálena 50 cm. Celkově je v osvětlovací soustavě rozmístěno 65 svítidel, tudíž maximální příkon celé soustavy je 3 965 W. Na Obr. 29 je vidět osvětlenost prázdné haly v kontrolních bodech, které jsou stejně rozmístěny jako v případě zářivkové osvětlovací soustavy. Požadavek byl  $E_m = 500 \text{ lx}$ . Jak je vidět, požadavek byl s rezervou splněn, s výjimkou míst u vchodových vrat. Přesné hodnoty ze simulace jsou na Obr. 28.

Název	Minimální hodnota	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Rovnoměrnost
<b>truhlárna - Podlaží 1 - hala</b>				
Normálová osvětlenost	106 lx	588 / 500 lx ✓	711 lx	0,18

Obr. 28. Výsledky k Obrázku 29



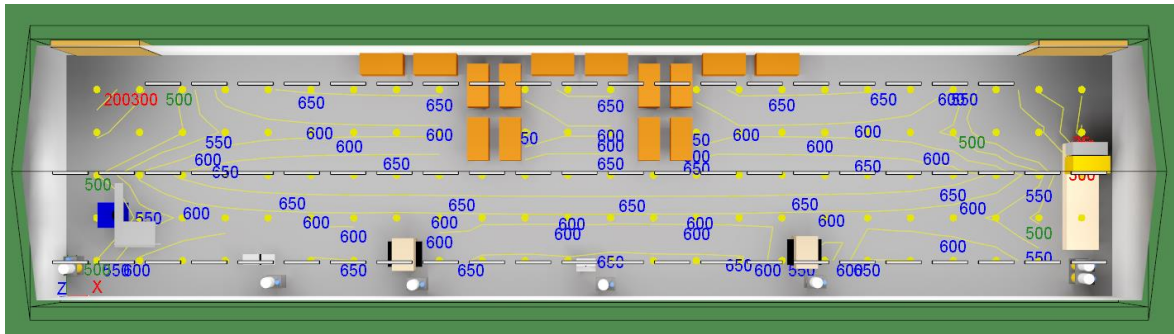
Obr. 29. Simulace umělého LED osvětlení v prázdné truhlárně s výsledky

Dále se provedla simulace s plně vybavenou halou. Kontrolní body byly stejně rozložené jako v případě prázdné haly. Výsledky jsou na Obr. 30, na Obr. 31 je zobrazena simulace a je vidět, že i nová osvětlovací soustava vyhovuje požadavkům. Poté byl prostor opět rozdělen jako v případě starší zářivkové osvětlovací soustavy. V části s montážními stoly byl nastaven dle normy nižší požadavek na osvětlenost a to 300 lx. Zde vyšla udržovaná osvětlenost 558,3 lx a rovnoměrnost osvětlení byla 0,13. V části, kde jsou truhlářské stroje, byla nastavena požadovaná hodnota osvětlenosti 500 lx. V této sekci vychází udržovaná osvětlenost 549,6 lx. Obrázek 32 ukazuje, že minimální hodnota osvětlenosti, kterou požaduje norma, byla o značnou část překročena. Chybějící čísla uprostřed haly znamenají, že tam je ještě vyšší osvětlenost než u krajů. Všechny výsledky k Obr. 32 jsou v Příloze V. Na Obr. 33 je detail místa u vstupních vrat a u mobilní odsávací jednotky, kde není dostatečná osvětlenost.

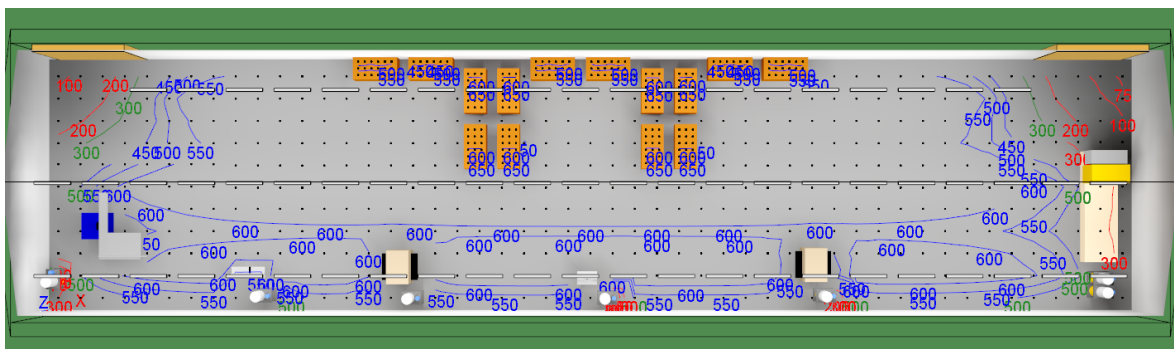
Název	Minimální hodnota	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Rovnoměrnost
<b>truhlárna - Podlaží 1 - hala</b>				
Normálová osvětlenost	69 lx	581 / 500 lx ✓	710 lx	0,12

Obr. 30. Výsledky k Obrázku 31

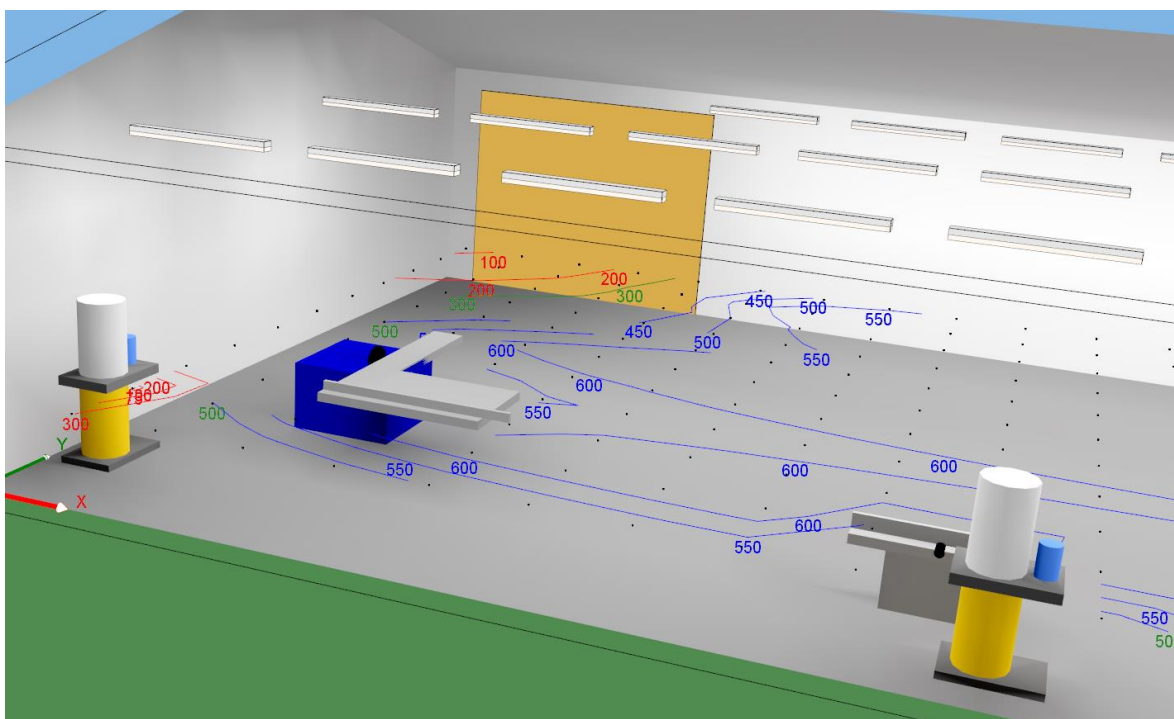




**Obr. 31. Simulace umělého LED osvětlení v plně vybavené truhlárně s výsledky**



**Obr. 32. Simulace umělého LED osvětlení v plně vybavené truhlárně s podrobněji rozdělenou sítí kontrolních bodů**



**Obr. 33. Nízká osvětlenost u vstupních vrat**

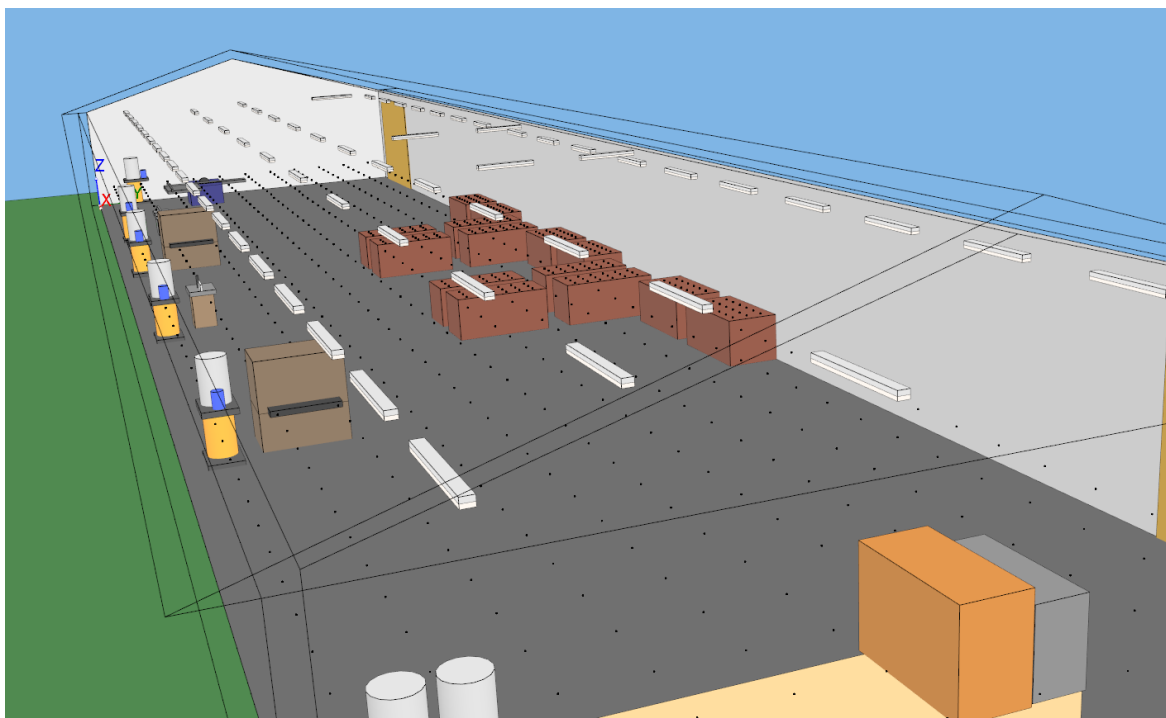
### 5.3.3 Modernizace stávající osvětlovací soustavy

Vybavení interiéru truhlárny částečně cloní, a proto v některých bodech srovnávací roviny jsou hodnoty nižší, než požaduje norma. Vypočtená rovnoměrnost osvětlenosti celé haly zde proto nespĺňuje požadavky normy. Jelikož se však umělé osvětlení hodnotí většinou bez vybavení interiéru, tak navržená osvětlovací soustava splňuje všechny požadované hodnoty definované normou, jak je vidět na všech následujících simulacích osvětlovacích soustav bez vybavení haly.

