

Inteligentní osvětlení průmyslové haly

Bc. Tomáš Bělaška

Diplomová práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš Bělaška**
Osobní číslo: **A12432**
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Integrované systémy v budovách**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Inteligentní osvětlení průmyslové haly**

Zásady pro vypracování:

- 1. Zpracujte rešerši na téma základní pojmy a podstata světla.**
- 2. Uveďte, jaké jsou hygienické požadavky na osvětlení podle ČSN.**
- 3. Vyjmenujte a popište některé z existujících řešení tohoto problému.**
- 4. Navrhněte rozvody silnoproudé elektroinstalace, včetně všech zařízení (pouze světla).**
- 5. Navrhněte řešení pro automatické řízení intenzity osvětlení, včetně všech zařízení.**
- 6. Vypracujte výkresovou dokumentaci.**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **MARKOVÁ, Lidmila. Technická zařízení budov 40: umělé osvětlení, elektrorozvody, hromosvody. Vyd. 5. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005, 75 s. ISBN 80-010-3147-0.**
2. **FENCL, František. Elektrický rozvod a rozvodná zařízení. 3. přeprac. vyd. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2006, 198 s. ISBN 80-010-2771-6.**
3. **HRUŠKA, František. Technické prostředky automatizace III: (senzory, jejich principy a funkce). Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, Technologická fakulta, 2002, 118 s. ISBN 80-731-8053-7.**
4. **MARTINÁSKOVÁ, Marie a Ladislav ŠMEJKAL. Řízení programovatelnými automaty. Vyd. 1. Praha: ČVUT, 1998, 160 s. ISBN 80-010-1766-4.**
5. **BURCHARD, Bill. Mistrovství v AutoCADu 2000: AutoCAD 2000 kompletní, včetně nových funkcí publikování a sdílení projektů na webu : přehled světově nejúspěšnějšího bestselleru o AutoCADu. Vyd. 1. Praha: Computer Press, 2000, 964 s. ISBN 80-722-6275-0.**
6. **Merten [online]. 2014-01-20 [cit. 2014-02-03]. Dostupné z: www.merten.com**
7. **Tridonic GmbH & Co KG – Home [online]. ? 2014 [cit. 2014-02-03]. Dostupné z: www.tridonic.com**
8. **Light is OSRAM | OSRAM [online]. ? 2014 [cit. 2014-02-03]. Dostupné z: www.osram.cz**

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Martin Zálešák, CSc.

Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání diplomové práce:

7. března 2014

Termín odevzdání diplomové práce:

11. června 2014

Ve Zlíně dne 7. března 2014


prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan




prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ka ředitel ústavu

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- Že odevzdaná verze diplomové/bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem osvětlovací soustavy, která je řízena v závislosti na denním světle. Teoretická část je věnována nejdůležitějším pojmům, se kterými je dále pracováno. V praktické části je navržena osvětlovací soustava, přičemž velká část je věnována úvaze o využití denního světla. Praktická část obsahuje také návrh konkrétních komponent pro realizaci a v závěru je stanovena předpokládaná úspora elektrické energie v porovnání se stávajícím stavem.

Klíčová slova: Denní světlo, osvětlovací soustava, DALI

ABSTRACT

Thesis is concerned with a design of a lighting system, which is controlled by a daylight. The theoretical part is dedicated to the most important terms that will be used in a following chapters. In the practical part a lighting system is designed and one section is devoted to a consideration about usage of a daylight. The practical part contains particular components for realization, in a conclusion is determined expected saving of electricity in comparison with a current situation.

Keywords: Daylight, lighting system, DALI

Na tomto místě bych rád poděkoval několika lidem, především Ing. Martinu Zálešákovi, CSc. za rady a podněty především v teoretické části a při ekonomickém hodnocení. Velký dík patří firmě AKTÉ s.r.o., jmenovitě Ing. Jaroslavu Polínkovi za věnovaný čas a odborné vedení v praktické části. Panu Ing. Pavlu Staňkovi za poskytnutí softwaru pro výpočet úspor. V neposlední řadě bych také rád poděkoval firmě KOVEX Újezd, s.r.o. za poskytnuté informace a materiály k objektu, na základě kterých mohla být vytvořena praktická část této práce.

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| ÚVOD | 9 |
| I TEORETICKÁ ČÁST | 10 |
| 1 ZÁKLADNÍ POJMY V OBORU OSVĚTLOVÁNÍ BUDOV | 11 |
| 1.1 SVĚTELNĚTECHNICKÉ POJMY A VELIČINY | 11 |
| 1.2 SLOŽKY VNITŘNÍHO OSVĚTLENÍ BUDOV | 15 |
| 1.2.1 Denní osvětlení | 15 |
| 1.2.2 Umělé osvětlení | 17 |
| 1.2.3 Sdružené osvětlení | 18 |
| 2 POŽADAVKY NA OSVĚTLENÍ | 20 |
| 2.1 PARAMETRY URČUJÍCÍ SVĚTELNÉ PROSTŘEDÍ | 20 |
| 2.2 POŽADAVKY NA OSVĚTLENÍ PRO MÍSTNOSTI, ČINNOSTI A ÚKOLY | 23 |
| 2.3 ÚDRŽBA OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY | 24 |
| 3 ČÁSTI OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY | 28 |
| 3.1 SVÍTIDLA | 28 |
| 3.2 SVĚTELNÉ ZDROJE | 29 |
| 3.2.1 Tepelné světelné zdroje | 29 |
| 3.2.2 Nízkotlaké výbojové zdroje | 30 |
| 3.2.3 Vysokotlaké výbojové zdroje | 35 |
| 3.2.4 Elektroluminiscenční světelné zdroje | 36 |
| 4 ŘÍZENÍ OSVĚTLOVACÍCH SOUSTAV | 38 |
| 4.1 PŘEDŘADNÁ ZAŘÍZENÍ | 38 |
| 4.1.1 Předřadná zařízení pro nízkotlaké výbojové zdroje | 40 |
| 4.2 ŘÍDICÍ A KONTROLNÍ SYSTÉMY | 41 |
| 4.2.1 Analogové řízení | 41 |
| 4.2.2 Digitální řízení | 41 |
| 4.3 SENZORY | 42 |
| 4.4 EXISTUJÍCÍ ŘEŠENÍ ŘÍZENÍ OSVĚTLOVACÍCH SOUSTAV | 43 |
| 4.4.1 Osram DALI Professional | 43 |
| 5 SVĚTELNĚTECHNICKÉ VÝPOČTY | 44 |
| 5.1 ORIENTAČNÍ VÝPOČTY OSVĚTLENÍ | 44 |
| 5.1.1 Příkon osvětlovací soustavy | 44 |
| 5.1.2 Toková metoda výpočtu průměrné osvětlenosti | 45 |
| 5.1.3 Metoda dutin | 47 |
| 5.2 PODROBNÉ METODY VÝPOČTŮ | 48 |
| 6 ELEKTROROZVODY PRO OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY | 50 |
| 6.1 DIMENZOVÁNÍ SVĚTELNÝCH ROZVODŮ | 50 |
| 6.1.1 Dimenzování podle jmenovitého zatížení | 50 |
| 6.2 JIŠTĚNÍ SVĚTELNÝCH OBVODŮ | 51 |
| II PRAKTICKÁ ČÁST | 52 |
| 7 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU | 53 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 7.1 | IDENTIFIKACE OBJEKTU | 53 |
| 7.2 | PROVOZNÍ REŽIM..... | 54 |
| 7.3 | KLASIFIKACE PROSTORU A PROVÁDĚNÝM ÚKOLŮ A ČINNOSTÍ | 54 |
| 7.4 | DENNÍ OSVĚTLENÍ | 55 |
| 7.5 | UMĚLÉ OSVĚTLENÍ | 55 |
| 7.6 | KVALITA ÚDRŽBY | 57 |
| 7.7 | VYHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU | 57 |
| 8 | NÁVRH OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY | 59 |
| 8.1 | POŽADAVKY NA OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVU | 59 |
| 8.2 | DIMENZOVÁNÍ OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY | 60 |
| 8.2.1 | Údržba osvětlovací soustavy..... | 63 |
| 8.3 | ŘÍZENÍ OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY | 63 |
| 8.4 | VYBRANÁ ZAŘÍZENÍ PRO OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVU..... | 66 |
| 8.4.1 | Volba světelného zdroje..... | 66 |
| 8.4.2 | Volba svítidla | 67 |
| 8.4.3 | Komponenty pro řízení osvětlovací soustavy | 69 |
| 8.4.4 | Cenová kalkulace..... | 75 |
| 9 | EKONOMICKÉ HODNOCENÍ OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY | 76 |
| 9.1 | ENERGETICKÁ BILANCE SOUČASNÉHO STAVU | 76 |
| 9.2 | ENERGETICKÁ BILANCE NOVĚ NAVRŽENÉ OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY..... | 77 |
| 9.2.1 | Princip určení úspory..... | 77 |
| 9.2.2 | Energetická bilance navržené soustavy bez regulace | 81 |
| 9.2.3 | Energetická bilance navržené soustavy s regulací..... | 82 |
| 9.2.3.1 | Stanovení úspor vlastním odhadem..... | 82 |
| 9.2.3.2 | Stanovení úspor pomocí softwaru | 85 |
| 9.3 | SROVNÁNÍ SOUČASNÉ A NOVĚ NAVRŽENÉ SOUSTAVY | 87 |
| 9.4 | NÁVRATNOST INVESTICE | 88 |
| | ZÁVĚR | 90 |
| | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY | 91 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK..... | 94 |
| | SEZNAM OBRÁZKŮ..... | 95 |
| | SEZNAM TABULEK | 97 |
| | SEZNAM PŘÍLOH..... | 98 |

ÚVOD

Světlo je nejen pro člověka, ale pro celou Zemi vůbec, důležitou ne-li nejdůležitější podmínkou pro možný život a správnou funkci všeho. Denní světlo má přímý vliv na životní funkce jak u lidí, tak u zvířat a dostatek denního světla je nezbytný pro fyzické a psychické zdraví lidí.

Vlivy světla na lidský organizmus se v současné době zabývá mnoho odborných analýz a výzkumů od zrakových vjemů přes psychiku, až po činnost mozku, krevní oběh a další. Faktem je, že je nemožné zajistit lidskému zraku pro vykonávání, ať už běžných či specializovaných úkonů, denní světlo v každém okamžiku a je třeba jej nahrazovat. Analýz a výzkumů využívá světelná technika, jejíž hlavní úlohou je zajišťovat tvorbu odpovídajícího světelného mikroklimatu pro daný úkon.

V této práci je věnován prostor nejen návrhu osvětlovací soustavy, ale také úvaze o využití denního světla, jelikož úzce s tímto tématem souvisí. Důvodů je několik, avšak tím zásadním je úspora elektrické energie při zachování kvalitních pracovních podmínek, které musí být ale stále nadřazené ekonomickým zájmům.

V roce 1900 byla založena mezinárodní instituce, zaměřená právě na problematiku světelné techniky a osvětlování s označením CIE. Na základě závěrů odborných komisí vydává tato organizace návody, postupy nebo normy, podle kterých se řeší problémy v oblasti osvětlovací techniky. Tato práce nebude výjimkou a bude využívat a opírat se o přijatá pravidla pro tuto oblast při návrhu nové inteligentní osvětlovací soustavy v průmyslovém objektu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

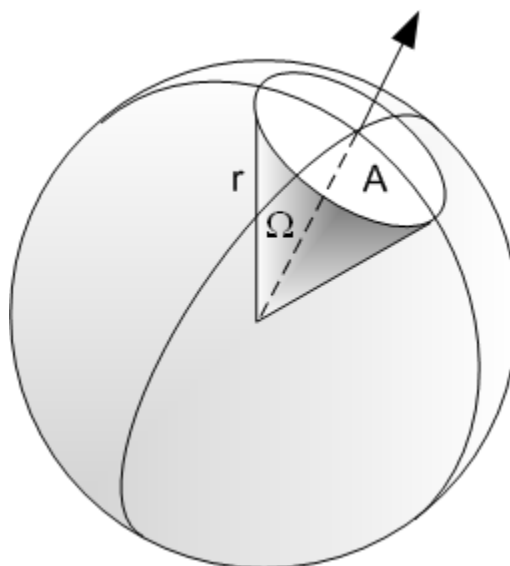
1 ZÁKLADNÍ POJMY V OBORU OSVĚTLOVÁNÍ BUDOV

Uvedené pojmy a veličiny jsou sjednoceny Mezinárodní komisí pro osvětlování CIE. Veškeré parametry se zároveň vztahují na tzv. normálního pozorovatele, kterého reprezentují standardní vlastnosti lidského oka. [2]

1.1 Světelnětechnické pojmy a veličiny

Prostorový úhel Ω je geometrickou veličinou používanou ve světelně technických výpočtech. Jeho velikost je určena velikostí plochy vyřáté obecnou kuželovou plochou na povrchu jednotkové koule, jejíž střed (vrchol prostorového úhlu) je totožný s vrcholem uvažované kuželové plochy. Jednotkou prostorového úhlu je steradián, určený jednotkovou plochou na povrchu jednotkové koule, což je vyjádřeno na obrázku (Obrázek 1.1) a rovnicí (1.1). [1]

$$\Omega = \frac{A}{r^2} \quad [sr; m^2, m] \quad (1.1)$$



Obrázek 1.1: Vymezení prostorového úhlu [3]

Svítivost I je veličina, která popisuje distribuci světelného záření do prostoru. Udává, kolik světelného toku vyzáří zdroj v prostorovém úhlu do určitého směru. Jednotkou svítivosti je 1 kandela. Tato jednotka patří mezi základní fyzikální jednotky soustavy SI. Od roku 1979 je kandela definována jako svítivost zdroje, jenž vyzáruje pod určitým úhlem monochromatické záření s intenzitou $1/683 \text{ W}\cdot\text{sr}^{-1}$ a frekvencí $540\cdot 10^{12} \text{ Hz}$.

Střední hodnota svítivosti I se pak určí ze světelného toku Φ vyzařujícím v jednotkovém prostorovém úhlu Ω , to popisuje rovnice (1.2).

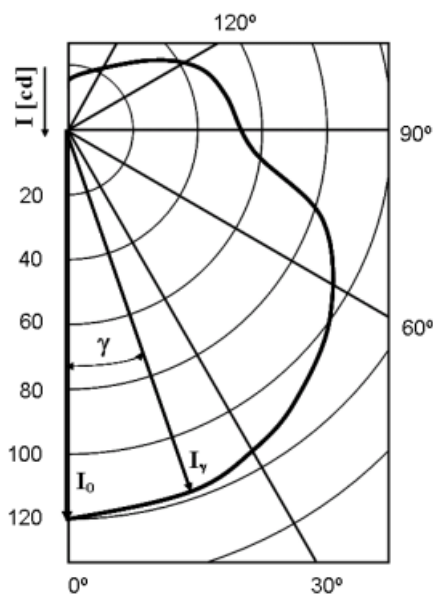
$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \quad [cd; lm, sr] \quad (1.2)$$

kde I – svítivost,

Φ - světlený tok,

Ω - prostorový úhel, do kterého je světlený tok vyzařován.

Svítivost se určuje pro bodový zdroj, to znamená, že zdroj má zanedbatelné rozměry a vzhledem ke vzdálenosti bodu r , ke kterému se provádí kontrolní měření. Změřením svítivosti ve všech bodech prostoru okolo zdroje a vynesení hodnot vektorů dostaneme prostorové rozložení svítivosti zdroje. V praxi se však s prostorovým rozložením svítivosti dále nepracuje a používají se pouze různé typy řezu touto plochou. V těchto řezech (polorovinách) dostaneme křivky svítivosti, které se standardně vynášejí v polárních souřadnicích, jak znázorňuje obrázek (Obrázek 1.2). [2]



Obrázek 1.2: Křivka svítivosti v polárních souřadnicích [6]

Světelný tok Φ představuje zářivý tok Φ_e , který je posuzován ze strany citlivosti lidského oka. Říká nám, kolik světelné energie vyzáří zdroj do svého okolí. Jednotkou světelného toku je lumen. [2]

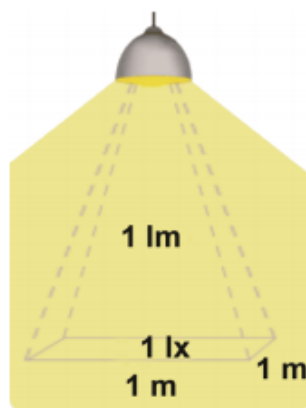
Osvětlenost E , uváděná v luxech, udává hodnotu světelného toku Φ dopadajícího na jednotkovou plochu A , je vyjádřena rovnicí (1.3) a obrázkem (Obrázek 1.3). [2]

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad [lx; lm, m^2] \quad (1.3)$$

kde E – osvětlenost,

$d\Phi$ - světelný tok,

dA – plocha, na kterou dopadá světelné záření.



Obrázek 1.3: Znárodnění osvětlenosti prostoru [1]

Světlení M je fotometrická veličina definující plošnou hustotu světelného toku $d\Omega$, jenž je vyzařován z plochy dA . Definiuje tedy velikost světelného toku Φ vycházejícího z této plochy dA . Světlení M je vyjádřeno rovnicí (1.4).

$$M = \frac{d\Phi}{dA} \quad [lm \cdot m^{-2}; lm, m^2] \quad (1.4)$$

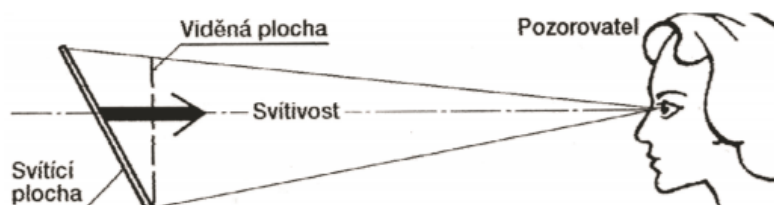
kde M – světlení,
 $d\Phi$ – plošná hustota světelného toku,
 dA – plocha, ze které vychází světelný tok.

Jas L je fotometrická veličina definovaná jako měrná svítivost. Na tuto veličinu lidské oko přímo reaguje, resp. lidské oko reaguje na kontrast jasu. Tato veličina je určena plošnou a prostorovou hustotou světelného toku, proto vždy záleží na poloze pozorovatele a na směru jeho pohledu a z tohoto důvodu nezáleží na tom, zda vychází jas paprsků přímo ze zdroje záření nebo je odražen od libovolné plochy.

Jas svazku paprsků je dán plošnou a prostorovou hustotou světelného toku Φ , který paprsky přenáší a toto vyjadřuje obrázek (Obrázek 1.4) a rovnice (1.5). [2]

$$L_v = \frac{d^2\Phi}{dA \cdot d\Omega} \quad [cd \cdot m^{-2}; lm, m^2, sr] \quad (1.5)$$

kde L_v - jas v určitém směru,
 $d^2\Phi$ – světelný tok přenášený elementárním svazkem procházejícím daným bodem a šířící se daným prostorovým úhlem $d\Omega$, který obsahuje daný směr v lm,
 dA – plocha příčného řezu svazkem, který obsahuje daný bod.



Obrázek 1.4: Definice jasu [2]

Měrný světelný výkon η udává, s jakou účinností je ve zdroji světla elektřina přeměňována na světlo, tj. kolik lumenů světelného toku se získá z 1 W elektrického příkonu. Měrný světelný výkon η je vyjádřen v rovnici (1.6).

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad [lm \cdot W^{-1}; lm, W] \quad (1.6)$$

kde η – měrný světelný výkon,

Φ - světelný tok,

P – elektrický příkon.

Život světelného zdroje, udávaný nejčastěji v hodinách, je celková doba od začátku používání až do chvíle, kdy přestal zdroj splňovat dané požadavky. To může být dáno tím, že světelný zdroj přestane úplně fungovat anebo když jeho parametry, vlivem fyzikálních a chemických procesů ve zdroji, klesnou pod požadované hodnoty. Vzhledem k objektivnosti hodnot života světelných zdrojů byly zavedeny přesnější pojmy:

- **užitečný život** je doba funkce zdroje, během níž si jeho parametry zachovávají hodnoty ležící v určitých stanovených mezích,
- **fyzický život** je doba svícení do okamžiku úplné ztráty provozuschopnosti. [5]

Účinník $\cos \varphi$ je bezrozměrná veličina a vyjadřuje poměr činného a zdánlivého elektrického výkonu. Účinník $\cos \varphi$ je nežádoucí a zvyšuje ztráty elektrické energie.

1.2 Složky vnitřního osvětlení budov

Vnitřní osvětlení budov se může skládat z několika složek, které se mohou vzájemně kombinovat a jsou popsány v následujících kapitolách.

1.2.1 Denní osvětlení

Denní osvětlení vnitřních prostorů je kombinací jak osvětlení přímým přírodním světlem, pronikajícím do místnosti osvětlovacími otvory, tak i osvětlení přírodním světlem odraženým od vnějších a vnitřních překážek.

Primárním zdrojem denního světla je Slunce, jehož elektromagnetické záření pokrývá široké spektrum vlnových délek. V praxi se při návrhu a hodnocení denního osvětlení odděluje sluneční a oblohová složka denního světla. Při hodnocení denního osvětlení vnitřních prostorů se pracuje pouze s oblohovou složkou a využívá se číselník denní osvětlenosti D , který je vyjádřen v rovnici (1.7).

$$D = \frac{E}{E_h} \cdot 100 \quad [%; lx, lx] \quad (1.7)$$

kde D – činitel denní osvětlenosti,

E – osvětlenost dané roviny,

E_h – srovnávací osvětlenost v bodě venkovní nezastíněné roviny. Minimální hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovuje NV č. 361/2007 Sb. [1]

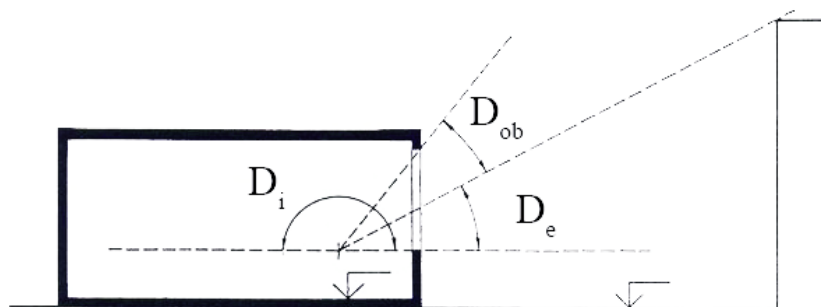
Pro denní osvětlení musí být splněno $D_{\min} = 1,5 \%$, $D_m = 3\%$, pro sdružené osvětlení musí být splněno $D_{\min} = 0,5 \%$, $D_m = 1\%$. Tyto hodnoty nemusí být dodrženy pouze ve zvláštních případech, jako jsou noční provozy, provozy a výroby, při kterých musí být vyloučen vliv denního světla atp. Činitel denní osvětlenosti D lze také stanovit rovnicí (1.8) a je znázorněn obrázkem (Obrázek 1.5). [5]

$$D = D_{ob} + D_e + D_i \quad [%; %, %, %] \quad (1.8)$$

kde D_{ob} – oblohová složka činitele denní osvětlenosti,

D_e – vnější odražená složka činitele denní osvětlenosti,

D_i – vnitřní odražení složka činitele denní osvětlenosti.



Obrázek 1.5: Činitel denní osvětlenosti [5]

Z hlediska směru přístupu denního světla do objektu jej lze rozdělit na tři základní osvětlovací systémy:

- boční – okenní otvory v obvodovém plášti budovy,
- horní – otvory ve střešní konstrukci,
- kombinované – kombinace bočního a horního osvětlení.

1.2.2 Umělé osvětlení

Soustavy umělého osvětlení ve vnitřních prostorech slouží k zajištění předepsaných světelných podmínek v době nedostatečného denního světla. Současné světelné zdroje umožňují vytvořit ve vnitřních prostorech umělé osvětlení kvantitativně srovnatelné s denním světlem. [1], [2]

Náročnější zrakové úlohy vyžadují vyšší hodnoty osvětlenosti E , jejichž doporučené rozsahy jsou uvedeny v tabulce (*Tabulka 1.1*).

Tabulka 1.1: Doporučené rozsahy osvětlenosti podle CIE [1]

| E [lx] | prostor, druh činnosti |
|--------------------|---|
| 20 - 30 - 50 | základní jednoduchá zraková orientace v prostředí |
| 50 - 75 - 100 | jednoduchá orientace, kratší doba jednoduché činnosti |
| 100 - 150 - 200 | prostory, které nejsou dlouhodobě využívány pro pracovní účely, prostory obytné a společenské |
| 200 - 300 - 500 | zraková místa pro jednodušší, běžné pracovní úkoly (kanceláře, školy) |
| 500 - 750 - 1000 | zraková místa pro vizuálně náročnější déle trvající pracovní úkoly |
| 1000 - 1500 - 2000 | zvláště náročné zrakové úkoly |
| více než 2000 | velmi náročné zrakové úkoly |

Umělé osvětlení vnitřních prostorů dělíme:

- celkové – rovnoměrné osvětlení prostoru bez ohledu na zvláštní místní požadavky,
- odstupňované – v části prostoru zesílené na vyšší intenzity, např. tam, kde se vykonává práce,
- místní – doplňuje celkové osvětlení a je samostatně ovládané,

- kombinované – celkové nebo odstupňované osvětlení je doplněno osvětlením místním,
- lze sem zařadit také osvětlení nouzové a náhradní.

Při použití denního nebo sdruženého osvětlení však musí být zajištěna udržovaná osvětlenost $\bar{E}_m = 200$ lx, pokud není stanoveno jinak. V případě nedodržení požadavků na denní či sdružené osvětlení musí být zajištěna osvětlenost $\bar{E}_m = 300$ lx, pokud není stanoveno jinak.

1.2.3 Sdružené osvětlení

Sdružené osvětlení je záměrné současné osvětlení vnitřního prostoru denním a doplňujícím osvětlením. Slouží k zajištění potřebné úrovně osvětlení v prostorech nebo v jejich funkčně vymezených částech, kde není pro danou zrakovou činnost zajištěno dostatečné denní osvětlení. Při úvahách o použití sdruženého osvětlení je třeba si uvědomit, že z hlediska působení na člověka sdružené osvětlení není rovnocenné tomu dennímu, ale jde o příznivější situaci, než která vzniká při pouhém umělém osvětlení. Při návrhu sdruženého osvětlení se posuzují tyto světelně technické parametry:

- hladina osvětlenosti E (denní a umělá složka),
- rovnoměrnost osvětlenosti r ,
- jasové poměry,
- barevné vlastnosti osvětlení.

