

# Kvalita osvětlení výrobních prostorů

Bc. Petr Schön

---

Diplomová práce  
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2018/2019

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr Schön**

Osobní číslo: **T16151**

Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Řízení jakosti**

Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Kvalita osvětlení výrobních prostorů**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši dané problematiky na základě doporučené literatury.
2. Proměřte osvětlenosti ve výrobních prostorech. Ve vybraných místech stanovte průměrné hodnoty osvětlenosti a porovnejte je s normovanými hodnotami osvětlenosti pro dané případy.
3. V pracovních prostorech s nedostatečným osvětlením navrhňte nové varianty osvětlovacích soustav. V počítačovém programu Wils proveďte simulace osvětlení těchto soustav.
4. Proveďte vyhodnocení simulací osvětlení a doporučte nejvhodnější varianty pro realizaci umělého osvětlení v daných výrobních prostorech.
5. Citujte použitou literaturu.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. Bystřický, V., Kaňka, J.: **OSVĚTLENÍ: ČVUT Praha, 1999.**
2. Horňák, P.: **UMELÉ OSVETLENIE: ALFA Bratislava, 1979.**
3. Netušil, J.: **SVĚTLO V TEORII A PRAXI: Práce Praha, 1960**
4. **ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlení Osvětlení pracovních prostorů Část 1: Vnitřní pracovní prostory, 2005.**
5. Baxant, P.: **ELEKTRICKÉ TEPLA A SVĚTLO: VUT v Brně, 2004.**

Vedoucí diplomové práce:

**doc. Ing. Martin Vašina, Ph.D.**

Ústav fyziky a mater. inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

**2. ledna 2019**

Termín odevzdání diplomové práce:

**17. května 2019**

Ve Zlíně dne 1. února 2019

L.S.

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
*děkan*

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně 21. 4. 2019

.....

---

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá kvalitou osvětlení výrobních prostor. V teoretické části práce jsou k dané problematice probrány a vysvětleny podstatné teoretické základy. V praktické části práce se již řeší konkrétní případ osvětlení výrobních prostor, kde jsou porovnány naměřené hodnoty osvětlenosti s příslušnými normami. Tyto prostory jsou dále simulovány v softwaru, pomocí něhož jsou s ohledem na ekonomiku navrhována osvětlení nová.

Klíčová slova: osvětlení, kvalita, výrobní prostory, normy, návrh, simulace, software, ekonomika

## **ABSTRACT**

This diploma thesis deals with the illumination quality of manufacturing premises. The theoretical part of the thesis discusses and explains the fundamental theoretical foundations for the given issue. The practical part of the thesis solves concrete case of manufacturing premises and their illumination, where the measured values are compared to the relevant standards. These production areas are further simulated in software to design new lighting appropriate for the economical point of view.

Keywords: illumination, quality, manufacturing premises, standards, design, simulation, software, economy

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Martinu Vašinovi, Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky a také za zapůjčení literatury a luxmetru, které mi byly při řešení této diplomové práce ochotně poskytnuty.

Také bych chtěl toto poděkování věnovat své rodině, kamarádům a kolegům z práce za jejich vytrvalou podporu. A v neposlední řadě bych chtěl poděkovat mému zaměstnavateli, společnosti ESB Rozvaděče, a.s., za možnost využití výrobních prostorů pro vypracování praktické části této diplomové práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>12</b>
<b>1 OSVĚTLENÍ</b> .....	<b>13</b>
1.1 ÚVOD DO OSVĚTLENÍ.....	13
1.2 DRUHY OSVĚTLENÍ.....	15
1.2.1 Denní osvětlení.....	15
1.2.1.1 Kvantitativní kritérium denního osvětlení .....	16
1.2.1.2 Kvalitativní kritéria denního osvětlení .....	16
1.2.2 Umělé osvětlení.....	17
1.2.2.1 Kvantitativní kritérium umělého osvětlení .....	18
1.2.2.2 Kvalitativní kritéria umělého osvětlení.....	18
1.2.3 Sdružené osvětlení .....	19
1.3 VÝZNAM UMĚLÉHO OSVĚTLENÍ.....	20
1.3.1 Psychofyziologický vliv světla a osvětlení .....	20
1.3.2 Světlo a bezpečnost práce .....	21
1.4 ZRAK A VIDĚNÍ .....	21
1.4.1 Zrakový orgán .....	22
1.4.2 Akomodace a adaptace.....	22
1.4.3 Zorné pole .....	23
1.4.4 Rozlišovací schopnost.....	24
1.4.5 Spektrální citlivost zraku.....	24
1.4.6 Zraková pohoda.....	25
1.4.7 Oslnění .....	25
1.4.8 Směr světla a stínů .....	26
1.5 FYZIKÁLNÍ PODSTATA SVĚTLA .....	27
1.5.1 Elektromagnetické spektrum.....	27
1.5.2 Teplota chromatičnosti.....	28
1.5.3 Podání barev .....	28
1.6 ZÁKLADNÍ SVĚTELNÉ VELIČINY .....	29
1.6.1 Zářivý tok.....	29
1.6.2 Světlený tok.....	29
1.6.3 Osvětlenost.....	30
1.6.4 Prostorový úhel .....	30
1.6.5 Světelné množství .....	30
1.6.6 Svítivost.....	31
1.7 ENERGETICKÁ BILANCE ŠÍŘENÍ SVĚTELNÉHO TOKU.....	32
1.7.1 Světelně techničtí činitelé .....	32
<b>2 SVĚTELNÉ ZDROJE A JEJICH PARAMETRY</b> .....	<b>34</b>
2.1 ROZDĚLENÍ ELEKTRICKÝCH SVĚTELNÝCH ZDROJŮ .....	35
2.1.1 Teplotní světelné zdroje .....	36
2.1.1.1 Žárovky.....	36
2.1.1.2 Halogenové žárovky .....	37
2.1.2 Výbojové světelné zdroje.....	37
2.1.2.1 Nízkotlaké – zářivky.....	38



2.1.2.2	Vysokotlaké – výbojky rtuťové, sodíkové, směšové a další.....	38
2.1.3	Elektroluminiscenční světelné zdroje .....	38
2.2	PARAMETRY SVĚTELNÝCH ZDROJŮ .....	39
<b>3</b>	<b>SVÍTIDLA.....</b>	<b>41</b>
3.1	ROZDĚLENÍ SVÍTIDEL.....	41
3.1.1	Podle světelně technických vlastností.....	41
3.1.2	Z hlediska ochrany před nebezpečným dotykem živých částí .....	42
3.1.3	Podle stupně krytí.....	42
3.1.4	Podle způsobu upevnění.....	43
3.1.5	Z hlediska požární bezpečnosti a dalších kritérií .....	43
3.2	CHARAKTERISTIKY SVÍTIDEL.....	44
3.2.1	Účinnost svítidel.....	44
3.2.2	Jas a úhel clonění .....	44
3.3	ZÁKLADNÍ ČÁSTI SVÍTIDEL .....	45
3.3.1	Světelně činné části .....	45
3.3.2	Konstrukční části.....	45
3.3.3	Elektrické části .....	46
3.4	KATALOGOVÝ LIST SVÍTIDLA .....	46
<b>4</b>	<b>SVĚTELNĚ TECHNICKÉ VÝPOČTY .....</b>	<b>47</b>
4.1	METODA POMĚRNÝCH PŘÍKONŮ .....	47
4.2	TOKOVÁ METODA.....	47
4.3	BODOVÁ METODA .....	49
4.4	RUŠIVÉ OSLNĚNÍ - UGR .....	51
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>53</b>
<b>5</b>	<b>ÚVODNÍ MYŠLENKY.....</b>	<b>54</b>
<b>6</b>	<b>MĚŘENÍ OSVĚTLENÍ .....</b>	<b>55</b>
6.1	ZÁKLADNÍ POJMY .....	55
6.1.1	Typy měření osvětlení.....	55
6.1.2	Luxmetr .....	55
6.1.3	Jasoměr.....	57
6.1.4	Kolorimetr.....	57
6.1.5	Srovnávací rovina.....	58
6.1.6	Kontrolní bod .....	58
6.2	NORMY .....	58
<b>7</b>	<b>VLASTNÍ MĚŘENÍ OSVĚTLENÍ VÝROBNÍCH PROSTOR .....</b>	<b>60</b>
7.1	PŘEDSTAVENÍ MĚŘENÝCH PROSTOR .....	61
7.1.1	Účel, provoz a rozměry zvoleného prostoru .....	62
7.1.2	Rozdělení prostoru dle zřakových úkolů.....	63
7.1.3	Poloha a rozměry srovnávacích rovin .....	64
7.2	POSTUP MĚŘENÍ.....	64
7.3	NAMĚŘENÉ HODNOTY OSVĚTLENOSTI A JEJICH ZPRACOVÁNÍ .....	66
7.3.1	Část prostoru - komunikace .....	66
7.3.1.1	Zpracování naměřených hodnot a diskuze.....	67
7.3.2	Část prostoru - komunikační pás.....	69
7.3.2.1	Zpracování naměřených hodnot a diskuze.....	69

7.3.3	Část prostoru - předúprava .....	70
7.3.3.1	Zpracování naměřených hodnot a diskuze.....	71
7.3.4	Část prostoru - manipulační prostory .....	71
7.3.4.1	Zpracování naměřených hodnot a diskuze.....	74
7.3.5	Část prostoru - prostor v okolí linky .....	74
7.3.5.1	Zpracování naměřených hodnot a diskuze.....	77
7.3.6	Část prostoru - kontrola .....	77
7.3.6.1	Zpracování naměřených hodnot a diskuze.....	78
7.3.7	Část prostoru - navěšování .....	79
7.3.7.1	Zpracování naměřených hodnot a diskuze.....	81
7.3.8	Regály s barvami .....	81
7.3.8.1	Zpracování naměřených hodnot a diskuze.....	83
7.3.9	Regál pro díly .....	83
7.3.9.1	Zpracování naměřených hodnot a diskuze.....	84
7.4	NAMĚŘENÉ HODNOTY ČINITELE ODRAZU A JEJICH ZPRACOVÁNÍ .....	85
7.4.1	Stěny.....	85
7.4.2	Podlaha.....	87
7.4.3	Modré skříně .....	88
7.4.4	Nádrže .....	89
7.4.5	Pec a chladicí tunel.....	90
7.4.6	„Sprcha“ a sušárna .....	91
7.4.7	Lakovací kabiny .....	92
7.4.8	Surový díl vs. lakovaný díl.....	93
7.5	SHRNUTÍ AKTUÁLNÍHO STAVU OSVĚTLENOSTI MĚŘENÉHO PROSTORU .....	94
<b>8</b>	<b>NÁVRH NOVÉHO OSVĚTLENÍ.....</b>	<b>96</b>
8.1	SOFTWARE WILS 7.0 .....	96
8.2	SIMULACE VÝROBNÍHO PROSTORU LAKOVNY .....	97
8.3	NÁVRH NOVÉHO OSVĚTLENÍ – VARIANTA Č. 1 .....	100
8.3.1	Charakteristika návrhu .....	100
8.3.2	Použitá svítidla .....	100
8.3.3	Způsob montáže .....	101
8.3.4	Výsledky návrhu .....	102
8.3.5	Diskuze návrhu.....	103
8.4	NÁVRH NOVÉHO OSVĚTLENÍ – VARIANTA Č. 2 .....	104
8.4.1	Charakteristika návrhu .....	104
8.4.2	Použitá svítidla .....	105
8.4.3	Způsob montáže .....	105
8.4.4	Výsledky návrhu .....	105
8.4.5	Diskuze návrhu.....	106
8.5	VYHODNOCENÍ NÁVRHŮ A DOPORUČENÍ NEJVHODNĚJŠÍ VARIANTY .....	107
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>109</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>111</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>114</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>116</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>119</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>121</b>

## ÚVOD

Světlo - jako jeden z mnoha důležitých faktorů umožňující existenci člověka na Zemi - má zásadní vliv na vnitřní pochody lidského organismu, jeho emoce, produktivitu, atd. Díky světlu můžeme přijímat informace o okolí, o jeho barvách, tvarech a velikostech. Uvádí se, že zrakem přijímáme přibližně 80 % všech informací, což je skutečně velký podíl. Důležitost světla je tedy neoddiskutovatelná.

Se světlem přicházíme do styku již od nepaměti. Dříve nás však obklopovalo pouze světlo přirozené (Slunce), později s vývojem lidstva a technologií se člověk naučil používat oheň (louče, svíčky, atd.). K dalšímu významnému pokroku došlo po elektrifikaci, která umožnila vznik umělého osvětlení (žárovky, zářivky). V dnešní době jsou nejvíce populární světelné LED diody, které při nízké spotřebě elektrické energie produkují vysoký světelný výkon. V oblasti LED technologií se pro jejich potenciál očekává do budoucna ještě velké využití.

Co se týče vztahu světla a práce, je zřejmé, že pro odvedení kvalitní práce je nutné, aby bylo pracoviště vhodně osvětleno. To znamená, že na pracovišti musí být zajištěno nejen dostatečné množství světla, ale také musí být podáno v určité kvalitě. Kvalitu ovlivňuje druh použitého zdroje, barva vyzařovaného světla, jeho směrovost, atd. Světlo má také velký vliv na bezpečnost práce, vhodné osvětlení pomáhá odhalit potenciální místa úrazu, zabraňuje vzniku stroboskopického efektu, neoslňuje.

Jelikož jsem v době, kdy píšu tuto diplomovou práci, zaměstnán ve firmě ESB Rozvaděče, a.s., která disponuje jednou z nejmodernějších práškových lakovacích linek a zajištění kvality lakovaných dílů je pro firmu samozřejmě prioritou, bylo pro mě téma kvality osvětlení pracovišť jasnou volbou.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 OSVĚTLENÍ

## 1.1 Úvod do osvětlení

Převážná většina všech lidských aktivit je spjata s vykonáváním zrakového úkonu nebo alespoň se získáváním informací pomocí zraku. [1]

Životní prostředí člověka zásadně ovlivňují faktory, k nimž odborníci kromě vody, vzduchu, půdy a tepla řadí i světlo. Světlo svým působením na okolní prostředí vyvolává v člověku řadu psychologických a fyziologických reakcí. Z toho důvodu se mluví o tom, že nedílnou součástí životního prostředí člověka je jisté *světelné prostředí*, někdy nazývané také jako *světelné mikroklima*. Problematikou světelného prostředí a jeho vlivem na lidský organismus se zabývá stále více odborníků. Jedná se zejména o odborníky z oblasti psychologie, fyziologie, hygieny, světelné techniky, biologie a specialisty z oblasti techniky prostředí. [2]

Odborníci v oblasti fyziologie se zabývají výzkumem a studiem působení světla na lidský organismus nejen z hlediska zrakové funkce, ale také z hlediska působení na oběhové ústrojí člověka, činnost mozku, rovnováhu, kožní odpor atd. [2]

Psychologická oblast výzkumu se zabývá zejména problematikou samotného procesu vidění a orientací zorného pole. [3]

Poznatky z těchto výzkumů pak slouží oboru *světelná technika*, což je nauka o vzniku světla a o jeho využití pro uspokojování různých potřeb člověka. Světelná technika má za úkol při daných technických, energetických a ekonomických podmínkách zajišťovat tvorbu co nejlepšího světelného mikroklimatu, a tím podstatně přispívat k vytváření zdravého životního prostředí. To se týká nejen pracovišť, ale také obytných prostor, společenských a veřejných zařízení jako jsou nemocnice, školy či kulturní prostory. Světelná technika dnes již neodmyslitelně patří k lidskému životu moderní civilizované společnosti. [2, 4]

Lidské činnosti zabývající se tvorbou požadovaného světelného mikroklimatu se říká *osvětlování*. Výsledkem této činnosti je jisté *osvětlení*, které definujeme jako stav předmětů charakterizovaný množstvím světelné energie dopadajícím na objekty, směrem dopadu světla, stupněm jeho rozptýlení a dalšími ukazateli. [2]

Dostatek osvětlení nejen při práci, ale při všech lidských činnostech, považují odborníci za velice důležitou podmínku existence člověka na Zemi. Světlo je sice „pouhým“ prostřed-

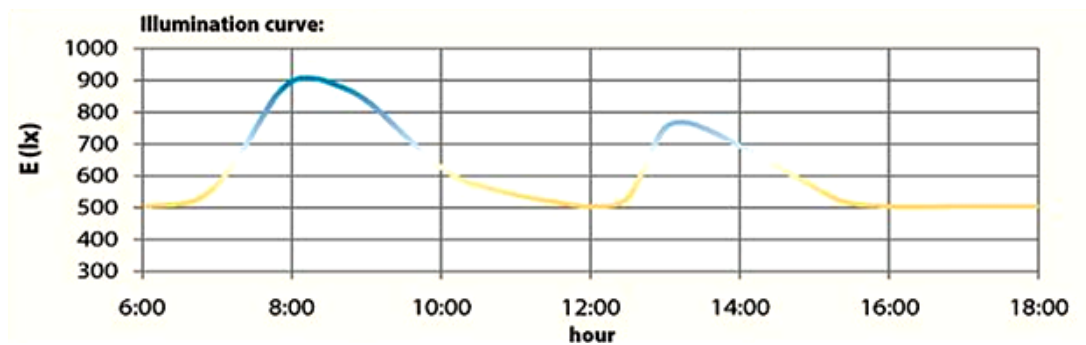
kem umožňujícím pomocí zraku získávat informace, které jsou výsledkem složitých interakcí mezi pozorovanými předměty a zrakovým systémem člověka, to ale v žádném případě neubírá na jeho důležitosti. Procento využití zrakového systému se u různých lidských činností liší, u žádné z nich ale zraková složka nechybí. Existuje také mnoho činností, u kterých je využití zrakového systému naprosto klíčové. [2]

Při hodnocení konkrétního případu osvětlení prostor a jeho vhodnosti vůči vykonávané činnosti je nezbytné vycházet z fyziologie zrakového systému a brát v úvahu i psychologické aspekty zrakového vjemu. Při návrhu a vymezování požadavků na osvětlení nelze brát v úvahu pouze dílčí funkce zraku, jako jsou například akomodace či adaptace, neboť jednotlivé funkce zraku popisují skutečný stav osvětlení jen velice omezeně. Abychom byli schopni navrhnout osvětlení, které bude v daném prostoru vytvářet pro dosažení požadovaného zrakového výkonu ty nejlepší podmínky, je nezbytné uvažovat o osvětlovaném prostoru komplexně. Například se musíme zabývat spektrálním složením přítomného světla, barevností osvětlovaného prostoru, stínivostí či oslnivostí osvětlení a dalšími různými aspekty včetně zdravotního stavu člověka. [2]

Studiu zrakového systému, procesu vidění a vlivu světla na lidský organismus se dlouhodobě věnuje velká pozornost po celém světě. V roce 1900 vznikla mezinárodní organizace zabývající se studiem světelné techniky a osvětlování. Tato organizace od roku 1913 nese název Mezinárodní komise pro osvětlování (CIE – Commission internationale de l'éclairage). V rámci činnosti komise CIE se odborníci z členských zemí pravidelně účastní konferencí a zasedání, na kterých si vyměňují své názory a obhajují získané poznatky. Komise pak výsledky svých výzkumů a poznatků zveřejňuje ve svých publikacích. Tyto publikace slouží členským zemím jako podklady k snadnějšímu řešení závažných problémů v oblasti techniky osvětlování. [2]

Na konci 19. století, kdy se žárovky s wolframovými vlákny postupně rozšířily do celého světa, se řešilo spíše jen to, zda je daný prostor alespoň „nějak“ osvětlen. S postupným vývojem společnosti a technologií nároky na osvětlení narůstají a v dnešní době se tak neřeší pouze *kvantita osvětlení*, ale také *kvalita osvětlení*. Ta se zabývá nejen vhodnou směrovostí a stínivostí osvětlení, eliminací oslnění, ale také barevností prostředí, spektrálním složením vyzařovaného světla, atd. V současné době se také řeší možnost regulace osvětlovacích soustav v závislosti na charakteru okamžité činnosti nebo potřeby. [2]

Pro zajímavost si zde ještě v krátkosti uvedme poměrně nový trend v oblasti světelné techniky, tzv. *dynamické osvětlení*. Dynamické osvětlení je speciálním druhem osvětlení, které má za úkol napodobovat přirozený rytmus dne a noci, a tím pozitivně ovlivňovat vnitřní pochody člověka, navozovat pohodu a udržovat člověka v bdělosti a svěžesti. K dosažení uvedených záměrů využívá dynamické osvětlení principu automatické změny teploty chromatičnosti a intenzity světla v průběhu dne, viz obrázek níže. [5]



Obr. 1. Průběh dynamického osvětlení během dne – změny intenzity a barvy světla [22]

Aby bylo možné uspokojovat všechny vzrůstající nároky a požadavky na osvětlení, je bezpodmínečně nutné, aby v oboru osvětlování docházelo k neustálým inovacím. Do procesu výroby světelných zdrojů, svítidel, materiálů a polotovarů se tak neustále zavádí nové moderní technologie. Mezi další inovační trendy patří využití elektronických systémů v předřadných přístrojích světelných zdrojů, zařízeních pro řízení provozu osvětlovacích soustav a taky v soustavách řízení složitých technologických procesů v produkci výrobků světelné techniky. Mezi další cíle patří zvyšování světelného toku získaného z jednotkového objemu zdroje světla, jinými slovy se jedná o *miniaturizaci* zdrojů. Cílem je také rozšířit využití světelných diod, konstruovat efektivnější svítidla s lepšími provozními a užitnými vlastnostmi, atd. [2]

## 1.2 Druhy osvětlení

Druhy osvětlení se dělí na tři základní skupiny: *denní, umělé a sdružené*.

### 1.2.1 Denní osvětlení

Jedná se o přirozený druh osvětlení, jehož zdrojem světla je Slunce, vyskytuje se pouze během dne, v době mezi východem a západem Slunce. Vzhledem k proměnlivé oblačnosti, aktuálnímu ročnímu období a dalším vlivům, se jedná o nestabilní zdroj světla. Při návrhu osvětlení vnitřních prostor budov denním osvětlením je nutno s touto nestabilitou počítat.

Osvětlení je důležité navrhovat tak, aby bylo dosaženo zrakové pohody nejen v případě, kdy je interiér budovy osvětlen přímým slunečním světlem, ale také pro případ, kdy je obloha jasná, polojasná či zatažená. Zrakovou pohodu charakterizujeme kvalitativními a kvantitativními kritérii. Z hlediska kvantitativního je obvykle dostačující stanovit hodnotu denní osvětlenosti při nejméně příznivém stavu venkovního osvětlení, tedy při zatažené obloze v zimě. Z hlediska kvality osvětlení je ale potřeba uvažovat se všemi stavy venkovního prostředí, neboť při jasné obloze a přímém slunečním světle vzniká značné riziko výskytu oslnění. Míru oslnění můžeme obvykle regulovat pomocí žaluzií, slunolamů či dalších podobných zařízení. [1]

### **1.2.1.1 Kvantitativní kritérium denního osvětlení**

Kvantitativní kritérium udává informaci o tom, do jaké míry, tedy jakým množstvím světla, je sledovaná plocha osvětlena. Aby bylo dosaženo zrakové pohody v osvětlovaném prostoru, je nutné zajistit přístup dostatečného množství denního světla.

Kvantitativní kritérium světelného stavu interiéru budov je charakterizováno činitelem denní osvětlenosti  $D$  [%], který je definován jako poměr osvětlenosti kontrolní roviny v interiéru k současné osvětlenosti vodorovné roviny v exteriéru:

$$D = \frac{E}{E_h} \cdot 100 \quad (1)$$

kde  $E$  [lx] je naměřená osvětlenost v kontrolním bodě dané roviny v interiéru,  $E_h$  [lx] je osvětlenost nezastíněné venkovní vodorovné roviny. [11]

### **1.2.1.2 Kvalitativní kritéria denního osvětlení**

Aby byla v daném místě zajištěna zraková pohoda, je nutné zajistit přístup světla nejen v dostatečné kvantitě, ale také kvalitě. [1]

Mezi kvalitativní kritéria patří:

- *Rovnoměrnost denního osvětlení*  $r$  – podíl minimální a maximální hodnoty činitele denní osvětlenosti měřené na vodorovné pracovní ploše v interiéru. [1]

$$r = \frac{D_{min}}{D_{max}} \quad (2)$$



- *Rozložení světelného toku* – jeho směrovost a difuzivita. Směr osvětlení se snažíme volit tak, aby byl v souladu s povahou vykonávané zrakové činnosti a zároveň nebyl příčinou stínění. Obvykle se upřednostňuje osvětlení zleva či zleva a zepředu.
- *Rozložení jasů ploch v zorném poli* – toto kritérium souvisí s fototropickým reflexem, což je vlastnost zrakového orgánu, při které se zrak podvědomě snaží obracet pozornost na nejjasnější a nejkontrastnější místo v zorném poli. Eliminací rušivých kontrastů a jasů v zorném poli můžeme výrazně napomoci k soustředění pozorovatele na předměty zrakového úkolu.
- *Zábrana oslnění* – řeší se vhodné umístění osvětlovacích otvorů, použití pevných či pohyblivých zařízení, která regulují množství přímého slunečního světla.
- *Barevné řešení ploch interiéru* – barva povrchu má vliv na odrazivost (resp. pohltivost) světla v uzavřeném prostoru, což ovlivňuje množství přítomného světla. Mimo jiné mají barvy vliv i na emoční stavy a prožitky člověka. [1]

Co se týče působení na člověka a jeho biorytmy, je denní osvětlení přirozeně tím nejvhodnějším typem osvětlení. Využití denního osvětlení je také v určitých mezích ekonomicky výhodné. To je ale úzce spjato s celkovou energetickou bilancí daného prostoru, neboť jsou-li osvětlovací otvory nadměrně velké, pak způsobují tepelné ztráty v zimním období a v letním období zhoršují tepelnou pohodu kvůli nadměrné tepelné zátěži. [3]

### 1.2.2 Umělé osvětlení

Umělé osvětlení je takový druh osvětlení, který vzniká přeměnou jiného druhu energie (např. elektrické či chemické). Tento druh osvětlení slouží jako náhrada denního osvětlení a má za cíl vytvářet a zlepšovat zrakovou pohodu člověka, v některých případech denní osvětlení pouze vhodně doplňuje (viz **Sdružené osvětlení** na straně 19). [12]

Je-li ve vnitřních prostorách denního světla nedostatek, slouží soustavy umělého osvětlení k zajištění předepsaných světelných podmínek. Umělé osvětlení může sloužit například i jako nouzové osvětlení v případě výpadku napájení hlavní osvětlovací soustavy. [2]

Umělé osvětlení se dělí podle napájecího zdroje a provozního účelu následovně:

**Normální osvětlení** – při bezporuchovém stavu napájecího zdroje.

- *Hlavní osvětlení* – slouží pro práci za běžných provozních podmínek.
- *Pomocné osvětlení* – je určené pro pomocné práce mimo hlavní provoz.
- *Bezpečnostní osvětlení* – slouží při poruše technologického zařízení.

**Poruchové osvětlení** – při poruše napájecího zdroje normálního osvětlení. Poruchové osvětlení je napájeno z náhradního zdroje.

- *Náhradní osvětlení* – při poruše hlavního osvětlení umožňuje dále pokračovat ve vykonávané práci.
- *Nouzové osvětlení* – slouží při selhání dodávky elektrické energie z rozvodné soustavy. Osvětluje únikové cesty a důležitá manipulační místa, a zajišťuje tak v případě nouze bezpečný odchod osob z daného prostoru. [6]

Umělé osvětlení můžeme dále dělit z hlediska druhu osvětlovaných prostor na *vnitřní* a *venkovní osvětlení*. Umělé osvětlení lze dělit z mnoha dalších hledisek, ta však budou podrobněji rozebrána až v dalších kapitolách této diplomové práce.

Podobně jako denní osvětlení, tak i umělé osvětlení lze hodnotit za pomoci kvantitativních a kvalitativních kritérií.

#### **1.2.2.1 Kvantitativní kritérium umělého osvětlení**

Kvantitativní kritérium umělého osvětlení nám dává informaci o tom, jaké množství světla dopadá na pozorovanou plochu, mluvíme tedy o intenzitě osvětlení. Intenzita osvětlení se měří za pomoci přístroje, který se nazývá luxmetr. Jednotkou intenzity osvětlení je lux (lx). Naměřená intenzita osvětlení je poté porovnávána s normovanými hodnotami, které jsou pro případ vnitřních pracovních prostor uvedeny v ČSN EN 12464-1. [9]

#### **1.2.2.2 Kvalitativní kritéria umělého osvětlení**

Kvalitativní kritéria umělého osvětlení jsou v podstatě obdobu kritérií, která byla uvedena u denního osvětlení, viz následující:

- *Rovnoměrnost umělého osvětlení  $r$*  – což je poměr mezi minimální hodnotou intenzitou osvětlení ( $E_{min}$ ) a maximální hodnotou intenzity osvětlení ( $E_{max}$ ) naměřenou na pracovní či srovnávací rovině.

$$r = \frac{E_{min}}{E_{max}} \quad (3)$$

- *Rozložení světelného toku* – zabývá se vhodnou směrovostí a rozptýlením světla.
- *Rozložení jasů ploch v zorném poli* – stejně jako u denního osvětlení je i u umělého osvětlení snahou eliminovat příliš kontrastní a jasná rušivá místa, a napomoci tak pozorovateli k lepšímu soustředění na daný zrakový úkon.

- *Zábrana oslnění* – při umělém zdroji světla je vždy potřeba zabránit vznikajícímu oslnění, je proto nutné konstruovat a volit svítidla s vhodným úhlem clonění, správně volit jejich rozmístění, atd.
- *Barva světla a podání barev* – barva umělého světla a jeho spektrální složení je jiné než u denního světla. Při navrhování umělého osvětlení volíme světelné zdroje tak, aby vyhovovaly nejen barvou světla, ale také aby bylo jejich podání barev osvětlovaných předmětů co nejlepší. [6]

### 1.2.3 Sdružené osvětlení

Sdružené osvětlení je kombinací dvou předchozích druhů osvětlení. Jedná se o případ osvětlení, při kterém jsou vnitřní prostory osvětlovány denním osvětlením a zároveň vhodně doplněny osvětlením umělým (např. jídelny, šatny, koupelny, zasedací místnosti, apod.). [11]

Cílem sdruženého osvětlení je zajistit požadovanou úroveň osvětlenosti v místech, kde pro daný zrakový úkon není osvětlenost samotným denním osvětlením dostačující. Typicky se jedná o prostory, kde jsou místa zrakového úkonu situována daleko od oken nebo místa zastíněná vybavením interiéru (nábytek, stěny, dekorace, atd.). [2]

Z hlediska dlouhodobého působení na lidský organismus nemá sdružené osvětlení tak dobré psychofyziologické účinky jako osvětlení denní, má ale jistě příznivější vliv než pouhé osvětlení umělé. [2]

Sdružené osvětlení můžeme rozdělit pomocí dvou jednoduchých kritérií následovně. [11]

Podle doby používání:

- *Přechodné* – osvětlení se používá jen po určitou část dne (např. při svítání a soumraku).
- *Trvalé* – osvětlení se používá během celého dne.

Podle rozmístění svítidel po prostoru:

- *Místní* – přisvětluje pouze vybranou část prostoru, kde pro daný zrakový úkol není požadovaná úroveň osvětlení zajištěna z denního světla.
- *Celkové* – přisvětluje celý prostor nebo jeho podstatnou část, a tím přispívá k zajištění zrakového pohody. [11]

Pokud navrhujeme sdružené osvětlení, je dobré zvolit takový zdroj světla, jehož spektrální složení se blíží dennímu světlu. Vhodnými svítidly jsou např. bílé zářivky. Při návrhu sdruženého osvětlení je důležité dbát na to, aby bylo v místě zraťového úkonu dosaženo rovnoměrného osvětlení požadované úrovně, vhodného rozložení světelného toku a vyhovujících jasů a kontrastů ploch. Důležité je také předcházet (nebo v případě vzniku eliminovat) oslnění jak přímým slunečním světlem, tak světlem odraženým.

