



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

NÁVRH OSVĚTLENÍ VÝROBNÍ HALY

LIGHTING DESIGN OF PRODUCTION HALL

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Branislav Pavlinský

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Škoda, Ph.D.

BRNO 2022

Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Bc. Branislav Pavlinský

ID: 203316

Ročník: 2

Akademický rok: 2021/22

NÁZEV TÉMATU:

Návrh osvětlení výrobní haly

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Zmonitorujte stávající stav osvětlovací soustavy.
2. Navrhněte novou osvětlovací soustavu.
3. Proveďte kontrolní měření nové soustavy.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího závěrečné práce

Termín zadání: 7.2.2022

Termín odevzdání: 24.5.2022

Vedoucí práce: Ing. Jan Škoda, Ph.D.

prof. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Master's Thesis

Master's study program **Electrical Power Engineering**

Department of Electrical Power Engineering

Student: Bc. Branislav Pavlinský

ID: 203316

**Year of
study:** 2

Academic year: 2021/22

TITLE OF THESIS:

Lighting design of production hall

RECOMMENDED LITERATURE:

podle pokynů vedoucího závěrečné práce

**Date of project
specification:** 7.2.2022

**Deadline for
submission:** 24.5.2022

Supervisor: Ing. Jan Škoda, Ph.D.

prof. Ing. Petr Toman, Ph.D.
Chair of study program board

WARNING:

The author of the Master's Thesis claims that by creating this thesis he/she did not infringe the rights of third persons and the personal and/or property rights of third persons were not subjected to derogatory treatment. The author is fully aware of the legal consequences of an infringement of provisions as per Section 11 and following of Act No 121/2000 Coll. on copyright and rights related to copyright and on amendments to some other laws (the Copyright Act) in the wording of subsequent directives including the possible criminal consequences as resulting from provisions of Part 2, Chapter VI, Article 4 of Criminal Code 40/2009 Coll.

ABSTRAKT

V dnešnej dobe veľké množstvo ľudí trávi veľa času v prítomnosti umelého osvetlenia a preto je umelé osvetlenie a správny návrh takéhoto osvetlenia veľmi dôležitý. Táto práca sa zaoberá zhodnotením pôvodného stavu osvetľovacej sústavy výrobnéj haly a návrhu novej osvetľovacej sústavy. Návrh osvetlenia je riešený pomocou programu RELUX. Na návrh osvetlenia boli použité svietidla českého výrobcu značky TREVOS.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ

Umelé osvetlenie; návrh osvetlenia; UGR; jas; osvetľovacia sústava; RELUX; NANOTICA; PRIMA LED

ABSTRACT

Nowadays, a large number of people spend a lot of time in the presence of artificial lighting and therefore artificial lighting and the correct design of such lighting is very important. This work deals with the evaluation of the original state of the lighting system of the production hall and the design of a new lighting system. Lighting design is solved using the RELUX program. Luminaires from the Czech manufacturer TREVOS were used to design the lighting.

KEYWORDS

Artificial lighting; light design; UGR, luminance; lighting system; RELUX; NANOTTICA; PRIMA LED

PAVLINSKÝ, Branislav. *Návrh osvetlenia výrobnéj haly*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky, 2022, 75 s. Diplomová práce. Vedúci práce: Ing. Ján Škoda

Vyhlásenie autora o pôvodnosti diela

Meno a priezvisko autora: Bc. Branislav Pavlinský
VUT ID autora: 203316
Typ práce: Diplomová práca
Akademický rok: 2021/22
Téma závěrečnéj práce: Návrh osvetlenia výrobnéj haly

Vyhlasujem, že svoju záverečnú prácu som vypracoval samostatne pod vedením vedúcej/cého záverečnéj práce, s využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej záverečnéj práce ďalej vyhlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto záverečnéj práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/alebo majetkových a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona Českej republiky č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníka Českej republiky č. 40/2009 Sb.

Brno
.....
podpis autora*

*Autor podpisuje iba v tlačenej verzii.

POĎAKOVANIE

Rád by som poďakoval vedúcemu diplomovej práce pánu Ing. Ján Škoda, Ph.D. za odborné vedenie, konzultácie, trpezlivosť a podnetné návrhy k práci. Taktiež ďakujem aj mojej priateľke Sarah, ktorá mi pomáhala pri meraní súčasného stavu osvetlenia a mojmu spolužiakovi Marekovi, ktorý mi pomáhal pri meraní novej osvetľovacej sústavy v hale.

Obsah

Úvod	14
Cíle práce	15
1 Základy svetelnej techniky	16
1.1 Zrak a videnie	16
1.1.1 Zraková pohoda	16
1.1.2 Oslnenie	17
1.2 Základné svetelné veličiny a jednotky	22
1.2.1 Svetelný tok	22
1.2.2 Priestorový uhol	23
1.2.3 Svietivosť	23
1.2.4 Osvetlenosť	23
1.2.5 Jas zväzkov svetelných paprskov	23
1.2.6 Svetlenie	24
2 Kvantitatívne a kvalitatívne parametre osvetlenia	25
2.1 Úroveň osvetlenosti	25
2.2 Rovnomernosť osvetlenia	26
2.3 Rozloženie jasu v zornom poli pozorovateľov	26
2.4 Oslnenie	26
2.5 Stálosť osvetlenia	26
2.6 Smer svetla a tienivosť	27
3 Technické požiadavky na meranie	28
3.1 Obecne	28
3.2 Meracie prístroje	28
3.3 Výber kontrolných bodov	29
3.4 Príprava merania	30
3.5 Postup pri meraní	30
4 Súčasný stav osvetľovacej sústavy	31
4.1 Miestnosť 1	32
4.1.1 Meranie osvetlenosti	32
4.2 Miestnosť 2	33
4.2.1 Meranie osvetlenosti	34
4.3 Miestnosť 3	34
4.3.1 Meranie osvetlenosti	34

4.4	Zhodnotenie	35
5	Návrh novej osvetľovacej sústavy	36
5.1	Výber svietidla	37
5.1.1	NANOTTICA TRS	37
5.1.2	PRIMA LED	38
5.2	Výpočet a realizácia umelého osvetlenia	38
5.3	Výpočet udržiavacieho činiteľa	39
5.4	Údržba osvetľovacej sústavy	39
6	Návrh a výpočet varianty A - NANOTTICA TRS	40
6.1	Miestnosť 1	40
6.2	Miestnosť 2	40
6.3	Miestnosť 3	41
7	Návrh a výpočet varianty B - PRIMA LED	42
7.1	Miestnosť 1	42
7.2	Miestnosť 2	42
7.3	Miestnosť 3	43
8	Porovnanie variánt A a B	44
9	Kontrólne meranie novej sústavy	46
9.1	Porovnanie súčasného a nového osvetlenia	46
9.2	Porovnanie merania a výpočtu novej sústavy	49
10	Vyhodnotenie UGR pomocou jasovej analýzy	50
10.1	Postup merania a vyhodnotenia	50
10.2	Vyhodnotenie nového stavu osvetlenia	51
10.2.1	Porovnanie výpočtu programu RELUX a programu LumiDisp	54
11	Finančné porovnanie nákladov	55
	Záver	57
	Literatúra	59
	Zoznam symbolov a skratiek	60
	Zoznam príloh	61
A	Namerané hodnoty súčasného a nového stavu osvetlenia	62

B	Porovnanie nameraných a vypočítaných hodnôt nového stavu osvetľovacej sústavy	65
C	Fotky súčasného a nového stavu osvetľovacej sústavy v hale	67
D	Prehľad výsledkov z programu RELUX	69
D.1	Varianta A	69
D.2	Varianta B	72
E	Obsah elektronickej prílohy	75

Zoznam obrázkov

1.1	Koeficienty pre výpočet činiteľa oslnenia (Prevzaté z[1])	18
1.2	Nomogram Luckieshe a Gutha pre stanovenie činiteľa polohy P v závislosti na umiestnení osľňujúceho zdroja voči ose pohľadu (Prevzaté z[1])	19
1.3	Geometrické usporiadanie osľňujúceho zdroja a oka pozorovateľa (Prevzaté a upravené z[1])	19
1.4	Stav vnímania rušivého oslnenia v závislosti na hodnote UGR (Prevzaté z[3])	21
1.5	Hraničné hodnoty činiteľa oslnenia UGR (Prevzaté z[1])	22
2.1	Doporučené hodnoty jasov (Prevzaté z[1])	26
3.1	Luxmeter Radiolux 111 (Prevzaté z[6])	29
3.2	Rozloženie kontrolných bodov na obecnej porovnávacej rovine (Prevzaté z[2])	29
4.1	Súčasná osvetľovacia sústava výrobnjej haly	31
4.2	Spoločné priestory vnútri budov - Regálové sklady (Prevzaté z[2])	32
4.3	Rozloženie meracích bodov v miestnosti 1	32
4.4	Spoločné priestory vnútri budov - Skladové priestory a chladiarne (Prevzaté z[2])	33
4.5	Priemyslové a remeselné činnosti - Výroba a spracovanie kovov (Prevzaté z[2])	33
4.6	Rozloženie meracích bodov v miestnosti 2	34
4.7	Rozloženie meracích bodov v miestnosti 2	35
5.1	Nová osvetľovacia sústava výrobnjej haly	36
5.2	Nanottica TRS PC (Prevzaté z [9])	37
5.3	Parametre svietidiel Nanottica (Prevzaté z [9])	37
5.4	Prima LED (Prevzaté z [10])	38
5.5	Parametre svietidiel Prima LED (Prevzaté z [10])	38
6.1	Rozmiestnenie pracovných plôch v miestnosti 2	41
8.1	Priestorový model NANOTTICA svietidiel	44
8.2	Priestorový model Prima LED svietidiel	44
9.1	Porovnanie osvetlenia v miestnosti 1	46
9.2	Porovnanie osvetlenia v miestnosti 2	47
9.3	Porovnanie osvetlenia v miestnosti 2, plocha na zemi	48
9.4	Porovnanie osvetlenia v miestnosti 3	48
10.1	LumiDisp sada (Prevzaté z [8])	50
10.2	Jasová mapa v miestnosti 2	51
10.3	Osvetľujúce svietidlá pre pozorovateľa v miestnosti 2	52

10.4	Jasová mapa v miestnosti 3	52
10.5	Osvetľujúce svietidlá pre pozorovateľa v miestnosti 3	53
10.6	Aplikovaný činiteľ polohy v miestnosti 3	53
10.7	Umiestnenie pozorovateľa pre výpočet UGR v programe RELUX (3D pohľad)	54
C.1	Súčasný stav osvetľovacej sústavy - miestnosť 1	67
C.2	Súčasný stav osvetľovacej sústavy - miestnosť 2	67
C.3	Súčasný stav osvetľovacej sústavy - miestnosť 3	67
C.4	Nový stav osvetľovacej sústavy - miestnosť 1	68
C.5	Nový stav osvetľovacej sústavy - miestnosť 2	68
C.6	Nový stav osvetľovacej sústavy - miestnosť 3	68
D.1	Prehľad výsledkov variantu A - miestnosť 1	69
D.2	Prehľad výsledkov variantu A - miestnosť 2	70
D.3	Prehľad výsledkov variantu A - miestnosť 3	71
D.4	Prehľad výsledkov variantu B - miestnosť 1	72
D.5	Prehľad výsledkov variantu B - miestnosť 2	73
D.6	Prehľad výsledkov variantu B - miestnosť 3	74

Zoznam tabuliek

8.1	Porovnanie priemerných osvetleností svietidiel NANOTTICA a PRIMA LED	45
11.1	Náklady za spotrebovanú elektrickú energiu za rok - varianta A . . .	56
11.2	Náklady za spotrebovanú elektrickú energiu za rok - varianta B . . .	56
11.3	Náklady na nákup svietidiel - varianta A	56
11.4	Náklady na nákup svietidiel - varianta B	56
11.5	Doba návratnosti pri použití varianty A	56
A.1	Porovnanie predošlého a nového stavu osvetlenia v miestnosti 1 . . .	62
A.2	Porovnanie predošlého a nového stavu osvetlenia v miestnosti 2 . . .	63
A.3	Porovnanie predošlého a nového stavu osvetlenia v miestnosti 2, plocha na zemi	63
A.4	Porovnanie predošlého a nového stavu osvetlenia v miestnosti 3 . . .	64
B.1	Porovnanie nameraných a vypočítaných hodnôt osvetlenia v miestnosti 1	65
B.2	Porovnanie nameraných a vypočítaných hodnôt osvetlenia v miestnosti 2	66
B.3	Porovnanie nameraných a vypočítaných hodnôt osvetlenia v miestnosti 2, plocha na zemi	66

Úvod

Každodennou súčasťou moderného sveta je svetlo, ktoré je denné alebo umelé. Zvlášť je dôležité to umelé, kvôli modernému spôsobu života, kde človek trávi väčšinu času pod umelým osvetlením. Takéto svetlo sa využíva pre osvetlenie pracovných priestorov, domácností, umeleckých diel, vonkajších komunikácií a ďalších.

Na základe toho je potrebné dodržať správny návrh osvetľovacej sústavy, aby osvetlenie vytváralo zrakovú pohodu. Tá prispieva k zvyšovaniu bezpečnosti, produktivity práce, kvality práce a poklesu únavy.

Pri návrhu osvetľovacej sústavy sa stretávame s rôznymi typmi osvetľovaných priestorov, kde má každý priestor svoje špecifické parametre, ktoré musíme uvažovať. Hodnotenie oslnenia je jedným z dôležitých parametrov v priestore s umelým osvetlením. Pre hodnotenie oslnenia sa všeobecne používa metóda hodnotenia oslnenia pomocou UGR.

V tejto práci sme sa zaoberali návrhom osvetlenia pre výrobnú halu, ktorá má 3 miestnosti. V každej miestnosti boli požadované iné možnosti osvetlenia na základe toho, na čo sa daná miestnosť používa.

Prvá časť práce bude zameraná na teoretické základy. Ďalej sa práca bude zaoberať technickými požiadavkami na meranie.

V druhej časti tejto práce si rozoberieme súčasný stav osvetľovacej sústavy po jednotlivých miestnostiach. Budeme merať osvetlenosť a hodnotiť či je daná osvetľovacia sústava vyhovujúca.

Tretia časť práce sa zaoberá návrhom novej osvetľovacej sústavy. Konkrétne výberom vhodných svietidiel. Pre tento návrh budú zvolené 2 varianty, z ktorých si zákazník môže vybrať. Tieto varianty budú porovnané na základe niekoľkých faktoroch. Hlavný faktor bude finančné porovnanie nákladov, ktoré si rozoberieme ku koncu diplomovej práce. Po vybratí danej varianty a po montáži daných svietidiel v hale prebehne kontrolné meranie novej osvetľovacej sústavy. Výsledky budú porovnané so starou osvetľovacou sústavou, a taktiež budú namerané hodnoty porovnané s vypočítanými hodnotami z programu RELUX.

Posledná časť diplomovej práce pojednáva o činiteľu oslnenia UGR. Porovnáva sa sústava súčasného a nového stavu a taktiež hodnota vypočítaná v programe RELUX.

V dnešnej dobe sa stále zvyšujú požiadavky na kvalitu, efektívnosť, úspornosť a ekológiu umelého osvetlenia. Preto sme návrh osvetlenia zrealizovali v programe RELUX, ktorý patrí do svetovej špičky pre návrh osvetlenia.

Ciele práce

Cielom tejto diplomovej práce je zmonitorovanie osvetľovacej sústavy výrobnéj haly, návrh novej osvetľovacej sústavy. Kontrolné meranie novej osvetľovacej sústavy a porovnanie výsledkov vypočítaných a nameraných hodnôt.

1 Základy svetelnej techniky

Názory fyzikov na povahu svetla sa postupne vyvíjali od korpuskulárnej teórie a vlnovej teórie k Maxwellovej teórii elektromagnetického pôvodu svetla a k Einsteinovej kvantovej teórii svetla, vychádzajúcej zo súčasného vlnového a korpuskulárneho charakteru svetla.

Vo svetelnej technike sa však neskúma podstata žiarenia, jeho pretržitosť alebo silové účinky, sleduje sa priestorové rozdelenie tokov energie pri ich plynulých prechodoch medzi uvažovanými miestami. Svetlo sa potom javí ako viditeľné žiarenie zhodnotené zrakom človeka podľa jeho spektrálnej citlivosti k žiareniu rôznych vlnových dĺžok. Z toho vyplýva, že v svetelnej technike sa pod pojmom svetlo chápe vnem svetla. S ohľadom na individuálny charakter spektrálnej citlivosti zraku každého jedinca a nutnosti zjednotenia výpočtov a merania bolo v rámci medzinárodných orgánov CIE prijaté maximum svetelného účinku $683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ žiarenia pri základnej vlnovej dĺžke 555 nm pri dennom videní, schválené priebehy pomernej spektrálnej citlivosti tzv. normálneho fotometrického pozorovateľa pri dennom videní a nočnom videní a odvodená sústava svetelne technických veličín s tým, že jednotka svietivosti 1 kandela bola priradená k základným jednotkám sústavy SI. [1]

1.1 Zrak a videnie

Svetelná technika by mala účinne prispievať k vytváraniu vhodného svetelného prostredia, zabezpečujúcu v osvetľovaných priestoroch zrakovú pohodu. Zrak pre človeka je vlastne zariadenie, ktoré prína informácie o vonkajšom prostredí. Nositeľom tejto informácie je svetlo, svetelný podnet. Svetlo a osvetlenie sa takto javí ako prostriedok umožňujúci prijatie zmienenej informácie a môžu pochopiteľne príjem informácie uľahčiť, alebo zhoršiť. Pre lepšie pochopenie je potrebné zoznámiť sa so základnou stavbou zrakového ústrojenstva.[1]

1.1.1 Zraková pohoda

Na zrakové vnímanie majú podstatný vplyv rušivé alebo ukludňujúce momenty, vplyv prostredia, hnev, chlad, neporiadok, hluk a na druhej strane dobrá nálada, radosť, príjemné prostredie, klud. Preto je potrebné v danom priestore vytvoriť podľa jeho účelu a predpokladanej činnosti ľudí vhodné prostredie. Takéto prostredie je vytvárané rozmerom priestoru, typom svetelných zdrojov, druhom a množstvom svietidiel, hladinami osvietenosti a ich rovnomernosti v rôznych rovinách, tzn. rozložením jasu v priestore. To znamená, že pod pojmom zraková pohoda si treba predstaviť psychologický stav, pri ktorom zrakový systém plní optimálne svoje funkcie a človek

sa cíti psychicky dobre a taktiež dobre vidí. Naopak pri zrakovej nepohode dochádza k narušeniu zrakových funkcií a tým k očnej únave, a to sa potom môže prejaviť aj v zlej nálade človeka a v jeho výkonnosti. [1]

1.1.2 Oslnenie

V prípade, že sa v zornom poli oka vyskytujú veľké hodnoty jasu alebo ich rozdiely, poprípade vzniknú veľké priestorové či časové kontrasty jasu, ktoré výrazne prekračujú adaptibilitu zraku, vzniká oslnenie. Pri oslnení je sťažený až znemožnený prístup a príjem svetlom prenášaných informácií do oka. Z uvedeného vyplýva, že sa jedná o nepriaznivý stav zraku, ku ktorému dochádza pri prekročení jasu na ktoré je oko adaptované.

Delenie oslnenia

Oslnenie môžeme deliť podľa príčiny na oslnenie priame, spôsobené nadmerným jasom svietidiel alebo hlavných povrchov priestoru. Pri odrazoch svietiacich plôch na lesklých častiach pozorovaných predmetov a ich bezprostredného okolia vzniká oslnenie odrazom. Prechodové oslnenie dochádza pri náhlych zmenách adaptačného jasu, ktorým sa zrak nestihne prispôbiť.

Z hľadiska svetelnej techniky je najdôležitejšie oslnenie kontrastom, keď sa v zornom poli vyskytnú jasy vyššie, ako na ktorý je zrak adaptovaný. Takéto oslnenie vzniká v sústavách najčastejšie. [1]

Ďalšie rozdelenie oslnenia vychádza z psychofyzologických následkov na stav zrakového systému a delí sa na oslnenie:

1. Psychologické oslnenie

- pozorovateľné
- rušivé

2. Fyziologické oslnenie

- obmedzujúce
- oslepujúce

Fyziologické osvetlenie omedzuje a zhoršuje činnosť zraku, keďže sa preukázateľne znižuje ostrosť a kontrastná citlivosť. Pri oslepujúcom oslnení dochádza k úplnému znemožneniu zrakovej činnosti.

