



ČVUT

ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

F3

**Fakulta elektrotechnická
Katedra měření**

Diplomová práce

Uživatelsky přívětivé ovládání systému osvětlení školní učebny

User-friendly control of the classroom lighting system

Bc. Kamila Sedláková

Květen 2024

Vedoucí práce: Ing. arch. Lenka Maierová, Ph.D

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Sedláková** Jméno: **Kamila** Osobní číslo: **474743**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra měření**
Studijní program: **Inteligentní budovy**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Uživatelsky přívětivé ovládání systému osvětlení školní učebny

Název diplomové práce anglicky:

User-friendly control of the classroom lighting system

Pokyny pro vypracování:

1. Specifikujte legislativní požadavky i další doporučení na osvětlení školních učeben z hlediska technických a světelně hygienických požadavků.
2. Provedte analýzu světelných podmínek ve sledované učebně. S pomocí měření osvětlenosti na referenčních rovinách a následnou jasovou a spektrální analýzou popište možnosti osvětlovacího systému.
3. Navrhněte různé světelné scény odpovídající různým výukovým situacím s důrazem na zrakový komfort a biologické potřeby.
4. Navrhněte implementaci sběrnicevého systému pro realizaci navržených světelných scén.
5. Změňte nové parametry osvětlení a porovnejte s původními podmínkami. Popište přínosy a limity zvoleného řešení.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Brown TM, Brainard GC, Cajochen C, Czeisler CA, Hanifin JP, Lockley SW, Lucas RJ, Münch M, O'Hagan JB, Peirson SN, Price LLA, Roenneberg T, Schlagen LJM, Skene DJ, Spitschan M, Vetter C, Zee PC, Wright KP Jr. Recommendations for daytime, evening, and nighttime indoor light exposure to best support physiology, sleep, and wakefulness in healthy adults. PLoS Biol. 2022 Mar 17;20(3):e3001571. doi: 10.1371/journal.pbio.3001571. PMID: 35298459; PMCID: PMC8929548.
- [2] Cajochen, C., Freyburger, M., Basishvili, T., Garbazza, C., Rudzik, F., Renz, C., Kobayashi, K., Shirakawa, Y., Stefani, O., & Weibel, J. (2019). Effect of daylight LED on visual comfort, melatonin, mood, waking performance and sleep. Lighting Research and Technology, 51(7), 1044–1062. <https://doi.org/10.1177/1477153519828419>
- [3] ČSN EN 12464-1 (360450) Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - Část 1: Vnitřní pracovní prostory, 2022
- [4] ČSN EN IEC 62386 Digitální adresovatelné rozhraní pro osvětlení, 2018

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. arch. Lenka Maierová, Ph.D. katedra konstrukcí pozemních staveb FSv

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **15.02.2024**

Termín odevzdání diplomové práce: _____

Platnost zadání diplomové práce:

do konce letního semestru 2024/2025

Ing. arch. Lenka Maierová, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

Poděkování / Prohlášení

Chtěla bych moc poděkovat Ing. arch. Lence Maierové, Ph.D. za skvělé vedení mé diplomové práce. Vždy byla ochotná mě navést k správnému řešení, i přes její časové vytížení si našla čas na konzultace a dávala mi rady, jak dále postupovat a motivovala mě zpracovávat tuto práci s nadšením.

Ráda bych také poděkovala Ing. Janu Havlíkovi, Ph.D. za jeho vedení při zaučení s protokolem DALI a za pomoc při sestavování světelného ovládání.

Další poděkování patří doktorandce Ing. Martině Liberské, která mě svým nadšením pro problematiku osvětlení naučila analyzovat osvětlenost pomocí luxmetru.

Na závěr patří poděkování doktorandovi Ing. arch. Patriku Kučerovi za vysvětlení postupu měření pomocí jasového analyzátoru a ukázky zpracování výsledků v softwaru LUMIDisp.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 24.5.2024

.....

Abstrakt / Abstract

Tato diplomová práce se zaměřuje na optimalizaci světelného ovládání v učebně biologie na gymnáziu U Libeňského zámku. Prvním krokem byla analýza osvětlenosti, následovaná spektrální a jasovou analýzou stávajících světelných podmínek. Na základě získaných výsledků byla provedena simulace osvětlení v programu DIALux, která vedla k návržení optimálních světelných scén s důrazem na biologický komfort. V závěrečné fázi bylo implementováno intuitivní světelné ovládání v laboratorních podmínkách.

Klíčová slova: DALI protokol, osvětlení, spektrometr, DIALux

This thesis focuses on optimizing the lighting control in the biology classroom at the U Libeňského zámku grammar school. The first step was an analysis of the illumination levels, followed by spectral and luminance analysis of the existing lighting conditions. Based on the results obtained, a lighting simulation was conducted in the DIALux program, which led to the design of optimal lighting scenes with an emphasis on biological comfort. In the final phase, intuitive lighting control was implemented under laboratory conditions.

Keywords: DALI protocol, lighting, spectrometer, DIALux

Obsah /

Úvod	1	7.1 Analýza stávajícího ovládání . . .	52
1 Umělé osvětlení	3	7.2 Návrh optimalizovaného ovládání . . .	52
1.1 Světlo	3	7.3 Elektrické schéma	53
1.2 Základní veličiny	4	7.4 Plošný spoj	54
1.3 Umělé osvětlení ve vzdělávacích prostorech	5	7.5 Řídicí jednotka	54
1.3.1 Norma ČSN EN 12464-1	6	7.6 Realizace řídicího systému	55
1.3.2 Norma ČSN 73 0580-3	8	7.7 Vývojové prostředí	56
2 Fyziologie vidění	10	7.8 Inicializace řídicí jednotky:	56
3 Digitální adresovatelné rozhraní pro osvětlení	15	7.9 Nastavení scén	59
3.1 Terminologie	15	7.10 Shrnutí	62
3.2 Varianty protokolu	16	Závěr	63
3.3 Topologie sběrnice	17	Literatura	64
3.4 Elektrická specifikace	18	A Zkratky	67
3.5 Přenosový protokol	18	B Řídicí jednotka	68
3.6 Typy datových paketů	19	C Schéma optimalizovaného ovládání	69
3.7 Adresy, skupiny a scény	20	D Parametry světel	70
3.8 Inicializace zařízení	20		
3.9 Příkazy	23		
3.10 Popis hardvéru	24		
4 Praktická část	27		
4.1 Popis učebny	27		
5 Měření	31		
5.1 Měření osvětlenosti a spektra na horizontální rovině	33		
5.1.1 Výsledky měření	33		
5.2 Měření osvětlenosti a spektra na vertikální rovině	35		
5.2.1 Výsledky měření	35		
5.3 Analýza osvětlenosti v horizontální rovině prostoru	37		
5.3.1 Výsledky měření	39		
5.3.2 Analýza měření	39		
5.4 Jasová analýza	41		
5.4.1 Výsledky měření	42		
5.4.2 Analýza měření	43		
6 Simulace v DIALuxu	44		
6.1 Validace modelu	45		
6.2 Simulace – Výklad	47		
6.3 Simulace – Písemka	48		
6.4 Simulace – Denní světlo	49		
6.5 Vyhodnocení simulace	51		
7 Návrh světelného ovládání	52		