Požadovaná úroveň denní složky sdruženého osvětlení, která vychází z tříd zrakových činností stanovených v normě pro denní osvětlení, je uvedena v tabulce (*Tabulka 1.2*). Minimální hodnoty činitele denní osvětlenosti D_{\min} musí být splněny v případě bočního osvětlení, průměrné hodnoty D_m u osvětlení horního. Při bočním nebo kombinovaném osvětlení musí být pro všechny zrakové činnosti průměrná hodnota činitele D_m denní osvětlenosti větší než 1 %.

Rovnoměrnost sdruženého osvětlení r se stanovuje jako poměr minimální a maximální hodnoty osvětlenosti sdruženého osvětlení v kontrolních bodech na srovnávací

rovině při hladině venkovní vodorovné osvětlenosti nezacloněné roviny 20 000 lx. V prostorech s bočními osvětlovacími otvory má být tato rovnoměrnost r nejméně 0,2.

Jasy svítidel doplňujícího umělého osvětlení se posuzují podle normy pro osvětlení vnitřních pracovních prostorů. Jasy osvětlovacích otvorů mají vyhovovat normě pro denní osvětlení. Jestliže se při zrakové činnosti nachází pozorovaný předmět proti osvětlovacím otvorům, je třeba zajistit dostatečné osvětlení tohoto předmětu, aby nedocházelo k siluetovému efektu, při kterém je pozorovatel, vlivem velkého kontrastu jasu mezi pozadím a pozorovaným předmětem, schopen vnímat pouze obrysy předmětu. Aby bylo možné rozlišovat detaily a strukturu předmětu, měl by být podíl jasu předmětu k jasu osvětlovacího otvoru (oblohy) větší než 1:40. [1]

Barevné vlastnosti světelných zdrojů doplňujícího umělého osvětlení se volí podle normy pro vnitřní pracovní prostory. Pro sdružené osvětlení se obecně doporučuje, aby teplota chromatičnosti T_C doplňujícího osvětlení byla nejméně 4000 K. [1]

Tabulka 1.2: Hodnoty činitele denní osvětlenosti pro sdružené osvětlení [1]

| Třída zrakové činnosti | Činitel denní osvětlenosti | |
|------------------------|----------------------------|-----------|
| | D_m | |
| | D_{\min} (%) | D_m (%) |
| I, II | 1,0 | 2,5 |
| III | 0,7 | 2,0 |
| IV | 0,5 | 1,5 |
| V až VII | 0,5 | 1,0 |

2 POŽADAVKY NA OSVĚTLENÍ

Průmyslové haly často bývají komplexem s různými pracovními prostory, ve kterých probíhají činnosti s rozmanitou zrakovou náročností od jemných a přesných činností přes hrubé práce, kancelářské, úklidové atp., což je případ řešeného objektu, kdy je k výrobní hale přidružena dvoupodlažní administrativní budova. Základní požadavky na osvětlení jsou určeny uspokojením tří základních lidských potřeb:

- zraková pohoda, když se pracovníci velmi dobře cítí, což nepřímo přispívá k vyšší produktivitě,
- zrakový výkon, když jsou pracovníci schopni vykonávat zrakové úkoly i při obtížných podmínkách a během dlouhé doby,
- bezpečnost.

Hlavní parametry určující světelné prostředí:

- rozložení jasu,
- osvětlenost,
- oslnění,
- směrovost světla,
- podání barev a barevný tón světla,
- míhání světla,
- denní světlo. [8]

2.1 Parametry určující světelné prostředí

Rozložení jasu v zorném poli určuje úroveň adaptace zraku, která ovlivňuje viditelnost úkolu a také zrakovou pohodu. Z tohoto důvodu je nutné vyloučit:

- příliš velké jasy, jež mohou zvětšit oslnění,
- příliš velké kontrasty jasů, jež mohou způsobit únavu v důsledku trvalé readaptace zraku,
- příliš malé jasy a kontrasty jasů, jež vedou k monotónnímu nestimulujícímu pracovnímu prostředí.

Tabulka 2.1: Rozsah činitelů odrazu hlavních prvků místnosti [8]

| Plocha | Činitel odrazu [-] |
|-----------------|--------------------|
| Strop | 0,6 až 0,9 |
| Stěny | 0,3 až 0,8 |
| Pracovní roviny | 0,2 až 0,6 |
| Podlaha | 0,1 až 0,5 |

Osvětlenost E a její rozložení v místě zrakového úkolu a v jeho bezprostředním okolí mají vliv na rychlost a bezpečnost vykonávaného zrakového úkolu. Uvedené hodnoty osvětlenosti jsou tzv. udržované osvětlenosti \overline{E}_m a zajišťují potřebnou zrakovou pohodu a zrakový výkon. Bezprostředním okolím se rozumí pás o šířce alespoň 0,5 m okolo místa zrakového úkolu uvnitř zorného pole. Osvětlení místa zrakového úkolu musí být zároveň co nejrovnoměrnější. V tabulce jsou uvedeny hodnoty osvětlenosti úkolu a hodnoty osvětleností v bezprostředním okolí. [8]

Tabulka 2.2: Rovnoměrnost osvětlení a poměr osvětleností bezprostředního okolí úkolu [8]

| Osvětlenost úkolu E [lx] | Osvětlenost bezprostředního okolí úkolu [-] |
|--|---|
| ≥ 750 | 500 |
| 500 | 300 |
| 300 | 200 |
| ≤ 200 | $E_{\text{úkolu}}$ |
| rovnoměrnost osvětlení r $\geq 0,7$ | rovnoměrnost osvětlení r $\geq 0,5$ |

Oslnění UGR je počitek způsobený povrchy s velkým jasem v zorném poli a jeho omezení je důležité pro vyvarování se chyb, únavy a úrazů. Oslnění může být způsobeno přímo svítidly a okny s velkým jasem. Maximální hodnoty UGR osvětlovací soustavy nesmí přesáhnout hodnoty uvedené v tabulkách dole (Tabulka 2.4 a Tabulka 2.5). [1]

Barevný tón světla se vztahuje k zdánlivé barvě (chromatičnosti) vyzařovaného světla, která se kvantifikuje tzv. náhradní teplotou chromatičnosti T_c . [8]

Teplota chromatičnosti T_c se využívá k popisu barvy či k vystižení barevných vlastností vyzařovaného teplotními zdroji a lze ji rozdělit do tří základních skupin. [1]

Tabulka 2.3: Skupiny barevného tónu světla světelných zdrojů [8]

| Barevný tón světla | Náhradní teplota chromatičnosti T_c [K] |
|--------------------|---|
| teple bílý | do 3 300 |
| neutrálně bílý | 3 300 až 5300 |
| chladně bílý | nad 5300 |

Všeobecný index podání barev R_a vyjadřuje stupeň shodnosti vnímání barev předmětu pod daným zdrojem a pod smluvně stanoveným zdrojem. Index se udává v číselné podobě od 0 – 100. [2]

Ve světle teplotních zdrojů a v přírodním (denním) světle se barvy předmětů vnímají nejuvěrněji, čemuž odpovídá $R_a = 100$. Naopak v monochromatickém žlutém světle nízkotlakých sodíkových výbojek se barvy nerozlišují vůbec, a tedy $R_a = 0$. V současnosti se ve většině interiérů požaduje $R_a > 80$, a to i ve většině pracovních prostorů. [1]

Míhání působí rušivě a může vyvolat fyziologické projevy, jako jsou únava a bolesti hlavy. Stroboskopické jevy mohou vést k nebezpečným situacím při změně vnímaného pohybu s točivým nebo vratným pohybem.

Udržovací činitel MF je vypočítán pro zvolené osvětlovací zařízení, prostředí a plán údržby. Udržovací činitel závisí na provozních charakteristikách světelných zdrojů a předřadníků, svítidel, prostředí a na plánu údržby. [8]

Denní světlo může poskytnout úplně nebo částečné osvětlení pro zrakový úkol. Jeho úroveň a spektrální složení se v průběhu dne mění a tím se mění i vnitřní prostor. V místnostech s bočními okny se poskytované světlo prudce zmenšuje se vzdáleností od oken, a proto je nutné na pracovních místech zajistit požadované osvětlení a k vyrovnání rozložení jasů je nutné doplňkové osvětlení. K zajištění vhodného spolupůsobení umělého

a denního osvětlení může být použito manuální nebo automatické spínání anebo stmívání. [8]

Uvedené a další parametry a jejich hodnoty stanovuje norma ČSN EN 12464 – 1 – Osvětlování vnitřních a pracovních prostor.

2.2 Požadavky na osvětlení pro místnosti, činnosti a úkoly

V tabulkách (*Tabulka 2.4* a *Tabulka 2.5*) jsou uvedeny hodnoty pro konkrétní místnosti, činnosti a úkoly, které přímo souvisí s řešeným objektem.

Tabulka 2.4: Průmyslové činnosti a prostory [8]

| Průmyslové činnosti a prostory | | | |
|--|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Zpracování a opracování kovů | | | |
| Druh prostoru, úkolu nebo činnosti | E [lx] | UGR [-] | R_a [-] |
| Hrubé a střední strojní opracování, tolerance < 0,1 mm | 300 | 22 | 60 |
| Jemné strojní opracování, tolerance < 0,1 mm | 500 | 19 | 60 |
| Orýsování kontrola | 750 | 19 | 60 |

Tabulka 2.5: Komunikační zóny a společné prostory v budovách [8]

| Komunikační zóny a společné prostory v budovách | | | |
|--|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Dopravní zóny | | | |
| Druh prostoru, úkolu nebo činnosti | E [lx] | UGR [-] | R_a [-] |
| Komunikační prostory a chodby | 100 | 28 | 40 |
| Schodiště, eskalátory, pohyblivé chodníky | 150 | 25 | 40 |
| Místnosti pro odpočinek, hygienu a první pomoc | | | |
| Kantýny, spíže | 200 | 22 | 80 |
| Odpočívárny | 100 | 22 | 80 |
| Šatny, umývárny, koupelny, toalety | 200 | 22 | 80 |
| Skladové prostory a chladírny | | | |
| Skladiště a zásobárny | 100 | 25 | 60 |
| Expedice a balírny | 300 | 25 | 60 |

2.3 Údržba osvětlovací soustavy

Osvětlovací soustavy je nutné v průběhu jejich života udržovat ze dvou hlavních příčin, kterými jsou stárnutí soustavy a usazování nečistot na optických částech svítidel a světelných zdrojů. S časem se z těchto důvodů snižuje průměrná hladina osvětlenosti E_m , která nesmí klesnout pod úroveň udržované osvětlenosti $\overline{E_m}$. Údržbou je myšleno především čištění svítidel a světelných zdrojů, jejich výměna a nahrazení při poruše či překročení jejich doby života. S údržbou osvětlovacích soustav také souvisí stav prostoru, ve kterém se soustava nachází. Tyto prostory je nutné taktéž udržovat, ať už jde o čistotu oken, světlíků či obnovení okolních povrchů, především stěn.

Z uvedených důvodů je nutné soustavu předimenzovat tak, aby v průběhu fungování soustavy neklesla hladina osvětlenosti pod hladinu požadovanou normami. Při předimenzování soustavy se vychází z udržovacího činitele MF .

$$MF = \frac{\overline{E}_m}{E_m} \quad [-; lx, lx] \quad (2.1)$$

kde MF – udržovací činitel,

\overline{E}_m – udržovaná osvětlenost,

E_m – průměrná osvětlenost soustavy v novém stavu.

Udržovací činitel se stanoví ze vztahu (2.2):

$$MF = LLMF \cdot LSF \cdot LMF \cdot RSMF \quad [-; -, -, -, -] \quad (2.2)$$

kde MF (*Maintenance factor*) – udržovací činitel,

$LLMF$ (*Lamp lumen maintenance factor*) – činitel stárnutí světelných zdrojů, což je podíl světelného toku světelného zdroje v dané době jeho života a počátečního světelného toku,

LSF (*Lamp survival factor*) – činitel funkční spolehlivosti světelných zdrojů se bere v úvahu pouze v případě skupinové výměny svítidel, jinak se rovná jedné,

LMF (*Lamp maintenance factor*) – udržovací činitel svítidel představuje snížení účinnosti svítidla způsobené nečistotami usazenými na světelných zdrojích a svítidel za dané období,

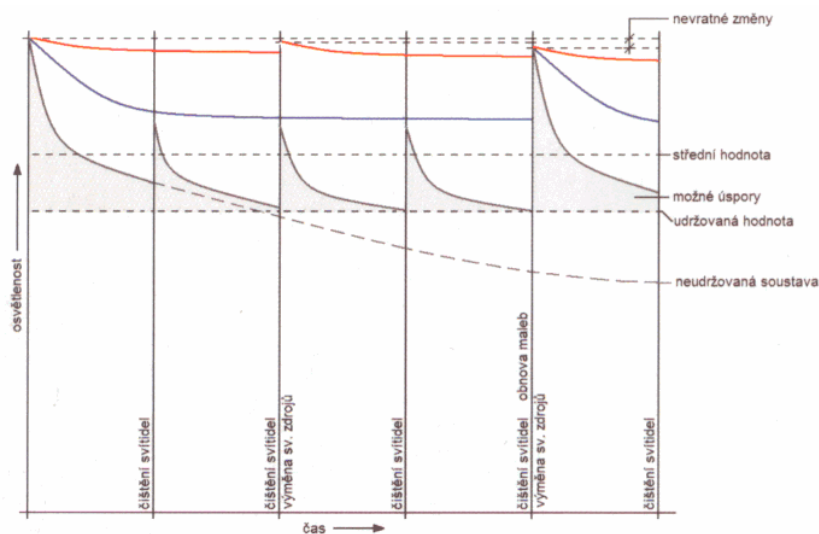
$RSMF$ (*Room surface maintenance factor*) – udržovací činitel povrchu místnosti je podíl činitele odrazu povrchu místnosti v dané době a počátečního činitele odrazu.

Převrácená hodnota udržovacího činitele MF potom určuje, kolikrát je třeba soustavu předdimenzovat, aby v průběhu života její osvětlenost neklesla pod požadovanou hodnotu udržované osvětlenosti. [1]

Tabulka 2.6: Interval čištění svítidel dle prostředí [11]

| Interval čištění | 3 roky | | | 2 roky | | | 1 rok | | |
|--------------------------------------|-----------------------|----------|---------|-----------------------|----------|---------|-----------------------|----------|---------|
| | Prostředí | | | | | | | | |
| Druh svítidla | Velmi čisté, čisté | Normální | Špinavé | Velmi čisté, čisté | Normální | Špinavé | Velmi čisté, čisté | Normální | Špinavé |
| S necloněným světelným zdrojem | X | | | | X | | | | X |
| Bez horního krytu | X | | | | X | | | | X |
| S horním krytem | X | | | X | | | | X | |
| Uzavřené IP2X | X | | | X | | | | X | |
| Chráněné proti prachu IP5X | X | X | | | | X | | | |
| Uzavřené nepřímé | | | | X | | | X | X | |
| S řízenou klimatizací | X | X | | | | X | | | |

Na obrázku (Obrázek 2.1) je znázorněn rozdíl mezi udržovanou a neudržovanou soustavou. Nevratnými změnami se myslí stárnutí a tmavnutí materiálů, provozní teplota či napětí. Tyto změny nelze vrátit zpět, všeobecně je jejich velikost cca $< 3\%$, avšak při návrhu osvětlovací soustavy je třeba brát tyto změny v úvahu. Interval údržby svítidel by neměl přesáhnout 3 roky, u okolních ploch, jako stěny, okna či světlíky by neměl být interval delší jak 6 let.



Obrázek 2.1: Průběh udržovacího činitele [16]

Z uvedeného vyplývá, že osvětlovací soustava musí být na začátku svého provozu předimenzována, aby v průběhu jejího života neklesla pod stanovenou udržovanou osvětlenost \overline{E}_m . K tomu slouží právě udržovací činitel MF a počáteční osvětlenost E_m se vypočítá z rovnice (2.3).

$$E_m = \frac{\overline{E}_m}{MF} \quad [lx; lx, -] \quad (2.3)$$

Postup pro výpočet činitele údržby a jeho minimální hodnoty je uveden ve směrnici TNI 36 0451 Údržba vnitřních osvětlovacích soustav.

3 ČÁSTI OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY

Osvětlovací soustava se skládá z několika dílčích částí a volbou každé z nich lze výrazně ovlivnit finální vlastnosti celé soustavy od vzhledu, technických a světelných vlastností.

3.1 Svítidla

Výběrem svítidla můžeme zásadně ovlivnit charakter vyzařovaného světelného toku. Je tedy důležité před jeho volbou zvážit, jaký typ prostoru budeme osvětlovat. Při výběru nám pomáhají uvedené parametry:

- charakter vyzařování,
- světelný tok Φ instalovaných světelných zdrojů [lm],
- jas světelně činných částí L [cd.m⁻²],
- clonění,
- provozní účinnost η [%],
- elektrický příkon P [W],
- provozně technické parametry – stupeň krytí, třída ochrany či mechanická odolnost,
- způsob napájení a upevnění,
- náročnost údržby, vzhled. [1]

Základními částmi svítidel, která pak rozhodují o rozložení světelného toku do prostoru či jeho barevném podání, jsou:

- reflektory – mění rozložení světelného toku Φ zrcadlovým odrazem,
- difuzory – průsvitné materiály měnící rozložení toku rozptylem,
- čočky a refraktory – mění rozložení lomem světelných paprsků,
- holografické optické prvky – změna směru paprsků ohybem při průchodu reliéfní mikroskopickou strukturou,
- stínidla a kryty – slouží k zabránění přímého pohledu na světlený zdroj,
- filtry – slouží ke změně spektrálního složení nebo ke zmenšení množství výstupního optického záření. [1]

3.2 Světelné zdroje

Světelný zdroj je základním prvkem osvětlovací soustavy. Jeho výběr úzce souvisí s výběrem svítidla a je taktéž nutné pečlivě zvážit jeho vlastnosti, parametry a vhodnost pro daný prostor. Správný výběr světelného zdroje má pak významný vliv na celkové hodnocení osvětlovací soustavy.

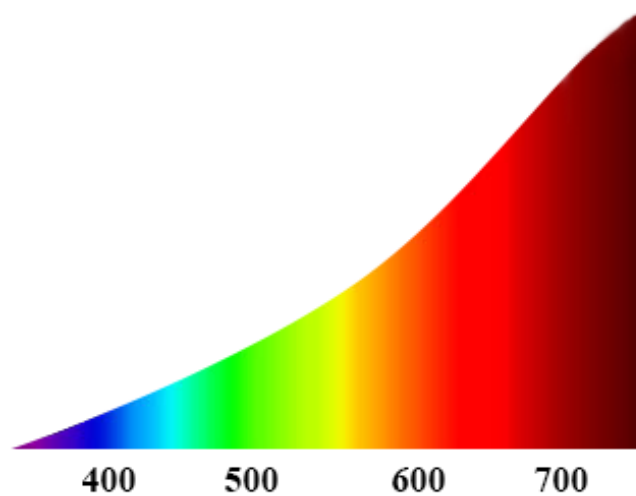
3.2.1 Tepelné světelné zdroje

Základem funkce tepelných světelných zdrojů je určitý způsob ohřevu těles, což je případ obyčejných a halogenových žárovek, kde je zdrojem záření rozžhavená pevná látka. U žárovek se používá kovové vlákno (dříve platinové, uhlíkové, osmiové, tantalové a později výhradně wolframové) rozžhavené na vysokou teplotu procházejícím elektrickým proudem. Charakteristickou vlastností teplotních zdrojů je spojité spektrum jimi vyzařovaného světla, zároveň se však vyznačují velmi malým měrným výkonem. V současnosti lze pozorovat trvale se snižující podíl teplotních zdrojů v celkové spotřebě světelných zdrojů. [1]

Obyčejné žárovky byly nejrozšířenějším tepelným světelným zdrojem v celosvětovém měřítku. Od 1. září 2009 však byly staženy 100 W žárovky, do konce roku 2010 se již nedali sehnat žárovky o příkonu 75 W a v průběhu roku 2011 ani s příkonem 60 W. V roce 2012 byly staženy i žárovky s nejnižšími příkony 40 W a méně.

Vlastnosti žárovek:

- jednoduchá konstrukce,
- spojité spektrum vyzařovaného světla charakterizovaného teplotou chromatičnosti T_C 2 700 až 2 900 K,
- vynikající podání barev $R_a = 100$,
- okamžitý start bez blikání, stabilní svícení bez míhání a téměř okamžité ustálení světelného toku Φ ,
- bez nutnosti předřadných obvodů,
- zanedbatelný vliv okolní teploty na parametry žárovky,
- snadná likvidace vyhořelých žárovek, jelikož neobsahují žádné škodlivé látky,
- velmi malý měrný výkon η , relativně krátký život, pokles světelného toku v průběhu života a závislost parametrů na napájecím napětí. [1]



Obrázek 3.1: Spektrum světla obyčejné žárovky [nm]

Měrný výkon η je velmi nízký, u vakuových žárovek je to cca 2 %, u žárovek plněných plynem se toto číslo pohybuje kolem cca 4 %, což se de facto rovná plýtvání a z tohoto důvodu i za pomoci legislativních opatření budou obyčejné žárovky vyřazeny z provozu.

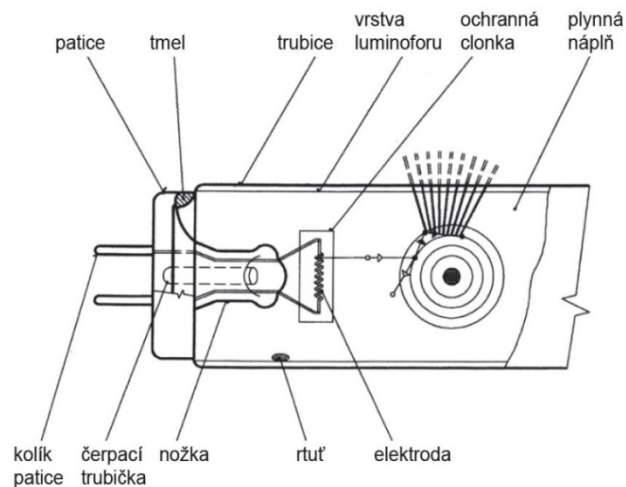
Halogenové žárovky jsou žárovky plněné plynem s příměsí halogenů nebo jejich sloučenin. Halogen uvnitř baňky způsobuje, že se vypařený wolfram při povrchu baňky slučuje s halogenem a vlivem tepelného pole se vrací zpět na vlákno, kde dochází k disociaci, tj. wolfram se usazuje na vlákno žárovky a halogen se vrací zpět k povrchu baňky. Světelný tok Φ se tak zvyšuje a prodlužuje se i život žárovek.

Vlastnosti halogenových žárovek:

- příjemné bílé světlo s teplotou chromatičnosti T_C 2 900 až 3 400 K,
- lepší stabilita světelného toku Φ a teploty chromatičnosti T_C v průběhu svícení; úbytek světla během života zpravidla nepřevyšuje 5 % počáteční hodnoty,
- lepší měrný výkon η při stejném životě. [1], [5]

3.2.2 Nízkotlaké výbojové zdroje

Zářivky jsou nízkotlaké rtuťové výbojky, v nichž je hlavní část světla vyzařována jednou nebo více vrstvami luminoforu buzeného ultrafialovým zářením výboje. V závislosti na typu použitého luminoforu lze dosáhnout různého barevného odstínu světla a index podání barev R_a .



Obrázek 3.2: Konstrukce lineární zářivky [1]

Na obrázku (Obrázek 3.2) je znázorněna konstrukce zářivky. Trubice je zhotovena z měkkého sodno-vápenatého skla, na její vnitřní stěnu je nanesena vrstva luminoforu, která transformuje UV záření kladného rtuťového sloupce na záření viditelné. Na obou koncích trubice je zatavena wolframová elektroda, na níž je nanesena emisní hmota na bázi uhličitanu barya a vápníku. Elektroda je namontovaná na nožce, sestávající z talířku a čerpací trubičky z měkkého, převážně olovnatého skla. Kolem elektrod je na neutrálním přívodu umístěna ochranná kovová clonka, která zabraňuje usazování vypařující se emisní hmoty na vrstvě luminoforu, z důvodu omezení černání konců.

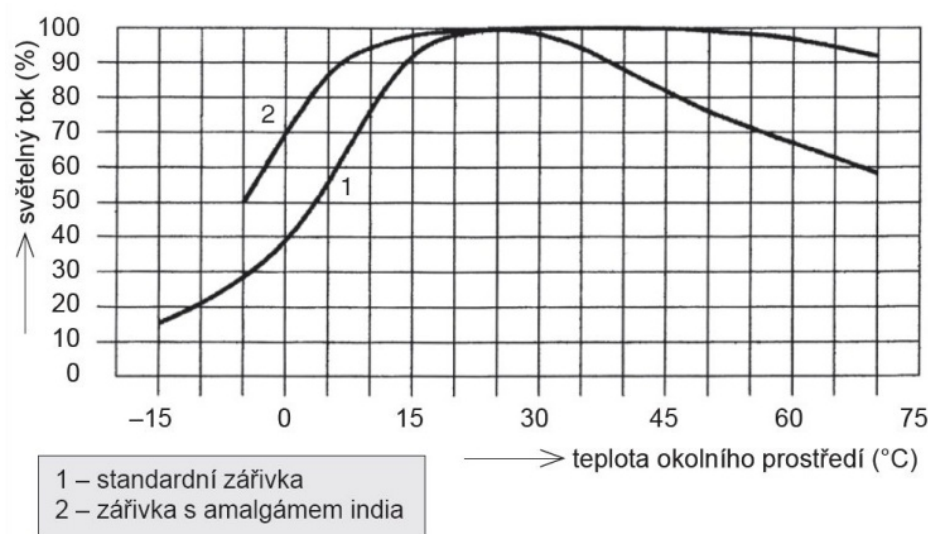
Výboj probíhá v nasycených parách rtuti při tlaku 0,8 Pa, odpovídajícímu teplotě nejchladnějšího místa zářivky (kolem 42 °C) a v inertním plynu, obvykle argonu (u zářivek T2) nebo směsi argonu s kryptonem (u zářivek T8), při tlaku 0,2 až 0,8 Pa.