Takéto oslnenia sa v sústavách prakticky nesmú objaviť a preto predmetom hodnotenia je oslnenie psychologické. Psychologické oslnenie nastáva keď oslňujúci zdroj v zornom poli odputáva pozornosť pozorovateľa od vlastnej zrakovej úlohy a vzniká subjektívny pocit zrakovej nepohody, a nadmerne stúpa únava. Pozorovateľ si toto neuvedomuje a nevie, že to je spôsobené oslnením. Meranie psychologického oslnenia

je veľmi náročná záležitosť, keďže merateľné zmeny zrakových funkcií ako je zraková ostrosť alebo kontrastná citlivosť nevyvoláva psychologické oslnenie. [1]

Hodnotenie oslnenia

V interiéri sa zameriavame hlavne na oslnenie priame, ktoré je založené na výsledkoch výskumu rušivého oslnenia. Keďže chýba teoretické pochopenie presnej príčiny vzniku oslnenia, vychádzame iba z poznatkov, že oslnenie je vyvolávané osľňujúcimi zdrojmi, ktoré sú umiestnené v zornom poli pozorovateľa tak, že u neho vyvolávajú vedomé narušenie zrakovej činnosti. Rušivé oslnenie sa vyšetruje statickým spracovaním výsledkov pozorovania a hodnotenia situácie pri najrôznejších činnostiach väčšieho počtu pozorovateľov v modelových laboratórnych priestoroch. Na základe týchto experimentov a statických pozorovaní vznikli empirické vzťahy a definovali sa tabuľky hodnôt, na základe ktorých vieme vyhodnotiť sústavu, aby splňovala dané štandardy.[1]

Jeden z týchto vzťahov, ktorý kvantifikuje mieru oslnenie je činiteľ oslnenia. Tento vzťah vychádza z úvahy, že oslnenie je vyššie čím je vyšší jas osľňujúceho zdroja L_z [$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$] (vo smere ku kontrolnému miestu) a čím väčší je priestorový uhol Ω [sr], pod ktorým je z kontrolného miesta vidieť osľňujúci zdroj. Oslnenie potom klesá, ak rastie priemerný jas pozadia L_p [$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$]. Činiteľ oslnenia G [-] je potom pre jeden svetelný zdroj definovaný ako:

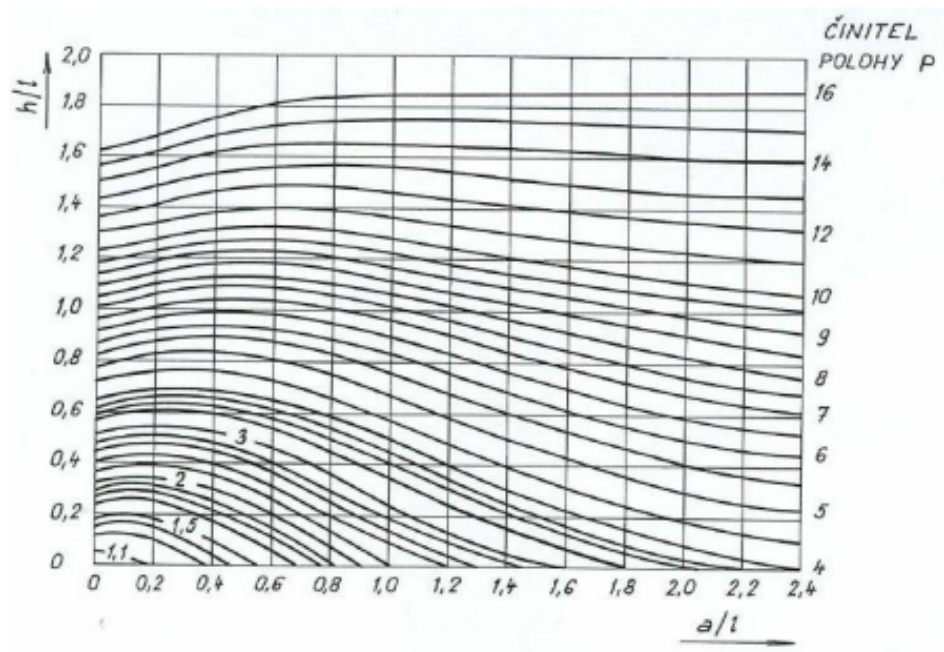
$$G = \frac{L_z^a \cdot \Omega^b}{L_p^c \cdot P^d} \quad (1.1)$$

, kde P [-] je činiteľ charakterizujúci vplyv polohy osľňujúceho zdroja, určovaný najčastejšie podľa Luckieshe a Gutha z diagramu na obr.1.2. Konštanty a,b,c,d sú

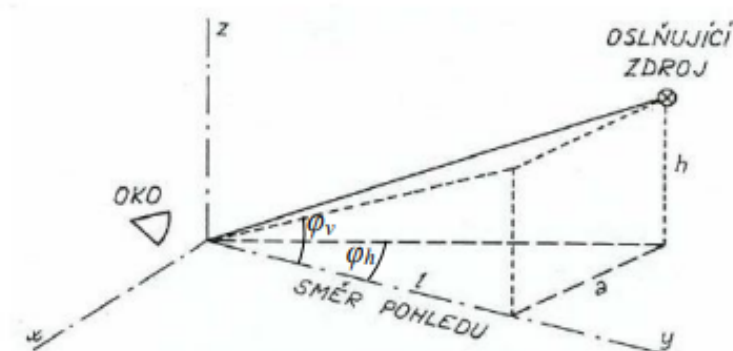
autor	exponent			
	a	b	c	d
Netušil	1	0,4	0,5	1
Harrison	2	1	0,6	1
Arndt, Bodmann, Muck	1	0,33	0,66	1
Hopkinson	1,6	0,8	1	1,6
Sørensen	2	1	1	2

Obr. 1.1: Koeficienty pre výpočet činiteľa oslnenia (Prevzaté z[1])

empiricky určené hodnoty. Ich hodnoty sa líšia podľa autorov, ktorý experiment spravili. Príklady hodnôt, ktoré nadobúdajú tieto konštanty sú uvedené v obr.1.1.



Obr. 1.2: Nomogram Luckieshe a Gutha pre stanovenie činiteľa polohy P v závislosti na umiestnení oslňujúceho zdroja voči ose pohľadu (Prevzaté z[1])



Obr. 1.3: Geometrické usporiadanie oslňujúceho zdroja a oka pozorovateľa (Prevzaté a upravené z[1])

Obr.1.3 znázorňuje geometrické usporiadanie oslňujúceho zdroja a oka pozorovateľa pre odčítanie činiteľa polohy P . Vzdialenosť a je bočná vzdialenosť oslňujúceho

zdroja od vertikálnej roviny preloženej osou pohľadu, vzdialenosť h značí výšky osľňujúceho zdroja nad vodorovnou rovinou preloženou osou pohľadu a l vyjadruje vzdialenosť oka pozorovateľa od roviny preloženej osľňujúcim zdrojom kolmo k ose pohľadu. Priebeh činiteľa polohy podľa obr.1.2 závisí na pomere vzdialeností a/l a h/l . [1]

Pri sústave kde sa vyskytujú viac osľňujúcich zdrojov sa celkový činiteľ oslnení buď vypočíta sčítaním jednotlivých činiteľov oslnenia pre jednotlivé zdroje alebo autori metód predpisujú zložitejší postup. Keďže má zrak citlivosť skôr logaritmickú a aj vnímanie oslnenia je vzhľadom k činiteľu oslnenia najskôr logaritmickou záležitosťou, užíva sa logaritmického vyjadrenia činiteľa oslnenia. Tento činiteľ sa násobí patričnou konštantou a takto vyjadrený vzťah sa nazýva index oslnenia. Takýto vzťah činiteľa oslnenia dovoľuje lepšie a objektívnejšie vystihnúť subjektívne zmeny pocitu pozorovateľov o stupni oslnenia. Jedným zo vzťahov pre index oslnenia je Sørensenov vzťah:

$$GI_s = UGR = 8 \cdot \log \left| \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n \frac{L_{zi}^2 \cdot \Omega_i}{L_p \cdot P_i^2} \right| \quad (1.2)$$

S využitím tohto vzťahu je vytvorený tzv. Jednotný systém hodnotenia oslnenia (UGR). Tento systém je v súčasnosti uznávaný a doporučovaný v rámci Medzinárodnej komisie pre osvetľovanie CIE a taktiež v rámci európskych predpisov. V takomto systéme hodnotenia sa potom miesto indexu oslnenia GI_s pracuje s činiteľom oslnenia UGR. Vo vzťahu (1.2) je L_p jas pozadia alebo adaptačný jas pre výpočet UGR definovaný ako rovnomerný jas celého okolia, ktorý v mieste oka pozorovateľa vo zvislej rovine zaistí rovnakú osvetlenosť ako skutočné zorné pole bez osľňujúcich zdrojov, L_{zi} je jas i -tého osľňujúceho zdroja, Ω_i je priestorový uhol, ktorý zaujíma osľňujúci zdroj z miesta pohľadu, kde sa oslnenie hodnotí a p_i je činiteľ polohy i -tého zdroja oslnenia. [1]

Jas pozadia L_p [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$] stanovíme na základe nasledujúceho vzťahu z nepriamej zložky vertikálnej osvetlenosti E_n [lx]:

$$L_p = \frac{E_n}{\pi} \quad (1.3)$$

Osvetlenosť E_n sa stanoví ako súčet osvetleností vypočítaných vo svetelnom poli jednotlivých čiastkových povrchov vo zvislej rovine preloženej okom pozorovateľa v kontrolnom bode umiestneným do oka pozorovateľa. V niektorých prípadoch je možné zjednodušene určiť nepriamu vertikálnu osvetlenosť E_n oka pozorovateľa ako osvetlenosti získanej odrazeným svetlom od stien uvažovanej miestnosti. [1]

Priestorový uhol Ω , pod ktorým pozorovateľ vidí svietiacu plochu E_p osľňujúceho svietidla, sa vypočíta nasledovne:

$$\Omega = \frac{A_p}{r^2} \quad (1.4)$$

, kde A_p [m²] je priemet svietiacej plochy svietidla do roviny kolmej ku smeru spojnice stredu osľňujúcej plochy s okom pozorovateľa a r je vzdialenosť medzi stredom osľňujúcej plochy svietidla a okom pozorovateľa. [1]

Jas zdroja oslnenia L_z [cd·m⁻²] sa vypočíta zo svietivosti svietidla I_γ [cd] vo smere k pozorovateľovi a plochy priemetu A_p [m²] ako:

$$L_z = \frac{I_\gamma}{A_p} \quad (1.5)$$

Metodiku UGR nie je možné použiť v prípade, kde by sa svetelné lúče z osľňujúceho zdroja dostávali do oka pozorovateľa z dolného polopriestoru. Je to dané tým, že činiteľ polohy P podľa Luckiesha a Gutha nie je pre takéto prípady definovaný. [1]

Hodnotiaca stupnica UGR

Bežne sa v osvetľovacích sústavách pohybuje hodnota UGR v rozsahu od 10 do 30. Norma ČSN EN 12364-1:2021 doporučuje hraničné hodnoty UGR, ktoré tvoria radu a tejto rade odpovedajú stupne zmien v oslnení. Táto rada UGR je 10, 13, 16, 19, 22, 25 a 28. [2]

Stav oslnění	Hodnota UGR
Neznamenatelné	10
Právě znamenatelné	13
Znamenatelné	16
Právě přijatelné	19
Nepřijatelné	22
Právě nepříjemné	25
Nepříjemné	28

Obr. 1.4: Stav vnímania rušivého oslnenia v závislosti na hodnote UGR (Prevzaté z[3])

Pochopiteľnejšie to je z obr.1.4 kde stupnica hodnôt UGR odpovedá jednotlivým kategóriám subjektívneho vnímania oslnenia.

Maximálna hodnota UGR je závislá na type pracovného priestora a na vykonávanej činnosti. Toto môžeme vidieť na obr.1.5.

Pracovište		UGR (GL _s)
pracovište s počítači		16
kanceláre, dozorný		19
průmyslová pracoviště	jemná výroba	22
	běžná výroba	25
	hrubá výroba	28

Obr. 1.5: Hraničné hodnoty činiteľa oslnenia UGR (Prevzaté z[1])

1.2 Základné svetelné veličiny a jednotky

Pri hodnotení kvality osvetlenia sa posudzuje, do akej miery osvetlenie napomáha postupu prijatia spracovanej informácie prinášanej svetlom a uľahčuje proces videnia a vznik zrakového vnemu. Preto sa v svetelnej technike neposudzujú energetické veličiny, ale pracuje sa s fotometrickými pojmami a veličinami, ktoré rešpektujú rôznu citlivosť oka pozorovateľa k žiareniu rôznych vlnových dĺžok. To znamená, že svetelné veličiny sa používajú k popisu vlastností svetelných zdrojov, svietidiel a posudzovaní kvality svetelného poľa, ktoré tieto osvetľovacie prostriedky vytvárajú.[1]

1.2.1 Svetelný tok

Svetelný tok Φ je svetelná veličina a vyjadruje schopnosť žiarivého toku spôsobiť zrakový vnem. Jednotkou svetelného toku je lumen [lm]. Svetelný tok Φ monochromatického žiarenia s vlnovou dĺžkou λ , ktorého žiarivý tok je Φ_e sa určí ako:[1]

$$\Phi(\lambda) = K(\lambda) \cdot \Phi_e(\lambda) = K_m \cdot V(\lambda) \cdot \Phi_e(\lambda) = 683V(\lambda) \cdot \Phi_e(\lambda) \quad (1.6)$$

Veličina $K(\lambda)$ [lm·W⁻¹] je svetelná účinnosť monochromatického žiarenia, ktorá je rovná pomeru svetelného toku a jemu odpovedajúcemu žiarivému toku. Na základe pomerne presných meraní a výpočtov pre normálneho fotometrického pozorovateľa pri fotometrickom videní a žiarenia základnej vlnovej dĺžky $\lambda = \lambda_m = 555,0155$ nm bolo maximum K_m veličiny stanovené na $K_m = 683$ lm·W⁻¹. Pomerná svetelná účinnosť $V(\lambda)$ monochromatického žiarenia je definovaná ako:[1]

$$V(\lambda) = \frac{K(\lambda)}{K_m} = \frac{K(\lambda)}{683} \quad (1.7)$$

Z hľadiska individuálneho pozorovateľa je veličina $V(\lambda)$ rovnaká s pomernou spektrálnou citlivosťou pozorovateľa. [1]

1.2.2 Priestorový uhol

Dôležitou geometrickou veličinou používanou v svetelno technických výpočtoch je priestorový uhol Ω . Jeho veľkosť je určená veľkosťou plochy vyťatého obecnou kužeľovou plochou na povrchu jednotkovej guli, ktorej stred je rovnaký s vrcholom uvažovanej kužeľovej plochy. Jednotkou priestorového uhla je steradián [sr]. Priestorový uhol Ω sa stanoví ako:[1]

$$\Omega = \frac{A}{r^2} \quad (1.8)$$

1.2.3 Svietivosť

Okrem hodnoty úhrnného svetelného toku je potrebné poznať aj priestorovú hustotu svetelného toku v rôznych smeroch. To znamená, že svietivosť I je priestorová hustota svetelného toku. Jednotkou svietivosti je kandela [cd]. Svietivosť I_γ od bodového zdroja vo smere určeného uhlom γ je rovná svetelnému toku, ktorý je obsiahnutý v jednotkovom priestorovom uhle a je definovaná ako:

$$I_\gamma = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (1.9)$$

, kde $d\Omega$ je priestorový uhol, ktorého osa je položená vo smere určeným uhlom γ a v jeho medziach je uvažovaný zdroj, ktorý vyžaruje tok $d\Phi$. [1]

1.2.4 Osvetlenosť

Osvetlenosť alebo intenzita osvetlenia E rovinnej plochy dA , tj. plošná hustota svetelného toku $d\Phi_d$ dopadnutého na plochu dA , je určená ako:

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad (1.10)$$

Jednotkou osvetlenosti je lux [lx]. [1]

1.2.5 Jas zväzkov svetelných paprskov

Na túto veličinu bezprostredne reaguje zrakový orgán. Je definovaná ako plošná a priestorová hustota svetelného toku a je viazaná na určitý smer. Pre jas zväzkov svetelných paprskov L tak platí:

$$L_\gamma = \frac{d^2\Phi}{d\Omega_\gamma dA} \quad (1.11)$$

, kde L je jas zväzku v smere osy zväzku, $d\Omega$ je priestorový uhol v ktorom sa lúče širia a dA je plocha kolmá k ose zväzku paprskov na ktorých sa realizuje plošná hustota svetelného toku. Jednotkou jasu je 1 kandela na meter štvorcový [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$]. [1]

1.2.6 Svetlenie

Svetlenie M je definované ako plošná hustota svetelného toku $d\Phi_v$ vyžarovaného s plochy dA ako:

$$M = \frac{d\Phi_v}{dA} \quad (1.12)$$

Jednotkou svetlenia je lumen na meter štvorcový $[\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}]$. [1]

2 Kvantitatívne a kvalitatívne parametre osvetlenia

Požiadavky na kvantitatívnu a kvalitatívnu úroveň osvetlenia sa v čase menia kvôli vývoju techniky, novými vedeckými poznatkami a aj s globálnym rozvojom ľudskej spoločnosti. Parametre osvetlenia pre vnútorné priestory, ktoré sú uvádzané v medzinárodných normách a doporučeníach sú kompromisom vychádzajúcim zo súčasnej úrovni znalosti o zákonitostiach zrakového vnímania. Požiadavky na osvetlenie sa v normách zameriavajú na nasledujúce parametre:

- úroveň osvetlenosti,
- rovnomernosť osvetlenia,
- rozloženie jasů v zornom poli pozorovateľov,
- oslnenie,
- stálosť osvetlenia,
- smer svetla a tienivosť.

Ak podceníme tieto parametre a nedodržíme normou predpísané obecné ustanovenia tak hrozí ovplyvnenie celkového pôsobenia osvetlenia na človeka.[1]

2.1 Úroveň osvetlenosti

Úroveň osvetlenosti je jedným zo základných kvantitatívnych parametrov osvetlenia. Hodnoty osvetlenosti priamo súvisia s minimálnou úrovňou osvetlenia a tým, aby mohla byť zraková úloha vykonaná pri určitom zrakovom výkone a s odpovedajúcou zrakovou pohodou. Vo vnútorných priestoroch sa rozlišujú tri typy úrovne osvetlenia:

- minimálna úroveň osvetlenia v mimopracovných priestoroch,
- minimálna úroveň osvetlenia v pracovných priestoroch,
- uprednostnený rozsah osvetlenia v pracovných priestoroch.

Na základe mnohých výskumov bola pre vnútorné priestory zostavená rada doporučených osvetlení. Je odstupňovaná po 1.5 násobku predošlej hodnoty čo odpovedá minimálnej hodnote osvetlenia, ktorú si pozorovateľ dokáže zreteľne uvedomiť. Túto radu tvoria osvetlenosti (lx): 20-30-50-75-100-150-200-300-500-750-1000-1500-2000-3000-5000. Osvetlenosť je možné znížiť o jeden stupeň ak sú kritické detaily úlohy neobvykle veľké alebo majú veľký kontrast. Alebo ak je úloha vykonávaná po neobvykle krátku dobu.[1]

2.2 Rovnomernosť osvetlenia

Rovnomernosť osvetlenia r je kvalitatívny parameter osvetlenia a môžeme ho definovať ako podiel najmenšej osvetlenosti zrakového úkonu ku osvetlenosti, ktorá je miestne priemerná na porovnávacej rovine:

$$r = \frac{E_{min}}{E_p} \quad (2.1)$$

Rovnomernosť osvetlenia nemá žiadnu jednotku.