#### 5.3.3.1 První varianta návrhu

Modernizace vychází z původní osvětlovací soustavy. Jsou zde čtyři řady svítidel. V pravé řadě byla zvýšena rozteč na jeden metr mezi svítidly a v prostřední řadě bylo každé druhé svítidlo odebráno. Mezi těmito řadami byla vytvořena ještě jedna řada svítidel. Všechny dosud popsaná svítidla jsou stejná jako v minulé soustavě, tedy Modus PL7000L2W4. Levá řada svítidel byla posunuta o 0,7 m směrem k okenní stěně. Navíc byla přidána svítidla i nad příčně položené montážní stoly. Zde jsou použita úspornější svítidla Modus PL5000M2W4, z důvodu nižší potřeby osvětlenosti nad montážními pulty a truhlářskými holicemi. Obrázek tohoto svítidla je v Příloze III. Tyto svítidla mají příkon 40 W, jejich světelný tok je 5 500 lm. Další parametry, jako teplota chromatičnosti a index podání barev, jsou shodné se silnějším svítidlem PL7000L2W4. Nicméně jsou o 0,3 m kratší, měří na délku 1,275 m. Aby se eliminovala nízká osvětlenost u vstupních dveří, bylo přidáno ke každým vstupním dveřím příčně položené svítidlo typu PL7000L2W4. Celá soustava je zobrazena na Obr. 34 a na Obr. 35, obsahuje 64 svítidel a její celkový příkon činí 3 463 W.





**Obr. 34. Pohled na modernizovanou osvětlovací soustavu**



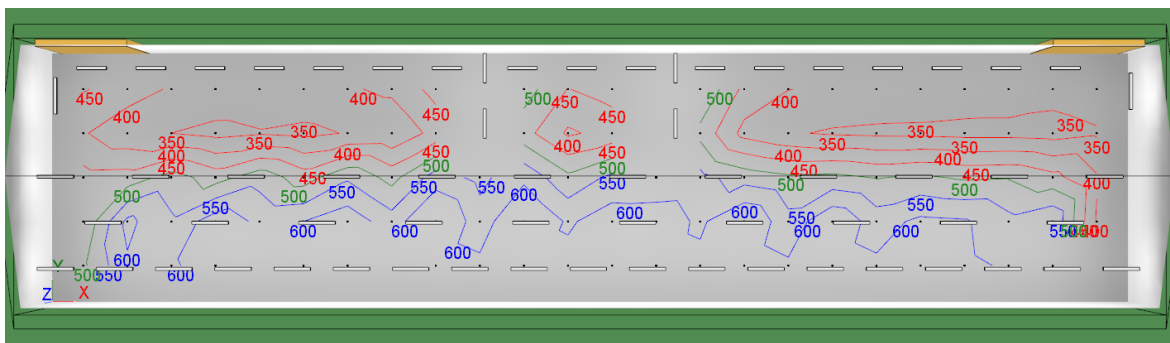
**Obr. 35. Pohled na modernizovanou osvětlovací soustavu**

Nejprve byla provedena simulace v prázdné budově s rovnoměrně rozloženou soustavou kontrolních bodů. Vše je vidět na Obr. 37. Rovnoměrnost osvětlení zde vychází 0,66 a udržovaná osvětlenost pro celou halu je 501 lx (Obr. 36). Poté bylo do stejné sítě kontrolních bodů přidáno všechno strojní vybavení i truhlářské hoblice a montážní stoly.

Simulace je vidět na Obr. 39. Udržovaná osvětlenost zde činí 495 lx pro celou halu a rovnoměrnost je 0,43 (Obr. 38). Červená čísla na těchto obrázcích značí nevyhovující hodnoty, protože pro celou halu byla nastavena minimální osvětlenost 500 lx, nicméně v části s montážními pulty stačí dle normy pouze 300 lx.

Název <input type="text"/>	Minimální hodnota	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Rovnoměrnost
<b>truhlárna - Podlaží 1 - hala</b>				
Normálová osvětlenost	329 lx	501 / 500 lx ✓	663 lx	0,66

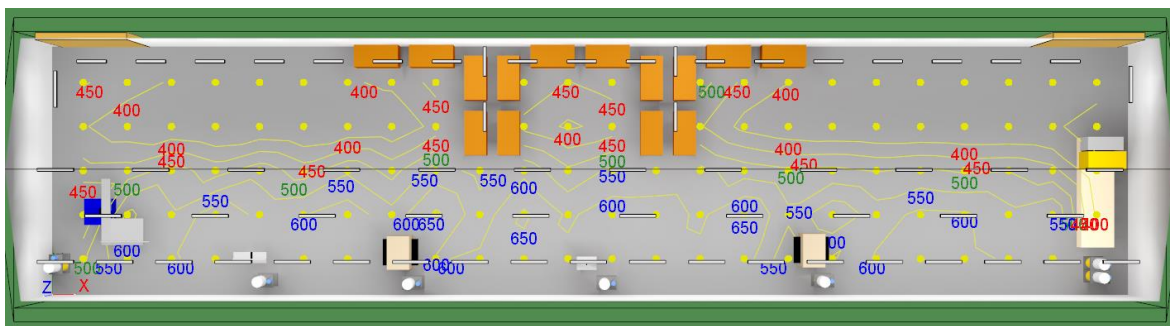
Obr. 36. Výsledky k Obrázku 37



Obr. 37. Simulace modernizace s prázdnou truhlárnou s výsledky

Název <input type="text"/>	Minimální hodnota	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Rovnoměrnost
<b>truhlárna - Podlaží 1 - hala</b>				
Normálová osvětlenost	213 lx	495 / 500 lx !	660 lx	0,43

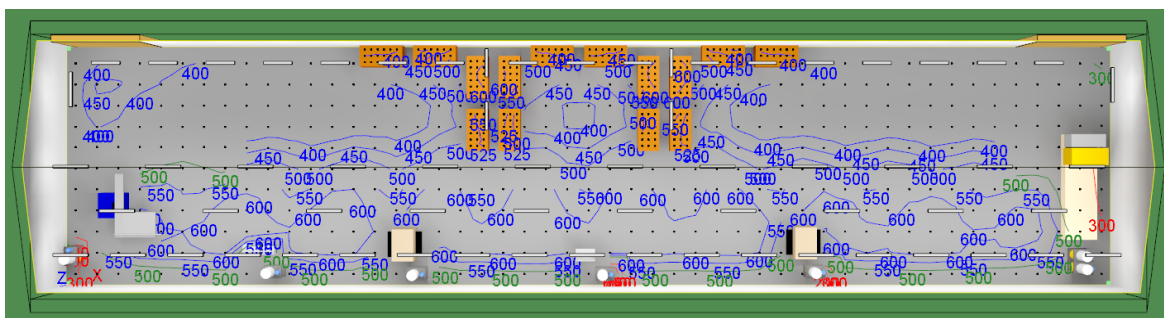
Obr. 38. Výsledky k Obrázku 39



Obr. 39. Simulace modernizace s plně vybavenou truhlárnou s výsledky

Naposled byla provedena simulace s podrobnou sítí kontrolních bodů stejně rozmístěných jako v předchozích osvětlovacích soustavách. Tato simulace je vidět na

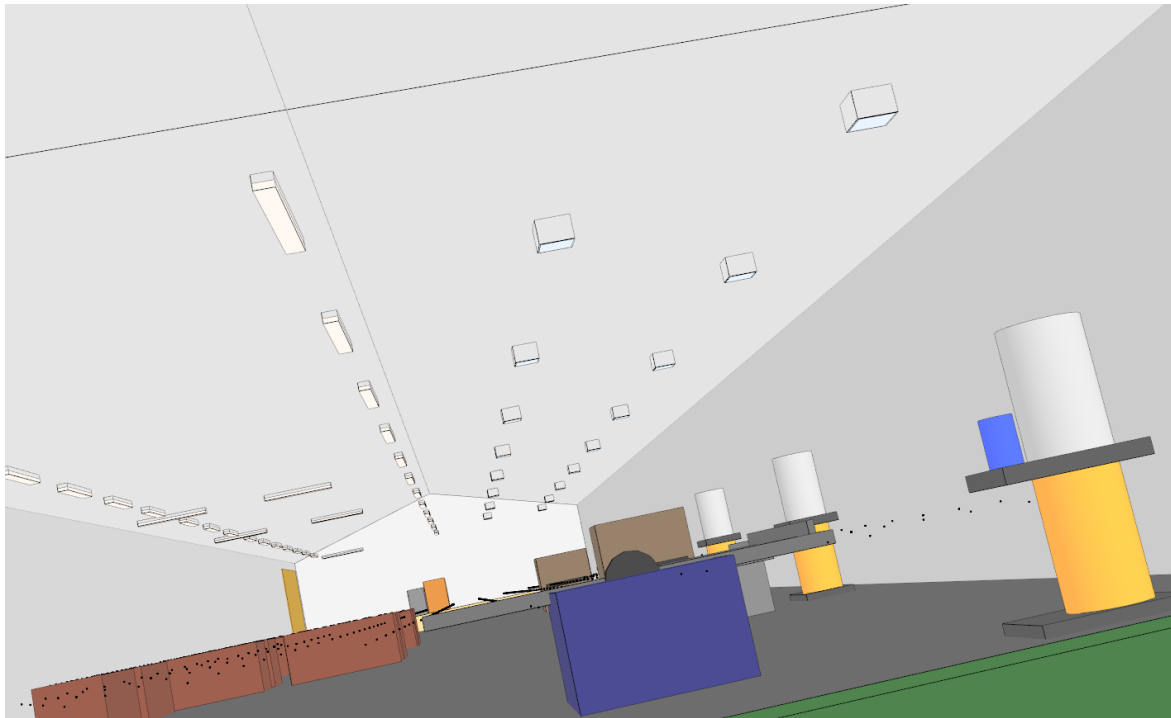
Obr. 40. Podrobné výsledky této simulace jsou v Příloze VI. V části s výrobními pulty byla nastavena minimální osvětlenost 300 lx. Je vidět, že toto bylo splněno i s méně výkonnými svítidly. Rovnoměrnost osvětlení v této části činí 0,68 a udržovaná osvětlenost je 419 lx. Nedostatečná osvětlenost u vstupních dveří byla eliminována. Ve strojové části byla dle normy nastavena minimální osvětlenost 500 lx. I zde toto bylo splněno, červené části jsou jen výsledkem stínění několika málo bodů, které jsou u mobilních odsávacích jednotek. V tomto případě je udržovaná osvětlenost 530 lx a rovnoměrnost jen 0,06, nicméně tento výsledek je nepřesný z důvodu špatného rozložení bodů u některých odsávacích zařízení.



**Obr. 40. Simulace modernizace haly s plně vybavenou truhlárnou**

### 5.3.3.2 Druhá varianta návrhu

U této varianty zůstala část osvětlovací soustavy, kde jsou montážní pulty a truhlářské hoblice, stejná jako u předchozí varianty. I řada svítidel ve středu haly zůstala stejná. Nicméně nad strojovou částí vznikly dvě nové řady svítidel. Jsou zde použity typy OS100PC4S4 od firmy Modus. Jedná se o čtvercové reflektory se stupněm krytí IP65, jejichž příkon činí 87 W, světelný tok 11 600 lm, teplota chromatičnosti 4 000 K a index podání barev  $R_a \geq 80$ . Obrázek tohoto svítidla je v Příloze III. Na Obr. 41 je vidět jejich rozestavění. Je zde rozestavěno 17 reflektorů. Celkově je v této variantě použito 52 svítidel o celkovém příkonu 3 173 W.