Na obou koncích trubice běžných typů zářivek je přitmelena patice typu G13 (nové generace lineárních zářivek G5) se dvěma kolíky zajišťujícími zároveň elektrický kontakt s objímkami svítidla a předřadným a startovacím obvodem. [1]

Vlastnosti zářivek:

- vysoký měrný výkon η (až 104 lm/W),
- index podání barev R_a až 98,
- široký sortiment příkonů od 4 W až cca 200 W,

- široký sortiment barev vyzařovaného světla s teplotou chromatičnosti T_C 2 700 K - 17 000 K,
- dlouhá doba života až 20 000 h, při dobré stabilitě světelného toku Φ v průběhu svícení,
- rychlý start bez blikání,
- úplné potlačení stroboskopického jevu,
- stabilní svícení bez míhání, na které je lidské oko při frekvenci $f = 50$ Hz citlivé,
- závislost světelného toku Φ na teplotě okolního prostředí (Obrázek 3.3),
- částečné snížení měrného výkonu předřadnými a startovacími obvody,
- vliv počtu zapnutí na život zářivky (významnější u zapojení s tlumivkou a doutnavkovým startérem, méně významné u bezstartérových zapojení),
- obsah rtuti v zářivce, které je pak nutné likvidovat u pověřených organizací. [1]



Obrázek 3.3: Závislost světelného toku zářivky na okolní teplotě [1]

Kompaktní zářivky jsou to světelné zdroje, které se svými vlastnostmi a geometrickými parametry blíží obyčejným žárovkám o příkonu 25 až 200 W, tzn. svým světelným tokem, rozměry a kvalitou podání barev.

Fyzikální princip je obdobný jako u lineárních zářivek. Jde o nízkotlakou rtuťovou výbojku, v níž je hlavní část světla vyzařována vrstvou luminoforu buzeného ultrafialovým zářením výboje. Aby byl zajištěn širší teplotní interval, v němž světelný tok dosahuje

požadované hodnoty, je rtuť do zářivky dávkována (u předních výrobců) v podobě amalgámu vhodného kovu (např. indium). [1]

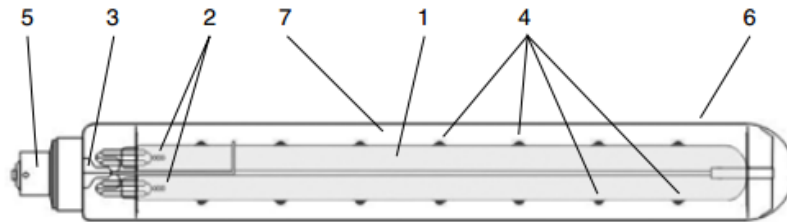
Vlastnosti kompaktních zářivek:

- světelným tokem Φ , geometrickými parametry a kvalitou podání barev R_a se blíží obyčejným žárovkám v základní příkonové řadě 15 až 200 W (typy s integrovaným předřadníkem),
- podání barev $R_a > 90$,
- úplný sortiment základních odstínů bílé barvy, náhradní teplota chromatičnosti T_C 2 700 až 6 500 K,
- dlouhý život až 20 000 h,
- téměř okamžitý start (do 1 s) bez blikání, stabilní provoz bez mihání, potlačení stroboskopického jevu (kompaktní zářivky s elektronickým předřadníkem),
- možnost provozu se stmívači (u zářivek s vnějším elektronickým předřadníkem i u některých zářivek s integrovaným předřadníkem) nebo se zabudovanými senzory reagujícími na okolní světelné podmínky,
- závislost světelných parametrů na teplotě okolního prostředí (*Obrázek 3.3*),
- vliv četnosti zapínání na život,
- obsah toxické rtuti (někteří výrobci snížili její obsah na nejnižší úroveň 2 mg),
- omezená horní hranice příkonu vyplývající z možností nízkotlakého výboje.

Nízkotlaké sodíkové výbojky jsou světelné zdroje, v nichž je světlo vyzařováno sodíkovými parami s provozním parciálním tlakem rozmezí 0,1 až 1,5 Pa. Konstrukce nízkotlaké sodíkové výbojky je na (*Obrázek 3.4*). [1]

Tyto výbojky vyzařují téměř monochromatické záření v pásmu vlnových délek 589,0 až 589,6 nm (žlutá oblast spektra). V důsledku toho nelze v jejich světle rozlišovat barvy a index podání barev je $R_a = 0$. Proto se jejich použití omezuje na osvětlení silnic a dálnic a pro tuto práci jsou nedůležitým světelným zdrojem.

Konstrukce výbojky: 1 – výbojová trubice, 2 – elektrody, 3 – nožka, 4 – chladná místa, 5 – patice, 6 – vnější baňka, 7 – vakuum. [2]



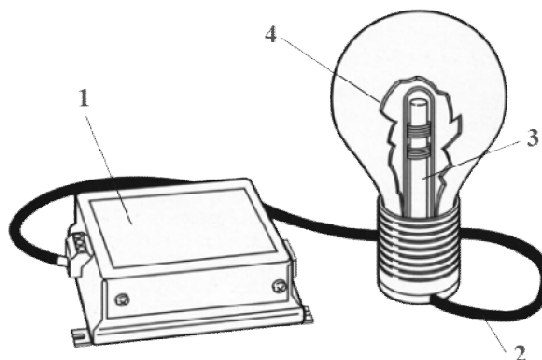
Obrázek 3.4: Konstrukce sodíkové výbojky [1]

Vlastnosti nízkotlakých sodíkových výbojek:

- vysoký měrný výkon η , u nejvýkonnějších až $200 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$,
- široký teplotní interval, v němž je účinnost výbojky nezávislá na okolní teplotě,
- spolehlivý zápal i při teplotách $-20 \text{ }^\circ\text{C}$,
- neobsahuje škodlivou rtuť,
- špatné podání barev ($R_a = 0$) vyplývající z téměř monochromatického spektra,
- pulsace světelného toku plynoucí z malé setrvačnosti nízkotlakého výboje v parách sodíku,
- vyšší zápalné napětí vyžaduje použití speciálních předřadníků, které jsou materiálově náročnější a zvyšují cenu svítidla,
- postupný nárůst příkonu až o 40 %, což je nutné zohlednit při návrhu osvětlovací soustavy,
- náročná technologie výroby.

Indukční výbojky nemají elektrody a k zapálení a hoření výboje slouží vysokofrekvenční elektromagnetické pole vyrobené jednou nebo více cívkami. Používají se výhradně s elektronickým předřadníkem. [2]

Na trhu v současnosti existuje několik předních výrobců, kteří vyvíjí vlastní koncepce těchto svítidel. Na obrázku (Obrázek 3.5) je popsáno konstrukční uspořádání výbojky typu QL s vnitřní indukční cívkou.



Obrázek 3.5: Konstrukce indukční výbojky QL. [7]

Do baňky (4) je zatavena otevřená trubice, do níž se vkládá feritové jádro s indukční cívkou (3) napájenou proudem o frekvenci 2,65 MHz. Vnější povrch baňky je opatřen kovovou sítkou potlačující záření, které by mohlo rušit rádiový příjem. VF generátor (1) je doplněn obvodem, který do 5 s odpojí vadnou výbojku. [7]

Vlastnosti indukčních výbojek:

- dlouhá doba života více než 60 000 h,
- malý úbytek světelného toku Φ za dobu svícení,
- rychlý náběh světelného toku po zapnutí nebo restartu a na rozdíl od vysokotlakých výbojek možnost okamžitého znovuzápalu,
- vysoký měrný výkon η až $93 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$,
- v současné době až na výjimky nejsou stmívatelné,
- neunifikovaný sortiment výbojek monopolních výrobců,
- vysoká cena kompletu svítidlo + výbojka.

3.2.3 Vysokotlaké výbojové zdroje

Vysokotlaké výbojky se odlišují od nízkotlakých výbojek mechanismem vzniku světla. Využívá se vyššího pracovního tlaku rtuťových par a příkon světelného zdroje často přesahuje 100 W.

Vysokotlaké rtuťové výbojky mají své výhody jako nízký pokles světelného toku Φ během života či samotná doba života až 20 000 hodin, avšak vzhledem k nízkému indexu barevného podání R_a a dlouhé době ustálení cca 5 minut jsou pro osvětlování vnitřních prostor nevhodné.

Vysokotlaké sodíkové výbojky se využívají především v osvětlování veřejných komunikací díky významným úsporám elektrické energie a hojně nahrazují rtuťové

výbojky a jejich podíl stále narůstá. Díky nízkému indexu podání barev $R_a = 25$ se pro osvětlování vnitřních prostorů však nehodí.

Halogenidové výbojky jsou náročné na technologii výroby a tak je jejich cena poměrně vysoká. Své místo nacházejí při osvětlování velkých prostranství a architektonickém osvětlování objektů. Díky nízké době života a nemožnosti stmívat je tento zdroj opět pro tuto práci nevhodný. [10]

3.2.4 Elektroluminiscenční světelné zdroje

Do této skupiny světelných zdrojů patří laserové diody, elektroluminiscenční panely a nejvýznamnější zdroj – světelné diody LED.

LED diody prochází v současné době mohutným vývojem a získávají významnou pozici na poli světelných zdrojů. I přesto, že je rozšíření LED diod zatím limitováno vyšší cenou a tím i horším poměrem světlo/cena, začínají se prosazovat, mimo signalizační a zobrazovací techniku, kde již své místo našly dříve, i do oblastí venkovního i vnitřního osvětlení.

U prvních LED diod byl značně omezen sortiment dostupných barev. Až po vyvinutí červené, modré a zelené bylo možné vytvořit diodu s bílým světlem. Tato metoda ovšem není příliš efektivní a pro výrobu bílého světla se, podobně jako u zářivek, využívá luminoforů, konkrétně UV záření diody v kombinaci s třípásmovým luminoforem. Taková dioda v současnosti dosahuje $R_a > 80$, T_c od 2 500 do 4 000 K u teplých odstínů a u chladných odstínů od 5 000 do 10 000 K. Příkon diod dosahuje až 10 W a světelný tok se blíží 1 000 lm.

Polovodičový čip, který vyzářuje světlo, má velmi malé rozměry v řádech mm^2 , proto se krystaly spojují do větších sérií. Abychom mohli nahradit klasické či halogenové žárovky, jsou diody umístěny do svítidla s běžnými paticemi E14, E27 apod. Stejně jsou přizpůsobeny i trubice nahrazující zářivky. Trubice obsahující diody je opatřena zářivkovými paticemi, kterými tak lze nahrazovat i lineární zářivkové osvětlení, je pouze třeba upravit předřadné obvody, které nejsou s diodovými shodné.

Vlastnosti LED diod:

- minimální doba náběhu,
- plná stmívatelnost pomocí modulů užívaných pro systémy pro zářivky nebo halogenové žárovky,
- napájení solárními články,
- vysoký jas a účinnost,
- v dohledné době diody dosahující měrného výkonu η až 200 lm.W^{-1} , vysoké $R_a > 80$ v potřebné stupnici chromatičnosti,
- dlouhý život, až 100 000 hodin při úbytku světelného toku Φ až 40 % (závisí především na teplotních podmínkách),
- neobsahují rtuť, většina použitých materiálů je recyklovatelná,
- zatím horší poměr světlo/cena,
- významná závislost hlavních parametrů na teplotě okolí. [1]

4 ŘÍZENÍ OSVĚTLOVACÍCH SOUSTAV

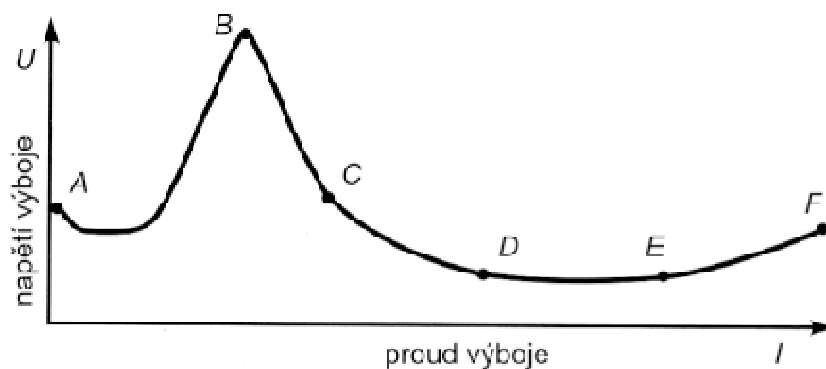
Pro řízení osvětlovacích soustav se používá široká škála zařízení, které jsou vybírány na základě požadavků na danou soustavu a na vybraném typu světelného zdroje. Do skupiny pro řízení osvětlovacích soustav spadají především předřadná zařízení, senzory a řídicí systémy, které propojují veškeré použité komponenty osvětlovací soustavy.

4.1 Předřadná zařízení

Předřadná zařízení jsou elektronické obvody, které zajišťují správnou funkci světelných zdrojů. Tato zařízení jsou zapojena mezi elektrickou sítí a světelným zdrojem a jejich hlavním úkolem je omezit vstupní proud na požadovanou hodnotu.

Klasické žárovky dokážou fungovat bez předřadníků, ostatní zdroje (výbojové, LED) však musí vždy tyto obvody obsahovat, jinak dochází k jejich poškození. Na vině je kolísání napětí v elektrické síti, při jehož zvýšení dochází ke zvýšení proudu výbojky, která má za následek pokles napětí výbojky a vznikající rozdíl mezi napětím sítě a napětím výbojky vyvolává další zvýšení proudu a tento lavinový proces vede ke zničení světelného zdroje.

Na obrázku (Obrázek 4.1) je znázorněna statická VA charakteristika výbojového světelného zdroje, u kterého se pracovní bod pohybuje mezi body C, D a E a v této oblasti musí předřadník hodnoty proudu udržet.



Obrázek 4.1: VA charakteristika výbojového světelného zdroje [1]

Do nedávné doby se kategorie předřadných zařízení omezovala pouze na elektromagnetické předřadníky pro výbojové zdroje, patřily zde zejména tlumivky a startéry pro zářivky, tlumivky a zapalovací zařízení pro část vysokotlakých výbojek, popř. rozptylové transformátory pro svítící trubice a nízkotlaké sodíkové výbojky.

Nyní je kategorie předřadných zařízení mnohem širší, např. elektronické předřadníky pro zářivky i výbojky, elektronické transformátory pro halogenové žárovky na malé napětí, napáječe pro světelné diody, stmívače a další řídicí prvky zajišťující ekonomický provoz celé osvětlovací soustavy. [1]

Předřadná zařízení mají různé konstrukce a obsahují mimo samotného předřadníku i další prvky, což výhradně závisí na druhu připojeného světelného zdroje, avšak základní funkce a požadavky na předřadníky platí obecně pro všechny druhy.

Základní funkce předřadných zařízení:

- zajištění požadovaného napětí, proudu a kmitočtu,
- zapálení výbojového zdroje, řízení etapy rozhoření výboje a následný stabilní provoz,
- potlačení rádiového rušení způsobeného vnějším elektromagnetickým polem vytvářeného světelným zdrojem,
- omezení míhání světleného toku výbojových zdrojů,
- ochrana obvodu světelného zdroje v případě jeho poruchy.

Požadavky na předřadná zařízení:

- zajištění bezpečného provozu světleného zdroje,
- příkon světleného zdroje nesmí klesnout, při jmenovitém kmitočtu a napětí sítě, pod 92,5 % příkonu téhož zdroje při provozu s referenčním předřadníkem,
- energetické ztráty jsou obvykle 5 až 30 % příkonu svítidla (*Tabulka 4.1*),
- elektromagnetická kompatibilita s parametry napájecí sítě,
- zmenšení geometrických parametrů pro dosažení maximálních úspor materiálu,
- tepelné parametry předřadníků a jejich součástí (např. maximální teplota vinutí t_w , při níž jejich život při dlouhodobém provozu dosáhne průměrně 10 let),
- žhavicí proud (popř. napětí) u zářivek provozovaných v obvodech s předžhavením elektrod musí být v ustáleném režimu na hodnotě 50 % proudu při zapálení. [1]

Tabulka 4.1: Členění předřadných zařízení podle energetických ztrát [5]

| Třída | Druh |
|-------|--|
| D | Magnetické předřadníky s vysokými ztrátami |
| C | Standardní magnetické předřadníky |
| B2 | Nízkoztrátové magnetické předřadníky |
| B1 | Super - nízkoztrátové magnetické předřadníky |
| A3 | Elektronické předřadníky |
| A2 | Nízkoztrátové elektronické předřadníky |
| A1 | Stmívatelné elektronické předřadníky |

4.1.1 Předřadná zařízení pro nízkotlaké výbojové zdroje

Pro nízkotlaké výbojové zdroje, konkrétně pro lineární zářivky, lze použít buď indukční (magnetické) nebo elektronické předřadníky.

Při použití magnetických (s tlumivkou) je nutné použít startér pro zapálení výboje v trubici, jehož účinník se však pohybuje maximálně kolem 0,6 a je nutno použít kompenzaci. Tento typ předřadníků pracuje na frekvenci 50 Hz a může proto docházet ke stroboskopickému jevu. Výhodou je jeho odolnost vůči vyšším teplotám a dlouhá doba života.

Elektronické předřadníky mají několik výhod, například jeho start je bez blikání, pracuje na vysoké frekvenci (větší jak 40 kHz) a obejde se bez tlumivky a zapalovače, což má za následek vyšší úsporu a nižší hmotnost. Účinník $\cos \varphi$ se pohybuje kolem 0,98, doba života až 100 000 hodin a především podporuje funkci stmívání. [2]

4.2.1 Předřadná zařízení pro světelné diody

Tento typ předřadných zařízení slouží k napájení světelných diod stejnosměrným konstantním napětím či proudem a zároveň obsahují ochranné prvky vůči zkratům, přetížením, přepětím a teplotám. Samozřejmostí je i podpora regulovatelnosti buď tlačítky, potenciometry či digitálními systémy. Napěťové zdroje lze využít pro napětí 8, 12 a 24 V, proudové se pohybují v rozmezí 30 mA až 1400 mA. [2]

Obecně je vhodnější pro napájení použít proudový zdroj, jelikož dodává definovaný proud a není závislý na úbytcích napětí.

4.2 Řídicí a kontrolní systémy

Dnes existuje několik otevřených i uzavřených řídicích a kontrolních systémů. Pravděpodobně nepoužívanějším systémem v kombinaci s osvětlením je otevřený systém DALI.

4.2.1 Analogové řízení

Analogově řízené elektronické předřadníky jsou ovládány úrovní řídicího napětí na vstupu předřadníku pomocí dvou vodičového signálního vedení. Řídicí napětí se pohybuje v rozsahu od 1 V do 10 V, ovšem vzhledem k napětovému řízení vznikají na vedení úbytky napětí a všechny předřadníky dané osvětlovací soustavy či okruhu nemusí být nastaveny na stejnou úroveň. Tento typ řízení se v současné praxi téměř nevyužívá. [2]

4.2.2 Digitální řízení

V současnosti je jednoznačně používanější variantou digitální řízení díky jeho variabilitě, odolnosti vůči rušení a přepólování napětí. Díky sběrnicevým systémům lze sledovat nefunkčnost zdrojů na vzdáleném pracovišti, jejich hlášení, ukládání světelných scén a zajištění řízení na základě denního osvětlení.

Rozhraní DSI převádí signály od analogových systémů, tlačítek či senzorů na digitální data a přenáší je k předřadným přístrojům. Díky digitálnímu řízení nevznikají úbytky napětí a úroveň světleného toku je od prvního do posledního svítidla stejná. [2]

Rozhraní DALI resp. protokol DALI byl vyvinut komisí IEC. DALI umožňuje digitální komunikaci mezi komponenty osvětlovací soustavy. Ten může být dále integrován jako subsystém do nadřazeného systému budovy.

DALI je mezinárodní norma, která zajišťuje kompatibilitu stmívatelných předřadníků od různých výrobců a zároveň určuje vzájemnou digitální komunikaci mezi jednotlivými prvky osvětlovací soustavy. Přesně specifikuje parametry přenosu, příkazy pro řízené prvky a jejich odpovědi včetně definice datové struktury. Řízené prvky jsou rozděleny podle typů:

- typ 0 – digitální předřadníky pro lineární nebo kompaktní zářivky,
- typ 1 – veškerá zařízení nouzového osvětlení,
- typ 2 – prvky s vysokotlakými výbojkovými zdroji,
- typ 3 – řízené digitální transformátory pro nízkonapěťové halogenové zdroje,
- typ 4 – fázové měniče pro klasické a halogenové žárovky,
- typ 5 – prvky s analogovým výstupem 1 V – 10 V,
- typ 6 až 255 – rezerva pro další vyvíjené prvky, již dnes jsou k dispozici DALI řadiče pro LED diody, standardně většina výrobců dodává reléové moduly atd. [2]

Sběrnice DALI napájí všechny prvky v systému a celkový příkon prvků zapojených na DALI sběrnici nesmí překročit 250 mA. Délka sběrnice nesmí překročit 300 m, úbytek napětí v celé délce nesmí být větší jak 2 V a doporučený průřez vodičů je 0,5 – 1,0 mm². Počet zařízení (individuálních adres) na sběrnici může být maximálně 64, ale existují moduly, které umožňují zvýšit počet připojených zařízení. [1], [2]

4.3 Senzory

Senzory jsou nedílnou součástí řídicích systémů osvětlovacích soustav, nejčastěji využívající princip působení světelných paprsků na fotodiodu či fototranzistor. Senzory je možné využít právě v aplikacích, kde je umělé osvětlení kombinováno s osvětlením denním a je možné s jejich pomocí automaticky udržovat přednastavenou úroveň osvětlenosti. Mohou být umístěny buď přímo ve svítidle, v podhledu nebo na stropě. Senzory pro použití v digitálních systémech, mohou zajišťovat několik funkcí:

- udržování nastavené úrovně osvětlenosti umělého osvětlení v závislosti na denním světle,
- automatické rozsvícení v případě přítomnosti osob, jsou-li světlené podmínky nedostačující a zároveň automatické zhasnutí osvětlovací soustavy v nepřítomnosti osob,
- automatické zhasnutí umělého osvětlení v případě dostačujících podmínek. [1]

Řízení pomocí senzorů v kombinaci s DALI má tu výhodu, že můžeme vést jak napájecí, tak i řídicí vedení v jednom kabelu. U analogového řízení musí být tyto dva kabely odděleny z důvodu vzájemného rušení.

4.4 Existující řešení řízení osvětlovacích soustav

V současné době, kdy se zvedá tlak na snižování energetické náročnosti budov, existuje i v oblasti osvětlovací techniky mnoho komplexních řešení, jak úspor dosáhnout. Především větší výrobci v oblasti osvětlování nabízí komplexní řešení od výroby úsporných světelných zdrojů, jejich řízení v závislosti na denním světle či přítomnosti osob, až po programovací software, vizualizace a další uživatelsky přívětivé technologie.

4.4.1 Osram DALI Professional

Řešení od firmy Osram, s označením DALI Professional, je vhodné pro malé, střední i velké instalace a toto řešení je částečně využito i v této práci. Řešení DALI Professional nabízí jak u malých, tak velkých aplikací:

- řízení skupin a scén,
- grafická vizualizace propojení přístrojů,
- řízení v závislosti na denním světle,
- automatická detekce pohybu a sekvenční řízení,
- zobrazení použitých zdrojů.

System řízení osvětlení DALI Professional se skládá z:

- řídicí jednotky,
 - regulátory,
 - slučovače pro senzory denního světla, senzory pohybu a tlačítka,
 - komunikační jednotky,
- senzory,
 - senzory denního světla,
 - senzory pohybu,
 - jejich kombinace,
- uživatelská rozhraní,
 - dotykové obrazovky a ovládací panely,
- softwarové nástroje,
 - Osram DALI Pro 1.3.0 pro konfiguraci instalací DALI,
 - Osram Touch Panel Designer pro konfiguraci dotykových panelů.

5 SVĚTELNĚTECHNICKÉ VÝPOČTY

Světelnětechnické výpočty slouží pro určení a stanovení potřebných počtů světelných zdrojů, svítidel a jejich příkonu. Z těchto základních informací můžeme dále ověřit jakost osvětlení. Výpočty dělíme do dvou základních skupin a to na orientační a podrobné.

5.1 Orientační výpočty osvětlení

Orientační výpočty se používají především k předběžnému stanovení elektrického příkonu osvětlovací soustavy a pro určení počtu světelných zdrojů a svítidel. Při tomto druhu výpočtů se pracuje především s průměrnými hodnotami světelnětechnických veličin. Zpravidla se neuvažuje vliv zastínění částí srovnávací roviny velkými předměty, ale existují tokové metody, které respektují vybavení místnosti. [1]

5.1.1 Příkon osvětlovací soustavy

Pro orientační určení celkového příkonu P osvětlovací soustavy se využívá poměrného příkonu p vztaženého na m^2 osvětlované plochy. Měrný příkon η závisí jak na vlastnostech osvětlovací soustavy, tak na geometrických a světelnětechnických vlastnostech osvětlovaného prostoru. K odhadu měrného příkonu η může sloužit tabulka (Tabulka 5.1)

Tabulka 5.1: Hodnoty měrných příkonů [9]

| Osvětlovací soustava | Činitel místnosti μ | p [W/m ² / 100 lx] | | |
|----------------------|-------------------------|---------------------------------|------------------------|---------------|
| | | světlé povrchy | středně světlé povrchy | tmavé povrchy |
| přímá | 2 | 25 | 28 | 30 |
| | 2 až 4 | 19 | 20 | 22 |
| | 4 | 15 | 16 | 18 |
| smíšená | 2 | 42 | 60 | 80 |
| | 2 až 4 | 28 | 36 | 48 |
| | 4 | 20 | 26 | 32 |
| nepřímá | 2 | 56 | 86 | 160 |
| | 2 až 4 | 36 | 56 | 106 |
| | 4 | 26 | 40 | 74 |

Činitel geometrie prostoru μ je roven poměru šířky místnosti k výpočtové výšce h_v . Výpočtová výška h_v odpovídá u přímých a smíšených soustav vzdálenosti mezi rovinou svítidel a srovnávací rovinou. Pro nepřímé osvětlení je h_v rovno vzdálenosti mezi stropem a srovnávací rovinou.

Potřebný příkon P pro osvětlovací soustavu určíme ze vztahu (5.1).

$$P = p \cdot A \cdot \frac{\overline{E}_m}{100} \quad [W; W \cdot m^{-2}, m^2, lx] \quad (5.1)$$

kde P – potřebný příkon,

p – měrný příkon,

\overline{E}_m – požadovaná udržovaná osvětlenost na srovnávací rovině,

A – plocha srovnávací roviny.