2.3 Rozloženie jasov v zornom poli pozorovateľov

Pri veľkých rozdieloch jasov povrchov vnútorného priestoru dochádza k únave a degradujúcej pohode zrakového výkonu. Preto sa vyžaduje optimálne rozloženie jasov a ich dostatočnú vysokú úroveň. Doporučené hodnoty rozloženia jasov môžeme vidieť na obr.2.1

Povrch miestnosti	Jas [%]	Osvětlenost[%]	Rozmezí činitele odrazu
Místo úkolu	100	100	0,6 – 1,0
Okolí úkolu	40	100	0,2 – 0,5
Stěny	30	50-80	0,3 – 0,8
Strop	30	30-90	0,4 – 0,8
Podlaha	25	25	0,2 – 0,3

Obr. 2.1: Doporučené hodnoty jasov(Prevzaté z[1])

2.4 Oslnenie

Oslneniu sme sa už venovali v kapitole 1.1.2.

2.5 Stálosť osvetlenia

Pri rýchlych zmenách svetelného toku a osvetlenosti dochádza ku nepriaznivým účinkom na zrakovú činnosť. Tieto zmeny sú vyvolané mechanickými a elektrickými príčinami. Jedná sa o tzv. stroboskopický efekt, ktorý je vyvolaný zmenou svetelného

toku, keďže sa pri pohybu lesklých predmetov a točivých častí javí pohyb ako prerušovaný alebo sa zdanlivo zastaví. Takýto efekt môže spôsobiť pracovný úraz. Vzniku tomuto efektu môžeme zabrániť napríklad pripojením susedných svietidiel na rôzne fázy, u viaczdrojových svietidiel zaistíme vhodný fázový posun, medzi prúdmi jednotlivých zdrojov, alebo užitím elektronických predradníkov u výbojkových zdrojov svetla.[1]

2.6 Smer svetla a tienivosť

Aby sme sa vyhli tieňom musí umelé svetlo vytvoriť v mieste zrakovej úlohy najväčší kontrast medzi kritickým detailom a jeho bezprostredným okolím. Dosiahneme to splnením základných parametrov akými sú: úroveň osvetlenosti, rovnomernosť osvetlenia, rozloženie jasov ale taktiež vhodným smerovaním a stienivosťou svietidiel.

Smerovosť osvetlenia je určená prevažujúcim smerom svetla v danom mieste a dá sa charakterizovať svetelným vektorom. Tienivosť na druhej strane vyjadruje schopnosť osvetlenia vytvárať na trojrozmerných predmetoch tieň a dá sa charakterizovať napríklad činiteľom podania tvaru, ktorý je definovaný ako podiel veľkosti svetelného vektora a strednej guľovej osvetlenosti. [1]

Posúdenie stupňa tienivosti danej osvetľovacej sústavy je možné uskutočniť pomocou Nordenova činiteľa S_n , ktorý je vyjadrený vzťahom:

$$S_n = \frac{E_d}{E} = \frac{E_d}{E_d + E_n} \quad (2.2)$$

, kde E_d je priama zložka osvetlenosti a odpovedá svetelným tokom dopadajúcim do okolia uvažovaného bodu osvetľovacej sústavy, E je výsledná osvetlenosť v sledovanom bode a odpovedá svetelným tokom, E_n je nepriama zložka osvetlenosti a odpovedá svetelným tokom dopadajúcim do okolia kontrolného bodu po odraze svetelných tokov od plôch vnútorného priestoru. [1]

V norme pre osvetlenie vnútorných priestoroch sa uvádza, že osvetlenie nemá byť príliš smerované, aby nevytvárало ostré tieňe a nemá byť ani príliš difúzne, aby sa podávanie tvarov v celku nestratilo. Za osvetlenie s dobrým podaním tvarov sa považuje rozsah od 0,3 do 0,6.

3 Technické požiadavky na meranie

3.1 Obecne

Osvetlenie sa meria spravidla pre:

- overenie, či pri realizácii osvetľovacej sústavy boli splnené podmienky a hodnoty osvetlenia podľa projektu, a či sú v súlade s hodnotami platných noriem týkajúcich sa požiadaviek na osvetlenie,
- zistenie podmienok osvetlenia a zrakovej pohody počas užívania osvetľovacej sústavy a overenie, či sú v súlade s hodnotami platných noriem týkajúcich sa požiadaviek na osvetlenie,
- porovnanie rôznych riešení osvetlenia priestoru z hľadiska dosiahnutia podmienok zrakovej pohody a z hľadiska hospodárnosti alebo energetických úspor.

Ďalej sa meria podľa účelu merania a z toho vyplývajúcich požiadavok na presnosť merania osvetľovaných priestorov:

- presné, určené pre posúdenie náročných priestorov alebo pre výskumné účely,
- prevádzkové, určené pre overenie správnosti navrhnutých a realizovaných podmienok osvetlenia a zrakovej pohody,
- orientačné, určené pre overenie základných podmienok zrakovej pohody, na základe čoho sa navrhuje ďalší postup.

Podľa účelu merania a charakteru priestoru sa osvetlenie meria:

- bez prítomností užívateľov,
- za prítomností užívateľov priestoru na ich obvyklom mieste.

Pri meraní osvetlenia priestorov sa ako základné veličiny charakterizujúce podmienky videnia a zrakovej pohody meria:

- úroveň osvetlenia v kontrolných bodoch, ktoré sa vyjadrujú - hodnotami intenzity osvetlenia E , v lx, u umelého osvetlenia a u doplňujúceho umelého osvetlenia pri združenom osvetlení vo vnútorných priestoroch vzhľadom k jeho relatívnej stálosti. [4]

3.2 Meracie prístroje

Pre meranie osvetlenia sa používajú luxmeter, jasomer a jasové analyzátory.

Naše meranie bolo realizované luxmetrom Radiolux 111 PRC Krochman, ktoré môžeme vidieť na obr.3.1. Je to digitálny luxmeter, ktorý sa skladá z hlavnej časti - displej s osvetlením a z externej foto-radiometrickej hlavice s káblom.

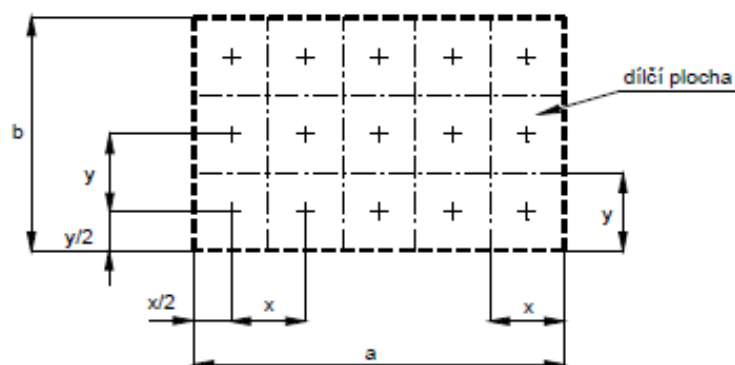


Obr. 3.1: Luxmeter Radiolux 111 (Prevzaté z[6])

Pre meranie jasovej analýzy bol použitý digitálny fotoaparát. Vyfotené snímky je však potrebné upraviť napríklad, v programe LumiDisp.

3.3 Výber kontrolných bodov

Osvetlenosť a jej rozloženie sa meria v kontrolných bodoch, rozmiestnených v pravidelnej pravouhlej sieti po celej porovnávacej rovine v celom priestore alebo v jeho funkčne vymedzených častiach a na pracovných miestach. Pri inom ako pravouhlom pôdorysnom tvare vnútorného priestoru sa kontrolne body rozmiestia tak, aby ich sieť bola čo najpravidelnejšia a čo najrovnomernejšie pokrývala celý vnútorný priestor alebo jeho funkčnú vymedzenú časť. Pri odstupňovanom osvetlení sa kontrolne body rozmiestia tak, aby vystihovali rozloženie osvetleností v jednotlivých funkčných vymedzených častiach priestoru. Pri úzkych a dlhých priestoroch je možné osvetlenosť merať v rade bodov. [4]



Obr. 3.2: Rozloženie kontrolných bodov na obecnej porovnávacej rovine (Prevzaté z[2])

Pri presnom meraní je vhodné dodržať maximálnu rozteč kontrolných bodov podľa vzorca:

$$p = 0,2 \cdot 5^{\log d} \quad (3.1)$$

, kde je p maximálna rozteč kontrolných bodov (x , alebo y); vzorec platí iba pre hodnoty $p \leq 10$ a d je menší rozmer plochy (buď rozmer a alebo b). Tieto parametre je možné vidieť na obr.3.2[4]

3.4 Príprava merania

Určíme miesta merania, ich polohu a rozmiestníme kontrolné body podľa 3.3. V rámci prípravy sa zaistia alebo stanovia tieto údaje:

- tvar a rozmery, u vnútorných priestoroch jeho konštrukčné riešenie,
- funkcia posudzovaného priestoru,
- rozmiestnenie pracovných miest, druh zrkoviek činností, ich obtiažnosť, prípadne rizikové miesta,
- údaje o osvetľovacej sústave,
- druh a stupeň presnosti merania,
- merané veličiny,
- potrebné meracie prístroje a pomocné vybavenie,
- rozmiestnenie kontrolných bodov podľa 3.3 .

3.5 Postup pri meraní

Pred meraním sa skontroluje stav a funkcie meracích prístrojov. Osvetľovacia sústava sa uvedie do stavu, ktorý je bežný pri danom spôsobe používania, prípadne aj so zariadením pre reguláciu osvetlenia. Podľa možnosti sa zistia údaje o stave údržby priestoru a osvetľovacej sústavy. Pred zahájením merania sa skontroluje či nie je meranie ovplyvnené cudzím svetlom, tj. svetlom, ktoré nie je súčasťou meraného osvetlenia alebo osvetľovacej sústavy. Pred meraním sa stanoví poloha a výška kontrolných bodov. Uvažujeme so správnou polohou čidla lux metru, ktorá môže byť zabezpečená stojanom so správnou výškou čidla a nastavenia do vodorovnej alebo zvislej polohy. Pri meraní by nám nemala druhá osoba tieniť. [4]

4 Súčasný stav osvetľovacej sústavy

Daný objekt sme rozdelili na 3 miestnosti, kde sa v každej miestnosti vykonávajú rozdielne činnosti. V miestnosti 1 sa uvažuje iba občasná návšteva pracovníkov a nachádzajú sa tu iba regále. V miestnosti 2 sa nachádza regálová časť a v druhej časti sa nachádzajú prístroje na ohýbanie plechov a pracovná časť na zemi. V miestnosti 3 sa nachádza najviac pracovných prístrojov preto sme túto miestnosť navrhli na jednotné osvetlenie. Meranie osvetlenia jednotlivých miestností prebehlo podľa požiadavok, ktoré sú uvedené v 3. Približný súčasný stav osvetlenia výrobnéj haly je možné vidieť na obr.4.1. Toto zobrazenie súhlasí iba s počtom a rozmiestnením daných svietidiel. Jas sústavy na obrázku nesúhlasí s realitou keďže sme nemali potrebné parametre svietidiel, ktoré tam boli nainštalované. Z obr.4.1 je už však vidieť mnoho tmavých miest, ktoré sú spôsobené nevhodným rozmiestnením svietidiel alebo nefunkčnými svietidlami. V ďalších úsekoch si popíšeme jednotlivé miestnosti výrobnéj haly.



Obr. 4.1: Súčasná osvetľovacia sústava výrobnéj haly

4.1 Miestnosť 1

Táto miestnosť slúži iba ako sklad a kategorizovali sme ju podľa obr.4.2, ref.číslo 5.5.2.

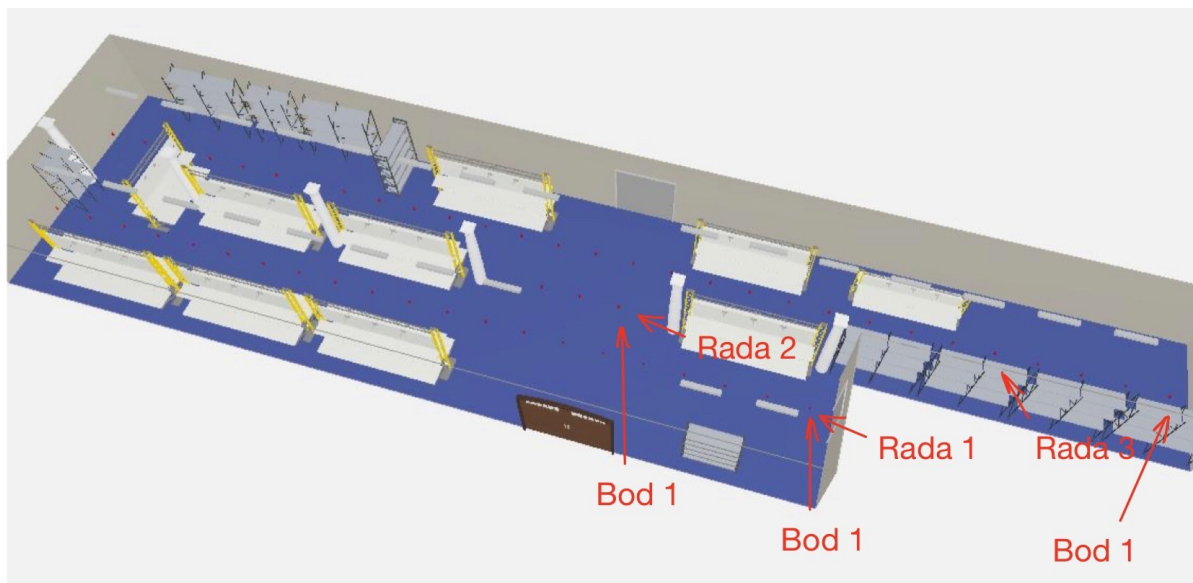
Ref. číslo	Druh priestoru, úkolu alebo činnosti	E_m lx	UGR_L	U_0	R_a	Špecifické požiadavky
5.5.1	uličky bez obsluhy	20	–	0,4	40	Osvetlenosť na úrovni podlahy.
5.5.2	uličky s obsluhou	150	22	0,4	60	Osvetlenosť na úrovni podlahy.
5.5.3	řídící stanoviště	150	22	0,6	80	
5.5.4	průčelí regálových skladů	200	–	0,4	60	Osvetlenosť na svislé rovině, může být použito přenosné osvětlení.

Obr. 4.2: Spoločné priestory vnútri budov - Regálové sklady (Prevzaté z[2])

4.1.1 Meranie osvetlenia

Namerané hodnoty osvetlenia E v tejto miestnosti môžeme vidieť v tab.A.1. Priemerná vypočítaná osvetlenie v tejto miestnosti z nameraných bodov je $E_{av} = 123,36 \text{ lx}$. Z nameraných hodnôt je viditeľné, že osvetlenie nie je rovnomerné, čo spôsobili niektoré nefunkčné svietidlá ale zrejme aj rôzne typy zdrojov svietidiel. V tejto miestnosti sa nachádzalo 25 svietidiel.

Rozmiestnenie meracích bodov z ktorých vychádza tabuľka A.1 je možné vidieť na obr.4.3. Všetky zmerané body v tejto miestnosti sa nachádzali vo výške 1 m.



Obr. 4.3: Rozloženie meracích bodov v miestnosti 1

4.2 Miestnosť 2

V tejto miestnosti sme uvažovali odstupňované osvetlenie. V časti kde sú regály sme uvažovali potrebnú hodnotu osvetlenia podľa obr.4.4, ref.číslo 5.4.2. Nad pracovnými strojmi a nad pracovnou oblasťou, ktorá sa nachádza na zemi sme uvažovali hodnoty podľa obr.4.5, ref.číslo 5.18.11 jemné montážne práce.

Ref. číslo	Druh priestoru, úkolu alebo činnosti	$\bar{E}_m$ lx	UGR_L –	U_o –	R_a –	Špecifické požiadavky
5.4.1	skladište a zásobárny	100	25	0,4	60	200 lx při trvalém pobytu osob.
5.4.2	expedice a balírny	300	25	0,6	60	

Obr. 4.4: Spoločné priestory vnútri budov - Skladové priestory a chladiarne (Prevzaté z[2])

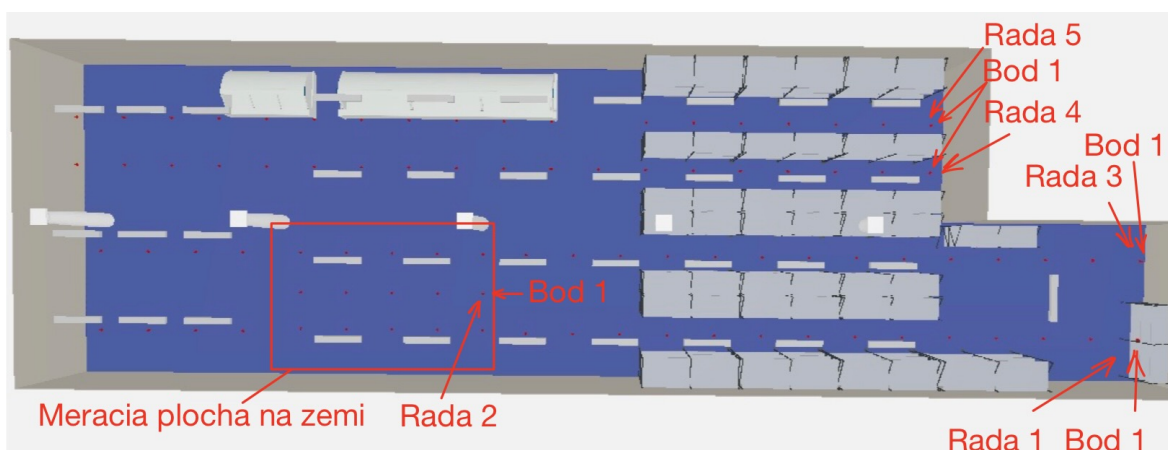
Ref. číslo	Druh priestoru, úkolu alebo činnosti	$\bar{E}_m$ lx	UGR_L –	U_o –	R_a –	Špecifické požiadavky
5.18.1	volné kováni	200	25	0,6	80	
5.18.2	zápustkové kováni	300	25	0,6	80	
5.18.3	svaňování	300	25	0,6	80	
5.18.4	hrubé a střední strojní opracování: tolerance $\geq 0,1$ mm	300	22	0,6	80	
5.18.5	jemné strojní opracování, broušení: tolerance $< 0,1$ mm	500	19	0,7	80	
5.18.6	orýsování, kontrola	750	19	0,7	80	
5.18.7	tažení drátů a trubek za studena	300	25	0,6	80	
5.18.8	zpracování tlustých plechů: tloušťka ≥ 5 mm	200	25	0,6	80	
5.18.9	zpracování tenkých plechů: tloušťka < 5 mm	300	22	0,6	80	
5.18.10	výroba nářadí a řezných nástrojů	750	19	0,7	80	
5.18.11	montážní práce: – hrubé – střední – jemné – velmi jemné	200 300 500 750	25 25 22 19	0,6 0,6 0,6 0,7	80 80 80 80	
5.18.12	galvanizace	300	25	0,6	80	
5.18.13	povrchové opracování a lakování	750	25	0,7	80	
5.18.14	výroba nářadí, šablon a přípravků, jemná mechanika a mikromechanika	1 000	19	0,7	80	

Obr. 4.5: Priemyslové a remeselné činnosti - Výroba a spracovanie kovov (Prevzaté z[2])

4.2.1 Meranie osvetlenosti

Namerané hodnoty osvetlenia E v tejto miestnosti môžeme vidieť v tab.A.2 a v tab.A.3. Priemerná vypočítaná osvetlenosť v tejto miestnosti z nameraných bodov je $E_{av} = 163,2$ lx. Priemerná osvetlenosť na pracovnej ploche, ktorá sa nachádza na zemi a je označená v obr.4.6 má priemernú osvetlenosť $E_{av} = 203,2$ lx. Z nameraných hodnôt je viditeľné, že osvetlenie nie je rovnomerné, čo spôsobili niektoré nefunkčné svietidlá ale zrejme aj rôzne typy zdrojov svietidiel. V tejto miestnosti sa nachádzalo 38 svietidiel.

Rozmiestnenie meracích bodov z ktorých vychádza tabuľka A.2 a tab.A.3 je možné vidieť na obr.4.6. Všetky zmerané body v tejto miestnosti sa nachádzali vo výške 1m okrem bodov, ktoré predstavovali body meracej plochy ktorá sa nachádzala na zemi a meracie body boli vo výške 0 m: Body 15-19 Rady1, 1-5 Rady2, 15-19 Rady3. Dokopy sa v tejto miestnosti nachádzalo 38 svietidiel.