### 1.3 Význam umělého osvětlení

Jak již bylo v úvodu práce zmíněno, světlo má pro člověka velký význam nejen z hlediska úrovně životního prostředí, ale také z hlediska úrovně pracovního prostředí. [7]

Umělé osvětlení – stejně jako jakýkoli jiný druh osvětlení – má vliv na biologické, psychologické a fyziologické pochody lidského organismu. Umělé osvětlení je náhradou denního světla, může denní osvětlení buď vhodně doplňovat (tj. sdružené osvětlení), nebo jej může zcela nahradit. [1]

#### 1.3.1 Psychofyziologický vliv světla a osvětlení

Vývoj člověka probíhal již od dávných dob za pravidelného střídání dne a noci. Toto střídání vyvolává v lidském organismu nejrůznější psychické a fyziologické procesy a změny. Jinými slovy se jedná o tzv. cirkadiánní rytmus (to je odvozeno od latinského *circa diem*, tedy proces trvající přibližně jeden den). Tento cirkadiánní rytmus řídí naše vnitřní pochody, a tím je náš organismus v určitou část dne více aktivní a bdělý, či se naopak vlivem uvolňování melatoninu (tj. „spánkový hormon“) připravuje ke spánku. [16]

Denní světlo má na psychiku člověka významný vliv, to je dáno zejména jeho dynamičností a nepravidelnými změnami během dne. Sluneční záření působí na člověka stimulačně a má jistý aktivační vliv. Umělé světlo je převážně monotónní, což v lidském organismu vyvolává pocity ospalosti, únavy, poklesu výkonnosti, snížení bdělosti a reakční pohotovosti. U nově navrhovaných budov je důležité, aby bylo denní osvětlení dostatečné zejména v prostorech obytných místností bytů, ložnic, učeben, škol, vyšetřoven a obecně v místnostech, ve kterých se lidé zdržují nejdéle. [1, 10]

### 1.3.2 Světlo a bezpečnost práce

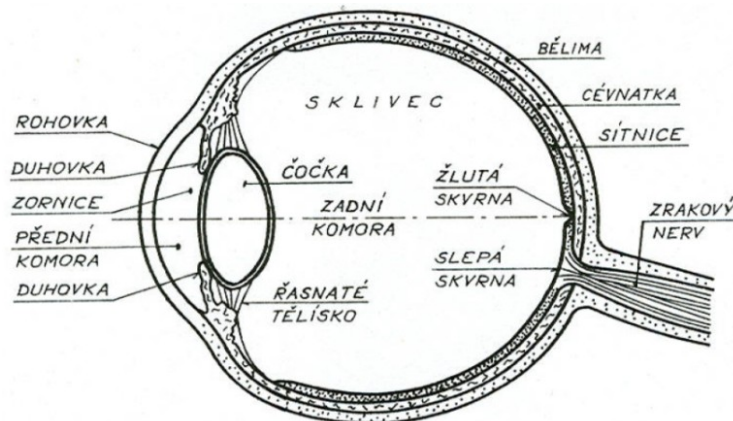
Zaměříme-li svou pozornost na člověka v pracovním procesu tak zjistíme, že zrakové vnímání člověka s jeho okolím (komunikace, pracoviště, stroj, nástroj, předmět práce) značně převládá nad ostatním smyslovým vnímáním. Literatura uvádí, že vnímání zrakově se děje až ve výši 80 %. Uvážíme-li, že člověk v pracovním procesu stráví minimálně 340 dní v roce po dobu 8 hodin denně, pak má jednoznačně význam se kvalitou osvětlení zabývat. Vliv špatného osvětlení se na člověka a bezpečnost práce projevuje přímo i nepřímo. Přímo se projevuje například tak, že vlivem vysokého oslnění znemožňuje pracovníkům adaptaci jejich zraku, a tím zvyšuje riziko možného úrazu. Zvýšené riziko úrazovosti je samozřejmě také při nedostatku světla, kdy zdroje rizika úrazu zůstávají skryta (resp. jsou nedostatečně osvětlena). Další z příčin vzniku úrazu může být přítomnost tzv. stroboskopického efektu, což je nebezpečný optický klam, který způsobuje to, že se nám rotující se předmět jeví jako by nerotoval, či rotoval opačným směrem. Tento jev známe například při pohledu na jedoucí automobil, kdy se nám za určitých podmínek rychlosti pohybu vozidla a vlivu přítomného osvětlení jeví kola automobilu jako by se otáčela proti směru pohybu jízdy. [7]

Nepřímo se špatné osvětlení projevuje například zvýšenou tělesnou či duševní únavou pracovníků, sníženou pozorností, což má za následek zvýšení rizikovosti úrazu, snížení přesnosti práce, atd. Literatura uvádí, že až 25 % pracovních úrazů má spojitost s nevhodným osvětlením pracoviště. Je-li ale osvětlení pracoviště vyřešeno dobře, pak se riziko úrazovosti snižuje, zvyšuje se bezpečnost práce, zrychluje se zrakové vnímání, a tím dochází i ke zrychlení samotného pracovního procesu. Je důležité nezapomínat také na to, že oko je velmi těsně spjata s nervovou soustavou. To znamená, že zraková únava se ve finále může projevit únavou celého organismu. [7, 8]

## 1.4 Zrak a vidění

Chceme-li osvětlení prostor efektivně navrhovat a využívat, pak je potřeba se alespoň do určité míry seznámit se základními funkcemi zraku, jeho anatomii a fyziologií a samotným procesem vidění. Proto bude těmto základům věnováno alespoň několik následujících stran. Zrakový systém je komplexní soubor orgánů, které slouží ke zpracování světelné informace z okolního prostředí do výsledné podoby zrakového vjemu. Tento zrakový systém můžeme rozdělit do tří hlavních částí. Je to část periferní (oči člověka), spojovací (zrakové nervy) a centrální (zraková centra v mozku). [2, 4]

### 1.4.1 Zrakový orgán



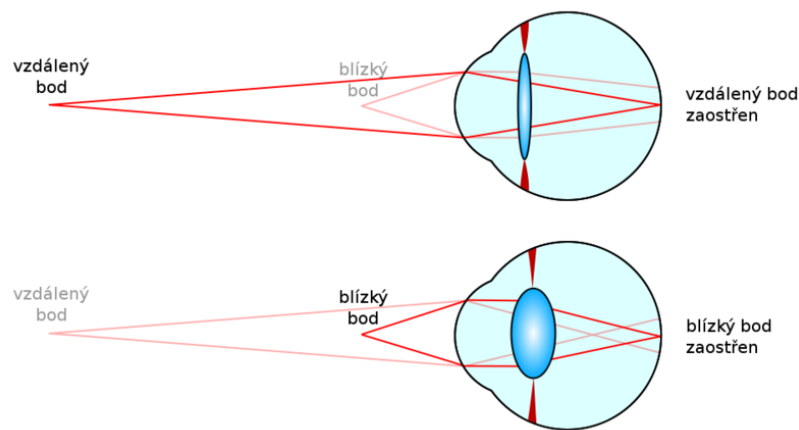
Obr. 2. Stavba oka [23]

Do oka vstupuje světelný paprsek přes *rohovku*, *přední komoru*, *duhovku* a *čočku*, na které dochází k jeho lomu. Paprsek pak dále putuje přes *sklivec* a nakonec dopadá na *sítnici*, kde dochází k řadě fotochemických reakcí, které vyvolávají nervové vzruchy. Tyto vzruchy pak putují *zrakovými nervy* až do mozku, který je zpracovává. [4]

Jakýmsi senzorem a převodníkem světelné energie na energii elektrickou jsou buňky zvané *tyčinky* a *čípky*. Tyto receptory jsou nerovnoměrně uloženy na sítnici. Tyčinky zprostředkovávají pouze vnímání světelných podnětů při nočním vidění, vidění je nebarevné a neostré, jde tedy o pouhé vnímání kvantity světla. Čípky naopak zprostředkovávají pouze vnímání barevných podnětů při denním vidění, vidění je barevné a ostré. Barevné vidění vzniká pouze při denním vidění a je to takový druh vidění, při kterém je pozorovatel schopen rozlišovat alespoň 160 barevných tónů. [1, 4, 6]

### 1.4.2 Akomodace a adaptace

*Akomodace* je schopnost oka přizpůsobit lomivost optických prostředí oka pro umožnění vidění do blízka či do dálky změnou zakřivení čočky, které je vyvoláno příslušnými stahy řasnatého tělíska. Díky tomu dochází ke změně ohniskové vzdálenosti oka, případně její převrácené hodnotě nazývané *optická mohutnost*, která se měří v dioptriích. Nejbližší bod, který je plně akomodované oko schopno vidět ostře, se nazývá *blízký bod*. Analogicky k tomu existuje tzv. *vzdálený bod*, což je nejbližší bod, který je plně akomodované oko ještě schopno vidět ostře. [2]



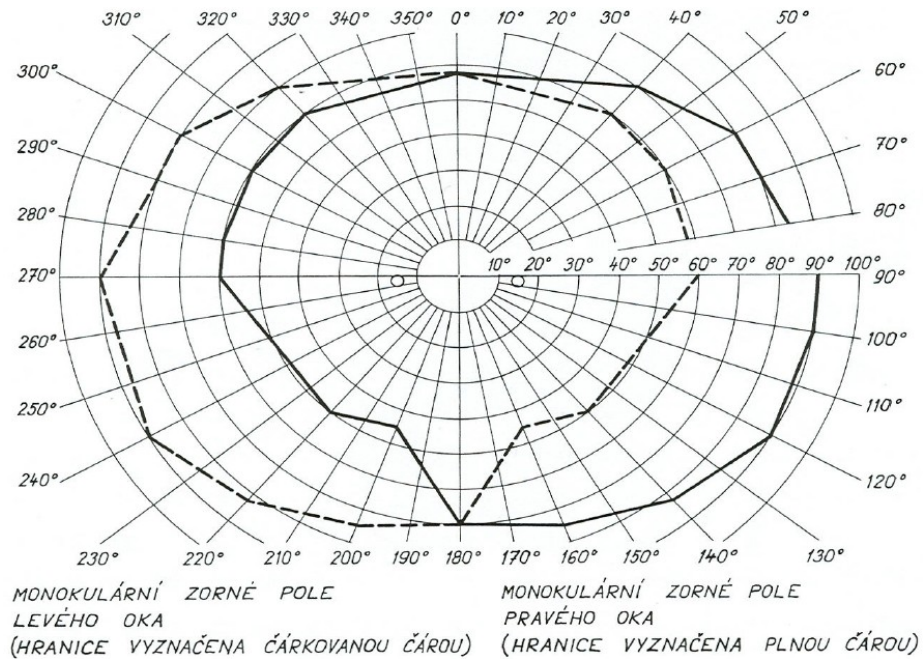
Obr. 3. Akomodace oka [24]

Na Obr. 3 vidíme, jak se příslušnými stahy řasnatého tělíska mění zakřivení čočky, a tím dochází ke změně ohniskové vzdálenosti (resp. vstupující paprsek se po průchodu čočkou v případě vzdáleného bodu láme jinak než v případě bodu blízkého). [2]

*Adaptace* je schopnost zrakového systému přizpůsobit svoji citlivost vůči změnám jasu a barevnosti pozorovaného okolí, bavíme se tedy o jakémsi „přeladění“ systému. *Adaptace* je dvojího druhu, a to *adaptace na tmou* a *adaptace na světlo*. Mezi adaptační mechanismy patří tzv. *fotopupilární reflex* (změna průměru zornice) a *nervová* a *fotochemická adaptace* sítnice. Jednotlivé adaptační mechanismy se mezi sebou ovlivňují a kombinují. [10]

### 1.4.3 Zorné pole

Zafixujeme-li oči do jednoho určitého místa v prostoru, promítne se nám na sítnici jeho obraz. Přímka, která prochází středem sítnice a fixačním bodem se nazývá *osa zorného pole*. Zorné pole můžeme definovat jako průmět pozorovaného prostoru do roviny kolmé na danou osu fixace zraku. Tvar zorného pole je nepravidelný a pro každé oko jiný, to je dáno tvarem obličeje pozorovatele (resp. tvarem lící, nosu a čela). Díváme-li se oběma očima zároveň, pak se zorná pole levého a pravého oka ve střední části překrývají a tvoří tzv. *binokulární zorné pole* (viz Obr. 4). Střední část binokulárního zorného pole má rozsah od osy okolo 60°. [10]



Obr. 4. Binokulární a monokulární zorná pole pro bílé světlo – poloha očí je vyznačena malými kroužky [25]

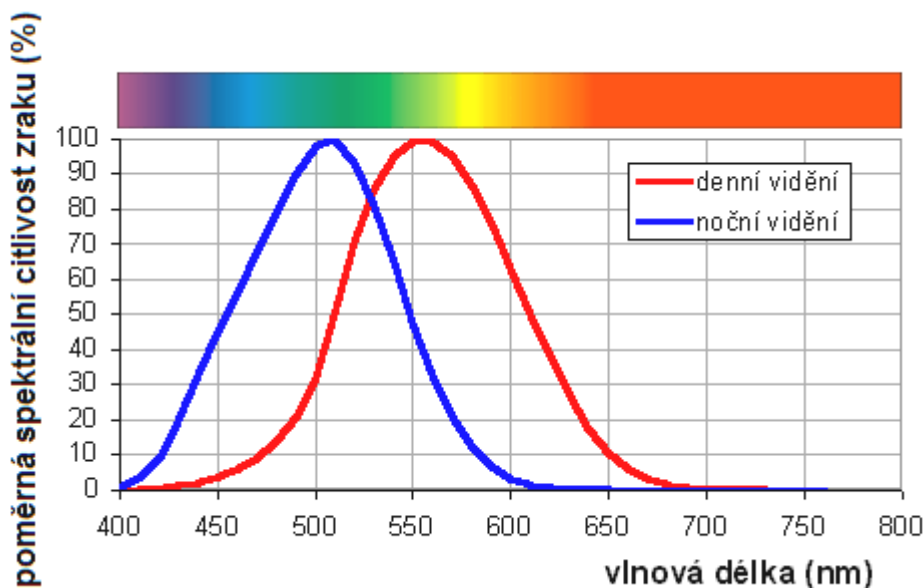
#### 1.4.4 Rozlišovací schopnost

Rozlišovací schopnost zraku (resp. zraková ostrost) je jedním z nejdůležitějších ukazatelů funkčního stavu zrakového systému pozorovatele. Je definována jako schopnost pozorovatele rozeznat od sebe dva různé body. To znamená, že nám dva body nesplývají v jeden, ale že vidíme a rozlišujeme skutečně body dva. Rozlišovací schopnost je přímo závislá na světelných podmínkách, to znamená, že při jejich zlepšení roste zraková ostrost pozorovatele. [10]

#### 1.4.5 Spektrální citlivost zraku

Zrakový orgán není na záření různých vlnových délek citlivý stejně. Průběh této závislosti a hranice viditelnosti se u různých osob liší. Při dobrém osvětlení – tedy v případě denního vidění – je největší citlivost oka určena citlivostí čípků a pohybuje se okolo 555 nm. V případě nedostatečného osvětlení a nízkých hladin jasu – při nočním vidění – je největší citlivost oka určena citlivostí tyčinek a pohybuje se okolo 507 nm. [2]





Obr. 5. Křivky poměrné spektrální citlivosti zraku v závislosti k záření různých vlnových délek [27]

#### 1.4.6 Zraková pohoda

Zraková pohoda je definována jako příjemný psychofyziologický stav potřebný pro účinnou práci a odpočinek. Nejedná se tedy pouze o pocit, jak bychom se mohli mylně domnívat, ale skutečně jde o *stav organismu* vytvořený vnějšími fyzikálními vlivy, je to tedy určitý fyziologický adaptační stav. [10]

Zraková pohoda je ovlivněna nejen kvantitou a kvalitou přítomného světla, ale také dalšími vlivy okolního prostředí. Mezi tyto vlivy patří například architektonické řešení daného prostoru, jeho barevnost a jiné. Negativně na zrakovou pohodu působí stres, hluk, nepořádek na pracovišti, chlad či nadměrné teplo, nebo také nepříjemné proudění vzduchu. Pozitivní vliv má čisté a klidné prostředí, dobrá nálada, radost z dobře vykonané práce, atd. Proto je vždy důležité v daném prostoru dle jeho účelu a předpokládané činnosti lidí vytvořit vhodné světelné prostředí, tzv. *světelné mikroklima*. [2, 10]

#### 1.4.7 Oslnění

Oslnění je nepříznivý stav zraku, při kterém dochází k narušení zrakové pohody či zhoršení až znemožnění vidění. To nastává tehdy, je-li v zorném poli pozorovatele předmět s velmi silným jasem (vyšším než  $7,5 \cdot 10^3 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ ) nebo s velmi vysokou svítivostí. [4]

Mírný stupeň oslnění obvykle pozorovatel nezpozoruje, nebo na něj neklade velký důraz. Je ale potřeba si uvědomit, že působí-li na zrakový orgán byť jen nepatrné oslnění dlouhodobě, pak jej lze považovat za jednu z příčin nadbytečné únavy, neboť má na zrakovou činnost při dlouhodobém působení nepříznivý vliv. [1, 8]

Oslnění může být způsobeno buď světlem přímým, nebo odraženým. Z hlediska psychofyzilogických následků na lidský organismus se oslnění dělí následovně:

**Psychologické oslnění** – oslnění tohoto druhu rozptyluje pozornost pozorovatele od vlastního zrakového úkonu, zhoršuje soustředěnost, a zapříčiňuje tak vznik subjektivního pocitu zrakové nepohody, což vede k nárůstu únavy a ke snížení výkonnosti. Psychologické oslnění nevykazuje z hlediska změn zrakových funkcí žádné měřitelné hodnoty. Tento druh oslnění můžeme dále dělit na:

- *Rušivé* – vyvolává pocit zrakové nepohody, bez snížení zrakových funkcí.
- *Pozorovatelné* – nižší stupeň rušivého oslnění, neodpoutává pozornost pozorovatele. [2]

**Fyziologické oslnění** – jedná se o vyšší stupeň oslnění, u kterého již dochází ke snížení zrakových funkcí, nebo také k omezení či úplnému znemožnění vykonávání daného zrakového úkolu. V krajních případech se může objevit i oslnění oslepující, které znemožňuje vidění i nějakou dobu po jeho zániku či případně může dojít k trvalému poškození zraku pozorovatele. Fyziologické oslnění dále rozlišujeme na:

- *Omezující* – snižuje zrakové funkce, rozlišovací schopnost, ostrost vidění.
- *Oslepující* – nazýváno též jako oslnění absolutní, znemožňuje vidění i po zániku příčiny oslnění. [1, 2]

V ideálním případě by osvětlováním nikdy nemělo docházet ke vzniku jakéhokoli druhu oslnění. Při návrhu a realizaci osvětlení je tak dobré mít na paměti, že svítidla by se měla umísťovat v co nejvyšší možné úrovni a ne před tmavé pozadí. [4]

#### 1.4.8 Směr světla a stínů

Vhodně zvoleným směrem světla (resp. směrem vrženého stínu) můžeme výrazně ovlivnit prostorové vidění a plasticitu pozorovaných objektů. Tím můžeme podstatně napomoci k lepší identifikaci detailů pozorovaných objektů, lepší zrakové orientaci v prostoru, dobremu vidění, atd. Naopak nevhodně zvoleným směrem světla může dojít ke zhoršení prostorové orientace, oslnění pozorovatele apod. [10]

## 1.5 Fyzikální podstata světla

Světlo je elektromagnetické záření, což je ve své podstatě přenos energie prostorem ve formě elektromagnetických vln. V oblasti světelné techniky se však nezkoumá podstata elektromagnetického záření, ale sleduje se rozdělení toků energie při plynulých přechodech mezi uvažovanými částmi prostoru. [2, 6]

Záření je obvykle složeno z několika složek, přičemž každá tato složka se vyznačuje svou frekvencí  $f$  [Hz] (resp. vlnovou délkou  $\lambda$  [m]). Souvislost mezi těmito parametry je dána vztahem:

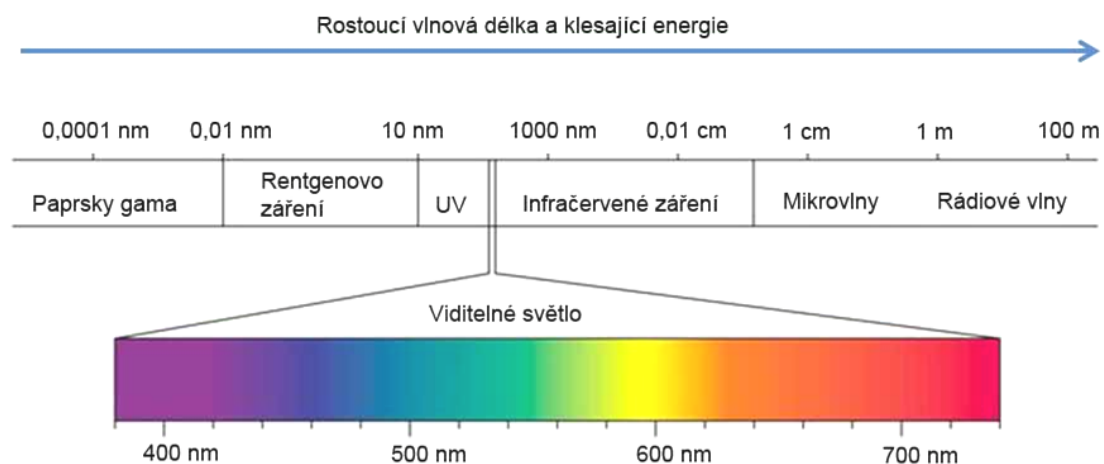
$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (4)$$

kde  $c$  je rychlost světla ve vakuu ( $c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )

Záření, které je tvořeno pouze jednou složkou, se nazývá monochromatické. [2, 6]

### 1.5.1 Elektromagnetické spektrum

Pokud bychom seřadili všechny složky záření podle jejich vlnových délek, získali bychom tzv. elektromagnetické spektrum, které můžeme vidět na *Obr. 6*.

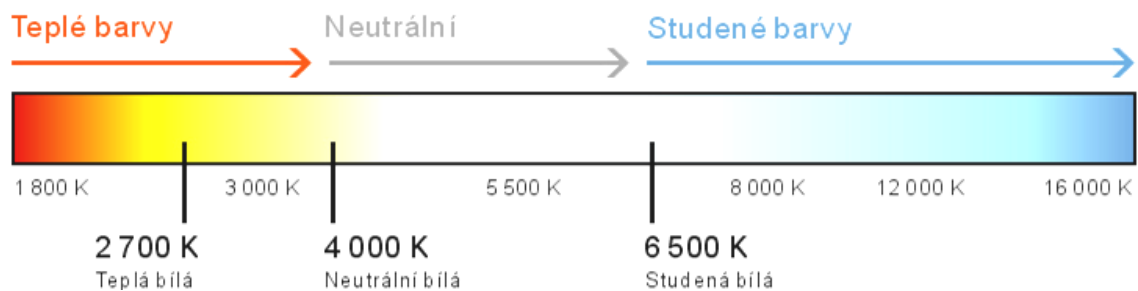


*Obr. 6. Elektromagnetické spektrum [26]*

Na obrázku elektromagnetického spektra si můžeme všimnout, že viditelné záření tvoří pouze velmi úzkou část veškerého záření, které doposud známe. Rozsah viditelného záření se udává přibližně v rozmezí od 380 nm do 770 nm. Viditelné záření je každé optické záření, které je schopné vyvolat zrakový vjem či počitek. [2, 4, 6]

### 1.5.2 Teplota chromatičnosti

Teplota chromatičnosti je vlastnost světla, která udává jeho barvu a uvádí se v jednotkách Kelvin. Platí zde pravidlo, že čím vyšší je teplota chromatičnosti, tím studenější barvu vyzařuje (světlo je bílé až modré). Naopak čím nižší je teplota chromatičnosti, tím vyzařuje barvu teplejší (světlo je žluté až červené). [2, 6]



Obr. 7. Orientační barevné znázornění teploty chromatičnosti [27]

Barva vyzařovaného světla má vliv na psychiku člověka:

- *Teplé barvy (2700 až 4000 K)* – navozují příjemnou atmosféru, klid a pohodu, jsou tedy vhodné spíše do obývacích pokojů, ložnic, atd.
- *Studené barvy (6500 až 8000 K)* – podporují soustředění a zvyšují produktivitu, jsou vhodné do kanceláří, výrobních hal, atd.

### 1.5.3 Podání barev

Vjem barvy sledovaného předmětu je podmíněn spektrálním složením záření zdroje, který předmět osvětluje. Proto Mezinárodní komise pro osvětlování zavedla tzv. *index podání barev*  $R_a$ , který vyjadřuje stupeň shodnosti vjemu barvy předmětů osvětlovaných uvažovaných zdrojů světla a barvy předmětů osvětlených smluvním zdrojem světla za přesně definovaných podmínek. Hodnota  $R_a$  bývá uvedena buď přímo na světelném zdroji, nebo v jeho technickém listu. Index podání barev může nabývat hodnot od 0 do 100. V teoretickém případě světelného zdroje, který by měl nulový index podání barev ( $R_a = 0$ ), bychom barvy nerozeznali vůbec. Naopak světelný zdroj s nejvyšším možným indexem podání barev ( $R_a = 100$ ) by byl ideálním zdrojem světla, který by zajišťoval naprosto věrné a přirozené podání barev. [2]



Obr. 8. Porovnání různých indexů podání barev [28]

$CRI$  (Colour Rendering Index) =  $R_a$  (index podání barev)

## 1.6 Základní světelné veličiny

Pro pochopení dané problematiky je potřeba nejdříve vysvětlit význam používaných veličin, které nám pomáhají posoudit vlastnosti a kvalitu osvětlení. [10, 12]

### 1.6.1 Zářivý tok

*Zářivý tok*  $\phi_e$  [W] je definován jako výkon vysílaný, přijímaný či přenášený zářením. Jinými slovy se jedná o množství zářivé energie  $Q_e$  [W·s] přenesené tokem fotonů za jednotku času  $t$  [s]. [10, 12]

$$\phi_e = \frac{dQ_e}{dt} \quad (5)$$

### 1.6.2 Světelný tok

*Světelný tok*  $\phi$  [lm] je fotometrická veličina vyjadřující schopnost zářivého toku způsobit zrakové vnímání. Je to veličina odvozená z hodnoty zářivého toku  $\phi_e$ . K přepočtu zářivých veličin na fotometrické a naopak nám slouží tyto dvě rovnice. [10, 12]

$$1 \text{ lm} = 147 \cdot 10^{-5} \text{ W} \quad (6)$$

$$1 \text{ W} = 680 \text{ lm} \quad (7)$$

Jednotkou světelného toku je *lumen* (lm). Jedná se o světelný tok emitovaný rovnoměrným bodovým zdrojem o svítivosti 1 kandely (cd) do jednotkového prostorového úhlu 1 steradián (sr). [10]

$$1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \cdot \text{sr} \quad (8)$$

### 1.6.3 Osvětlenost

Osvětlenost neboli *intenzita osvětlení*  $E$  [lx] je fotometrická veličina definována jako poměr světelného toku  $d\phi$  [lm] dopadajícího na elementární plochu  $dS$  [m<sup>2</sup>] a velikosti této plochy. [10]

$$E = \frac{d\phi}{dS} \quad (9)$$

Jednotkou osvětlenosti je *lux* (lx) a je definována jako podíl jednotky světelného toku (1 lumen) na plochu o velikosti 1 čtverečního metru. [10]

$$1 \text{ lx} = 1 \text{ lm} \cdot \text{m}^{-2} \quad (10)$$

### 1.6.4 Prostorový úhel

*Prostorový úhel*  $\Omega$  [sr] je úhel, ve kterém se z určitého elementárního zdroje v prostoru šíří svazek paprsků a je definován tímto vztahem:

$$\Omega = \frac{S_r}{r^2} \quad (11)$$

kde  $S_r$  [m<sup>2</sup>] je plocha, kterou na povrchu koule o poloměru  $r$  [m] se středem v elementárním zdroji vytkne kuželová plocha, ve které se šíří světelné paprsky z elementárního zdroje. [12]

### 1.6.5 Světelné množství

*Světelné množství*  $Q$  [lm·s] je veličina, která se využívá pro ekonomické zhodnocení zdrojů světla. Jinými slovy by se dalo říci, že se jedná o určitou světelnou práci neboli světelný výkon. [12]

$$Q = \int_0^t \phi \cdot dt \quad (12)$$

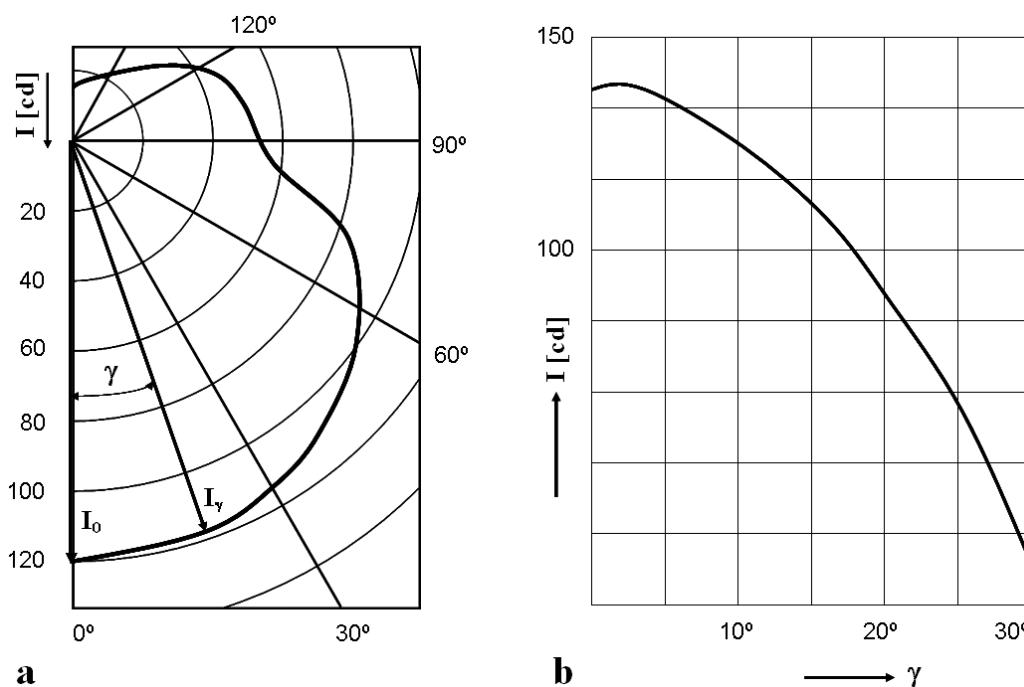
### 1.6.6 Svítivost

Svítivost  $I$  [cd] – svítivost zdroje v daném směru je dána podílem světelného toku  $d\phi$ , který vyzařuje ve směru osy elementárního prostorového úhlu  $d\Omega$  a velikostí tohoto prostorového úhlu:

$$I = \frac{d\phi}{d\Omega} \quad (13)$$

Jednotkou svítivosti je 1 kandela [ $\text{cd} = \text{lm} \cdot \text{sr}^{-1}$ ], která se řadí mezi 7 základních jednotek soustavy SI. Svítivost zdroje se obecně v různých směrech liší (vzhledem k úhlu  $\gamma$ ), proto se charakterizuje křivkou svítivosti, která bývá uvedena v katalogovém listu každého svítidla. [1, 12]

Křivka svítivosti je řez plochy svítivosti, která prochází světelným středem svítidla. Plochou svítivosti se rozumí taková plocha, která je určena koncovými body všech vektorů svítivosti vycházejících ze světelného středu svítidla. Podle tvaru plochy svítivosti se svítidla dělí na souměrná a nesouměrná. Křivky svítivosti (viz obrázek níže) se zakreslují v polárních či pravouhlých souřadnicích pro zdroj se světelným tokem 1000 lm. [1, 12]



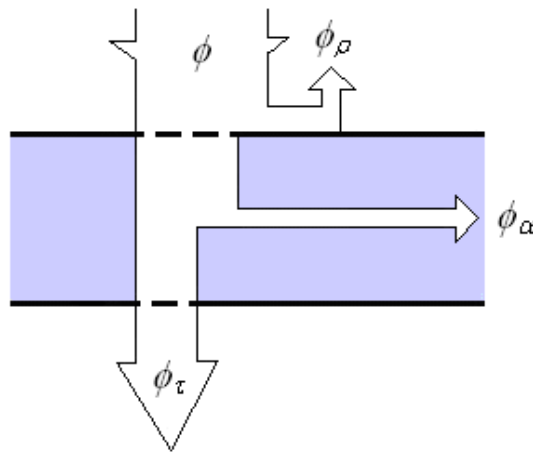
Obr. 9. Křivky svítivosti (a – polární souřadnice, b – pravouhlé souřadnice) [12]

## 1.7 Energetická bilance šíření světelného toku

Při dopadu světelného toku na světelně činnou látku se část toku odrazí, část prostoupí a část bude látkou pohlcena. Obecně tedy platí, že světelný tok  $\phi$  [lm] dopadající na uvažovaný materiál je součtem dílčích světelných toků:

$$\phi = \phi_{\rho} + \phi_{\tau} + \phi_{\alpha} \quad (14)$$

kde  $\phi_{\rho}$  [lm] je část světelného toku, která se odrazí,  $\phi_{\tau}$  [lm] je část světelného toku, která látkou prostoupí a  $\phi_{\alpha}$  [lm] je část světelného toku, kterou látka pohltí. [2]



Obr. 10. Energetická bilance šíření světelného toku přes látku [12]

### 1.7.1 Světelně techničtí činitelé

Světelně technické vlastnosti látek jsou charakterizovány následujícími třemi činiteli, ti jsou odvozeni z výše uvedeného vztahu energetické bilance (14). [2, 12]

*Činitel odrazu*  $\rho$  [-] je podíl světelného toku odraženého od povrchu látky a světelného toku dopadajícího na povrch této látky:

$$\rho = \frac{\phi_{\rho}}{\phi} \quad (15)$$

*Činitel prostupu*  $\tau$  [-] je podíl světelného toku prostoupeného danou látkou a světelného toku dopadajícího na povrch této látky:

$$\tau = \frac{\phi_{\tau}}{\phi} \quad (16)$$



Činitel pohlcení  $\alpha$  [-] je podíl světelného toku pohlceného v látce a světelného toku dopadajícího na povrch této látky:

$$\alpha = \frac{\phi_{\alpha}}{\phi} \quad (17)$$

Vyjádříme-li dílčí světelné toky z předchozích tří rovnic a následně dosadíme do rovnice energetické bilance (14), získáme vztah popisující závislost mezi dílčími světelnými toky v tomto tvaru:

$$\rho + \tau + \alpha = 1 \quad (18)$$

O výše uvedeném vztahu můžeme říci, že je v souladu se zákonem zachování energie. Pro zajímavost si ještě uvedme, že pro dokonale neprůsvitné materiály by platil vztah  $\rho + \alpha = 1$  a pro dokonale černé těleso (materiál pohlcující veškeré dopadající záření) by platilo  $\alpha = 1$ . Hodnoty výše uvedených činitelů závisí na mnoha faktorech a to nejen na barvě materiálu, ale také na jeho struktuře, propustnosti světla, tvaru, atd. Z toho důvodu se tyto hodnoty v praxi neurčují z tabulek, ale vždy se pro daný případ měří. [2, 12]