Tabulky / Obrázky

1.1	Berevné spektrum	4	1.1	Šíření světla	3
1.2	Vztah mezi osvětlenostmi	7	1.2	Barevné spektrum.....	4
4.1	Parametry učebny.....	28	1.3	Vztah mezi lm, cd a lx	5
4.2	Parametry světel	28	1.4	Oblasti zrakového úkonu.....	7
5.1	Technické parametry GL Spectis 1.0 Touch	32	2.1	Řez lidským okem.....	10
5.2	Výsledky z měření.....	37	2.2	Zorné pole	12
6.1	Nastavené parametry světel ...	46	2.3	Poměrná světelná účinnost monochromatického osvětlení..	14
6.2	Parametry světel – Výklad.....	48	3.1	Příklad struktury systému DALI	16
6.3	Parametry světel – Písemka ...	49	3.2	Topologie sběrnice DALI	17
6.4	Parametry světel – Denní světlo	50	3.3	Kabel DALI	18
			3.4	Kódování bitů v protokolu DALI	19
			3.5	Datový paket	19
			3.6	Schéma interface	24
			3.7	Schéma napájení	25
			4.1	Učebna.....	29
			4.2	Půdorys učebny	30
			5.1	Měřicí křivka osvětlení	31
			5.2	Spektrometr GL Spectis 1.0 Touch	32
			5.3	Maximální intenzita kombi- novaného osvětlení – horizon- tální rovina	33
			5.4	Maximální intenzita nepří- mého osvětlení – horizontální rovina	34
			5.5	Maximální intenzita přímého osvětlení – horizontální rovina .	34
			5.6	Maximální intenzita kombi- novaného osvětlení – verti- kální rovina.....	35
			5.7	Maximální intenzita nepří- mého osvětlení – vertikální rovina	36
			5.8	Maximální intenzita přímého osvětlení – vertikální rovina ...	36
			5.9	Půdorys s měřicí rovinou	38
			5.10	Světelná mapa kombinované- ho osvětlení.....	38
			5.11	Světelné mapy kombinované- ho osvětlení.....	39
			5.12	Světelné mapy nepřímého osvětlení	39

5.13	Světelné mapy přímého osvětlení	39
5.14	Měření pomocí jasového analyzátoru.....	41
5.15	Analýza bodu 9 – zatažené rolety	42
5.16	Analýza bodu 2 – zatažené rolety	42
5.17	Analýza bodu 2 – vytažené rolety	42
6.1	Parametry v DIALuxu	45
6.2	3D model v DIALuxu.....	45
6.3	Validace kombinovaného osvětlení	46
6.4	Validace nepřímého osvětlení ..	47
6.5	Validace přímého osvětlení	47
6.6	Simulace scény – Výklad.....	48
6.7	Simulace scény – Písemka	49
6.8	Simulace scény – Denní světlo .	50
7.1	Aktuální ovládání	52
7.2	Deska s návrhem optimalizovaného ovládání	53
7.3	Elektrické schéma zapojení tlačítek.....	54
7.4	Plošný spoj	54
7.5	Řídicí jednotka	55
7.6	Zapojení LED světel s protokolem DALI	55
7.7	Rozložení portů ESP32 WROOM	57
7.8	Scéna 1	60
7.9	Scéna 2	60
7.10	Scéna 3	61
B.11	Řídicí jednotka s ESP32	68
B.12	Schéma zapojení řídicí jednotky s ESP32	68
C.13	Plošný spoj	69
C.14	Rozmístění součástek na plošném spoji.....	69

Úvod

V dnešní době se vlivem inteligentních technologií mění i naše prostředí, ve kterém žijeme a pracujeme. Inteligentní osvětlení se stává běžnou součástí moderních interiérů a odborné studie prokazují jeho schopnost podpořit koncentraci, zvýšit produktivitu a celkově přispět ke zdraví. Vzhledem k tomu, že se většinu času pohybujeme ve vnitřních prostorech, stává se klíčovým faktorem nastavení správného umělého osvětlení.

Navrhnout osvětlení správně je velkou výzvou. Záleží na mnoha faktorech, jako je venkovní počasí, velikost a orientace oken, barva stěn a nábytku, počet lidí v místnosti, celková velikost prostoru atd. Také je zapotřebí myslet na volbu vhodného svítidla, zejména v nočních hodinách. Vystavovat se modrému světlu po západu Slunce je pro nás nepřírozeným jevem. Během dne je naopak důležité správné zastoupení azurových vlnových délek ve světle.

Snaha je tedy zvolit parametry tak, abychom se nejlépe přizpůsobili dennímu osvětlení, protože je tomu tak přizpůsobené naše lidské oko, vychází to z historie, kde lidé strávili mnohem více času venku.

Tato práce se zabývá vlivem umělého osvětlení na lidské zdraví a produktivitu ve výukovém prostředí na gymnáziu U Libeňského zámku. Cílem je analyzovat aktuální světelné podmínky ve vybrané učebně a na základě zjištěných dat navrhnout optimální osvětlení pro různé výukové situace, které bude ovládáno intuitivním a uživatelsky přívětivým systémem.

Práce v první kapitole popisuje různé typy umělého osvětlení a základní principy světla, včetně jeho vlnových délek a charakteristik. Také se zaměřuje na normy a požadavky na osvětlení ve vzdělávacích prostorech a důležitost správného osvětlení pracovních ploch pro optimální vzdělávací prostředí.

Druhá kapitola podrobně popisuje fyziologii vidění, zahrnující fungování lidského zrakového systému a jeho reakci na světlo. Zrakový systém se skládá z oka, zrakového nervu a zrakových center v mozku, které jsou klíčové pro posouzení světelné pohody a vnímání prostředí. Fyziologie vidění zahrnuje akomodaci, adaptaci na různé jasové úrovně, fototropický reflex a spektrální citlivost zraku.

Třetí kapitola pojednává o přenosovém protokolu DALI, který využívá Manchester kódování s přenosovou rychlostí 1200 bps [19]. Komunikace po sběrnici je asynchronní. Protokol umožňuje komplexní zprávu všech světelných funkcí, zahrnující komunikaci s tlačítky a dalšími zařízeními připojenými na síť, jako jsou senzory.

V praktické části diplomové práce byla provedena analýza výukové místnosti na gymnáziu U Libeňského zámku s cílem optimalizovat osvětlení pro výuku biologie. Na základě získaných dat byl navržen nový ovládací panel pro osvětlení, zjednodušující ovládání a zlepšující uživatelský komfort.

V kapitole 4 a 5 diplomové práce byla provedena analýza umělého osvětlení ve školní učebně pomocí spektrometru GL Spectis 1.0 Touch. Měření zahrnovala horizontální

i vertikální rovinu a poskytla informace o osvětlenosti v různých světelných scénách. Jasová analýza čtvrtého měření ukázala kontrasty v učebně při různých světelných podmínkách.

V kapitole 6 byla provedena simulace osvětlení učebny v programu DIALux, zahrnující vytvoření 3D modelu, volbu světelných prvků a nastavení parametrů světel pro scény výkladu, písemky a denního světla. Výsledky simulace poskytly informace o osvětlenosti na lavicích a stropě pro jednotlivé scény.

Kapitola 7 se zaměřuje na návrh optimalizovaného světelného ovládání pro učebnu, které redukuje počet tlačítek na 4 a přidává 2 tlačítka pro regulaci jasu. Tento návrh přináší snížení složitosti a intuitivnější ovládání. Implementace zahrnuje vytvoření elektrického schématu, plošného spoje a využití řídicí jednotky s mikrokontrolérem ESP32 WROOM spolu s programováním scén pro různé účely.

Kapitola 1

Umělé osvětlení

Umělým osvětlením v uzavřených prostorech se snažíme, co nejvíce přiblížit dennímu světlu, aby se docílilo pracovního komfortu.

Umělé osvětlení dělíme do kategorií podle způsobu instalace a funkce [5]:

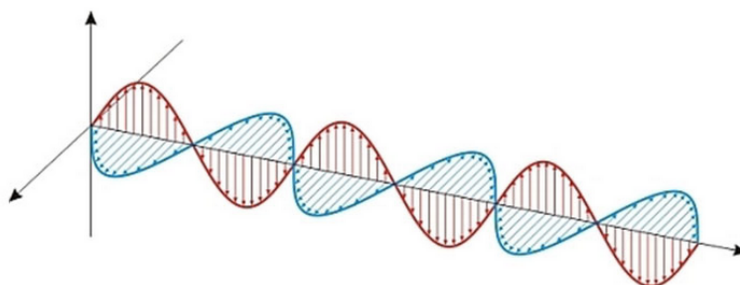
- **Celkové osvětlení:** Rovnoměrně osvětluje celou plochu bez ohledu na specifické zrakové úkoly.
- **Odstupňované osvětlení:** Zajišťuje vyšší úroveň osvětlenosti v místech zrakového úkolu a zároveň osvětluje okolní prostory s nižší intenzitou.
- **Místní osvětlení:** Slouží k doplňkovému osvětlení specifických oblastí, kde je nutná vysoká úroveň osvětlenosti.
- **Nouzové osvětlení:** Aktivuje se v případě výpadku běžného osvětlení a zajišťuje minimální viditelnost pro evakuaci a bezpečnost.