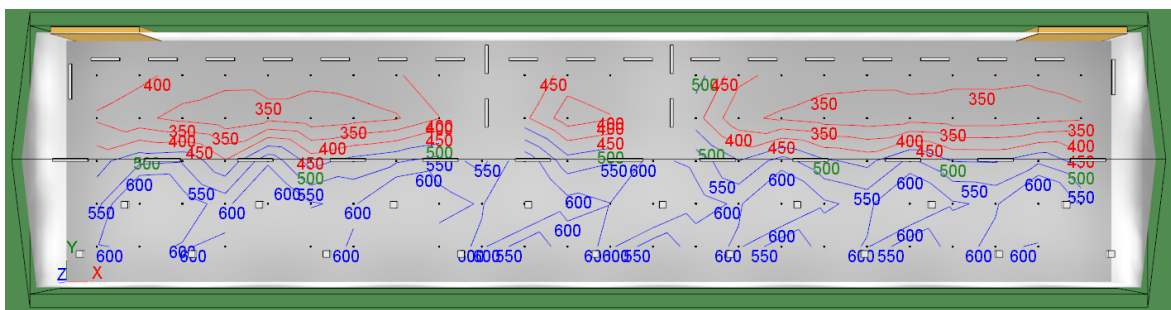


**Obr. 41. Rozestavění svítidel u varianty č. 2**


Na Obr. 43 a Obr. 45 je vidět simulace se sítí kontrolních bodů rovnoměrně rozestavených pro celou truhlárnu. Pro prázdnou halu vychází udržovaná osvětlenost 502 lx a rovnoměrnost osvětlení 0,63 (Obr. 42). Pro halu plnou zařízení je udržovaná osvětlenost 496 lx a rovnoměrnost 0,42 (Obr. 44).

Název <input type="text"/>	Minimální hodnota	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Rovnoměrnost
truhlárna - Podlaží 1 - hala				
Normálová osvětlenost	314 lx	502 / 500 lx ✓	728 lx	0,63

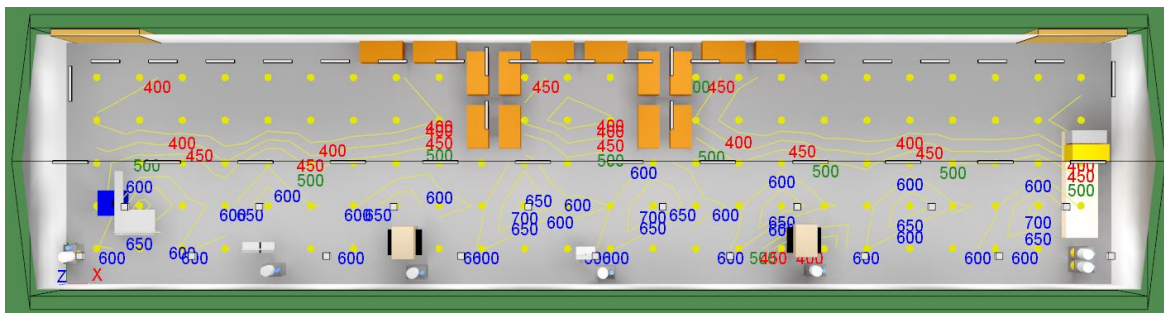
**Obr. 42. Výsledky k Obrázku 43**



**Obr. 43. Simulace druhé varianty modernizace s výsledky**

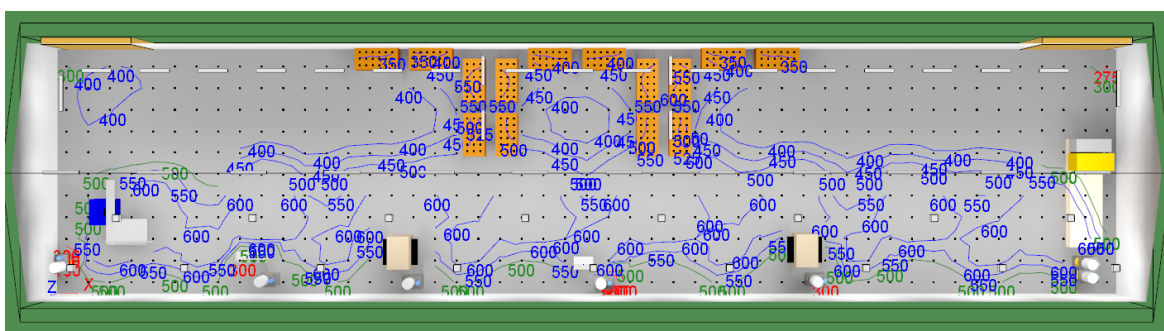
Název	Minimální hodnota	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Rovnoměrnost
truhlárna - Podlaží 1 - hala				
Normálová osvětlenost	208 lx	496 / 500 lx 	726 lx	0,42

Obr. 44. Výsledky k Obrázku 45



Obr. 45. Simulace s vybavenou halou

Stejně jako u všech předchozích osvětlovacích soustav i zde byla provedena simulace (Obr. 46) s podrobnými sítěmi kontrolních bodů, rozdělených podle požadavků na minimální osvětlenost. Jelikož se v části s montážními stoly a truhlářskými hoblicemi nezměnily svítidla oproti první variantě, nevychází tady velké změny. Udržovaná osvětlenost je 408 lx a rovnoměrnost 0,66. V části se strojním vybavením vychází udržovaná osvětlenost 538 lx. Rovnoměrnost osvětlení je stejná jako u první varianty a to 0,06. Podrobné výsledky jsou uvedeny v Příloze VII. Tato varianta osvětlovací soustavy má nejnižší příkon a je tedy energeticky nejvýhodnější.



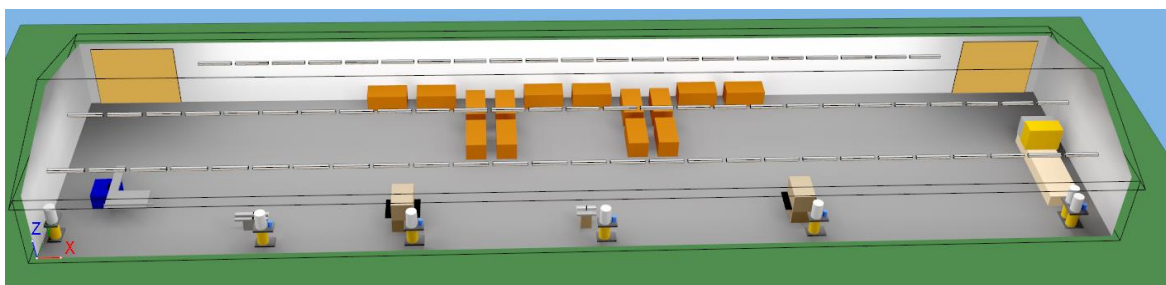
Obr. 46. Simulace plně vybavené truhlárny s podrobnou sítí kontrolních bodů

## 5.4 Souhrn základních parametrů uvedených osvětlovacích soustav

Níže je uveden přehled základních parametrů všech osvětlovacích soustav. Teplota chromatičnosti je u všech soustav 4 000 K. Nicméně by bylo dobré použít světelné zdroje s teplotou chromatičnosti 5 000 K a více neboť to působí povzbudivě na psychiku.

### 5.4.1 Původní osvětlovací soustava

Původní osvětlovací soustava je znázorněna na Obr. 47 a její charakteristické vlastnosti jsou shrnuty v Tab. 6.



Obr. 47. Původní osvětlovací soustava

Tab. 6. Základní parametry původní zářivkové osvětlovací soustavy

Typ svítidla	Kanlux DIGHT-258/PS 2x58W/EVG
Příkon svítidla (W)	2 x 58
Počet svítidel v soustavě	75
Rozměry svítidla (mm)	1 565 x 133 x 100
Třída ochrany	IP65
Typ světelného zdroje	Philips Master Super 80 TL-D 58W/840
Příkon světelného zdroje (W)	58
Světelný tok	5 200
Počet světelných zdrojů v soustavě	150
Měrný výkon světelného zdroje (lm/W)	90
Životnost (h)	20 000
Teplota chromatičnosti (K)	4 000
Celkový příkon soustavy (W)	8 700

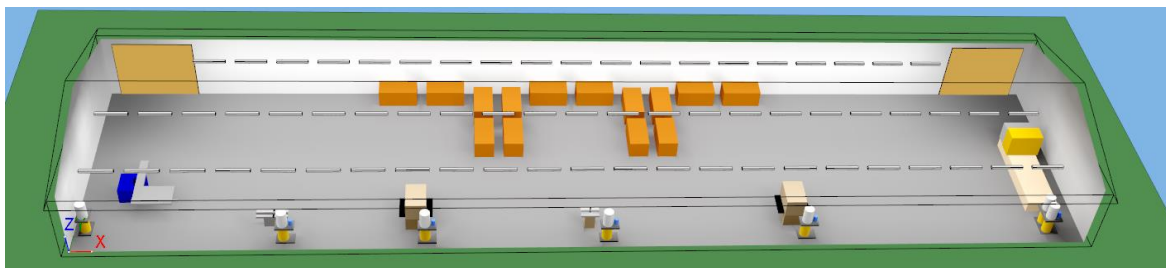
Tato soustava je nejvíce náročná na spotřebu elektrické energie. I životnost světelných zdrojů je zde nejnižší ze všech posuzovaných variant řešení, ale celkový světelný tok je nejvyšší a to 780 klm. Při simulaci se síti kontrolních bodů rozdělených podle normy, vyšla



průměrná hodnota osvětlenosti 561 lx v části je stroji i v části s montážními pulty. Rovnoměrnost byla 0,056 v části se stroji a v části s pulty byla 0,17.

#### 5.4.2 Nová osvětlovací soustava

Nová osvětlovací soustava, která je v současné době využívána k osvětlování haly truhlárny je vidět na Obr. 48 a její základní parametry jsou dány Tab. 7.



Obr. 48. Nová osvětlovací soustava

Tab. 7. Základní parametry nové LED osvětlovací soustavy

Typ svítidla	Modus PL7000L2W4
Příkon svítidla (W)	61
Počet svítidel v soustavě	65
Rozměry svítidla (mm)	1 575 x 135 x 100
Třída ochrany	IP65
Světelný tok	7 700
Měrný výkon svítidla (lm/W)	126
Životnost (h)	50 000
Teplota chromatičnosti (K)	4 000
Celkový příkon soustavy (W)	3 965

Tato soustava je ve spotřebě na předposledním místě, nicméně oproti původní osvětlovací soustavě, která má nejvyšší instalovaný příkon, je o více než polovinu úspornější, viz porovnání celkových příkonů z Tab. 6 a Tab. 7. Celkový světelný tok je 500,5 klm. V části se stroji vyšla udržovaná osvětlenost 550 lx (rovnoměrnost 0,042) a v části s montážními pulty vyšla 558 lx a rovnoměrnost byla 0,13.

### 5.4.3 Modernizace osvětlovací soustavy – první varianta

První uvažovaný návrh na zlepšení současné osvětlovací soustavy je prezentován na Obr. 49. Jak je zřejmé z Tab. 8 v návrhu osvětlovací soustavy jsou použity dva odlišné typy svítidel a světelných zdrojů, jejichž vlastnosti jsou shrnuty v této tabulce.