## 2 SVĚTELNÉ ZDROJE A JEJICH PARAMETRY

Světelnými zdroji nazýváme tělesa, která vyzařují optické zpravidla viditelné záření. Světelný zdroj, který vznikl bez lidského zásahu, nazýváme *přírodním světelným zdrojem* (Slunce, Měsíc, polární záře, blesk, atd.). *Umělý světelný zdroj* je takový zdroj, který byl pro tento účel záměrně zkonstruován (louč, svíčka, petrolejka, plynová lampa, žárovka, výbojka, LED dioda, atd.). Princip umělého světelného zdroje je založený na přeměně určitého druhu energie (chemické, elektrické, biologické, atd.) na energii elektromagnetického záření, tedy světla. [2, 6]

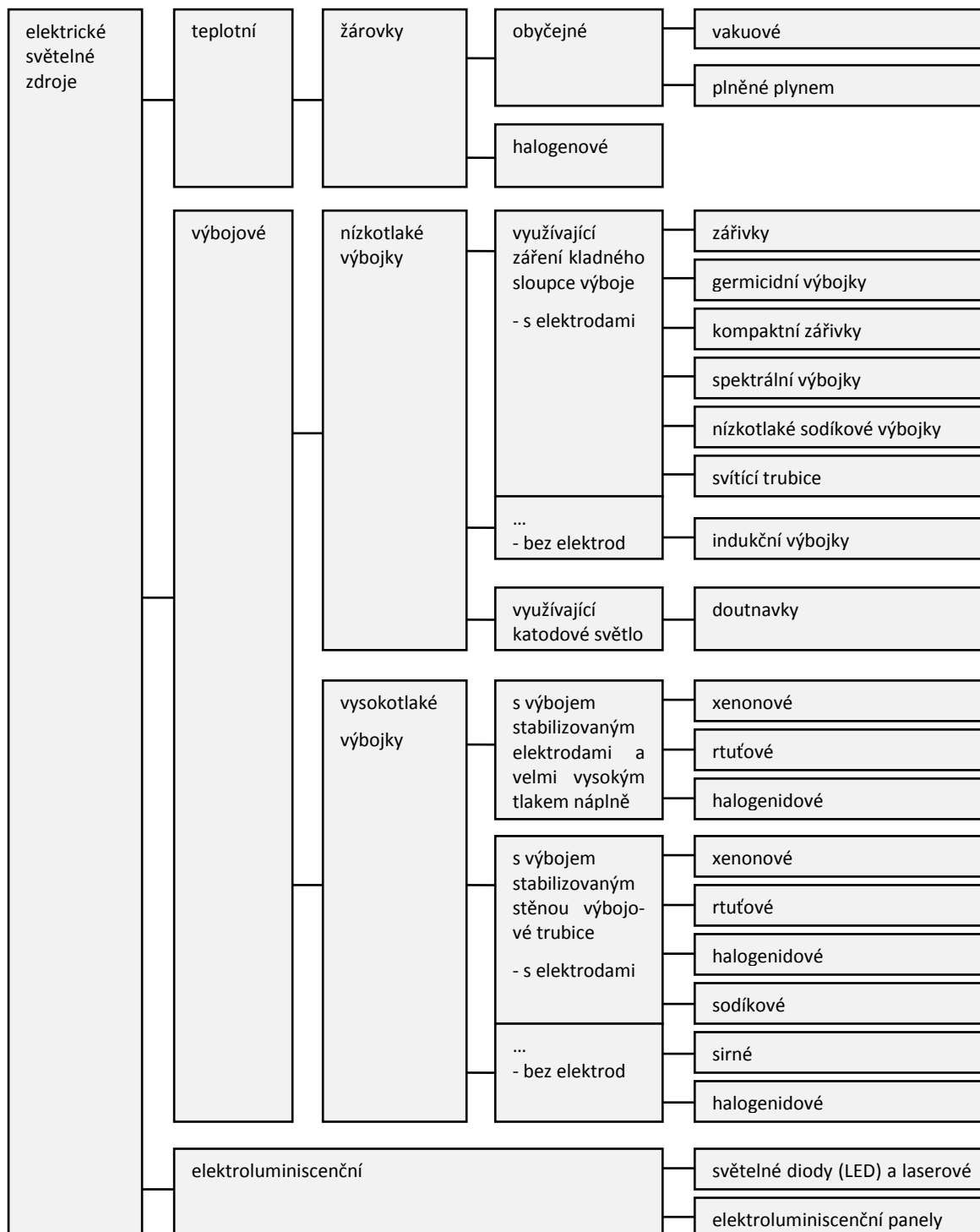
Těleso nebo jeho povrch vyzařující světlo, které vzniklo přeměnou energie v něm samém, se nazývá *primární zdroj světla*. Těleso nebo jeho povrch, které samo světlo nevyzařuje, avšak dopadající světlo šíří dál pomocí své odrazivosti či propustnosti nazýváme jako *sekundární zdroj světla*. [2, 6]

V současné době mají pro osvětlování největší význam světelné zdroje elektrické, které transformují elektrickou energii na světelnou a jsou základem každé osvětlovací soustavy. V oblasti konstrukce světelných zdrojů dochází k neustálým inovacím a k objevům nových zdrojů, které využívají dříve neznámé způsoby generování světla (indukční nízkotlaké a vysokotlaké výbojky). Neustálá inovace probíhá také u již známých zavedených zdrojů světla, dochází ke zlepšování parametrů, zvyšování účinnosti přeměny elektrické energie, zvyšování životnosti svítidel, zlepšování kolorimetrických vlastností, zvyšování spolehlivosti atd. Avšak pozor, větší část teplotních zdrojů světla (obyčejné žárovky) a určitá část výbojových zdrojů (vysokotlaké rtuťové a směšové výbojky) se už blíží svým fyzikálním limitům. To znamená, že inovace jejich parametrů téměř stagnuje, a tak jejich podíl v celkovém množství využívaných zdrojů neustále klesá. [2, 6]

Co se týče ostatních typů světelných zdrojů, tak ty se díky vývoji v oblasti nových materiálů a technologií rozvíjí mnohem rychleji. V současnosti jsou na vzestupu zejména světelné diody LED, halogenidové výbojky s keramickým hořákem a bezelektrodové indukční výbojky. [2, 6]

## 2.1 Rozdělení elektrických světelných zdrojů

V současné době – jak už bylo na předchozí straně uvedeno – mají největší význam světelné zdroje elektrické. Ty se podle způsobu vzniku světla dále dělí na zdroje teplotní (obyčejné a halogenové žárovky), výbojové (zářivky, vysokotlaké rtuťové, směšové a halogenidové výbojky, atd.) a elektroluminiscenční (světelné diody LED). Podrobné rozdělení elektrických světelných zdrojů můžeme vidět na obrázku níže. [6]



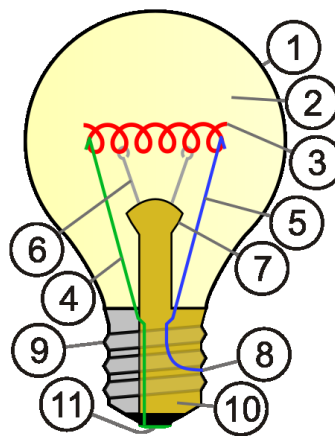
Obr. 11. Rozdělení elektrických světelných zdrojů [2]

### 2.1.1 Teplotní světelné zdroje

Základním principem teplotních zdrojů světla je určitý způsob zahřátí pevné látky. Mezi teplotní zdroje světla se řadí nejen žárovky (obyčejné či halogenové), ale také všechny druhy plamene (oheň, svíčka, louč, apod.). Zdrojem záření je vždy rozžhavená pevná látka. U plamenových zdrojů jsou to drobné částice uhlíku, u žárovek se jedná o kovové vlákno (v dřívějších dobách uhlíkové či platinové, dnes převážně wolframové), které je důsledkem procházejícího elektrického proudu rozžhaveno na vysokou teplotu. Teplotní zdroje jsou charakteristické tím, že světlo z nich vyzařované má spojité spektrum (resp. index podání barev je vysoký). Dále se vyznačují velmi malou účinností, takže v průběhu doby lze u nich sledovat neustále klesající podíl využití v celkové spotřebě světelných zdrojů. [1, 2]

#### 2.1.1.1 Žárovky

V celosvětovém měřítku jsou obyčejné žárovky stále ještě nejpoužívanějším světelným zdrojem. Žárovky patří mezi základní výrobní (resp. prodejní) sortiment řady světových firem. Množství ročně vyrobených žárovek se pohybuje v řádech miliard. [2]



Obr. 12. Konstrukce žárovky [29]

1 – skleněná baňka; 2 – vnitřní prostředí (inertní plyn); 3 – wolframové vlákno; 4, 5 – kontaktní vlákna; 6 – podpůrná vlákna; 7 – skleněný držák; 8 – kontaktní vlákno; 9 – patice; 10 – izolace; 11 – elektrický kontakt

Konstrukce obyčejné žárovky je znázorněna na Obr. 12. Vlastním zdrojem záření je wolframové vlákno, které je svinuté do šroubovice. Tloušťka vlákna se pohybuje v rozmezí od 10  $\mu\text{m}$  do 120  $\mu\text{m}$  v závislosti na výkonu žárovky. Vlákno je ve své poloze zafixováno pomocí přívodů a podpěrných háčků zapíchnutých do čochy tyčinky, která s dalšími skleněnými prvky tvoří tzv. nožku. Nožka s wolframovým vláknem je zatavena

do vnější baňky, která je zhotovena z měkkého skla. Baňky mohou být různé – čiré, barevné, matované, zrcadlené či jinak upravené. Přívod elektrického proudu je zajištěn patičí. Na našem trhu se nejvíce používají patice E27 či E14. Patice je se skleněnou baňkou spojena vakuově těsně, což zajišťuje, že je z vnitřního prostoru baňky vyčerpán vzduch (obvyčejná vakuová žárovka) anebo je tento prostor plněn argonem či kryptonem. [1, 2]

Výhodou obyčejných žárovek je jednoduchá konstrukce, malé rozměry a hmotnost. Výhodou je také to, že se žárovky rozsvítí okamžitě po stisku vypínače, svítí stabilně bez blikání. V neposlední řadě je výhodou také jednoduchý provoz a v případě poruchy žárovky rychlá a snadná výměna. Nevýhodou žárovek je jejich velmi nízká účinnost. U obyčejných vakuových žárovek je to asi 7 % a u žárovek plněných inertním plynem cca 10 %. [1, 2]

### **2.1.1.2 Halogenové žárovky**

Mimo obyčejné žárovky existují také žárovky halogenové, ty se na rozdíl od obyčejných žárovek plní plynem s příměsí halogenů či jejich sloučenin. Aby bylo možné plnit žárovky plynou směsí pod určitým pracovním tlakem, je u tohoto typu žárovek použito sklo s vyšší mechanickou pevností a tepelnou odolností. Rozměry halogenových žárovek jsou zpravidla menší než u obyčejných žárovek. [1, 2]

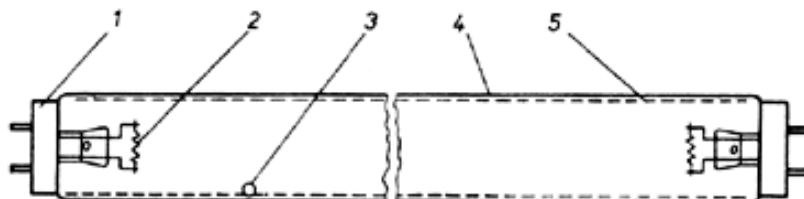
Výhodou halogenových žárovek je přítomnost plynu, díky kterému dochází k pomalejšímu vypařování wolframového vlákna, a tím je vzhledem k obyčejným žárovkám zaručena delší životnost. Halogenové žárovky mají oproti obyčejným žárovkám vyšší účinnost a vyzařují příjemné bílé světlo s teplotou chromatičnosti 2 900 až 3 100 K. Nevýhodou halogenových žárovek je především složitější technologie výroby, a tím pádem i vyšší cena. [1, 2]

### **2.1.2 Výbojové světelné zdroje**

Principem výbojových zdrojů světla jsou elektrické výboje v plynech a parách různých kovů. Tyto zdroje světla využívají přeměnu elektrické energie na kinetickou energii elektronů pohybujících se v uzavřeném výbojovém prostředí. Při srážkách elektronů s atomy plynů a par kovů dochází ke vzniku optického záření. Spektrum záření vznikající u výbojových zdrojů má čárový charakter, takže oproti teplotním zdrojům světla mají obecně horší podání barev. Rozložení spektrálních čar je závislé na složení plyné náplně a na druhu výboje. [1, 2]

### 2.1.2.1 Nízkotlaké – zářivky

Zářivka je nízkotlaká rtuťová výbojka, jejíž princip je založen na vybuzení ultrafialového záření pomocí procházejícího elektrického proudu. Toto neviditelné ultrafialové záření pak prochází přes luminofory, což jsou určité pevné látky nanesené na vnitřním povrchu trubice, kde dochází k přeměně na viditelné světlo. Konstrukce lineární zářivky je znázorněna na obrázku níže. [1, 2]



Obr. 13. Konstrukce lineární zářivky [30]

1 – patice; 2 – elektroda; 3 – rtuť; 4 – skleněná trubice; 5 – luminiscenční povlak

K výhodám zářivek patří vysoká účinnost přeměny elektrické energie na světelnou, dlouhá životnost, vhodné geometrické tvary umožňující navrhovat estetická osvětlení uspořádaná do velkých ploch či pásů. V případě provozu na vysoké frekvenci jsou zářivky schopny eliminovat stroboskopický jev. Nevýhodou zářivek je přítomnost toxické rtuti, což znamená, že se po ukončení jejich životnosti nesmí odnášet do komunálního odpadu, ale musí se likvidovat u organizací tímto pověřených. [1, 2]

### 2.1.2.2 Vysokotlaké – výbojky rtuťové, sodíkové, směšové a další

U vysokotlakých výbojek je princip vzniku světla o něco odlišný. U nízkotlakých rtuťových výbojek je pracovní tlak vznikajících rtuťových par okolo 1 Pa. U vysokotlakých výbojek je pracovní tlak rtuťových par logicky vyšší, tím ale dochází k posunu vyzařované energie směrem k vyšším vlnovým délkám. Z ultrafialového neviditelného záření tak vzniká velmi intenzivní záření modrozelené barvy, to však kvůli absenci červené složky není pro všeobecné osvětlení vhodné. Pro lepší podání barev se doporučuje například kombinace se světlem z žárovek nebo nahrazení rtuti vhodnějším prvkem. [1, 2]

### 2.1.3 Elektroluminiscenční světelné zdroje

Základním principem elektroluminiscenčních zdrojů světla je luminiscence pevných látek. Luminiscence je děj, při kterém se z atomů, molekul nebo krystalů látky v podobě fotonů vyzařuje energie uvolněná při samovolnému návratu elektronů do základní polohy z nestá-

bilního vybuzeného stavu, který byl vyvolán vnějším vlivem. V případě elektroluminiscence jsou elektrony vybuzeeny do nestabilního stavu vlivem působení elektrického proudu (resp. elektrického pole). Mezi elektroluminiscenční zdroje světla patří zejména světelné diody LED, laserové diody a elektroluminiscenční panely. [2, 4]

## 2.2 Parametry světelných zdrojů

Parametry světelných zdrojů dělíme na *provozní* a *technické*.

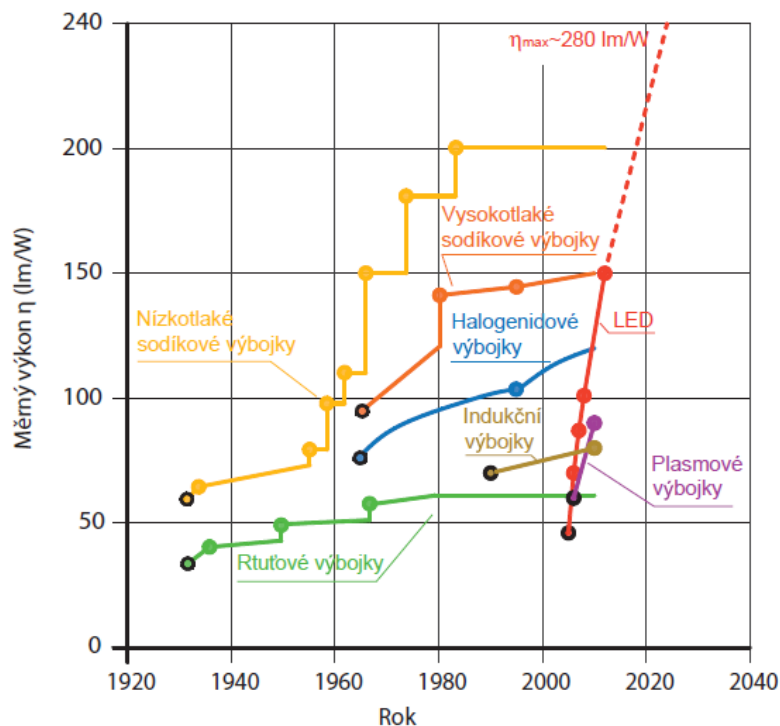
*Technické parametry* zahrnují nejen elektrické a světelně technické vlastnosti zdroje, ale také jeho životnost a konstrukční provedení. U elektrických parametrů se bavíme například o velikosti napětí napájecího zdroje, příkonu světelného zdroje, velikosti a druhu proudu (střídavý či stejnosměrný) apod. U světelně technických parametrů se jedná především o světelný tok, jeho spektrální složení a stálost v průběhu života, jas, svítivost, teplotu chromatičnosti a index podání barev. Životnost světelného zdroje (udávána v hodinách) je celková doba jeho svícení do okamžiku, kdy je v praxi již nepoužitelný. Mezi konstrukční parametry se řadí například typ patice, vnější rozměry zdroje, připojovací rozměry, konstrukční řešení elektrod, rozměry svítícího tělesa, tvar baňky a její optické vlastnosti (tj. je-li sklo čiré, barevné, matné nebo pokryté luminoforem atd.), hmotnost a jiné. [1, 2]

*Provozními parametry* jsou měrný výkon, účinnost, spolehlivost, kompatibilita zařízení a v neposlední řadě i jeho ekonomičnost. Měrný výkon světelného zdroje je jedním z nejdůležitějších parametrů, neboť dává jasně najevo jaká je účinnost přeměny elektrické energie na světelnou. Měrný výkon se zpravidla udává v jednotkách lumen na watt (lm/W). V následující tabulce je uveden přehled hodnot měrných výkonů dosahovaných základními skupinami elektrických světelných zdrojů. [1, 2]

Tab. 1. Měrný výkon základních skupin světelných zdrojů [2]

Světelný zdroj	Měrný výkon (lm/W)
obyčejné žárovky	10 až 18
halogenové žárovky	20 až 30
světelné diody (LED)	60 až 160
směšové výbojky	20 až 28
vysokotlaké rtuťové výbojky	40 až 60
indukční výbojky	60 až 97
kompaktní zářivky	40 až 87
lineární zářivky	50 až 104
halogenidové výbojky	50 až 130
sírné výbojky	135
vysokotlaké sodíkové výbojky	70 až 150
nízkotlaké sodíkové výbojky	100 až 200

Je nutno poznamenat, že hodnoty uvedené v předchozí Tab. 1, s výjimkou obyčejných žárovek, se neustále zvyšují a zejména u světelných diod (LED) se očekává další významné navýšení. To je také patrné na obrázku níže.



Obr. 14. Graf vývoje měrných výkonů světelných zdrojů [31]

Nutno také uvést, že světelné zdroje musí plnit jisté hygienické normy a předpisy. To znamená, že například nesmí způsobovat vznik škodlivých látek, nesmí vysílat záření, které má na lidský organismus negativní vliv a všeobecně nesmí ohrožovat bezpečnost lidí a životního prostředí. Ekonomické hledisko světelných zdrojů je také důležitým faktorem, musí ale být posuzováno komplexně s dalšími parametry jako jsou například investiční, provozní a likvidační náklady, atd. [1, 2]



### 3 SVÍTIDLA

V oblasti osvětlovací techniky se pod pojmem „svítidlo“ rozumí zařízení, které je tvořeno samotným světelným zdrojem a ostatními částmi sloužícími k uchycení a ochraně světelného zdroje, k připojení na elektrický rozvod a v neposlední řadě ke změně světelného toku. Svítidla by měla být zkonstruována tak, aby umožňovala snadnou montáž a údržbu, měla by být také dostatečně spolehlivá a trvanlivá a musí vyhovovat všeobecným bezpečnostním normám. [1, 4, 12]

#### 3.1 Rozdělení svítidel

Svítidla lze rozdělit do několika skupin podle různých kritérií. Zaměříme-li se na použitý světelný zdroj, pak lze svítidla rozdělit na žárovková, zářivková, se světelnými diodami atd. Podle prostoru, ve kterém se svítidlo nachází, se mohou dělit na exteriérová a interiérová, podle umístění v prostoru na podlahová, nástěnná, stropní, atd. [4]

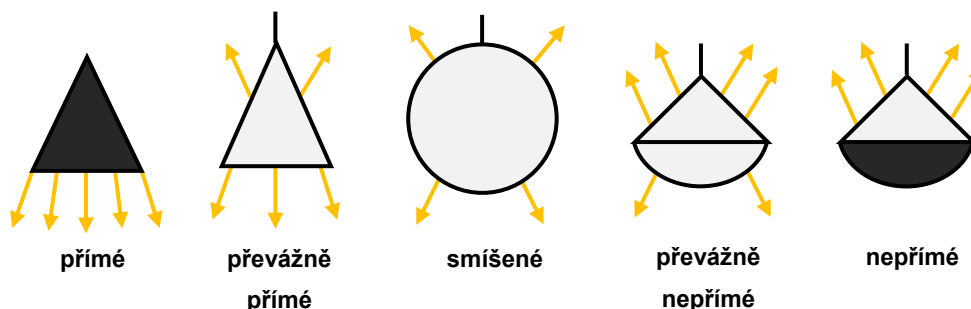
##### 3.1.1 Podle světelně technických vlastností

Budeme-li se na svítidla dívat z hlediska světelně technických vlastností, pak je můžeme rozdělit následovně:

- a) *Podle rozložení světelného toku* – existuje 5 tříd rozložení světelného toku do horního (resp. dolního) poloprostoru z celkového světelného toku svítidla. Na základě těchto tříd se svítidla dělí do následujících pěti druhů, viz následující tabulka.

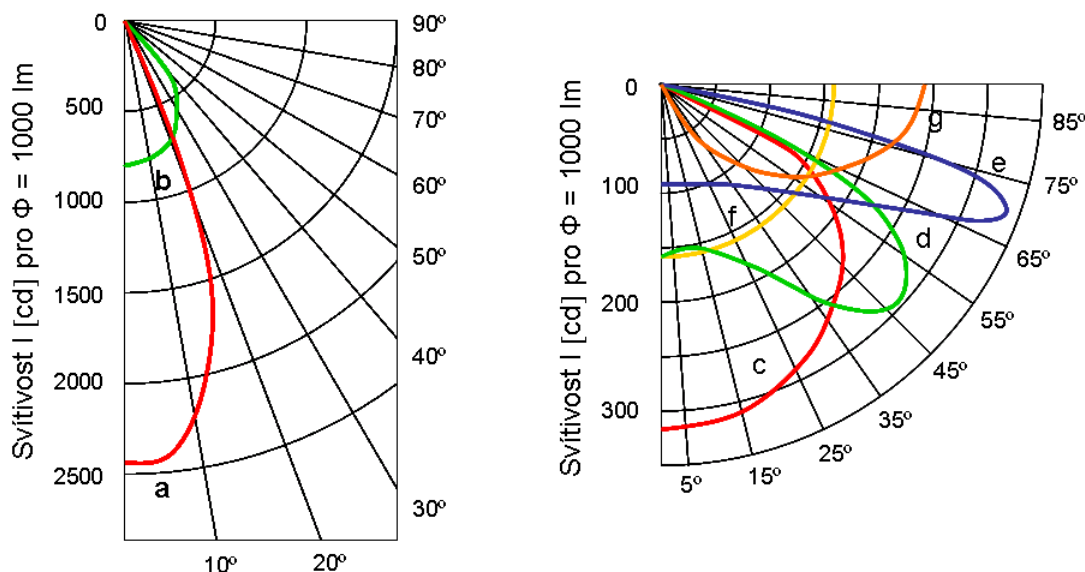
Tab. 2. Rozdělení svítidel podle rozložení světelného toku [4]

Označení svítidla (druh)	Světelný tok do dolního poloprostoru [%]	Světelný tok do horního poloprostoru [%]	Třída
přímé	90 – 100	0 – 10	A
převážně přímé	60 – 90	10 – 40	B
smíšené	40 – 60	40 – 60	C
převážně nepřímé	10 – 40	60 – 90	D
nepřímé	0 – 10	90 – 100	E



Obr. 15. Rozdělení svítidel podle rozložení světelného toku

b) Podle tvaru křivky svítivosti – viz obrázek níže.



Obr. 16. Tvary křivek svítivosti (a – koncentrovaná, b – hluboká, c – kosinová, d – pološiroká, e – široká, f – rovnoměrná, g – sinusová) [12]

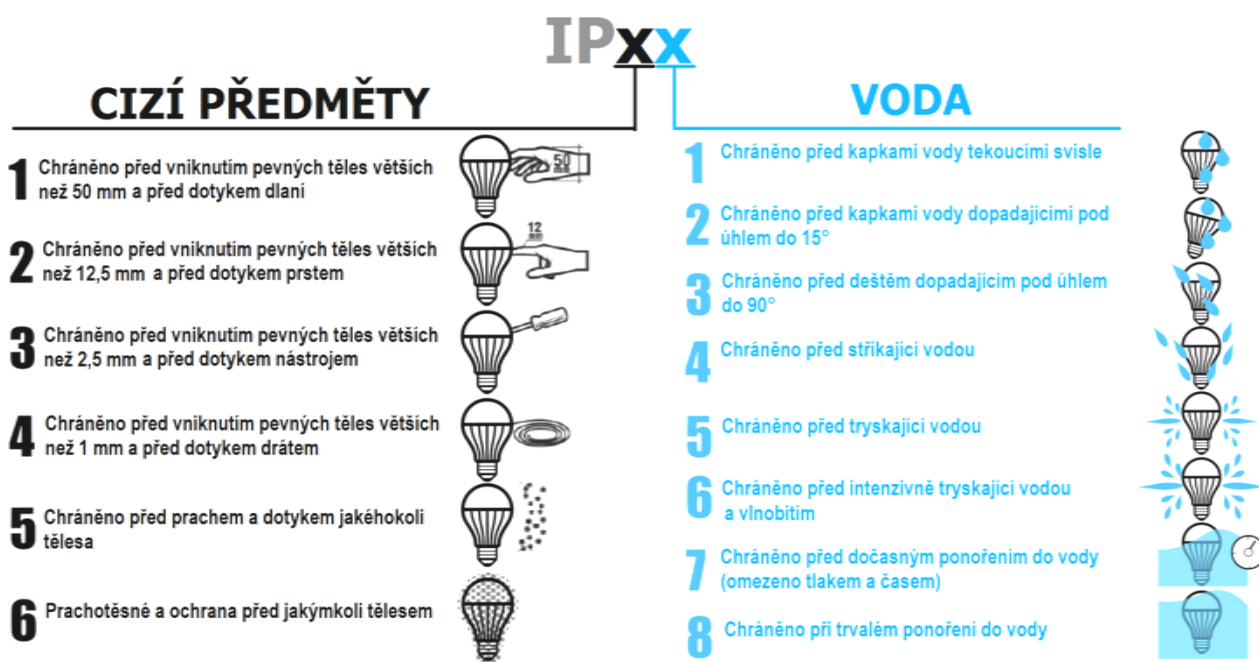
### 3.1.2 Z hlediska ochrany před nebezpečným dotykem živých částí

Z hlediska ochrany před nebezpečným dotykovým napětím živých částí se svítidla dělí do následujících tříd:

- Svítidla třídy 0* – jsou vybavena pouze základní izolací bez možnosti připojení ochranného vodiče, minimální ochrana.
- Svítidla třídy 0I* – jsou vybaveny základní izolací, ochrannou svorkou, ale s neoddělitelným pohyblivým přívodem bez ochranného vodiče a se zástrčkou bez ochranného kontaktu.
- Svítidla třídy I* – jsou zařízení na připojení ochranného vodiče.
- Svítidla třídy II* – mají zdvojenou či alespoň zesílenou izolaci.
- Svítidla třídy III* – jsou určeny pro zdroje malého napětí (12 V, resp. 24 V), a nepotřebují tedy žádnou další ochranu. [6]

### 3.1.3 Podle stupně krytí

Krytí elektrických zařízení charakterizuje stupeň ochrany proti vniknutí cizích předmětů a vody. Značí se písmeny IP a dvojčíslicím, kde první číslice má hodnotu od 0 do 6 a udává stupeň ochrany před vniknutím cizích předmětů (včetně prachu). Druhá číslice má hodnotu od 0 do 8 a značí stupeň ochrany před vnikáním vody. [1, 6]



Obr. 17. Přehled stupňů krytí IP [32]

### 3.1.4 Podle způsobu upevnění

Podle způsobu upevnění dělíme svítidla na:

- a) *Svítidla pevná* – jsou natrvalo upevněna na nepohyblivé nosné konstrukci (stropní, závěsná, nástěnná, vestavěná, atd.).
- b) *Svítidla přemístitelná* – mají pohyblivý přívod a jsou snadno přemístitelná i v zapnutém stavu (ruční, stojanová, stolní, atd.). [6]

### 3.1.5 Z hlediska požární bezpečnosti a dalších kritérií

Z hlediska požární bezpečnosti svítidel se bavíme zejména o tom, zda jsou u montáže svítidel přítomny hořlavé či nehořlavé materiály. [1]

V dnešní době se vyrábí již nespočet všech druhů svítidel, existuje tedy mnoho dalších kritérií, podle kterých bychom mohli svítidla ještě dále rozdělovat. Mezi další kritéria se řadí například *primární účel použití svítidla* (pro byty a společenské prostory, pro průmysl, pro venkovní prostory, pro scénické osvětlování, atd.), *druh osvětlení* (místní, celkové či kombinované osvětlení) a mnoho dalších. [1, 6, 12]

## 3.2 Charakteristiky svítidel

### 3.2.1 Účinnost svítidel

Jako u většiny elektrických zařízení, tak i u svítidel nás mimo jiné zajímá jejich účinnost. Účinnost svítidla je důležitý parametr, který udává poměr mezi světelným tokem vyzařovaným svítidlem a celkovým světelným tokem všech světelných zdrojů určených pro toto svítidlo. Jinak řečeno: účinnost svítidla nám dává najevo, jak hospodárná je změna rozložení světelného toku zdrojů světla. [1, 4]

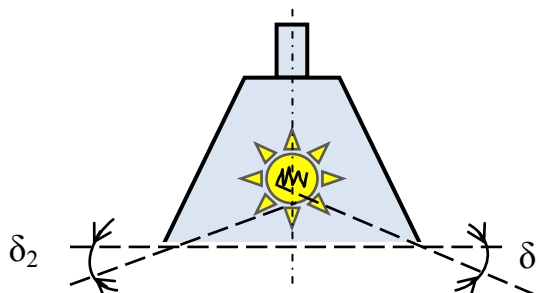
$$\eta_s = \frac{\phi_s}{\phi_z} \quad (19)$$

kde  $\phi_s$  [lm] je světelný tok vyzařovaný svítidlem a  $\phi_z$  [lm] je celkový světelný tok všech světelných zdrojů, pro které je svítidlo určeno. [1, 4]

### 3.2.2 Jas a úhel clonění

Svítidla jsou běžně vybavena clonami či stínidly. Tato stínidla slouží k zakrytí světelného zdroje, a tím chrání pozorovatele před přímým pohledem do zdroje světla a následným oslněním. Každé svítidlo má určitý úhel clonění, který je dán horizontální rovinou a přímkou, která prochází okrajem stínidla a protilehlým obrysem světelného zdroje. Stanovení úhlu clonění se pro různé světelné zdroje liší. Například pro žárovkové svítidlo s čirou baňkou platí, že přímka svírající s horizontální rovinou úhel clonění ( $\delta_1$ ) se dotýká okraje wolframového vlákna. Kdežto v případě žárovkového svítidla s matovanou baňkou platí, že přímka svírající s horizontální rovinou úhel clonění ( $\delta_2$ ) se dotýká okraje baňky. [2, 6]

Platí tedy, že  $\delta_1 > \delta_2$ , viz obrázek níže.