Kromě typu instalace se umělé osvětlení dělí i podle směru, jakým světlo dopadá na osvětlenou plochu:

- **Přímé osvětlení:** Světlo dopadá na plochu přímo ze světelného zdroje, čímž se dosahuje vysoké intenzity.
- **Nepřímé osvětlení:** Světlo dopadá na plochu odrazem od stropu, stěn nebo jiných povrchů. Toto osvětlení působí méně oslnivě a vytváří příjemnější atmosféru.

1.1 Světlo

Světlo, které vnímáme zrakem, představuje formu elektromagnetického záření. Toto záření se šíří prostorem rychlostí světla a můžeme ho charakterizovat buď podle jeho vlnové délky, nebo frekvence (viz obr. 1.1). Čím kratší je vlnová délka, tím vyšší je energie dané vlny. Naopak, světlo s delší vlnovou délkou disponuje nižší energií, ale má schopnost pronikat hlouběji do materiálu. Tento jev souvisí s mírou absorpce a rozptylu světla v různých tkáních. Světlo s delší vlnovou délkou je méně absorbováno a rozptýleno, a proto se může šířit hlouběji do tkáně. Vlnová délka světla se obvykle udává v nanometrech (nm) [26].



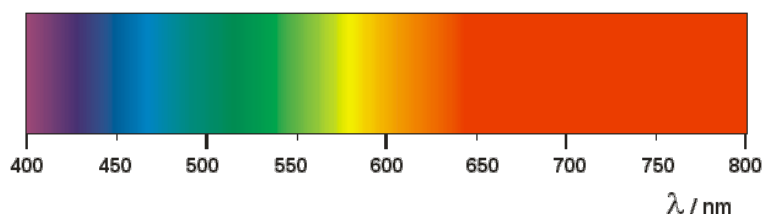
Obrázek 1.1. Šíření světla [26]

Viditelné světlo tvoří malou část celého elektromagnetického spektra. Rozkládá se v rozmezí vlnových délek přibližně od 380 nm (fialová) do 780 nm (červená) (obr. 1.2 a tab. 1.1) a umožňuje nám vnímat svět v jeho barevné rozmanitosti. Vnímání jednotlivých barev je závislé na specifické vlnové délce dopadajícího světla a způsobu jejího zpracování lidským zrakem a mozkem.

I když běžné světelné zdroje, jako jsou žárovky, zářivky nebo sluneční záření, vnímáme jako bílé světlo, ve skutečnosti se jedná o komplexní směs barevných světél s různými vlnovými délkami. Vnímání bílé barvy je důsledkem lidského zraku, který integruje informace z celého spektra viditelného světla.

Bílé světlo lze uměle vytvořit smícháním světél různých barev. Toho principu se využívá například v televizích, kde se obraz skládá z pixelů tvořených kombinací červeného, zeleného a modrého světla (RGB systém). Tyto primární barvy se v lidském oku smíchají a vnímáme je jako bílou barvu.

Tento princip míchání barev se nazývá aditivní syntéza. Kromě ní existuje i subtraktivní syntéza, která využívá princip odčítání světla. Například barevné filtry pohlcují specifické vlnové délky světla a propouštějí jen zbylé barvy, čímž se mění výsledná barva procházejícího světla [26].



Obrázek 1.2. Barevné spektrum [28]

Spektrum	Vlnová délka
Ultrafialové (UV světlo)	100 – 400
Modré světlo	380 – 500
Zelené světlo	520 – 560
Žluté světlo	570 – 590
Červené světlo	okolo 650
Blízké infračervené (NIR) světlo	700 – 1000

Tabulka 1.1. Popis barevného spektra

1.2 Základní veličiny

- **Osvětlenost (intenzita osvětlení) [E]:** 1 lx (lux) – Veličina udává, jak je určitá plocha osvětlována (obr. 1.3), tedy podíl

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad , \quad (1)$$

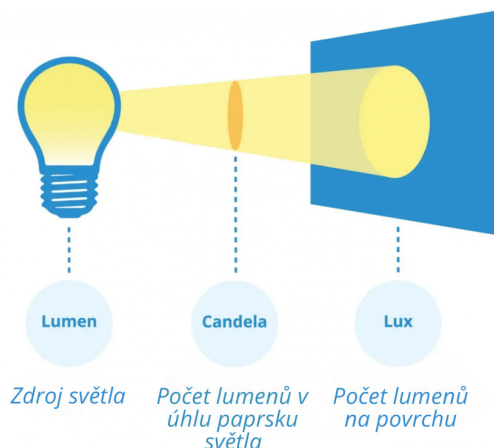
kde $d\Phi$ [lm] je světelný tok dopadající na plochu dA [m²].

- **Svítilivost [I]:** 1 cd (kandela) – Veličina udává, kolik světelného toku Φ vyzáří světelný zdroj nebo svítidlo do jednotkového prostorového úhlu Ω v určitém směru (obr. 1.3).

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad , \quad (2)$$

kde $d\Phi$ [lm] je světelný tok vyzařovaný do elementárního prostorového úhlu $d\Omega$ [sr].

- **Světelný tok [Φ]:** 1 lm (lumen) – Světelný tok udává celkové množství světla vyzařované zdrojem do všech směrů (obr. 1.3). Jde o světelný výkon, který je posuzován z hlediska lidského oka.



Obrázek 1.3. Vztah mezi lumenem, kandelou a luxem [27]

- **Jas [L]:** 1 cd m^{-2} (kandela na metr čtvereční) – Jas je měřítkem pro vjem jasnosti svítícího nebo osvětlovaného povrchu.
- **Měrný světelný výkon [η]:** 1 lm W^{-1} (lumen na watt) – Udává účinnost přeměny elektrické energie na světelnou energii ve zdroji světla t.j. kolik lm světelného toku se získá z 1 W elektrického příkonu.
- **Teplota chromatičnosti [T_c]:** 1 K (kelvin) – Teplotou chromatičnosti zdroje je označována ekvivalentní teplota tzv. černého zářiče (Planckova), při které je spektrální složení záření těchto dvou zdrojů blízké.
- **Index barevného podání [Ra]:** 1 (bezrozměrná veličina) – Index barevného podání je veličina, která udává, jak věrně zdroj světla podává barvy. Hodnota indexu se pohybuje v rozmezí 0 až 100, přičemž 100 znamená, že barvy podávané zdrojem světla jsou identické s barvami podávanými referenčním zdrojem.
- **Index oslnění UGRL (-):** 1 (bezrozměrná veličina) – Index oslnění, logaritmická veličina vyjadřující míru oslnění v rozsahu od 5 (nejmenší) do 40 (nejvyšší), kvantifikuje nepříjemné vnímání jasových rozdílů v zorném poli lidského oka. Tyto rozdíly, pokud přesahují mez adaptability zraku, vedou k oslnění, které omezuje funkci zraku a narušují zrakovou pohodu.

1.3 Umělé osvětlení ve vzdělávacích prostorech

Normy zabývající se legislativními požadavky a dalšími doporučeními na osvětlení školních učeben z hlediska technických a světelně hygienických požadavků:

- ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovišť - Část 1: Vnitřní pracoviště
- ČSN EN 17037 (730582) Denní osvětlení budov.
- ČSN 730580-1:2007 Denní osvětlení budov. Část 1: Základní požadavky (Změna Z3 z 08/2019).
- ČSN 730580-3:1994 Denní osvětlení budov. Část 3: Denní osvětlení škol (Změna Z3 z 08/2019) ČSN EN 12464-1 (360450) Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - Část 1: Vnitřní pracovní prostory, 2022.
- ČSN EN 12665 (36 0001) Světlo a osvětlení - Základní termíny a kritéria pro stanovení požadavků na osvětlení.
- ČSN 36 0011-1 Měření osvětlení vnitřních prostorů - Část 1: Základní ustanovení.
- ČSN 36 0011-3 Měření osvětlení vnitřních prostorů - Část 3: Měření umělého osvětlení.
- ČSN 36 0020 Sdružené osvětlení - Základní požadavky.