Obr. 49. Modernizace osvětlovací soustavy - první varianta

Tab. 8. Základní parametry první varianty modernizace

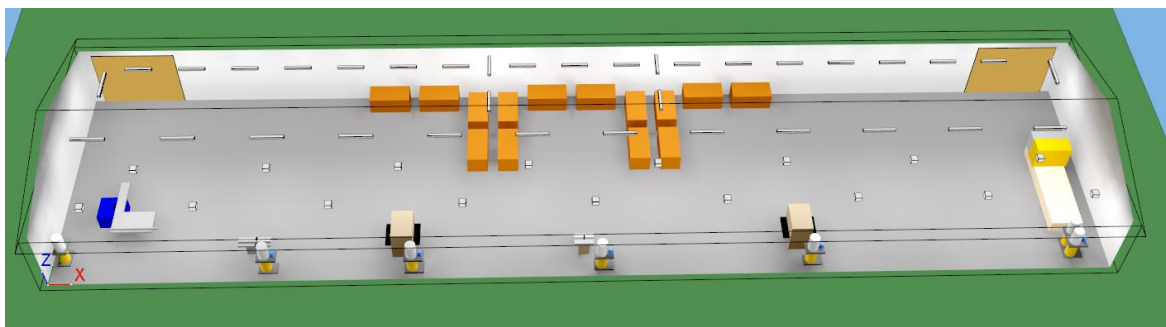
Typ svítidla	Modus PL7000L2W4	Modus PL5000M2W4
Příkon svítidla (W)	61	40
Počet svítidel v soustavě	43	21
Rozměry svítidla (mm)	1 575 x 135 x 100	1 275 x 135 x 100
Třída ochrany	IP65	IP65
Světelný tok (lm)	7 700	5 500
Měrný výkon svítidla (lm/W)	126	137,5
Životnost (h)	50 000	50 000
Teplota chromatičnosti (K)	4 000	4 000
Celkový příkon jednotlivých druhů svítidel (W)	2 623	840
Celkový počet svítidel	64	
Celkový příkon soustavy (W)	3 463	

Tato soustava je druhá nejušpornější, celkový světelný tok je 446,6 klm. V části se stojí je udržovaná osvětlenost 530 lx, rovnoměrnost 0,062 a v části s truhlářskými holicemi vyšla udržovaná osvětlenost 419 lx a rovnoměrnost činí 0,68.



#### 5.4.4 Modernizace osvětlovací soustavy – druhá varianta

Druhá navrhovaná varianta osvětlovací soustavy je na Obr. 50, jak je vidět z obrázku a Tab. 9 je tato osvětlovací soustava sestavena ze tří typů svítidel a světelných zdrojů.



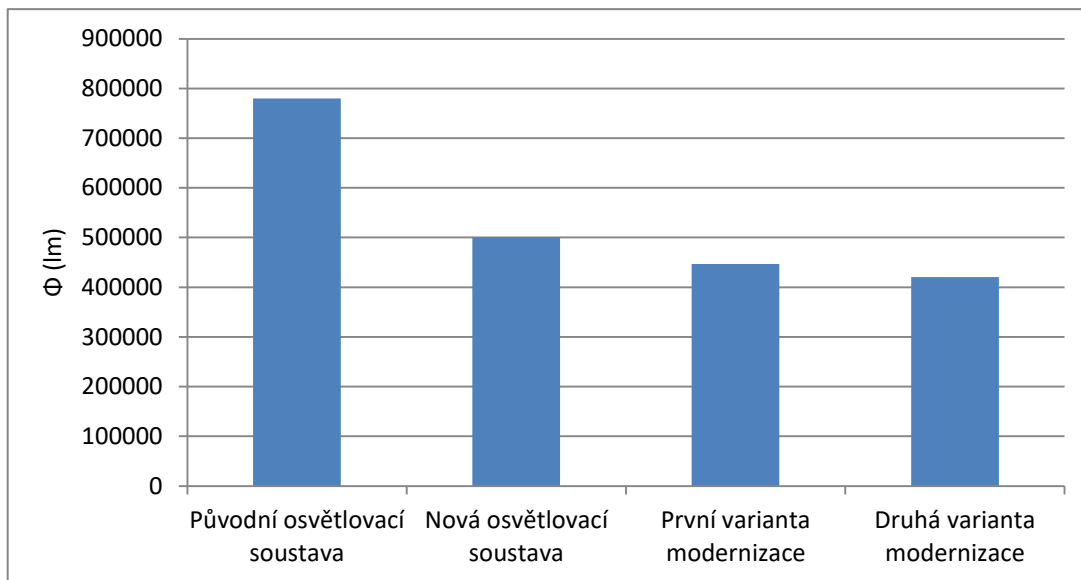
Obr. 50. Modernizace osvětlovací soustavy – druhá varianta

Tab. 9. Základní parametry druhé varianty modernizace

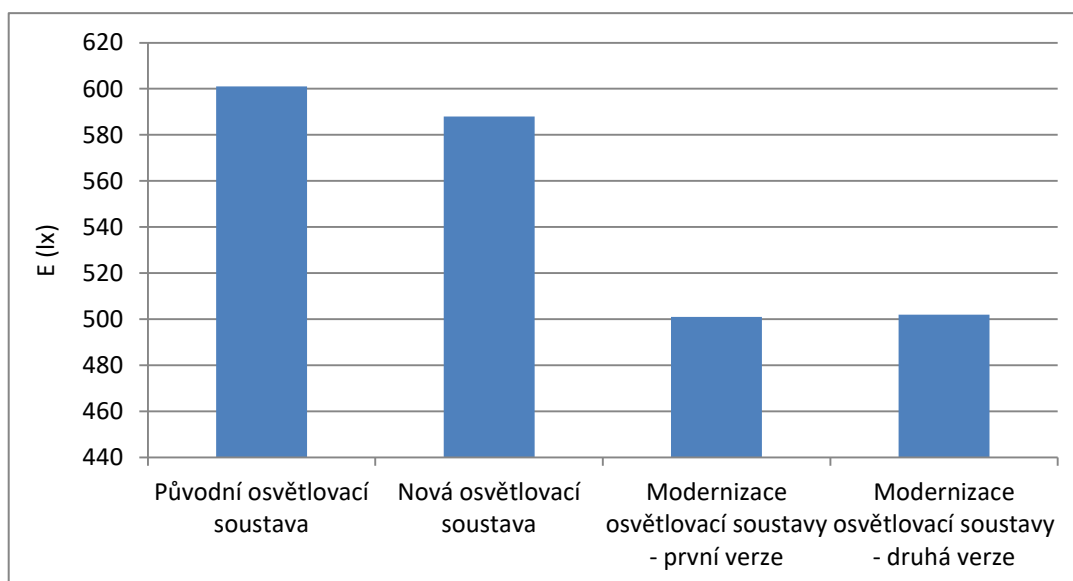
Typ svítidla	Modus PL7000L2W4	Modus PL5000M2W4	Modus OS100PC4S4
Příkon svítidla (W)	61	40	87
Počet svítidel v soustavě	14	21	17
Rozměry svítidla (mm)	1 575 x 135 x 100	1 275 x 135 x 100	312 x 312 x 243
Třída ochrany	IP65	IP65	IP65
Světelný tok (lm)	7 700	5 500	11 600
Měrný výkon svítidla (lm/W)	126	137,5	133,3
Životnost (h)	50 000	50 000	50 000
Teplota chromatičnosti (K)	4 000	4 000	4 000
Celkový příkon jednotlivých druhů svítidel (W)	854	840	1 479
Celkový počet svítidel	52		
Celkový příkon soustavy (W)	3 173		

Tato soustava je nejušpornější ze všech porovnávaných osvětlovacích soustav, ale její celkový světelný tok je nejnižší a to 420,5 klm. Udržovaná osvětlenost v části se stroji je 538 lx a rovnoměrnost je 0,059. V části s truhlářskými hoblicemi je udržovaná osvětlenost 408 lx a rovnoměrnost je 0,66.

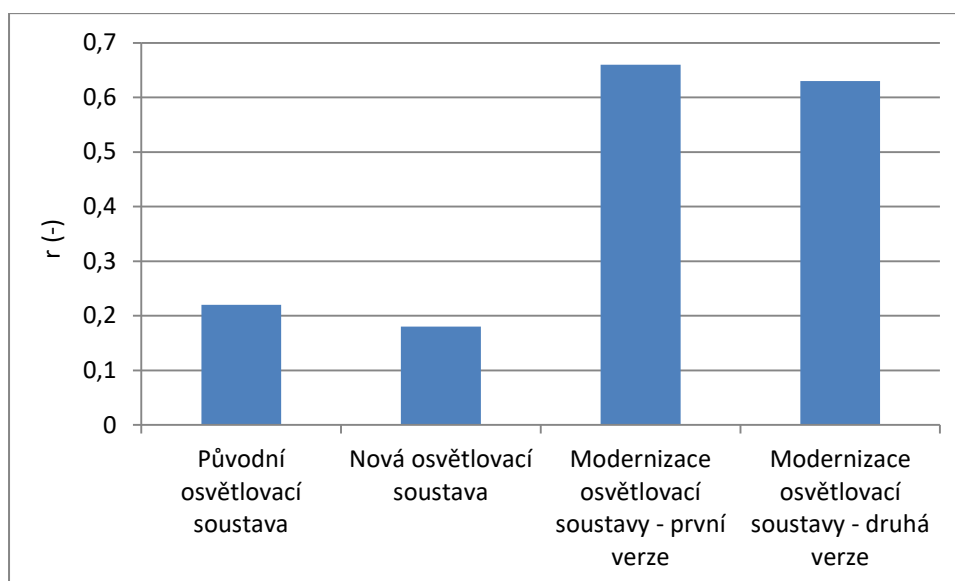
Na Obr. 51 je graf, který porovnává celkové světelné toky jednotlivých osvětlovacích soustav. Graf, který je na Obr. 52 porovnává průměrné hodnoty osvětlenosti naměřené v prázdné hale, zatímco graf na Obr. 53 ukazuje, jaká byla rovnoměrnost této osvětlenosti.



**Obr. 51. Graf celkového instalovaného světelného toku osvětlovacích soustav**



**Obr. 52. Graf průměrné osvětlenosti osvětlovacích soustav v prázdné hale**



**Obr. 53. Graf rovnoměrnosti osvětlení osvětlovacích soustav prázdné haly**

## 6 Energetické a ekonomické zhodnocení

Základní parametry svítidel, které jsou použity v jednotlivých osvětlovacích soustavách, jsou uvedeny v kapitole 5.4. Pro názornost jsou následující příklady výpočtů provedeny pro novou, tzn. stávající osvětlovací soustavu.

### 6.1 Energetické zhodnocení

Výsledky ekonomického zhodnocení všech posuzovaných osvětlovacích soustav jsou shrnuty v Tab. 10. Ve výpočtech se předpokládá osmihodinová pracovní doba s nepřetržitým svícením. Uvažovaný počet pracovních dnů v roce je 250 dní. Výpočet výsledného množství spotřebované elektrické energie je ukázaný na příkladu stávající používané osvětlovací soustavy viz rovnice (15) až (18).

#### Celkový příkon osvětlovací soustavy

Celkový příkon osvětlovací soustavy  $P_C$  je dán součinem příkonu jednotlivých svítidel  $P_K$  a množstvím svítidel v soustavě  $n_K$ .

$$P_C = n_K \cdot P_K \text{ (kW; -, kW)} \quad (15)$$

$$P_C = 65 \cdot 0,061 = 3,965 \text{ kW} \quad (16)$$

#### Množství spotřebované energie za rok

Součin celkového příkonu osvětlovací soustavy  $P_C$ , denního provozu soustavy  $t_d$  a ročního provozu soustavy  $t_r$  vyjadřuje množství spotřebované energie za rok  $E_{spotr}$ .