Obr. 18. Úhel clonění pro žárovková svítidla s různými baňkami ( $\delta_1$  – čirá baňka,  $\delta_2$  – matovaná baňka)

### 3.3 Základní části svítidel

Jak již bylo v úvodu této kapitoly nastíněno, svítidla se skládají z několika různých částí. Podle funkce je pak dělíme do tří základních skupin. Jsou to části *světelně činné, konstrukční a elektrické*. Podrobnější popis jednotlivých skupin je uveden v následujících podkapitolách. [6]

#### 3.3.1 Světelně činné části

Světelně činné části slouží zejména ke změně rozložení světelného toku vyzařovaného ze světelného zdroje. Mohou jej například rozptýlit, nebo naopak usměrnit v závislosti na dané konstrukci. Světelně činné části mohou také do jisté míry ovlivnit spektrální složení vyzařovaného světla. [2, 4]

K dosažení požadovaných světelně technických vlastností slouží tyto prvky:

- *Reflektory* – slouží k usměrnění světelného toku do požadovaného směru pomocí odrazu světelných paprsků vyzařovaných ze světelného zdroje. Obvykle se ke konstrukci používají vysoce leštěné kovové či pokovené povrchy.
- *Difuzory* – dá se říci, že se jedná o jakýsi opak reflektorů, neboť mají za úkol světlo rozptylovat a také snižují jas.
- *Refraktory a čočky* – jsou světelně činné části, které mění rozložení světelného toku lomem světelných paprsků.
- *Stínidla a clony* – jsou světelně činné části svítidel, které slouží k zabránění přímému pohledu do světelného zdroje a následnému oslnění pozorovatele. Stínidla a clony jsou zhotoveny z neprůsvitných či rozptylných materiálů.
- *Filtry, světlovody, atd.* [2, 4]

#### 3.3.2 Konstrukční části

Konstrukční části svítidel jsou takové části, které zajišťují upevnění samotného svítidla a zároveň nesou jeho optické (světelně činné) a elektrické části. Mezi konstrukční části se řadí samotné těleso svítidla, závěsné a upevňovací prvky, různé kryty, šrouby, sponky, ochranná skla, těsnění, ochranné koše, atd. [2, 4]

Konstrukční části musí být zhotoveny z takových materiálů, které vyhovují požadavkům na pevnost, mechanickou odolnost a také se bere ohled na konečnou hmotnost svítidla a jeho způsob instalace a údržby. Obvykle se tak pro výrobu nosných částí používají ocelové

plechy, hliník anebo plasty, u kterých se často setkáváme s různými výztužemi pro zvýšení pevnosti. [2]

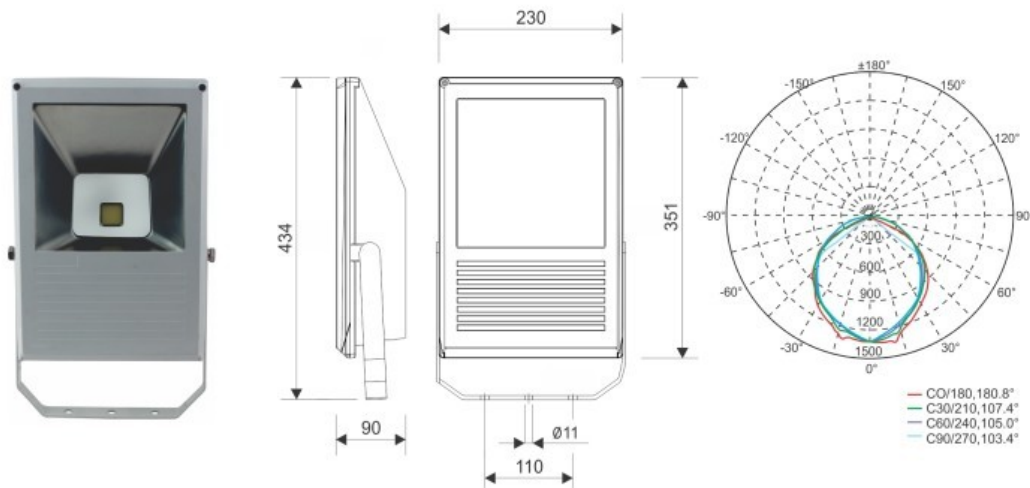
### 3.3.3 Elektrické části

Součástí svítidel je také elektrické příslušenství, které se umísťuje převážně do vnitřní části svítidel, ale může být v některých případech umístěno i vně. Mezi elektrické části patří například patice, svorkovnice, vodiče, kondenzátory, usměrňovače, uzemnění, vývodky, průchodky, objímky, spínače, zástrčky a další. [2, 4]

## 3.4 Katalogový list svítidla

Stejně jako každý spotřebič, tak i každé svítidlo má svůj katalogový či technický list. Tento list má za úkol poskytnout projektantovi či provozovateli osvětlovacích zařízení potřebné údaje o daném svítidle. Katalogový list by měl obsahovat následující informace:

- *Technické údaje* – označení výrobce a typu svítidla, příkon a počet světelných zdrojů, potřebné napájecí napětí, charakteristiky svítidla a účel jeho použití, náčrt svítidla s hlavními rozměry (včetně montážních), hmotnost svítidla, stupeň krytí IP, atd.
- *Světelně technické údaje* – účinnost svítidla, úhel clonění, křivka svítivosti, teplota chromatičnosti, životnost svítidla, index podání barev, atd. [1]



Model	Zdroj Light source COB	Napětí Voltage	Barva světla Colour temperature	IP	Index podání barev CRI	Světelný tok Luminous flux	Pracovní teplota Working temperature	Hmotnost Weight (kg)
Greenline AS 50	1x50W	100-240VAC	2700k* 4500k 6000k*	65	≥80	4100 lm	-40°C - +70°C	2,72

\* možnost objednat na přání zákazníka

Obr. 19. Ukázka katalogového listu svítidla [33]

## 4 SVĚTELNĚ TECHNICKÉ VÝPOČTY

S návrhem či projektováním umělého osvětlení venkovních či vnitřních prostor je spjata několik světelně technických výpočtů. Tyto výpočty slouží zejména pro stanovení příkonu a potřebného počtu světelných zdrojů a svítidel, tedy celkového instalovaného příkonu pro osvětlení daného prostoru. Výpočty ale také slouží ke zjištění toho, zda jsou hodnoty ukazatelů kvality osvětlení v souladu s normami a předpisy. [1, 2]

Na následujících stranách si ukážeme tři metody provedení světelně technických výpočtů.

### 4.1 Metoda poměrných příkonů

Tato metoda slouží pouze pro předběžný orientační návrh osvětlovací soustavy. Využívá se zde tabulka poměrných příkonů (viz Tab. 3), která udává hodnoty poměrných příkonů [ $W \cdot m^{-2}$ ] potřebných pro stanovení určité osvětlenosti (zpravidla  $E = 100$  lx) na jednotkové osvětlované ploše. [1, 12]

Tab. 3. Hodnoty poměrných příkonů [ $W \cdot m^{-2}$ ] pro  $E = 100$  lx [1]

Osvětlení	Žárovkami <sup>x</sup>			Zářivkami		
	stěny			stěny		
	světlé	tmavé	tmavé	světlé	tmavé	tmavé
	strop			strop		
	světlý	světlý	tmavý	světlý	světlý	tmavý
přímé	14	16	18	4	5	6
převážně přímé	18	22	25	5	6	6,5
smíšené	22	27	34	6	7	9
převážně nepřímé	25	34	44	6,5	9	10
nepřímé	29	42	57	7	10	15

<sup>x</sup> Hodnoty platí pro žárovky o příkonu 100 W a výše

Celkový příkon všech světelných zdrojů se určí na základě poměrného příkonu, požadované osvětlenosti pro daný zrakový úkon a rozměru pracovní plochy, na které má být zrakový úkon prováděn. [12]

### 4.2 Toková metoda

Touto metodou se obvykle určuje světelný tok zdrojů potřebný pro zajištění místně průměrné a časově minimální osvětlenosti na dané srovnávací rovině při respektování mnohonásobných odrazů světla, viz vztah (33) na následující straně. Vliv zastínění části srovnávací roviny rozměrnými předměty umístěnými v osvětlovaném prostoru se u této metody neuvažuje. [1, 12]

Toková metoda slouží ke stanovení průměrné osvětlenosti vnitřních prostorů a průměrnému jasů stěn a stropu anebo v případě venkovního prostoru ke stanovení průměrné osvětlenosti komunikace a průměrnému jasů vozovky. Budeme-li se zabývat návrhem osvětlovací soustavy ve vnitřních prostorech pomocí tokové metody, pak budeme vycházet z následujícího vztahu. [1, 12]

$$\phi_c = \frac{E_{pk} \cdot S}{\eta \cdot z} \quad (20)$$

kde  $\phi_c$  [lm] je celkový světelný tok všech zdrojů,  $E_{pk}$  [lx] je místně průměrná a časově minimální osvětlenost v bodech srovnávací roviny,  $S$  [m<sup>2</sup>] je plocha půdorysu uvažovaného vnitřního prostoru,  $\eta$  [-] je činitel využití osvětlovací soustavy při respektování vlivu mnohonásobných odrazů světla a  $z$  [-] je udržovací činitel, který popisuje pokles světelného toku zdrojů osvětlovací soustavy v průběhu jejich jmenovitého života. [12]

Cílem této metody je určit celkový příkon osvětlovací soustavy dle následujícího postupu:

- 1) Stanovení velikosti plochy půdorysu  $S$  a polohy srovnávací roviny.
- 2) Určení požadované osvětlenosti  $E_{pk}$  dle normy ČSN 12464-1 pro daný zrakový úkon.
- 3) Volba druhu světelného zdroje.
- 4) Volba vhodného typu svítidla.
- 5) Stanovení světelného toku jednoho svítidla  $\phi_{zs}$  [lm] ze vztahu:

$$\phi_{zs} = \phi_z \cdot n_z \quad (21)$$

kde  $\phi_z$  [lm] je světelný tok jednoho zdroje a  $n_z$  [-] je počet zdrojů ve svítidle.

- 6) Stanovení činitele využití osvětlovací soustavy  $\eta$ , který závisí na tvaru fotometrické plochy tvořené křivkou svítivosti svítidla, rozměrech osvětlovaného prostoru a činitelích odrazu přítomných ploch. Tato hodnota je součástí katalogového listu každého svítidla. [12]
- 7) Určení udržovacího činitele  $z$ , který charakterizuje míru stárnutí, znečištění a poruchovosti svítidla. Tento činitel je definován vztahem:

$$z = z_s \cdot z_z \cdot z_{fs} \quad (22)$$

kde  $z_s$  [-] je činitel stárnutí světelných zdrojů,  $z_z$  [-] je činitel znečištění svítidel a  $z_{fs}$  [-] je činitel funkční spolehlivosti. Činitel znečištění svítidel se určí z grafických závislostí na době používání svítidla, umístění krytů na svítidle a míře znečištění osvětlovaného prostoru. Zbývají dva činitelé jsou obvykle udáni výrobcem v katalogovém listu svítidla. [12]



- 8) Stanovení celkového světelného toku všech zdrojů  $\phi_c$  dle uvedeného vztahu (33).  
 9) Určení minimálního potřebného počtu svítidel  $n_s$  z následující rovnice:

$$n_s = \frac{\phi_c}{\phi_{zs}} \quad (23)$$

- 10) Provedení vhodného (zpravidla rovnoměrného) rozmístění svítidel na základě doporučení z norem. Obvykle však nastane, že skutečný počet svítidel je vyšší než ten vypočtený. Pro skutečný počet svítidel  $n_{sk}$  se pak stanoví místně průměrná a časově minimální osvětlenost  $E'_{pk}$ :

$$E'_{pk} = \frac{\phi_{ck} \cdot S}{\eta \cdot z} \quad (24)$$

kde  $\phi_{ck}$  [lm] je celkový světelný tok všech zdrojů při skutečném počtu svítidel určený ze vztahu:

$$\phi_{ck} = \phi_{zs} \cdot n_{sk} \quad (25)$$

- 11) Určení počáteční místně průměrné a časově maximální osvětlenosti  $E_{p0}$ :

$$E_{p0} = \frac{E'_{pk}}{z} \quad (26)$$

- 12) Stanovení celkového příkonu  $P_c$  [W] a poměrného příkonu  $P$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ] pro navrženou osvětlovací soustavu:

$$P_c = P_s \cdot n_{sk} \quad (27)$$

$$P = \frac{P_c}{S} \quad (28)$$

kde  $P_s$  [W] je příkon jednoho svítidla. [12]

### 4.3 Bodová metoda

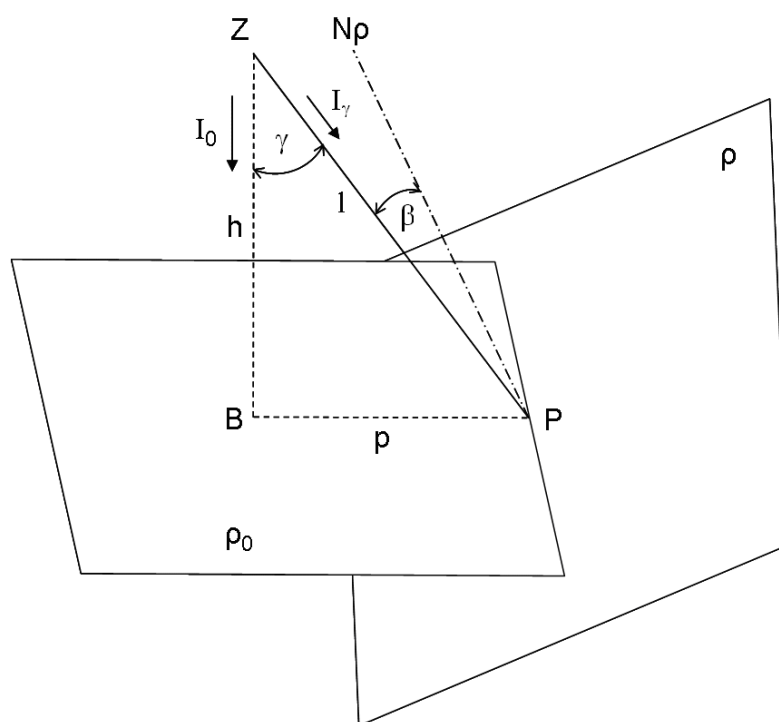
Tato metoda slouží k výpočtu a kontrole osvětlenosti či jasů v daném kontrolním bodě. Body mohou být umístěny na vodorovné, svislé či libovolně nakloněné srovnávací rovině. Nevýhodou této metody je fakt, že vypočtené výsledky nezahrnují odražené světelné toky. Další nevýhodou je to, že tuto metodu výpočtu lze použít pouze pro bodový zdroj světla, jehož rozměry se blíží nule. Skutečný zdroj světla má ale jisté rozměry, takže ve výpočtech vzniká určitá chyba. Aby chyba nebyla příliš velká, tak se tyto zdroje rozdělují.

Uvažujme bodový zdroj světla, za který můžeme považovat svítící prvek, jehož maximální rozměr je menší než  $\frac{1}{3}$  vzdálenosti svítidla od nejbližšího kontrolního bodu. V tomto případě je chyba výpočtu do 10 %. Principem výpočtu bodové metody je stanovení osvětlenosti v bodě  $P$  při šíření světla z bodového zdroje  $Z$ , což je graficky znázorněno na Obr. 20 a Obr. 21. [12]

Uvažujme nyní samotné řešení osvětlenosti v bodě  $P$ , jenž leží na obecné rovině  $\rho$  (viz Obr. 20). V takovém případě se osvětlenost v bodě  $P$  určí ze vztahu:

$$E_{p\rho} = \frac{I_\gamma \cdot \cos\beta}{l^2} = \frac{I_\gamma \cdot \cos\beta}{h^2 + p^2} \quad (29)$$

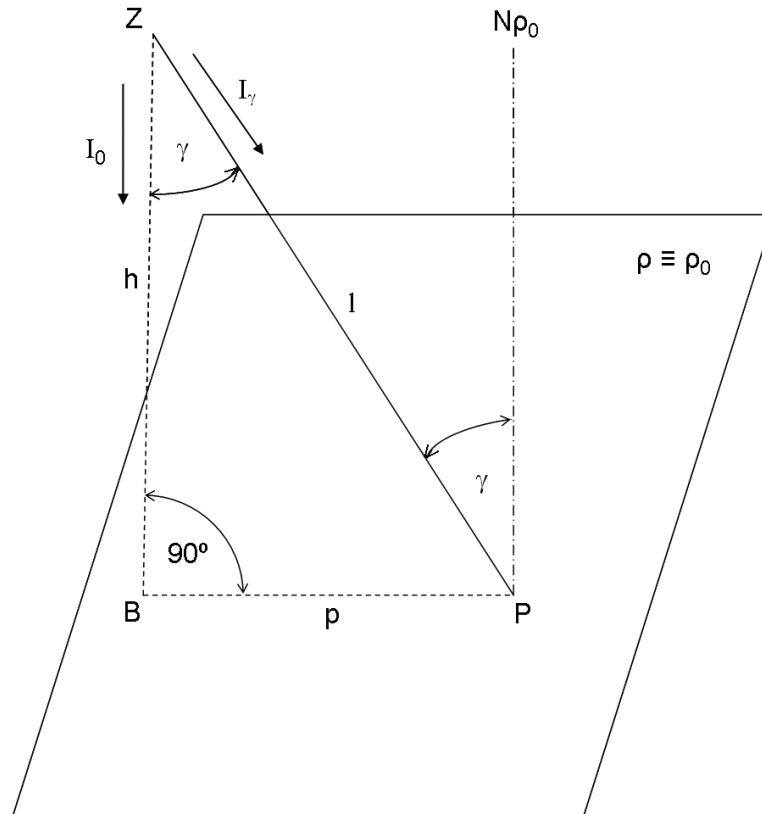
kde  $I_\gamma$  [cd] je svítivost zdroje při úhlu  $\gamma$  určená z křivky svítivosti světelného zdroje,  $\beta$  [°] je úhel dopadu světla na kontrolní rovinu  $\rho$  a  $l$ ,  $h$ ,  $p$  [m] jsou rozměry vzdálenosti.



Obr. 20. Stanovení osvětlenosti bodovou metodou v bodě  $P$  na obecné rovině  $\rho$  [12]

Křivky svítivosti se převážně uvádějí pro referenční světelný tok o velikosti  $\phi = 1000$  lm. A jelikož se obecně světelný tok všech zdrojů světla  $\phi_z$  instalovaných ve svítidle od referenčního toku  $\phi$  liší, je potřeba svítivost  $I'_\gamma$  určenou z křivky svítivosti světelného zdroje přepočítat na skutečný světelný tok svítidla  $\phi_z$  podle vztahu uvedeného na další straně.

$$I_{\gamma} = I'_{\gamma} \cdot \frac{\phi_z}{\phi} = I'_{\gamma} \cdot \frac{\phi_z}{1000} \quad (30)$$



Obr. 21. Stanovení osvětlenosti bodovou metodou v bodě  $P$  na obecné rovině  $\rho_0$  kolmé ke směru  $I_0$  [12]

Dalším způsobem výpočtu osvětlenosti v bodě  $P$  je proložení tohoto bodu rovinou  $\rho_0$ , která je kolmá na směr svítivosti  $I_0$ , viz obrázek výše. V takovém případě se osvětlenost v bodě  $P$  na rovině  $\rho_0$  určí ze vztahu:

$$E_{p\rho_0} = \frac{I_{\gamma} \cdot \cos\gamma}{l^2} = \frac{I_{\gamma} \cdot \cos^3\gamma}{h^2} = I_{\gamma} \cdot \frac{h}{l^3} = I_{\gamma} \cdot \frac{h}{(\sqrt{h^2 + p^2})^3} \quad (31)$$

#### 4.4 Rušivé oslnění - UGR

*UGR* (Unified Glare Rating) je metoda výpočtu rušivého oslnění způsobeného jasnými povrchy jako jsou osvětlené plochy, části svítidel, atd. Index oslnění *UGR* udává informaci o tom, do jaké míry může dané svítidlo způsobovat zrakovou nepohodu osobám v jeho okolí. Tato hodnota bývá uvedena v katalogovém listu každého svítidla. [19]

Při výpočtu  $UGR$  se bere v úvahu řada faktorů, které mohou k rušivému oslnění přispět. Jsou to například úhel natočení svítidla, hodnota jasu svítidla, atd. Pro výpočet  $UGR$  se tedy vychází z následujícího vztahu. [19]

$$UGR = 8 \log_{10} \left( \frac{0,25}{L_B} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right) \quad (32)$$

kde  $L_B$  [ $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ ] je jas pozadí ve směru pohledu pozorovatele,  $L$  [ $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ ] je jas každého svítidla ve směru oka pozorovatele,  $\omega$  [sr] je prostorový úhel každého svítidla vzhledem k oku pozorovatele a  $p$  [-] je činitel polohy odklonu svítidla podle Gutha (čím více je svítidlo odkloněno od směru pozorovatele, tím vyšší je hodnota tohoto činitele). [19]

Platí, že čím nižší je hodnota  $UGR$ , tím menší je riziko přítomnosti nežádoucího oslnění. Pro kontrolu stávajícího či návrhu nového osvětlení jsou požadované hodnoty  $UGR$  pro každý druh osvětlovaného prostoru (resp. zrakové činnosti) uvedeny v evropské normě ČSN EN 12464-1. [15]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 ÚVODNÍ MYŠLENKY

Pro téma měření osvětlení výrobních prostor jsem se rozhodl z toho důvodu, protože si myslím, že osvětlení všeobecně bývá v praxi docela podceňovanou oblastí. Myslím si tedy, že se na kvalitu osvětlení neklade moc velký důraz, přičemž se ale jedná o neméně důležitý faktor, který má vliv na výkon, zdraví a psychickou pohodu člověka (resp. pracovníka).

Na následujících stranách praktické části této diplomové práce bude podrobně představen zvolený měřený prostor, použitá měřidla včetně principu jejich funkce, budou zde také uvedeny různé poznatky a doporučení z norem zabývajících se osvětlením. Dále bude kompletně uveden průběh vlastního měření včetně zpracování a vyhodnocení naměřených dat. Navrhování nových soustav umělého osvětlení bude řešeno za pomoci simulací ve volně dostupném softwaru WILS 7.0. Jednotlivé návrhy budou průběžně diskutovány a závěrem této práce by měl být výběr a doporučení jednoho z řešení, které se bude pro daný prostor jevit jako to nejvhodnější z navržených.

## 6 MĚŘENÍ OSVĚTLENÍ

Ještě předtím, než se pustíme do měření osvětlení konkrétního pracovního prostoru, si v krátkosti probereme pár základních pojmů.

### 6.1 Základní pojmy

V každém oboru lidské činnosti je potřeba nazývat věci pravými jmény, vyjadřovat se jednoznačně a neplést si pojmy.

#### 6.1.1 Typy měření osvětlení

Podle požadované přesnosti se měření rozděluje do tří skupin:

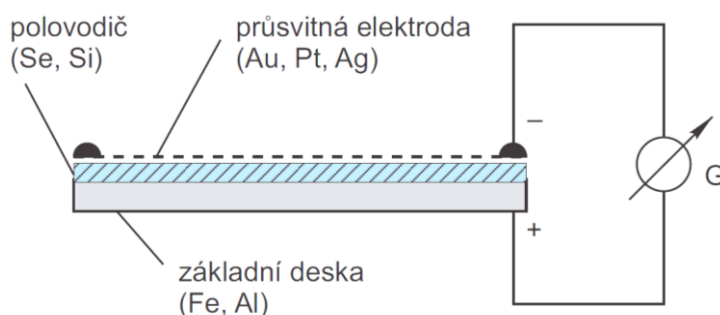
- *Orientační měření* – provádí se za účelem ověření základních podmínek viditelnosti a pro orientační kontrolu úrovně osvětlenosti.
- *Provozní měření* – jedná se o nejčastěji používané měření, kterým se ověřuje správnost a vhodnost realizovaných či nově navržených osvětlovacích soustav. Slouží také pro porovnání různých řešení osvětlovacích soustav, zda splňují podmínky pro dosažení zrakové pohody, atd.
- *Přesné měření* – slouží ke komplexnímu posouzení měřených prostor, při analýze osvětlení prostor, kde se vykonávají zrakově náročné činnosti nebo také při soudních sporech. [13]

#### 6.1.2 Luxmetr

Luxmetr je přístroj, který slouží k měření osvětlenosti. Luxmetr se skládá ze senzoru a z vyhodnocovacího přístroje s digitálním či analogovým indikátorem. Senzorem je fotočlánek, který je opatřený kosinovým nástavcem. Dříve se v luxmetrech používaly selenové fotočlánky, ty jsou ale dnes již nahrazovány hradlovými křemíkovými fotočlánky, které jsou oproti selenovým mnohem citlivější a také teplotně stabilnější.

Hradlový fotočlánek se skládá ze základové desky (vyrobené ze železa či hliníku), která je pokryta vrstvou polovodiče (obvykle se jedná o křemík, v minulosti se však pro tyto účely používal selen). Na této polovodičové vrstvě je nanášena průsvitná vodivá vrstva (zlato, stříbro či platina) a po obvodu fotočlánek je umístěn sběrný kontaktní kroužek.

Princip luxmetru spočívá v ozáření senzoru, kde vlivem působení světla dochází mezi polovodičovou vrstvou a vrchní vodivou vrstvou ke vzniku rozdílných potenciálů (tj. vzniku napětí). Rozdíl potenciálů vyvolává ve sběrném kroužku tok elektrického proudu, a ten je pak vyhodnocován ampérmetrem, který je kalibrován v jednotkách osvětlenosti, tedy v luxech (lx). [2, 13]



Obr. 22. Schematické znázornění hradlového fotočlánku [2]

V našem případě byl použit digitální luxmetr od výrobce Voltcraft s konkrétním typovým označením MS-1300. Přístroj je určen k přesnému zjištění intenzity osvětlení a dopadu světla na měřenou plochu.



Obr. 23. Digitální luxmetr Voltcraft MS-1300 [34]

Přístroj měří v celkovém rozsahu od 0,1 do 50000 lx s přesností  $\pm 5\%$ , přičemž lze na přístroji nastavit celkem 4 rozsahy měření (resp. 4 polohy přepínače).

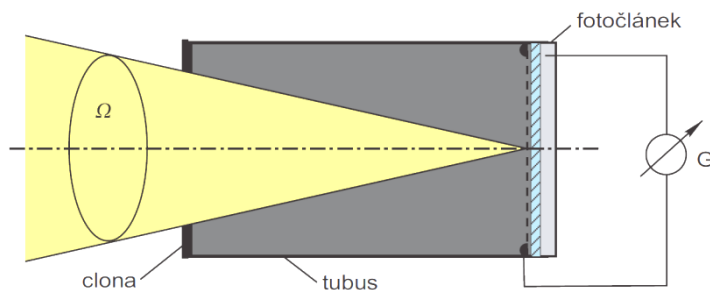


### 6.1.3 Jasoměr

Jasoměr se společně s luxmetrem řadí mezi dva nejpoužívanější měřicí přístroje v oblasti světelné techniky a osvětlování. Jak už název napovídá, jasoměr je přístroj, který slouží k měření jasu. Obdobně jako je tomu u luxmetru, se jasoměr skládá ze senzoru a vyhodnocovacího přístroje (ampérmetru), ten je však v tomto případě kalibrován v jednotkách jasu, tj.  $[\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}]$ . Oproti luxmetru je celý přístroj navíc doplněn o tubus, který pomocí clony vymezuje prostorový úhel (resp. zorný úhel). [13]

Princip jasoměru spočívá v tom, že po ozáření jeho senzoru dojde vlivem působení světla ke vzniku rozdílných potenciálů (tj. vzniku napětí) mezi polovodičovou vrstvou a vrchní vodivou vrstvou fotočlánku. Tento rozdíl potenciálů vyvolá na sběrném kroužku tok elektrického proudu, který je vyhodnocen v jednotkách osvětlenosti. Střední hodnota jasu sledované plochy  $L$  se pak určí jako poměr osvětlenosti  $E_n$  k velikosti plochy vymezené prostorovým úhlem  $\Omega$ , tedy matematicky vyjádřeno jako [2, 13]:

$$L = \frac{E_n}{\Omega} [\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (33)$$



Obr. 24. Schématické znázornění jasoměru [2]

V našem případě nebyl pro měření kvality osvětlení výrobních prostorů jasoměr použit, neboť měření jasu nebylo předmětem zadání této práce. Popis jasoměru je zde tedy uveden zejména pro informovanost čtenáře.

### 6.1.4 Kolorimetr

Kolorimetr je speciální přístroj, který slouží k určení trichromatických souřadnic (obvykle v soustavě XYZ) barevného vjemu, popisujícího koloritu nebo chromatičnost světla světelných zdrojů určitých povrchů. [13]

V našem případě měření intenzity osvětlení není kolorimetr potřeba.

### 6.1.5 Srovnávací rovina

Srovnávací rovina je rovina, na které jsou rovnoměrně umístěny kontrolní body, na nichž se provádí měření. Tato rovina může být vodorovná, svislá či šikmá. Poloha srovnávací roviny se volí podle daného zřakového úkonu tak, aby pojímala alespoň většinu bodů, kde je tato zřaková činnost prováděna. Jednodušeji řečeno, pokud bychom seděli v kanceláři, tak by naše zřaková činnost byla zaměřena zejména na desku stolu, to znamená, že srovnávací rovinou by v tomto případě byla rovina stolu. [13]

Pro konkrétní prostory a prováděnou zřakovou činnost jsou polohy srovnávacích rovin uvedeny v normě ČSN EN 12464-1, která se zabývá osvětlením vnitřních pracovních prostorů. Může však nastat případ, kdy místo zřakové činnosti není pro svůj charakter práce jasně definovatelné. V takovém případě se používá vodorovná srovnávací rovina ve výšce 0,85 cm nad úrovní podlahy. [13]

### 6.1.6 Kontrolní bod

Kontrolní bod je místo, ve kterém se při měření luxmetrem nachází střed jeho senzoru. [13]

## 6.2 Normy

Jak již bylo uvedeno výše, požadavky na osvětlení pro vnitřní pracovní prostory jsou stanoveny normou ČSN EN 12464-1. Tato norma stanovuje požadavky na řešení osvětlení pro většinu vnitřních pracovních prostor z hlediska kvality a kvantity osvětlení, přičemž jsou k tomu doplněna různá doporučení pro správnou osvětlovací praxi. Tato norma nestanovuje požadavky na osvětlení z hlediska bezpečnosti a zdraví pracovníků při práci, ačkoli požadavky na osvětlení uvedené v této normě zpravidla požadavky bezpečnosti splňují. Tato norma neposkytuje žádné konkrétní řešení, ale také projektanty nijak neomezuje například při použití nových metod či inovací. [15]

V normě jsou podrobně definovány jednotlivé termíny z oblasti osvětlování. Jsou v ní také uvedena různá doporučení, například hodnoty minimálních úhlů clonění světelných zdrojů, nebo třeba typické hodnoty roztečí sítě kontrolních bodů při měření. V neposlední řadě tato norma obsahuje rozsáhlý přehled požadavků na osvětlení, který je rozdělen do několika tabulek. Tyto tabulky jsou rozděleny podle druhu prostorů a charakteru prováděných zřakových úkonů a činností. V rámci zadání této diplomové práce nás budou z uvedených tabulek zajímat zejména normované hodnoty udržované osvětlenosti  $\bar{E}_m$  [lx].

Níže v *Tab. 4* si dovoluji uvést konkrétní hodnoty, které budeme později potřebovat k porovnání s naměřenými a zprůměrovanými hodnotami osvětlenosti  $\bar{E}$  [lx].

Před vlastním měřením osvětlenosti v prostorách lakovny je také nutné si prostudovat normy ČSN 36 0011-1 a ČSN 36 0011-3. [16]

Norma ČSN 36 0011-1 nám říká například to, že výška vodorovné srovnávací roviny je 0,85 m nad podlahou, není-li podle konkrétní funkce prostoru stanovena výška jiná (např. na úrovni podlahy v případě prostorů, které slouží jako komunikační zóna). Dále je v této normě uvedeno doporučené rozložení kontrolních bodů na srovnávací rovině vodorovné i na srovnávací rovině obecné. [16]

Norma ČSN 36 0011-3 pak podrobně popisuje přípravu a postup měření umělého osvětlení uvnitř budov a uvádí také popis toho, co všechno by měl obsahovat měřicí protokol. [17]

*Tab. 4. Vybrané požadavky na osvětlení vnitřních pracovních prostorů* [15]

Druh prostoru, úkolu nebo činnosti	Udržovaná osvětlenost na srovnávací rovině $\bar{E}_m$ [lx]	Specifické požadavky
Komunikační zóny uvnitř budov – komunikační prostory a chodby	100	Osvětlenost na úrovni podlahy. <b>150 lx</b> v případě výskytu vozidel.
Společné prostory uvnitř budov – Skladové prostory a chladírny – skladiště a zásobárny	100	<b>200 lx</b> při trvalém pobytu osob.
Společné prostory uvnitř budov – Regálové sklady – uličky s obsluhou	<b>150</b>	Osvětlenost na úrovni podlahy.
Společné prostory uvnitř budov – Regálové sklady – průčelí regálových skladů	<b>200</b>	Osvětlenost na svislé rovině.
Průmyslové a řemeslné činnosti – Výroba a zpracování kovů – jemné strojní opracování, broušení	<b>500</b>	
Průmyslové a řemeslné činnosti – Výroba a zpracování kovů – orýsování, kontrola	<b>750</b>	
Průmyslové a řemeslné činnosti – Výroba a zpracování kovů – výroba nástrojů, šablon a přípravků	<b>1000</b>	
Administrativní prostory – Technické kreslení	<b>750</b>	

Konkrétnější informace, hodnoty a postupy z uvedených tří norem budou dále zmíněny v následující kapitole, která už popisuje konkrétní případ měření osvětlení výrobních prostorů.

## 7 VLASTNÍ MĚŘENÍ OSVĚTLENÍ VÝROBNÍCH PROSTOR

Jak bylo již v úvodu této práce naznačeno, pro praktickou část měření kvality osvětlení byly využity výrobní prostory v budově společnosti ESB Rozvaděče, a.s. sídlící v Brně.



*Obr. 25. Budova společnosti ESB Rozvaděče, a.s.*

Rád bych zde alespoň v krátkosti tuto firmu představil. Společnost ESB Rozvaděče, a.s. vznikla v roce 2007 oddělením od původních Energetických strojíren Brno, a.s., jejichž historie sahá až někam do roku 1952.

Jak je již z názvu patrné, firma se zabývá zejména výrobou nízkonapěťových rozvaděčů. Výroba rozvaděčů a jednotlivých komponent vyžaduje následující operace:

- *Výroba plechových dílů v rozvinutém či ohnutém stavu*
- *Svařování jednotlivých dílů*
- *Povrchová úprava*
- *Montáž sestav*

Celá výrobní hala je podle výše uvedených operací (resp. pracovišť) rozdělena do několika tzv. lodí.