Obr. 4.6: Rozloženie meracích bodov v miestnosti 2

4.3 Miestnosť 3

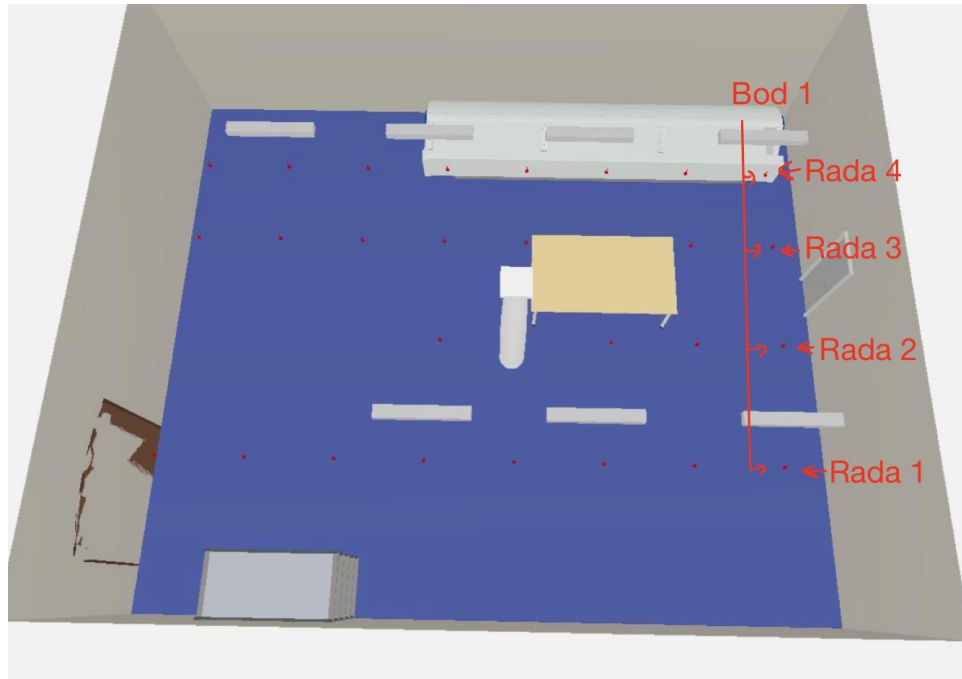
V tejto miestnosti sme uvažovali rovnomerné osvetlenie, keďže sa v miestnosti nachádza veľa pracovných zariadení. Potrebnú hodnotu osvetlenia sme uvažovali podľa obr.4.5, ref.číslo 5.18.11 jemné montážne práce.

4.3.1 Meranie osvetlenosti

Namerané hodnoty osvetlenia E v tejto miestnosti môžeme vidieť v tab.A.4. Priemerná vypočítaná osvetlenosť v tejto miestnosti z nameraných bodov je $E_{av} = 158,3$ lx. Z nameraných hodnôt je viditeľné, že osvetlenie nie je rovnomerné, čo spôsobili

niektoré nefunkčné svietidlá ale zrejme aj rôzne typy zdrojov svietidiel. V tejto miestnosti sa nachádzalo 7 svietidiel.

Rozmiestnenie meracích bodov, z ktorých vychádza tabuľka A.4 je možné vidieť na obr.4.7. Všetky zmerané body v tejto miestnosti sa nachádzali vo výške 1m.



Obr. 4.7: Rozloženie meracích bodov v miestnosti 2

4.4 Zhodnotenie

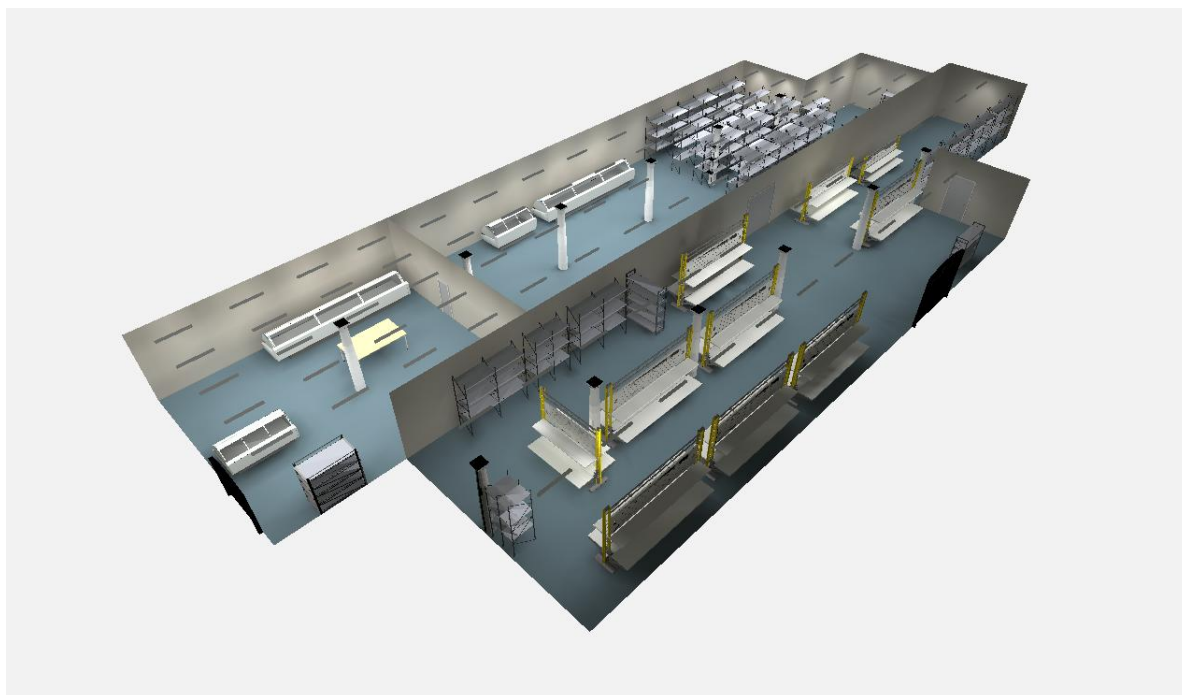
Na základe merania v jednotlivých miestnostiach a vypočítania priemernej osvetlenosti z nameraných bodov sme zistili, že miestnosť 1 nevyhovuje na osvetlenie pre danú kategóriu. Podobne je na tom aj miestnosť 2 a 3, ktoré taktiež nevyhovujú na osvetlenie. Celkovo bolo vo výrobnjej hale namontovaných 70 svietidiel.

Na základe týchto údajov vieme, že je potrebné navrhnuť novú osvetľovaciu sústavu pre túto výrobnú halu.

5 Návrh novej osvetľovacej sústavy

Návrh osvetlenia pre daný objekt bol zrealizovaný na základe požiadavok zákazníka s dodržaním normovaných tabuľkových hodnôt pre dodržanie priemerného osvetlenia, hodnoty UGR, R_a , U_0 pre daný typ priestoru. Takéto normované hodnoty pre dané parametre umelého osvetlenia pre rôzne priestory sa nachádzajú v ČSN EN 12464-1. Ďalšie technické požiadavky na meranie sme zhrnuli v kapitole 3, tie sa riadia normou ČSN 36 0011-1.

Nová osvetľovacia sústava bola navrhnutá v 2 variantách z ktorých si zákazník mohol vybrať.



Obr. 5.1: Nová osvetľovacia sústava výrobnéj haly

Prvá varianta A uvažovala so svietidlami s lepšími parametrami a s praktickejšou krivkou svietivosti pre daný typ osvetlenia priestoru, avšak je finančne drahšia ako varianta B. V druhej variante B sme využili základný typ, ktorý firma TREVOS ponúka a je lacnejšia ako varianta A, za cenu horších parametrov a oslnenia UGR a taktiež horšej krivky svietivosti. V zásade sa jedná o rovnaké umiestnenie všetkých svietidiel, ale sú použité iné typy svietidiel, kvôli financiám na nákup.

5.1 Výber svietidla

5.1.1 NANOTTICA TRS

Pre novú osvetľovaciu sústavu sme vybrali 2 typy svietidiel českého výrobcu TREVOS rady NANOTTICA. Informácie o tomto svietidle je možné vidieť na obr.5.2. Jedná sa o svietidlo s nízkymi hodnotami UGR, ktoré sa používa do nižších priestoroch ako je aj naša hala. Konkrétne sa jedná o typ: NANOTTICA 1.5ft TRS

NANOTTICA TRS PC, PCc

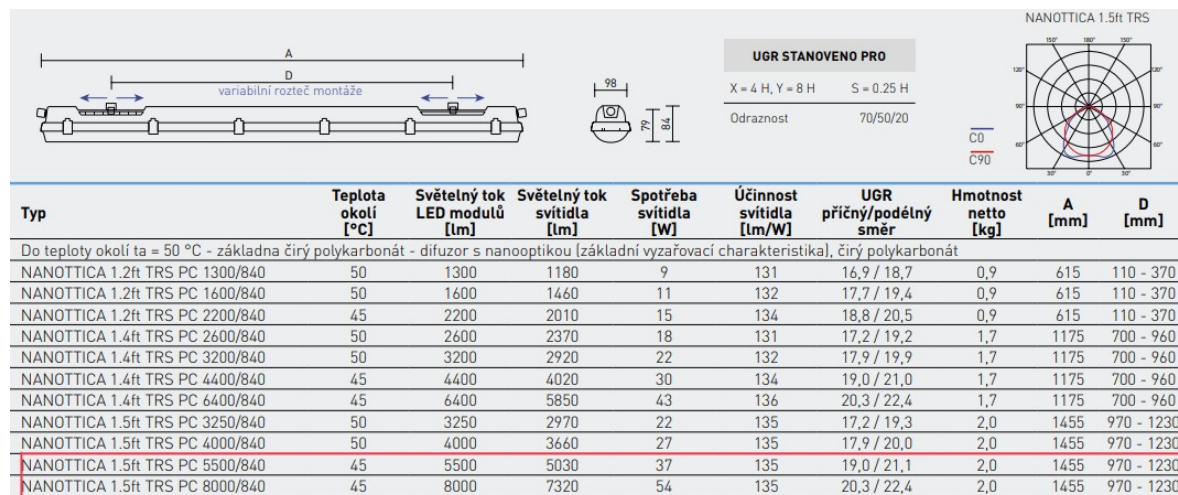


TECHNICKÝ POPIS

- Krytí svítidla: **IP66 / IP69**
- Maximální teplota okolí: **ta = 50 °C**
- Maximální teplota okolí: ta = 25 °C v provedení se záložním zdrojem M1h, M3h
- Životnost: 50 000 hodin / L90B10
- Maximální účinnost svítidla: **136 lm/W**
- **UGR v rozsahu od 16,9 do 22,4**
- Optimální montážní výška svítidla **3,5 až 8 m**
- **CRI → 80: 4000 K** – standard
- CRI → 80: 3000 K, 5000 K, 6500 K - na přání
- CRI → 90: 3000 K, 4000 K, 5000 K, 6500 K - na přání
- MacAdam = 3 SDCM
- Difuzor: **čirý PC s nanooptikou** [vysoká mechanická odolnost, UV stabilita]
- Základna: **čirý PC** [vysoká mechanická odolnost, UV stabilita]
- Reflektor: ocelový plech bílé barvy [RAL 9003]
- **Multifunkční spony:** nerez, nerez háčky součástí balení
- Klipy: polyamid + 15 % skelné vlákno nebo nerez ocel + polyamid
- Těsnění: polyuretan (PUR), vypěněná drážka základny
- Kabelové vývody: šroubovací PG 13,5 (v základním provedení), nebo gumové (SBS)
- Svorkovnice: bezšroubová třípólová (v základním provedení), nebo šroubovací
- Uvedené hodnoty spotřeby a světelného toku jsou v toleranci ± 7,5 %

Obr. 5.2: Nanottica TRS PC (Prevzaté z [9])

PC 5500/840 a NANOTTICA 1.5ft TRS PC 8000/840. Presné údaje o týchto svietidlách je možné vidieť na obr. 5.3. S týmito svietidlami by sme v návrhu dosiahli



Obr. 5.3: Parametre svietidiel Nanottica (Prevzaté z [9])

požadované osvetlenosti aj hodnoty UGR, ktoré sú v súlade s platnými normami pre návrh osvetľovacej sústavy.

5.1.2 PRIMA LED

Pre novú osvetľovaciu sústavu sme vybrali 2 typy svietidiel českého výrobcu TRE-VOS rada PRIMA LED. Informácie o tomto svietidle je možné vidieť na obr.5.4.

PRIMA LED PC, PCc

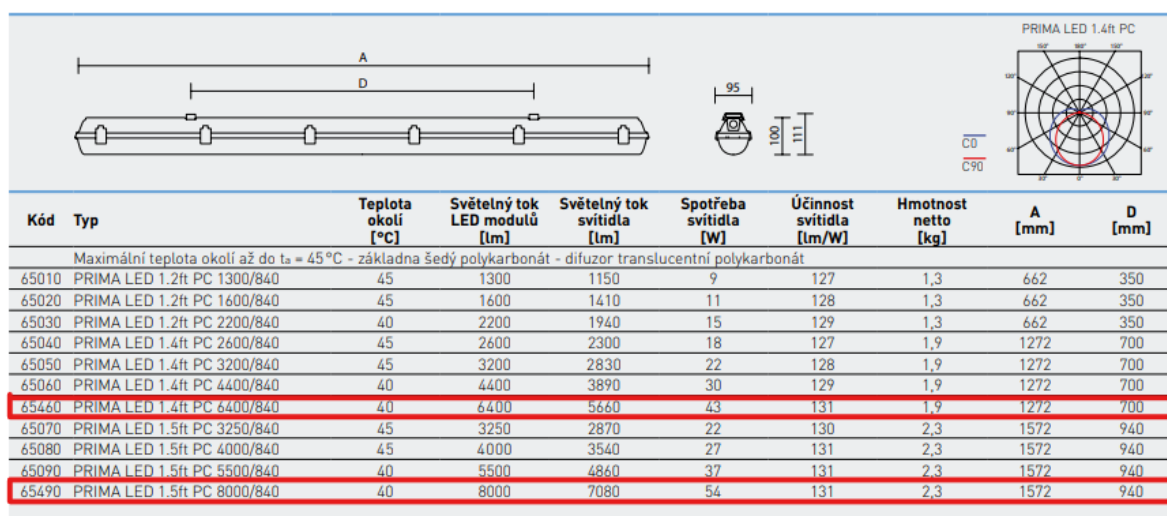


TECHNICKÝ POPIS

- Krytí svítidla: IP66
- Maximální teplota okolí: $t_a = 45^\circ\text{C}$,
Maximální teplota okolí: $t_a = 25^\circ\text{C}$ v provedení se záložním zdrojem M1h, M3h
- Maximální účinnost svítidla: 134 lm/W
- Uvedené hodnoty spotřeby a světelného toku jsou v toleranci $\pm 7,5\%$
- Standardní provedení CRI > 80: 4000 K
- MacAdam = 3 SDCM
- Životnost: 50 000 hodin / L90B10
- Difuzor: translucenční polykarbonát (PC), UV stabilní, nárazuvzdorný
- Základna: šedý polykarbonát (PC), UV stabilní, nárazuvzdorný
- Reflektor: ocelový plech bílé barvy (RAL 9003)
- Klipy: polyamid + 15 % skelné vlákno nebo nerez ocel + polyamid
- Těsnění: polyuretan (PUR), vypěněná drážka základny
- Kabelové vývody: šroubovací PG 13,5, nebo gumové (SBS)
- Distanční díl: polyamid + 10 % skelné vlákno
- Svorkovnice: bezšroubová pětipólová (v základním provedení), nebo šroubovací
- Instalace: součástí balení jsou nerez háčky a nerez spony
- Elektro vybavení: LED moduly, nestmívatelný napáječ nebo napáječ DALI

Obr. 5.4: Prima LED (Prevzaté z [10])

Konkrétne sa jedná o typy: PRIMA LED 1.4ft PC 6400/840 a PRIMA LED 1.5ft PC 8000/840. Presné údaje o týchto svietidlách je možné vidieť na obr. 5.5.



Obr. 5.5: Parametre svietidiel Prima LED (Prevzaté z [10])

5.2 Výpočet a realizácia umelého osvetlenia

Všetky výpočty a návrhy osvetlenia boli realizované v programe RELUX, na základe ktorého sme tieto svietidla vybrali a rozmiestnili v hale. Pre výpočet v programe

relux je potrebné stiahnuť od výrobcu Ldt dáta svietidla, ktoré následne nahráme do programu a použijeme v návrhu. Pre výpočet osvetlenia je ďalej nutné si vypočítať udržovací činiteľ.

5.3 Výpočet udržiavacieho činiteľa

Udržovací činiteľ závisí na niekoľko faktoroch. Tieto faktory sú napríklad:

- Typ svietidla.
- Typ vyžarovania.
- Typ svetelného zdroja.
- Užitočný stredný život LED.
- Plánovaná životnosť sústavy.
- Počet prevádzkových hodín.
- Kategória znečistenia prostredia.
- Činitele odrazu strop, stena, podlaha.
- Interval skupinovej výmeny svetelných zdrojov.
- Individuálna výmena vyhorených zdrojov.
- Interval čistenia svietidla a povrchov v miestnosti a ďalšie.

Pre naše zvolené typy svietidiel ktoré majú krytie IP66, priame vyžarovanie, sú to LED svietidlá so strednou životnosťou $L_{90}=50000$ h, kategória znečistenia prostredia normálna, činitele odrazu 0,70/0,50/0,20 a intervalom čistenia svietidiel a povrchov miestností každé 2 roky nám udržovací činiteľ vyšiel 0,7. Tento výpočet udržovacieho činiteľa sme realizovali podľa [5].

5.4 Údržba osvetľovacej sústavy

Osvetľovacie sústavy musia byť čistené a obnovované v dohodnutých termínoch danými plánom údržby v súlade s projektom osvetlenia. Taktiež musia byť udržiavané v takom stave, aby boli požadované vlastnosti osvetlenia splnené po celú dobu života osvetľovacej sústavy.

Doporučená doba čistenia svietidiel a povrchov v miestnosti je každé 2 roky. Taktiež by mala byť praktizovaná individuálna výmena nefunkčných zdrojov.

6 Návrh a výpočet varianty A - NANOTTICA TRS

Ako som už spomenul vyššie pre túto možnosť sme vybrali svietidlá od českej značky TREVOS, konkrétne radu NANOTTICA TRS, ktorá má nízke hodnoty UGR. Pre miestnosť 2 v častiach nad pracovnou rovinou, ktorá sa nachádza na zemi a nad miestami nad pracovnými strojmi sme použili silnejší typ tohto svietidla konkrétne NANOTTICA 1.5ft TRS PC 8000/840. Všade inde sme použili slabší typ tohto svietidla konkrétne NANOTTICA 1.5ft TRS PC 5500/840.

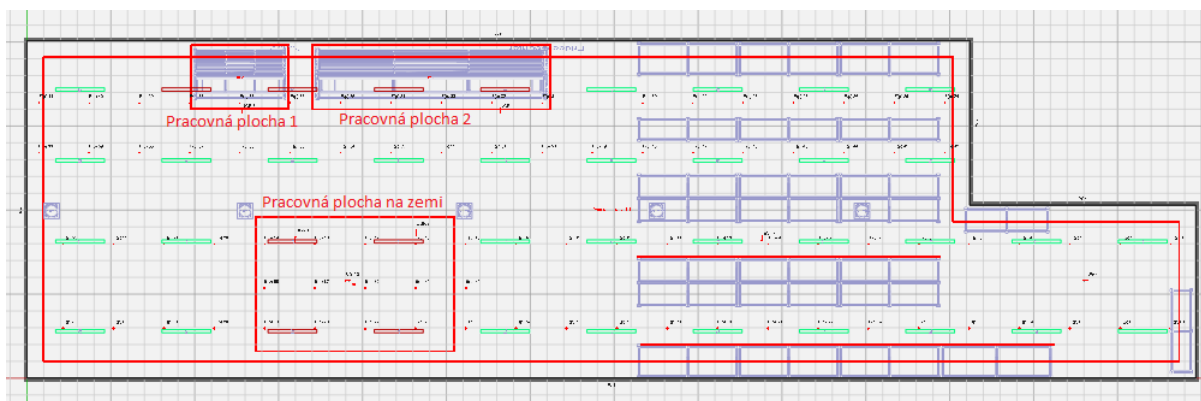
6.1 Miestnosť 1

Na základe výpočtu programu RELUX po umiestnení svietidiel, sme v miestnosti 1 dosiahli na základe priemernej hodnoty meracích bodov osvetlenosť $E_{av} = 307$ lx (s uvažovaním udržiavacieho činiteľa 0,7). Priemerná osvetlenosť vypočítaná na celej ploche tejto miestnosti bola $E_{av} = 256$ lx. V tejto miestnosti sme navrhli 25 svietidiel, všetky rovnakého typu NANOTTICA TRS 1.5ft TRS PC 5500/840. Ďalšie informácie môžeme vidieť na obr.D.1.