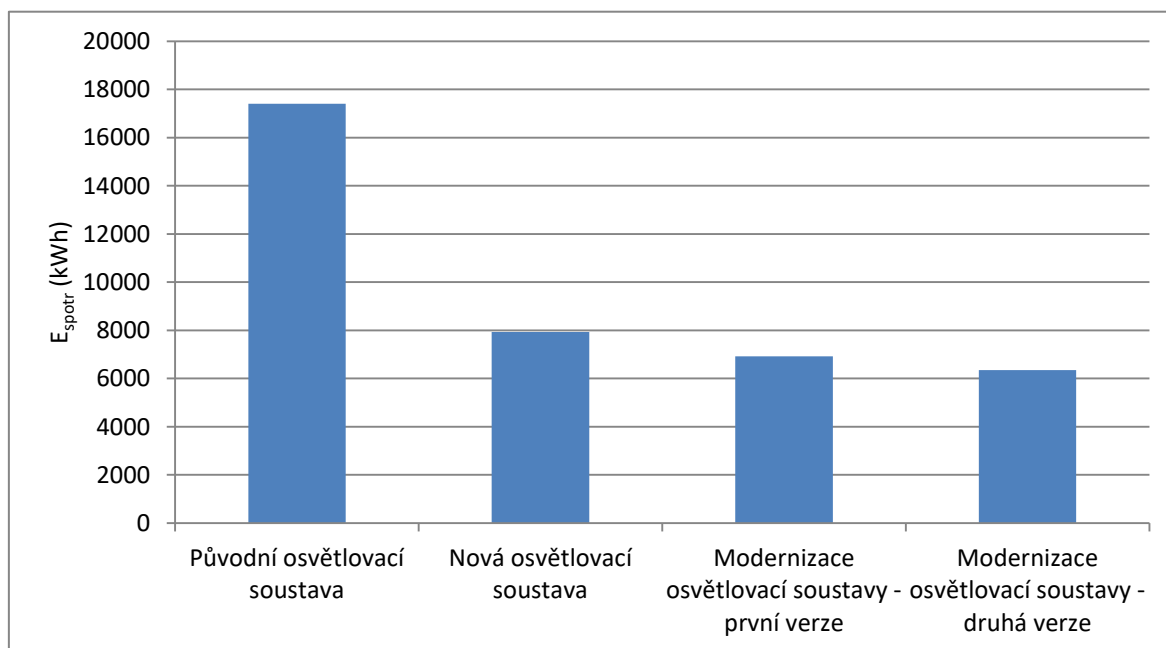
$$E_{spotr} = (P_C \cdot t_d) \cdot t_r \text{ (kWh; kW, hod, dny)} \quad (17)$$

$$E_{spotr} = (3,965 \cdot 8) \cdot 250 = 7\,930 \text{ kWh} \quad (18)$$

Tab. 10. Energetické zhodnocení všech osvětlovacích soustav

	Původní osvětlovací soustava	Nová osvětlovací soustava	Modernizace osvětlovací soustavy - první verze	Modernizace osvětlovací soustavy - druhá verze
<b>Celkový příkon osvětlovací soustavy <math>P_c</math> (kW)</b>	8,7	3,965	3,463	3,173
<b>Doba provozu za den <math>t_d</math> (h)</b>	8	8	8	8
<b>Množství spotřebované energie za rok <math>E_{spotr}</math> (kWh)</b>	17 400	7 930	6 926	6 346

Jak je vidět z Tab. 10 a z grafu na Obr. 54, nejvyšší spotřebu měla původní osvětlovací soustava se zářivkami, naopak nejnižší spotřebu má druhá verze modernizace. Nicméně všechny osvětlovací soustavy s LED osvětlením vykazují výraznou energetickou úsporu oproti zářivkovému osvětlení. Toto samozřejmě souvisí i množstvím světelného toku jednotlivých osvětlovacích soustav, viz Obr. 51 v kapitole 5.4.



Obr. 54. Množství spotřebované energie za rok

## 6.2 Ekonomické zhodnocení

Ceny použitých svítidel jsou uvedeny v Tab. 11. LED svítidla od firmy Modus obsahují již integrované LED pásy s čipy, tudíž svítidlo a světelný zdroj se zde bere jako celek. Zářivkové svítidlo od firmy Kanlux je ovšem bez světelných zdrojů, proto se ještě ke každému svítidlu musí koupit dvě zářivky Philips Master Super 80 TL-D 58W/840 za cenu 79 Kč za kus.

**Tab. 11. Ceny svítidel použitých v osvětlovacích soustavách**

Typ svítidla	Cena vč. DPH
Kanlux DICHT-258/PS 2x58W/EVG	689,00 Kč
Modus PL7000L2W4	2 662,00 Kč
Modus PL5000M2W4	2 541,00 Kč
Modus OS100PC4S4	5 990,00 Kč

Podle zdroje [32] byla určena cena elektrické energie 3,71 Kč za 1 kWh. Všechny uvedené vzorce a výpočty týkající se ekonomického zhodnocení nezahrnují náklady na montáž. Výsledky výpočtů jsou uvedeny v Tab. 12. Opět jako u energetického zhodnocení osvětlovacích soustav, tak i zde je pro názornost uveden příklad výpočtu pro novou (stávající) umělou osvětlovací soustavu truhlárny.

### Celkové pořizovací náklady

Celkové pořizovací náklady  $I_N$  jsou dány součtem ceny svítidla  $N_{pK}$  a ceny světelných zdrojů ve svítidle  $N_{zK}$ , který je vynásoben počtem svítidel v soustavě  $n_K$ .

$$I_N = (N_{pK} + N_{zK}) \cdot n_K \text{ (Kč; Kč, Kč)} \quad (19)$$

$$I_N = (2\,662 + 0) \cdot 65 = 173\,030 \text{ Kč} \quad (20)$$

### Náklady na energii za rok

Náklady na energii za rok  $N_{E/r}$  lze vyjádřit součinem roční spotřebované energie  $E_{spotr}$  a cenou jedné kWh, která se značí  $N_E$ .

$$N_{E/r} = E_{spotr} \cdot N_E (K\check{c}; kWh, K\check{c} \cdot kWh^{-1}) \quad (21)$$

$$N_{E/r} = 7\,930 \cdot 3,71 = 29\,420,3 \text{ K}\check{c} \quad (22)$$

### Poměrná životnost za rok

Součin ročního provozu soustavy  $t_r$  a denního provozu soustavy  $t_d$ , který je vydělen životností světelného zdroje je poměrná životnost za rok  $t_{pz}$ .

$$t_{pz} = \frac{t_r \cdot t_d}{t_z} \text{ (-; dny, hod, hod)} \quad (23)$$

$$t_{pz} = \frac{250 \cdot 8}{50\,000} = 0,04 \quad (24)$$

### Poměrné náklady za rok

Poměrné náklady za rok  $N_{z/r}$  jsou dány součinem poměrné životnosti za rok  $t_{pz}$ , cenou světelných zdrojů ve svítidle  $N_{zK}$ , počtem světelných zdrojů ve svítidle  $n_z$  a počtem svítidel v soustavě  $n_K$ .

$$N_{z/r} = t_{pz} \cdot N_{zK} \cdot n_z \cdot n_K (K\check{c}; -, K\check{c}, -, -) \quad (25)$$

$$N_{z/r} = 0,04 \cdot 2\,662 \cdot 1 \cdot 65 = 6\,921,2 \text{ K}\check{c} \quad (26)$$

### Celkové náklady na výměnu zdrojů za rok

Celkové náklady na výměnu zdrojů za rok  $N_{vz/r}$  lze vyjádřit součinem poměrné životnosti za rok  $t_{pz}$ , nákladů na výměnu zdroje ve svítidle  $N_{vz}$  a počtem svítidel v soustavě  $n_K$ .

$$N_{vz/r} = t_{pz} \cdot N_{vz} \cdot n_K (K\check{c}; -, K\check{c}, -) \quad (27)$$

$$N_{vz/r} = 0,04 \cdot 2\,662 \cdot 65 = 6\,921,2 \text{ K}\check{c} \quad (28)$$

**Celkové náklady na provoz za rok**

Součet nákladů na energii za rok  $N_{E/r}$ , celkových nákladů na výměnu zdrojů za rok  $N_{vz/r}$  a poměrných nákladů za rok  $N_{z/r}$  vyjádří celkové náklady na provoz za rok  $N_{prov/r}$ .

$$N_{prov/r} = N_{E/r} + N_{vz/r} + N_{z/r} \text{ (Kč; Kč, Kč, Kč)} \quad (29)$$

$$N_{prov/r} = 29420,3 + 6921,2 + 6921,2 = 43\,262,7 \text{ Kč} \quad (30)$$

**Tab. 12. Ekonomické zhodnocení všech osvětlovacích soustav**

	<b>Původní osvětlovací soustava</b>	<b>Nová osvětlovací soustava</b>	<b>Modernizace osvětlovací soustavy - první verze</b>	<b>Modernizace osvětlovací soustavy - druhá verze</b>
<b>Celkové pořizovací náklady <math>I_N</math> (Kč)</b>	63 525,00	173 030,00	167 827,00	192 459,00
<b>Náklady na energii za rok <math>N_{E/r}</math> (Kč)</b>	64 554,00	29 420,30	25 695,46	23 543,66
<b>Poměrná životnost za rok <math>t_{pz}</math> (-)</b>	0,10	0,04	0,04	0,04
<b>Poměrné náklady za rok <math>N_{z/r}</math> (Kč)</b>	1 185,00	6 921,20	6 713,08	7 698,36
<b>Celkové náklady na výměnu zdrojů za rok <math>N_{vz/r}</math> (Kč)</b>	592,50	6 921,20	6 713,08	7 698,36
<b>Celkové náklady na provoz za rok <math>N_{prov/r}</math> (Kč)</b>	66 331,50	43 262,70	39 121,62	38 940,38

Z výsledků uvedených v Tab. 12 vyplývá, že je poměrná životnost u všech osvětlovacích soustav stejná, jen u původní zářivkové osvětlovací soustavy je nižší z důvodu nižší životnosti světelných zdrojů. Poměrné náklady za rok a celkové náklady na výměnu zdrojů za rok jsou u původní osvětlovací soustavy nejnižší, nicméně nejvyšší náklady za rok na energii dělají z původní osvětlovací soustavy nejnákladnější osvětlovací soustavu. V Tab. 13 je uvedena úspora peněz na nákladech na provoz oproti původní



osvětlovací soustavě. Na Obr. 55 je tato úspora za jednotlivé roky graficky znázorněna. Příklad výpočtu finanční úspory za provoz stávající osvětlovací soustavy oproti původní osvětlovací soustavě je dán níže. Výsledné hodnoty jsou pouze orientační, neboť do výsledků není započítána inflace a cena elektrické energie se zde bere jako statická.