Tato orientační metoda se využívá v prvotní fázi projektu a tento předběžný výpočet lze dále zpřesnit, pro konkrétní typ svítidla, tokovou metodou, která se využívá pro stanovení potřebného počtu svítidel.

5.1.2 Toková metoda výpočtu průměrné osvětlenosti

Toková metoda je nejpoužívanější postup předběžného návrhu osvětlení. Nejčastěji se používá pro stanovení celkového světelného toku světelných zdrojů ϕ_z potřebného k zajištění osvětlenosti E_m na srovnávací rovině a stanoví se ze vztahu (5.2).

$$\phi_z = \frac{\overline{E}_m \cdot A}{MF \cdot \eta_E} = \frac{E_0 \cdot A}{\eta_E} \quad [lm; lx, m^2, -] \quad (5.2)$$

kde \overline{E}_m – požadovaná udržovaná osvětlenost,

E_0 – počáteční hladina osvětlenosti srovnávací roviny,

A – velikost osvětlované plochy,

MF – udržovací činitel,

η_E – činitel využití.

Pro činitele využití η_E pak platí:

$$\eta_E = \frac{\phi_3}{\phi_z} \quad [-; lm, lm] \quad (5.3)$$

kde ϕ_3 – užitečný světelný tok dopadající na srovnávací rovinu,

ϕ_z – světelný tok vyzařován celou osvětlovací soustavou v daném prostoru.

Celkový počet svítidel získáme vydělením toku ϕ_z z rovnice (5.2) tokem světelných zdrojů v jednom ze svítidel. Počet svítidel se může změnit z důvodu zaokrouhlení či rozmístění v místnosti, tím se změní celkový tok na hodnotu ϕ'_z a proto se musí ověřit, zda požadovaná osvětlenost E_m stále odpovídá požadavkům.

$$E_m = \frac{\phi'_z}{A} \cdot MF \cdot \eta_E \quad [lx; lm, -, -, m^2] \quad (5.4)$$

V případě, že se do rovnice (5.3) zavede provozní účinnost η_{sv} použitého svítidla, což je poměr světelného toku ϕ_{sv} vyzařovaného svítidlem a toku ϕ_z vyzařovaného světelnými zdroji instalovanými v daném svítidle, je možné činitel využití vyjádřit jako součin provozní účinnosti η_{sv} použitého svítidla a účinnosti prostoru η_{po} .

$$\eta_E = \frac{\phi_3}{\phi_z} = \eta_{sv} \frac{\phi_3}{\phi_{sv}} = \eta_{sv} \cdot \eta_{op} \quad [-; -, -] \quad (5.5)$$

kde ϕ_{sv} – světelný tok vyzařovaný všemi svítidly v daném prostoru,

ϕ_{sv} – světelný tok všech světelných zdrojů,

ϕ_3 – celkový světelný tok dopadající na srovnávací rovinu,

η_{op} – účinnost prostoru.

Účinnost prostoru η_{op} je rovna podílu užitečného toku ϕ_3 a světelného toku ϕ_{sv} všech svítidel a platí rovnice (5.6).

$$\eta_{op} = \frac{\phi_3}{\phi_{sv}} \quad [-; lm, lm] \quad (5.6)$$

Činitel využití η_E závisí nejen na vlastnostech použitých svítidel, ale také na geometrických a světelnětechnických vlastnostech daného prostoru. Toto popisuje tzv. index místnosti k , který se stanovuje pro přímé, převážně přímé a smíšené osvětlení při obdélníkovém půdorysu místnosti ze vztahu (5.7).

$$k = \frac{c \cdot d}{h(c + d)} \quad [-; m^2, m^2] \quad (5.7)$$

a pro osvětlení převážně nepřímé a nepřímé ze vztahu (5.8).

$$k = \frac{3 \cdot c \cdot d}{2 \cdot H(c + d)} \quad [-; m^2, m^2] \quad (5.8)$$

kde c – délka osvětlovaného prostoru,

d – šířka osvětlovaného prostoru,

h – vzdálenost mezi rovinou svítidel a srovnávací rovinou,

H – vzdálenost stropu a srovnávací roviny. [1]

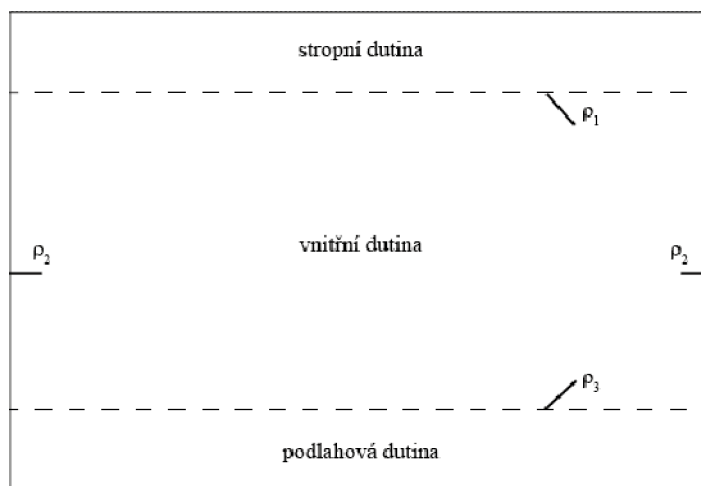
5.1.3 Metoda dutin

Pro výpočet pomocí metodou dutin se uspořádají svítidla do pravidelného čtvercového rozmístění a osvětlovaná místnost se rozdělí na tři roviny – prostor nad svítidly, tzv. stropní dutina a prostor pod srovnávací rovinou, tzv. podlahová dutina, tak jak je znázorněno na obrázku (Obrázek 5.1). [9]

Výpočet celkového světelného toku ϕ_z nebo celkového počtu svítidel n_s se počítají obdobně, jako ve výše popsané tokové metodě. Metodou dutin se odlišně počítá účinnost prostoru η_{po} a činitel využití η_E . Rozdíl mezi metodou dutin a tokovou metodou spočívá právě v rozdělení daného prostoru na tři dutiny a hledané veličiny se poté počítají pro jednotlivé dutinové prostory zvlášť.

Fiktivní rovině svítidel je přiřazen ekvivalentní činitel stropní dutiny ρ_1 a stejným způsobem je srovnávací rovině přiřazen ekvivalentní činitel odrazu ρ_3 podlahové dutině. Stěny se považují za jednu plochu a přiřazuje se jí střední hodnota činitele odrazu ρ_2 .

Předpokládají se rovnoměrně dopadající světelné toky svítidel na tyto plochy, které je svými vlastnostmi zase rovnoměrně rozptylují do prostoru. Do orientačních výpočtů také spadají výpočty činitelů odrazu ploch, otvorů dutin a dále jasy stropních dutin a stěn.



Obrázek 5.1: Vyznačení stropní, střední a podlahové dutiny místnosti

5.2 Podrobné metody výpočtů

Do této kategorie výpočtů spadá především bodová metoda a v současné době se také hojně využívá výpočtová technika a s nimi řada specializovaných softwarů.

Pomocí podrobných výpočtových metod jsme schopni určit vlastnosti světelného pole v bodech různých pracovních rovin ať už vodorovných, svislých či nakloněných pod různými úhly, jejich minima, maxima a hodnoty rovnoměrnosti r .

Vyzařování světlených zdrojů a svítidel se při světelnotechnických výpočtech charakterizuje rozložením svítivosti S , která je však definována pouze pro bodový zdroj a tak v důsledku tohoto vzniká při výpočtu určitá chyba. Z důvodu minimalizace chyb se svítidla a světelné zdroje dělí dle poměru jejich vyzařovací plochy ke vzdálenosti od kontrolního místa na bodová, přímková, plošná a objemová. Pro každý takový typ svítidla existuje způsob výpočtu dané světelnotechnické veličiny, kdy se pozornost věnuje především tzv. integrálním charakteristikám světelného pole, které každému bodu světelného pole přiřazují právě jednu hodnotu. [1]

V dnešní době výkonné výpočetní techniky se využívají pro projektování osvětlovacích soustav specializované softwary, které usnadňují a zároveň zpřesňují výpočty. Do této kategorie softwarů můžeme zařadit produkty firmy ASTRA MS Software – Wils a WDLS, dále švýcarský RELUX nebo německý DIALux.

6 ELEKTROROZVODY PRO OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY

Napájení osvětlovací soustavy je její nedílnou součástí a jako každá část takové soustavy, musí i elektrické rozvody splňovat a respektovat určité požadavky z hlediska jak světelnětechnického, tak z hlediska bezpečnosti, spolehlivosti a kompatibility.

6.1 Dimenzování světelných rozvodů

Světelné rozvody se dimenzují na základě celkového jmenovitého zatížení soustavy a je také důležitá kontrola velikosti úbytku napětí z důvodu správné funkčnosti všech zařízení. Rozvodná zařízení musí dále odolat tepelným a silovým účinkům zkratových proudů.

6.1.1 Dimenzování podle jmenovitého zatížení

Jmenovité zatížení soustavy se, dle ČSN 33 2130 ed. 2 Elektrické instalace nízkého napětí – Vnitřní elektrické rozvody, určí ze vztahu (6.1).

$$P = \beta \sum_{i=1}^n P_i \quad [W; -, W] \quad (6.1)$$

kde P – výpočtové zatížení,

β – činitel náročnosti,

$\sum P_i$ – součet jmenovitých příkonů spotřebičů.

Činitel náročnosti skupiny spotřebičů se obecně stanovuje ze vztahu (6.2).

$$\beta = \frac{k_s \cdot k_z}{\eta_m \cdot \eta_s} \quad [-; -, -, -, -] \quad (6.2)$$

kde k_s – činitel soudobosti je podíl zařízení v provozu k celkovému počtu zařízení,

k_z – činitel zatížitelnosti je roven poměru skutečného zatížení spotřebiče k jeho jmenovitému zatížení,

η_m – účinnost spotřebiče,

η_s – účinnost napájecí soustavy.

V případě, že se stanovuje výpočtové zatížení vedení, které napájí jen určitou osvětlovací soustavu, kdy je činitel zatížitelnosti k_z roven jedné a vliv jmenovatele je nevýznamný, tak se výraz zjednodušuje a činitel náročnosti β se rovná pouze činiteli soudobosti k_s .

Jde-li o třífázovou napájecí soustavu, stanoví se z rovnice (6.3) výpočtový proud I_P trojfázové soustavy, který bude sloužit jako podklad pro volbu vodiče. [1]

$$I_P = \frac{1\,000 \cdot P_P}{\sqrt{3} \cdot U_s \cdot \cos \varphi} \quad [\text{A}; \text{W}, \text{V}, ^\circ] \quad (6.3)$$

kde I_P – elektrický proud trojfázové soustavy,

P_P – výpočtové zatížení,

U_s – jmenovité sdružené napětí trojfázové sítě,

$\cos \varphi$ – účinník.

6.2 Jištění světelných obvodů

Vedení světleného obvodu se jistí jističi nebo pojistkami se jmenovitým proudem nejvýše 25 A, a zároveň musí mít vedení takový průřez, aby bylo předřazeným jističem resp. pojistkou jištěno proti přetížení. V průmyslových halách se k osvětlování volí trojfázový světelný obvod, kde funkci spínačů přebírají stykače, které mívají jmenovitý proud až do 25 A.

Jmenovitý proud ovládacího přístroje nesmí být menší, než součet jmenovitých proudů všech svítidel tímto přístrojem ovládaných. Světelné zdroje se zvlášť nejistí, před nadproudem se jistí jen jejich přívodní vedení. [1]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU

Náplní praktické části diplomové práce je návrh osvětlovací soustavy průmyslové haly Kovex Újezd, s. r. o. Práce zahrnuje návrh osvětlovací soustavy, návrh všech komponent osvětlovací soustavy, jejich rozmístění včetně výkresové dokumentace. Součástí je návrh řízení soustavy v závislosti na denním světle.

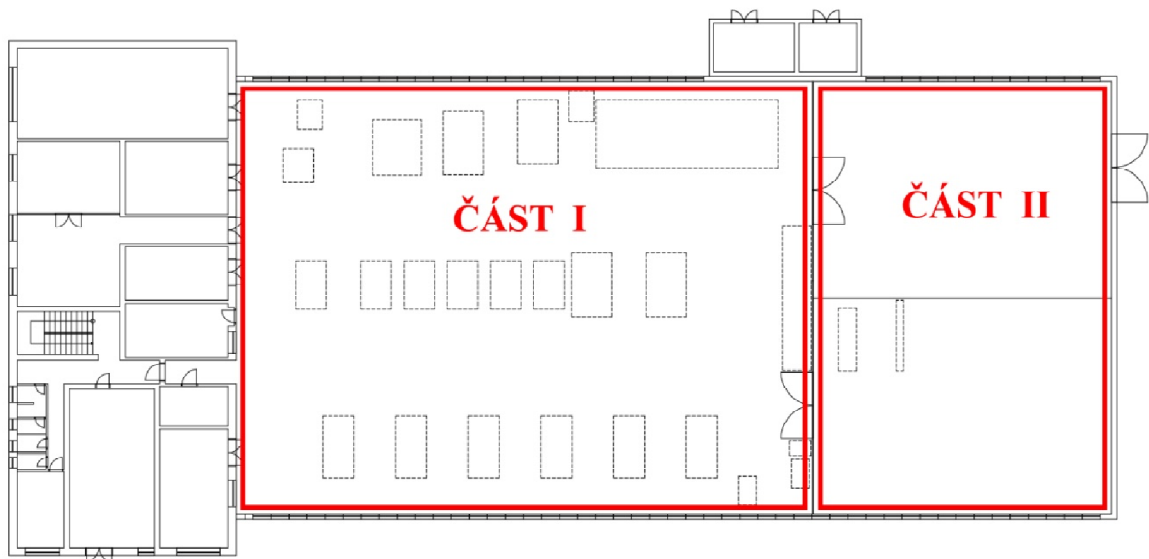
Praktická část se zabývá srovnáním stávající osvětlovací soustavy a nově navržené soustavy. Výstupem práce bude ekonomické vyhodnocení tří základních stavů:

- a) současné stavu a energetické náročnosti osvětlovací soustavy,
- b) nové osvětlovací soustavy bez regulace,
- c) nové osvětlovací soustavy s regulací v závislosti na denním světle.

7.1 Identifikace objektu

Průmyslová hala je využívána v oboru strojírenství, přesného obrábění na CNC strojích. Analyzovaný průmyslový objekt se skládá ze dvou hlavních částí, které jsou vzájemně odděleny plechovou stěnou, do výšky cca 4 metrů.

Část I výrobní haly má rozlohu přibližně 768 m², část II se rozkládá na ploše 396 m², přičemž část II je dále rozdělena na dvě poloviny, taktéž plechovou zástěnou přibližně do 2/3 délky. Rozdělení haly je znázorněno na obrázku (*Obrázek 7.1*). Výška stropu je pro obě části společná a v nejvyšším místě činí 7,8 m. Strop resp. střecha je sedlového typu se sklonem 20 %. Jižní a severní strana haly má po celé délce okenní otvory. Výjimkou je severní strana, kde je řada okenních otvorů přerušena přístavkem. Toto přerušení je v celkové délce 9 m. Střecha je opatřena polykarbonátovým obloukovým světlíkem o rozměrech 37x3 m. Světlík je umístěn ve středu haly a zasahuje do části I i II.



Obrázek 7.1: Rozdělení průmyslové haly na části

7.2 Provozní režim

Pracovní doba ve výrobě je dvousměnná, od 6:00 do 22:00 hodin, což je zhruba 4000 hodin za rok. Výroba probíhá pouze v pracovní dny od pondělí do pátku. V části I se pracovníci zdržují celou pracovní dobu, část II je využívána pouze jako skladový a expediční prostor. V části I je osvětlovací soustava zapnuta po celou pracovní dobu, v části II pouze při ukládání materiálů a hotových výrobků.

7.3 Klasifikace prostoru a prováděným úkolů a činností

Prostory jsou klasifikovány hygienickými požadavky a normami, které stanovují minimální požadavky na řadu světelných a technických parametrů.

Jelikož je provoz dvousměnný a osoby tráví v prostoru více jak 4 hodiny jedenkrát týdně, musí proto pracovní prostor vyhovovat přísnějším hygienickým požadavkům. Norma ČSN EN 12464-1 dělí pracovní prostory a činnosti do kategorií podle druhu činnosti. Činnost v řešené průmyslové hale je klasifikována jako *Zpracování a opracování kovů*. Tato kategorie je dále dělena a minimální požadované hodnoty pro konkrétní činnost jsou uvedeny v tabulce (*Tabulka 7.1*).

Tabulka 7.1: Klasifikace prostoru a úkolů dle ČSN EN 12464-1 [8]

| Průmyslové činnosti a prostory | | | | |
|--|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Zpracování a opracování kovů | | | | |
| Druh prostoru, úkolu nebo činnosti | E [lx] | UGR [-] | R_a [-] | U_0 [-] |
| Hrubé a střední strojní opracování, tolerance < 0,1 mm | 300 | 22 | 60 | 0,6 |

Uvedené hodnoty platí pro část I výrobní haly. V části II se trvale osoby nenacházejí, tudíž nemusí splňovat minimum 200 lx stanovených hygienickými požadavky, ale postačí zde hodnota osvětlenosti 100 lx, která je stanovena normou pro skladovací prostory.

7.4 Denní osvětlení

Součástí analýzy současného stavu byla i kontrola denní osvětlenosti pomocí výpočetního softwaru DIALux. Vzhledem k velkému počtu okenních otvorů po stranách haly (boční osvětlení) a rozměrnému světlíku (horní osvětlení) výpočet ukázal, že je denní osvětlenost vyhovující. Protokol resp. výstup z analýzy denního osvětlení je v příloze P V. Výpočet činitele dostupnosti denního světla byl stanoven na $D_m = 2,5 \%$, což je vzhledem ke stanoveným požadavkům v kapitole 1.2.1 vyhovující.

7.5 Umělé osvětlení

Umělé osvětlení v hale se skládá z celkového osvětlení a z osvětlení místního, které má každý stroj. Osvětlovací soustava je koncipována tak, že lze ovládat zvlášť osvětlení v části I a II nezávisle na sobě.

V části I je soustava tvořena lineárními zářivkami T8 ve čtyřech řadách. V každé řadě se nachází 15 svítidel, které jsou tvořeny plechovým reflektorem bez optického systému. V každém svítidle jsou umístěny dva světelné zdroje o příkonu 58 W. Těchto 60 svítidel je rozděleno do 12 okruhů, takže je v současném provedení možná částečná manuální regulace osvětlení.

V části II je situace řešena obdobně. Soustava je zde tvořena stejným typem lineární zářivky ve čtyřech řadách po osmi svítidlech. Svítidla jsou rozdělena do 8 samostatně řízených okruhů.

V části I bylo provedeno kontrolní měření umělého osvětlení následujícím postupem:

- bylo zvoleno 42 kontrolních bodů, jejichž rozložení je znázorněno v příloze *P II*,
- z těchto kontrolních bodů bylo vybráno celkem 28 tak, aby byl vyloučen vliv místního osvětlení jednotlivých strojů (*Tabulka 7.2*),
- z 28 kontrolních bodů byla stanovena průměrná osvětlenost E_m .

Tabulka 7.2: Hodnoty osvětlenosti v kontrolních bodech

| Stanoviště | E_m [lx] | Stanoviště | E_m [lx] | Stanoviště | E_m [lx] |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 1 | 63 | 21 | 49 | 41 | 90 |
| 2 | 105 | 22 | 21 | 42 | 136 |
| 3 | 72 | 23 | 92 | | |
| 4 | 143 | 24 | 176 | | |
| 5 | 70 | 25 | 380 | | |
| 6 | 67 | 26 | 66 | | |
| 7 | 194 | 27 | 190 | | |
| 8 | 105 | 28 | 108 | | |
| 9 | 225 | 29 | 33 | | |
| 10 | 93 | 30 | 84 | | |
| 11 | 83 | 31 | 96 | | |
| 12 | 53 | 32 | 197 | | |
| 13 | 77 | 33 | 140 | | |
| 14 | 74 | 34 | 92 | | |
| 15 | 386 | 35 | 203 | | |
| 16 | 52 | 36 | 142 | | |
| 17 | 116 | 37 | 68 | | |
| 18 | 72 | 38 | 383 | | |
| 19 | 145 | 39 | 360 | | |
| 20 | 140 | 40 | 202 | | |

V tabulce (*Tabulka 7.3*) je souhrn svítidel, světelných zdrojů a jejich parametrů, které jsou v současnosti v hale instalovány.

Tabulka 7.3: Seznam světelných zdrojů

| Řada | Výrobní hala - část I | | Zadní část - část II | | Vlastnosti zářivek | | |
|------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------|-----------|-----------|
| | Celkem světelných zdrojů | Nefunkčních světelných zdrojů | Celkem světelných zdrojů | Nefunkčních světelných zdrojů | P [W] (+předřadník) | R_a [-] | T_c [K] |
| 1 | 30 | 11 | 16 | 5 | 58 (73) | 85 | 4000 |
| 2 | 30 | 18 | 16 | 5 | | | |
| 3 | 30 | 11 | 16 | 4 | | | |
| 4 | 30 | 6 | 16 | 2 | | | |

7.6 Kvalita údržby

Údržba je, jak vyplývá z tabulky (*Tabulka 7.3*), vzhledem k výměně nefunkčních zdrojů nedostatečná. Špatná údržba se týká i funkčních světelných zdrojů a svítidel, jelikož interval údržby je spíše nahodilý a rozhodně delší, než by bylo vhodné. Výše uvedená tabulka (*Tabulka 2.6*) doporučuje interval údržby pro nechráněný světelný zdroj ve špinavém a normálním prostředí jednou za rok.

7.7 Vyhodnocení stávajícího stavu

Z naměřených hodnot, které jsou uvedeny v tabulce (*Tabulka 7.2*) modře, byla stanovena průměrná osvětlenost $E_m = 87$ lx, která je vzhledem ke stanoveným požadavkům (*Tabulka 7.1*) nevyhovující a je to způsobeno několika faktory, zejména pak:

- nefunkčnost 46 světelných zdrojů ze 120 (*Tabulka 7.3*), což je téměř 40 % nefunkčních zdrojů,
- interval údržby přesahující 1 rok, což je vzhledem k prostředí, typu svítidla a druhu výroby nedostatečné,
- nevhodně zvolený typ svítidla bez optického systému,
- absence údržby okolních povrchů.

Z důvodu nefunkčnosti velkého počtu světelných zdrojů a zastaralé osvětlovací soustavy je nevyhovující taktéž rovnoměrnost osvětlení, což je podíl minimální naměřené

hodnoty k průměrné hodnotě osvětlenosti. Rovnoměrnost osvětlení r je cca 0,5 a minimální požadovaná je 0,6.

Vzhledem k nízké hladině osvětlenosti v prostoru a zároveň při použití svítidla bez optického systému a jakékoliv clony je v prostoru nepříjemné rozložení jasů. To nutí lidský zrak neustále readaptovat, což vede k únavě.

Parametrem, který splňuje požadavky je index podání barev R_a , jelikož je použit v současné soustavě lineární zářivkový zdroj, který má tento index větší jak 80. Vzhledem k výše uvedeným nedostatkům však nemá příliš vliv na celkové hodnocení osvětlovací soustavy.

Osvětlovací soustava má zastaralý předřadný systém vyžadující použití tlumivky, jejichž spotřeba, při celkovém počtu 92 použitých svítidel, není zanedbatelná. Spotřeba tlumivek se podílí téměř 20 % z celkové spotřeby svítidla. Současný příkon osvětlovací soustavy je $P_c = 13$ kW.

Z uvedeného výčtu nedostatků by bylo vhodným řešením nahradit tuto osvětlovací soustavu novými svítidly s optickým systémem, se zářivkami typu T5, elektronickým předřadníkem, který zároveň umožňuje kombinaci dalších prvků jako senzory denního světla nebo senzory pro detekci přítomnosti osob, pomocí kterých lze dosáhnout významných úspor. Společně s návrhem technického řešení musí být stanoven přesný plán údržby, který zajistí efektivitu soustavy po celou dobu jejího života.

8 NÁVRH OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY

Základním prvkem návrhu nově osvětlovací soustavy je důkladné stanovení požadavků, na základě kterých bude stanoven systém řízení a budou vybírány konkrétní komponenty.

8.1 Požadavky na osvětlovací soustavu

Požadavky na návrh nové osvětlovací soustavy se odvíjí od současného trendu, tedy o minimalizaci provozních nákladů, čehož lze dosáhnout těmito základními způsoby:

- snížením celkového příkonu soustavy tak, aby zároveň nedošlo ke snížení udržované osvětlenosti $\overline{E_m}$ pod žádanou hodnotu 300 lx,
- řízení okruhů osvětlovací soustavy nezávisle na sobě,
- svítidla s patičí G5, optickým systémem a reflektorem,
- světelný zdroj typu T5 s parametry $P = 54 \text{ W}$, $R_a > 80$, $T_c = 4\,000 \text{ K}$, doba života alespoň 20 000 hodin,
- světelný zdroj s konstantním světelným tokem Φ v širokém rozsahu teplot,
- sběrníkový systém umožňující řízení v závislosti na příspěvku denního světla,
- kombinace senzorů denního světla a přítomnosti osob,
- stmívatelný elektronický předřadník v rozsahu 1 až 100 %, podporující standard DALI,
- stanovení plánu údržby soustavy pro zajištění plné funkčnosti a její energetické efektivity po celou dobu života.

Tyto základní body jsou se současnými technologiemi splnitelné. Díky tomu, že se dnes řízení osvětlovacích soustav v závislosti na denním světle stává prakticky standardem a nejedná se o žádnou novinku na trhu, jsou i investiční náklady na takovou soustavu přijatelné.

Vedle ekonomického hlediska musí být stále brán zřetel na splnění požadavků, které si žádají české normy a hygienické standardy. Jejich hodnoty pro řešený objekt jsou uvedeny v tabulce (*Tabulka 7.1*).

8.2 Dimenzování osvětlovací soustavy

Požadovaná udržovaná osvětlenost je $\overline{E}_m = 300$ lx. Soustava musí být však předimenzována s přihlédnutím na udržovací činitel MF .