6.2 Miestnosť 2

V tejto miestnosti sa nachádzala pracovná plocha na zemi a taktiež sme počítali s priemernou osvetlenosťou nad pracovnými strojmi, tu sme rozdelili na dve pracovné plochy 1 a 2. Toto je možné vidieť na obr.6.1. Na pracovnej ploche na zemi sme z meracích bodoch v tejto oblasti vypočítali priemernú osvetlenosť $E_{av} = 508$ lx. Pracovná plocha 1 bola vypočítaná rovnako s výsledkom $E_{av} = 582,7$ lx. Pracovná plocha 2 mala priemernú osvetlenosť $E_{av} = 573,6$ lx. Ďalšie informácie môžeme vidieť na obr.D.2. Toto sú hodnoty, ktoré by sme si vedeli overiť meraním, keďže sú to vypočítané hodnoty z meracích bodov z programu.

Program RELUX nám však tieto priemerné hodnoty dokáže spočítať presnejšie na základe celých plôch, ktoré sú vyznačené na obrázku6.1. V tomto prípade by bola priemerná osvetlenosť pracovnej plochy na zemi $E_{av} = 509$ lx, pracovnej plochy 1 - $E_{av} = 497$ lx a pracovnej plochy 2 - $E_{av} = 502$ lx. Priemerná osvetlenosť v tejto miestnosti vypočítaná z meracích bodov je $E_{av} = 442$ lx. Priemerná osvetlenosť vypočítaná na celej ploche tejto miestnosti bola $E_{av} = 454$ lx. V tejto miestnosti sme navrhli 8 kusov NANOTTICA 1.5ft TRS PC 8000/840 a 32 kusov NANOTTICA TRS 1.5ft TRS PC 5500/840.



Obr. 6.1: Rozmiestnenie pracovných plôch v miestnosti 2

6.3 Miestnosť 3

V tejto miestnosti sme navrhli 20 svetidiel typu NANOTTICA TRS 1.5ft TRS PC 5500/840. Priemerná vypočítaná osvetlenosť na základe meracích bodov v tejto miestnosti dosiahla $E_{av} = 533$ lx. Priemerná osvetlenosť vypočítaná na celej ploche tejto miestnosti bola $E_{av} = 513$ lx. Ďalšie informácie môžeme vidieť na obr.D.3.

7 Návrh a výpočet varianty B - PRIMA LED

V tejto možnosti sme uvažovali s najlacnejšou verziou LED prachotesných svietidiel od výrobcu TREVOS, konkrétne sa jedná o radu PRIMA LED, ktoré sa hodia pre použitie v halách ako je tá naša. Majú oproti NANOTTICA horšie UGR a trochu väčšiu spotrebu elektrickej energie. Rozmiestnenie a počet svietidiel v hale je rovnaký ako pri možnosti s použitím NANOTTICA svietidiel. Jediný rozdiel je použitie PRIMA LED 1.5ft PC 8000/840 miesto NANOTTICA 1.5ft TRS PC 8000/840 a použitia PRIMA LED 1.4ft PC 6400/840 namiesto NANOTTICA TRS 1.5ft TRS PC 5500/840. Pre konkrétne miestnosti sa osvetlenie zmení nasledovne.

7.1 Miestnosť 1

Na základe výpočtu programu RELUX po umiestnení svietidiel tohto typu, sme v miestnosti 1 dosiahli na základe priemernej hodnoty meracích bodov osvetlenie $E_{av} = 307 \text{ lx}$ (s uvažovaním udržiavacieho činiteľa 0,7). Priemerná osvetlenie vypočítaná na celej ploche tejto miestnosti bola $E_{av} = 256 \text{ lx}$. V tejto miestnosti sme navrhli 25 svietidiel, všetky rovnakého typu PRIMA LED 1.4ft PC 6400/840. Ďalšie informácie môžeme vidieť na obr.D.4.

7.2 Miestnosť 2

Rovnako ako pri možnosti s použitím svietidiel NANOTTICA nám program RELUX vypočítal z meracích bodoch nasledujúce hodnoty. Na pracovnej ploche na zemi sme z meracích bodoch v tejto oblasti vypočítali priemernú osvetlenie $E_{av} = 466 \text{ lx}$. Pracovná plocha 1 bola vypočítaná rovnako s výsledkom $E_{av} = 531 \text{ lx}$. Pracovná plocha 2 mala priemernú osvetlenie $E_{av} = 526 \text{ lx}$. Presnejšie hodnoty ktoré spočítal program RELUX na základe celých plôch sú nasledovne. Priemerná osvetlenie pracovnej plochy na zemi $E_{av} = 467 \text{ lx}$, pracovnej plochy 1 - $E_{av} = 465 \text{ lx}$ a pracovnej plochy 2 - $E_{av} = 471 \text{ lx}$. Priemerná osvetlenie v tejto miestnosti vypočítaná z meracích bodov je $E_{av} = 443 \text{ lx}$. Priemerná osvetlenie vypočítaná na celej ploche tejto miestnosti bola $E_{av} = 444 \text{ lx}$. V tejto miestnosti sme navrhli 8 kusov PRIMA LED 1.5ft PC 8000/840 a 32 kusov PRIMA LED 1.4ft PC 6400/840. Ďalšie informácie môžeme vidieť na obr.D.5.

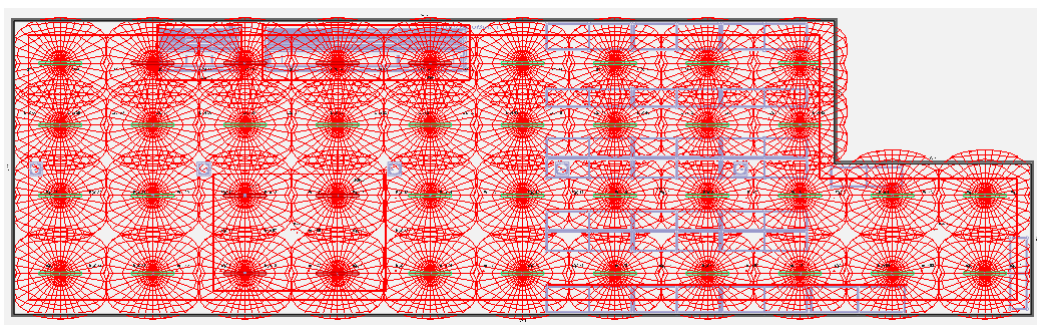
7.3 Miestnosť 3

V tejto miestnosti sme navrhli 20 svietidiel typu PRIMA LED 1.4ft PC 6400/840. Priemerná vypočítaná osvetlenosť na základe meracích bodov v tejto miestnosti dosiahla $E_{av} = 533$ lx. Priemerná osvetlenosť vypočítaná na celej ploche tejto miestnosti bola $E_{av} = 519$ lx.

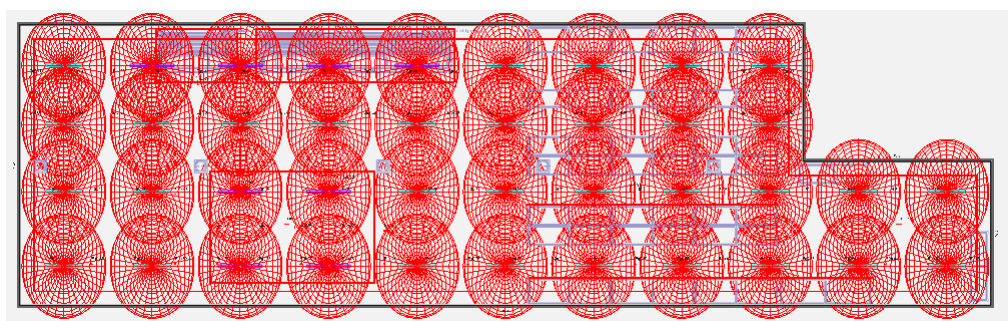
Z uvedených výpočtov u oboch možností je vidieť, že výpočet ktorý spravil program RELUX z meracích bodoch, a z výpočtu osvetlenia na základe celej plochy sú takmer zhodné. Z tohto vyplýva, že ak je na danej ploche dostatočný počet meracích bodoch je táto metóda počítania priemernej osvetlenosti celkom presná. Ďalšie informácie môžeme vidieť na obr.D.6.

8 Porovnanie variánt A a B

Tieto dve typy svetidiel, ktoré sú si veľmi podobné v technických parametroch je možné porovnať, napríklad pomocou typu krivky svietivosti. Táto krivka svietivosti je veľmi podstatná a určuje ako sa svetlo rozprestiera do priestoru. Na základe nasledujúcich obrázkov je možné vidieť porovnanie svetiel NANOTTICA na obr.8.1 a svetiel PRIMA LED na obr.8.2. Toto porovnanie obrázkov sa nachádza v miestnosti 2, keďže v tejto miestnosti je vidieť najväčšie porovnanie týchto svetidiel z hľadiska krivky svietivosti. Z obrázkov je znateľné, že svetlá NANOTTICA zaberajú širšiu plochu na ktorú svietia, a medzi jednotlivými svetlami sa nenachádza takmer žiadne nepokryté miesto svetlom. Pri použití PRIMA LED svetidiel vidíme, že krivka svietivosti nie je ideálna. Bolo by potrebné každé druhé svetlo otočiť o 90 stupňov, aby sa aspoň trochu vyplnili medzery medzi krivkami. Táto možnosť však neprichádza do úvahy, keďže zákazník požadoval jednoduché zapojenie na pôvodné lišty kde boli upevnené predošlé svetidlá.



Obr. 8.1: Priestorový model NANOTTICA svetidiel



Obr. 8.2: Priestorový model Prima LED svetidiel

V ďalšom kroku si porovnáme priemerné hodnoty osvetlenia vypočítané programom RELUX. Metódou výpočtu pomocou meracích bodov a metódou výpočtu

priemerného osvetlenia celých plôch. Tieto porovnania je možné vidieť v tab.8.1. Z tejto tabuľky vidíme, že priemerná osvetlenosť pri použití slabších svietidiel NANOTTICA a PRIMA LED sú totožné aj keď slabšie svietidlo PRIMA LED 1.4ft PC 6400/840 má oproti slabšiemu svietidlu NANOTTICA TRS 1.5ft TRS PC 5500/840 až o 6 W väčšiu spotrebu, čo sa pri veľkom počte svietidiel odrazí na cene za spotrebovanú elektrinu. Taktiež ako som spomínal vyššie je z tab.8.1 vidieť, že výpočet kde bol dostatočný počet meracích bodov, sa takmer zhoduje z výpočtom celých plôch.

Tab. 8.1: Porovnanie priemerných osvetleností svietidiel NANOTTICA a PRIMA LED

Miestnosť	Priemerná osvetlenosť E_{av}	NANOTTICA	PRIMA LED
1	z mer.bodoch [lx]	307	307
1	z plôch [lx]	256	256
2	mer.bodoch [lx]	442	443
2	z plôch [lx]	454	444
2	z plôch - prac.rovina na zemi [lx]	509	467
2	z mer.bodoch - prac.rovina na zemi [lx]	508	466
2	z plôch - prac.rovina 1 [lx]	497	465
2	z mer.bodoch - prac.rovina 1 [lx]	582,7	531
2	z plôch - prac.rovina 2 [lx]	502	471
2	z mer.bodoch - prac.rovina 2 [lx]	573,6	526
3	z mer.bodoch [lx]	533	533
3	z plôch [lx]	513	519

Tieto varianty si taktiež môžeme porovnať z hľadiska finančných nákladov na zakúpenie a prevádzku svietidiel. Toto porovnanie môžeme vidieť v kapitole 11.

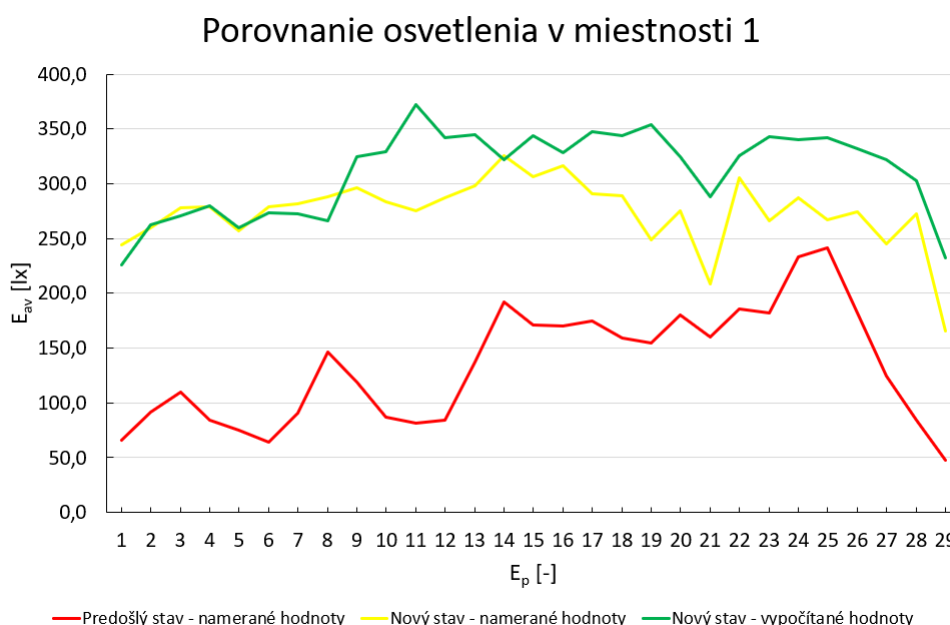
9 Kontrólne meranie novej sústavy

Pre nový návrh osvetľovacej sústavy si zákazník vybral variantu B s použitím lacnejších svietidiel. Fotky so súčasnou osvetľovacou sústavou a novou osvetľovacou sústavou, kde boli použité svietidla z varianty B môžeme vidieť na obrázkoch C.4, C.5, C.6.

Kontrólne meranie novej sústavy prebehlo za rovnakých podmienok ako pri meraní súčasného stavu, tzn. rovnaký počet meracích bodov a približné rovnaké umiestnenie meracích bodov. Niektoré body sa nedali umiestniť rovnako, keďže počas doby návrhu sa rozmiestnenie prístrojov v hale trochu zmenilo. Na základe tohto merania je potom možné porovnať súčasný a nový stav osvetlenia.

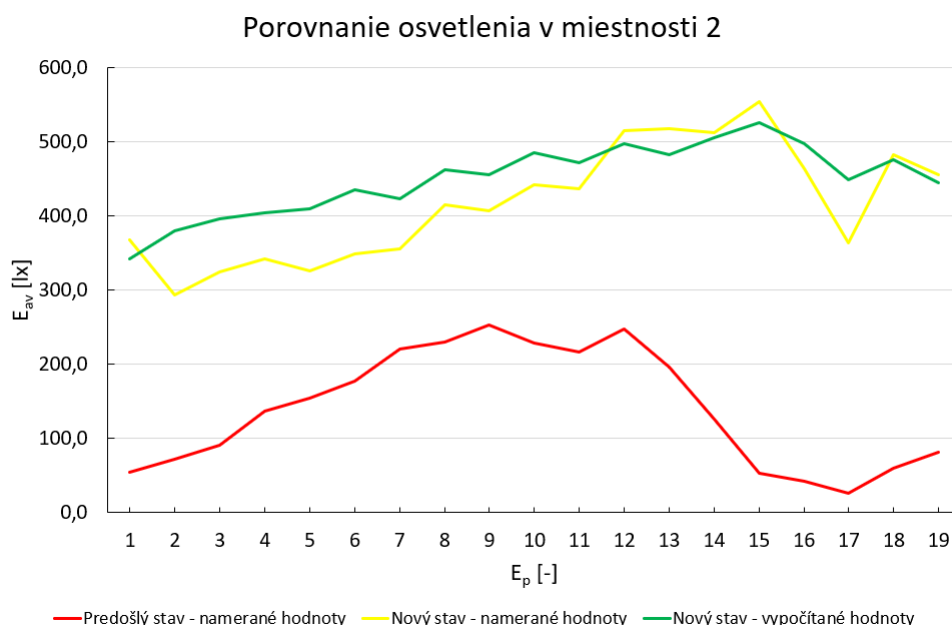
9.1 Porovnanie súčasného a nového osvetlenia

Porovnanie merania osvetlenia súčasného a nového stavu osvetľovacej sústavy sme zhrnuli do grafov, aby toto porovnanie bolo jasné a zreteľné. Pri vytváraní týchto grafov sme vychádzali z nameraných hodnôt súčasného a nového stavu a vypočítaných hodnôt novej osvetľovacej sústavy z tabuliek A.1, A.2, A.3, A.4, B.1, B.2, B.3. Boli spriemerované hodnoty merané v radoch pre každú miestnosť. Na základe toho nám vznikli porovnateľné grafy nameranej a vypočítanej hodnoty osvetlenia pre súčasný a nový stav osvetľovacej sústavy.



Obr. 9.1: Porovnanie osvetlenia v miestnosti 1

V miestnosti 1 je z grafu 9.1 vidieť, že osvetlenie súčasného stavu v tejto miestnosti nebolo príliš rovnomerné a že hodnoty osvetlenia boli celkom nízke. Ďalej na tomto grafe môžeme vidieť namerané hodnoty novej osvetľovacej sústavy a taktiež krivku vypočítaných hodnôt osvetlenia z programu RELUX. Porovnanie nameraných a vypočítaných hodnôt novej osvetľovacej sústavy si porovnáme v kapitole 9.2 tak ako aj ďalšie dve miestnosti. U nového návrhu osvetľovacej sústavy je vidieť zlepšenie v rovnomernosti osvetlenia po celú radu meracích bodoch, oproti nameraným hodnotám v súčasnej osvetľovacej sústave. Stále to nie je ideálna rovnomernosť ale uvažujúc počet a umiestnenie svietidiel v tejto miestnosti je táto rovnomernosť celkom postačujúca.