### Úspora peněz na nákladech za provoz oproti zářivkové osvětlovací soustavě

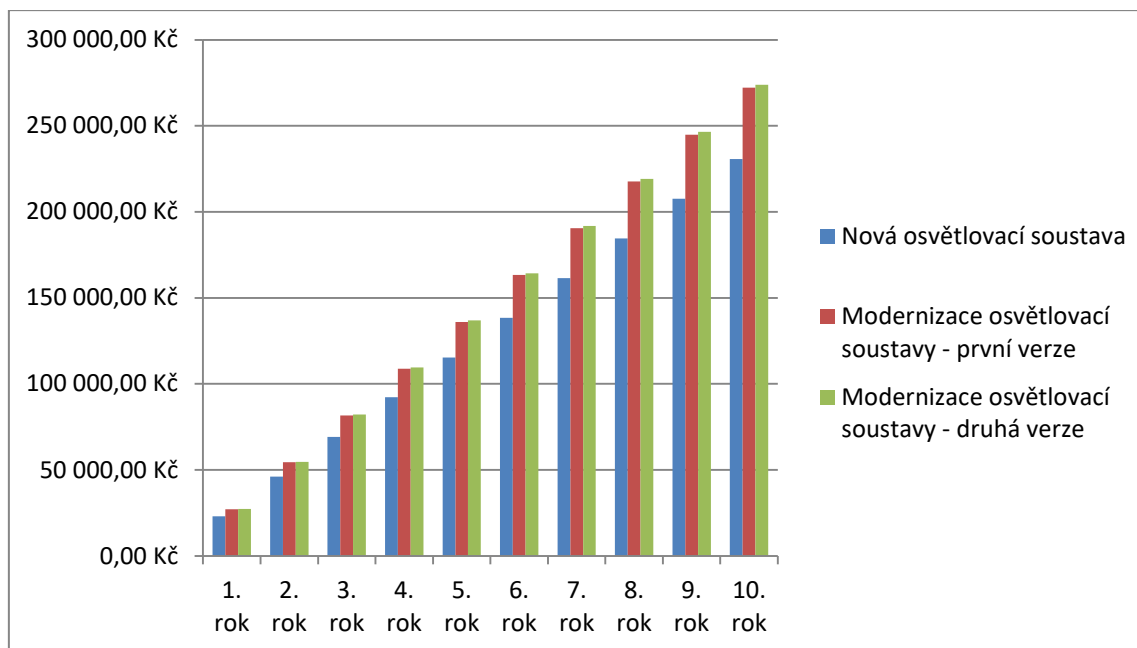
Úspora peněz na nákladech za provoz  $N_{prov/úspora}$  je dána rozdílem celkových ročních nákladů na provoz původní ( $N_{\frac{prov}{r}původní}$ ) a nové ( $N_{\frac{prov}{r}nová}$ ) osvětlovací soustavy, který je vynásoben počtem požadovaných let.

$$N_{prov/úspora} = \left( N_{\frac{prov}{r}původní} - N_{\frac{prov}{r}nová} \right) \cdot \text{počet let (Kč; Kč, Kč, roky)} \quad (31)$$

$$N_{prov/úspora} = (66\,331,5 - 43\,262,7) \cdot 1 = 23\,068,8 \text{ Kč} \quad (32)$$

**Tab. 13. Úspora peněz na nákladech za provoz oproti původní zářivkové osvětlovací soustavě za jednotlivé roky**

	1. rok	2. rok	3. rok	4. rok	5. rok
<b>Nová osvětlovací soustava (Kč)</b>	23 068,80	46 137,60	69 206,40	92 275,20	115 344,00
<b>Modernizace osvětlovací soustavy - první verze (Kč)</b>	27 209,88	54 419,76	81 629,64	108 839,52	136 049,40
<b>Modernizace osvětlovací soustavy - druhá verze (Kč)</b>	27 391,12	54 782,24	82 173,36	109 564,48	136 955,60
	6. rok	7. rok	8. rok	9. rok	10. rok
<b>Nová osvětlovací soustava (Kč)</b>	138 412,80	161 481,60	184 550,40	207 619,20	230 688,00
<b>Modernizace osvětlovací soustavy - první verze (Kč)</b>	163 259,28	190 469,16	217 679,04	244 888,92	272 098,80
<b>Modernizace osvětlovací soustavy - druhá verze (Kč)</b>	164 346,72	191 737,84	219 128,96	246 520,08	273 911,20



**Obr. 55. Úspora peněz jednotlivých osvětlovacích LED soustav oproti původní osvětlovací soustavě**

Pořizovací náklady jsou nejnižší u původní osvětlovací soustavy, nicméně tato soustava má nejvyšší spotřebu, a proto má také nejvyšší náklady na provoz. Po konečné ekonomické zhodnocení řešených osvětlovacích soustav jsou dále v grafu na Obr. 56 uvedeny výsledky výpočtu prosté doby návratnosti. Pro stávající osvětlovací soustavu je z rovnic (33) a (34) vidět, že nová osvětlovací soustava se díky úspoře na provozních nákladech oproti původní osvětlovací soustavě zaplatí za 7,5 roku.

#### Doba návratnosti z úspory peněz na nákladech za provoz

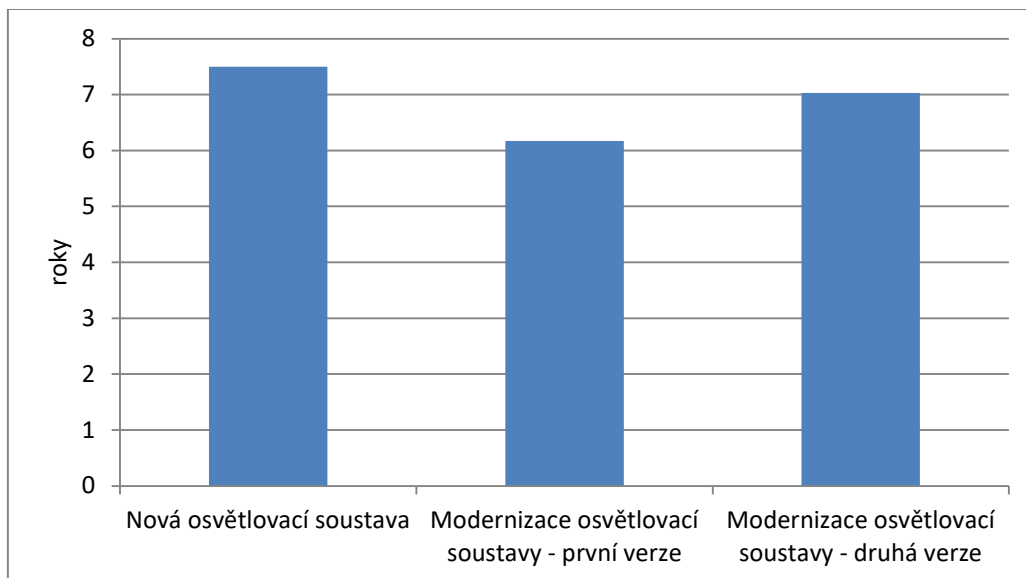
Dobu návratnosti  $t_n$  lze vyjádřit podílem celkových pořizovacích nákladů  $I_N$  a úsporou peněz na nákladech za provoz oproti zářivkové osvětlovací soustavě  $N_{prov/úspora}$ .

$$t_n = \frac{I_N}{N_{prov/úspora}} \text{ (roky; Kč, Kč) } \quad (33)$$

$$t_n = \frac{173\,030}{23\,068,8} = 7,5 \text{ roku} \quad (34)$$

Z Obr. 56 vyplývá, že první verze modernizace má nižší pořizovací náklady i nižší spotřebu, a proto se zaplatí již přibližně za 6 let a 63 dní. Druhá verze modernizace má provozní náklady ze všech osvětlovacích soustav nejnižší, nicméně pořizovací náklady

jsou nejvyšší. Tato soustava se zaplatí díky uspořeným nákladům oproti původní osvětlovací soustavě až přibližně za 7 let a 11 dní. Z důvodu nejvyšších pořizovacích nákladů a nízké úspore navíc oproti první variantě modernizace, není druhá verze modernizace tak ekonomicky výhodná jako první verze modernizace.



**Obr. 56. Doba návratnosti jednotlivých osvětlovacích soustav na úsporách na nákladech za provoz (roky)**

## Závěr

Cílem předložené bakalářské práce bylo zhodnotit původní a současnou osvětlovací soustavu v truhlárně společnosti Kuchyně KYPR s.r.o. sídlí ve Štáhlavech u Plzně a navrhnout modernizaci současné osvětlovací soustavy. První teoretické části bakalářské práce obsahují vysvětlení základní terminologie světelné techniky, stručný přehled využitelných světelných zdrojů a svítidel pro průmyslové objekty, požadavky na osvětlení průmyslových aplikačních oblastí a představení příslušné legislativy.

Druhá, stěžejní část, práce se zabývá simulacemi všech posuzovaných osvětlovacích soustav a jejich analýzou. Z výsledků vyplývá, že v truhlárně je nedostačující denní osvětlení, což se zjistilo ze simulace, a proto musí být neustále využito umělé osvětlení, aby byly zajištěny správné světelné podmínky. V práci jsou porovnávány čtyři varianty osvětlovacích soustav. Původní osvětlovací soustava se zářivkami je levná na pořízení, nicméně její spotřeba je velmi vysoká. Proto společnost realizovala novou osvětlovací soustavu s LED osvětlením. Pořizovací cena této soustavy je znatelně vyšší, zároveň je spotřeba o více než polovinu nižší. Na ušetřených nákladech za provoz se tato soustava zaplatí za 7 let a 6 měsíců.

Dále byly navrženy dvě varianty modernizace LED osvětlovací soustavy. Ačkoliv původní a stávající osvětlovací soustavy dosahují oproti oběma návrhům modernizace vyšší osvětlenosti, tak rovnoměrnost osvětlenosti je nízká. S ohledem na doporučené hodnoty normou byly navrženy dvě varianty osvětlovacích soustav, pomocí kterých je osvětlenost nižší, ale stále vyhovující dle normy. Hlavním přínosem obou návrhů z hlediska světelných podmínek a zajištění bezpečnosti práce je nárůst rovnoměrnosti osvětlení srovnávací roviny. Rovnoměrnost osvětlení velmi vzrostla v obou modernizovaných osvětlovacích soustavách. Spotřeba obou navržených osvětlovacích soustav je nižší než u původní a současné osvětlovací soustavy.

Pořizovací cena první modernizace LED soustavy je o 5 203 Kč nižší a zároveň je o 502 W nižší i její spotřeba. Druhá modernizace je o 19 429 Kč dražší, ale její spotřeba je nižší o 792 W. Z ekonomického hlediska se nejvíce vyplatí první verze modernizace. Její spotřeba sice není nejnižší, ale rozdíl oproti verzi s nejnižší spotřebou není tak velký. První verze vyniká nejnižší pořizovací cenou ze všech LED osvětlovacích soustav. Ve prospěch

druhé verze modernizace hovoří jenom roční úspora 181 Kč na nákladech na provoz oproti první verzi modernizace, nicméně rozdíl v pořizovací ceně mezi první a druhou verzí modernizace je 24 632 Kč a tudíž by se tento rozdíl za celý život osvětlovací soustavy nezaplátil.