■ 1.3.1 Norma ČSN EN 12464-1

Celým názvem: Norma ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovišť - Část 1: Vnitřní pracoviště

Norma stanovuje požadavky na osvětlení pro vnitřní pracoviště z hlediska zrakové pohody a zrakového výkonu osob s normálním nebo korigovaným zrakem [11].

V této části jsou uvedena některá doporučení z normy.

Světelné prostředí

Světelné prostředí dbá na tyto základní lidské potřeby:

- zraková pohoda – aby se pracovníci cítili dobře a přispívalo to k produktivní a kvalitní práci,
- zrakový výkon – zda jsou pracovníci schopni pracovat dlouho a vydávat dobrý výkon při obtížných podmínkách,
- bezpečnost.

Rozložení jasu

Nesprávné rozložení jasu ovlivňuje zrakovou pohodu, proto je nutné vyloučit:

- příliš velké jasy a kontrasty jasu, které mohou způsobovat oslnění,
- příliš velké změny jasu, které mohou způsobovat únavu,
- příliš malé jasy, které vytváří monotónní prostředí.

Abychom docílili vyváženého rozložení jasu, musí se zohlednit jasy všech povrchů, které jsou určeny jejich činiteli odrazu a osvětlenosti.

Činitele odrazu povrchů

Doporučené hodnoty činitele odrazu povrchů:

- strop: 0,7 až 0,9,
- stěny: 0,5 až 0,8,
- podlaha: 0,2 až 0,6,
- hlavní předměty (nábytek, strojní vybavení apod.) má být v rozmezí: 0,2 až 0,7.

Osvětlenost

Osvětlenost je důležitým parametrem při posuzování zrakové pohody a výkonu. Místa, která se osvětlují jsou místa zrakových úkolů a činností, bezprostřední okolí a pozadí, stěny, strop a předměty v prostoru. (viz obr. 1.4)



Obrázek 1.4. Oblasti zrakového úkonu

Ve školských zařízeních místem zrakového úkolu je většinou sešit nebo učebnice studenta, jeho bezprostředním okolím je lavice a pozadím je podlaha při činnosti psaní a čtení. U výkladu se zapojením tabule je zrakovým úkolem tabule, bezprostředním okolím jsou zbylé části tabule a pozadím jsou okolní stěny.

Doporučená řada osvětlenosti v luxech podle EN 12665: 5 – 7,5 – 10 – 15 – 20 – 30 – 50 – 75 – 100 – 150 – 200 – 300 – 500 – 750 – 1 000 – 1 500 – 2 000 – 3 000 – 5 000 – 7 500 – 10 000.

Tyto hodnoty jsou pouze doporučené. V případě, že se předpokládá, že student bude na určitém místě plnit zrakový úkol delší dobu, než je obvyklé, doporučuje se zvýšit požadavek na osvětlení o jeden stupeň. Naopak, pokud student tráví na daných místech kratší dobu nebo pokud jsou kritické detaily, na které se student zaměřuje, rozměrné (např. tělocvična), případně pokud detaily disponují vysokým kontrastem, je možné požadavek na osvětlení o stupeň snížit.

Osvětlenost místa zrakového úkolu (lx)	Osvětlenost bezprostředního okolí úkolu (lx)
≥ 750	500
500	300
300	520 – 560
200	570 – 590
≤ 150	stejná jako pro místo zrakového úkolu

Tabulka 1.2. Vztah mezi osvětlenostmi bezprostředního okolí a osvětlenostmi místa zrakového úkolu [11]

- Osvětlení v bezprostředním okolí zrakového úkolu nebo místa činnosti by mělo odpovídat osvětlení daného úkolu či místa a zajišťovat rovnoměrné rozložení světla v zorném poli (tab. 1.2). Šířka osvětleného pásu v okolí zrakového úkolu by měla dosahovat minimálně 0,5 metru.

- Světlo v bezprostředním okolí zrakového úkolu může být slabší než světlo nad samotným úkolem, ale nesmí klesnout pod hodnoty uvedené v tabulce 1.2.

Rovnoměrnost osvětlení

Pro posouzení rovnoměrnosti osvětlení je definován následující vztah:

$$U = \frac{E_{min}}{E_m} \quad , \quad (3)$$

kde E_{min} je minimální hodnota udržované osvětlenosti [lx] a E_m je střední hodnota udržované osvětlenosti [lx].

Posuzuje se bez přítomnosti denního světla a platí jen pro elektrické osvětlení.

- Rovnoměrnost osvětlenosti bezprostředního okolí musí být $U_o \geq 0,40$.
- Rovnoměrnost osvětlenosti pozadí, stěn a stropu musí být $U_o \geq 0,10$.

Specifické požadavky pro vzdělávací zařízení

Druh místa zrakového úkolu/činnosti: Učebny – obecné činnosti (viz. tab. 44 [11])

- Osvětlení musí být regulovatelné pro různé činnosti a nastavení scény.
- U učeben pro malé děti může být osvětlenost 300 lx.
- Požadovaná osvětlenost 500 lx.

Druh místa zrakového úkolu/činnosti: Prezentace pomocí projektorů a chytrých tabulí (viz. tab. 44 [11])

- Osvětlení musí být regulovatelné.
- Je nutné zabránit zrcadlovým odrazům.
- Svislá osvětlenost 200 lx za (okolo) plátnem.
- Musí se zabránit přímému osvětlení plátna při prezentaci.

1.3.2 Norma ČSN 73 0580-3

Tato norma stanovuje požadavky na denní osvětlení škol.

Školské stavby jsou děleny na:

- předškolní zařízení,
- základní školy,
- střední školy.

V učebnách je zásadní volba osvětlovacích soustav, které jsou vybrány s ohledem na efektivitu a pohodlí žáků. Svítidla jsou umístěna tak, aby minimalizovala oslnění odrazem a přímým oslnění. Proto se vyhýbáme umístění svítidel kolmo nad lavicemi a preferujeme jejich podélné umístění, jelikož svítidla mají v příčné rovině obvykle vyšší jas než v podélné.

Srovnávací rovina se v učebnách středních škol umísťuje ve výšce 850 mm nad podlahou, pro předškolní zařízení 450 mm a v tělocvičnách na úrovni podlahy. Zároveň se vylučuje pruh o šířce 500 mm od stěn, aby se minimalizovaly odrazy [12].

Pracovní plochy jsou navrženy s rozptylnou, nelesklou úpravou, s doporučenými hodnotami činitele odrazu světla mezi 0,3 a 0,45. Prostor lavic a stolu učitele je považován

za místo zrakového úkolu, a proto je průměrná udržovaná osvětlenost 300 lx s rovnoměrností 0,7.

Zvláštní pozornost je věnována osvětlení tabule, která musí být dostatečně osvětlena pro snadné sledování. Při přechodu z tabule na lavice (a zpět) dochází ke změně pohledu a oko se musí přizpůsobit různým pozorovacím vzdálenostem, jasů a kontrastu.

Vnitřní prostory s obrazovkami nebo displeji jsou navrženy s ohledem na denní osvětlení a vzájemný vztah mezi obrazovkami a osvětlovacími otvory je pečlivě zohledněn, aby nedocházelo k rušivým odrazům nebo oslnění. Obrazovky jsou ideálně umístěny tak, aby denní světlo přicházelo převážně ze strany nebo shora[12].