## 7.1 Představení měřených prostor

Pro zpracování praktické části této diplomové práce byly zvoleny prostory lakovny.



*Obr. 26. Prostory lakovny ve výrobní hale společnosti ESB Rozvaděče, a.s.*



*Obr. 27. Prostory lakovny ve výrobní hale společnosti ESB Rozvaděče, a.s.*

### 7.1.1 Účel, provoz a rozměry zvoleného prostoru

Účel lakovny je zřejmý, a to dávat výrobkům finální povrchovou úpravu (ať už z důvodu ochranného či pouze estetického) v určité kvalitě, která bude zajištěna vhodnými okolními podmínkami, mezi které se mimo jiné řadí i kvalitní osvětlení. Provoz lakovny je dvou-  
směnný a tato informace nám bude užitečná později při navrhování osvětlení nového.

V prostorách lakovny je od roku 2015 vestavěna nejmodernější prášková lakovací linka od firmy GALATEK. Tato linka je poměrně komplexní a dá se říct, že zabírá zhruba polovinu celého prostoru lakovny, přičemž rozměry lodi lakovny jsou cca 66x18x8 m (délka x šířka x výška). Linka je velmi rozměrná nejen do všech stran, ale také do výšky, takže se v lakovně vyskytují určitá místa, kde vznikají stíny (resp. se jedná o místa s nízkými hodnotami osvětlenosti).



Obr. 28. Prostory lakovny ve výrobní hale společnosti ESB Rozvaděče, a.s.

Následující dvě fotografie nám umožňují blíže nahlédnout na aktuální řešení osvětlovací soustavy. Osvětlení je zde řešeno zářivkovými svítidly firmy Thorn, typu Titus Industry 3x49 W, která jsou přisazena na každém nosníku, vždy po skupinách 3 svítidel na západní i východní straně lakovny (je vhodné uvést, že fotografie níže byly pořízeny při pohledu na jižní stranu haly). Nosníků je v lakovně 10, takže celkový počet svítidel výše uvedeného typu je 60 ks.

Pro čtenářovu lepší představu o prostorách lakovny je v příloze k nahlédnutí půdorys lakovny.



*Obr. 29. Pohled na aktuální řešení osvětlovací soustavy (vlevo – východní strana lakovny, vpravo – západní strana lakovny)*

### 7.1.2 Rozdělení prostoru dle zrakových úkolů

Jelikož v celém prostoru lakovny neprobíhá činnost pouze jednoho druhu, ale je to více různých činností, byl měřený prostor na základě této skutečnosti pomyslně rozdělen. Na následující straně je uveden přehled tohoto rozdělení, kde je pro každou činnost (resp. část prostoru lakovny) uvedena normovaná hodnota průměrné udržované osvětlenosti  $\bar{E}_m$  [lx] stanovená normou ČSN 12464-1.

Tab. 5. Přehled pomyslného rozdělení prostoru dle charakteru činnosti

Výrobní prostor	Charakter činnosti (prostoru)	$\bar{E}_m$ [lx]	Poloha srovnávací roviny	Ref. číslo z normy ČSN 12464-1
Lakovna	Předúprava dílů	500	V úrovni pracovního stolu	5.18.5
	Manipulační prostor	200	0,85 m nad podlahou	5.4.1
	Kontrola	750	Svisle (v rovině kolejky)	5.18.6
	Komunikace	150	Na úrovni podlahy	5.1.1
	Prostor v okolí linky	150	Na úrovni podlahy	5.5.2
	Regály	200	Svisle v rovině průčelí regálu	5.5.4

Grafické znázornění pomyslného rozdělení prostoru lakovny (z důvodu poměrně velkého formátu) je opět k nahlédnutí v příloze.

### 7.1.3 Poloha a rozměry srovnávacích rovin

Každá část prostoru lakovny je specifická charakterem prováděné činnosti, z čehož vyplývá, že tyto části prostoru mají odlišnosti nejen v hodnotách normované udržované osvětlenosti, ale mají také odlišnosti v poloze srovnávacích rovin, viz tabulka výše.

Grafické znázornění všech měřených srovnávacích rovin je k nahlédnutí v příloze.

## 7.2 Postup měření

Po důkladném prostudování prostor lakovny (zajištění stavební výkresové dokumentace a rozměrů prostor, rozdělení prostoru dle zrakových úkonů, atd.) byly navrženy a nachystány měřicí protokoly a plán měření.

Plánem měření je myšleno rozvržení kontrolních bodů na všech srovnávacích rovinách. Poloha a rozteč kontrolních bodů byla volena dle doporučení ČSN 36 0011-1, takže poloha krajních bodů na vodorovných srovnávacích rovinách byla vždy alespoň 1 m od vnitřního povrchu stěny a rozteč mezi kontrolními body byla 2 m. V případě svislých srovnávacích rovin byly krajní kontrolní body vždy 0,5 m od kraje a rozteč mezi body byla 1 m. [16]

Celkový počet všech kontrolních bodů v lakovně tak vyšel na 445, poloha všech kontrolních bodů je k nahlédnutí v příloze v plánu měření.

Měřicí protokoly zahrnovaly nejen měření intenzity osvětlení na srovnávacích rovinách, ale také měření činitelů odrazu povrchu jednotlivých překážek. Tyto překážky byly v průběhu měření zaznamenávány do protokolů (tj. proběhlo zakreslení jejich rozměrů a polohy do plánu měření + pořízení ilustrativní fotografie), viz následující kapitola 7.3 *Naměřené hodnoty osvětlenosti a jejich zpracování*.



Jelikož předmětem této práce bylo měření osvětlení umělého (nikoliv sdruženého), tak bylo potřeba vyloučit vliv dopadajícího denního světla, které do prostoru lakovny v průběhu dne běžně prostupuje skrz světlíky. To znamená, že měření probíhalo pouze a výhradně v nočních hodinách.



*Obr. 30. Pohled na podélné světlíky během nočního měření*

Možná teď některého z čtenářů napadla otázka, proč se vůbec zabývám samotným umělým osvětlením, když jsou v lakovně světlíky a osvětlení by tedy mělo být sdružené. Odpověď je jednoduchá, lakovna pracuje ve dvousměnném provozu, to znamená, že poslední pracovníci odcházejí až ve 22:00 a tou dobou už Slunce několik hodin nesvítí. Dalším argumentem je například i to, že v zimním období Slunce zapadá už kolem 16:30. Měřením v nočních hodinách tak simulujeme i „nejhorší“ možný stav denního osvětlení.

Po příchodu do prostoru lakovny bylo zapnuto veškeré hlavní umělé osvětlení, které bylo předmětem měření, a poté se počkalo, až se světelný tok stabilizuje (cca 20 minut). To se poznalo tak, že luxmetr umístěný v neměnné poloze po čase vykazoval stálou hodnotu. Poté se tedy mohlo začít s vlastním měřením.

Měřilo se pomocí již zmíněného digitálního luxmetru MS-1300 od výrobce Voltcraft. Použití tohoto luxmetru je velmi snadné. Sejmeme ochranná krytka světelného senzoru a otočným přepínačem se zvolí vhodný rozsah měření. Senzor vyrovnáme tak, aby jeho osa byla v ideálním případě kolmo k srovnávací rovině, přičemž musíme dávat pozor na to, aby-

chom vlastním tělem nevytvářeli nežádoucí stín. A pak už jen odečteme naměřenou hodnotu na digitálním displeji.

V případě zjišťování hodnot činitele odrazu povrchu vybraných překážek a stěn  $\rho$  [-] se postupovalo následovně. Nejprve se změřila intenzita světla dopadajícího na povrch dané překážky  $E_{dop}$  [lx] a následně se při stejných podmínkách osvětlenosti změřila intenzita světla odraženého  $E_{odr}$  [lx], a to takovým způsobem, že čidlo luxmetru bylo obráceno směrem k měřenému povrchu a bylo umístěno ve vzdálenosti minimálně pětinašobku průměru měřicího čidla tak, aby měřený bod nestínilo. [17]

Činitel odrazu  $\rho$  se pak vypočítal jako podíl  $E_{odr}/E_{dop}$ , což je odvozeno z energetické rovnice bilance šíření světla (15) viz kapitola 1.7.1 *Světelně techničtí činitelé*.

Z naměřených hodnot byl vypočten:

- **Aritmetický průměr naměřených hodnot  $\bar{x}$**

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (34)$$

kde  $n$  [-] je počet naměřených hodnot,  $x_i$  [-] je naměřená hodnota a  $i$  [-] je sumační index.

- **Směrodatná odchylka aritmetického průměru naměřených hodnot  $\bar{\sigma}$  (tj. chyba měření)**

$$\bar{\sigma}_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (35)$$

Veškeré naměřené hodnoty včetně komentáře a potřebných výpočtů jsou uvedeny v následující kapitole.

### 7.3 Naměřené hodnoty osvětlenosti a jejich zpracování

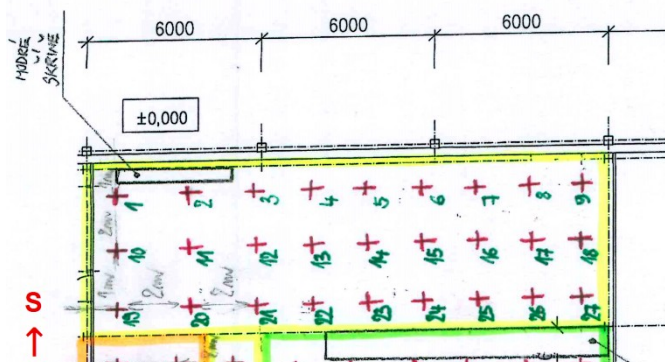
V této kapitole je postupně popsána každá část prostoru lakovny, její rozměry, výřez z plánu měření (kompletní plán měření je k nahlédnutí v příloze), hodnota průměrné udržované osvětlenosti  $\bar{E}_m$  a poloha srovnávací roviny dle ČSN 12464-1, viz také *Tab. 5*.

#### 7.3.1 Část prostoru - komunikace

Komunikace je část prostoru lakovny (v plánu měření lemována žlutozeleně), která slouží zejména pro pohyb osob, vysokozdvížných vozíků a materiálu.

Tab. 6. Část měřeného prostoru lakovny – komunikace

Rozměry [m]	Kontrolní body číslo	Průměrná udržovaná osvětlenost dle ČSN 12464-1 $\bar{E}_m$ [lx]	Pooha srovnávací roviny dle ČSN 12464-1
18x6	1 až 27	150	Na úrovni podlahy



Obr. 31. Výřez z plánu měření – komunikace

Červená šipka s písmenem *S* (sever) značí orientaci světových stran. Tato informace platí pro všechny následující výřezy z plánu měření dalších částí prostoru lakovny.

Tab. 7. Naměřené hodnoty osvětlenosti – komunikace

	<i>b</i>	<i>E</i> [lx]	<i>b</i>	<i>E</i> [lx]	<i>b</i>	<i>E</i> [lx]
<b>KOMUNIKACE</b>	1	102	10	190	19	190
	2	113	11	202	20	209
	3	117	12	205	21	217
	4	125	13	198	22	217
	5	130	14	196	23	201
	6	129	15	183	24	197
	7	129	16	177	25	197
	8	119	17	159	26	185
	9	103	18	141	27	154

kde *b* [-] je číslo kontrolního bodu a *E* [lx] je osvětlenost naměřená v daném bodě. Tato informace platí také pro všechny následující tabulky.

Červeným písmem jsou zvýrazněny body, ve kterých byla naměřena hodnota osvětlenosti nižší než průměrná hodnota udržované osvětlenosti daná normou ČSN 12464-1, tedy jinak vyjádřeno jako  $\bar{E}_{(n)} < \bar{E}_m$ . Tato skutečnost je pouze informativní, avšak může být užitečná při řešení návrhu nového osvětlení.

### 7.3.1.1 Zpracování naměřených hodnot a diskuze

Vzorový výpočet bude uveden pouze jednou, a to jen u této části prostoru. V dalších částech prostoru je postup totiž totožný, budou se u nich lišit pouze výsledné hodnoty.

- **Aritmetický průměr naměřených hodnot osvětlenosti komunikace  $\bar{E}_{kom}$**

Dosažením naměřených hodnot do rovnice (34) dostaneme následující:

$$\bar{E}_{kom} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i = \frac{102 + 113 + \dots + 154}{27} =$$

$$\bar{E}_{kom} = \frac{4485}{27} = 166,11 \doteq 166 \text{ lx}$$

- **Směrodatná odchylka aritmetického průměru naměřených hodnot osvětlenosti komunikace  $\bar{\sigma}_{\bar{E}_{kom}}$**

Dosažením naměřených hodnot do rovnice (35) dostaneme následující:

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_{\bar{E}_{kom}} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2}{n(n-1)}} = \\ &= \sqrt{\frac{(102 - 166)^2 + (113 - 166)^2 + \dots + (154 - 166)^2}{27(27-1)}} = \\ \bar{\sigma}_{\bar{E}_{kom}} &= \sqrt{\frac{38879}{702}} = 7,44 \rightarrow \bar{\sigma}_{\bar{E}_{kom}} = 8 \text{ lx} \end{aligned}$$

Průměrná hodnota osvětlenosti komunikace je tedy  $(166 \pm 8)$  lx,

tj.  $(\bar{E}_{kom} \pm \bar{\sigma}_{\bar{E}_{kom}})$  lx

Porovnáme-li průměrnou hodnotu osvětlenosti komunikace s normovanou hodnotou ( $\bar{E}_m = 150$  lx), tak zjistíme, že intenzita osvětlení v daném prostoru je dostatečná a vyhovuje normě. Platí tedy že  $\bar{E}_{kom} > \bar{E}_m$ .

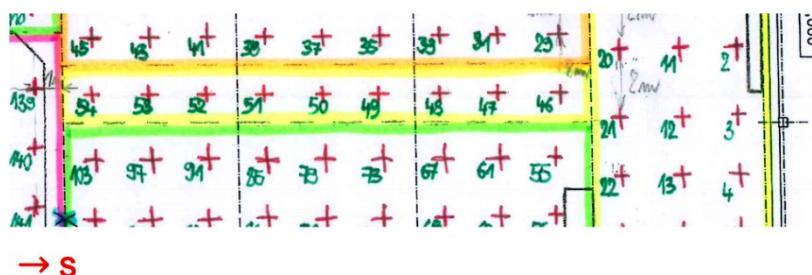
Z plánu měření a červeně vyznačených hodnot v *Tab. 7. Naměřené hodnoty osvětlenosti – komunikace*, ale vidíme, že se v prostoru vyskytuje jistá pásová oblast, kde je intenzita osvětlení pod hranicí normy. V případě návrhu nového osvětlení tak doporučuji věnovat jistou pozornost rovnoměrnému rozmístění zvoleného osvětlení.

### 7.3.2 Část prostoru - komunikační pás

Komunikační pás je část prostoru lakovny (v plánu měření lemována opět žlutozeleně) navazující na část komunikace, která také slouží zejména pro pohyb osob, vysokozdvihových vozíků a materiálů.

Tab. 8. Část měřeného prostoru lakovny – komunikační pás

Rozměry [m]	Kontrolní body číslo	Průměrná udržovaná osvětlenost dle ČSN 12464-1 $\bar{E}_m$ [lx]	Poloha srovnávací roviny dle ČSN 12464-1
18x2	46 až 54	150	Na úrovni podlahy



Obr. 32. Výřez z plánu měření – komunikační pás

Tab. 9. Naměřené hodnoty osvětlenosti – komunikační pás

	$b$	$E$ [lx]
<b>KOMUNIKAČNÍ PÁS</b>	46	245
	47	260
	48	258
	49	247
	50	257
	51	259
	52	239
	54	252

#### 7.3.2.1 Zpracování naměřených hodnot a diskuze

Po zpracování naměřených hodnot stejným způsobem jako u předchozí části prostoru lakovny (komunikace) dostaneme následující výsledek:

$$\left( \bar{E}_{komp} \pm \bar{\sigma}_{\bar{E}_{komp}} \right) = (253 \pm 3) \text{ lx}$$

Porovnáme-li opět průměrnou hodnotu osvětlenosti komunikačního pásu s normovanou hodnotou ( $\bar{E}_m = 150 \text{ lx}$ ), zjistíme, že intenzita osvětlení v daném prostoru je dostatečná

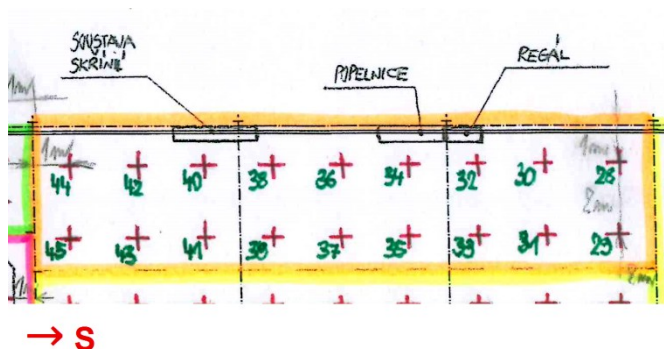
a vyhovuje normě. Platí  $\bar{E}_{komp} > \bar{E}_m$ . Oproti předchozí části prostoru lakovny (komunikace) se zde ale nevyskytují žádné body, ve kterých by byla naměřená hodnota pod hranicí normy. Tato část prostoru tedy nevyžaduje nutné úpravy osvětlení.

### 7.3.3 Část prostoru - předúprava

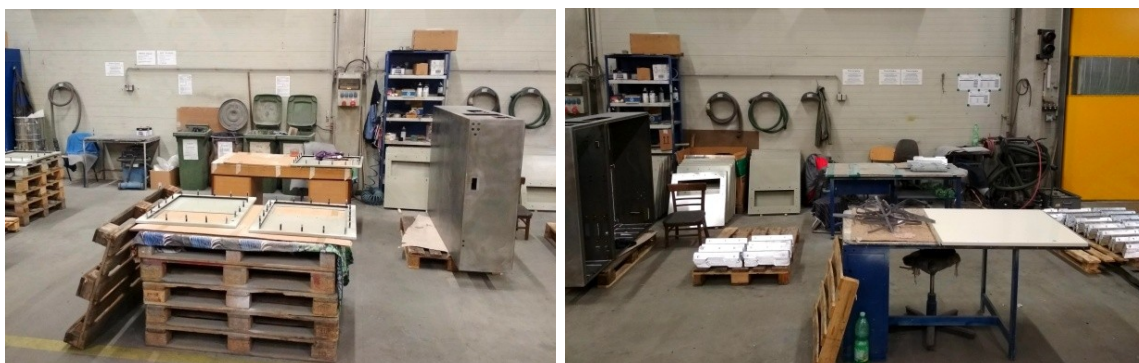
Předúprava je část prostoru lakovny (v plánu měření lemována oranžově), která slouží k úpravě dílů před tím, než projdou procesem lakování. Jedná se zejména o broušení či tmelení dílů.

Tab. 10. Část měřeného prostoru lakovny – předúprava

Rozměry [m]	Kontrolní body číslo	Průměrná udržovaná osvětlenost dle ČSN 12464-1 $\bar{E}_m$ [lx]	Poloha srovnávací roviny dle ČSN 12464-1
18x4	28 až 45	500	V úrovni pracovního stolu (tj. 0,8 m nad podlahou)



Obr. 33. Výřez z plánu měření – předúprava



Obr. 34. Část prostoru lakovny – předúprava

Tab. 11. Naměřené hodnoty osvětlenosti  
- předúprava

	<b>b</b>	<b>E [lx]</b>	<b>b</b>	<b>E [lx]</b>
<b>PŘEDÚPRAVA</b>	28	214	37	252
	29	228	38	251
	30	229	39	265
	31	249	40	234
	32	229	41	228
	33	270	42	251
	34	210	43	288
	35	261	44	264
	36	214	45	258

### 7.3.3.1 Zpracování naměřených hodnot a diskuze

Po zpracování naměřených hodnot dostáváme výsledek:

$$\left(\bar{E}_{pú} \pm \bar{\sigma}_{\bar{E}_{pú}}\right) = (244 \pm 6) \text{ lx}$$

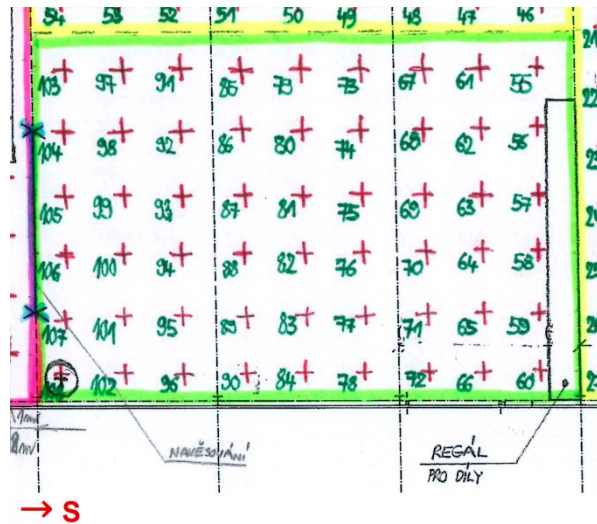
Porovnáním s normovanou hodnotou ( $\bar{E}_m = 500 \text{ lx}$ ) zjistíme, že zde platí  $\bar{E}_{pú} < \bar{E}_m$ , tedy že osvětlení této části prostoru normě nevyhovuje. Doporučuji zde udělat návrh nové osvětlovací soustavy s vyšší intenzitou osvětlení.

### 7.3.4 Část prostoru - manipulační prostory

Manipulační prostory jsou celkem dvě části prostoru lakovny (v plánu měření lemovány zeleně), které slouží k manipulaci a skladování dílů před tím, než projdou procesem lakování a také k dočasnému uložení již lakovaných dílů.

Tab. 12. Část měřeného prostoru lakovny – manipulační prostory

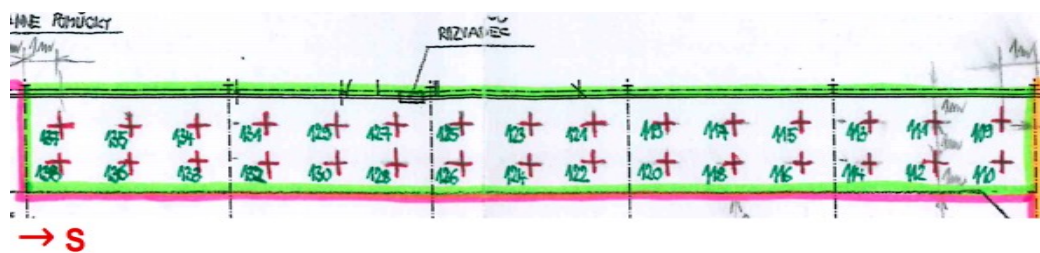
Rozměry [m]	Kontrolní body číslo	Průměrná udržovaná osvětlenost dle ČSN 12464-1 $\bar{E}_m$ [lx]	Poloha srovnávací roviny dle ČSN 12464-1
18x2 + 30x3	55 až 108 + 109 až 138	200	Ve výšce 0,85 m nad podlahou (charakterem činnosti nebylo určeno jinak)



Obr. 35. Výřez z plánu měření – manipulační prostor č. 1

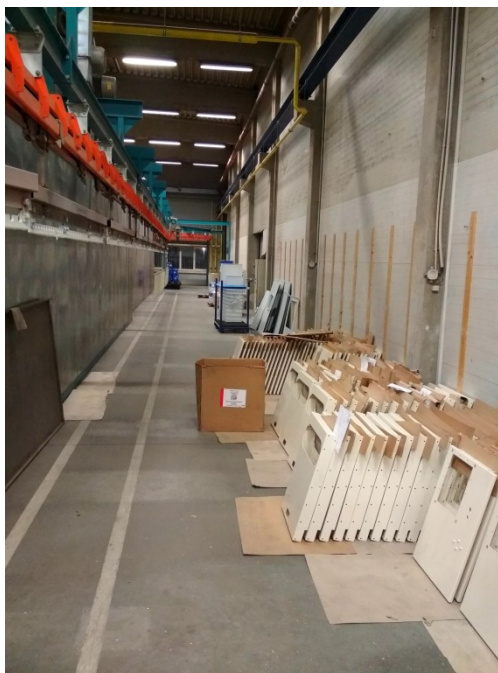


Obr. 36. Část prostoru lakovny – manipulační prostor č. 1



Obr. 37. Výřez z plánu měření – manipulační prostor č. 2





Obr. 38. Část prostoru lakovny –  
manipulační prostor č. 2

Tab. 13. Naměřené hodnoty osvětlenosti – manipulační prostory

	<b>b</b>	<b>E [lx]</b>	<b>b</b>	<b>E [lx]</b>	<b>b</b>	<b>E [lx]</b>	<b>b</b>	<b>E [lx]</b>
<b>MANIPULAČNÍ PROSTOR</b>	55	200	76	369	97	222	118	101
	56	219	77	380	98	166	119	120
	57	220	78	310	99	256	120	108
	58	224	79	271	100	293	121	132
	59	302	80	307	101	225	122	130
	60	244	81	362	102	224	123	125
	61	205	82	387	103	222	124	127
	62	206	83	390	104	248	125	135
	63	292	84	383	105	232	126	129
	64	355	85	264	106	329	127	170
	65	366	86	288	107	343	128	126
	66	297	87	316	108	x	129	147
	67	277	88	357	109	190	130	122
	68	303	89	357	110	227	131	139
	69	349	90	347	111	191	132	125
	70	377	91	217	112	190	133	184
	71	340	92	245	113	157	134	131
	72	300	93	265	114	136	135	189
73	272	94	306	115	110	136	150	
74	331	95	304	116	116	137	200	
75	327	96	290	117	123	138	166	

Kontrolní bod č. 108 nebylo možné změřit kvůli přítomnosti tlakové nádoby v daném místě, z měření intenzity osvětlení byl tedy tento bod vynechán.

### 7.3.4.1 Zpracování naměřených hodnot a diskuze

Po zpracování naměřených hodnot dostáváme výsledek:

$$(\bar{E}_{man1} \pm \bar{\sigma}_{E_{man1}}) = (240 \pm 10) \text{ lx}$$

Porovnáním průměrné osvětlenosti s normovanou hodnotou ( $\bar{E}_m = 200 \text{ lx}$ ) zjistíme, že zde platí  $\bar{E}_{man1} > \bar{E}_m$ , tedy že intenzita osvětlení v této části prostoru je dostatečná a normě vyhovuje. Avšak podobně jako tomu je v části 7.3.1 Část prostoru - komunikace, tak i zde se objevuje určitá oblast, kde se intenzita osvětlení pohybuje pod hranicí hodnoty dané normou, a to v některých místech až o téměř 50 %. V případě návrhu nového osvětlení doporučuji i zde věnovat pozornost rovnoměrnému rozmístění navrženého osvětlení.

### 7.3.5 Část prostoru - prostor v okolí linky

Okolí linky je velmi komplexní část prostoru lakovny (v plánu měření lemováno růžově), kde se pohybují pracovníci lakovny za účelem obsluhy linky. Prostor byl pro svůj charakter vyhodnocen pod ref. číslem 5.5.2 „uličky s obsluhou“, viz norma ČSN 12464-1.

Tab. 14. Část měřeného prostoru lakovny – prostor v okolí linky

Rozměry [m]	Kontrolní body číslo	Průměrná udržovaná osvětlenost dle ČSN 12464-1 $\bar{E}_m$ [lx]	Poloha srovnávací roviny dle ČSN 12464-1
42x15 + 12x3	139 až 297	150	Na úrovni podlahy



Obr. 39. Výřez z plánu měření – prostor v okolí linky



Obr. 40. Prostor v okolí linky (vlevo – výstup z ruční práškovací kabiny, vpravo – vstup do automatické práškovací kabiny)



Obr. 41. Prostor v okolí linky (vlevo – pohled na práškovací kabinu, vpravo – pohled na „sprchu“)



Obr. 42. Prostor v okolí linky (vlevo – průchod kolem „sprchy“ pohledem na jižní stranu haly, vpravo – průchod kolem „sprchy“ pohledem na severní stranu haly)

Tab. 15. Naměřené hodnoty osvětlenosti – prostor v okolí linky

	<b>b</b>	<b>E [lx]</b>	<b>b</b>	<b>E [lx]</b>	<b>b</b>	<b>E [lx]</b>	<b>b</b>	<b>E [lx]</b>
<b>PROSTOR V OKOLÍ LINKY</b>	139	x	181	x	223	x	265	71
	140	x	182	x	224	x	266	144
	141	x	183	x	225	x	267	107
	142	189	184	x	226	x	268	x
	143	183	185	x	227	x	269	x
	144	229	186	x	228	181	270	x
	145	201	187	x	229	114	271	96
	146	x	188	x	230	x	272	x
	147	x	189	x	231	54	273	86
	148	x	190	55	232	x	274	73
	149	134	191	174	233	x	275	138
	150	216	192	232	234	x	276	146
	151	149	193	x	235	155	277	177
	152	159	194	x	236	103	278	82
	153	x	195	x	237	x	279	14
	154	x	196	84	238	74	280	57
	155	x	197	109	239	65	281	41
	156	117	198	120	240	68	282	62
	157	247	199	217	241	x	283	69
	158	140	200	x	242	x	284	98
	159	241	201	x	243	x	285	116
	160	x	202	x	244	151	286	133
	161	x	203	85	245	128	287	138
	162	x	204	115	246	x	288	126
	163	156	205	x	247	101	289	55
	164	239	206	x	248	116	290	65
	165	87	207	x	249	109	291	65
	166	194	208	x	250	111	292	80
	167	x	209	x	251	x	293	86
	168	x	210	68	252	x	294	93
	169	x	211	82	253	151	295	107
	170	85	212	x	254	132	296	114
171	204	213	x	255	x	297	117	
172	64	214	x	256	68			
173	120	215	x	257	106			
174	x	216	x	258	63			
175	x	217	45	259	x			
176	x	218	71	260	x			
177	x	219	x	261	x			
178	x	220	x	262	124			
179	x	221	214	263	171			
180	x	222	92	264	x			

Kontrolní body vyznačeny symbolem „x“ nebylo možné změřit, a to například z důvodu toho, že je v daném bodě postavena část lakovací linky či nějaký jiný objekt znemožňující provedení měření (viz plán měření v příloze).

### 7.3.5.1 Zpracování naměřených hodnot a diskuze

Po zpracování naměřených hodnot dostáváme výsledek:

$$(\bar{E}_{ol} \pm \sigma_{\bar{E}_{ol}}) = (120 \pm 17) \text{ lx}$$

Porovnáním průměrné osvětlenosti s normovanou hodnotou ( $\bar{E}_m = 150 \text{ lx}$ ) zjistíme, že zde platí  $\bar{E}_{ol} < \bar{E}_m$ , tedy že průměrná intenzita osvětlení v této části prostoru není dostatečná a normě nevyhovuje. V prostoru okolo linky doporučuji provést návrh nového osvětlení.

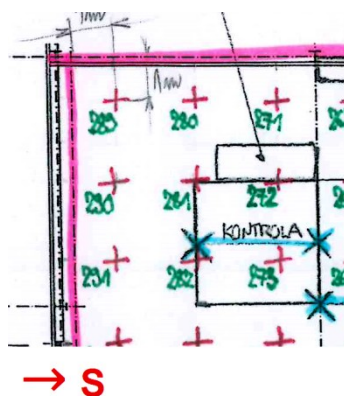
Po změření intenzity osvětlení na srovnávacích rovinách vodorovných se postupovalo dále na měření intenzity osvětlení na rovinách svislých, viz následující část.

### 7.3.6 Část prostoru - kontrola

Kontrola je část prostoru lakovny (v plánu měření popsána a vyznačena modře), kde z poslední části linky vyjíždí nalakované díly a podléhají zde vizuální kontrole.

Tab. 16. Část měřeného prostoru lakovny – kontrola

Rozměry [m]	Kontrolní body číslo	Průměrná udržovaná osvětlenost dle ČSN 12464-1 $\bar{E}_m$ [lx]	Poloha srovnávací roviny dle ČSN 12464-1
3x2	322 až 333	750	Svisle (v rovině kolejky)



Obr. 43. Výřez z plánu měření – kontrola



Obr. 44. Část prostoru lakovny – kontrola

Tab. 17. Naměřené hodnoty osvětlenosti – kontrola

	<b>b</b>	<b>E [lx]</b>	<b>Poznámky</b>
<b>KONTROLA</b>	322	1763	Měřená strana při pohledu na západ
	323	1788	
	324	1880	
	325	1856	
	326	1824	
	327	1842	
	328	1860	Měřená strana při pohledu na východ
	329	1918	
	330	1840	
	331	1838	
	332	1713	
	333	1755	

Výše uvedené hodnoty byly měřeny na srovnávací rovině, která je „oboustranná“, proto jsou hodnoty rozděleny na západní a východní část.

#### 7.3.6.1 Zpracování naměřených hodnot a diskuze

Po zpracování naměřených hodnot dostáváme pro obě strany tyto výsledky:

$$(\bar{E}_{konZ} \pm \bar{\sigma}_{E_{konZ}}) = (1830 \pm 20) \text{ lx}$$

$$(\bar{E}_{konV} \pm \bar{\sigma}_{E_{konV}}) = (1820 \pm 40) \text{ lx}$$

Porovnáme-li obě průměrné hodnoty osvětlenosti na svislé srovnávací rovině v oblasti kontroly s normovanou hodnotou ( $\bar{E}_m = 750 \text{ lx}$ ), zjistíme, že intenzita osvětlení v daném prostoru je nadměru dostatečná a normě vyhovuje, platí tedy že:

$$\bar{E}_{konZ} > \bar{E}_m$$

$$\bar{E}_{konV} > \bar{E}_m$$

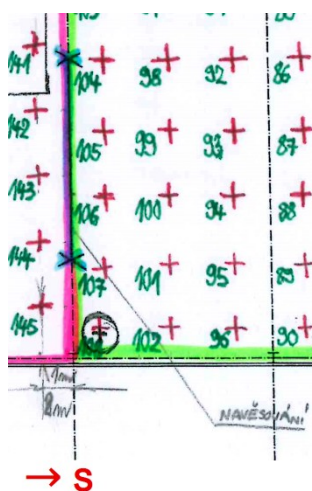
Je zde nutné říci, že na pracovišti kontroly lakovaných dílů byla intenzita osvětlení navýšena na žádost jednoho z nejmenovaných významných zákazníků této firmy. Prostor kontroly má tedy své speciální osvětlení, které nesvítí stabilně, ale zapíná se pouze v určitých případech. Toto osvětlení je možno vidět na *Obr. 44*. Tato část prostoru, co se týče intenzity osvětlení, nevyžaduje nutné úpravy.