S ohledem na všechny posuzované aspekty nejvýhodněji vychází první navrhovaná varianta modernizace.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] HABEL, Jiří. *Světlo a osvětlování*. Praha: FCC Public, 2013. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [2] SOKANSKÝ, Karel. *Světelná technika*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04941-9.
- [3] SOKANSKÝ, Karel a et al. ZÁKLADY ZÁKLADŮ SVĚTELNÉ TECHNIKY. *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*. Ostrava, 2007, , 38.
- [4] *Učíme v prostoru - vzdělávací 3D encyklopedie* [online] [cit. 18.04.2017]. Dostupné z: [http://uvp3d.cz/dum/wp-content/uploads/2014/07/UvP\\_ELEKTRO\\_EL9\\_001.png](http://uvp3d.cz/dum/wp-content/uploads/2014/07/UvP_ELEKTRO_EL9_001.png)
- [5] Světelné zdroje – obyčejné žárovky - Časopis Světlo - Odborné časopisy. *Odborné časopisy* [online]. Copyright © 2014 [cit. 20.02.2017]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/svetelne-zdroje-obycejne-zarovky--15861>
- [6] LINDA, Josef. *Elektrické světlo II*. Plzeň: Západočeská univerzita, 1995. ISBN 80-7082-167-1.
- [7] Světelné zdroje – halogenové žárovky - Časopis Světlo - Odborné časopisy. *Odborné časopisy* [online]. Copyright © 2014 [cit. 20.02.2017]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/svetelne-zdroje-halogenove-zarovky--15892>
- [8] *Svítidla osvětlení - M.T.Light* [online] [cit. 18.04.2017]. Dostupné z: <http://www.svitidla-osvetleni.biz/832-853-thickbox/halogenova-zarovka-mr-11c-35w30-ek-basic-kanlux.jpg>
- [9] Světelné zdroje – lineární zářivky - Časopis Světlo - Odborné časopisy. *Odborné časopisy* [online]. Copyright © 2014 [cit. 20.02.2017]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/svetelne-zdroje-linearni-zarivky--15796>
- [10] Světelné zdroje – nízkotlaké sodíkové výbojky - Časopis Světlo - Odborné časopisy. *Odborné časopisy* [online]. Copyright © 2014 [cit. 20.02.2017]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/svetelne-zdroje-nizkotlake-sodikove-vybojky--15758>
- [11] Světelné zdroje – halogenidové výbojky (část 1) - Časopis Světlo - Odborné časopisy. *Odborné časopisy* [online]. Copyright © 2014 [cit. 12.03.2017]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/svetelne-zdroje-halogenidove-vybojky-cast-1--15578>
- [12] Světelné zdroje – světelné diody - Časopis Světlo - Odborné časopisy. *Odborné časopisy* [online]. Copyright © 2014 [cit. 20.02.2017]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/svetelne-zdroje-svetelne-diody--15723>
- [13] *301 Moved Permanently* [online] [cit. 18.04.2017].. Dostupné z: [http://www.osram.cz/media/resource/hoverimage/osram-dam-340363/597742\\_rfcla40-4-w827-e27-clear.jpg](http://www.osram.cz/media/resource/hoverimage/osram-dam-340363/597742_rfcla40-4-w827-e27-clear.jpg)
- [14] IP krytí (norma krytí Ingress Protection) | Svět svítidel. ✨ *Svítidla a osvětlení - Svět svítidel* [online]. Copyright © 1990 [cit. 15.03.2017]. Dostupné z: <https://www.svet-svitidel.cz/novinky/detail/ip-kryti-norma-kryti-ingress-protection.htm>
- [15] PRACHO IP65. *ELEKTROSVIT Svatobořice, a.s.* [online] [cit. 24.04.2017]. Dostupné z:

- [http://www.elektrosvit.cz/index.php?route=product/product&path=65\\_83&product\\_id=94](http://www.elektrosvit.cz/index.php?route=product/product&path=65_83&product_id=94)
- [16] PRACHO IP54. ELEKTROSVIT Svatobořice, a.s. [online] [cit. 24.04.2017].  
Dostupné z: [http://www.elektrosvit.cz/index.php?route=product/product&path=65\\_83&product\\_id=95](http://www.elektrosvit.cz/index.php?route=product/product&path=65_83&product_id=95)
- [17] Vodotěsná trubicová svítidla IP68, architektonická, PRACHT. Průmyslová svítidla PRACHT [online]. Copyright © 2010 Všechna práva vyhrazena. [cit. 24.04.2017].  
Dostupné z: <http://www.prumyslovasvitidla.cz/products/vodotesna-trubicova-svitidla/>
- [18] PRIMA Ex | TREVOS. Průmyslová a interiérová svítidla TREVOS | TREVOS [online]. Copyright © Copyright 2015 TREVOS, a.s., all rights reserved [cit. 24.04.2017]. Dostupné z: <http://www.trevos.cz/prima-ex-p128347.htm>
- [19] PRIMA T8 ABS | TREVOS. Průmyslová a interiérová svítidla TREVOS | TREVOS [online]. Copyright © Copyright 2015 TREVOS, a.s., all rights reserved [cit. 24.04.2017]. Dostupné z: <http://www.trevos.cz/prima-t8-abs-p127325.htm>
- [20] Dostupné z: <http://www.elkovo-cepelik.cz/led-svitidla-typu-good-do-vyrobnich-rostoru> [cit. 24.04.2017]
- [21] Dostupné z: <http://www.elkovo-cepelik.cz/led-svitidla-typu-focus-do-vyrobnich-prostoru> [cit. 24.04.2017]
- [22] PRIMA LED MAX | TREVOS. Průmyslová a interiérová svítidla TREVOS | TREVOS [online]. Copyright © Copyright 2015 TREVOS, a.s., all rights reserved [cit. 24.04.2017]. Dostupné z: <http://www.trevos.cz/prima-led-max-p182575.htm>
- [23] O nás. ELEKTROSVIT Svatobořice, a.s. [online] [cit. 24.04.2017]. Dostupné z: <http://www.elektrosvit.cz/o-nas>
- [24] MINIMINEX. ELEKTROSVIT Svatobořice, a.s. [online] [cit. 24.04.2017].  
Dostupné z: [http://www.elektrosvit.cz/index.php?route=product/product&path=60\\_63&product\\_id=66](http://www.elektrosvit.cz/index.php?route=product/product&path=60_63&product_id=66)
- [25] PEGAS LED. ELEKTROSVIT Svatobořice, a.s. [online] [cit. 24.04.2017].  
Dostupné z: [http://www.elektrosvit.cz/index.php?route=product/product&path=65\\_84&product\\_id=139](http://www.elektrosvit.cz/index.php?route=product/product&path=65_84&product_id=139)
- [26] Svítidla pro výbušné prostředí PRACHT-ÄTNA (ETNA), EX svítidla. Průmyslová svítidla PRACHT [online]. Copyright © 2010 Všechna práva vyhrazena. [cit. 24.04.2017]. Dostupné z: <http://www.prumyslovasvitidla.cz/products/svitidla-pro-vybusne-prostredi/>
- [27] ČSN 73 0580-1: *Denní osvětlení budov - Část 1: Základní požadavky*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2007, 24 s.
- [28] ČSN 36 0020: *Sdružené osvětlení*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2007, 12 s.
- [29] ČSN EN 12464-1: *Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - Část 1: Vnitřní pracovní prostory*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [30] ČSN EN 1837+A1: *Bezpečnost strojních zařízení - Integrované osvětlení strojů*. 2010. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 16 s.
- [31] *TNI 36 0450: Rušivé oslnění při osvětlení vnitřních prostorů*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2004, 36 s.

- [32] Cena 1 kWh :: Srovnání cen energií 2017 > Energie123.cz. *Srovnání cen energií 2017 > Energie123.cz* [online]. Copyright © 2011 [cit. 01.06.2017]. Dostupné z: <http://www.energie123.cz/elektrina/ceny-elektricke-energie/cena-1-kwh/>
- [33] *Ventilátory, svítidla, elektromateriál* [online]. Copyright ©E [cit. 29.05.2017]. Dostupné z: [https://www.elektro-paloucek.cz/files/151111093932-dicht\\_pc\\_ps\\_karta\\_CZ.pdf](https://www.elektro-paloucek.cz/files/151111093932-dicht_pc_ps_karta_CZ.pdf)



## Seznam příloh

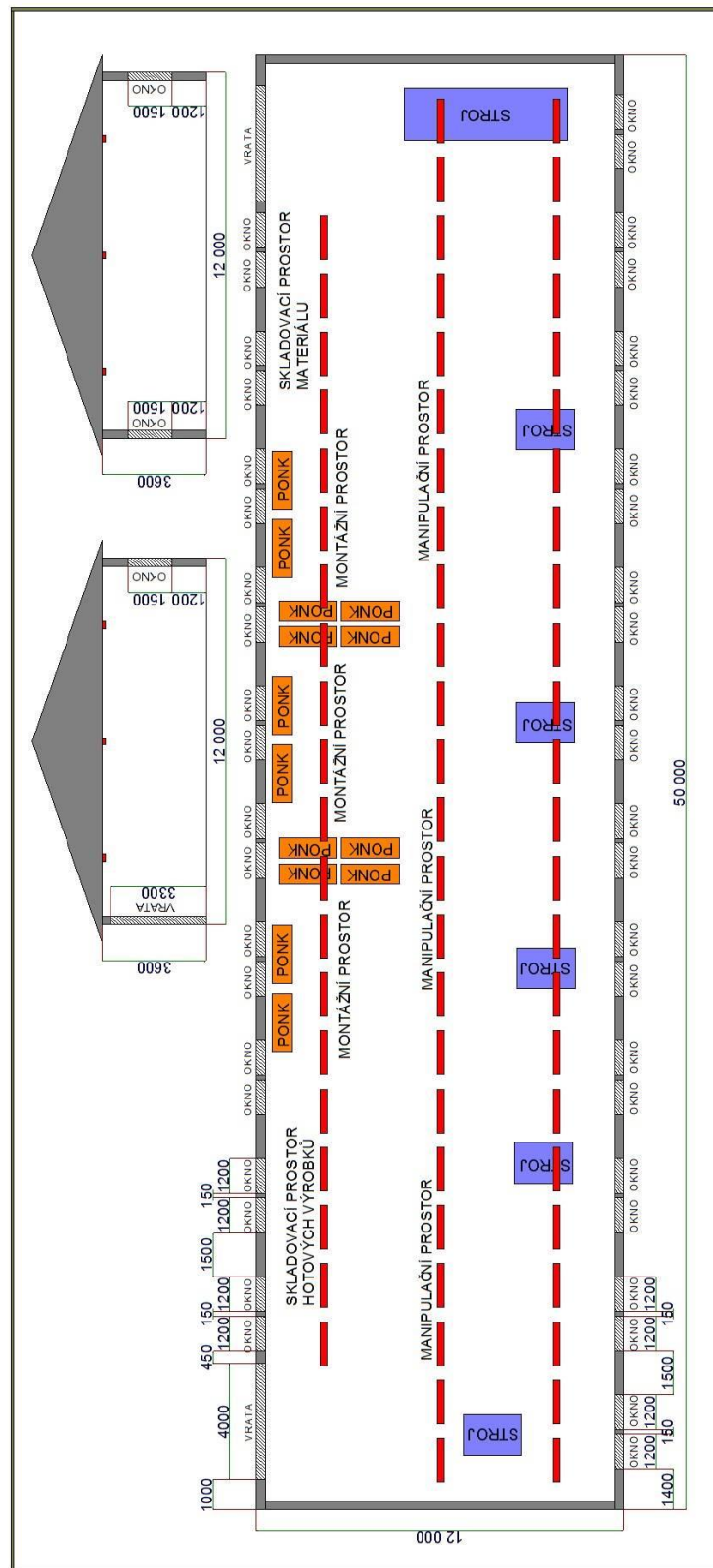
PŘÍLOHA I - TŘÍDY ZRAKOVÝCH ČINNOSTÍ A HODNOTY ČINITELE DENNÍ OSVĚTLENOSTI .....	1
PŘÍLOHA II - NÁKRES TRUHLÁRNY S ROZMĚRY .....	2
PŘÍLOHA III – SVÍTIDLA POUŽITÁ V ŘEŠENÝCH OSVĚTLOVACÍCH SOUSTAVÁCH.....	3
PŘÍLOHA IV – PŮVODNÍ OS - DOPLŇUJÍCÍ VÝSLEDKY K OBR. 27 .....	5
PŘÍLOHA V – NOVÁ (STÁVAJÍCÍ) OS - DOPLŇUJÍCÍ VÝSLEDKY K OBR. 32.....	5
PŘÍLOHA VI– PRVNÍ VARIANTA MODERNIZACE OS - DOPLŇUJÍCÍ VÝSLEDKY K OBR. 40.....	6
PŘÍLOHA VII - DRUHÁ VARIANTA MODERNIZACE OS - DOPLŇUJÍCÍ VÝSLEDKY K OBR. 46.....	6