Kapitola 2

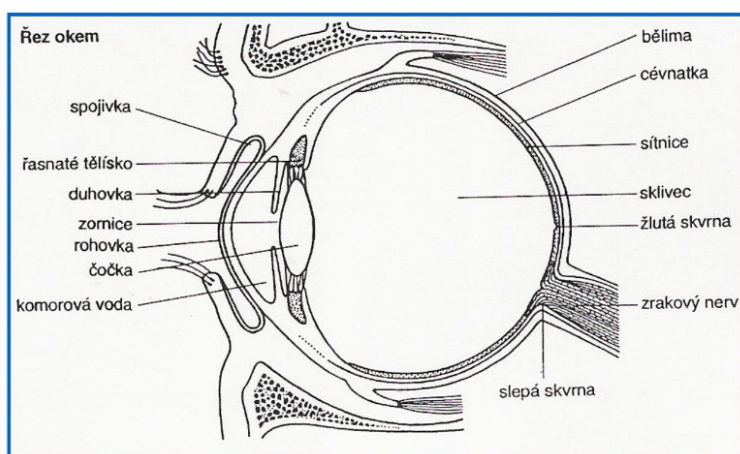
Fyziologie vidění

Zrakový vjem je výsledným projevem zrakového systému člověka, který zajišťuje příjem, přenos a zpracování informace přenášené světlem v komplexu nervových podráždění.

Zrakový systém člověka se skládá ze tří částí [2]:

- **oko:** periferní část,
- **zrakový nerv:** spojovací část,
- **zraková centra v mozku:** centrální část.

Tyto funkce mají podstatný význam pro posouzení světelné pohody či nepohody, protože osvětlení ovlivňuje zrakové vnímání, ale i další funkce organismu, včetně jeho psychiky. Proto je nutnou podmínkou znalost základní anatomie a fyziologie zrakového systému.



Obrázek 2.1. Řez lidským okem [29]

Tvar oka (viz obr. 2.1) je přibližně kulový, pro snadný pohyb v očníci. Průměrná velikost oční bulvy u dospělého člověka je 24 mm.

Stěna oka v zadní části je tvořena třemi základními vrstvami:

- **bělma:** nosná vrstva,
- **cévnatka:** vrstva výstelky, která mimo jiné zajišťuje výživu sítnice,
- **sítnice:** obsahuje dva typy světločivných buněk.

Mezi světločivné buňky patří tyčinky (v počtu asi $130 \cdot 10^6$), čípky (asi $7 \cdot 10^6$) a ipRGC buňky, kde nejvíce z nich jsou uloženy ve žluté skvrně (optická osa oka) a žádný z nich nenalezneme ve slepé skvrně [2].

Množství světla vstupujícího do oka je korigováno průměrem zornice, která je součástí duhovky. Oční čočka promítá obraz pozorovaného předmětu na sítnici, která se skládá

z deseti vrstev, kde v poslední vrstvě jsou světločivné buňky. Tyčinky slouží k vidění za šera – **skotopické vidění**, jsou velmi citlivé i při velice nízkých světelných podnětech, ale nejsou schopny rozlišit barevnost světla, avšak pomocí nich jsme schopni s vysokým rozlišením vnímat různé jasy v zorném poli od bílé, přes různé odstíny až po černou. Čípky slouží pro vidění ve dne – **fotopické vidění**, kdy je zapotřebí dostatečně silné osvětlení. Čípky jsou schopny velice dobře rozlišovat barvy světla, ale pouze omezeně registrovat rozdílnost jasů. Přejdem mezi oběma viděním je vidění **mezopické**, kdy se současně uplatňují tyčinky a čípky [3].

Podstatou vidění je fotochemický děj, odehrávající se na sítnici za pomoci sítnicových pigmentů, které se rozkládají účinkem světla. Světločivné buňky nejsou tedy drážděny přímo světlem, ale chemickým procesem v závislosti na koncentraci sítnicových pigmentů.

K subjektivnímu hodnocení zrakové pohody slouží zrakový orgán, mezi kritéria patří:

- akomodace,
- adaptace,
- fototropický reflex,
- vlastnosti zorného pole,
- rychlost vnímání,
- rozlišovací schopnost,
- oslnění,
- spektrální citlivost zraku.

Akomodace

Akomodace je přizpůsobení oka při zaostřování na různě vzdálené předměty. Při zaostření na dálku se napnou oční svaly, oční čočka se zploští a zornice se rozšíří, při zaostření do blízka jsou svaly povoleno, oční čočka je širší a zornice se zúží. K akomodaci dochází samovolně, jakmile se zadíváme na nějaký předmět, ale můžeme ji vyvolat částečně i vědomě, např. když schválně rozostříme. Ve vyšším věku se schopnost akomodace snižuje [3].

Akomodační rozsah:

$$A_R = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \quad (4)$$

kde A_R - akomodační rozsah [D] (dioptrie),
 r_1 - je vzdálenost blízkého bodu [m],
 r_2 - je vzdálenost vzdáleného bodu [m].

Adaptace

Adaptace je přizpůsobení zraku na různé jasy a hladiny osvětlenosti. Zdravé oko je schopno pojmut $2 \cdot 10^{-9}$ lx a k vidění dochází v rozmezí od 0,25 do 100 000 lx.

Při adaptaci zraku na vyšší jas se zmenšuje citlivost světločivných buněk a trvá 1 minutu s dozníváním 10 minut. Adaptace na nižší jas trvá delší dobu, a to po dobu 20 minut se zvyšuje citlivost čípků a tyčinek a pak dalších 40 minut se ještě zvyšuje citlivost tyčinek [3].

Na rozlišovací schopnost zraku má vliv adaptační jas. Je to jas, na který je zrak v konkrétním prostředí a konkrétním čase adaptován. Jsme schopni rozlišit plochy s jasnem 1:3 v prostředí s malým jasnem a v prostředí s vysokým jasnem jsme schopni rozlišit 1:1,01, proto je zapotřebí ho zohlednit při návrhu osvětlení.

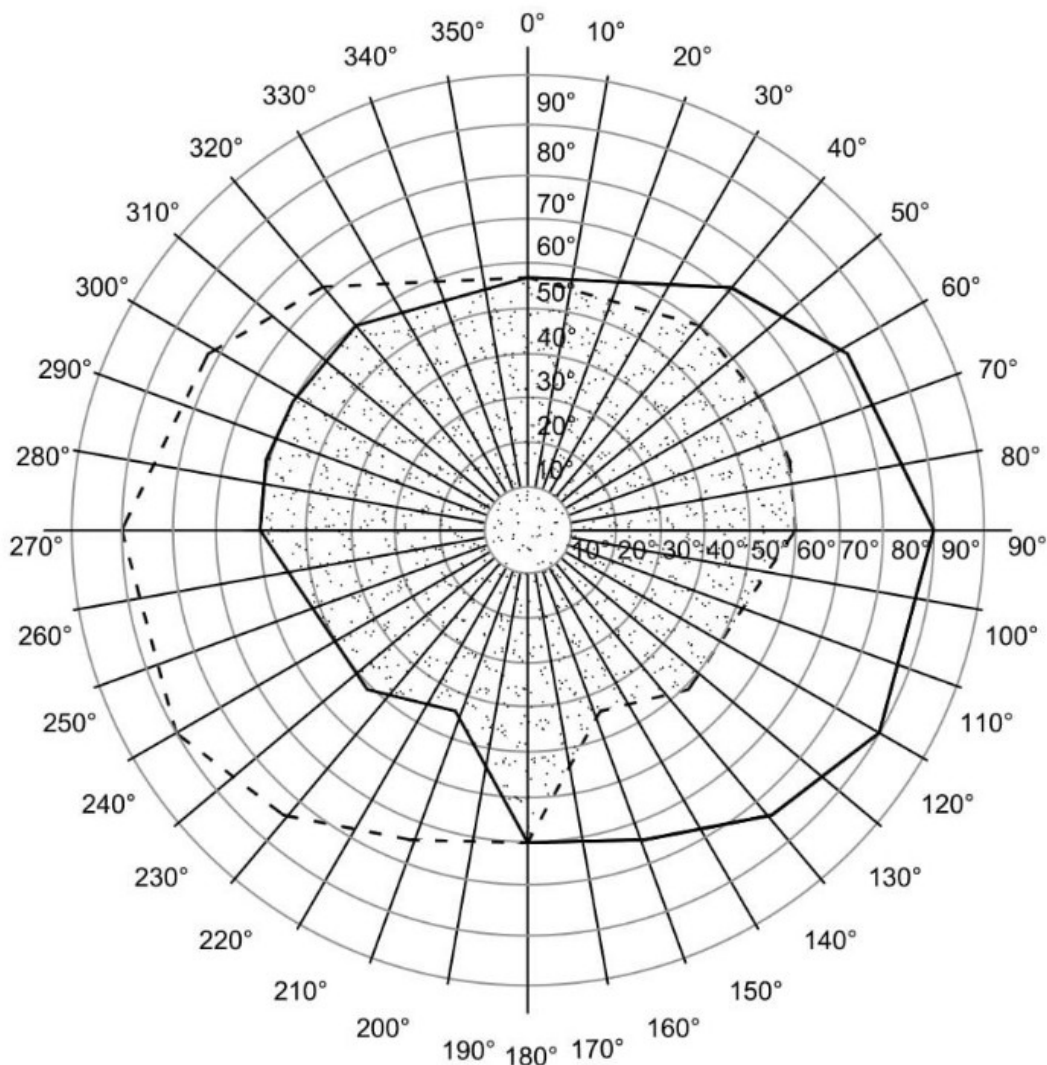
Pozor si musíme dát u negativního jevu readaptace, což znamená časté střídání rozdílných jasů v čase kratším, než umožňuje adaptační mechanismus sítnice. Může vzniknout při nerovnoměrném osvětlení interiéru a narušit tak zrakovou pohodu [2].