### 7.3.7 Část prostoru - navěšování

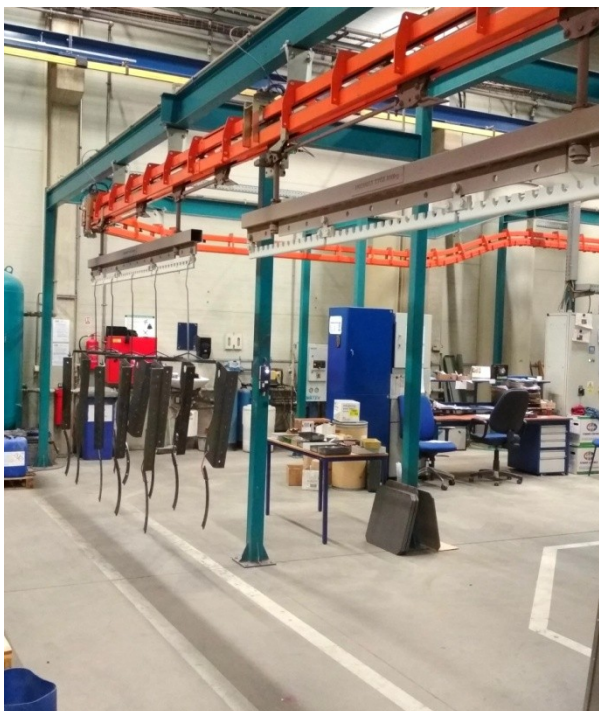
Navěšování je část prostoru lakovny (v plánu měření popsána a vyznačena modře), kde se na háčky na pohyblivou kolejku zavěšují díly, které budou lakovány. Některé díly vyžadují chránění závitů před lakem, takže zde dochází také k montáži ochranných krytek. Z toho důvodu byla tato část prostoru vyhodnocena pod ref. číslem 5.18.11 „montážní práce“, viz norma ČSN 12464-1.

*Tab. 18. Část měřeného prostoru lakovny – navěšování*

Rozměry [m]	Kontrolní body číslo	Průměrná udržovaná osvětlenost dle ČSN 12464-1 $\bar{E}_m$ [lx]	Poloha srovnávací roviny dle ČSN 12464-1
6x2	298 až 321	200	Svisle (v rovině kolejky)



*Obr. 45. Výřez z plánu měření – navěšování*



Obr. 46. Část prostoru lakovny – navěšování

Tab. 19. Naměřené hodnoty osvětlenosti

– navěšování

	<b>b</b>	<b>E [lx]</b>	<b>Poznámky</b>
<b>NAVĚŠOVÁNÍ</b>	298	120	Měřená strana při pohledu na jih
	299	127	
	300	111	
	301	111	
	302	105	
	303	104	
	304	98	
	305	100	
	306	94	
	307	94	
	308	92	
	309	96	Měřená strana při pohledu na sever
	310	39	
	311	45	
	312	37	
	313	60	
	314	46	
	315	82	
	316	71	
	317	79	
	318	113	
319	125		
320	105		
321	124		



Výše uvedené hodnoty byly měřeny na srovnávací rovině, která je „oboustranná“, proto jsou hodnoty rozděleny na jižní a severní část.

### 7.3.7.1 Zpracování naměřených hodnot a diskuze

Po zpracování naměřených hodnot dostáváme pro jednotlivé strany tyto výsledky:

$$\left( \bar{E}_{navJ} \pm \bar{\sigma}_{E_{navJ}} \right) = (104 \pm 4) \text{ lx}$$

$$\left( \bar{E}_{navS} \pm \bar{\sigma}_{E_{navS}} \right) = (77 \pm 10) \text{ lx}$$

Porovnáme-li obě průměrné hodnoty osvětlenosti na svislé srovnávací rovině v oblasti navěšování s normovanou hodnotou ( $\bar{E}_m = 200 \text{ lx}$ ), zjistíme, že intenzita osvětlení v daném prostoru normě nevyhovuje, platí tedy že:

$$\bar{E}_{navJ} < \bar{E}_m$$

$$\bar{E}_{navS} < \bar{E}_m$$

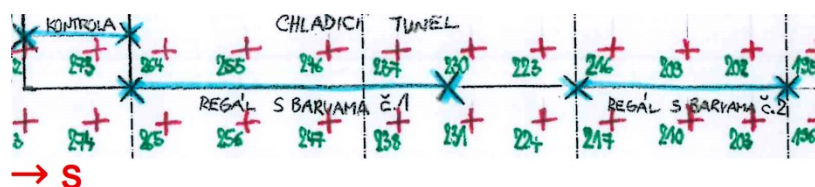
Oblast navěšování vyžaduje lepší osvětlení, a to buď instalací nové osvětlovací soustavy s vyšší intenzitou osvětlení, nebo použitím nějakých přídavných bočních svítidel.

### 7.3.8 Regály s barvami

V prostorách lakovny jsou v podstatě dvě místa, kde jsou postaveny regály s krabicemi barev. V plánu měření jsou tyto regály popsány a vyznačeny modře.

Tab. 20. Část měřeného prostoru lakovny – regály s barvami

Rozměry [m]	Kontrolní body číslo	Průměrná udržovaná osvětlenost dle ČSN 12464-1 $\bar{E}_m$ [lx]	Poloha srovnávací roviny dle ČSN 12464-1
9x2 + 6x2	386 až 415	200	Svisle v rovině průčelí regálu



Obr. 47. Výřez z plánu měření – regály s barvami



Obr. 48. Regály s barvami č. 1



Obr. 49. Regál s barvami č. 2

 Tab. 21. Naměřené hodnoty osvětlenosti  
 – regály s barvami

	<b>b</b>	<b>E [lx]</b>	<b>b</b>	<b>E [lx]</b>
<b>REGÁL S BARVAMI Č. 1</b>	386	57	395	60
	387	49	396	75
	388	53	397	70
	389	56	398	61
	390	57	399	51
	391	51	400	62
	392	68	401	47
	393	42	402	60
	394	65	403	43
	<b>b</b>	<b>E [lx]</b>	<b>b</b>	<b>E [lx]</b>
<b>REGÁL S BARVAMI Č. 2</b>	404	65	410	83
	405	56	411	57
	406	70	412	84
	407	57	413	68
	408	80	414	77
	409	50	415	49

### 7.3.8.1 Zpracování naměřených hodnot a diskuze

Po zpracování naměřených hodnot pro obě části regálů dostáváme tyto výsledky:

$$\left(\bar{E}_{regb1} \pm \bar{\sigma}_{\bar{E}_{regb1}}\right) = (57 \pm 3) \text{ lx}$$

$$\left(\bar{E}_{regb2} \pm \bar{\sigma}_{\bar{E}_{regb2}}\right) = (66 \pm 4) \text{ lx}$$

Porovnáme-li obě průměrné hodnoty osvětlenosti na svislé srovnávací rovině průčelí regálů s normovanou hodnotou ( $\bar{E}_m = 200 \text{ lx}$ ), zjistíme, že intenzita osvětlení v daném prostoru normě nevyhovuje, platí tedy že:

$$\bar{E}_{regb1} < \bar{E}_m$$

$$\bar{E}_{regb2} < \bar{E}_m$$

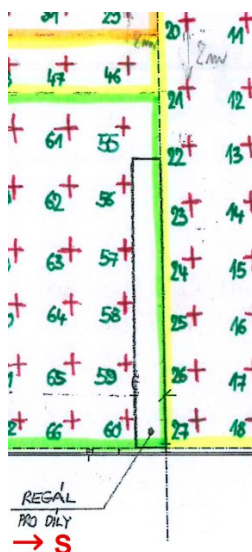
Místa s regály by bylo vhodné osvětlovat nějakým přidavným bočním osvětlením, případně se pokusit o návrh nové soustavy osvětlení s vyšší intenzitou vyzařovaného světla.

### 7.3.9 Regál pro díly

V prostorách lakovny se v těsné blízkosti komunikace nachází větší regál, do kterého se ukládají různé díly. V plánu měření je poloha tohoto regálu přesně vyznačena a popsána.

Tab. 22. Část měřeného prostoru lakovny – regál pro díly

Rozměry [m]	Kontrolní body číslo	Průměrná udržovaná osvětlenost dle ČSN 12464-1 $\bar{E}_m$ [lx]	Poloha srovnávací roviny dle ČSN 12464-1
10x3	416 až 445	200	Svisle v rovině průčelí regálu



Obr. 50. Výřez z plánu měření – regál pro díly



Obr. 51. Regál pro díly

Tab. 23. Naměřené hodnoty osvětlenosti – regál pro díly

	<b>b</b>	<b>E [lx]</b>	<b>b</b>	<b>E [lx]</b>	<b>b</b>	<b>E [lx]</b>
<b>REGÁL PRO DÍLY</b>	416	37	426	50	436	60
	417	35	427	37	437	88
	418	30	428	66	438	84
	419	45	429	55	439	64
	420	39	430	47	440	95
	421	36	431	76	441	91
	422	46	432	69	442	71
	423	44	433	53	443	96
	424	39	434	87	444	80
	425	53	435	78	445	67

### 7.3.9.1 Zpracování naměřených hodnot a diskuze

Po zpracování naměřených hodnot osvětlenosti průčelí regálu pro díly dostáváme:

$$\left( \bar{E}_{regd} \pm \bar{\sigma}_{\bar{E}_{regd}} \right) = (61 \pm 4) \text{ lx}$$

Srovnáním s normovanou hodnotou osvětlenosti zjistíme, že osvětlenost průčelí regálu pro díly normě nevyhovuje. Platí tedy  $\bar{E}_{regd} < \bar{E}_m$ . Regál by bylo vhodné osvětlovat nějakým přídatným bočním osvětlením nebo se pokusit navrhnout novou osvětlovací soustavu s vyšší intenzitou osvětlení, která by splnila požadované hodnoty osvětlenosti regálu.

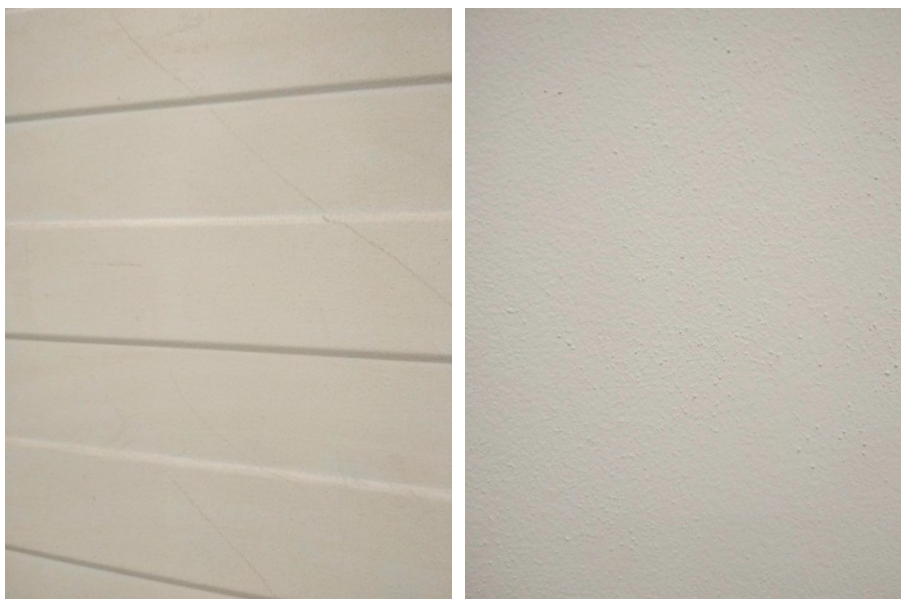
## 7.4 Naměřené hodnoty činitele odrazu a jejich zpracování

V praktické části práce byly mimo *intenzitu osvětlení*  $E$  [lx] měřeny také hodnoty *činitele odrazu*  $\rho$  [-] jednotlivých překážek a stěn lakovny. Různých předmětů a překážek je v lakovně nespočet, snahou bylo zaznamenat alespoň takové překážky, které jsou v prostoru lakovny svými rozměry „dominantní“, a tedy mohou mít vliv na odraz světla. Tyto záznamy budou užitečné později při návrhu a simulaci nového osvětlení.

Poloha těchto překážek je zakreslena v plánu měření, který je k nahlédnutí v příloze. Na následujících stranách jsou pak uvedeny veškeré naměřené hodnoty včetně jejich zpracování a komentáře.

Jak již bylo uvedeno v kapitole 7.2 *Postup měření*, činitel odrazu  $\rho$  [-] se spočítá jako podíl mezi intenzitou světla odraženého od měřeného povrchu  $E_{odr}$  [lx] a intenzitou světla dopadajícího na měřený povrch  $E_{dop}$  [lx]. Postup výpočtu aritmetického průměru a směrodatné odchylky aritmetického průměru je známý již z předchozí kapitoly měření osvětlenosti.

### 7.4.1 Stěny



Obr. 52. Povrch stěn (vlevo – západní stěna, vpravo – severní stěna)

Západní stěna je plechová a její povrch je natřený bílou barvou, severní stěna je cihlová s bílou omítkou na povrchu. Z níže uvedených činitelů odrazu vidíme, že severní stěna odráží světlo nejvíce. To je nejspíš dáno také tím, že je tato stěna v největší vzdálenosti od pracovního prostředí linky, které je poměrně prašné a stěna tedy není prachem znečištěna tolik jako stěny ostatní.

Tab. 24. Naměřené hodnoty činitele odrazu – západní a severní stěna

Typ překážky = stěna západní ( $\rho_{\text{doporučené}} = 0,5 \text{ až } 0,8$ )				Typ překážky = stěna severní ( $\rho_{\text{doporučené}} = 0,5 \text{ až } 0,8$ )			
č. měř.	$E_{\text{dop.}} [lx]$	$E_{\text{odr.}} [lx]$	$\rho [-]$	č. měř.	$E_{\text{dop.}} [lx]$	$E_{\text{odr.}} [lx]$	$\rho [-]$
1	56	38	0,68	1	76	61	0,80
2	67	40	0,60	2	77	63	0,82
3	68	40	0,59	3	78	62	0,80
4	71	40	0,57	4	78	63	0,81
5	57	40	0,69	5	76	60	0,79
6	62	39	0,63	6	80	68	0,84
7	67	42	0,63	7	76	61	0,81
8	67	41	0,62	8	74	60	0,82
9	56	33	0,60	9	73	55	0,76
10	73	45	0,61	10	73	59	0,80
11	75	45	0,60	11	80	65	0,82
12	76	46	0,60	12	80	64	0,81
13	73	44	0,60	13	77	63	0,81
14	73	44	0,60	14	70	54	0,76
15	77	46	0,60	15	73	54	0,74
$(\bar{\rho} \pm \sigma_{\rho}) [-]$			0,61 ± 0,02	$(\bar{\rho} \pm \sigma_{\rho}) [-]$			0,80 ± 0,02



Obr. 53. Povrch stěn (vlevo – východní stěna, vpravo – jižní stěna)

Obě tyto stěny jsou (stejně jako stěna západní) vyrobeny z plechu a jejich povrch je natřený bílou barvou. Již z fotografie je patrné, že jižní stěna je prašným prostředním znečištěna nejvíce. To potvrzuje i její hodnota činitele odrazu uvedená v tabulce na následující straně.

Tab. 25. Naměřené hodnoty činitele odrazu – východní a jižní stěna

Typ překážky = stěna východní ( $\rho_{\text{doporučené}} = 0,5 \text{ až } 0,8$ )				Typ překážky = stěna jižní ( $\rho_{\text{doporučené}} = 0,5 \text{ až } 0,8$ )			
č. měř.	$E_{\text{dop.}}[\text{lx}]$	$E_{\text{odr.}}[\text{lx}]$	$\rho$ [-]	č. měř.	$E_{\text{dop.}}[\text{lx}]$	$E_{\text{odr.}}[\text{lx}]$	$\rho$ [-]
1	127	65	0,51	1	36	15	0,41
2	122	61	0,50	2	43	16	0,37
3	130	67	0,51	3	38	15	0,39
4	117	60	0,51	4	35	15	0,42
5	117	50	0,43	5	35	15	0,41
6	136	67	0,49	6	41	15	0,37
7	121	63	0,52	7	32	14	0,44
8	114	59	0,52	8	32	14	0,45
9	114	59	0,52	9	35	15	0,42
10	123	64	0,52	10	37	15	0,39
11	133	67	0,50	11	38	15	0,39
12	118	57	0,48	12	46	15	0,33
13	122	65	0,53	13	45	15	0,33
14	133	67	0,50	14	45	14	0,32
15	118	61	0,52	15	37	15	0,39
$(\bar{\rho} \pm \sigma_{\rho})$ [-]			0,50 $\pm$ 0,02	$(\bar{\rho} \pm \sigma_{\rho})$ [-]			0,39 $\pm$ 0,02

#### 7.4.2 Podlaha

Podlaha je z betonu a její povrch není kromě žlutých značek vymezujících prostor komunikace nijak upraven. Její vzhled je možno vidět na některé z předchozích fotografií, například na Obr. 51.

Tab. 26. Naměřené hodnoty činitele odrazu – podlaha

Typ překážky = podlaha ( $\rho_{\text{doporučené}} = 0,2 \text{ až } 0,4$ )			
č. měř.	$E_{\text{dop.}}[\text{lx}]$	$E_{\text{odr.}}[\text{lx}]$	$\rho$ [-]
1	186	27	0,15
2	184	26	0,14
3	185	26	0,14
4	181	25	0,14
5	183	26	0,14
6	180	24	0,13
7	180	25	0,14
8	181	26	0,14
9	184	27	0,15
10	185	27	0,15
11	183	25	0,14
12	185	26	0,14
13	180	24	0,13
14	181	25	0,14
15	182	27	0,15
$(\bar{\rho} \pm \sigma_{\rho})$ [-]			0,14 $\pm$ 0,01

### 7.4.3 Modré skříně

V části prostoru komunikace při severní stěně se nachází modré skříně o celkovém rozměru 4x2x0,5 m (šířka x výška x hloubka). Tyto skříně odrážejí světlo mnohem méně než stěna, u které stojí (viz hodnota činitele odrazu v následující tabulce).



Obr. 54. Modré skříně při severní stěně

Tab. 27. Naměřené hodnoty činitele odrazu – modré skříně

<b>Typ překážky = modré skříně</b>			
<b>č. měř.</b>	<b><math>E_{dop.}[lx]</math></b>	<b><math>E_{odr.}[lx]</math></b>	<b><math>\rho [-]</math></b>
1	77	20	0,26
2	82	28	0,34
3	82	27	0,33
4	81	23	0,28
5	78	20	0,26
6	79	22	0,28
7	80	22	0,28
8	82	22	0,27
9	80	21	0,26
10	78	20	0,26
11	81	22	0,27
12	82	21	0,26
13	79	22	0,28
14	79	21	0,27
15	81	22	0,27
<b><math>(\bar{\rho} \pm \sigma_{\rho}) [-]</math></b>	<b><math>0,28 \pm 0,01</math></b>		



#### 7.4.4 Nádrže

V prostoru lakovny je umístěno několik nádrží na demineralizovanou vodu a jiné potřebné látky. Tyto nádrže jsou poměrně rozměrné (jejich průměr je cca 1,5 m a výška až cca 6 m), a vytváří tak v prostoru lakovny stíny.



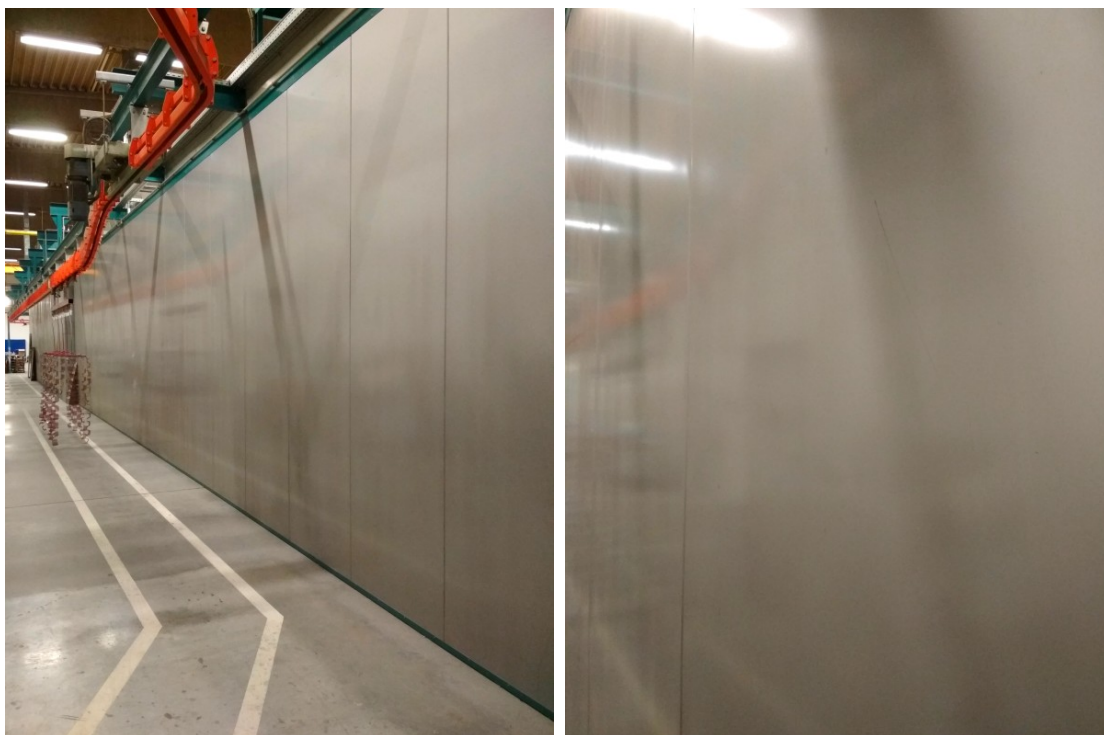
Obr. 55. Nádrže v prostoru lakovny

Tab. 28. Naměřené hodnoty činitele odrazu – nádrže

Typ překážky = nádrže č. 1				Typ překážky = nádrže č. 2			
č. měř.	$E_{dop.}[lx]$	$E_{odr.}[lx]$	$\rho [-]$	č. měř.	$E_{dop.}[lx]$	$E_{odr.}[lx]$	$\rho [-]$
1	63	29	0,46	1	89	39	0,44
2	68	28	0,41	2	88	46	0,52
3	67	26	0,39	3	83	41	0,49
4	67	27	0,40	4	89	41	0,46
5	64	28	0,44	5	79	39	0,49
6	65	28	0,43	6	80	42	0,53
7	64	27	0,42	7	84	44	0,52
8	68	27	0,40	8	88	45	0,51
9	68	28	0,41	9	84	45	0,54
10	67	29	0,43	10	87	43	0,49
11	63	28	0,44	11	86	42	0,49
12	65	27	0,42	12	88	48	0,55
13	68	26	0,38	13	79	42	0,53
14	67	28	0,42	14	84	41	0,49
15	68	27	0,40	15	85	43	0,51
$(\bar{\rho} \pm \sigma_{\rho}) [-]$	0,42 ± 0,01			$(\bar{\rho} \pm \sigma_{\rho}) [-]$	0,50 ± 0,01		

### 7.4.5 Pec a chladicí tunel

Pec a chladicí tunel je nerozměrnější část linky, která má společnou stěnu o délce cca 36 m (viz fotografie níže) a její poloha je také zakreslena v plánu měření. Povrch plechové stěny je „pololesklý“, viz detail níže.



Obr. 56. Stěna pece a chladicího tunelu (vpravo – detail povrchu stěny)

Tab. 29. Naměřené hodnoty činitele odrazu – pec a chladicí tunel

Typ překážky = pec				Typ překážky = chladicí tunel			
č. měř.	$E_{dop.}[lx]$	$E_{odr.}[lx]$	$\rho [-]$	č. měř.	$E_{dop.}[lx]$	$E_{odr.}[lx]$	$\rho [-]$
1	99	46	0,46	1	64	33	0,52
2	98	43	0,44	2	65	33	0,51
3	98	46	0,47	3	64	33	0,52
4	98	45	0,46	4	66	35	0,53
5	98	43	0,44	5	70	40	0,57
6	99	44	0,44	6	68	37	0,54
7	100	45	0,45	7	67	38	0,57
8	98	44	0,45	8	68	38	0,56
9	99	46	0,46	9	69	37	0,54
10	100	45	0,45	10	64	34	0,53
11	100	44	0,44	11	70	39	0,56
12	98	44	0,45	12	70	40	0,57
13	97	44	0,45	13	69	38	0,55
14	97	45	0,46	14	68	37	0,54
15	98	43	0,44	15	71	40	0,56
$(\bar{\rho} \pm \sigma_{\rho}) [-]$		0,45 ± 0,01		$(\bar{\rho} \pm \sigma_{\rho}) [-]$		0,55 ± 0,02	

#### 7.4.6 „Sprcha“ a sušárna

„Sprcha“ a sušárna jsou další rozměrné překážky, jejichž vnější povrch je ze stejného materiálu, jako je například stěna pece, tedy „pololesklý“ plech. Naměřené hodnoty činitele odrazu „sprchy“ a sušárny tak vykazují velmi podobné hodnoty, jako byly uvedeny v předchozím případě.



Obr. 57. "Sprcha" a sušárna (vpravo – povrch stěny sušárny)

Rozměry „sprchy“ jsou cca 13x4x4 m (délka x šířka x výška) a rozměry sušárny jsou cca 9x4x4 m (délka x šířka x výška).

Tab. 30. Naměřené hodnoty činitele odrazu – „sprcha“ a sušárna

Typ překážky = "sprcha"				Typ překážky = sušárna			
č. měř.	$E_{dop.}[lx]$	$E_{odr.}[lx]$	$\rho [-]$	č. měř.	$E_{dop.}[lx]$	$E_{odr.}[lx]$	$\rho [-]$
1	111	40	0,36	1	71	38	0,54
2	105	47	0,45	2	71	42	0,59
3	111	42	0,38	3	73	36	0,49
4	111	42	0,38	4	64	37	0,58
5	106	44	0,42	5	72	37	0,51
6	112	42	0,38	6	70	38	0,54
7	110	43	0,39	7	72	39	0,54
8	105	47	0,45	8	68	38	0,56
9	107	48	0,45	9	68	35	0,51
10	116	48	0,41	10	70	37	0,53
11	114	47	0,41	11	69	39	0,57
12	105	43	0,41	12	64	38	0,59
13	107	44	0,41	13	71	39	0,55
14	108	45	0,42	14	70	39	0,56
15	112	46	0,41	15	72	40	0,56
$(\bar{\rho} \pm \sigma_{\rho}) [-]$	0,41 $\pm$ 0,01			$(\bar{\rho} \pm \sigma_{\rho}) [-]$	0,55 $\pm$ 0,01		

### 7.4.7 Lakovací kabiny

Lakovací kabiny jsou další z rozměrných částí lakovací linky a jejich poloha je opět zakreslena v plánu měření. Jejich povrch je natřen matnou bílou barvou.

Rozměry ruční kabiny jsou cca 5x3x4 m (délka x šířka x výška) a rozměry automatu jsou cca 9x4x3 m (délka x šířka x výška)



Obr. 58. Lakovací kabiny (vlevo – kabina ruční, vpravo – kabina automat)

Tab. 31. Naměřené hodnoty činitele odrazu – lakovací kabiny

Typ překážky = kabina ruční				Typ překážky = kabina automat			
č. měř.	$E_{dop.}[lx]$	$E_{odr.}[lx]$	$\rho [-]$	č. měř.	$E_{dop.}[lx]$	$E_{odr.}[lx]$	$\rho [-]$
1	115	81	0,70	1	73	50	0,68
2	114	86	0,75	2	72	50	0,69
3	114	86	0,75	3	74	51	0,69
4	114	87	0,76	4	75	51	0,68
5	112	86	0,77	5	74	51	0,69
6	111	88	0,79	6	70	50	0,71
7	114	87	0,76	7	74	52	0,70
8	116	86	0,74	8	73	50	0,68
9	112	82	0,73	9	73	51	0,70
10	114	88	0,77	10	70	52	0,74
11	115	87	0,76	11	72	55	0,76
12	116	89	0,77	12	72	50	0,69
13	115	88	0,77	13	74	49	0,66
14	118	84	0,71	14	75	52	0,69
15	117	84	0,72	15	74	52	0,70
$(\bar{\rho} \pm \sigma_{\rho}) [-]$	0,75 ± 0,01			$(\bar{\rho} \pm \sigma_{\rho}) [-]$	0,70 ± 0,01		

#### 7.4.8 Surový díl vs. lakovaný díl

Občas se stává, že je manipulační prostor lakovny doslova „zaskládaný“ různými díly. Pro zajímavost si tedy ještě dovoluji uvést rozdíl ve vlastnostech odrazu světla surového dílu a dílu lakovaného. Díly se v této lakovně nejčastěji lakují na odstín RAL7035 (světle šedá) a RAL9010 (bílá), hodnoty činitele odrazu byly proto změřeny právě u těchto typů.



Obr. 59. Surový díl vs. lakovaný díl (barevný odstín RAL9010)

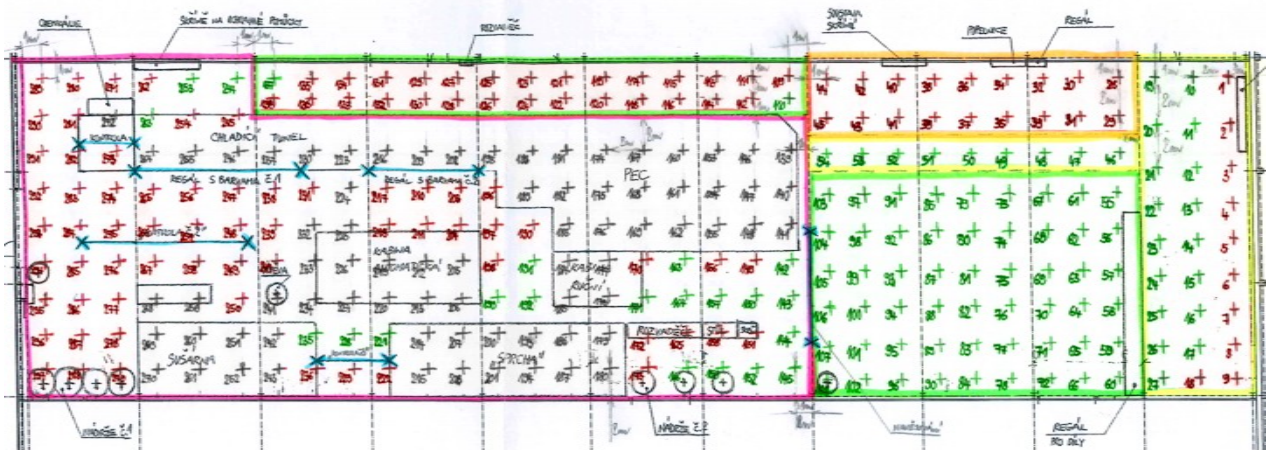
Z naměřených hodnot, které jsou uvedeny na následující straně je vidět, že poměr odraženého světla od surového dílu není nijak vysoký. Pokud ale díl nalakujeme světle šedou barvou RAL7035, vzroste jeho odrazivost světla přibližně dvojnásobně a v případě, že jej nalakujeme bílou barvou RAL9010, tak se jeho vlastnost odrazu světla až ztrojnásobí.

Tab. 32. Naměřené hodnoty činitele odrazu – surový díl vs. lakovaný díl (odstíny RAL7035 a RAL9010)

Typ překážky = surový díl				Typ překážky = díl lakovaný odstínem RAL7035				Typ překážky = díl lakovaný odstínem RAL9010			
č. měř.	$E_{dop.}[lx]$	$E_{odr.}[lx]$	$\rho [-]$	č. měř.	$E_{dop.}[lx]$	$E_{odr.}[lx]$	$\rho [-]$	č. měř.	$E_{dop.}[lx]$	$E_{odr.}[lx]$	$\rho [-]$
1	195	47	0,24	1	114	54	0,47	1	141	102	0,72
2	200	46	0,23	2	115	52	0,45	2	140	98	0,70
3	201	45	0,22	3	112	53	0,47	3	139	99	0,71
4	200	45	0,23	4	113	51	0,45	4	130	92	0,71
5	199	47	0,24	5	116	52	0,45	5	129	88	0,68
6	200	46	0,23	6	115	52	0,45	6	135	99	0,73
7	198	47	0,24	7	113	53	0,47	7	130	94	0,72
8	201	46	0,23	8	113	52	0,46	8	134	95	0,71
9	202	47	0,23	9	114	52	0,46	9	139	98	0,71
10	199	46	0,23	10	111	51	0,46	10	135	94	0,70
11	198	46	0,23	11	111	52	0,47	11	135	96	0,71
12	195	47	0,24	12	116	54	0,47	12	140	100	0,71
13	200	46	0,23	13	115	54	0,47	13	140	98	0,70
14	202	46	0,23	14	115	53	0,46	14	139	99	0,71
15	199	47	0,24	15	112	53	0,47	15	141	102	0,72
$(\bar{\rho} \pm \sigma_{\rho}) [-]$	0,23 ± 0,01			$(\bar{\rho} \pm \sigma_{\rho}) [-]$	0,46 ± 0,01			$(\bar{\rho} \pm \sigma_{\rho}) [-]$	0,71 ± 0,01		

## 7.5 Shrnutí aktuálního stavu osvětlenosti měřeného prostoru

Z předchozích stran, naměřených a zpracovaných hodnot můžeme říci, že zhruba polovina prostoru lakovny vykazovala hodnoty osvětlenosti pod hranicí normy. V příloze je pro lepší představu k nahlédnutí ještě jednou celý plán měření, avšak tentokrát s barevným vyhodnocením jednotlivých kontrolních bodů. Oproti předchozímu plánu měření, kde červené křížky a zelená čísla u kontrolních bodů nic nehodnotily, je u tohoto vyhodnocení plánu měření právě ona barva podstatná. Červené kontrolní body jsou místa, kde naměřená intenzita osvětlení nevyhovovala normě a zelené kontrolní body jsou naopak místa, která normě vyhovovala. Šedě zbarvené jsou body, které byly z měření vyloučeny kvůli přítomnosti některé z již zmiňovaných překážek.