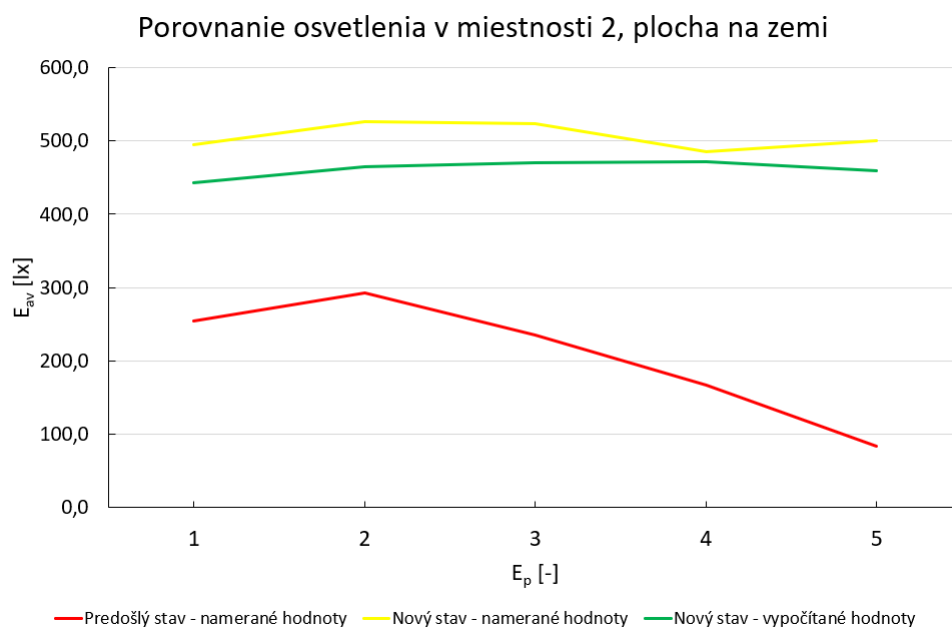


Obr. 9.2: Porovnanie osvetlenia v miestnosti 2

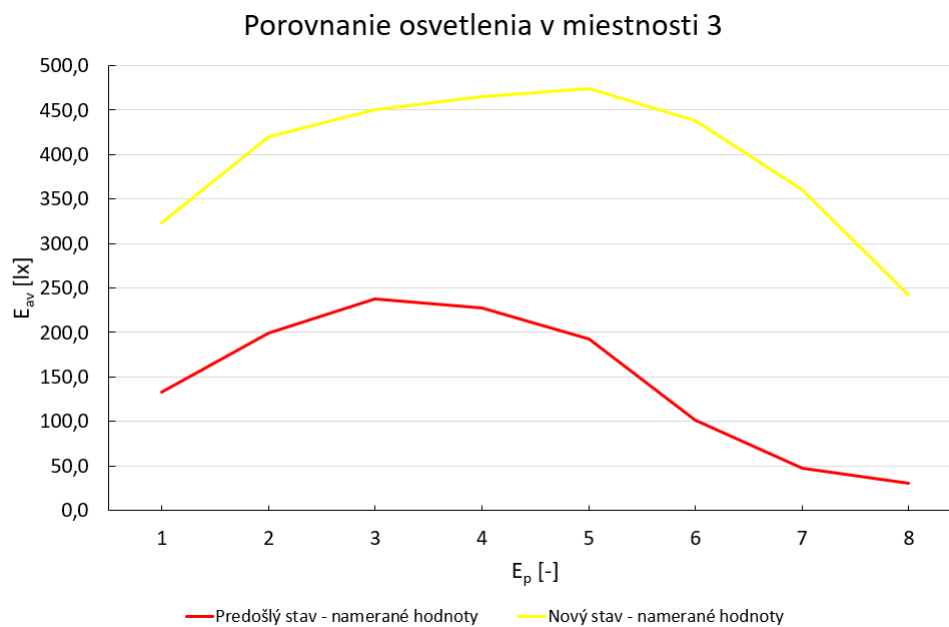
V miestnosti 2 došlo taktiež k zlepšeniu osvetlenia oproti súčasnému osvetleniu, toto zlepšenie môžeme vidieť v grafe 9.2. Rovnomernosť v tomto prípade nemá zmysel hodnotiť, keďže v tejto miestnosti sa nachádzali plochy, ktoré boli navrhnuté na vyššie osvetlenie ako zbytok miestnosti.

V miestnosti 2 sa taktiež nachádzala pracovná plocha na zemi, a z grafu 9.3 je vidieť zlepšenie osvetlenia a taktiež rovnomernosti osvetlenia na tejto ploche.

V miestnosti 3 zákazník nakoniec zvolil iný počet a umiestnenie svietidiel ako nami navrhovanými a tým pádom sa dá táto miestnosť porovnávať len na základe osvetlenosti súčasného a nového stavu. Z grafu 9.4 je taktiež ako u predchádzajúcich vidieť zlepšenie v rovnomernosti osvetlenia, aj keď by to bolo ideálnejšie ak by zákazník zvolil nami stanovený počet a umiestnenie svietidiel.



Obr. 9.3: Porovnanie osvetlenia v miestnosti 2, plocha na zemi



Obr. 9.4: Porovnanie osvetlenia v miestnosti 3

9.2 Porovnanie merania a výpočtu novej sústavy

Na otázku či je program RELUX vhodný na navrhovanie osvetľovacích sústav si odpovieme v porovnaní nasledujúcich grafov 9.1, 9.2, 9.3, 9.4. V týchto grafoch je vidieť, že namerané a vypočítané hodnoty osvetlenia v novo navrhnutej osvetľovacej sústave sa celkom zhodujú.

Chyby merania, ktoré mohli spôsobiť nie úplne zhodné výsledky je niekoľko. Jedna z nich je, že pri výpočte program RELUX nepočíta s možným tienením objektov v okolí. Pri meraní nového osvetlenia, ktoré sme v hale navrhli nám mohli tieniť objekty v okolí, keďže pri meraní sme halu nemali prázdnu. Ďalším faktorom, kde chyba mohla vzniknúť je v umiestnení meracích bodov v skutočnosti a v modele. Aj keď sme sa snažili tieto body čo maximálne zosynchronizovať, mohlo sa u niektorých bodoch stať, že boli umiestnené o trošku ďalej ako v programe kvôli spomínaným objektom v hale.

Tieto rozdiely sú však vzhľadom na možné chyby pri meraní vcelku minimálne a môžeme povedať, že program RELUX je v skutku presný a je to skvelý nástroj na návrh osvetľovacích sústav.

10 Vyhodnotenie UGR pomocou jasovej analýzy

Pre novú osvetľovacú sústavu sme zhotovili fotografie jasovým analyzátorom, ktorý je založený na digitálnom fotoaparáte. Za pomocou softwaru LumiDisp je potom možné vyhodnotiť fotografie a zistiť index oslnenia UGR. Pre jasovú analýzu svetelných zdrojov je nutné využiť HDR fotografiu. LumiDisp je teda program určený pre využitie ako jasový analyzátor. program je súčasť kompletu s fotoaparátom ako môžeme vidieť na obr.10.1. Tento komplet sa tak stáva meracím prístrojom aj keď funkcionality prevyšuje vlastné meranie. Na základe tohto je možné aj s lacnejšie fotoaparáty premeniť na jasomery s rozsiahlymi funkciami.



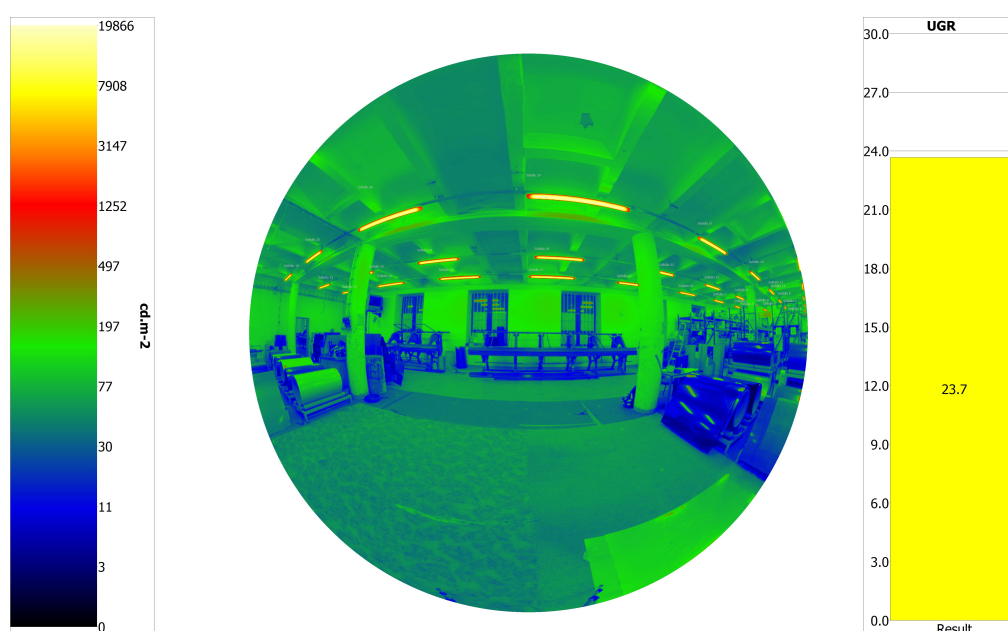
Obr. 10.1: LumiDisp sada (Prevzaté z [8])

10.1 Postup merania a vyhodnotenia

Postup merania je jednoduchý bez prístupu denného svetla. Počká sa na ustálenie svetelného toku pre optimálne meranie. Fotoaparát sa umiestni na jednoduchý statív do určitej výšky (ako je napríklad výška oka pozorovateľa) a zafixujeme jeho polohu. Ako miesta zrakovej úlohy sme zvolili miestnosť 2 a 3. Pre každý prípad sme spravili 5 snímok s rôznou dobou expozície. Následne sme v programe LumiDisp vyhodnotili dané snímky a program nám spočítal oslnenie UGR. Takýto výpočet nám vie poskytnúť aj program RELUX, kde je možné vložiť pozorovateľa do priestoru v ľubovoľnej výške. Porovnanie medzi nameranými hodnotami a vypočítanými hodnotami si ukážeme v podkapitole 10.2.1.

10.2 Vyhodnotenie nového stavu osvetlenia

Ako bolo spomenuté vyššie meranie sme vyhodnotili v programe LumiDisp, ktorý tvorí prvý program svojho druhu v Českej republike. Zmyslom je urýchliť a zlepšiť možnosti analýzy jasy v osvetľovacích sústavách, ktoré sa v praxi realizujú veľmi omedzené alebo sa nerealizujú vôbec. Jas je pritom primárnou veličinou, ktorá rozhoduje o kvalite osvetlenia a jeho správne rozloženie je teda veľmi dôležité pri akejkoľvek zrakovej činnosti. Na základe merania sme dostali z LumiDisp tieto výstupy, ktoré môžeme vidieť nižšie. Jedná sa o jasovú mapu, na ktorej môžeme vidieť taktiež vypočítanú hodnotu UGR.

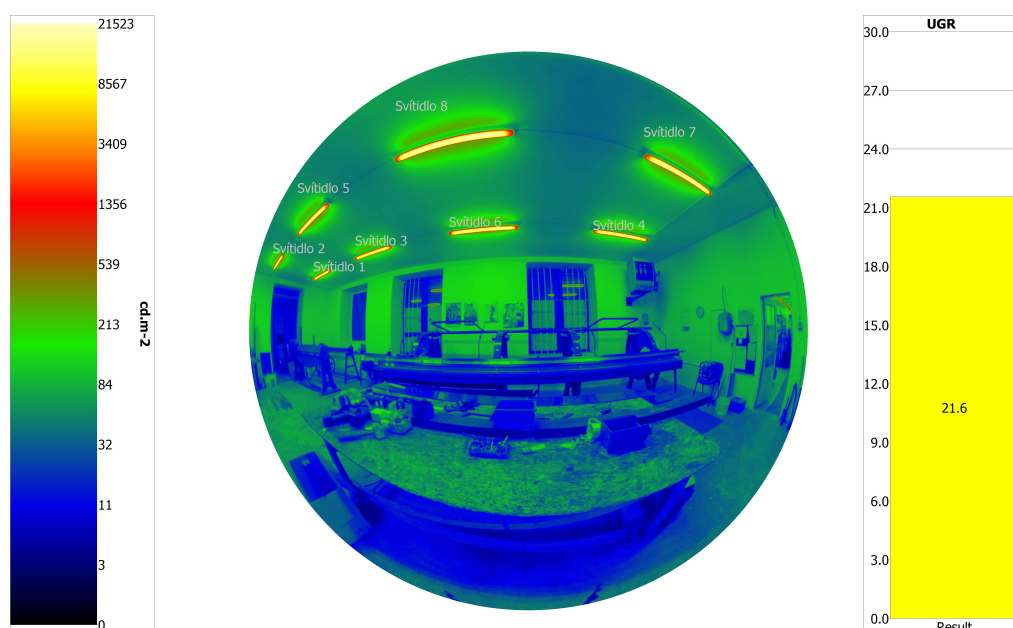


Obr. 10.2: Jasová mapa v miestnosti 2

Na obrázku 10.3 môžeme vidieť jemne červené svietidlá, ktoré sa podieľajú najviac na oslnení pozorovateľa. V miestnosti 2 sme zopakovali rovnaký postup a dostali tieto výsledky, ktoré môžeme vidieť na obr.10.4 a 10.5. Na obrázku 10.6 sme si v programe zapli možnosť činiteľa polohy a vidíme, že svietidla vľavo (svietidlo 5 a 2) sa nám už do výpočtu UGR nezapočítajú, pretože fyzicky, ak by sme stáli na rovnakom mieste ako kamera, tak by sme tieto svietidla nevideli. To je len ďalšia ukážka toho, čo všetko je možné v tomto programe nastaviť a na základe toho vypočítať.



Obr. 10.3: Osvetľujúce svietidlá pre pozorovateľa v miestnosti 2



Obr. 10.4: Jasová mapa v miestnosti 3



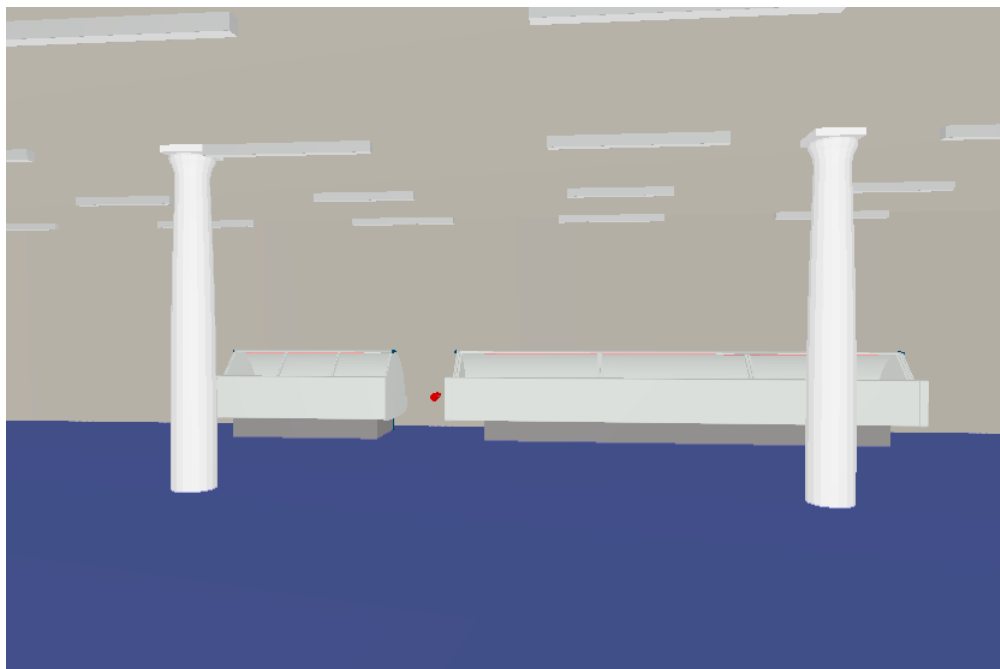
Obr. 10.5: Osvetľujúce svietidlá pre pozorovateľa v miestnosti 3



Obr. 10.6: Aplikovaný činiteľ polohy v miestnosti 3

10.2.1 Porovnanie výpočtu programu RELUX a programu Lumi-Disp

Program RELUX má taktiež možnosť umiestniť do priestoru pozorovateľa a na základe toho dokáže vypočítať hodnotu UGR. Umiestnenie bodu pre výpočet UGR v programe RELUX môžeme vidieť na obr.10.7. Hodnotu UGR, ktorú spočítal program RELUX na tomto pozorovateli v miestnosti 2 bola 23,2 čo je oproti nameraným 23,7 skoro rovnaká hodnota. Chyba pri tomto porovnaní mohla byť opäť spôsobená nie úplne rovnakým umiestnením pozorovateľa v programe a v skutočnosti.



Obr. 10.7: Umiestnenie pozorovateľa pre výpočet UGR v programe RELUX (3D pohľad)

11 Finančné porovnanie nákladov

Na začiatku tejto kapitoly je nutné povedať, že v dnešnej dobe nedáva zmysel porovnávať náklady za spotrebovanú elektrickú energiu a počítať nejakú návratnosť. Je potrebné prijať fakt, že najlepšia ekonomická varianta je tá, ktorá bude spotrebovať menej elektrickej energie, keďže cena s elektrickou energiou je nevyspytateľná a nadobúda vysokých cien. Avšak ak budeme počítať s fixnou cenou na niekoľko rokov je možné počítať a porovnať dve navrhované varianty aj z finančného hľadiska.

Zákazníkovi sme sa rozhodli vytvoriť dve varianty návrhu osvetľovacej sústavy s použitím dvoch rôznych typoch svietidiel. Tieto dve varianty je možné si porovnať aj z hľadiska finančnej stránky, keďže každá varianta bude mať inú spotrebu. Verzia svietidla PRIMA LED 6400/840 má až o 6W väčšiu spotrebu ako NANOTTICA 5500/840. Keďže v tejto hale sme navrhli 77 kusov týchto svietidiel je jasné, že pôjde o markantný rozdiel za spotrebovanú elektrickú energiu. Súčet nákladov na spotrebovanú elektrickú energiu u oboch variant môžeme vidieť v tab.11.1, a tab.11.2. V týchto tabuľkách sme počítali s uvažovanou cenou elektrickej energie 8,5 Kč/kWh. Táto cena uvažuje aj s poplatkom za výrobu a distribúcie elektrickej energie. Ďalej sme počítali s 10 hodinovou prevádzkou každý deň po dobu cca 300 dní za rok. Z tohto nám vyplynulo, že sa v hale bude ročne svietiť 3000 hodín. Celkové ročné náklady za spotrebovanú elektrickú energiu u varianty A dosiahli sumy 83 666 Kč a u varianty B 95 447 Kč. Rozdiel týchto súm je 11 781 Kč, čo znamená že pri použití návrhu osvetlenia varianty A, zákazník každý rok ušetrí túto sumu. Pri vstupných nákladoch, ktoré tvoria nákup týchto svietidiel môžeme z tabuliek 11.3 a 11.4 vidieť, že varianta A nás bude stáť 179 499 Kč a varianta B o dosť menej, a to 117 109 Kč. Zvážime však fakt, že pri návrhu osvetľovacej sústavy a udržiavacieho činiteľa sme počítali s prevádzkou na 20 rokov je jasné z tab.11.5, že po 5 rokoch a 2,5 mesiacoch sa nám vráti prvotná investícia do nákupu varianty A, keďže pri variante B každoročne platíme o 11 781 Kč viac za spotrebovanú elektrickú energiu. Pri uvažovaní cien za svietidlá sme vychádzali zo zdroja [7]. Ceny za svietidlá sú platné ku dňu citácie zdroja.

Tab. 11.1: Náklady za spotrebovanú elektrickú energiu za rok - varianta A

	Varianta A	
	NANOTTICA 5500/840	NANOTTICA 8000/840
Spotreba [W]	37	54
Počet [ks]	77	8
Cena za elektrinu [Kč/Wh]	0,0085	0,0085
Doba zapnutia svietidiel [hod.]	3 000	3 000
Náklady na elektrinu [Kč]	72 650	11 016
Spolu [Kč]	83 666	

Tab. 11.2: Náklady za spotrebovanú elektrickú energiu za rok - varianta B

	Varianta B	
	PRIMA LED 6400/840	PRIMA LED 8000/840
Spotreba [W]	43	54
Počet [ks]	77	8
Cena za elektrinu [Kč/Wh]	0,0085	0,0085
Doba zapnutia svietidiel [hod.]	3 000	3 000
Náklady na elektrinu [Kč]	84 421	11 016
Spolu [Kč]	95 447	

Tab. 11.3: Náklady na nákup svietidiel - varianta A

Varianta 1	Cena za 1 ks [Kč]	Počet [ks]	Náklady [Kč]
NANOTTICA 5500/840	2 042	8	16 336
NANOTTICA 8000/840	2 119	77	163 163
SPOLU	x	x	179 499

Tab. 11.4: Náklady na nákup svietidiel - varianta B

Varianta 2	Cena za 1 ks [Kč]	Počet [ks]	Náklady [Kč]
PRIMA LED 6400/840	1 231	8	9 848
PRIMA LED 8000/840	1 393	77	107 261
SPOLU [Kč]	x	x	117 109

Tab. 11.5: Doba návratnosti pri použití varianty A

Rozdiel nákupnej ceny za svietidlá [Kč]	62 390
Rozdiel cien za spotrebovanú elektrinu svietidiel [Kč]	11 781
Doba návratnosti pri použití varianty A [roky]	5,3

Záver

Každemu je jasné, že svetlo je základom života, zdravia a pohody. Preto dobré svetelné podmienky, ktoré si vytvárame umelým osvetlením motivujú človeka k činnosti, k práci, povzbudzujú náladu a vytvárajú príjemnú atmosféru. Naopak zlé svetelné podmienky človeka utlmujú, znižujú pracovnú výkonnosť a bezpečnosť. Osvetlenie umelými zdrojmi svetla musí preto splňovať a rešpektovať kvalitatívne a kvantitatívne parametry svetla a musí vytvoriť dobré podmienky pre zrakovú pohodu a zrakový výkon.