Fototropický reflex

U tohoto jevu se oči automaticky obracejí k místu v zorném poli s nejvyšším jasnem nebo s nejvyšším kontrastem jasů. Při nuceném překonávání dochází ke zrakové únavě [2].

Zorné pole

Tímto pojmem je myšlena část prostoru, kterou může pozorovatel sledovat bez pohybu hlavy a oka.



Obrázek 2.2. Zorné pole [30]

Přesně člověk vidí v uhlovém rozsahu 8° ve vodorovném směru a 6° ve svislém směru. Největší ostrost vidění by měla být v rozsahu 1.5°. Zorné pole (viz obr. 2.2) se zmenšuje se zmenšujícím jasem [2].

Pro posouzení zrakové náročnosti je kritický detail, který se umísťuje do centra zorného pole [2].

Rychlost vnímání

Oči se neustále pohybují a na sítnici se obraz mění rychlostí přibližně pětkrát za sekundu. Schopnost vnímání se zvyšuje s jasem pozorovaného detailu a s rostoucím kontrastem mezi detaily a pozadím. Toto je důležité pozorovat u prostor, kde dochází k rychlým pohybům jako je sportovní hala a průmyslové stavby [3].

Rozlišovací schopnost zraku

Schopnost rozlišení předmětů pozorovatelem v zorném poli je zapotřebí aby předměty měly dostatečně rozdílné jasy nebo barvy [2]. Možnost pozorování detailu na stejnobarevném pozadí je závislá na kontrastu jasů $k[-]$

$$k = \frac{|L_a - L_b|}{L_b} \quad (5)$$

kde L_a - je jas kritického detailu [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$]
 L_b - je jas bezprostředního okolí [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$]

Oslnění

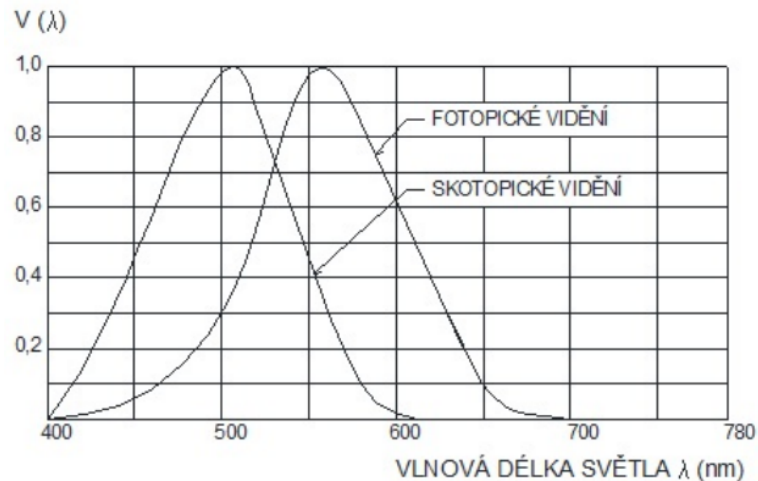
Jedná se o nežádoucí stav zraku, který ruší nebo zhoršuje zrakovou pohodu, případně znemožňuje vidění. Příčinou bývá příliš velký jas nebo jeho nevhodné rozložení v zorném poli [2].

Podle stupně rozeznáváme:

- **rušivé:** pozorovatel si neuvědomuje příčinu oslnění,
- **omezující:** vidění se stává namáhavým,
- **oslepující:** je znemožněno vidění.

Spektrální citlivost zraku

Lidské oko není citlivé na všechny barvy stejně. Nejvyšší citlivost máme na žluté světlo. Citlivost na barvu světla se liší při vidění za šera – skotopické vidění a vidění ve dne – fotopické vidění a může se lišit u jednotlivých osob. Z těchto důvodů byla přijata dohoda Mezinárodní komisí pro osvětlenost CIE o spektrální citlivosti zraku – **Normální fotometrický pozorovatel** – jedná se o osobu v populaci s průměrnou spektrální citlivostí zraku. Při fotopickém vidění je citlivost normálního a fotometrického pozorovatele největší pro světlo základní vlnové délky $\lambda_m = 555 \text{ nm}$ (viz obr. 2.3). Od této vlnové délky na obě strany spektra citlivost klesá, kdy při vlnových délkách kratších než 380 nm a delších než 770 nm je téměř nulová [2][3][5].



Obrázek 2.3. Poměrná světelná účinnost monochromatického osvětlení [32]

Nezrakové vnímání světla

Tento termín je důležité zmínit, protože nevizuální vnímání světla nevytváří vizuální obraz v mozku, ale poskytuje informace o přítomnosti nebo nepřítomnosti světla v prostředí [14]. Původně se předpokládalo, že za tyto procesy mohou tyčinky a čípky, ale nyní víme, že tomu tak není, protože v roce 1998 byl objeven melanopsin, protein citlivý na světlo, což vedlo k dalším vědeckým výzkumům. V roce 2001 určil George C. Brainard a jeho tým vrchol spektrální citlivosti pro neobrazové vnímání na hodnotu mezi 446–477 nm, odpovídající melanopsinu. V roce 2002 identifikoval Samer Hattar a jeho tým nový fotoreceptor na sítnici – gangliové buňky obsahující melanopsin, nyní známé jako intrinsically photosensitive Retinal Ganglion Cells (ipRGC). Díky tomuto objevu se dnes vyvíjejí nové LED zdroje s azurovou spektrální složkou [15][16].

Kapitola 3

Digitální adresovatelné rozhraní pro osvětlení

DALI (Digitální adresovatelné rozhraní pro osvětlení) (jak je uvedeno [13]) je standardizovaný protokol pro digitální komunikaci v systémech osvětlení. Umožňuje obousměrnou výměnu dat mezi řídicími jednotkami a elektronickými předřadníky světel spolu s dalšími zařízeními.

Technické detaily:

- **Norma:** IEC 62386.
- **Typ kabelu:** Dvou vodičová sběrnice.
- **Napájení:** Sběrnice slouží i pro napájení některých zařízení. Napětí se běžně pohybuje okolo 16 V v klidovém stavu.
- **Komunikace:** Digitální, obousměrná, sériová.
- **Typy příkazů:**
 - **Ovládání:** Nastavení jasu, aktivace scén, vypnutí světel.
 - **Konfigurace:** Úprava délky stmívání, nastavení jasu ve scénách, přiřazení tlačítek ke skupinám.
 - **Dotazy:** Zjištění konfigurace světel, aktuálního jasu, hlášení poruch zařízení.