Stanovení udržovacího činitele

Udržovací činitel MF je pro celou soustavu společný, jelikož prostředí v obou částech průmyslové haly lze považovat za stejné a v obou částech jsou použita stejná svítidla i světelné zdroje. Postup při stanovení udržovacího činitele:

1) Volba světelného zdroje a svítidla

Svítidlo bylo zvoleno s krytím IP 66, které je chráněno proti prachu. Prostor je definováno jako špinavé. Při této kombinaci je vhodné stanovit interval čištění svítidla každé 2 roky.

2) Stanovení činitele $LLMF$

Měřená doba života vybraného světelného zdroje je 24 000 h. Servisní interval při cca 4000 pracovních hodin za rok je přibližně 6 let. Výpadkovost při 20 000 h je 0,85 a pokles světelného toku 0,89. Činitel $LLMF$ je možné stanovit buď z tabulkových hodnot dokumentu [11] anebo jej určí přímo výrobce. $LLMF$ je stanoven výrobcem a je roven 0,89 při 20 000 hodinách. V tabulce (*Tabulka 8.1*) je srovnán činitel stárnutí $LLMF$ vybraného zářivkového světelného zdroje T5 se stávajícím světelným zdrojem T8.

3) Stanovení činitele LSF

Světelné zdroje nebudou vyměňovány hromadně, ale pouze jednotlivě. Při individuální výměně se činitel $LSF = 1$.

4) Volba intervalu čištění svítidel a povrchů místnosti

Interval čištění pro svítidlo byly zvoleny 2 roky. Pro místnost je tento interval stanoven na 6 let.

5) Stanovení činitele LMF

Udržovací činitel svítidel LMF je stanoven tabulkovou metodou podle [11] pro interval čištění 2 roky a špinavé prostředí $LMF = 0,81$.

6) Stanovení činitele $RSMF$

Udržovací činitel povrchů $RSMF$ je stanoven taktéž podle [11] pro interval údržby 6 let a činitele odrazu 0,5/0,3/0,2 (strop/stěny/podlaha) $RSMF = 0,92$.

7) Výpočet udržovacího činitele MF

Udržovací činitel MF se vypočítá podle rovnice (2.2), pak $MF = 0,66$.

Tabulka 8.1: Srovnání činitele $LLMF$ stávajícího a nového světelného zdroje

| | Lumilux T5 HO Constant | Master TL-D T8 |
|--------|---------------------------|-------------------|
| Hodiny | $LLMF$ [-] | |
| 2000 | 0,95 | 0,96 |
| 4000 | 0,92 | 0,95 |
| 6000 | 0,91 | 0,94 |
| 8000 | 0,90 | 0,93 |
| 12000 | 0,90 | 0,92 |
| 16000 | 0,90 | 0,91 |
| 20000 | 0,89 | 0,90 |

Udržovaná osvětlenost je $\overline{E}_m = 300$ lx je přepočítána podle rovnice (2.3), která stanoví počáteční hodnotu osvětlenosti $E_m = 455$ lx.

Umístění svítidel, tedy jejich výška a rozteč, se shoduje se současným stavem. Důvodem je minimalizace vstupních nákladů, navíc současný silnoproudý rozvod vyhovuje, tudíž není nutné zřizovat nový. V příloze P IV je znázorněno navržené rozmístění a počty svítidel v obou částech výrobní haly.

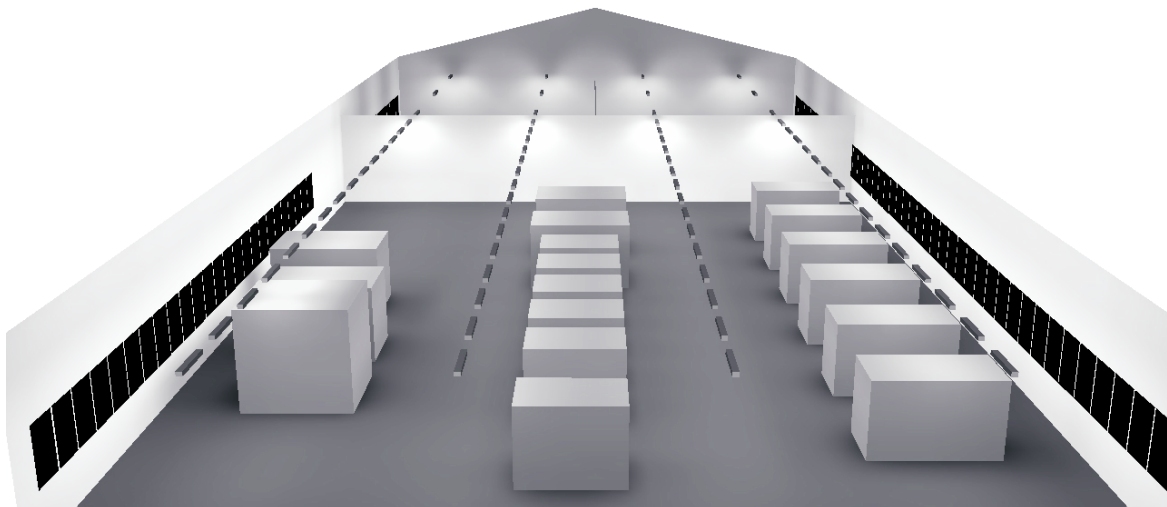
Počet použitých svítidel je tedy v obou částech haly celkem 72. Každé svítidlo má příkon $P = 115$ W, což dělá celkový příkon soustavy $P_C = 8280$ W.

Tabulka 8.2: Základní parametry nově navržené osvětlovací soustavy

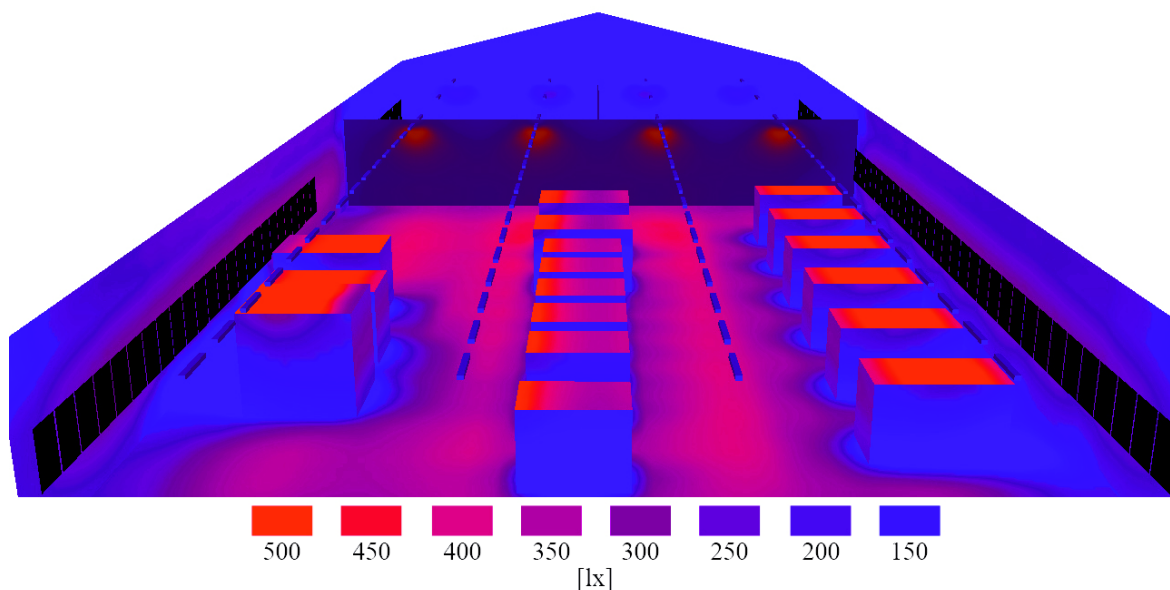
| Výpočtová plocha | Počet svítidel | Příkon svítidel P_C | E_m [lx] | E_{min} [lx] | E_{max} [lx] | r [-] | R_a [-] | T_c [K] | UGR [-] |
|----------------------|----------------|-----------------------|------------|----------------|----------------|---------|-----------|-----------|-----------|
| Výrobní hala ČÁST I | 60 | 8 000 | 446 | 310 | 512 | 0,695 | ≥ 80 | 4000 | < 20 |
| Výrobní hala ČÁST II | 12 | 1 300 | 152 | 99 | 229 | 0,65 | ≥ 80 | 4000 | < 20 |

V tabulce (*Tabulka 8.2*) jsou shrnuty základní parametry nově navržené osvětlovací soustavy. Z této tabulky vyplývá, že navržená soustava splňuje všechny parametry stanovené normou.

Na obrázcích (*Obrázek 8.1* a *Obrázek 8.2*) je vizualizace výrobní haly s nově navrženou osvětlovací soustavou. Obrázek (*Obrázek 8.2*) znázorňuje objekt v tzv. nepravých barvách, jejichž hodnoty jsou uvedeny v luxech pod obrázkem.



Obrázek 8.1: Vizualizace výrobní haly



Obrázek 8.2: Vizualizace výrobní haly v nepravých barvách

8.2.1 Údržba osvětlovací soustavy

Stejně tak jako osvětlenost E_m , činitel oslnění UGR a další, musí být jasně dán také plán údržby osvětlovací soustavy a tzv. udržovací činitel MF . Obě tyto skutečnosti jsou velmi důležité pro moderní osvětlovací soustavu, jelikož výrazně podporují energeticky efektivní projekt a zároveň snižují požadavky na celkový instalovaný příkon osvětlení.

Postup pro odhad velikosti udržovacího činitele, stanovení intervalů údržby či potřebné informace pro výběr vhodných svítidel, popisuje směrnice TNI 36 0451 - Údržba vnitřních osvětlovacích soustav.

8.3 Řízení osvětlovací soustavy

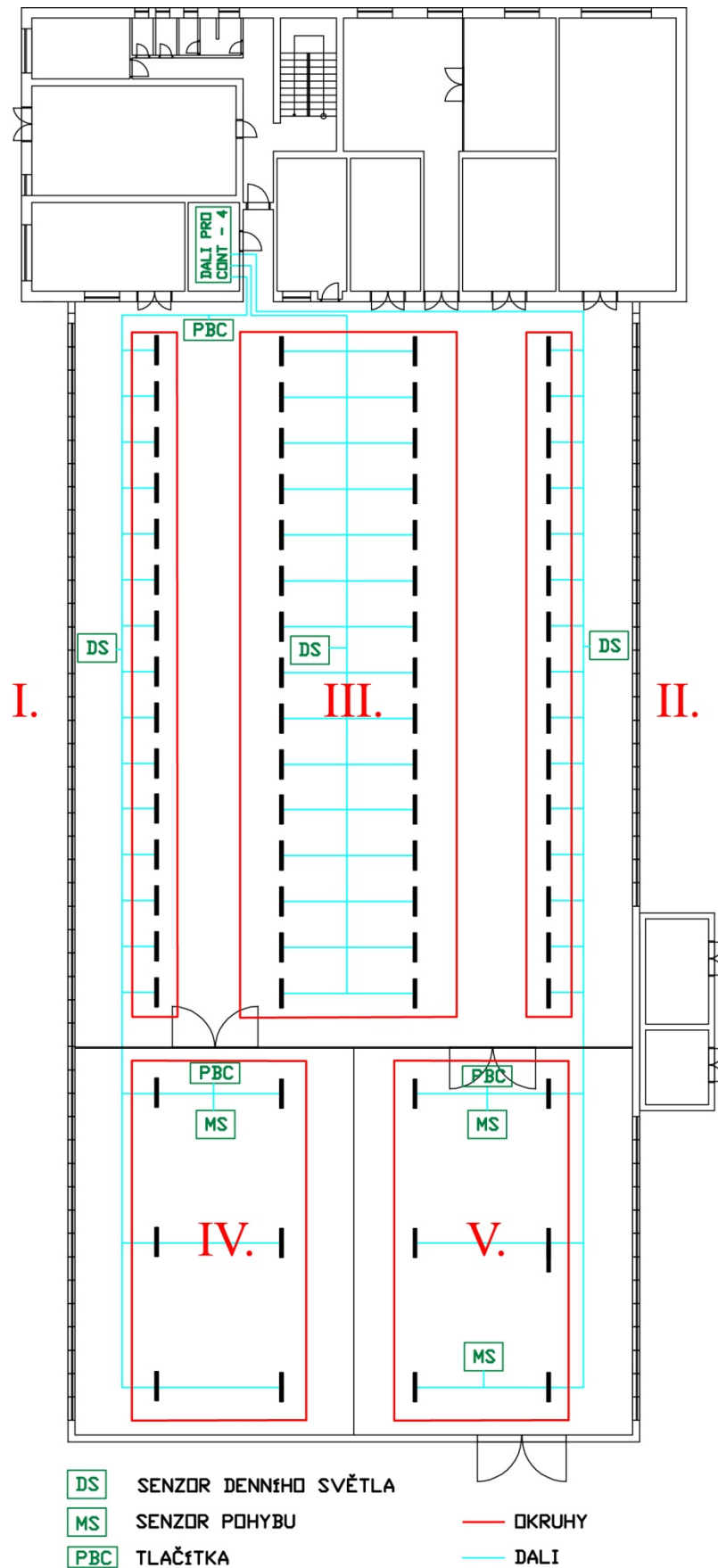
Nově navržená osvětlovací soustava bude řízena v závislosti na příspěvku denního světla pomocí systému DALI. Z tohoto důvodu je každé svítidlo opatřeno stmívatelným předřadníkem. Z důvodu efektivnějšího řízení je soustava rozdělena na pět částí, které jsou znázorněny na obrázku (Obrázek 8.3).

Důvody pro takovéto rozdělení soustavy jsou následující. Soustava v části I a II se nachází u oken. Jelikož je řada oken u soustavy I orientována na jih, a řada oken II na sever, nebyla zvolena samostatná regulace, jelikož se dá předpokládat, že využití denního světla v části I bude vyšší, než v části II. Regulace svítidel v části III byla zvolena samostatně, jelikož se nachází pod světlíkem a na základě výpočtů denních osvětleností bylo zjištěno, že bude moci být tato část v určité roční době po značnou část dne vypnuta.

Každá z částí bude mít vlastní senzor denního světla, který bude měřit aktuální osvětlenost E_m na pracovní rovině ve výšce 0,85 m. Všechny zvolené senzory jsou schopny taktéž pracovat s protokolem DALI.

Část II výrobní haly nebude řízena na základě denního světla, ale bude detekovat pohyb. Regulace v této části může fungovat několika způsoby a lze ji dodatečně konfigurovat dle potřeby. Je možné nastavit senzor pohybu jednoduše tak, že v přítomnosti osob bude osvětlovací soustava svítit na 100 % výkonu a po uplynutí doby nepřítomnosti osob může být výkon snížen na minimum. Další možností je regulaci odstupňovat, to znamená po určité době snížit na 50 % výkonu a po další době teprve na minimum. Díky inteligentnímu systému řízení pomocí DALI lze regulaci provádět také se závislostí na denní a roční dobu. Pokud se dá v určité denní době předpokládat takový příspěvek denního světla, že není nutné využívat soustavu na 100 %, může být v závislosti na čase nastavena jiná maximální hodnota výkonu.

Na obrázku (*Obrázek 8.3*) jsou znázorněny senzory denního světla a pohybu osob. Dále je znázorněno rozmístění tlačítek a umístění řídicí jednotky včetně DALI sběrnice. Umístění senzorů denního světla však vyžaduje zkušenost a jejich poloha se může ve skutečnosti od nákresu lišit.



Obrázek 8.3: Rozdělení svítidel do skupin

8.4 Vybraná zařízení pro osvětlovací soustavu

Vzhledem k tomu, že analýza současného stavu umožnila využití denního světla, jsou zařízení pro osvětlovací soustavu vybrána tak, aby soustava umělého osvětlení dokázala regulovat svůj příkon na základě dostupnosti denního světla, a aby splňovala stanovené požadavky v předchozí kapitole 8.1.

8.4.1 Volba světelného zdroje

Jako světelný zdroj byla vybrána lineární zářivka Lumilux T5 HO Constant od firmy OSRAM s patičí G5 a výkonem 54 W. Tento světelný zdroj je vhodný pro průmyslové prostory a je použit v návrhu pro část I i II. Dále je tento zdroj charakterizován dobrým světleným tokem, úsporou až 20 % oproti zářivkám typu T8, přirozenými barvami s dobrým stupněm podání barev $R_a > 80$ a dlouhou dobou života až 24 000 hodin, která je podmíněna použitím elektronického předřadníku s teplým startem.



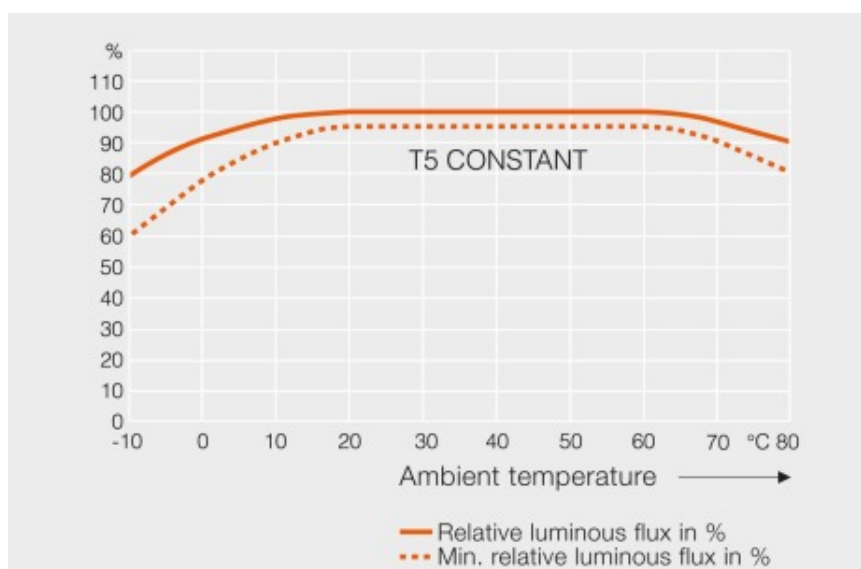
*Obrázek 8.4: Zářivka
Lumilux T5 HO
Constant [13]*

V tabulce (*Tabulka 8.3*) jsou srovnány základní technické a světelné vlastnosti zářivky Lumilux T5 HO Constant a zářivky T8 Philips MASTER TL-D 58W/840, která je nyní instalována v objektu.

Tabulka 8.3: Srovnání zářivky Lumilux T5 HO Constant a MASTER TL-D [13]

| Název | Patice | Výkon P [W] | Měrný výkon η [$\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$] | Světelný tok Φ [lm] | R_a [-] | T_c [K] | Barva světla | Doba života [h] |
|---------------|--------|---------------|--|--------------------------|-----------|-----------|--------------|-----------------|
| Lumilux T5 HO | G5 | 54 | 86 | 5000 | > 80 | 4000 | 840 | 24 000 |
| Master TL-D | G13 | 58 | 74 | 5240 | > 80 | 4000 | 840 | 15 000 |

Na obrázku (Obrázek 8.5) je znázorněna závislost světelného toku Φ použité zářivky na okolní teplotě. Z grafu vyplývá, že trubice typu T5 HO Constant má stabilní světelný tok v širokém rozsahu teplot.



Obrázek 8.5: Graf závislosti světelného toku na okolní teplotě [13]

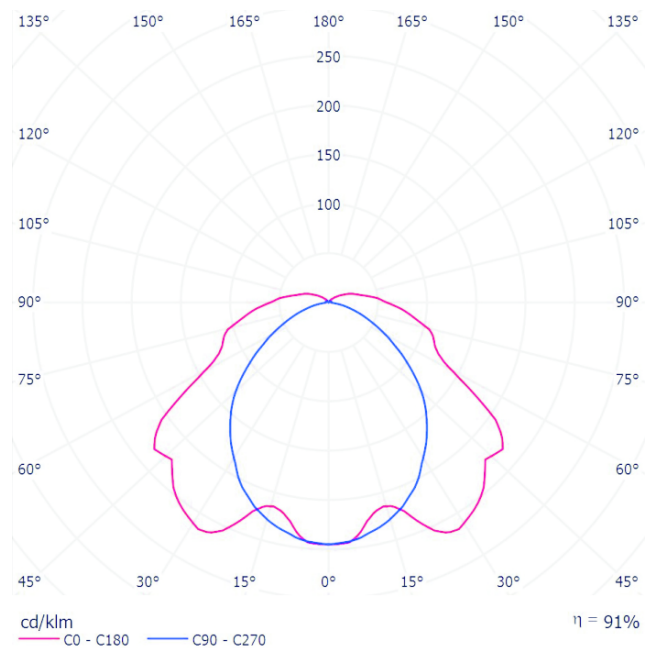
8.4.2 Volba svítidla

Svítidlo splňující požadavky bylo vybráno společné pro část I i část II. Jedná se o výrobek firmy Trevos, a. s. s paticí G5 pro dva světelné zdroje o příkonu $P = 54$ W. Svítidlo má integrovaný elektronický předřadník pro zářivky typu T5 HO a regulátor stmívání ovládaný DALI systémem. Vzhledem k náročnějšímu prostředí, kde vzduch obsahuje výpary z chladicích emulzí, byla vybrána varianta svítidla s akrylátovým difuzorem a s nerezovými sponami, které spojují horní část svítidla s optickým systémem.



Obrázek 8.6: Svítidlo Prima AC ET5 (HO) PAR 6.1 [12]

Svítidlo je třídy I., má stupeň krytí IP 66, tudíž je odolné vůči prachu, vlhku i tryskající vodě. Základna svítidla se skládá z polykarbonátu, která je dále spojena s akrylátovým optickým krytem pomocí nerezových spon. Spoj je vyplněn těsněním z vypěněného polyuretanu. Reflektor svítidla je tvořen parabolickým hliníkovým plechem. Difuzor je čirý akrylát s odolností proti nárazu a je stabilní proti UV záření.



Obrázek 8.7: Křivka svítivosti svítidla [12]

V tabulce (Tabulka 8.4) jsou shrnuty základní vlastnosti a parametry svítidla.

Tabulka 8.4: Parametry svítidla [12]

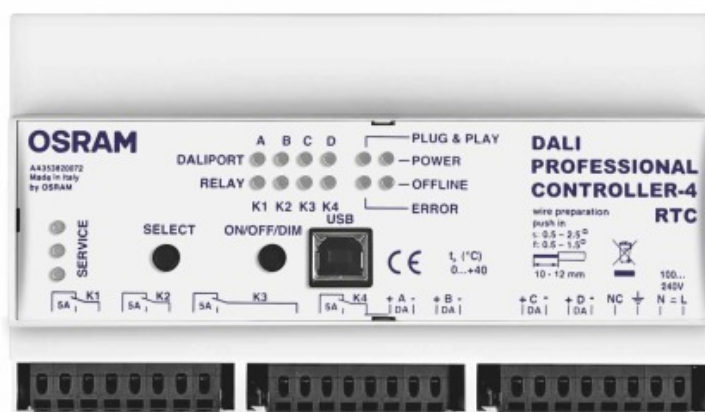
| Název | Provedení | Světelný zdroj | Trubice/Objímka | Světelná účinnost η [%] | Rozměr (DxŠxV) |
|-----------------------------|---|----------------|-----------------|------------------------------|----------------|
| Prima AC T5 (HO) PAR 6.1 | elektronický předřadník T5 HO + regulátor stmívání digitálně ovládaným DALI DIM, nerezové spony | 2x54 W | T5/G5 | 91 | 1272x145x111 |

8.4.3 Komponenty pro řízení osvětlovací soustavy

Pro řízení osvětlovací soustavy budou použity stmívatelné elektronické předřadníky, senzory pro snímání dostupnosti denního světla, pohybové senzory pro část II, která nebude řízena v závislosti na denním světle. Veškeré komponenty jsou schopny komunikovat prostřednictvím sběrnice DALI.

Řídicí jednotka

Jako řídicí jednotka je použita jednotka, taktéž od firmy OSRAM, s označením DALI PRO CONT - 4. V příloze P III je schéma zapojení řídicí jednotky, elektronických předřadníků a slučovačů pro zapojení senzorů denního světla a pohybu, včetně schéma zapojení do elektrické sítě a zapojení na DALI sběrnici.



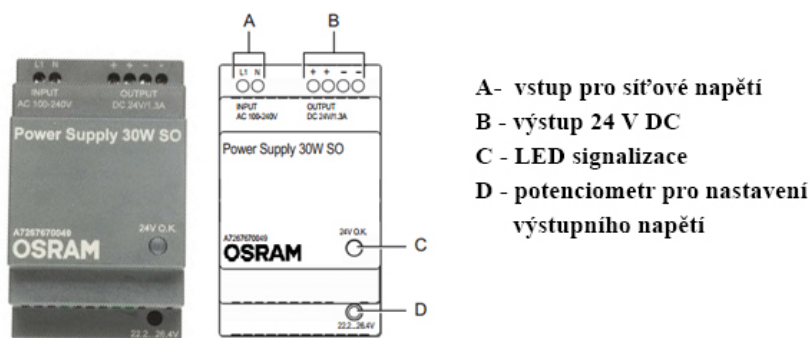
Obrázek 8.8: Řídicí jednotka DALI PRO CONT - 4 [15]

Jednotka DALI PRO CONT - 4 umožňuje ovládání v závislosti na příspěvku denního světla, umožňuje zapojení světelných a pohybových čidel pracujících s DALI protokolem. Další vlastnosti řídicí jednotky:

- vhodná pro průmysl a pro velké skupiny světel,
- možnost ovládání v závislosti na denním světle, přítomnosti osob nebo manuálně,
- Plug & Play konfigurace,
- záložní baterie,
- možnost stmívání a spínání až 256 elektronických předřadníků DALI,
- regulátor pro 4 linky DALI,
- ovládání až 4 x 16 skupin,
- integrace až 50 slučovačů s tlačítky/senzory,
- USB připojení k PC,
- 4 volně programovatelné přepínací relé, zátěžový kontakt 4 x 5 A,
- grafický konfigurační software.

Napájecí jednotka

DALI sběrnice bude napájena zdrojem firmy OSRAM PS 30. Na vstupní svorky je připojeno síťové napájení, výstupní svorky slouží pro připojení DALI sběrnice. Výstupní napětí ze zdroje je 24 V DC a výstupní proud 1,3 A.



Obrázek 8.9: Napájecí jednotka PS 30 [22]

Tabulka (Tabulka 8.5) obsahuje základní parametry vybraného napájecího zdroje OSRAM PS 30.