Obr. 60. Náhled na barevně vyhodnocený plán měření

Z vyhodnocení můžeme říci, že nejhůře dopadla část prostoru předúpravy, kde by intenzita osvětlení měla být dle normy alespoň dvojnásobná než aktuálně je.

Avšak ne vždy byla odchylka od normy tak dramatická. Například v prostoru okolo lakovací linky byla naměřena průměrná intenzita osvětlení nižší „pouze“ o nějakých 30 lx, tj. o 20% méně než udává pro tento prostor norma ( $\bar{E}_m = 150 \text{ lx}$ ). Zde bychom mohli polemizovat například o tom, jak moc byly světelné zdroje znečištěny prachem, tedy jak dlouhá doba uběhla od poslední údržby.

Literatura uvádí, že k poklesu světelného toku znečištěním světelných zdrojů a svítidla o 20 % může dojít již po 3 měsících od poslední údržby. [6]

Z plánu měření s barevným vyhodnocením můžeme říci, že nejširší oblast bodů s nízkou intenzitou osvětlení se nachází právě v okolí lakovací linky. To je dáno zejména tím, že je

linka velmi komplexní, rozměrná a vysoká, takže svou mohutností vytváří jisté stíny a na úroveň podlahy okolo linky tak nedopadá dostatečné množství světla.

Co se týče regálů a částí prostoru, kde se měřilo na srovnávacích rovinách svislých, tak u takových míst určitě stojí za úvahu použití nějakých bočních přídavných osvětlení. Na svislých rovinách totiž ani v jednom případě (nepočítaje část prostoru kontroly) nebyla intenzita osvětlení vyhovující. Vzhledem k tomu, že osvětlení v prostoru kontroly je, jak již bylo řečeno, na základě speciálního požadavku jednoho z významných zákazníků firmy naddimenzováno, nebude tato část prostoru v návrzích nového osvětlení dále řešena.

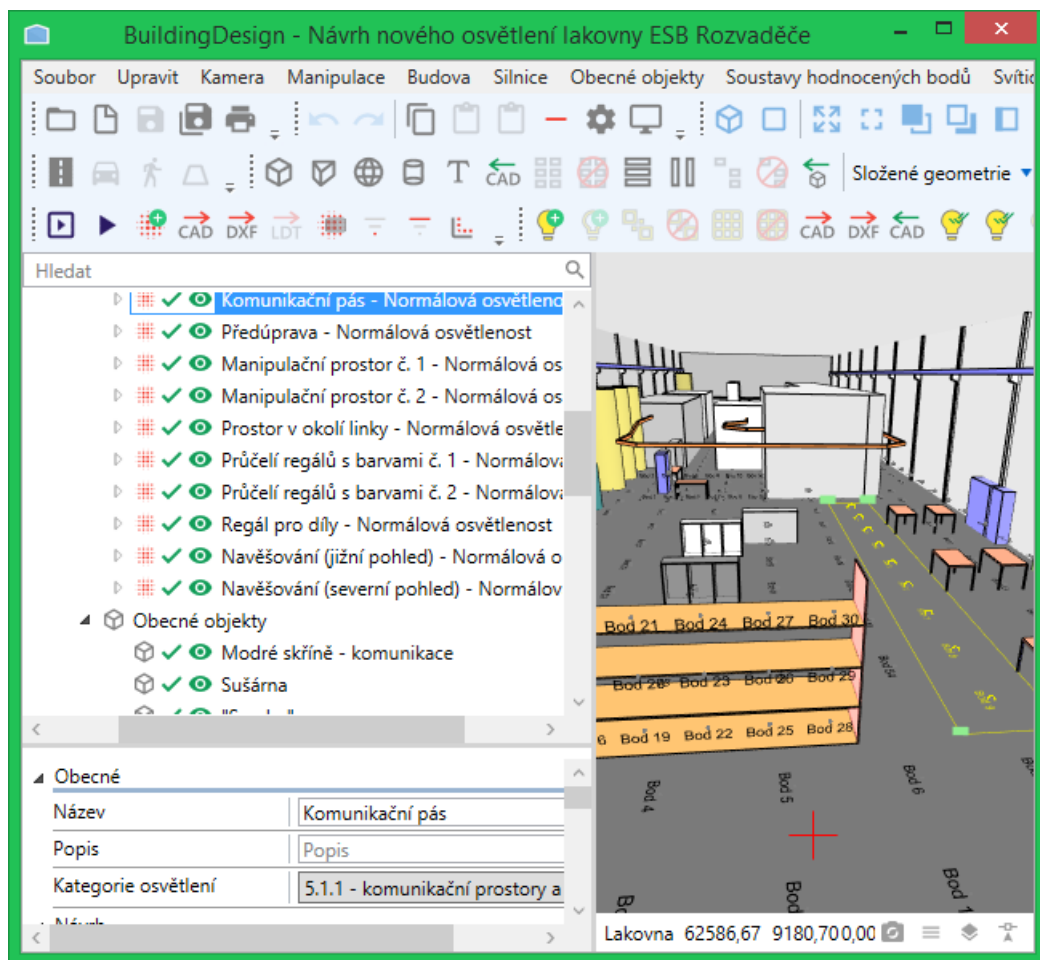
Pro prostor lakovny bude vytvořen návrh osvětlení nového, které by mělo vyhovovat normám intenzity osvětlení. V potaz budou brána také problematická místa, viz plán měření. Jednotlivé návrhy a simulace nového osvětlení včetně komentáře jsou uvedeny v následující kapitole.

## 8 NÁVRH NOVÉHO OSVĚTLENÍ

Pro návrh a simulaci nového osvětlení byl použit již zmiňovaný software WILS 7.0 od zlínské společnosti ASTRA MS Software s.r.o.

### 8.1 Software WILS 7.0

Software WILS 7.0 je volně dostupný nástroj sloužící pro návrh a výpočet umělého osvětlení místností či venkovních prostor.



Obr. 61. Prostředí softwaru WILS 7.0

Tento nástroj nabízí možnost výpočtu normálové osvětlenosti, činitele oslnění  $UGR$ , nouzového osvětlení a dalších světelně technických veličin. Software WILS 7.0 využívá pro výpočty znalost tokové metody, která byla probrána v dřívější kapitole 4.2 *Toková metoda*. Kontrolní výpočty je možno provádět buď v celé místnosti, nebo pouze na jejich vybraných plochách (resp. vytvořených srovnávacích rovinách). Samozřejmostí je možnost nastavení požadovaných hodnot osvětlenosti dle typu místnosti. Výpočty odpovídají požadavkům norem ČSN EN 12464-1 a ČSN EN 12464-2.



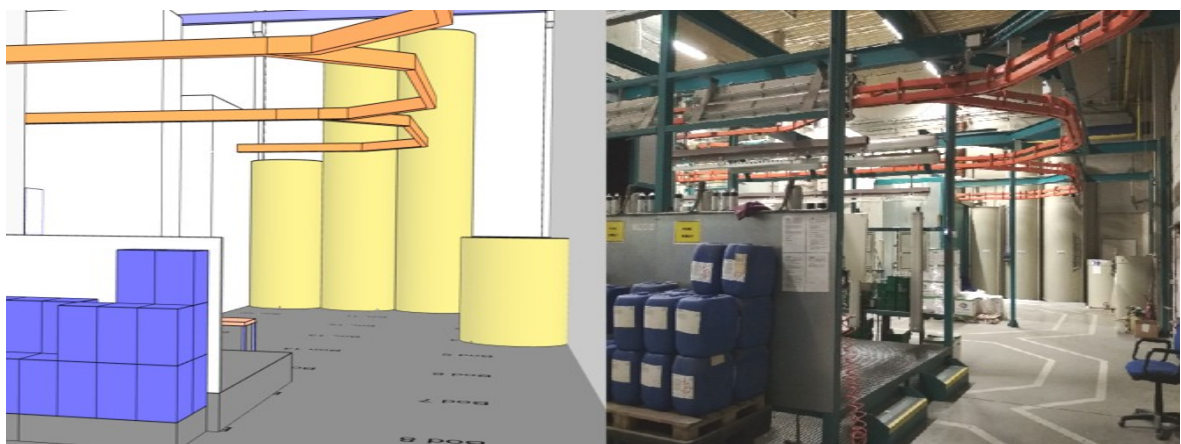
Výsledky jsou zobrazeny jednak v přehledné tabulce všech výpočtů, ale také přímo v modelu, a to buď konkrétními hodnotami v daném kontrolním bodě, izočárami, nebo plynulým barevným spektrem zobrazujícím intenzitu osvětlení.

Co se týče svítidel, tak software obsahuje poměrně obsáhlou databázi, která je poskytována zdarma. V případě potřeby je ale možné databázi svítidel za určitý poplatek rozšířit. Je zde také možnost importovat svítidla vlastní, a to vložением fotometrických souborů ve formátu LDT a IES.

Software umožňuje snadné modelování jednotlivých místností a překážek. Jejich polohu a rozměry lze zadávat buď přímo v prostředí programu, anebo lze využít možnosti spolupráce s nějakou CAD aplikací či použít DXF podklady. U každého vymodelovaného objektu lze změnit jeho barvu, odrazivost a propustnost.

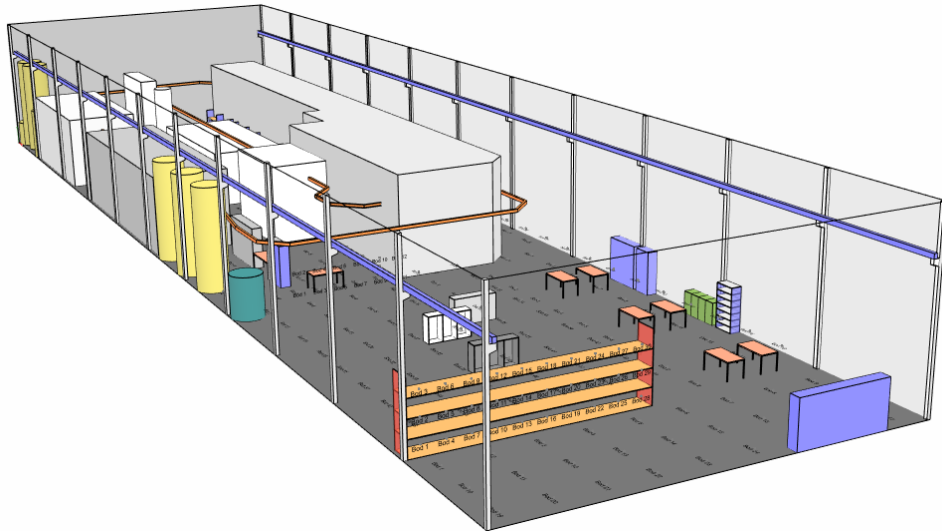
## 8.2 Simulace výrobního prostoru lakovny

Rád bych zde uvedl fakt, že během měření bylo změřeno a zaznamenáno překážek o něco více, než je uvedeno v předchozí kapitole měření. Ovšem tyto ostatní překážky byly svými rozměry oproti těm již uvedeným téměř zanedbatelné, a tak si troufám říci, že vzhledem k rozsahu diplomové práce není úplně nutné je zde všechny dopodrobna rozepisovat. Avšak tyto záznamy byly pro přesnější výpočet při návrhu a simulaci nového osvětlení použity. Pro konkrétní představu se jedná například o drobnější skříně, rozvaděče nebo palety či obalové prostředky a podobné objekty, které jsou také zaznamenány v plánu měření v příloze. Snahou tedy bylo prostor zmapovat co nejlépe, aby simulace působila co nejvěrněji a nejpřesněji. Více již můžeme vidět v následující části.



Obr. 62. Model vs. skutečnost

Na Obr. 63 již vidíme vytvořený model prostoru lakovny, do kterého budou v příslušném simulačním softwaru postupně vkládány jednotlivé návrhy nových osvětlovacích soustav. Kontrolní body na srovnávacích rovinách byly v simulaci zvoleny tak, aby jejich poloha byla totožná s kontrolními body, na kterých se měřilo ve skutečnosti.



Obr. 63. Model prostoru lakovny

Při návrhu nové osvětlovací soustavy lakovny vycházíme mimo jiné také ze znalosti osvětlení stávajícího. Jak již bylo při představení prostor lakovny v kapitole 7.1 uvedeno, stávající osvětlení je řešeno zářivkovými svítidly typu Titus Industry 3x49 W o celkovém počtu 60 ks. Celkový příkon stávajícího osvětlení lakovny je tedy  $P_{V0} = 3 \cdot 49 \cdot 60 = 8820$  W. Při návrhu nové soustavy osvětlení bude snahou volit takové osvětlení, které bude mít celkový příkon nižší, a tím bude jeho provoz oproti stávajícímu řešení ekonomicky příznivější.

Výrobce svítidla Thorn v katalogovém listu také uvádí, že měrný světelný výkon svítidla Titus Industry je 80 lm/W, takže světelný tok jednoho svítidla je  $\phi_{V0} = 3 \cdot 49 \cdot 80 = 11760$  lm. Nominální napětí stávajícího typu svítidel je 230 V. [20]

Aby bylo v celém prostoru lakovny zajištěno jednotné podání barev, budeme brát zřetel na nejvyšší požadovanou hodnotu indexu podání barev  $R_a$  ze všech dříve vymezených zrakových úkonů. Nejprísnejší požadavek má podle normy ČSN EN 12464-1 oblast kontroly ve výrobní hale (ref. číslo 5.18.6.), kde index podání barev musí splňovat podmínku  $R_a \geq 80$ . Při návrhu nového osvětlení tak bude vybíráno z takových svítidel, která jsou schopna toto podání barev zajistit. [15]

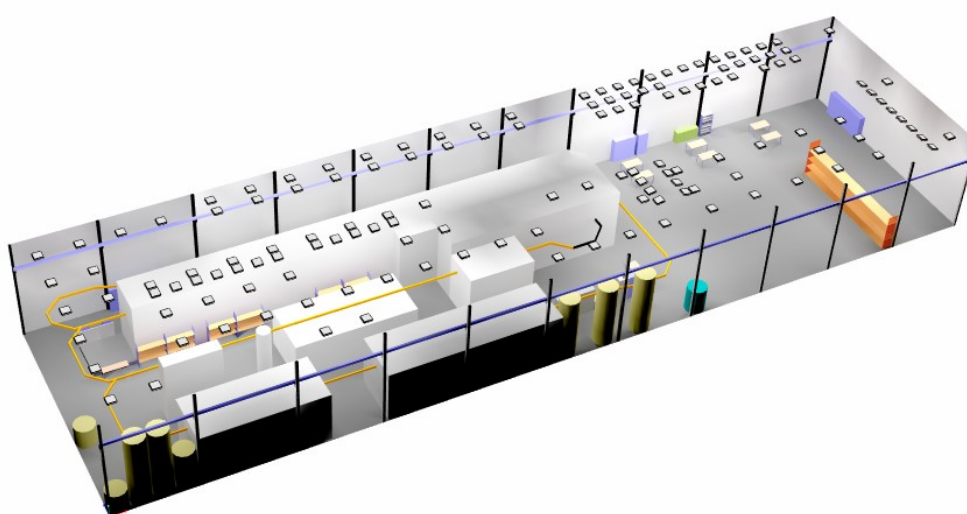
Pro kvalitní návrh nového osvětlení je nutné mít o daném prostoru dostatek informací, mít rozsáhlé znalosti, zkušenosti a také být do jisté míry kreativní. Ing. Petr Baxant, Ph.D. rozděluje postup návrhu osvětlení do čtyř etap:

- *V první etapě* se dostatečně prostuduje řešený prostor, jeho účel, provoz a také se tento prostor rozdělí dle zrakových úkonů, atd.
- *Ve druhé etapě* se zvolí konkrétní osvětlovací soustava (tj. konkrétní typ svítidel včetně jejich rozmístění).
- *Ve třetí etapě* se na základě kontrolních výpočtů osvětlenosti a rušivého oslnění ověřuje, zda zvolené osvětlení vyhovuje. Pokud nevyhovuje, dochází k jeho úpravě. To znamená, že proběhne například změna výšky zavěšení svítidel, změna jejich polohy včetně natočení, změna roztečí mezi jednotlivými svítidly, změna počtu svítidel anebo také volba svítidel zcela jiných.
- *Ve čtvrté etapě* se pak volí konečné řešení daného návrhu a počítají se technicko-ekonomičtí ukazatelé (například celkový příkon osvětlovací soustavy), kteří mohou být pro případnou realizaci směrodatní. [4]

Vzhledem k tomu, že účelem návrhu nového osvětlení je (mimo zajištění dostatečné osvětlenosti) také snaha zajistit jeho nižší energetickou náročnost oproti osvětlení stávajícímu, bude v návrzích osvětlení řešeno tzv. *odstupňované* a *kombinované osvětlení*.

- *Odstupňované osvětlení* slouží stejně jako celkové osvětlení k zajištění požadovaných světelných podmínek, avšak oproti *celkovému osvětlení* jsou svítidla rozmístěna nepravidelně v závislosti na funkčním rozdělení osvětlovaného prostoru. Tím je oproti celkovému osvětlení zajištěno efektivnější využití osvětlovací soustavy a energetická náročnost takového typu osvětlení je pak nižší.
- *Kombinované osvětlení* je spojení celkového či odstupňovaného osvětlení s osvětlením místním. Minimální požadovaná hladina udržované osvětlenosti je zajištěna celkovým či odstupňovaným osvětlením a místa s požadavkem vyšší hladiny udržované osvětlenosti jsou pak vhodně doplněna osvětlením místním. [2]

### 8.3 Návrh nového osvětlení – varianta č. 1



Obr. 64. Návrh nového osvětlení – varianta č. 1 (pohled shora, 3D pohled)

#### 8.3.1 Charakteristika návrhu

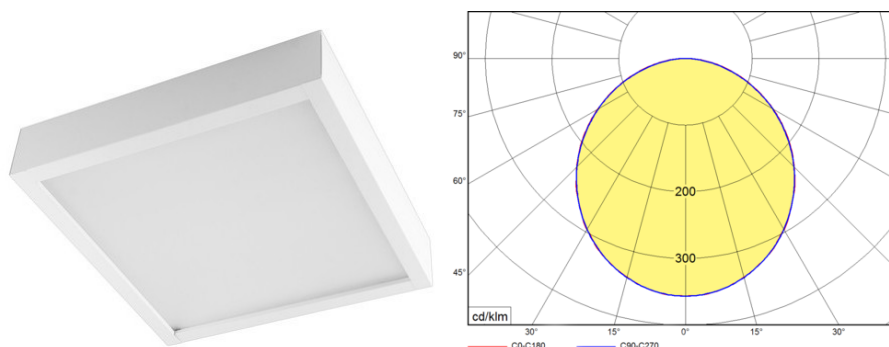
Tento návrh lze charakterizovat jako tzv. odstupňované osvětlení, to znamená, že:

- Svítidla jsou pouze jednoho typu.
- Svítidla jsou rozmístěna nerovnoměrně dle funkčního rozdělení prostoru (v závislosti na požadované udržované osvětlenosti – čím vyšší je  $\bar{E}_m$ , tím hustší je osazení, resp. rozteče mezi jednotlivými svítidly jsou menší).

#### 8.3.2 Použitá svítidla

Před samotným návrhem byla v softwaru WILS 7.0 vyzkoušena různá svítidla obsažená v jeho poměrně široké databázi. Během tohoto zkoušení bylo vypořádáno, že vhodnější je použití většího počtu svítidel o menším světelném toku než menší počet svítidel o vysokém světelném toku, neboť vyzařované světlo je do prostoru rozloženo rovnoměrněji a

nedochází tolik ke vzniku nežádoucího oslnění. Dále bylo vypočítáno, že pro osvětlování řešeného prostoru jsou vhodnější spíše svítidla s kosinovým tvarem křivky svítivosti.



Obr. 65. Svítidlo MODUS LAB4000 (vpravo – křivka svítivosti) [21]

Pro tento návrh byla zvolena LED svítidla od českého výrobce MODUS. Konkrétní typ nese název MODUS LAB4000 a je primárně určen pro použití v průmyslu. V tabulce níže jsou uvedeny jeho základní parametry. Celkový počet svítidel v tomto návrhu je 143 ks.

Tab. 33. Parametry svítidla MODUS LAB4000 [21]

Svítidlo MODUS LAB4000	
Typ zdroje	LED
Světelný tok	4200 lm
Příkon svítidla	32 W
Teplota chromatičnosti	4000 K
Index podání barev $R_a$	80-89
Doba životnosti	80000 h
Stupeň krytí IP	IP65
Nominální napětí	230 V
Hmotnost	5,4 kg

### 8.3.3 Způsob montáže

Svítidla MODUS LAB4000 jsou sice primárně určena pro vestavěnou montáž do podhledů, existuje ale také možnost jak tato svítidla instalovat jako přisazená, a to konkrétně uložním svítidel do rámečků LABRAM, které jsou součástí obou osvětlovacích návrhů.



Obr. 66. Rámeček LABRAM [21]

Z důvodu přítomnosti jeřábové dráhy v prostorách lakovny není možno svítidla instalovat jako zavěšená, ale pouze jako přisazená. Stávající svítidla, která jsou v lakovně nainstalována, jsou přisazena na nosnících, které leží na jednotlivých modulech (viz např. Obr. 30). Nově navrhovaná svítidla se ale převážně nacházejí mimo tyto nosníky, a tak by pro instalaci svítidel bylo potřeba zhotovit z ocelových či hliníkových profilů určitou nosnou konstrukci („rastr“), která by byla připevněna ke spodní straně nosníků. Svítidla jsou v návrhu umístěna ve výšce 7900 mm nad podlahou, což odpovídá spodní rovině nosníků.

### 8.3.4 Výsledky návrhu

V tomto návrhu bylo dosaženo následujících výsledků (viz tabulka níže). Zeleně zbarvené jsou hodnoty, které splňují požadavky dle normy ČSN EN 12464-1. Červeně zbarvené jsou naopak hodnoty v místech, kde se nepodařilo navrženým osvětlením dosáhnout požadavků norem. V níže uvedené tabulce můžeme vidět, že se u všech vodorovných srovnávacích rovin podařilo zajistit dostatečnou intenzitu osvětlení a zároveň nebyla překročena limitní hodnota rušivého činitele oslnění *UGR*.

Tab. 34. Přehled výsledků dosažených návrhem varianty č. 1

Název části prostoru – měřená veličina	Minimální hodnota	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Normovaná hodnota
<b>Lakovna – varianta návrhu č. 1</b>				
Komunikace - Normálová osvětlenost <i>E</i>	145 lx	233 lx	330 lx	150 lx
Komunikace - Činitel oslnění <i>UGR</i>	16,7	18,4	19,9	25
Komunikační pás - Normálová osvětlenost <i>E</i>	378 lx	426 lx	449 lx	150 lx
Komunikační pás - Činitel oslnění <i>UGR</i>	17,8	18,2	18,7	25
Předúprava - Normálová osvětlenost <i>E</i>	428 lx	511 lx	556 lx	500 lx
Předúprava - Činitel oslnění <i>UGR</i>	15,3	16,4	17,4	19
Manipulační prostor č. 1 - Normálová osvětlenost <i>E</i>	140 lx	302 lx	504 lx	200 lx
Manipulační prostor č. 1 - Činitel oslnění <i>UGR</i>	16,3	17,7	18,9	25
Manipulační prostor č. 2 - Normálová osvětlenost <i>E</i>	144 lx	207 lx	329 lx	200 lx
Manipulační prostor č. 2 - Činitel oslnění <i>UGR</i>	14,9	16,5	18,4	25
Prostor v okolí linky - Normálová osvětlenost <i>E</i>	76 lx	212 lx	424 lx	150 lx
Prostor v okolí linky - Činitel oslnění <i>UGR</i>	8,4	17,6	21,6	22
Průčelí regálů s barvami č. 1 - Normálová osvětlenost <i>E</i>	106 lx	142 lx	166 lx	200 lx
Průčelí regálů s barvami č. 2 - Normálová osvětlenost <i>E</i>	87 lx	99 lx	111 lx	200 lx
Regál pro díly - Normálová osvětlenost <i>E</i>	82 lx	117 lx	158 lx	200 lx
Navěšování (jižní pohled) - Normálová osvětlenost <i>E</i>	109 lx	119 lx	131 lx	200 lx
Navěšování (severní pohled) - Normálová osvětlenost <i>E</i>	81 lx	97 lx	115 lx	200 lx

Co se však nepodařilo zajistit, je intenzita osvětlení v průčelí regálů a v místě navěšování v takovém množství jaké požaduje norma. Nicméně oproti stávajícímu osvětlení jsou in-

tenzity osvětlení vyšší a v případě regálů s barvami a regálu pro díly je průměrná osvětlenost až dvojnásobně vyšší, než bylo ve skutečném případě změřeno (viz *Tab. 21* a *Tab. 23*)  
Kompletní výsledky návrhu č. 1 (vč. grafických vyhodnocení) jsou k nahlédnutí v příloze.

### 8.3.5 Diskuze návrhu

Pro dostatečné osvětlování části prostoru „komunikace“ stačilo použít pouze 3 ks svítidel, zbylé světlo, které na komunikaci dopadá, přichází z části „předúpravy“ a ze svítidel osvětlujících regál pro díly. Co se týče části prostoru „komunikační pás“, tak ta v návrhu není nijak účelně osvětlována, veškeré světlo, které na tuto část dopadá, přichází ze svítidel nad částí prostoru „předúpravy“. Vzhledem k tomu, že na komunikačním pásu není překročen činitel oslnění *UGR*, není osvětlení této části dále nijak upravováno. Část prostoru obou manipulačních prostorů využívá částečně dopadající světlo z „předúpravy“, a proto jsou svítidla v těchto prostorech směrem od ní o určitou vzdálenost odsazena. V prostorech okolo linky byla svítidla, která by se nacházela nad práškovací linkou a svítla by tak pouze na její horní část a nikoli na podlahu v okolí, vynechána. To má pozitivní vliv jak z hlediska investičních, tak i provozních nákladů. Regály s barvami, regál pro díly a oblast navěšování jsou osvětlovány větším počtem svítidel, která by byla instalována pod úhlem  $10^\circ$  tak, aby vyzařované světlo dopadalo na svislé srovnávací roviny lépe. Byly však simulovány také větší úhly naklonění svítidel ( $15^\circ$  a  $20^\circ$ ), ale již při úhlu  $15^\circ$  vznikalo nepříjemné rušivé oslnění.

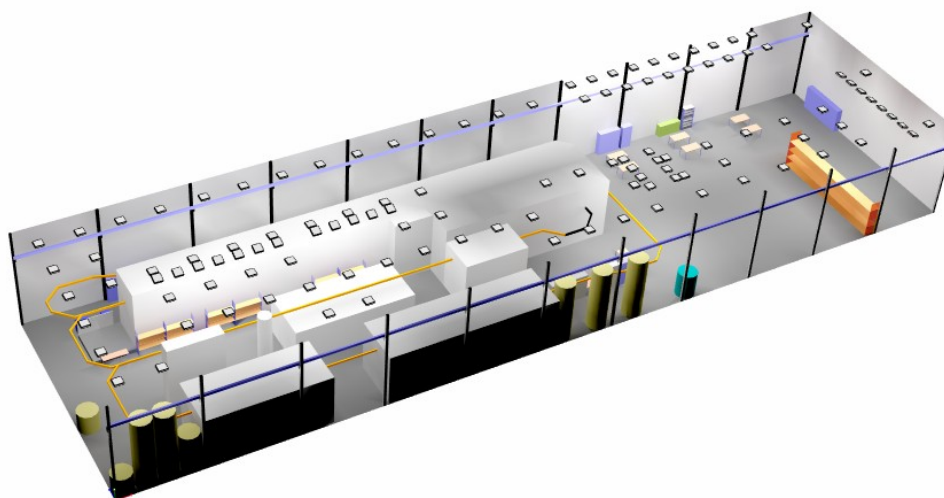
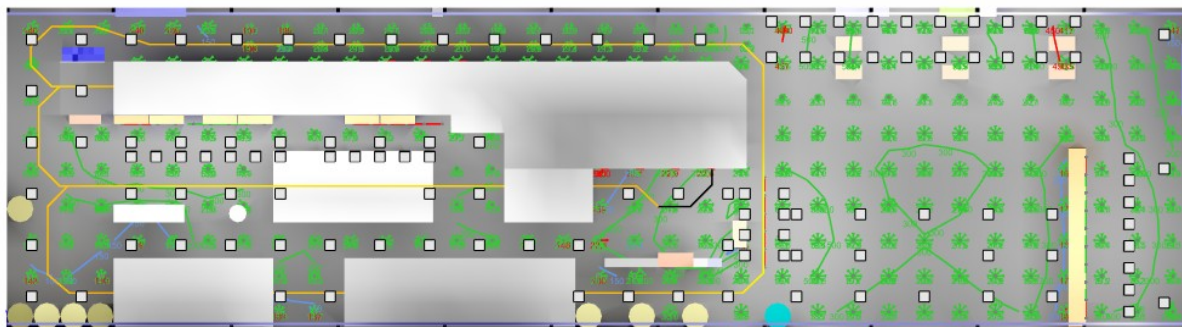
#### Výhody:

- V případě poruchy svítidla potřebujeme náhradní díly pouze jednoho typu.
- Díky větší rovnoměrnosti (resp. většího počtu svítidel) dopadajícího světla jsou hodnoty činitele oslnění *UGR* velmi nízké, což je příznivé pro zrakovou pohodu pracovníků.

#### Nevýhody:

- Poměrně velký počet svítidel (= možné vyšší náklady).
- Poloha svítidel vyžaduje zhotovení určité nosné konstrukce.
- Poloha svítidel není univerzální, to znamená, že v případě změny funkčního uspořádání prostoru toto osvětlení již nemusí prostoru vyhovovat.

## 8.4 Návrh nového osvětlení – varianta č. 2



Obr. 67. Návrh nového osvětlení – varianta č. 2 (pohled shora, 3D pohled)

### 8.4.1 Charakteristika návrhu

Tento návrh ve své podstatě vychází z předchozí varianty. Oproti předchozímu návrhu se ale liší zejména v tom, že se jedná o tzv. kombinované osvětlení, kdy je odstupňované osvětlení doplněno místním osvětlením o vyšším světelném toku, než mají svítidla ostatní. Charakteristickými prvky tohoto návrhu jsou:

- Zvolená svítidla jsou dvojího druhu (jeden druh slouží pro zajištění minimální hladiny osvětlenosti, druhý druh slouží k zajištění vyšší hladiny osvětlenosti v místech s náročnějšími zrakovými úkony).
- V některých částech lakovny jsou svítidla z předchozího návrhu nahrazena menším počtem svítidel s vyšším světelným tokem (viz část prostoru „předúpravy“, manipulačního prostoru č. 2 a osvětlení všech svislých rovin – tj. veškeré regály a navěšování)



### 8.4.2 Použitá svítidla

V této variantě návrhu zůstala část svítidel z předchozího návrhu a část byla nahrazena svítidly MODUS LAB6000 o vyšším světelném toku, díky čemuž je celkový počet použitých svítidel nižší. V návrhu je použito celkem 63 ks svítidel MODUS LAB4000 a 58 ks svítidel MODUS LAB6000. Svítidlo MODUS LAB6000 je svými rozměry, teplotou chromatičnosti, indexem podání barev a dalšími vlastnostmi totožné se svítidlem MODUS LAB4000, liší se pouze v produkovaném světelném výkonu, viz následující tabulka.

Tab. 35. Parametry svítidla MODUS LAB6000 [21]

Svítidlo MODUS LAB6000	
Světelný tok	6900 lm
Příkon svítidla	55 W

### 8.4.3 Způsob montáže

Montáž by probíhala stejným způsobem jako u předchozího návrhu, tedy přisazením svítidel uložených v rámečku na nosný „rastr“ připevněný ze spodní strany nosníků.

### 8.4.4 Výsledky návrhu

V návrhu č. 2 bylo dosaženo výsledků následujících (viz tabulka níže). K barvám hodnot platí totéž co u výsledků předchozího návrhu. Oproti předchozímu návrhu je použito celkově méně svítidel, avšak některá jsou nahrazena výkonnějšími. V průměru se průměrná intenzita osvětlení oproti předchozímu návrhu zvýšila o cca 20 lx. Jelikož je ale rovnoměrnost dopadajícího světla nižší, dochází zde k nárůstu hodnot činitele oslnění  $UGR$ . V prostorách okolo linky se dokonce nachází bod, ve kterém je činitel oslnění  $UGR = 23,1$ . Jedná se ale o bod, který se nachází v těsné blízkosti pece, kde se pracovníci prakticky nevyskytují, a tak je toto místo tolerováno. Co se týče osvětlenosti na svislých srovnávacích rovinách (tj. regály a navěšování), tak se průměrná hodnota intenzity osvětlení zvýšila v průměru o cca 30 lx. Avšak ani v tomto návrhu se nepodařilo u svislých srovnávacích rovin dosáhnout průměrné osvětlenosti 200 lx požadovaných normou.