3.1 Terminologie

Norma IEC 62386, která definuje protokol DALI, obsahuje řadu specifických pojmů. Níže je uveden popis vybraných z nich:

1. Řídicí jednotka (Control Device):

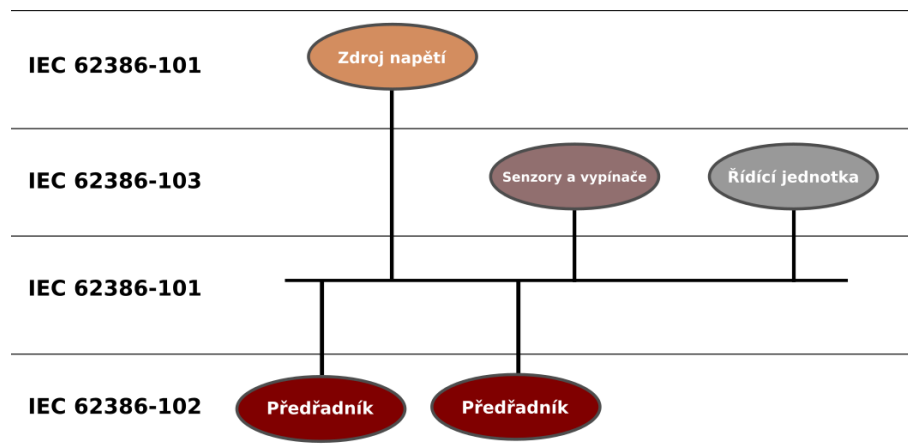
- Toto je obecný termín pro zařízení v systému DALI, které odesílá řídicí příkazy a dotazy ostatním zařízením v systému. Řídicí zařízení se dále dělí na dva typy:
 - **Aplikační řadič** (Application Controller): Hlavní řídicí jednotka v systému DALI, která je zodpovědná za celkovou koordinaci osvětlení. Může jím být například tlačítkový panel, počítač nebo inteligentní systém budovy.
 - **Vstupní zařízení** (Input Device): Zařízení, které generuje uživatelské vstupy a odesílá je do aplikačního řadiče. Typickým příkladem je tlačítko stmívání, pohybový senzor nebo senzor okolního světla.

2. Předřadník světelného zdroje (Control Gear, Ballast):

- Toto je elektronické zařízení, které reguluje napájení a proud dodávaný do světelného zdroje. V systému DALI může předřadník přijímat řídicí příkazy a dotazy z řídicího zařízení a podle nich upravovat jas a další parametry světelného zdroje.

Pro sjednocení terminologie v oboru osvětlení se doporučuje použít webové stránky <https://www.electropedia.org> sekci osvětlení (Lighting).

Řídicí jednotka, předřadník a napájecí zdroje sběrnice jsou tři základní typy zařízení, které se vyskytují na sběrnici v systému DALI (viz obr. 3.1).



Obrázek 3.1. Příklad struktury systému DALI

3.2 Varianty protokolu

V současné době rozlišujeme již několik verzí protokolu DALI jako například **DALI** (verze 1), **DALI-2**, **D4i** a **DALI+**. Z hlediska zaměření diplomové práce se budeme zabývat protokolem DALI-2, který rozšiřuje původní verzi DALI verze 1.

Hlavním problémem původní verze DALI (IEC 62386) byla nedostatečná specifikace chování řídicích jednotek. Norma definovala pouze fungování předřadníků [7], čímž dala výrobcům řídicích jednotek značnou volnost v implementaci. To vedlo k nekompatibilitě a až k nemožnosti vzájemného propojení zařízení od různých dodavatelů.

Dalším problémem bylo omezení umístění vstupních zařízení, jako jsou tlačítka a senzory. Norma DALI verze 1 neumožňovala připojení těchto zařízení přímo na sběrnici. Musely být připojeny k řídicí jednotce, která pak s nimi komunikovala a předávala informace předřadníkům. Nebo se volilo řešení s použitím další sběrnice, jako KNX [17], Modbus [18] nebo jiné. To zvyšovalo složitost a náklady na instalaci a omezovalo flexibilitu systému.

DALI-2, uvedená v roce 2017, tento problém napravuje. Norma rozšiřuje specifikaci a zahrnuje i chování řídicích jednotek [8]. Díky tomu jsou všechna zařízení v DALI-2 systému vzájemně kompatibilní. Kromě toho zavádí DALI-2 certifikační program, který zaručuje, že všechna certifikovaná zařízení splňují normu IEC 62386.

Možnost použití bezdrátové komunikace a IP protokolu byla zavedena až v normě DALI+ [9].

Aby se zachovala kompatibilita se staršími systémy, rozlišuje DALI-2 dva typy řídicích jednotek:

- **Single master:** Tyto jednotky jsou kompatibilní s DALI verze 1 a slouží jako hlavní řídicí prvek v systému.
- **Multi master:** Modernější řídicí jednotky, které umožňují pokročilejší funkce a flexibilitu v DALI-2 systémech.

Multi master DALI-2 má striktnější pravidla pro komunikaci, například odlišné časové limity pro jednotlivé půlbity:

- **Single master:** 366,7 až 466,7 μs ([6], kapitola 8.1.1)
- **Multi master:** 400,0 až 433,3 μs ([6], kapitola 8.3.1)

Single master má povolenou odchylku od nominální hodnoty doby půl bitu 416,7 μs až o 10 %, zatímco multi master pouze o 5 %. Tyto drobné rozdíly v časování můžou u některých starších zařízení způsobovat problémy s kompatibilitou a vylučovat je z provozu v multi master systémech.

V DALI systémech s více řídicími jednotkami (multi-master) může docházet na sběrnici ke kolizím kvůli paralelní komunikaci. Tyto řídicí jednotky musí být schopny detekovat kolize a řešit je. V single master systému je pouze jedna řídicí jednotka, která odesílá pokyny na sběrnici. Nemusí přijímat data, protože je jediným komunikujícím zařízením.

Multi-master DALI zařízení jsou pokročilejší a flexibilnější než single-master. Díky obousměrné komunikaci a detekci kolizí umožňuje multi-master DALI implementaci složitějších funkcí a konfigurací v osvětlovacích systémech. Single-master DALI zařízení jsou vhodné pro základní aplikace, kde je potřeba ovládat osvětlení z jednoho centrálního bodu, všechny vstupy jsou v dosahu řídicí jednotky a není zapotřebí pokročilých funkcí. Příklady použití single-master a multi-master systémů jsou uvedeny v příloze A.2 Systémové architektury, normy IEC 62386-101 [6].

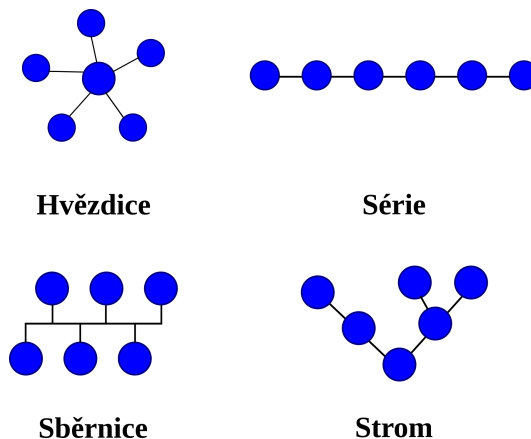
3.3 Topologie sběrnice

Zařízení v systému DALI se dají propojit několika způsoby [6] (obr. 3.2):

- **Hvězdicová topologie:** Kabely od všech zařízení jsou vedeny centrálně k jednomu zařízení.
- **Sériová topologie:** Zařízení jsou propojena v řadě, jedno za druhým.
- **Kombinace obou:** Může se kombinovat hvězdicová a sériová topologie.