Tabulka 8.5: Parametry napájecího zdroje [22]

| Parametry | Hodnota |
|-----------------------|----------------|
| Systémový výkon | 30 W |
| Výstupní napětí | 24 V DC |
| Rozsah okolní teploty | - 20 až +55 °C |
| Stupeň krytí | IP 20 |

Elektronické předřadníky

Elektronické předřadníky byly zvoleny taktéž od firmy OSRAM, s označením Quicktronic DIM T5, který je již integrován ve svítidle. Tento typ předřadníku je vhodný pro dané řešení z několika důvodů:

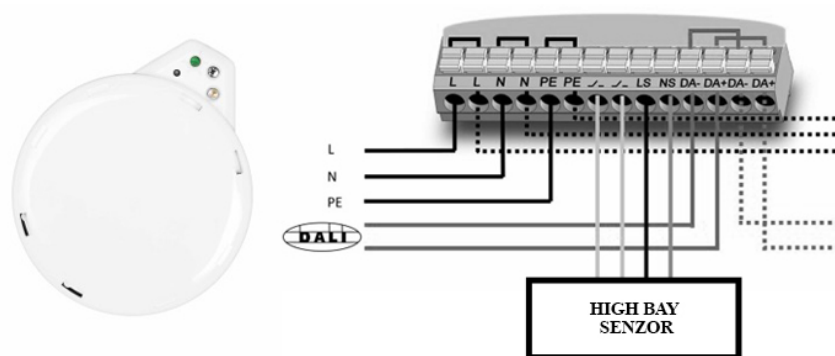
- možnost použití se světelnými zdroji v kombinaci s pohybovými čidly,
- stmívání světelných zdrojů v rozsahu 1 až 100 % světelného toku Φ ,
- automatický restart po výměně světelného zdroje,
- nízká spotřeba v pohotovosti,
- rychlé zapnutí cca 0,6 s,
- doba života > 100 000 hodin,
- vysoký počet spínacích cyklů až 300 000,
- ovládání přes rozhraní DALI,
- provozní frekvence 44 až 120 kHz, což zamezí vzniku stroboskopického jevu.

Tabulka 8.6: Vlastnosti elektronického předřadníku [14]

| Název | Příkon (sv. zdroj + EP) | Jmenovitý proud | Rozsah stmívání | Frekvence | Doba startu | Životnost | Počet spínacích cyklů |
|--|----------------------------|--------------------|--------------------|--------------|----------------|-------------|-----------------------------|
| QUICKTRONIC INTELLIGENT DALI DIM T5 | 115 W | 0,51 A | 0 - 100 % | 44 - 120 kHz | 0,6 s | až 100 000h | až 300 000 |

Slučovače

Slučovač DALI Highbay slouží pro integraci pohybových senzorů Vision a Highbay do systému DALI. Senzor pohybu Highbay se do tohoto adaptéru jednoduše zasadí. Adaptér je vhodný pro výrobní haly s vysokými stropy až 13 m.



Obrázek 8.10: Slučovač High Bay senzoru a vzájemné propojení [21]

DALI PRO slučovač slouží pro integraci senzorů denního světla do systému DALI, konkrétně pro senzory z řady Multi 3.



Obrázek 8.11: Slučovač senzorů DALI PRO [20]

V tabulce (Tabulka 8.7) jsou uvedeny parametry obou použitých slučovačů. Uvedené vlastnosti jsou společné pro slučovač denního světla i senzor pohybu.

Tabulka 8.7: Parametry použitých slučovačů [20][21]

| Parametry | Hodnota |
|------------------------|-------------|
| Systémový výkon | 0,1 W |
| Rozsah okolní teploty | 0 až +50 °C |
| Počet řídicích výstupů | 1 |
| Rozhraní pro stmívání | DALI |
| Stupeň krytí | IP 20 |

Slučovač pro tlačítka a spínače nese označení DALI PRO PB Coupler a umožňuje zapojení až 4 tlačítek.



Obrázek 8.12: DALI
PRO PB Coupler [24]

Senzor denního světla

Pro snímání denního světla byl vybrán senzor Osram LS/PD LI, který je vhodný pro instalaci do průmyslových svítidel.



Obrázek 8.13: Senzor denní-
ho světla LS/PD LI [23]

V tabulce (*Tabulka 8.8*) jsou uvedeny základní vlastnosti charakterizující vybraný senzor denního světla.

Tabulka 8.8: Parametry senzoru denního světla LS/PD LI [23]

| Parametry | Hodnota |
|-----------------------|------------------|
| Rozsah okolní teploty | 0 až +50 °C |
| Pracovní rozsah | 20 až 800 lx |
| Max. instalační výška | 2 až 5 m |
| Plocha detekce | 6 m ² |
| Úhel detekce | 80° |
| Stupeň krytí | IP 20 |

Senzor pohybu

Senzory pohybu budou umístěny v části II výrobní haly, kde je menší pohyb osob, tudíž nebude osvětlení řízeno v závislosti na denním osvětlení, ale postačí zde sledování pohybu.



Obrázek 8.14: Senzor pohybu Highbay [21]

Senzor Highbay je vhodný pro výrobní haly díky své instalační výšce, která je u osob až 10 m, u detekce pohybu vozidla (např. vysokozdvizný vozík) až 13 m. Senzor umožňuje nastavení prodlevu vypnutí v rozsahu 30 s až 20 min. Lze jím ovládat až 15 elektronických předřadníků, což je v daném případě vyhovující. Další doplňující informace jsou uvedeny v tabulce (*Tabulka 8.9*).

Tabulka 8.9: Parametry senzoru Highbay [21]

| Parametry | Hodnota |
|-----------------------|-------------------|
| Systémový výkon | 0,6 W |
| Rozsah okolní teploty | - 10 až +70 °C |
| Max. instalační výška | 13 m |
| Plocha detekce | 18 m ² |
| Úhel detekce | 100 ° |
| Stupeň krytí | IP 20 |

8.4.4 Cenová kalkulace

V tabulce (Tabulka 8.10) je uvedena cenová kalkulace vybraných komponent včetně přibližné sumy za demontáž a montáž osvětlovací soustavy.

Tabulka 8.10: Cenová kalkulace

| | Cena za kus [Kč] | | Jednotek | Cena celkem | |
|------------------------------------|------------------|------------|----------|-------------------|-------------------|
| | Bez DPH | S DPH | | Bez DPH | S DPH |
| Svítidla | | | | | |
| TREVOS AC T5 HO | 1 050 Kč | 1 270 Kč | 72 | 75 600 Kč | 91 440 Kč |
| Světelné zdroje | | | | | |
| Lumilux 54W/840 G5 HO Constant | 148 Kč | 180 Kč | 144 | 21 312 Kč | 25 920 Kč |
| Senzory | | | | | |
| OSR Multi 3 FL | 1 620 Kč | 1 350 Kč | 3 | 4 860 Kč | 4 050 Kč |
| OSR Highbay | 2 650 Kč | 3 207 Kč | 3 | 7 950 Kč | 9 621 Kč |
| Vodič | 13 Kč | 16 Kč | 300 | 3 900 Kč | 4 800 Kč |
| Slučovače | | | | | |
| OSR DALI PRO Sensor coupler | 1 569 Kč | 1 899 Kč | 3 | 4 707 Kč | 5 697 Kč |
| OSR DALI Highbay adapter | 1 569 Kč | 1 899 Kč | 2 | 3 138 Kč | 3 798 Kč |
| OSR DALI PRO Coupler PB | 2 143 Kč | 2 713 Kč | 2 | 4 286 Kč | 5 426 Kč |
| Řídící jednotky | | | | | |
| DALI PRO CONT - 4 | 28 034 Kč | 33 921 Kč | 1 | 28 034 Kč | 33 921 Kč |
| Odhadovaná částka za montáž | 79 000 Kč | 100 000 Kč | 1 | 79 000 Kč | 100 000 Kč |
| | | | Σ | 153 787 Kč | 284 673 Kč |

9 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY

V této závěrečné kapitole jsou shrnuty veškeré ekonomické a energetické aspekty pořízení, provozu a údržby osvětlovací soustavy. Pozornost není věnována pouze nově navržené soustavě, ale také soustavě stávající, což je nutné z důvodu celkového srovnání a vyvození závěrů především z hlediska potenciálních úspor.

9.1 Energetická bilance současného stavu

Současná osvětlovací soustava, která není regulovaná, obsahuje 92 svítidel s konvenčním předřadníkem a lineárním zářivkovým zdrojem T8. Svítidlo má celkový výkon $P = 142$ W, z čehož se určí celkový příkon soustavy P_C v rovnici (9.1).

$$P_C = P \cdot n = 142 \cdot 92 \cong 13 \text{ kW} \quad (9.1)$$

kde P_C – celkový příkon osvětlovací soustavy [kW],

P – výkon svítidla [W],

n – počet svítidel [-].

Provoz v objektu je dvousměnný, pouze v pracovní dny, což odpovídá zhruba 4000 hodin provozu soustavy za rok. To pak odpovídá celkové spotřebované energii v rovnici (9.2).

$$E_C = P_C \cdot t = 13 \cdot 4000 = 52\,000 \text{ kWh/rok} \quad (9.2)$$

kde E_C – množství spotřebované energie [kWh/rok],

P_C – výkon osvětlovací soustavy [kW],

t – doba provozu za rok [h].

Při ceně elektrické energie 2,8 Kč/kWh pak celková suma na roční spotřebu elektrické energie odpovídá částce v rovnici (9.3).

$$C = E_C \cdot A_e = 52\,000 \cdot 2,8 = 145\,600, - \text{ Kč/rok} \quad (9.3)$$

kde C – cena elektrické energie za rok [Kč/rok],

E_C – roční spotřeba energie [kWh/rok],

A_e – cena energie [Kč/rok].

9.2 Energetická bilance nově navržené osvětlovací soustavy

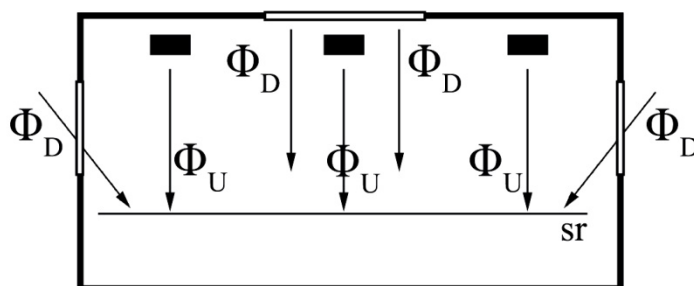
V této části je rozebrána energetická náročnost nově navržené osvětlovací soustavy. Jelikož v současné době existují propracované softwarové nástroje od stanovení dostupnosti denního světla v objektu, přes návrh soustavy až po výpočet teoretické úspory, bude nejprve v následujících odstavcích nastíněna samotná úvaha, jakým způsobem lze určit teoretickou velikost úspor s příspěvkem denního světla. Obdobným způsobem fungují i výpočetní softwary k tomuto určené.

9.2.1 Princip určení úspory

Základním předpokladem pro to, aby regulace osvětlovací soustavy měla význam, je dostatečná dostupnost denního světla v objektu. V případě, že by se objekt nacházel v takovém stavu nebo provoz v něm byl natolik specifický, že by nesplňoval minimální požadavky pro dostupnost denního osvětlení a hlavním zdrojem po celou dobu provozu by bylo umělé osvětlení, neměla by regulovaná soustava význam. Navržením takové soustavy by se pouze zvýšily její pořizovací náklady, ale využití jejího potenciálu by bylo minimální.

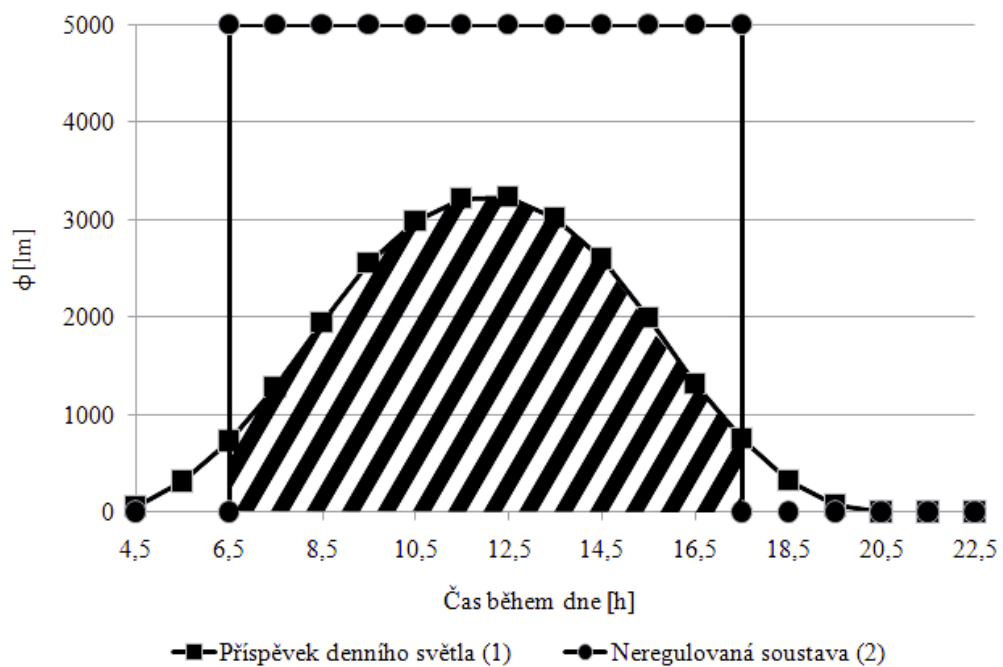
Princip úspory pomocí regulace soustavy spočívá v částečném nahrazení světelného toku Φ , vytvořeného elektrickými světelnými zdroji, světelným tokem denního světla. Z toho plyne, že čím bude dostupnost denního světla větší, tím vyšších úspor lze dosáhnout.

Každý světelný zdroj produkuje určitý světelný tok Φ_U . Jako příklad můžeme uvést lineární zářivku, která běžně dosahuje hodnot světelného toku 5000 lm. Sto takových světelných zdrojů vyprodukuje 500 klm, což je za jeden rok 2000 Mlm vyprodukovaných umělým osvětlením. V případě, že pak známe dostupnost denního světla v daném objektu, jsme schopni určit množství světelného toku, který může částečně nahradit světelný tok osvětlovací soustavy. Kombinaci světelného toku osvětlení (Φ_U) a denního světla (Φ_D), dopadajících zároveň na srovnávací rovinu, znázorňuje obrázek (Obrázek 9.1).



Obrázek 9.1: Kombinace světelného toku osvětlovací soustavy a denního světla

Příklad dostupnosti denního světla je znázorněn v grafu na obrázku (Obrázek 9.2). Křivka (1) značí dostupnost denního světla v objektu od 4:30 ráno do 22:30 večer. Osvětlovací soustava je pak značena křivkou (2), která není žádným způsobem regulovaná a po celou dobu provozu (6:30 až 17:00) produkuje konstantní světelný tok, ale s maximální spotřebou. Šrafovaná část pod křivkou (1) pak značí světelný tok dodávaný denním světlem, které je schopno částečně nahradit světelný tok osvětlovací soustavy. To znamená, že pokud bychom měli soustavu, která je schopna regulovat svůj světelný tok, tak by kupříkladu v čase 12:30 mohla snížit příkon až o 70 %.

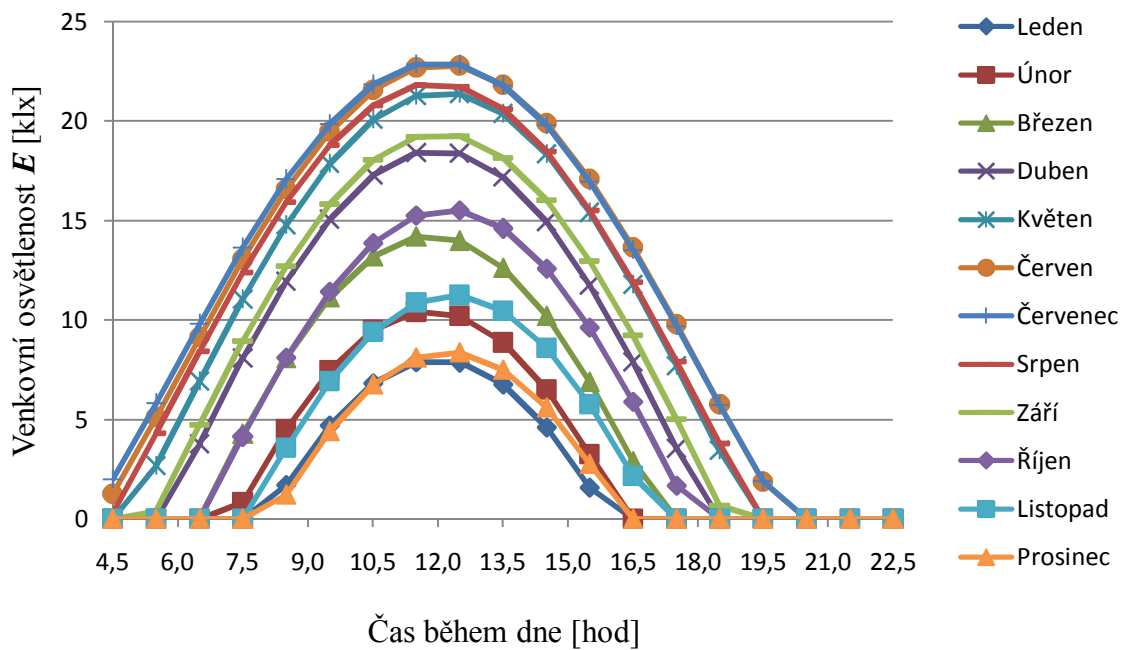


Obrázek 9.2: Znárodnění potenciálních úspor s příspěvkem denního světla

V případě, že pak můžeme předpovědět příspěvek denního světla v objektu v jednotlivých dnech, můžeme určit teoretický příkon osvětlovací soustavy tak, aby součet světelných toků denního světla Φ_D a umělého osvětlení Φ_U odpovídal stanoveným požadavkům. Díky softwarovým nástrojům jsme toto schopni teoreticky určit. Míra denního osvětlení však není konstantní po celý den, ani v průběhu roku a jeho hodnoty se mění a závisí především:

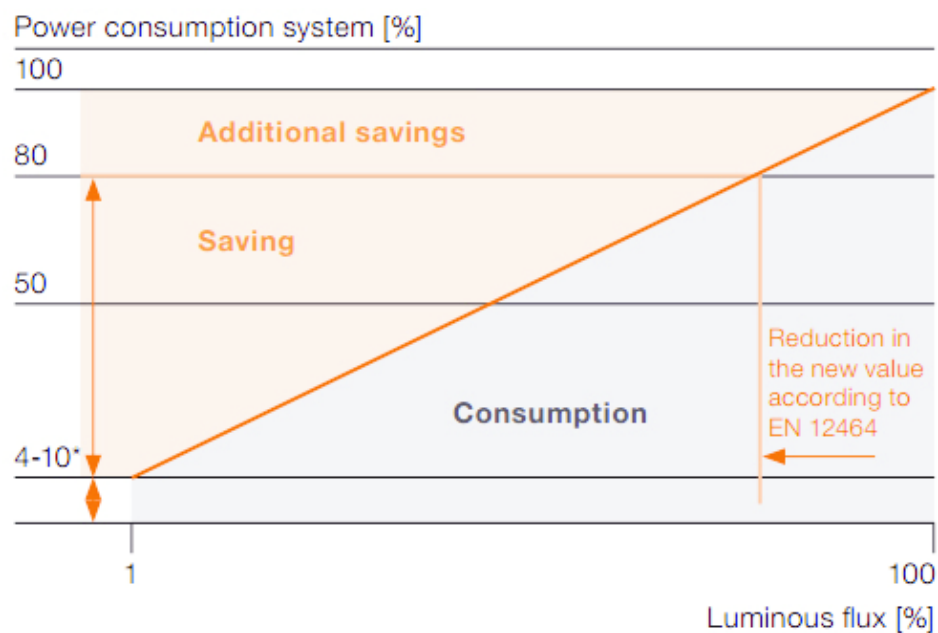
- roční doba,
- denní doba,
- situování objektu,
- vliv okolní zástavby,
- okolní terén.

V grafu na obrázku (Obrázek 9.3) jsou uvedeny hodnoty venkovní osvětlenosti E při modelu rovnoměrně zatažené oblohy. Je zde zřejmá závislost osvětlenosti E na měsíci a denní době.



Obrázek 9.3: Dostupnost denního světla v jednotlivých měsících

V praxi je nutné zohlednit také vlastnosti elektronických stmívatelných předřadníků a jejich závislost při regulaci světelného toku. Tento vzájemný vztah je znázorněn na obrázku (Obrázek 9.4).



Obrázek 9.4: Závislost výkonu P a světelného toku Φ při regulaci [18]

Z grafu (Obrázek 9.4) je zřejmé, že světelný tok Φ neklesá úměrně se snižujícím se příkonem P . Při 80 % příkonu ještě není rozdíl znatelný, už však při 50 % příkonu lze pozorovat, že světelný tok Φ je na hodnotě odpovídající cca 45 %. Nejmarkantnější je rozdíl při snížení světelného toku Φ na 0 %. I při úplném snížení světelného toku Φ se spotřeba pohybuje stále mezi 4 – 10 %.

9.2.2 Energetická bilance navržené soustavy bez regulace

Nově navržená osvětlovací soustava zahrnuje celkem 72 svítidel s elektronickým předřadníkem a lineárním zářivkovým zdrojem T5 o výkonu 54 W. Výkon jednoho svítidla je 115 W. Celkový instalovaný výkon soustavy pak vyjadřuje rovnice (9.4).

$$P_C = P \cdot n = 115 \cdot 72 \cong 8,3 \text{ kW} \quad (9.4)$$

kde P_C – celková instalovaný výkon [W],

P – výkon svítidla [W],

n – počet svítidel [-].

Při provozu osvětlovací soustavy cca 4000 hodin za rok, pak celkové množství spotřebované energie odpovídá množství vyjádřenému v rovnici (9.5).

$$E_C = P_C \cdot t = 8,3 \cdot 4000 = 33\,200 \text{ kWh/rok} \quad (9.5)$$

kde E_C – množství spotřebované energie [kWh/rok],

P_C – výkon osvětlovací soustavy [kW],

t – doba provozu [h].

Při ceně elektrické energie 2,8 Kč/kWh, bude pak roční spotřeba elektrické energie odpovídat ceně v rovnici (9.6).

$$C = A_c \cdot e = 33\,200 \cdot 2,8 \cong 93\,000, - \text{ Kč/rok} \quad (9.6)$$

kde C – cena elektrické energie za rok [Kč/rok],

A_s – roční spotřeba elektrické energie osvětlovací soustavy [kWh/rok],

e – cena energie [Kč/kWh].

9.2.3 Energetická bilance navržené soustavy s regulací

Energetická bilance nově navržené regulované osvětlovací soustavy je určena dvěma způsoby. Prvním způsobem je stanovení celkové procentuální úspory ručním výpočtem pomocí grafu v příloze P VI a jeho hodnot. Druhým srovnávacím bodem bude výpočet pomocí softwaru Wils od firmy ASTRA MS Software, s.r.o.

9.2.3.1 Stanovení úspor vlastním odhadem

Při stanovení potenciálu úspor odhadem bylo vycházeno ze dvou dokumentů. Prvním dokumentem je model rovnoměrně zatažené oblohy, který je vyobrazen v příloze P VI. Tento graf byl vytvořen z hodnot venkovních osvětleností, které jsou vypočítány za předpokladu rovnoměrně zatažené oblohy pro každou hodinu a každý den v roce, resp. od 4:30 ráno do 22:30 večer. Ukázka hodnot venkovní osvětlenosti E_{ext} pro měsíc leden je v příloze P V. Z grafu v příloze P VI byly odečteny hodnoty venkovní osvětlenosti E_{ext} v době provozu od 5:30 do 21:30.

Druhým dokumentem je protokol o výpočtu dostupnosti denního světla do řešeného prostoru, který je znázorněn v příloze P VII. Na základě tohoto výpočtu byla stanovena dostupnost denního světla v objektu na hodnotu $D_m = 2,5 \%$ z venkovní osvětlenosti E_{ext} .

Při znalosti venkovní osvětlenosti E_{ext} a znalosti podílu světla, které se do prostoru dostane, je možné stanovit teoretický příspěvek denního světla v každé hodině a dni v roce. Tento příspěvek denního světla v prostoru pak představuje potenciální úsporu elektrické energie.

Postup při odhadu úspor

Při stanovení úspor byla na základě znalosti hodnoty venkovní osvětlenosti E_{ext} a příspěvku denního světla D_m byla přepočítána hodnota E_{ext} na hodnotu E_{int} , kde E_{int}

představuje hodnotu vnitřní osvětlenosti v lx, která se do prostoru v dané době teoreticky dostane. V rovnici (9.7) je uveden příklad pro 1. den v měsíci lednu, ve 12:30.

$$E_{\text{int}} = E_{\text{ext}} \cdot D_m = 7870 \cdot 0,025 \doteq 197 \text{ lx} \quad (9.7)$$

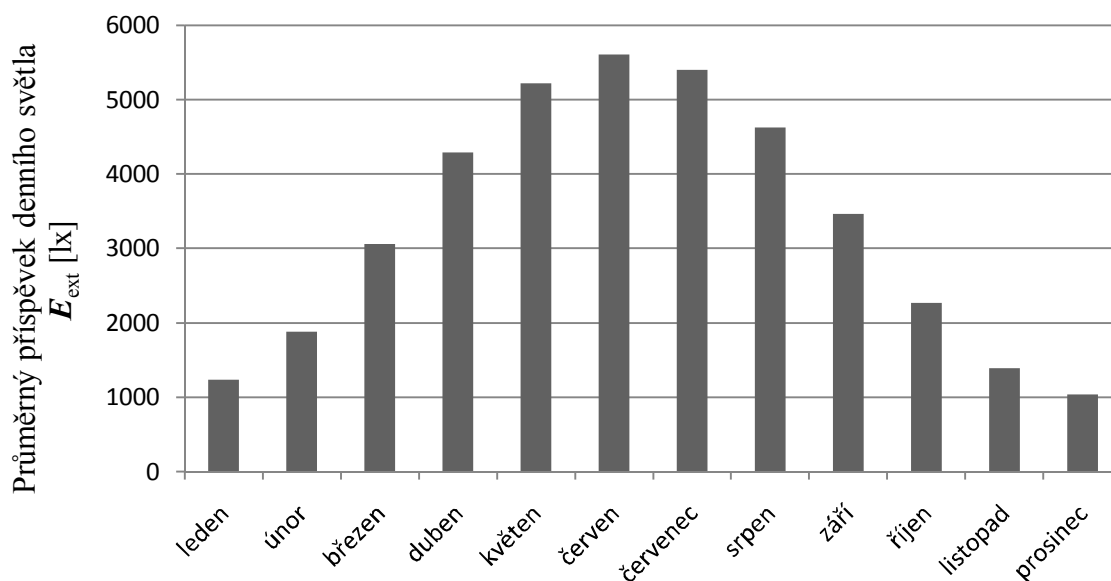
kde E_{int} – příspěvek denního světla v objektu [lx],

E_{ext} – venkovní osvětlenost z tabulky v příloze V, pro 1. leden ve 12:30 [lx],

D_m – dostupnost denního světla [%].