Tab. 36. Přehled výsledků dosažených návrhem varianty č. 2

Název části prostoru – měřená veličina	Minimální hodnota	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Normovaná hodnota
<b>Lakovna – varianta návrhu č. 2</b>				
Komunikace - Normálová osvětlenost $E$	147 lx	<b>279 lx</b>	404 lx	<b>150 lx</b>
Komunikace - Činitel oslnění $UGR$	17,1	19,2	<b>21,1</b>	<b>25</b>
Komunikační pás - Normálová osvětlenost $E$	380 lx	<b>427 lx</b>	445 lx	<b>150 lx</b>
Komunikační pás - Činitel oslnění $UGR$	19,7	20,2	<b>21,0</b>	<b>25</b>
Předúprava - Normálová osvětlenost $E$	417 lx	<b>523 lx</b>	570 lx	<b>500 lx</b>
Předúprava - Činitel oslnění $UGR$	16,9	17,9	<b>18,8</b>	<b>19</b>
Manipulační prostor č. 1 - Normálová osvětlenost $E$	147 lx	<b>342 lx</b>	662 lx	<b>200 lx</b>
Manipulační prostor č. 1 - Činitel oslnění $UGR$	18,2	19,7	<b>21,6</b>	<b>25</b>
Manipulační prostor č. 2 - Normálová osvětlenost $E$	189 lx	<b>223 lx</b>	359 lx	<b>200 lx</b>
Manipulační prostor č. 2 - Činitel oslnění $UGR$	18,1	19,2	<b>20,0</b>	<b>25</b>
Prostor v okolí linky - Normálová osvětlenost $E$	80 lx	<b>236 lx</b>	529 lx	<b>150 lx</b>
Prostor v okolí linky - Činitel oslnění $UGR$	8,2	18,9	<b>23,1</b>	<b>22</b>
Průčelí regálů s barvami č. 1 - Normálová osvětlenost $E$	126 lx	<b>174 lx</b>	207 lx	<b>200 lx</b>
Průčelí regálů s barvami č. 2 - Normálová osvětlenost $E$	109 lx	<b>130 lx</b>	151 lx	<b>200 lx</b>
Regál pro díly - Normálová osvětlenost $E$	116 lx	<b>171 lx</b>	238 lx	<b>200 lx</b>
Navěšování (jižní pohled) - Normálová osvětlenost $E$	126 lx	<b>140 lx</b>	158 lx	<b>200 lx</b>
Navěšování (severní pohled) - Normálová osvětlenost $E$	96 lx	<b>117 lx</b>	140 lx	<b>200 lx</b>

Kompletní výsledky návrhu č. 2 (vč. grafických vyhodnocení) jsou k nahlédnutí v příloze.

#### 8.4.5 Diskuze návrhu

Jak již bylo zmíněno, návrh č. 2 vychází z návrhu předchozího. V části „předúpravy“ byla všechna svítidla MODUS LAB4000 nahrazena výkonnějšími MODUS LAB6000 a počet použitých svítidel se tak snížil. Kompletně byla nahrazena svítidla také v části manipulačního prostoru č. 2. Nahrazena byla také svítidla osvětlující veškeré svislé srovnávací roviny (tj. regály a oblast navěšování). V prostoru okolo linky byla kvůli udržení nízkých hodnot oslnivosti ponechána původní svítidla MODUS LAB4000. Všeobecně se o tomto návrhu dá říci, že dosahuje vyšších průměrných hodnot intenzity osvětlenosti než návrh předchozí, to je však doprovázeno nárůstem činitele oslnění  $UGR$ .

##### Výhody:

- Nižší celkový počet použitých svítidel.
- Vyšší dosahovaná průměrná osvětlenost.

##### Nevýhody:

- Vyšší hodnoty činitele oslnění  $UGR$ .
- Poloha svítidel vyžaduje zhotovení určité nosné konstrukce.
- Poloha svítidel není univerzální, to znamená, že v případě změny funkčního uspořádání prostoru toto osvětlení již nemusí prostoru vyhovovat.

## 8.5 Vyhodnocení návrhů a doporučení nejvhodnější varianty

Co se týče provozně ekonomického hlediska, z tabulek uvedených níže je patrné, že celkový příkon je u návrhu č. 1 nižší, a to zhruba o 13,7 %. Celkový příkon soustavy se vypočítá dle vztahu (27).

Tab. 37. Celkový příkon osvětlovací soustavy návrhu č. 1

Označení svítidla	Počet svítidel [ks]	Příkon svítidla [W]	Celkový příkon [W]
MODUS LAB4000	143	32	4576
<b>Celkový příkon osvětlovací soustavy =</b>			<b>4576</b>

Tab. 38. Celkový příkon osvětlovací soustavy návrhu č. 2

Označení svítidla	Počet svítidel [ks]	Příkon svítidla [W]	Celkový příkon [W]
MODUS LAB4000	63	32	2016
MODUS LAB6000	58	55	3190
<b>Celkový příkon osvětlovací soustavy =</b>			<b>5206</b>

Pro doporučení nejvhodnějšího návrhu je však vhodné zamyslet se i nad investičními náklady svítidel (ceny uvedené v následujících tabulkách jsou převzaty přímo z webových stránek výrobce MODUS). [21]

Tab. 39. Pořizovací náklady osvětlovací soustavy návrhu č. 1

Položka	Počet [ks]	Jednotková cena [Kč/ks bez DPH]	Celková cena [Kč bez DPH]
Svítidlo MODUS LAB4000	143	2000	286000
Rámeček MODUS LABRAM	143	740	105820
<b>Pořizovací náklady osvětlovací soustavy =</b>			<b>391820</b>

Tab. 40. Pořizovací náklady osvětlovací soustavy návrhu č. 2

Položka	Počet [ks]	Jednotková cena [Kč/ks bez DPH]	Celková cena [Kč bez DPH]
Svítidlo MODUS LAB4000	63	2000	126000
Svítidlo MODUS LAB6000	58	3600	208800
Rámeček MODUS LABRAM	121	740	89540
<b>Pořizovací náklady osvětlovací soustavy =</b>			<b>424340</b>

Pro realizaci nového osvětlení lakovny bych doporučil navrhovanou **variantu č. 1**, protože:

- 1) I přes vyšší počet svítidel tento návrh vykazuje menší investiční náklady.
- 2) Na vodorovných srovnávacích rovinách dosahuje dostatečných průměrných intenzit osvětlení (platí u nich, že  $\bar{E} = \bar{E}_m$ , tj. vyhovuje normě ČSN 12464-1).
- 3) Činitel oslnění  $UGR$  se v celém prostoru lakovny pohybuje v nízkých hodnotách (tj. vyhovuje normě ČSN 12464-1).
- 4) Na svislých srovnávacích rovinách sice průměrné intenzity osvětlení nedosahují požadavků normy (platí, že  $\bar{E} < \bar{E}_m$ ), avšak i přesto je intenzita osvětlení oproti skutečným hodnotám naměřeným při stávajícím osvětlení až dvakrát vyšší, takže by došlo k jistému zlepšení.

## ZÁVĚR

V této diplomové práci byla provedena teoretická studie na dané téma. V samotném úvodu práce bylo popsáno, co to vlastně světlo je, jak vzniká, jak ovlivňuje vnitřní pochody člověka a jaký je jeho význam z hlediska bezpečnosti a produktivity práce. V další kapitole byly definovány pojmy z oblasti zraku a vidění (akomodace, adaptace, zraková pohoda, oslnění, atd.). Byla uvedena fyzikální podstata světla včetně vymezení pojmu indexu podání barev. V teoretické části byly dále vysvětleny základní světelné veličiny popisující vlastnosti a kvalitu osvětlení. Popsána byla také energetická bilance šíření světelného toku přes látku, ze které byli stanoveni jednotliví světelně techničtí činitelé. Dále bylo uvedeno rozdělení elektrických světelných zdrojů včetně popisu každého z nich. Světelné zdroje se osazují do nejrůznějších svítidel, jejichž rozdělení (vč. charakteristik, popisu jednotlivých částí, atd.) je v teoretické části také uvedeno. Závěrem teoretické části byly uvedeny světelně technické výpočty potřebné nejen pro pochopení principu simulačního softwaru WILS 7.0, ale způsobu navrhování osvětlení všeobecně.

Praktická část této diplomové práce se zabývala měřením osvětlení v prostorách lakovny ve výrobní hale společnosti ESB Rozvaděče, a.s.. Úvodem praktické části byly definovány pojmy, jako jsou například srovnávací rovina či kontrolní bod. Byly uvedeny příslušné normy zabývající se kvalitou a měřením umělého osvětlení ve vnitřních pracovních prostorech a dále byl dopodrobna představen řešený prostor lakovny. Poté byl již uveden samotný průběh měření včetně popisu použitého měřidla, plánu měření, naměřených hodnot a jejich zpracování.

Shrnutím aktuálního stavu osvětlenosti lakovny bylo řečeno, že zhruba polovina měřených bodů vykazovala hodnoty pod hranicí normy. Pro názornost byly kontrolní body v plánu měření barevně vyhodnoceny (viz příloha). Největší rozdíl mezi naměřenými hodnotami a normou byl v oblasti „předúpravy“, kde průměrná osvětlenost byla  $\bar{E}_{pú} = (244 \pm 6)$  lx, přičemž průměrná osvětlenost daná normou je  $\bar{E}_m = 500$  lx. Osvětlení oblasti komunikace včetně komunikačního pásu stávajícím osvětlením normě vyhovovalo, stejně tak i manipulační prostor č. 1. Zato osvětlenost manipulačního prostoru č. 2 stávajícím osvětlením byla nevyhovující, důvodem je zejména přítomnost rozměrné práškovací linky, která na toto místo vrhá stíny. Průměrná intenzita osvětlení v prostorech okolo linky byla o cca 30 lx nižší, než udává norma ( $\bar{E}_m = 150$  lx). Veškeré regály a oblast pro navěšování dílů (tj. všechny svislé srovnávací roviny) byly, co se týče intenzity osvětlení, normě nevyhovující.

Na základě částečně nevyhovujícího stávajícího osvětlení lakovny byly provedeny v softwaru WILS 7.0 dva návrhy osvětlení zcela nového. V obou návrzích byla použita moderní LED svítidla od českého výrobce MODUS. V uvedeném softwaru byly tyto návrhy simulovány, přičemž se u obou návrhů podařilo zajistit dostatečnou průměrnou osvětlenost všech vodorovných osvětlovaných srovnávacích rovin. Na svislých srovnávacích rovinách se ani u jednoho z návrhů nepodařilo zajistit dostatečnou průměrnou osvětlenost tak, aby nebyl překročen maximální činitel oslnění *UGR*. Nicméně případnou realizací kteréhokoli z návrhů by došlo u svislých srovnávacích rovin k významnému zlepšení světelných podmínek (až dvojnásobnému oproti stavu osvětlenosti zajištěnému stávající osvětlovací soustavou). Oba návrhy byly ekonomicky vyhodnoceny a závěrem této diplomové práce byla doporučena varianta č. 1, která je pro osvětlení lakovny dostačující a oproti druhé variantě vykazuje o necelých 14 % nižší spotřebu elektrické energie.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] BYSTRICKÝ, Václav a Jan KAŇKA. *Osvětlení*. Vyd. 2. Praha: České vysoké učení technické, 1997, 82 s. ISBN 80-01-01585-8.
- [2] HABEL, Jiří. *Světlo a osvětlování*. Praha: FCC Public, 2013, 622 s. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [3] SMOLÍK, Jan. *Technika prostředí*. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1985, 317 s.
- [4] BAXANT, Petr. *Elektrické teplo a světlo*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 190 s. ISBN 80-214-2761-2.
- [5] *Dynamické osvětlení. Philips Lighting* [online]. Praha, 2018 [cit. 2018-02-20]. Dostupné z: <http://www.lighting.philips.cz/systemy/temata/dynamicke-osvetleni>
- [6] HORŇÁK, Pavol. *Umelé osvetlenie*. Bratislava: Alfa, 1979. Edícia elektrotechnickej literatúry (Alfa), 184 s.
- [7] BEROUNSKÝ, Bronislav. *Osvětlení v průmyslu*. Praha: Ústav zdravotní výchovy, 1967, 40s. Na pomoc přednášejícím.
- [8] NETUŠIL, Jaroslav. *Světlo v teorii a v praxi*. Praha: 1960, 173 s. Technický výběr do kapsy.
- [9] PETROVÁ, Kateřina. *Osvětlení pracoviště. TZB-Info* [online]. Praha, 2017 [cit. 2018-09-30]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/bozp/16590-osvetleni-pracoviste>
- [10] RYBÁR, Peter. *Denní osvětlení a oslunění budov*. Brno: ERA group, 2002. Technická knihovna (ERA), 272 s. ISBN 80-86517-33-0.
- [11] *Environmentální fyzika: Denní a sdružené osvětlení* [online]. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně: Ústav fyziky a materiálového inženýrství [cit. 2018-11-17]. Dostupné z: [http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env\\_fyzika/EF\\_08.pdf](http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_08.pdf)
- [12] *Environmentální fyzika: Umělé osvětlení* [online]. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně: Ústav fyziky a materiálového inženýrství [cit. 2018-11-17]. Dostupné z: [http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env\\_fyzika/EF\\_09.pdf](http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_09.pdf)
- [13] SLEZÁK, Jiří. *Měření osvětlení*. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2001. Doporučený standard technický, 16 s. ISBN 80-86364-40-2.

- [14] MARKOVÁ, Lidmila a Zuzana VYORALOVÁ. *Technická zařízení budov 40: umělé osvětlení, elektrorozvody, hromosvody*. Vyd. 5. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005, 75 s. ISBN 80-01-03147-0.
- [15] ČSN EN 12464-1 (360450) *Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů. Část 1, Vnitřní pracovní prostory*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012, 56 s.
- [16] ČSN 36 0011-3 (360011) *Měření osvětlení vnitřních prostorů - Část 1: Základní ustanovení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014, 16 s.
- [17] ČSN 36 0011-3 (360011) *Měření osvětlení vnitřních prostorů - Část 3: Měření umělého osvětlení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014, 12 s.
- [18] MATOUŠEK, Jiří. *Vliv světla a osvětlení na člověka. TZB-Info* [online]. Praha, 2004 [cit. 2018-10-30]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/osvetleni/1794-vliv-svetla-a-osvetleni-na-cloveka>
- [19] *What is UGR (Unified Glare Rating)? Northgate Lighting Ltd* [online]. 2017 [cit. 2019-02-02]. Dostupné z: <http://www.northgatelighting.co.uk/what-is-ugr/>
- [20] *Thorn - Titus. Široký sortiment zářivkových svítidel navržených pro sportovní a průmyslové účely* [online]. Anglie, Thorn Lighting Limited, 2009. [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/2935160-Titus-siroky-sortiment-zarivkovych-svitidel-navrzenych-pro-sportovni-a-prumyslove-ucely.html>
- [21] *MODUS Český výrobce svítidel: MODUS LAB* [online]. 2018 [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <https://www.modus.cz/modus-lab/>

Internetové zdroje použitých obrázků:

- [22] *ELKOVO Čepelik: LED svítidla - dynamické řízení osvětlení* [online]. 2018 [cit. 2019-01-19]. Dostupné z: <http://www.elkovo-cepelik.cz/led-svitidla-dynamicke-rizeni-osvetleni>
- [23] *PowerWiki: 2 Zrak a vidění* [online]. 2019 [cit. 2019-02-02]. Dostupné z: <https://www.powerwiki.cz/attach/A5M15ES1/A5M15ES1-02-Zrak.pdf>



- [24] *WIKISKRIPTA: Akomodace oka* [online]. 2019 [cit. 2019-02-02]. Dostupné z: [https://www.wikiskripta.eu/images/thumb/1/1a/Akomodace\\_oka.svg/800px-Akomodace\\_oka.svg.png](https://www.wikiskripta.eu/images/thumb/1/1a/Akomodace_oka.svg/800px-Akomodace_oka.svg.png)
- [25] *Laboratorní průvodce: Elektromagnetické spektrum* [online]. 2019 [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: [http://www.labo.cz/mft/rad\\_pasma.htm](http://www.labo.cz/mft/rad_pasma.htm)
- [26] *LabGuide.cz: Elektromagnetické spektrum* [online]. 2019 [cit. 2019-02-11]. Dostupné z: <https://labguide.cz/fluorochromy/elektromagneticke-spektrum/>
- [27] *TechniLED.cz: Barevná teplota* [online]. 2019 [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: <http://www.techniled.cz/20-barevna-teplota/>
- [28] *SmartLEDlighting.cz: LED pásky a jak vybírat?* [online]. 2019 [cit. 2019-03-11]. Dostupné z: <https://www.smartledlighting.cz/LED-pasky-a-jak-vybirat-b6950.htm>
- [29] *Wikimedia Commons: Incandescent light bulb* [online]. 2019 [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Incandescent\\_light\\_bulb.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Incandescent_light_bulb.svg)
- [30] *Elektrika.cz: Zářivkové trubice - konstrukce, zapojení* [online]. 2019 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/data/clanky/zarivkove-trubice-konstrukce-zapojeni>
- [31] *Vývoj.HW.cz: Světelné zdroje a svítidla pro veřejné osvětlení v roce 2012* [online]. 2019 [cit. 2019-03-03]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/knihovnicka/svetelne-zdroje-a-svitidla-pro-verejne-osvetleni-v-roce-2012.html>
- [32] *STANDARDpro.com: The IP Code: What Does It Mean?* [online]. 2019 [cit. 2019-01-28]. Dostupné z: <https://www.standardpro.com/ip-code-what-it-means/>
- [33] *HONOR: Svítidla LED pro osvětlení komunikací - GREENLINE AS 50 W* [online]. 2019 [cit. 2019-02-28]. Dostupné z: <https://www.honor.eu/greenline-as-50.php>
- [34] *Epřístroje.cz: Digitální luxmetr Voltcraft MS-1300* [online]. 2019 [cit. 2019-02-19]. Dostupné z: <https://www.epristroje.cz/digitalni-luxmetr-voltcraft-ms-1300>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CAD	Computer Aided Design	
CIE	Commission internationale de l'éclairage – Mezinárodní komise pro osvětlování	
ČSN	česká technická norma	
DXF	Drawing Exchange Format – formát výkresové dokumentace	
EN	Evropská norma	
IES	Illuminating Engineering Society – fotometrický soubor	
LDT	Luminaire Data File – fotometrický soubor	
LED	Light Emitting Diode – elektroluminiscenční dioda	
OLED	Organic Light Emitting Diode – elektroluminiscenční dioda organická	
UGR	Unified Glare Rating – jednotné hodnocení oslnění	
$\alpha$	činitel pohlcení světla	[-]
$\beta$	úhel dopadu světla na kontrolní rovinu	[°]
$\delta_1; \delta_2$	úhel clonění	[°]
$\eta$	činitel využití osvětlovací soustavy	[-]
$\lambda$	vlnová délka	[m]
$\rho$	činitel odrazu světla	[-]
$\bar{\sigma}_x; \bar{\sigma}_E$	směrodatná odchylka aritmetického průměru	
$\tau$	činitel dopadu světla	[-]
$\phi; \phi_p; \phi_\tau; \phi_\alpha$	světelný tok	[lm]
$\phi_e$	zářivý tok	[W]
$\Omega$	prostorový úhel	[sr]
$\omega$	prostorový úhel každého svítidla vzhledem k oku pozorovatele	[sr]
b	označení kontrolního bodu	[-]
c	rychlost světla ve vakuu (= $2,998 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	[m·s <sup>-1</sup> ]

$D; D_{\min}; D_{\max}$	činitel denní osvětlenosti	[%]
$E; E_{\min}; E_{\max}$	osvětlenost	[lx]
$\bar{E}; \bar{E}_m; \bar{E}_{\dots}$	průměrná osvětlenost	[lx]
$f$	frekvence	[Hz]
$h$	vzdálenost bodu P na rovině $\rho$	[m]
$I; I_\gamma$	svítivost	[cd]
$l$	vzdálenost bodu P na rovině $\rho$	[m]
$L$	střední hodnota jasu sledované plochy	[cd·m <sup>-2</sup> ]
$L_B$	jas pozadí ve směru pohledu pozorovatele	[cd·m <sup>-2</sup> ]
$n_{sk}; n_z$	počet svítidel	[-]
$p$	vzdálenost bodu P na rovině $\rho$	[m]
$P; P_c; P_{v0}$	příkon osvětlovací soustavy	[W]
$p_g$	činitel polohy odklonu svítidla podle Gutha	[-]
$Q$	světelné množství	[lm·s]
$r$	rovnoměrnost denního/umělého osvětlení	[-]
$R_a$	index podání barev	[-]
$S$	povrch	[m <sup>2</sup> ]
$S_R$	povrch koule	[m <sup>2</sup> ]
$\bar{x}; \bar{x}_i$	aritmetický průměr	
$z$	udržovací činitel	[-]
$z_{fs}$	činitel funkční spolehlivosti	[-]
$z_s$	činitel stárnutí světelných zdrojů	[-]
$z_z$	činitel znečištění svítidel	[-]

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Průběh dynamického osvětlení během dne – změny intenzity a barvy světla</i> [22] .....	15
<i>Obr. 2. Stavba oka</i> [23] .....	22
<i>Obr. 3. Akomodace oka</i> [24] .....	23
<i>Obr. 4. Binokulární a monokulární zorná pole pro bílé světlo – poloha očí je vyznačena malými kroužky</i> [25] .....	24
<i>Obr. 5. Křivky poměrné spektrální citlivosti zraku v závislosti k záření různých vlnových délek</i> [27] .....	25
<i>Obr. 6. Elektromagnetické spektrum</i> [26] .....	27
<i>Obr. 7. Orientační barevné znázornění teploty chromatičnosti</i> [27] .....	28
<i>Obr. 8. Porovnání různých indexů podání barev</i> [28] .....	29
<i>Obr. 9. Křivky svítivosti (a – polární souřadnice, b – pravouhlé souřadnice)</i> [12] .....	31
<i>Obr. 10. Energetická bilance šíření světelného toku přes látku</i> [12] .....	32
<i>Obr. 11. Rozdělení elektrických světelných zdrojů</i> [2] .....	35
<i>Obr. 12. Konstrukce žárovky</i> [29] .....	36
<i>Obr. 13. Konstrukce lineární zářivky</i> [30] .....	38
<i>Obr. 14. Graf vývoje měrných výkonů světelných zdrojů</i> [31] .....	40
<i>Obr. 15. Rozdělení svítidel podle rozložení světelného toku</i> .....	41
<i>Obr. 16. Tvary křivek svítivosti (a – koncentrovaná, b – hluboká, c – kosinová, d – pološiroká, e – široká, f – rovnoměrná, g – sinusová)</i> [12] .....	42
<i>Obr. 17. Přehled stupňů krytí IP</i> [32] .....	43
<i>Obr. 18. Úhel clonění pro žárovková svítidla s různými baňkami (<math>\delta_1</math> – čirá baňka, <math>\delta_2</math> – matovaná baňka)</i> .....	44
<i>Obr. 19. Ukázka katalogového listu svítidla</i> [33] .....	46
<i>Obr. 20. Stanovení osvětlenosti bodovou metodou v bodě P na obecné rovině <math>\rho</math></i> [12] .....	50
<i>Obr. 21. Stanovení osvětlenosti bodovou metodou v bodě P na obecné rovině <math>\rho_0</math> kolmé ke směru <math>I_0</math></i> [12] .....	51
<i>Obr. 22. Schematické znázornění hradlového fotočláčku</i> [2] .....	56
<i>Obr. 23. Digitální luxmetr Voltcraft MS-1300</i> [34] .....	56
<i>Obr. 24. Schématické znázornění jasoměru</i> [2] .....	57
<i>Obr. 25. Budova společnosti ESB Rozvaděče, a.s.</i> .....	60
<i>Obr. 26. Prostory lakovny ve výrobní hale společnosti ESB Rozvaděče, a.s.</i> .....	61

<i>Obr. 27. Prostory lakovny ve výrobní hale společnosti ESB Rozvaděče, a.s.</i> .....	61
<i>Obr. 28. Prostory lakovny ve výrobní hale společnosti ESB Rozvaděče, a.s.</i> .....	62
<i>Obr. 29. Pohled na aktuální řešení osvětlovací soustavy (vlevo – východní strana lakovny, vpravo – západní strana lakovny)</i> .....	63
<i>Obr. 30. Pohled na podélné světlíky během nočního měření</i> .....	65
<i>Obr. 31. Výřez z plánu měření – komunikace</i> .....	67
<i>Obr. 32. Výřez z plánu měření – komunikační pás</i> .....	69
<i>Obr. 33. Výřez z plánu měření – předúprava</i> .....	70
<i>Obr. 34. Část prostoru lakovny – předúprava</i> .....	70
<i>Obr. 35. Výřez z plánu měření – manipulační prostor č. 1</i> .....	72
<i>Obr. 36. Část prostoru lakovny – manipulační prostor č. 1</i> .....	72
<i>Obr. 37. Výřez z plánu měření – manipulační prostor č. 2</i> .....	72
<i>Obr. 38. Část prostoru lakovny – manipulační prostor č. 2</i> .....	73
<i>Obr. 39. Výřez z plánu měření – prostor v okolí linky</i> .....	74
<i>Obr. 40. Prostor v okolí linky (vlevo – výstup z ruční práškovací kabiny, vpravo – vstup do automatické práškovací kabiny)</i> .....	75
<i>Obr. 41. Prostor v okolí linky (vlevo – pohled na práškovací kabinu, vpravo – pohled na „sprchu“)</i> .....	75
<i>Obr. 42. Prostor v okolí linky (vlevo – průchod kolem „sprchy“ pohledem na jižní stranu haly, vpravo – průchod kolem „sprchy“ pohledem na severní stranu haly)</i> .....	75
<i>Obr. 43. Výřez z plánu měření – kontrola</i> .....	77
<i>Obr. 44. Část prostoru lakovny – kontrola</i> .....	78
<i>Obr. 45. Výřez z plánu měření – navěšování</i> .....	79
<i>Obr. 46. Část prostoru lakovny – navěšování</i> .....	80
<i>Obr. 47. Výřez z plánu měření – regály s barvami</i> .....	81
<i>Obr. 48. Regály s barvami č. 1</i> .....	82
<i>Obr. 49. Regál s barvami č. 2</i> .....	82
<i>Obr. 50. Výřez z plánu měření – regál pro díly</i> .....	83
<i>Obr. 51. Regál pro díly</i> .....	84
<i>Obr. 52. Povrch stěn (vlevo – západní stěna, vpravo – severní stěna)</i> .....	85
<i>Obr. 53. Povrch stěn (vlevo – východní stěna, vpravo – jižní stěna)</i> .....	86
<i>Obr. 54. Modré skříně při severní stěně</i> .....	88

---

<i>Obr. 55. Nádrže v prostoru lakovny</i> .....	89
<i>Obr. 56. Stěna pece a chladicího tunelu (vpravo – detail povrchu stěny)</i> .....	90
<i>Obr. 57. "Sprcha" a sušárna (vpravo – povrch stěny sušárny)</i> .....	91
<i>Obr. 58. Lakovací kabiny (vlevo – kabina ruční, vpravo – kabina automat)</i> .....	92
<i>Obr. 59. Surový díl vs. lakovaný díl (barevný odstín RAL9010)</i> .....	93
<i>Obr. 60. Náhled na barevně vyhodnocený plán měření</i> .....	94
<i>Obr. 61. Prostředí softwaru WILS 7.0</i> .....	96
<i>Obr. 62. Model vs. skutečnost</i> .....	97
<i>Obr. 63. Model prostoru lakovny</i> .....	98
<i>Obr. 64. Návrh nového osvětlení – varianta č. 1 (pohled shora, 3D pohled)</i> .....	100
<i>Obr. 65. Svítidlo MODUS LAB4000 (vpravo – křivka svítivosti) [21]</i> .....	101
<i>Obr. 66. Rámeček LABRAM [21]</i> .....	101
<i>Obr. 67. Návrh nového osvětlení – varianta č. 2 (pohled shora, 3D pohled)</i> .....	104

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1. Měrný výkon základních skupin světelných zdrojů [2] .....</i>	<i>39</i>
<i>Tab. 2. Rozdělení svítidel podle roložení světelného toku [4] .....</i>	<i>41</i>
<i>Tab. 3. Hodnoty poměrných příkonů [<math>W \cdot m^{-2}</math>] pro <math>E = 100 \text{ lx}</math> [1] .....</i>	<i>47</i>
<i>Tab. 4. Vybrané požadavky na osvětlení vnitřních pracovních prostorů [15].....</i>	<i>59</i>
<i>Tab. 5. Přehled pomyslného rozdělení prostoru dle charakteru činnosti.....</i>	<i>64</i>
<i>Tab. 6. Část měřeného prostoru lakovny – komunikace.....</i>	<i>67</i>
<i>Tab. 7. Naměřené hodnoty osvětlenosti – komunikace.....</i>	<i>67</i>
<i>Tab. 8. Část měřeného prostoru lakovny – komunikační pás .....</i>	<i>69</i>
<i>Tab. 9. Naměřené hodnoty osvětlenosti – komunikační pás .....</i>	<i>69</i>
<i>Tab. 10. Část měřeného prostoru lakovny – předúprava .....</i>	<i>70</i>
<i>Tab. 11. Naměřené hodnoty osvětlenosti - předúprava .....</i>	<i>71</i>
<i>Tab. 12. Část měřeného prostoru lakovny – manipulační prostory .....</i>	<i>71</i>
<i>Tab. 13. Naměřené hodnoty osvětlenosti – manipulační prostory .....</i>	<i>73</i>
<i>Tab. 14. Část měřeného prostoru lakovny – prostor v okolí linky.....</i>	<i>74</i>
<i>Tab. 15. Naměřené hodnoty osvětlenosti – prostor v okolí linky.....</i>	<i>76</i>
<i>Tab. 16. Část měřeného prostoru lakovny – kontrola .....</i>	<i>77</i>
<i>Tab. 17. Naměřené hodnoty osvětlenosti – kontrola .....</i>	<i>78</i>
<i>Tab. 18. Část měřeného prostoru lakovny – navěšování .....</i>	<i>79</i>
<i>Tab. 19. Naměřené hodnoty osvětlenosti – navěšování .....</i>	<i>80</i>
<i>Tab. 20. Část měřeného prostoru lakovny – regály s barvami.....</i>	<i>81</i>
<i>Tab. 21. Naměřené hodnoty osvětlenosti – regály s barvami.....</i>	<i>82</i>
<i>Tab. 22. Část měřeného prostoru lakovny – regál pro díly .....</i>	<i>83</i>
<i>Tab. 23. Naměřené hodnoty osvětlenosti – regál pro díly .....</i>	<i>84</i>
<i>Tab. 24. Naměřené hodnoty činitele odrazu – západní a severní stěna .....</i>	<i>86</i>
<i>Tab. 25. Naměřené hodnoty činitele odrazu – východní a jižní stěna .....</i>	<i>87</i>
<i>Tab. 26. Naměřené hodnoty činitele odrazu – podlaha .....</i>	<i>87</i>
<i>Tab. 27. Naměřené hodnoty činitele odrazu – modré skříně .....</i>	<i>88</i>
<i>Tab. 28. Naměřené hodnoty činitele odrazu – nádrže .....</i>	<i>89</i>
<i>Tab. 29. Naměřené hodnoty činitele odrazu – pec a chladicí tunel.....</i>	<i>90</i>
<i>Tab. 30. Naměřené hodnoty činitele odrazu – „sprcha“ a sušárna .....</i>	<i>91</i>
<i>Tab. 31. Naměřené hodnoty činitele odrazu – lakovací kabiny.....</i>	<i>92</i>

<i>Tab. 32. Naměřené hodnoty činitele odrazu – surový díl vs. lakovaný díl (odstín RAL7035 a RAL9010) .....</i>	<i>93</i>
<i>Tab. 33. Parametry svítidla MODUS LAB4000 [21].....</i>	<i>101</i>
<i>Tab. 34. Přehled výsledků dosažených návrhem varianty č. 1 .....</i>	<i>102</i>
<i>Tab. 35. Parametry svítidla MODUS LAB6000 [21].....</i>	<i>105</i>
<i>Tab. 36. Přehled výsledků dosažených návrhem varianty č. 2 .....</i>	<i>106</i>
<i>Tab. 37. Celkový příkon osvětlovací soustavy návrhu č. 1 .....</i>	<i>107</i>
<i>Tab. 38. Celkový příkon osvětlovací soustavy návrhu č. 2 .....</i>	<i>107</i>
<i>Tab. 39. Pořizovací náklady osvětlovací soustavy návrhu č. 1 .....</i>	<i>107</i>
<i>Tab. 40. Pořizovací náklady osvětlovací soustavy návrhu č. 2 .....</i>	<i>107</i>



## SEZNAM PŘÍLOH

PI: CD-ROM obsahující tyto soubory:

- Elektronická verze diplomové práce
- Simulace obou návrhů (možno otevřít ve volně dostupném softwaru WILS 7.0)
- Elektronické verze příloh PII, PIII, PIV, PV, PVI

PII: Plán měření

PIII: Svislé kontrolní roviny

PIV: Plán měření (barevné vyhodnocení)

PV: Výsledky návrhu nového osvětlení – varianta č. 1

PVI: Výsledky návrhu nového osvětlení – varianta č. 2