Súčasná osvetľovacia sústava vo výrobnjej hale tieto požiadavky nespĺňovala. Meraním sme zistili, že osvetlenosť je v rôznych miestnostiach nedostatočná. Meranie bolo uskutočnené podľa normy ČSN 36 0011-1. Keďže súčasný stav osvetľovacej stavy na základe merania nebol vhodný, niektoré svietidlá nesvietili, boli tam rôzne druhy svietidiel, rozhodli sme sa pre návrh novej osvetľovacej sústavy.

Pre návrh novej osvetľovacej sústavy pre zákazníka sme sa rozhodli použiť svietidlá českého výrobcu TREVOS. Zákazníkovi sme navrhli dve varianty osvetľovacej sústavy, z ktorých si mohol vybrať. Varianta A uvažovala so svietidlami typu NANOTTICA TRS a varianta B uvažovala so svietidlami PRIMA LED.

Tieto svietidlá sme v práci porovnali v niekoľkých smeroch. Jeden z týchto smerov bolo aj finančné porovnanie, ktoré je rozpísané v závere práce. Zistili sme, že typy svietidiel majú podobné technické parametre, avšak varianta A má lepšie hodnoty čo sa týka spotreby elektrickej energie a taktiež hodnôt UGR. Táto varianta je však oproti variante B nákladnejšia. Obe varianty poskytujú takmer zhodné hodnoty osvetlenia. Z tohto porovnania sme navrhli zákazníkovi variantu A. Zákazník sa nakoniec rozhodol pre variantu B z dôvodu nižších prvotných nákladov, takže boli použité svietidlá PRIMA LED.

Kontrólne meranie novej osvetľovacej sústavy s použitými svietidlami PRIMA LED sme vykonali rovnako ako pri meraní súčasného stavu. V grafických závislostiach sme porovnali namerané hodnoty osvetlenia súčasného a nového stavu a aj vypočítané hodnoty novej osvetľovacej sústavy z programu RELUX. Z tohto porovnania je vidieť zlepšenie osvetlenia oproti súčasnému stavu a taktiež to, že vypočítané a namerané hodnoty sa takmer zhodujú. Miestnosť 3 sme neporovnávali z hľadiska nameraných a vypočítaných hodnôt, keďže v tejto miestnosti zákazník zvolil iné rozmiestnenie svietidiel ako sme navrhovali.

V závere práce sme vyhodnotili zmeranú hodnotu oslnenia UGR na základe jasovej analýzy. Toto meranie sme porovnali s vypočítanou hodnotou UGR, ktorú nám vypočítal program RELUX. Taktiež sme si na obrázkoch ukázali, ktoré svietidlá osľňujú pozorovateľa.

Pri tomto návrhu osvetľovacej sústavy sme sa riadili pokynmi zákazníka, preto

v niektorých miestnostiach nie je ideálne osvetlenie, ktoré udáva norma pre daný typ miestnosti. Všetky namerané hodnoty novej osvetľovacej sústavy v tabuľkách boli predelené udržiavacím činiteľom (0,7). Je to z dôvodu, aby sme mohli porovnať tieto hodnoty s nameranými hodnotami súčasného stavu osvetlenia, ktorý sa v čase merania nachádzal na konci udržiavacieho intervalu.

Literatúra

- [1] Jíří HABEL, Karel DVORÁČEK, Vladimír DVORÁČEK, Petr ŽÁK *Světlo a osvětlování*. Praha 2013, ISBN 978-80-86534-21-3.
- [2] ČSN 12464-1 *Světlo a osvětlení-Osvětlení pracovišť-Část 1: Vnitřní pracoviště* Česká technická norma, Únor 2022
- [3] SCHEIR, G.H. at al. Calculation of the Unified Glare Rating based on luminance maps for uniform and non-uniform light sources. *Building and Environment*, (84) 2015, p.60-67
- [4] ČSN 36 0011-1 *Měření osvětlení prostoru - Část 1: Základní ustanovení* Česká technická norma, Únor 2014
- [5] Výpočet udržovacího činitele vnitřní osvětlovací soustavy. *Core* [online]. [cit. 2022-05-13] Dostupné z URL:
<<https://www.svetloblog.cz/index.php?svetlo=vypocet-udrzovaciho-cinitele>>.
- [6] Data sheet Radiolux 111. *Core* [online]. [cit. 2022-05-13] Dostupné z URL:
<<http://www.prc-krochmann.com/images/Downloads/111eneu.pdf>>.
- [7] Shopelektro *Core* [online]. [cit. 2022-05-22] Dostupné z URL:
<<https://www.shopelektro.cz/>>.
- [8] Teslux *Core* [online]. [cit. 2022-05-22] Dostupné z URL:
<<https://www.teslux.cz/mereni-osvetleni/>>.
- [9] TREVOS - PRIMA LED *Core* [online]. [cit. 2022-05-22] Dostupné z URL:
<<https://trevos.eu/en/catalogue/PRIMA-LED/PRIMA-LED>>.
- [10] TREVOS - NANOTTICA TRS *Core* [online]. [cit. 2022-05-22] Dostupné z URL:
<<https://trevos.eu/en/catalogue/NANOTTICA/NANOTTICA-TRS>>.

Zoznam symbolov a skratiek

L_z	jas oslňujúceho zdroja ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$)
Ω	priestorový uhol (sr)
L_p	priemerný jas pozadia ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$)
G	činiteľ oslnenia (-)
P	činiteľ charakterizujúci vplyv polohy oslňujúceho zdroja (-)
GI_s	index oslnenia (-)
UGR	činiteľ oslnenia (-)
L_{zi}	jas i-tého oslňujúceho zdroja ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$)
p_i	činiteľ polohy i-tého zdroja oslnenia (-)
E_n	nepriama zložka vertikálnej osvetlenosti (lx)
A_p	priemet svietiacej plochy svietidla do roviny kolmej ku smeru spojnice stredu oslňujúcej plochy s okom pozorovateľa (m^2)
I_γ	svietivosť svietidla (cd)
Φ	svetelný tok (lm)
λ	vlnová dĺžka (nm)
$K(\lambda)$	svetelná účinnosť monochromatického žiarenia ($\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$)
$V(\lambda)$	pomerná svetelná účinnosť ($\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$)
L_γ	jas zväzkov svetelných paprskov ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$)
r	rovnomernosť osvetlenia (-)
S_n	Nordenov činiteľ (-)
E	osvetlenosť (lx)
E_{av}	priemerná osvetlenosť (lx)

Zoznam príloh

A	Namerané hodnoty súčasného a nového stavu osvetlenia	62
B	Porovnanie nameraných a vypočítaných hodnôt nového stavu osvetľovacej sústavy	65
C	Fotky súčasného a nového stavu osvetľovacej sústavy v hale	67
D	Prehľad výsledkov z programu RELUX	69
D.1	Varianta A	69
D.2	Varianta B	72
E	Obsah elektronickej prílohy	75

A Namerané hodnoty súčasného a nového stavu osvetlenia

Tab. A.1: Porovnanie predošlého a nového stavu osvetlenia v miestnosti 1

Body E(p)	Predošlý stav osvetlenia E_{av} [lx]			Nový stav osvetlenia E_{av} [lx]		
	Rada 1	Rada 2	Rada 3	Rada 1	Rada 2	Rada 3
1	68,5	95,57	33,43	172,2	298,9	262,5
2	113,5	114,3	46,48	251,3	299,6	227,5
3	126,3	160	41,84	236,6	316,4	280
4	120		47,61	257,6		300,3
5	85,7		63,54	220,5		292,6
6	76,5		52,4	283,5		275,1
7	108,5		72,74	284,2		280
8	173		119,5	303,8		273
9	138,7		99,4	296,8		295,4
10	99,3		73,7	291,9		275,1
11	93,2		69,7	281,4		269,5
12	96,01		72,56	293,3		281,4
13	158,8		115	287,7		308
14	228,4		155,5	310,1		340,9
15	225		117	283,5		329
16	214,7		125	303,1		329
17	221,6		128,6	264,6		317,1
18	170		147,5	270,2		307,3
19	139,9		168,4	232,4		264,6
20	148,2		211,3	263,9		286,3
21	116,9		203,7	147,7		270,2
22			185,9			305,2
23			182			266
24			232,8			287
25			241,3			267,4
26			182,3			274,4
27			124,2			245
28			84,5			272,3
29			47,4			165,2

Tab. A.2: Porovnanie predošlého a nového stavu osvetlenia v miestnosti 2

	Predošlý stav osvetlenia E_{av} [lx]				Nový stav osvetlenia E_{av} [lx]			
Body E(p)	Rada 1	Rada 3	Rada 4	Rada 5	Rada 1	Rada 3	Rada 4	Rada 5
1	21,3	18,6	86,45	87,99	273	141,4	541,1	513,8
2	29,3	32,5	105,8	119,2	340,2	210,7	287,7	336,7
3	60,7	70,12	118,9	114,6	330,4	322	305,2	342,3
4	84,6	110,2	186,6	162,8	401,8	424,2	265,3	274,4
5	79,4	93,5	246,1	199,5	357,7	337,4	302,4	305,2
6	94,9	103,6	279,5	230,5	384,3	453,6	285,6	271,6
7	114,6	140,5	340,8	283,1	252	277,9	483	406,7
8	97,65	145,9	363,1	314,6	298,2	310,1	520,8	530,6
9	139,4	219,4	357,9	296,2	259	268,8	557,2	539,7
10	152,5	189,1	243,3	328,6	315	318,5	588	546
11	167,8	137,1	259,4	300,7	282,8	292,6	595	576,1
12	226,9	253,4	280	230,1	423,5	473,2	616	544,6
13	194,6	291,2	189,1	111	423,5	480,9	585,2	581
14	100,2	244,1	104,7	56,67	425,6	479,5	621,6	520,8
15			65,01	41,01			564,9	543,9
16			57,47	27,28			491,4	436,1
17				26,26				364
20	59,38	60,4			457,1	508,9		
21	67,68	95,2			449,4	462		

Tab. A.3: Porovnanie predošlého a nového stavu osvetlenia v miestnosti 2, plocha na zemi

	Predošlý stav osvetlenia E_{av} [lx]			Nový stav osvetlenia E_{av} [lx]		
Body E(p)	Rada 1	Rada 2	Rada 3	Rada 1	Rada 2	Rada 3
15	233,3	271,5	259,8	473,9	501,2	507,5
16	272,5	301,4	304,8	492,8	540,4	544,6
17	228,8	232,2	243,4	497,7	523,6	550,2
18	144,5	197,5	158,1	476	499,8	478,1
19	75,43	79,7	95,2	490	507,5	503,3

Tab. A.4: Porovnanie predošlého a nového stavu osvetlenia v miestnosti 3

	Predošlý stav osvetlenia E_{av} [lx]				Nový stav osvetlenia E_{av} [lx]			
Body E(p)	Rada 1	Rada 2	Rada 3	Rada 4	Rada 1	Rada 2	Rada 3	Rada 4
1	183	118,5	120	111,1	292,6	288,4	367,5	343,7
2	276,6	164,4	186,8	170,3	371	360,5	483,7	464,1
3	300,5	191,3	247,3	213,6	394,1	406	511	491,4
4	262,6	163,7	252,7	229,6	375,9	427	550,9	506,1
5	207,2		147,4	223,1	376,6		529,9	515,2
6	110,9		61,01	131	294		525,7	492,8
7	52,37		33,05	56,36	217		364,7	497,7
8	30,24			30,15	166,6			317,8

B Porovnanie nameraných a vypočítaných hodnôt nového stavu osvetľovacej sústavy

Tab. B.1: Porovnanie nameraných a vypočítaných hodnôt osvetlenia v miestnosti 1

Body E(p)	Nový stav - namerané E_{av} [lx]			Nový stav - vypočítané E_{av} [lx]		
	Rada 1	Rada 2	Rada 3	Rada 1	Rada 2	Rada 3
1	172,2	298,9	262,5	197,4	246,6	233
2	251,3	299,6	227,5	302,4	241,3	244,4
3	236,6	316,4	280	294,2	243	274,5
4	257,6		300,3	305,6		254,7
5	220,5		292,6	235,7		283,3
6	283,5		275,1	284,9		261,1
7	284,2		280	247,7		297,4
8	303,8		273	250,5		281,1
9	296,8		295,4	317,9		332
10	291,9		275,1	323,9		334
11	281,4		269,5	361,1		382,5
12	293,3		281,4	343,7		339,8
13	287,7		308	350		340,2
14	310,1		340,9	343,7		299,2
15	283,5		329	364,9		322,8
16	303,1		329	354,4		302,4
17	264,6		317,1	353		342,8
18	270,2		307,3	353,3		334,2
19	232,4		264,6	344,6		362,9
20	263,9		286,3	312		337,4
21	147,7		270,2	232,4		343,5
22			305,2			325,7
23			266			343,2
24			287			339,7
25			267,4			341,7
26			274,4			332,1
27			245			321,8
28			272,3			303
29			165,2			232,5

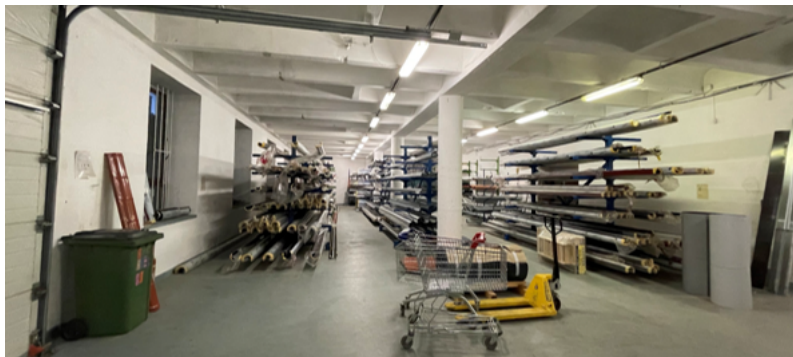
Tab. B.2: Porovnanie nameraných a vypočítaných hodnôt osvetlenia v miestnosti 2

Body E(p)	Nový stav - namerané E_{av} [lx]				Nový stav - vypočítané E_{av} [lx]			
	Rada 1	Rada 3	Rada 4	Rada 5	Rada 1	Rada 3	Rada 4	Rada 5
1	273	141,4	541,1	513,8	297,7	290	403,5	376,8
2	340,2	210,7	287,7	336,7	339,8	342	437,7	397,5
3	330,4	322	305,2	342,3	339,4	340	473,2	429,3
4	401,8	424,2	265,3	274,4	365,2	367	462,2	421,3
5	357,7	337,4	302,4	305,2	345,2	390	472,2	431,7
6	384,3	453,6	285,6	271,6	379,6	445	479,1	439,1
7	252	277,9	483	406,7	348	420	480	441,4
8	298,2	310,1	520,8	530,6	389	463	508,1	490,6
9	259	268,8	557,2	539,7	350,8	423	503,8	546,1
10	315	318,5	588	546	397	472	554	518,1
11	282,8	292,6	595	576,1	361,9	436	529,2	560,5
12	423,5	473,2	616	544,6	414,8	487	574,8	512,8
13	423,5	480,9	585,2	581	387,8	454	529,1	557
14	425,6	479,5	621,6	520,8	438,5	507	573,3	502,1
15			564,9	543,9			517,1	535,1
16			491,4	436,1			536,8	457,5
17				364				448,4
20	457,1	508,9			468,3	482,8		
21	449,4	462			444,5	444		

Tab. B.3: Porovnanie nameraných a vypočítaných hodnôt osvetlenia v miestnosti 2, plocha na zemi

Body E(p)	Nový stav - namerané E_{av} [lx]			Nový stav - vypočítané E_{av} [lx]		
	Rada 1	Rada 2	Rada 3	Rada 1	Rada 2	Rada 3
15	473,9	501,2	507,5	404,3	444,5	479,8
16	492,8	540,4	544,6	428	468,3	498,7
17	497,7	523,6	550,2	434	474,1	500,8
18	476	499,8	478,1	435	475,1	502,7
19	490	507,5	503,3	420,8	461,1	494,3

C Fotky súčasného a nového stavu osvetľovacej sústavy v hale



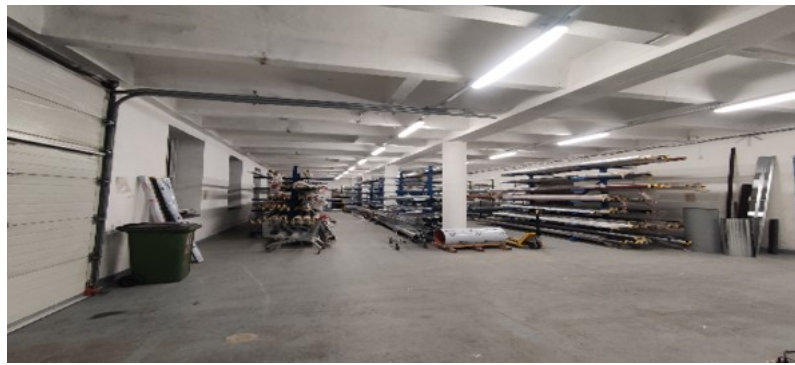
Obr. C.1: Súčasný stav osvetľovacej sústavy - miestnosť 1



Obr. C.2: Súčasný stav osvetľovacej sústavy - miestnosť 2



Obr. C.3: Súčasný stav osvetľovacej sústavy - miestnosť 3



Obr. C.4: Nový stav osvetľovacej sústavy - miestnosť 1



Obr. C.5: Nový stav osvetľovacej sústavy - miestnosť 2



Obr. C.6: Nový stav osvetľovacej sústavy - miestnosť 3

D Prehľad výsledkov z programu RELUX

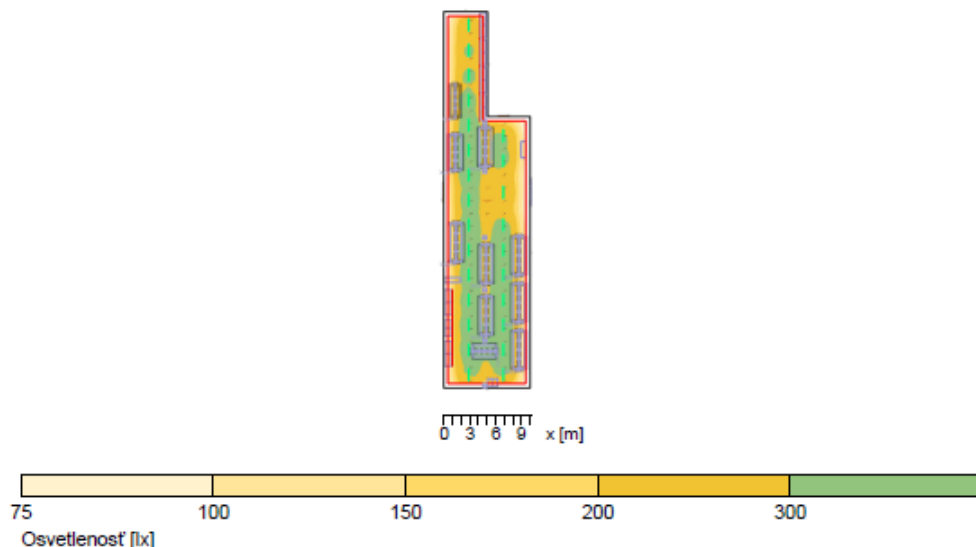
D.1 Varianta A

1 Miestnosť 1

RELUX®

1.1 Zhrnutie, Miestnosť 1

1.1.1 Prehľad výsledkov, Vyhodnocovacia oblasť 1



Všeobecne

Použitý algoritmus výpočtu

Priemerný nepriamy podiel

Výška roviny svietidla [m]:

3.40 m

Činiteľ údržby

0.70

Zvolené svietidlo L80, IP 66; činiteľ poklesu svetelného zdroja je 0,8; pri stupni krytia optickej časti svietidla IP 6X a pri strednom znečistení ovzdušia a pri intervale čistenia 3 roky sa udržiavací činiteľ vypočíta ako --> $0,8 \cdot 0,87 = 0,696$

Celkový svetelný tok všetkých svetelných zdrojov

125750.00 lm

Celkový príkon

925.0 W

Celkový príkon na plochu (381.38 m²)

2.43 W/m² (0.95 W/m²/100lx)

Vyhodnocovacia oblasť 1 Používateľský profil

Pracovná rovina 1.1

Všeobecné oblasti vo vnútri budov - Skladiská, chladiarne
5.4.2 (EN 12464-1, 8.2011) Oblasť manipulácie s balením na expedíciu (Ra >60.00)

Horizontálny

Valcová

Em

256 lx (>= 300 lx)

109 lx (>= 50 lx)

Emin

78 lx

55 lx

Emin/Em (Uo)

0.31 (>= 0.60)

0.51 (>= 0.10)

Emin/Emax (Ud)

0.20

UGR (4.7H 20.3H)

<=21.7 (< 25.00)

Poloha

1.00 m

1.20 m

Hlavné povrchy

Eav

Uo

m 1.7 (Strop)

78 lx (>= 30 lx)

0.43 (>= 0.10)

m 1.1 (Stena)

131 lx (>= 50 lx)

0.44 (>= 0.10)

m 1.2 (Stena)

98 lx (>= 50 lx)

0.58 (>= 0.10)

m 1.3 (Stena)

97 lx (>= 50 lx)

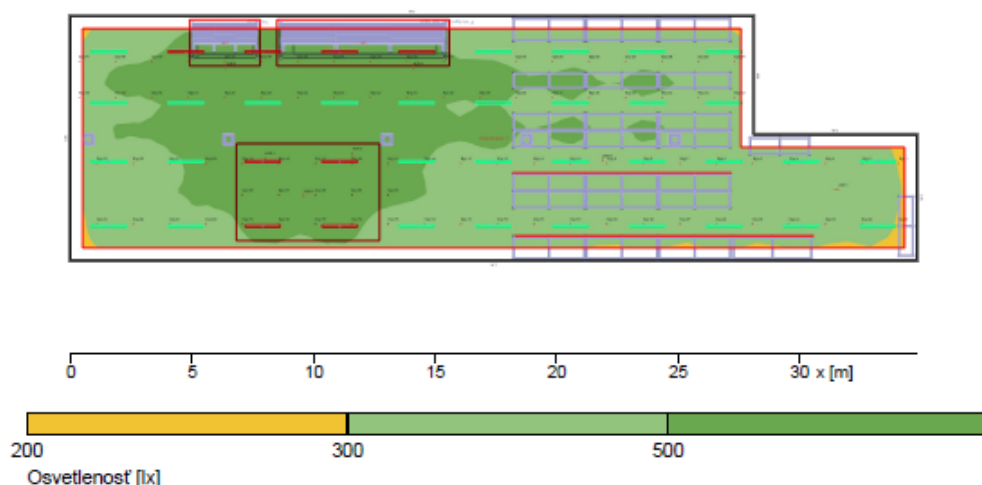
0.50 (>= 0.10)

Obr. D.1: Prehľad výsledkov varianta A - miestnosť 1

2 Miestnosť 2

2.1 Zhrnutie, Miestnosť 2

2.1.1 Prehľad výsledkov, Vyhodnocovacia oblasť 1



Všeobecne
Použitý algoritmus výpočtu
Výška roviny svetidla [m]:
Činiteľ údržby

Priemerný nepriamy podiel
3.40 m
0.70

Celkový svetelný tok všetkých svetelných zdrojov
Celkový príkon
Celkový príkon na plochu (316.81 m²)

219520.00 lm
1616.0 W
5.10 W/m² (1.12 W/m²/100lx)

Vyhodnocovacia oblasť 1
Používateľský profil

Pracovná rovina 1.1

Všeobecné oblasti vo vnútri budov - Skladiská, chladiarne
5.4.2 (EN 12464-1, 8.2011) Oblasť manipulácie s balením na expedíciu (Ra >60.00)

	Horizontálny	Valcová
Em	454 lx (>= 300 lx)	181 lx (>= 50 lx)
Emin	273 lx	95 lx
Emin/Em (Uo)	0.60 (>= 0.60)	0.52 (>= 0.10)
Emin/Emax (Ud)	0.42	
UGR (4.7H 16.1H)	<=23.0 (< 25.00)	
Poloha	1.00 m	1.00 m

Hlavné povrchy

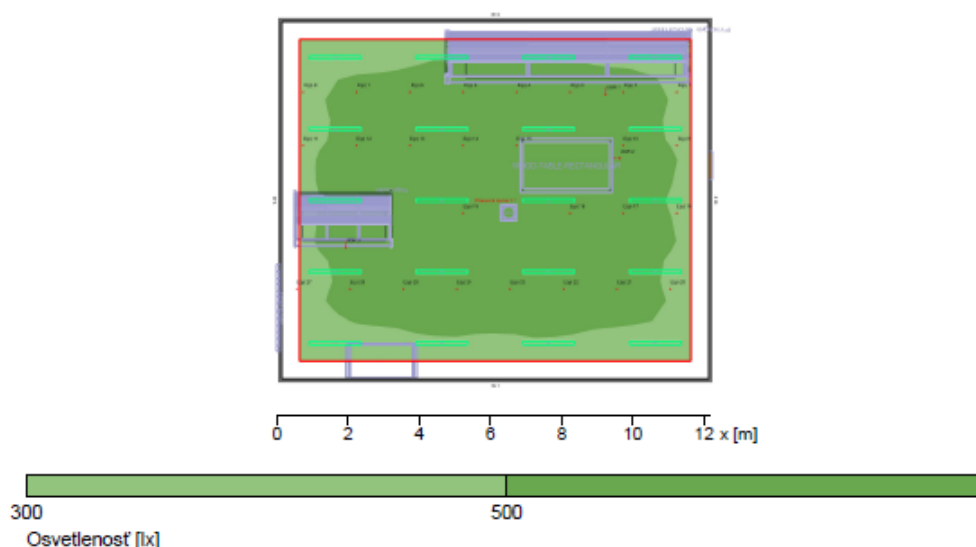
	Eav	Uo
m 1.7 (Strop)	114 lx (>= 30 lx)	0.58 (>= 0.10)
m 1.1 (Stena)	213 lx (>= 50 lx)	0.56 (>= 0.10)
m 1.2 (Stena)	180 lx (>= 50 lx)	0.67 (>= 0.10)
m 1.3 (Stena)	192 lx (>= 50 lx)	0.65 (>= 0.10)
m 1.4 (Stena)	240 lx (>= 50 lx)	0.60 (>= 0.10)
m 1.5 (Stena)	251 lx (>= 50 lx)	0.60 (>= 0.10)
m 1.6 (Stena)	232 lx (>= 50 lx)	0.61 (>= 0.10)

Obr. D.2: Prehľad výsledkov variantu A - miestnosť 2

3 Miestnosť 3

3.1 Zhrnutie, Miestnosť 3

3.1.1 Prehľad výsledkov, Vyhodnocovacia oblasť 1



Všeobecne
Použitý algoritmus výpočtu
Výška roviny svetidla [m]:
Činiteľ údržby

Priemerný nepriamy podiel
3.40 m
0.70

Celkový svetelný tok všetkých svetelných zdrojov
Celkový príkon
Celkový príkon na plochu (120.48 m²)

100600.00 lm
740.0 W
6.14 W/m² (1.20 W/m²/100lx)

Vyhodnocovacia oblasť 1
Používateľský profil

Pracovná rovina 1.1
Všeobecné oblasti vo vnútri budov - Skladiská, chladiare
5.4.2 (EN 12464-1, 8.2011) Oblasť manipulácie s balením na expedíciu (Ra
>60.00)

	Horizontálny		Valcová	
Em	513 lx	(≥ 300 lx)	222 lx	(≥ 50 lx)
Emin	377 lx		154 lx	
Emin/Em (Uo)	0.74	(≥ 0.60)	0.69	(≥ 0.10)
Emin/Emax (Ud)	0.63			
UGR (4.7H 5.6H)	≤21.1	(< 25.00)		
Poloha	0.75 m		1.20 m	

Hlavné povrchy

	Eav		Uo	
m 1.5 (Strop)	142 lx	(≥ 30 lx)	0.72	(≥ 0.10)
m 1.1 (Stena)	277 lx	(≥ 50 lx)	0.70	(≥ 0.10)
m 1.2 (Stena)	271 lx	(≥ 50 lx)	0.68	(≥ 0.10)
m 1.3 (Stena)	304 lx	(≥ 50 lx)	0.62	(≥ 0.10)
m 1.4 (Stena)	274 lx	(≥ 50 lx)	0.67	(≥ 0.10)

Obr. D.3: Prehľad výsledkov variantu A - miestnosť 3

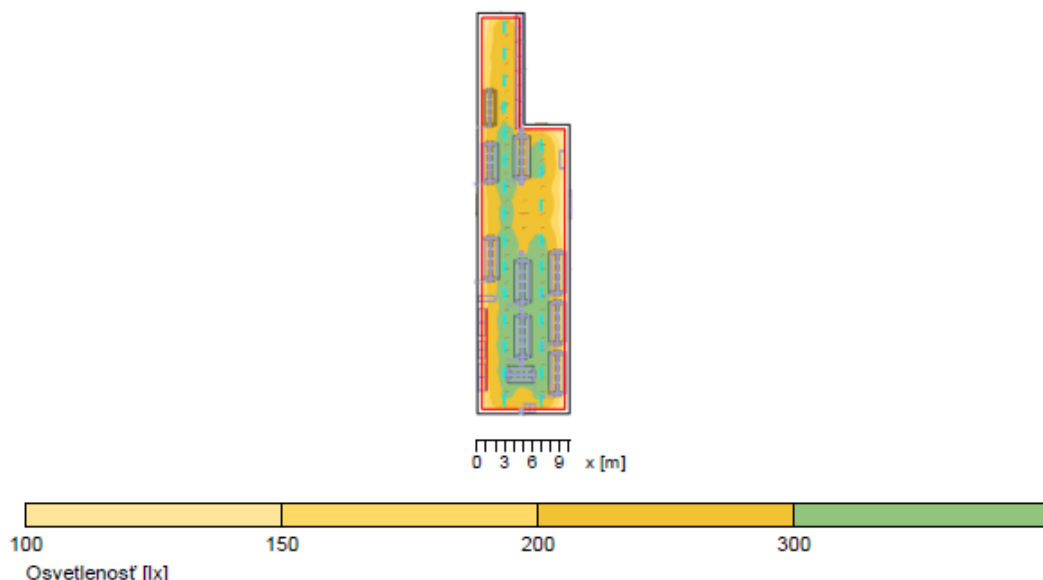
D.2 Varianta B

RELUX®

1 Miestnosť 1

1.1 Zhrnutie, Miestnosť 1

1.1.1 Prehľad výsledkov, Vyhodnocovacia oblasť 1



Všeobecne

Použitý algoritmus výpočtu

Výška roviny svietidla [m]:

Činiteľ údržby

Zvolené svietidlo L80, IP 66; činiteľ poklesu svetelného zdroja je 0,8; pri stupni krytia optickej časti svietidla IP 6X a pri strednom znečistení ovzdušia a pri intervale čistenia 3 roky sa udržiavací činiteľ vypočíta ako --> $0,8 \cdot 0,87 = 0,696$

Priemerný nepriamy podiel

3.40 m

0.70

Celkový svetelný tok všetkých svetelných zdrojov

141250.00 lm

Celkový príkon

1075.0 W

Celkový príkon na plochu (381.38 m²)

2.82 W/m² (1.10 W/m²/100lx)

Vyhodnocovacia oblasť 1

Používateľský profil

Pracovná rovina 1.1

Všeobecné oblasti vo vnútri budov - Skladiská, chladiare

5.4.2 (EN 12464-1, 8.2011) Oblasť manipulácie s balením na expedíciu (Ra >60.00)

Horizontálny

Valcová

Em 256 lx (>= 300 lx)

123 lx (>= 50 lx)

Emin 105 lx

66 lx

Emin/Em (Uo) 0.41 (>= 0.60)

0.54 (>= 0.10)

Emin/Emax (Ud) 0.28

UGR (4.7H 20.4H) <=26.2 (< 25.00)

Poloha 1.00 m

1.20 m

Hlavné povrchy

Eav

Uo

m 1.7 (Strop) 109 lx (>= 30 lx)

0.41 (>= 0.10)

m 1.1 (Stena) 155 lx (>= 50 lx)

0.60 (>= 0.10)

m 1.2 (Stena) 160 lx (>= 50 lx)

0.62 (>= 0.10)

m 1.3 (Stena) 119 lx (>= 50 lx)

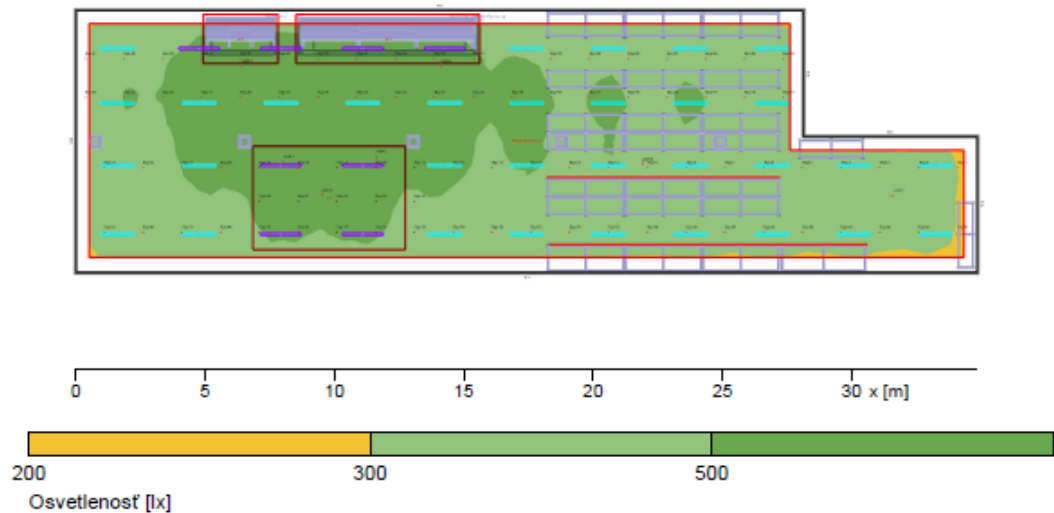
0.70 (>= 0.10)

Obr. D.4: Prehľad výsledkov variantu B - miestnosť 1

2 Miestnosť 2

2.1 Zhrnutie, Miestnosť 2

2.1.1 Prehľad výsledkov, Vyhodnocovacia oblasť 1



Všeobecne

Použitý algoritmus výpočtu

Výška roviny svetidla [m]:

Činiteľ údržby

Priemerný nepriamy podiel

3.40 m

0.70

Celkový svetelný tok všetkých svetelných zdrojov

237520.00 lm

Celkový príkon

1808.0 W

Celkový príkon na plochu (316.81 m²)

5.71 W/m² (1.29 W/m²/100lx)

Vyhodnocovacia oblasť 1

Používateľský profil

Pracovná rovina 1.1

Všeobecné oblasti vo vnútri budov - Skladiská, chladiare

5.4.2 (EN 12464-1, 8.2011) Oblasť manipulácie s balením na expedíciu (Ra >60.00)

Horizontálny

Valcová

Em 444 lx (>= 300 lx)

201 lx (>= 50 lx)

Emin 280 lx

108 lx

Emin/Em (Uo) 0.63 (>= 0.60)

0.54 (>= 0.10)

Emin/Emax (Ud) 0.49

UGR (4.7H 16.2H) <=26.3 (< 25.00)

Poloha 1.00 m

1.00 m

Hlavné povrchy

Eav

Uo

m 1.7 (Strop) 173 lx

0.51 (>= 0.10)

m 1.1 (Stena) 309 lx

0.45 (>= 0.10)

m 1.2 (Stena) 206 lx

0.74 (>= 0.10)

m 1.3 (Stena) 253 lx

0.57 (>= 0.10)

m 1.4 (Stena) 275 lx

0.60 (>= 0.10)

m 1.5 (Stena) 351 lx

0.53 (>= 0.10)

m 1.6 (Stena) 277 lx

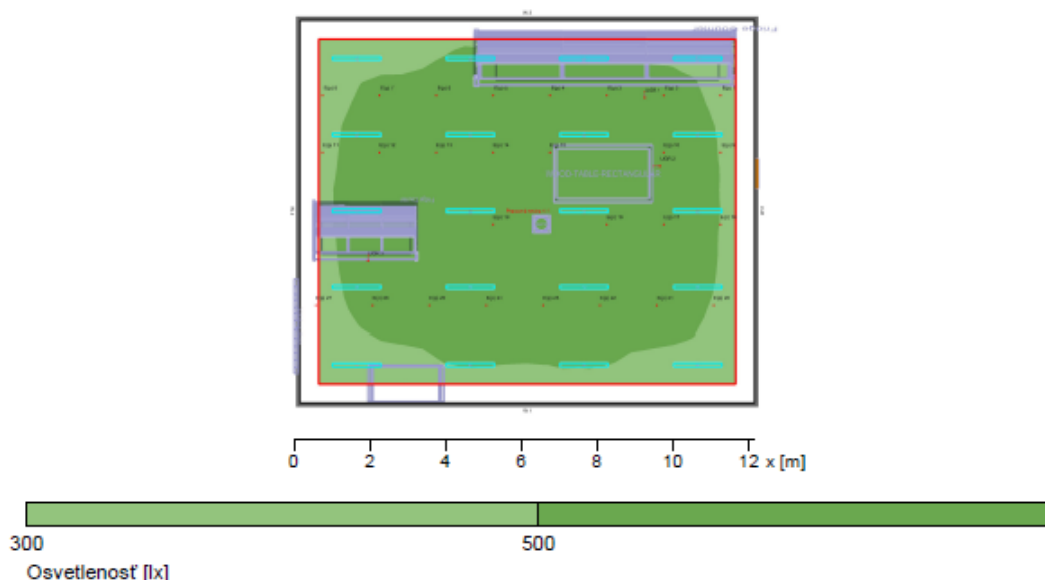
0.72 (>= 0.10)

Obr. D.5: Prehľad výsledkov variantu B - miestnosť 2

3 Miestnosť 3

3.2 Zhrnutie, Miestnosť 3

3.2.1 Prehľad výsledkov, Vyhodnocovacia oblasť 1



Všeobecne

Použitý algoritmus výpočtu

Výška roviny svetidla [m]:

Činiteľ údržby

Priemerný nepriamy podiel

3.40 m

0.70

Celkový svetelný tok všetkých svetelných zdrojov

113000.00 lm

Celkový príkon

860.0 W

Celkový príkon na plochu (120.48 m²)

7.14 W/m² (1.38 W/m²/100lx)

Vyhodnocovacia oblasť 1

Používateľský profil

Pracovná rovina 1.1

Všeobecné oblasti vo vnútri budov - Skladiská, chladiare

5.4.2 (EN 12464-1, 8.2011) Oblasť manipulácie s balením na expedíciu (Ra >60.00)

Horizontálny

Valcová

Em 519 lx (>= 300 lx)

257 lx (>= 50 lx)

Emin 405 lx

191 lx

Emin/Em (Uo) 0.78 (>= 0.60)

0.74 (>= 0.10)

Emin/Emax (Ud) 0.68

UGR (4.7H 5.6H) <=24.2 (< 25.00)

Poloha

0.75 m

1.20 m

Hlavné povrchy

m 1.5 (Strop)

Eav

Uo

m 1.1 (Stena)

210 lx

0.63

m 1.2 (Stena)

393 lx

0.62

m 1.3 (Stena)

326 lx

0.68

m 1.4 (Stena)

421 lx

0.56

330 lx

0.69

Obr. D.6: Prehľad výsledkov variantu B - miestnosť 3

E Obsah elektronickej prílohy

/El. príloha

└─ pdf

└─ PrimaLED.pdf

└─ NanotticaTRS.pdf