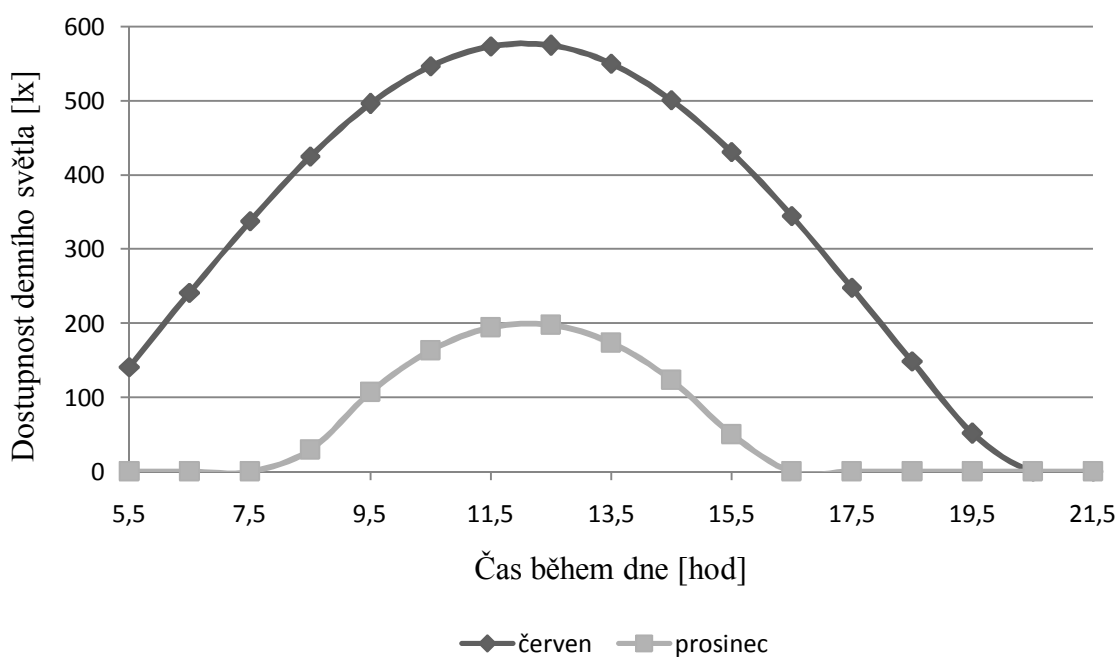
Z rovnice (9.7) vyplývá, že v lednu ve 12:30 je teoretická hodnota příspěvku denního světla 197 lx, což je při požadované hladině osvětlenosti $E_m = 455 \text{ lx}$ téměř 45 %.

Obdobným způsobem bylo postupováno při výpočtu pro každou hodinu a každý den v roce. V grafu na obrázku (Obrázek 9.5) jsou znázorněny průměrné příspěvky denního světla v objektu v jednotlivých měsících.



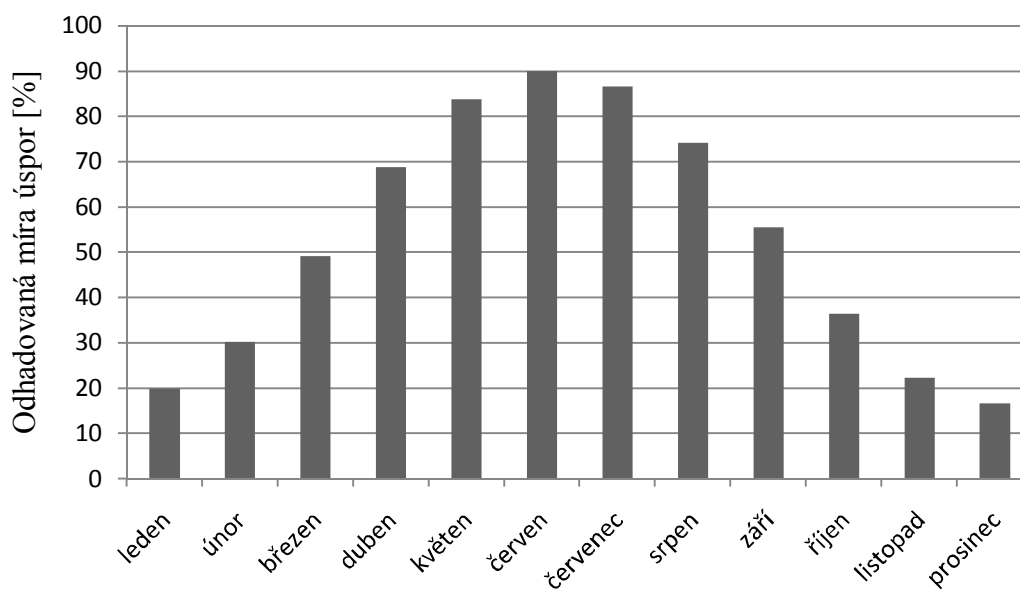
Obrázek 9.5: Průměrný příspěvek denního světla v objektu

Pro srovnání dvou extrémních případů je v grafu na obrázku (Obrázek 9.6) uveden průměrný příspěvek denního světla v měsíci červnu, kdy je tento příspěvek uvnitř objektu největší. Opačným pólem je pak měsíc prosinec, kdy je větší část dne bez příspěvku denního světla.



Obrázek 9.6: Srovnání průměrných příspěvků denního světla v měsících

V grafu na obrázku (Obrázek 9.7) jsou pak znázorněny odhadované procentuální úspory v jednotlivých měsících.



Obrázek 9.7: Odhadovaná procentuální úspora

Úspory jsou vztaženy k nově navržené osvětlovací soustavě s regulací. Celková hodnota odhadovaných úspor za rok činí 53 % z příkonu osvětlovací soustavy v části I.

K tomuto odhadu je ještě třeba připočíst příkon soustavy v části II výrobní haly, která již nebude řízena v závislosti na denním světle, ale pouze na pohybu osob. Zde byl na základě dohody stanoven čas strávený za den v této části na 8 hodin.

Tabulka (Tabulka 9.1) srovnává energetické vlastnosti a potenciální úspory nové osvětlovací soustavy bez regulace a s regulací.

Tabulka 9.1: Srovnání nové osvětlovací soustavy bez regulace a s regulací

| | Nová soustava neregulovaná | | Nová soustava regulovaná | |
|---|----------------------------|---------|--------------------------|---------|
| | Část I | Část II | Část I | Část II |
| Instalovaný výkon P [kW] | 6,9 | 1,4 | 6,9 | 1,4 |
| Roční spotřeba energie E [kWh/rok] | 27600 | 5600 | 13000 | 2800 |
| Náklady na el. energii A_e [Kč] | 77280 | 15680 | 36400 | 7840 |
| Součet [Kč/rok] | 92 960 | | 44 240 | |
| Potenciální úspora ke stávajícímu stavu [Kč/rok] | 52 640 | | 101 360 | |

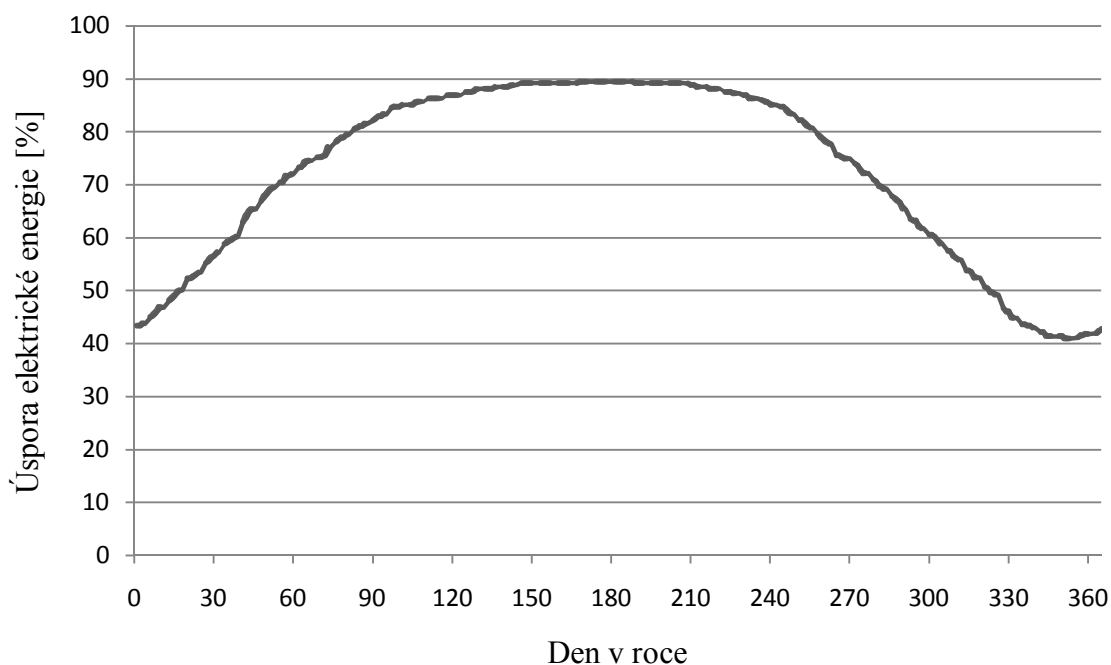
9.2.3.2 Stanovení úspor pomocí softwaru

Pro výpočet úspor byl také využit software WILS vyvíjený firmou ASTRA MS Software. Prvním krokem pro výpočet úspor je stanovení regulace jednotlivých okruhů osvětlovací soustavy při různých hladinách venkovní osvětlenosti E_{ext} . Výstup z tohoto výpočtu je v tabulce (Tabulka 9.2). Z této tabulky lze vyčíst, že při hladině venkovní osvětlenosti $E_{\text{ext}} = 1000$ lx ještě k žádné regulaci nedojde, avšak už při $E_{\text{ext}} = 5000$ lx okruhy I a II (řady svítidel u oken) budou regulovány na 60 % výkonu. Okruh III, který se nachází pod světlíkem, bude regulován při $E_{\text{ext}} = 5000$ lx na 50 % svého výkonu. Při venkovní osvětlenosti $E_{\text{ext}} = 15000$ lx již nebude nutné umělé osvětlení.

Tabulka 9.2: Regulace osvětlovací soustavy
při různých venkovních osvětlenostech

| E_{ext} [lx] | I | II | III |
|-----------------------|------|-----------|------|
| 1000 | - | - | - |
| 5000 | 0.60 | 0.60 | 0.50 |
| 7000 | 0.60 | 0.20 | 0.50 |
| 10000 | 0.30 | 0.10 | 0.10 |
| 15000 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 20000 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 25000 | 0.00 | 0.00 </tr | |

Druhým krokem je výpočet předpokládané úspory. Tento výpočet vychází ze stejné tabulky hodnot (příloha P V), ze kterých byla určena odhadovaná úspora v předchozím kroku. Výstupem ze SW WILS je spotřeba v kWh pro každý pracovní den v roce. Graf na obrázku (Obrázek 9.8) znázorňuje procentuální úsporu v jednotlivých dnech v roce.



Obrázek 9.8: Úspora elektrické energie vypočítaná SW WILS

Teoretická úspora elektrické energie byla softwarem WILS vypočítána na 73 % oproti neregulované nové soustavě. Srovnání úspor odhadem a vypočítaných úspor SW WILS je uvedeno v tabulce (Tabulka 9.3).

Tabulka 9.3: Srovnání úspor odhadem a výpočtem SW WILS

| | Odhadovaná úspora | | Výpočet SW WILS | |
|---|-------------------|---------|-----------------|---------|
| | Část I | Část II | Část I | Část II |
| Instalovaný výkon P [kW] | 6,9 | 1,4 | 6,9 | 1,4 |
| Roční spotřeba energie E [kWh/rok] | 13 000 | 2 800 | 7 500 | 2800 |
| Náklady na el. energii A_e [Kč/rok] | 36400 | 7840 | 21000 | 7840 |
| Součet cen el. energií [Kč/rok] | 44 240 | | 28 840 | |
| Potenciální úspora ke stávajícímu stavu [Kč/rok] | 101 360 | | 116 760 | |

9.3 Srovnání současné a nově navržené soustavy

V tabulce (Tabulka 9.4) jsou srovnány základní parametry tří stavů osvětlovací soustavy – současného stavu, nově navržené osvětlovací soustavy bez regulace a s regulací. U soustavy s regulací jsou uvedeny potenciální úspory odhadem i výpočtem SW WILS.

Tabulka 9.4: Srovnání osvětlovacích soustav

| Srovnání osvětlovacích soustav | | | | | | | | | |
|--------------------------------|----------------|-------------------|---------|----------------------------|---------|--------------------------|---------|---------|---------|
| Parametr | Označení | Současná soustava | | Nová soustava neregulovaná | | Nová soustava regulovaná | | | |
| | | | | | | Ruční výpočet | | SW WILS | |
| | | Část I | Část II | Část I | Část II | Část I | Část II | Část I | Část II |
| Instalovaný výkon | P [kW] | 8,5 | 4,5 | 6,9 | 1,4 | 6,9 | 1,4 | 6,9 | 1,4 |
| Roční spotřeba el. energie | E [kWh/rok] | 34000 | 18 000 | 27 600 | 5 600 | 13 000 | 2 800 | 7 500 | 2 800 |
| Náklady na el. energii | A_e [Kč/rok] | 95200 | 50 400 | 77 280 | 15 680 | 36 400 | 7 840 | 21 000 | 7 840 |
| Součet nákladů na el. energii | A_e [Kč/rok] | 145600 | | 92 960 | | 44 240 | | 28 840 | |
| Potenciální úspora | U [%] | - | | 36 | | 70 | | 80 | |

Osvětlovací soustavu je nutné udržovat a postup stanovení ročních nákladů na údržbu svítidla s elektronickým předřadníkem byly stanoveny podle rovnice (9.8).

$$N_U = \left(\frac{A_Z}{T_Z} + \frac{A_S}{T_S} \right) \cdot n = \left(\frac{180}{4,75} + \frac{1270}{25} \right) \cdot 72 \cong 8\,800 \text{ Kč/rok} \quad (9.8)$$

kde N_U – dílčí provozní náklad za dobu jednoho roku na údržbu [Kč/rok],

A_Z – cena světelného zdroje [Kč],

T_Z – doba života světelného zdroje [rok],

A_S – cena svítidla s předřadným zařízením [Kč],

T_S – doba života svítidla s předřadným zařízením [rok].

9.4 Návratnost investice

Návratnost investic do projektu vychází z tabulky (Tabulka 9.5). Při odhadovaných investičních nákladech, které jsou odhadovány na 300 000,- Kč, se diskontní doba návratnosti pohybuje kolem 3,15 let.

Tabulka 9.5: Ekonomické hodnocení

| Vstupy | | |
|------------------------------------|----------------|--------|
| Investiční náklady projektu | IN [Kč] | 300000 |
| Změna nákladů na energii | [Kč/rok] | 116000 |
| Změna ostatních provozních nákladů | [Kč/rok] | -8800 |
| Přínosy projektu celkem | [Kč/rok] | 107200 |
| Ekonomické hodnocení | | |
| Doba hodnocení | [rok] | 15 |
| Diskont | r [-] | 0,10 |
| Inflace | p [-] | 0,02 |
| Prostá doba návratnosti | T_S [rok] | 2,80 |
| Disk. doba návratnosti | T_{SD} [rok] | 3,36 |
| Čistá současná hodnota projektu | NPV [-] | 617576 |
| Vnitřní výnosové procento | IRR [-] | 0,374 |

Investiční náklady jsou odhadnuty na základě konfigurace použitého materiálu a práce (Tabulka 8.10). *Změna nákladů na energii* představuje odhadovanou úsporu, která byla určena v tabulce (Tabulka 9.4). *Změna provozních nákladů* zahrnuje náklady na údržbu a výměnu světelných zdrojů, které jsou stanoveny rovnicí (9.8). *Přínosy projektu celkem* zahrnuje změnu nákladů na energii a právě provozní náklady. *Doba hodnocení* byla stanovena na 15 let, což je životnost svítidla s elektronickým předřadníkem. *Diskontní sazba* je nástroj pro přepočítání budoucích toků peněz na současnou hodnotu, která zahrnuje faktor času a rizika a demonstruje míru výnosnosti. *Prostá doba návratnosti* představuje jednoduchý podíl investice a předpokládané čisté roční úspory. *Diskontní doba návratnosti* je již přesnějším výpočtem, který zohledňuje jak diskont, tak míru inflace. *Čistá současná hodnota projektu NPV* vyjadřuje současnou hodnotu projektu všech peněžních toků, které souvisí s tímto projektem za dobu hodnocení. *Vnitřní výnosové procento IRR* říká, kolik procent na hodnoceném projektu vyděláme v případě zvážení časové hodnoty peněz. U *IRR* je důležité správně odhadnout budoucí finanční toky související právě z hodnocené investice.

ZÁVĚR

Hlavním cílem diplomové práce byl návrh efektivní osvětlovací soustavy, pro konkrétní průmyslovou halu, která bude řízena v závislosti na denním světle.

Důvodů současného trendu nahrazování původních osvětlovacích soustav je několik, tím zásadním však je neefektivnost a neúměrná energetická náročnost těchto soustav, což potvrdilo i měření a výpočty v této práci.

Nově navržená inteligentní osvětlovací soustava výrazně zlepšuje kvalitativní i kvantitativní vlastnosti v porovnání se současnou soustavou, což shrnuje tabulka (*Tabulka 9.6*). V této tabulce jsou srovnány dva nejdůležitější parametry, tedy průměrná osvětlenost a celková energetická náročnost osvětlovacích soustav.

Tabulka 9.6: Závěrečné srovnání původní a nové soustavy

| Parametr | Původní soustava | | Nová soustava | |
|------------------------|------------------|----------|---------------|----------|
| | E_m [lx] | P [kW] | E_m [lx] | P [kW] |
| Výrobní hala - část I | 87 | 8,5 | 446 | 6,9 |
| Výrobní hala - část II | 115 | 4,5 | 142 | 1,4 |

Z výpočtů nabyly hodnoty potenciální úspory, při odhadu 53 %, při výpočtu softwaru k tomu určeného dokonce 73 %, což se týká pouze regulované části osvětlovací soustavy. Ve skutečnosti se celkové úspory mohou vyšplhat ještě výše, jelikož se dá předpokládat, že příznivých stavů bude více, než těch nepříznivých při srovnání s modelem rovnoměrně zatažené oblohy.

Dalším kladem nové osvětlovací soustavy je pravděpodobnost vyšší produktivity zaměstnanců, jelikož jejich zrak nebude namáhán takovým způsobem jako při stávajících podmínkách, což úzce souvisí s únavou, přesností a následnou produktivitou jejich odvedené práce.

Díky značným úsporám, které se dají předpokládat, a při stanovených investičních nákladech vychází diskontovaná doba návratnosti na 3,4 roku. Tato doba se může měnit v závislosti na hodnotě peněz a vývoji cen energií, které však mají obecně vzestupnou tendenci. To je další důvod, proč maximálně využívat potenciálu přírodních zdrojů a v závislosti na nich regulovat spotřebu a snižovat provozní náklady.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HABEL, Jiří. *Světlo a osvětlování*. Praha: FCC Public, 2013, 622 s. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [2] SOKANSKÝ, Karel, Tomáš NOVÁK, Marek BÁLSKÝ, Zdeněk BLÁHA, Zbyněk CARBOL, Daniel DIVIŠ, Blahoslav SOCHA, Jaroslav ŠNOBL, Jan ŠUMPICH a Petr ZÁVADA. *Světelná technika*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 255 s. ISBN 978-80-01-04941-9.
- [3] *Solid angle definition*. 23. 2. 2007. Dostupné z: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3e/Solid_Angle.png
- [4] *Křivka svítivosti: polární souřadnice*. 2009. Dostupné z: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_09.pdf
- [5] SOKANSKÝ, Karel. *Inteligentní řízení osvětlovacích soustav vnitřního osvětlení* [online]. Ostrava, 2003 [cit. 2014-03-02]. Dostupné z: http://www.csorsostrava.cz/publikace/inteligentni_ridici_systemy%20-%202003.pdf
- [6] UTB FT. *Umělé osvětlení*. Zlín, 2009. Dostupné z: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_09.pdf
- [7] DVOŘÁČEK, Vladimír. Světelné zdroje: Indukční výbojky. *Odborné časopisy - Světelné zdroje – indukční výbojky* [online]. 2009 [cit. 2014-03-13]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/39389.pdf>
- [8] ČSN EN 12464-1. *Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů: Část 1: Vnitřní pracovní prostory*. 1. 3. 2012.
- [9] MARKOVÁ, Lidmila. *Technická zařízení budov 40: umělé osvětlení, elektrorozvody, hromosvody*. Vyd. 5. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005, 75 s. ISBN 80-010-3147-0.
- [10] SOKANSKÝ, Karel. Základy základů světelné techniky. In: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava: Fakulta elektrotechniky a informatiky* [online]. Ostrava, 2007 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: http://feil.vsb.cz/kat410/studium/studijni_materialy/vuee/VUEE_Zaklady_svetelne_techniky.pdf
- [11] TNI 36 0451. *Údržba vnitřních osvětlovacích soustav*. Praha, 2006.

- [12] PRIMA PC T5 (HO) | TREVOS, a.s. *Výrobce průmyslových a kancelářských svítidel* | TREVOS, a.s. [online]. © 2013 [cit. 2014-04-15]. Dostupné z: <http://www.trevos.cz/katalog/prumyslova-plastova-svitidla-prima/prima-t5/prima-pc-t5-ho/>
- [13] LUMILUX T5 HO | Zářivky T5 | OSRAM. *Light is OSRAM* | OSRAM [online]. © 2014 [cit. 2014-04-15]. Dostupné z: http://www.osram.cz/osram_cz/produkty/svetelne-zdroje/zarivky/zarivky-t5/lumilux-t5-ho/index.jsp
- [14] QUICKTRONIC INTELLIGENT DALI DIM T5 | OSRAM. *Light is OSRAM* | OSRAM [online]. © 2014 [cit. 2014-04-15]. Dostupné z: http://www.osram.cz/osram_cz/produkty/elektronika/elektronicke-predradniky/elektronicke-pedadniky-pro-zaivky-a-kompaktni-zaivky/elektronicke-pedadniky-pro-zaivky-a-kompaktni-zaivky%2c-se-stmivanim-dali/quicktronic-intelligent-dali-dim-t5/index.jsp
- [15] DALI PRO CONT-4: Řídící jednotky. *Light is OSRAM* | OSRAM [online]. © 2014 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: http://www.osram.cz/osram_cz/produkty/elektronika/systemy-rizeni-osvetleni/dali-professional/ridici-jednotky/dali-pro-cont-4/index.jsp
- [16] Údržba osvětlovacích soustav: Opomíjený zdroj úspor. *TZB-info: Stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov* [online]. 14. 2. 2007 [cit. 2014-04-21]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3891-udrzba-osvetlovacich-soustav-opomijeny-zdroj-uspor>
- [17] Křivka světelného toku. *FYL Europe, Inc.* [online]. © 2013 [cit. 2014-04-24]. Dostupné z: <http://www.fyleurope.com/venkovni-osvetleni.html>
- [18] *Technical application guide: QUICKTRONIC® Intelligent DALI DIM*. Munich, 2014. Dostupné z: <http://www.osram.cz/media/resource/hires/493509/technical-application-guide-quicktronic-intelligent-dali-dim-gb.pdf>
- [19] RYBÁR, Peter, František ŠESTÁK, Jozef HRAŠKA, Marie JUKLOVÁ a Jiří VAVERKA. *Denní osvětlení a oslunění budov*. 1. vyd. Brno: ERA, 2002, vi, 271 s. ISBN 80-865-1733-0.