## Přílohy

### Příloha I - Třídy zrakových činností a hodnoty činitele denní osvětlenosti

Třída zrakové činnosti	Charakteristika zrakové činnosti	Poměrná pozorovací vzdálenost	Příklady zrakových činností	Hodnota činitele denní osvětlenosti (%)	
				minimální $D_{min}$	průměrná $D_m$
I	mimořádně přesná	3330 a větší	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, velmi jemné umělecké práce	2,5	7
III	přesná	1000 až 1670	Přesná výroba a kontrola, rýsování, technické kreslení, obtížné laboratorní práce, náročné vyšetření, jemné šití, vyšívání	2	6
IV	středně přesná	500 až 1000	Středně přesná výroba a kontrola, čtení psaní (rukou i strojem), obsluha strojů, běžné laboratorní práce, vyšetření, ošetření, hrubší šití, pletení, žehlení, příprava jídel, závodní sport	1,5	5
V	hrubší	100 až 500	Hrubší práce, manipulace s předměty a materiálem, konzumace jídla a obsluha, oddechové činnosti, základní a rekreační tělovýchova, čekání	1	3
VI	velmi hrubá	menší než 100	Udržování čistoty, sprchování a mytí, převlékání, chůze po komunikacích přístupných veřejnosti	0,5	2
VII	celková orientace	-	Chůze, doprava materiálu, skladování hrubého materiálu, celkový dohled	0,2	1

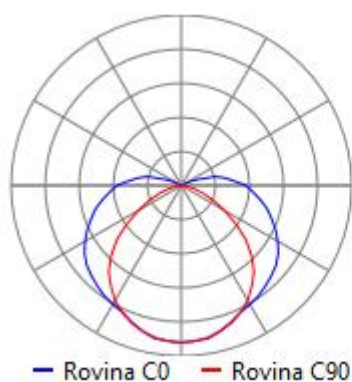
Příloha II - Návrh truhlárny s rozměry



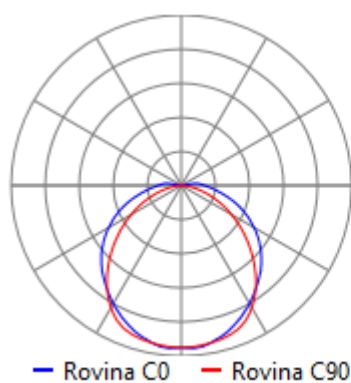
**Příloha III** – Svítidla použitá v řešených osvětlovacích soustavách



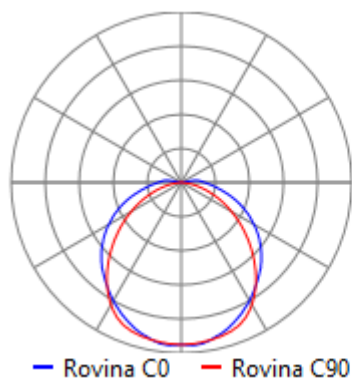
**Svítidlo DIGHT-258/PS 2x58W/EVG [33]**



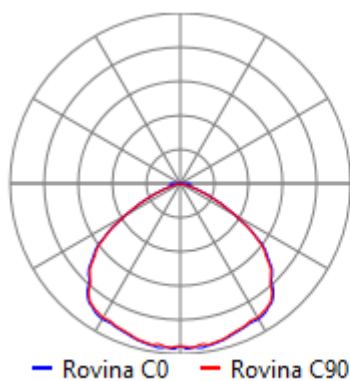
**Svítidlo MODUS P 258 PC 2 x L 58 W/840 s charakteristikou svítivosti**



**Svítidlo Modus PL7000L2W4 s charakteristikou svítivosti**



**Svítlidlo MODUS PL5000M2W4 s charakteristikou svítivosti**



**Svítlidlo MODUS OS100PC4S4 s charakteristikou svítivosti**

## Příloha IV – Původní OS - doplňující výsledky k Obr. 27

Název <input type="text"/>	Minimální hodnota	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Rovnoměrnost
<b>truhlárna - Podlaží 1 - hala</b>				
Normálová osvětlenost	478 lx	547 / 300 lx ✓	599 lx	0,87
Normálová osvětlenost	476 lx	548 / 300 lx ✓	599 lx	0,87
Normálová osvětlenost	590 lx	662 / 300 lx ✓	696 lx	0,89
Normálová osvětlenost	621 lx	637 / 300 lx ✓	672 lx	0,97
Normálová osvětlenost	480 lx	549 / 300 lx ✓	600 lx	0,87
Normálová osvětlenost	480 lx	549 / 300 lx ✓	600 lx	0,87
Normálová osvětlenost	589 lx	660 / 300 lx ✓	693 lx	0,89
Normálová osvětlenost	591 lx	662 / 300 lx ✓	696 lx	0,89
Normálová osvětlenost	621 lx	637 / 300 lx ✓	672 lx	0,98
Normálová osvětlenost	621 lx	637 / 300 lx ✓	673 lx	0,97
Normálová osvětlenost	591 lx	662 / 300 lx ✓	697 lx	0,89
Normálová osvětlenost	621 lx	637 / 300 lx ✓	673 lx	0,97
Normálová osvětlenost	476 lx	549 / 300 lx ✓	600 lx	0,87
Normálová osvětlenost	479 lx	548 / 300 lx ✓	599 lx	0,87
stroje 500lx - Normálová osvětlenost	31,2 lx	561 / 500 lx ✓	679 lx	0,056
ponk 300 lx - Normálová osvětlenost	95 lx	561 / 300 lx ✓	719 lx	0,17

## Příloha V – Nová (stávající) OS - doplňující výsledky k Obr. 32

Název <input type="text"/>	Minimální hodnota	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Rovnoměrnost
<b>truhlárna - Podlaží 1 - hala</b>				
Normálová osvětlenost	452 lx	525 / 300 lx ✓	583 lx	0,86
Normálová osvětlenost	450 lx	526 / 300 lx ✓	583 lx	0,85
Normálová osvětlenost	573 lx	650 / 300 lx ✓	687 lx	0,88
Normálová osvětlenost	584 lx	609 / 300 lx ✓	660 lx	0,96
Normálová osvětlenost	453 lx	527 / 300 lx ✓	584 lx	0,86
Normálová osvětlenost	453 lx	527 / 300 lx ✓	584 lx	0,86
Normálová osvětlenost	572 lx	647 / 300 lx ✓	684 lx	0,88
Normálová osvětlenost	574 lx	650 / 300 lx ✓	687 lx	0,88
Normálová osvětlenost	585 lx	610 / 300 lx ✓	660 lx	0,96
Normálová osvětlenost	584 lx	609 / 300 lx ✓	660 lx	0,96
Normálová osvětlenost	574 lx	650 / 300 lx ✓	687 lx	0,88
Normálová osvětlenost	585 lx	610 / 300 lx ✓	660 lx	0,96
Normálová osvětlenost	450 lx	526 / 300 lx ✓	583 lx	0,85
Normálová osvětlenost	452 lx	525 / 300 lx ✓	583 lx	0,86
stroje 500lx - Kopie - Normálová osvětlenost	22,9 lx	550 / 500 lx ✓	687 lx	0,042
ponk 300 lx - Kopie - Normálová osvětlenost	70 lx	558 / 300 lx ✓	710 lx	0,13

## Příloha VI– První varianta modernizace OS - doplňující výsledky k Obr. 40

Název <input type="text"/>	Minimální hodnota	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Rovnoměrnost
<b>truhlárna - Podlaží 1 - hala</b>				
Normálová osvětlenost	357 lx	400 / 300 lx ✓	434 lx	0,89
Normálová osvětlenost	388 lx	448 / 300 lx ✓	510 lx	0,87
Normálová osvětlenost	551 lx	587 / 300 lx ✓	615 lx	0,94
Normálová osvětlenost	505 lx	524 / 300 lx ✓	552 lx	0,96
Normálová osvětlenost	399 lx	452 / 300 lx ✓	504 lx	0,88
Normálová osvětlenost	400 lx	455 / 300 lx ✓	508 lx	0,88
Normálová osvětlenost	541 lx	588 / 300 lx ✓	623 lx	0,92
Normálová osvětlenost	567 lx	609 / 300 lx ✓	640 lx	0,93
Normálová osvětlenost	494 lx	519 / 300 lx ✓	544 lx	0,95
Normálová osvětlenost	512 lx	530 / 300 lx ✓	561 lx	0,97
Normálová osvětlenost	530 lx	573 / 300 lx ✓	605 lx	0,93
Normálová osvětlenost	488 lx	515 / 300 lx ✓	537 lx	0,95
Normálová osvětlenost	391 lx	454 / 300 lx ✓	521 lx	0,86
Normálová osvětlenost	358 lx	401 / 300 lx ✓	435 lx	0,89
stroje 500lx - Kopie - Normálová osvětlenost	32,7 lx	530 / 500 lx ✓	670 lx	0,062
ponk 300 lx - Kopie - Normálová osvětlenost	285 lx	419 / 300 lx ✓	600 lx	0,68

## Příloha VII - Druhá varianta modernizace OS - doplňující výsledky k Obr. 46

Název <input type="text"/>	Minimální hodnota	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Rovnoměrnost
<b>truhlárna - Podlaží 1 - hala</b>				
Normálová osvětlenost	313 lx	357 / 300 lx ✓	395 lx	0,88
Normálová osvětlenost	342 lx	401 / 300 lx ✓	465 lx	0,85
Normálová osvětlenost	513 lx	553 / 300 lx ✓	583 lx	0,93
Normálová osvětlenost	486 lx	508 / 300 lx ✓	532 lx	0,96
Normálová osvětlenost	352 lx	406 / 300 lx ✓	461 lx	0,87
Normálová osvětlenost	353 lx	408 / 300 lx ✓	464 lx	0,87
Normálová osvětlenost	513 lx	556 / 300 lx ✓	591 lx	0,92
Normálová osvětlenost	534 lx	576 / 300 lx ✓	608 lx	0,93
Normálová osvětlenost	480 lx	517 / 300 lx ✓	554 lx	0,93
Normálová osvětlenost	500 lx	526 / 300 lx ✓	547 lx	0,95
Normálová osvětlenost	501 lx	541 / 300 lx ✓	572 lx	0,93
Normálová osvětlenost	474 lx	508 / 300 lx ✓	538 lx	0,93
Normálová osvětlenost	345 lx	407 / 300 lx ✓	476 lx	0,85
Normálová osvětlenost	314 lx	358 / 300 lx ✓	396 lx	0,88
stroje 500lx - Kopie - Normálová osvětlenost	31,6 lx	538 / 500 lx ✓	724 lx	0,059
ponk 300 lx - Kopie - Normálová osvětlenost	270 lx	408 / 300 lx ✓	652 lx	0,66