- [20] DALI PRO Sensor Coupler: Řídící jednotky | OSRAM. *Light is OSRAM* [online]. © 2014 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: http://www.osram.cz/osram_cz/produkty/elektronika/systemy-rizeni-osvetleni/dali-professional/ridici-jednotky/dali-pro-sensor-coupler/index.jsp
- [21] HIGH BAY: Samostatné senzory. *Light is OSRAM* | OSRAM [online]. © 2014 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: http://www.osram.cz/osram_cz/produkty/elektronika/systemy-rizeni-osvetleni/samostatne-senzory/high-bay/index.jsp
- [22] Power Supply PS 30. *Light is OSRAM* | OSRAM [online]. © 2014 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: http://www.osram.cz/osram_cz/produkty/elektronika/systemy-rizeni-osvetleni/komponenty/prevodniky/power-supply-ps-30/index.jsp
- [23] LS/PD LI: Řídící jednotky. *Light is OSRAM* | OSRAM [online]. © 2014 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: http://www.osram.cz/osram_cz/produkty/elektronika/systemy-rizeni-osvetleni/dali-professional/ridici-jednotky/dali-lspd-li/index.jsp
- [24] DALI PRO PB Coupler: řídící jednotky. *Light is OSRAM* | OSRAM [online]. © 2014 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: http://www.osram.cz/osram_cz/produkty/elektronika/systemy-rizeni-osvetleni/dali-professional/ridici-jednotky/dali-pro-pb-coupler/index.jsp

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| | |
|----------|--|
| CIE | Označení Mezinárodní komise pro osvětlování. |
| VA | Označení volt-ampérové charakteristiky. |
| DC | Stejnoseměrné napětí. |
| AC | Střídavé napětí. |
| lm | Jednotka světelného toku. |
| lx | Jednotka intenzity osvětlení. |
| Wh | Jednotka energie odpovídající práci zařízení po dobu jedné hodiny. |
| č. d. o. | Činitel denní osvětlenosti. |
| DSI | Označení pro digitální sériové rozhraní. |
| DALI | Označení pro digitální adresovatelné osvětlovací rozhraní. |
| IP X | Stupeň krytí elektrospotřebiče. |
| NPV | Net Present Value – čistá současná hodnota. |
| IRR | Internal Rate of Return - vnitřní výnosové procento. |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|----|
| <i>Obrázek 1.1: Vymezení prostorového úhlu [3]</i> | 11 |
| <i>Obrázek 1.2: Křivka svítivosti v polárních souřadnicích [6]</i> | 12 |
| <i>Obrázek 1.3: Znázornění osvětlenosti prostoru [1]</i> | 13 |
| <i>Obrázek 1.4: Definice jasu [2]</i> | 14 |
| <i>Obrázek 1.5: Činitel denní osvětlenosti [5]</i> | 16 |
| <i>Obrázek 2.1: Průběh udržovacího činitele [16]</i> | 26 |
| <i>Obrázek 3.1: Spektrum světla obyčejné žárovky [nm]</i> | 30 |
| <i>Obrázek 3.2: Konstrukce lineární zářivky [1]</i> | 31 |
| <i>Obrázek 3.3: Závislost světelného toku zářivky na okolní teplotě [1]</i> | 32 |
| <i>Obrázek 3.4: Konstrukce sodíkové výbojky [1]</i> | 34 |
| <i>Obrázek 3.5: Konstrukce indukční výbojky QL. [7]</i> | 35 |
| <i>Obrázek 4.1: VA charakteristika výbojového světelného zdroje [1]</i> | 38 |
| <i>Obrázek 5.1: Vyznačení stropní, střední a podlahové dutiny místnosti</i> | 48 |
| <i>Obrázek 7.1: Rozdělení průmyslové haly na části</i> | 54 |
| <i>Obrázek 8.1: Vizualizace výrobní haly</i> | 62 |
| <i>Obrázek 8.2: Vizualizace výrobní haly v nepravých barvách</i> | 63 |
| <i>Obrázek 8.3: Rozdělení svítidel do skupin</i> | 65 |
| <i>Obrázek 8.4: Zářivka Lumilux T5 HO Constant [13]</i> | 66 |
| <i>Obrázek 8.5: Graf závislosti světelného toku na okolní teplotě [13]</i> | 67 |
| <i>Obrázek 8.6: Svítidlo Prima AC ET5 (HO) PAR 6.1 [12]</i> | 68 |
| <i>Obrázek 8.7: Křivka svítivosti svítidla [12]</i> | 68 |
| <i>Obrázek 8.8: Řídicí jednotka DALI PRO CONT - 4 [15]</i> | 69 |
| <i>Obrázek 8.9: Napájecí jednotka PS 30 [22]</i> | 70 |
| <i>Obrázek 8.10: Slučovač High Bay senzoru a vzájemné propojení [21]</i> | 72 |
| <i>Obrázek 8.11: Slučovač senzorů DALI PRO [20]</i> | 72 |
| <i>Obrázek 8.12: DALI PRO PB Coupler [24]</i> | 73 |
| <i>Obrázek 8.13: Senzor denního světla LS/PD LI [23]</i> | 73 |
| <i>Obrázek 8.14: Senzor pohybu Highbay [21]</i> | 74 |
| <i>Obrázek 9.1: Kombinace světelného toku osvětlovací soustavy a denního světla</i> | 78 |
| <i>Obrázek 9.2: Znázornění potenciálních úspor s příspěvkem denního světla</i> | 79 |
| <i>Obrázek 9.3: Dostupnost denního světla v jednotlivých měsících</i> | 80 |
| <i>Obrázek 9.4: Závislost výkonu P a světelného toku Φ při regulaci [18]</i> | 80 |

| | |
|---|----|
| <i>Obrázek 9.5: Průměrný příspěvek denního světla v objektu</i> | 83 |
| <i>Obrázek 9.6: Srovnání průměrných příspěvků denního světla v měsících</i> | 84 |
| <i>Obrázek 9.7: Odhadovaná procentuální úspora.....</i> | 84 |
| <i>Obrázek 9.8: Úspora elektrické energie vypočítaná SW WILS</i> | 86 |

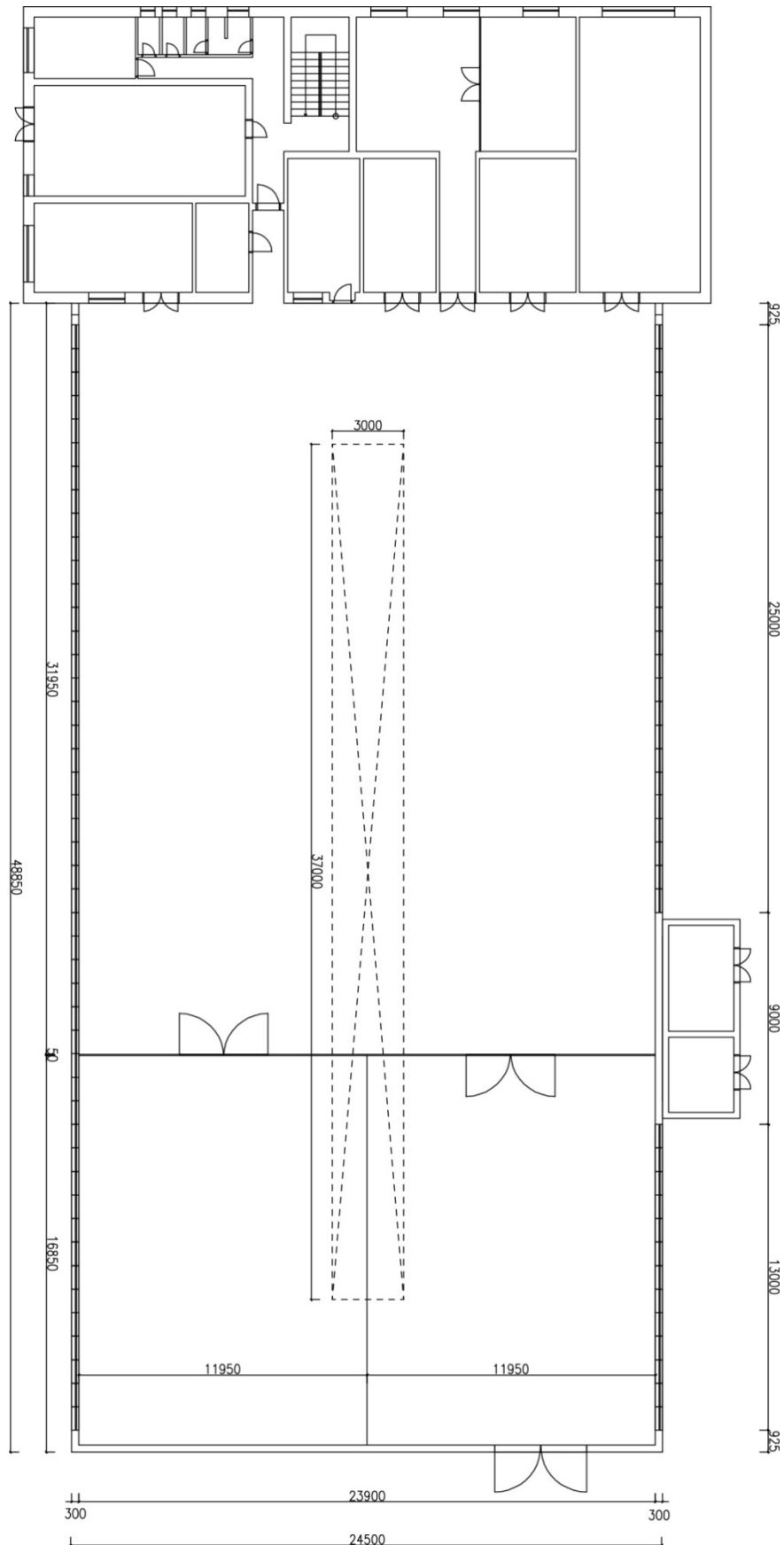
SEZNAM TABULEK

| | |
|---|----|
| <i>Tabulka 1.1: Doporučené rozsahy osvětlenosti podle CIE [1]</i> | 17 |
| <i>Tabulka 1.2: Hodnoty činitele denní osvětlenosti pro sdružené osvětlení [1]</i> | 19 |
| <i>Tabulka 2.1: Rozsah činitelů odrazu hlavních prvků místnosti [8]</i> | 21 |
| <i>Tabulka 2.2: Rovnoměrnost osvětlení a poměr osvětleností bezprostředního okolí úkolu [8]</i> | 21 |
| <i>Tabulka 2.3: Skupiny barevného tónu světla světelných zdrojů [8]</i> | 22 |
| <i>Tabulka 2.4: Průmyslové činnosti a prostory [8]</i> | 23 |
| <i>Tabulka 2.5: Komunikační zóny a společné prostory v budovách [8]</i> | 24 |
| <i>Tabulka 2.6: Interval čištění svítidel dle prostředí [11]</i> | 26 |
| <i>Tabulka 4.1: Členění předřadných zařízení podle energetických ztrát [5]</i> | 40 |
| <i>Tabulka 5.1: Hodnoty měrných příkonů [9]</i> | 44 |
| <i>Tabulka 7.1: Klasifikace prostoru a úkolů dle ČSN EN 12464-1 [8]</i> | 55 |
| <i>Tabulka 7.2: Hodnoty osvětlenosti v kontrolních bodech</i> | 56 |
| <i>Tabulka 7.3: Seznam světelných zdrojů</i> | 57 |
| <i>Tabulka 8.1: Srovnání činitele LLMF stávajícího a nového světelného zdroje</i> | 61 |
| <i>Tabulka 8.2: Základní parametry nově navržené osvětlovací soustavy</i> | 62 |
| <i>Tabulka 8.3: Srovnání zářivky Lumilux T5 HO Constant a MASTER TL-D [13]</i> | 67 |
| <i>Tabulka 8.4: Parametry svítidla [12]</i> | 69 |
| <i>Tabulka 8.5: Parametry napájecího zdroje [22]</i> | 71 |
| <i>Tabulka 8.6: Vlastnosti elektronického předřadníku [14]</i> | 71 |
| <i>Tabulka 8.7: Parametry použitých slučovačů [20][21]</i> | 72 |
| <i>Tabulka 8.8: Parametry senzoru denního světla LS/PD LI [23]</i> | 74 |
| <i>Tabulka 8.9: Parametry senzoru Highbay [21]</i> | 75 |
| <i>Tabulka 8.10: Cenová kalkulace</i> | 75 |
| <i>Tabulka 9.1: Srovnání nové osvětlovací soustavy bez regulace a s regulací</i> | 85 |
| <i>Tabulka 9.2: Regulace osvětlovací soustavy při různých venkovních osvětlenostech</i> | 86 |
| <i>Tabulka 9.3: Srovnání úspor odhadem a výpočtem SW WILS</i> | 87 |
| <i>Tabulka 9.4: Srovnání osvětlovacích soustav</i> | 88 |
| <i>Tabulka 9.5: Ekonomické hodnocení</i> | 89 |
| <i>Tabulka 9.6: Závěrečné srovnání původní a nové soustavy</i> | 90 |

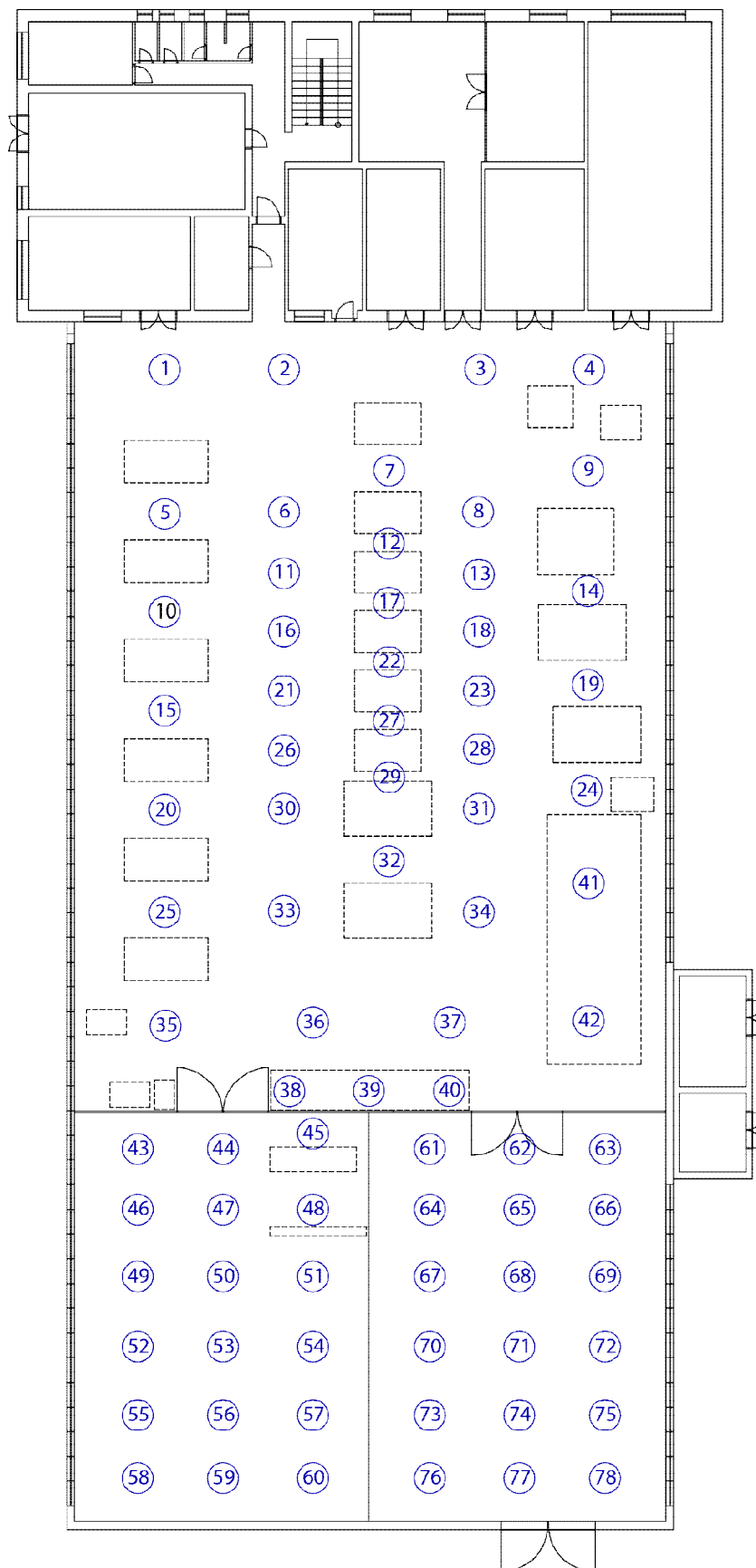
SEZNAM PŘÍLOH

- PŘÍLOHA P I: Půdorys objektu
- PŘÍLOHA P II: Rozmístění kontrolních bodů měření
- PŘÍLOHA P III: Schéma zapojení komponent na sběrnici
- PŘÍLOHA P IV: Rozmístění svítidel
- PŘÍLOHA P V: Venkovní osvětlenost pro měsíc leden
- PŘÍLOHA P VI: Venkovní osvětlenost při rovnoměrně zatažené obloze
- PŘÍLOHA P VII: Dostupnost denního světla v objektu

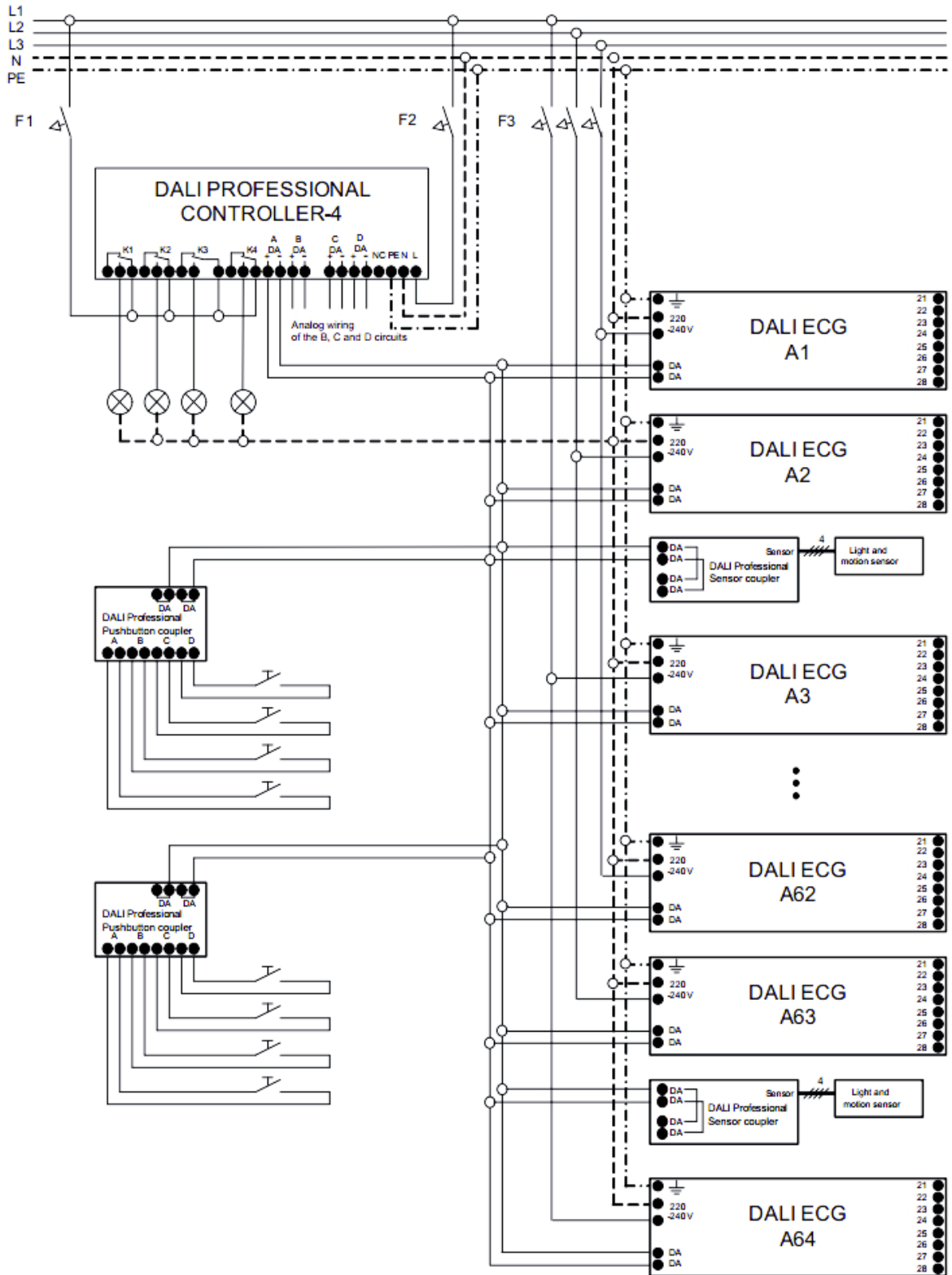
PŘÍLOHA P I: PŮDORYS OBJEKTU



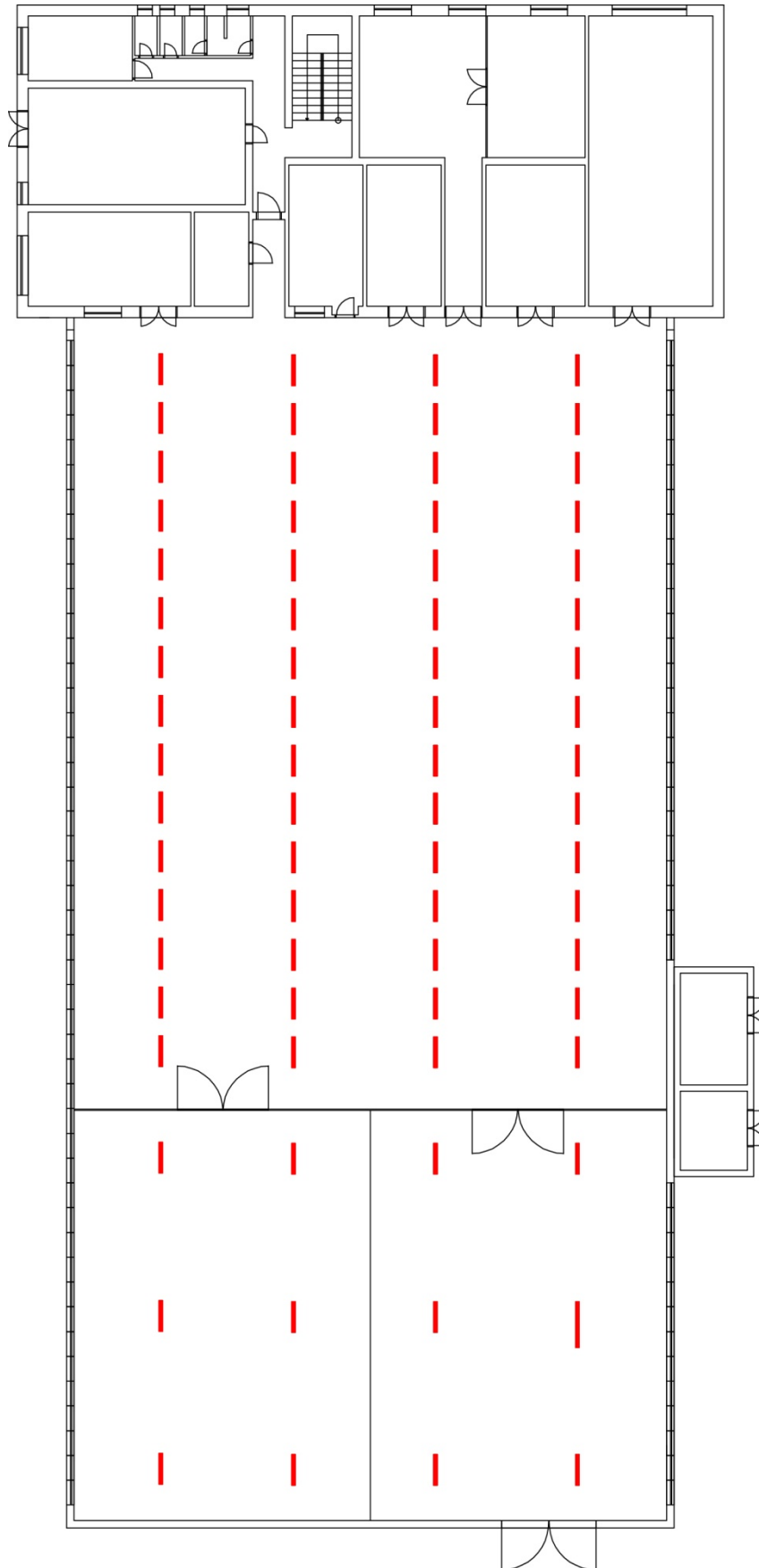
PŘÍLOHA P II: ROZMÍSTĚNÍ KONTROLNÍCH BODŮ MĚŘENÍ



PŘÍLOHA P III: SCHÉMA ZAPOJENÍ KOMPONENT NA SBĚRNICI



PŘÍLOHA P IV: ROZMÍSTĚNÍ SVÍTIDEL



PŘÍLOHA P VII: DOSTUPNOST DENNÍHO SVĚTLA V OBJEKTU

KOVEX Újezd, s.r.o.

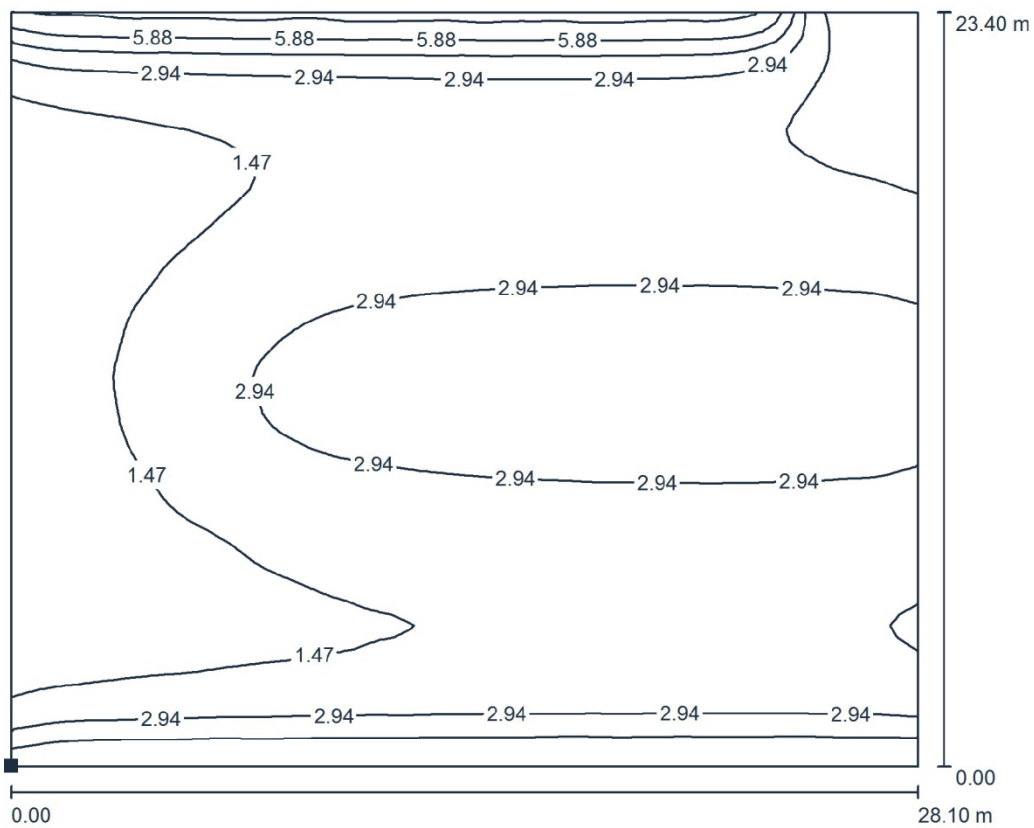


DIALux

Zpracovatel Tomáš Bělaška

Výrobní hala / Koefficient denního světla

Isolinie (D)



Měřítko 1 : 201

Poloha plochy v místnosti:
Označený bod:
(14.274 m, 6.000 m, 0.850 m)



Rastr: 64 x 64 Body

D_m [%]
2.51

D_{min} [%]
0.62

D_{max} [%]
7.95

D_{min} / D_m
0.247

D_{min} / D_{max}
0.078

Intenzita horizontálního osvětlení ve volném prostředí E_v : 18 750 lx