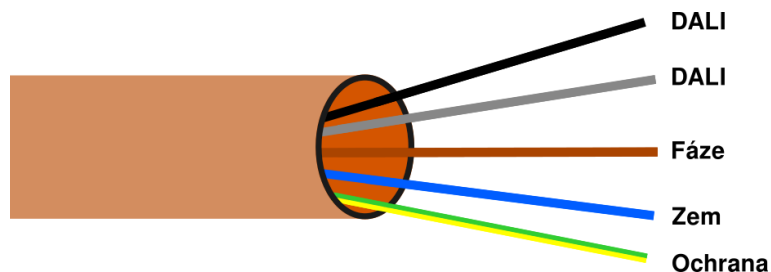
Nedoporučuje se:

- **Kruhová topologie:** Připojování zařízení do kruhu **není** v DALI povoleno.



Obrázek 3.2. Topologie sběrnice DALI

Pro kabeláž se používají dva vodiče, které tvoří sběrnici DALI, a musí být umístěny ve stejném kabelu nebo kabelovém svazku, aby se minimalizovalo nežádoucí ovlivňování jinými signály (viz obr. 3.3). Maximální vzdálenost mezi jednotkami může být až 300 metrů v závislosti na použitém kabelu (tabulka A.1 [6]) a okolním rušení. Maximální povolený úbytek napětí na sběrnici je 2 V.



Obrázek 3.3. Ukázka použitého kabelu pro sběrnici DALI

3.4 Elektrická specifikace

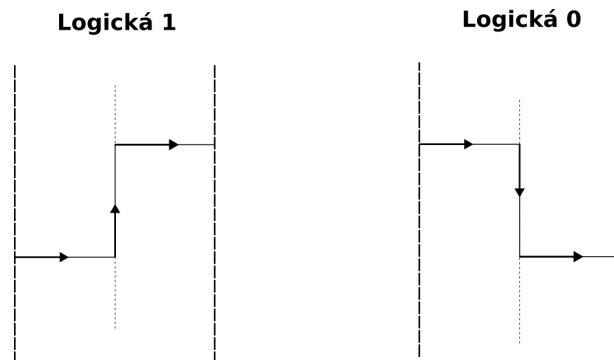
Standard IEC 62386 101 [6] specifikuje elektrické parametry sběrnice v systému DALI. Nejdůležitější z nich jsou:

- **Polarita:** Rozhraní je nezávislé na polaritě napětí s výjimkou případů, kdy je napájecí zdroj integrován do sběrnice.
- **Značení:** Datové vodiče by měly být označeny da nebo DA.
- **Napájení:** Napájecí napětí by mělo být mezi 12,0 a 20,5 V, typicky 16 V.
- **Napětí:** Rozhraní má dvě úrovně napětí: nízkou a vysokou.
 - Pro přijímač je nízká úroveň (0 až 6,5 V), vysoká (9,5 až 22,5 V) (tab.8 [6]).
 - Pro vysílač je nízká úroveň (0 až 4,5 V), vysoká (10 až 22,5 V) (tab.9 [6]).
- **Odběr:** Každé zařízení připojené k sběrnici by mělo v klidovém stavu maximálně odebírat 2 mA.
- **Proud:** Maximální povolený proud na sběrnici je 250 mA.
- **Aktivní stav:** Při nízké úrovni napětí vysílače a odběru 250 mA nesmí výstupní napětí překročit 4,5 V (tab.10 [6]).
- **Hrana signálu:** Náběžná a sestupní hrana signálu, by neměla být kratší než 3 μ s, aby se minimalizovalo rušení EMI.

3.5 Přenosový protokol

Přenosový protokol DALI využívá k přenosu informace hrany signálu s pevně stanovenou přenosovou rychlostí 1200 bps. Logické jedničky odpovídá vzestupná hrana signálu a nule odpovídá sestupná hrana signálu (viz obr. 3.4).

Komunikace po sběrnici je sice asynchronní, tedy bez synchronizačního signálu, ale každá hrana signálu slouží současně k synchronizaci komunikace, což znamená, že přijímací strana vždy měří délku pulzu od poslední hrany. Tento typ kódování je znám jako protokol Manchester [19].



Obrázek 3.4. Kódování bitů v protokolu DALI [4]

Na sběrnici rozlišujeme:

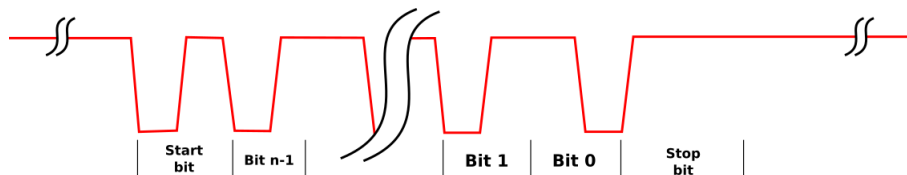
- **Klidový stav:** Rozhraní je v klidovém stavu, pokud je napětí na vysoké úrovni.
- **Aktivní stav:** Rozhraní je v aktivním stavu, pokud je napětí na nízké úrovni.

Kromě logických nul a jedniček obsahuje každý datový rámeček start a stop bity, které slouží k synchronizaci komunikace (viz obr. 3.5):

- **Start bit:** Jednička, která označuje začátek rámečku.
- **Stop bit:** Klidový stav, který trvá specifikovanou dobu a označuje konec rámečku.

Datový rámeček obsahuje [6]:

- **Start bit**
- **Data:** Data o délce 1 až 32 bitů.
- **Stop bit**



Obrázek 3.5. Datový rámeček

3.6 Typy datových paketů

Datové pakety protokolu DALI se dělí na [6]:

- **Standardní:** Tyto pakety mohou mít délku 8, 16, 24 nebo 32 bitů a jsou používány pro základní funkce protokolu DALI.
- **Rezervované:** Tyto pakety mají délku 20 bitů, jsou vyhrazeny a nesmějí se používat.
- **Privátní:** Tyto pakety definují výrobci zařízení a slouží k rozšíření funkcí protokolu DALI o specifické funkce daného výrobce. Mohou mít libovolnou délku kromě výše uvedených. Nicméně se nedoporučuje používat pakety o délce 8 až 15 bitů.

Datový paket **8 bitů:**

- tento datový rámeček slouží k odesílání odpovědí na zprávy řídicích a vstupních jednotek,
- norma IEC 62386 [6][7][8].

- Identifikace zařízení.
- Přiřazení do skupin.
- Nastavení jasu scén.

Nastavení operačního módu

Zařízení DALI mohou pracovat v různých operačních režimech, které určují jejich chování. Operační mód 0x00 je standardní režim, ve kterém zařízení reagují na zprávy z řídicí jednotky podle normy IEC 62386-102 [7].

Ve všech operačních módech, musí zařízení interpretovat požadavek na změny módu a provést ho. Přepnutí se provádí pomocí broadcast zprávy SET OPERATING MODE, proto není nutné znát adresy zařízení.

Operační módy:

- Operační mód **0x00**: Standardní režim.
- Operační mód **0x01 – 0x7F**: Rezervováno.
- Operační mód **0x80 – 0xFF**: Specifické režimy výrobce.

Pozn: Před změnou operačního módu je dobré si ověřit, které režimy podporuje dané zařízení aby bylo možné se do nich vrátit.

Generování dlouhých adres

Dalším krokem k identifikaci jednotlivých světel je generování dlouhých adres. Je to mezikrok, který snižuje riziko kolizí při přiřazování krátkých adres.

Před dalším postupem se musí zařízení přepnout do inicializačního režimu příkazem INITIALISE. Pak se pošle požadavek na vygenerování dlouhých adres pomocí broadcast zprávy RANDOMIZE. Po tomto požadavku si všechna zařízení na sběrnici vygenerují náhodnou dlouhou adresu o délce 24 bitů.

Přiřazení krátkých adres

Krátká adresa se každému zařízení na sběrnici DALI přiřazuje podle postupu popsaného v příloze A.1 [7].

Postup nastavení krátkých adres:

- Přepnutí do inicializačního režimu se provede příkazem INITIALISE.
- Nastavení dlouhé adresy pro vyhledávání nejmenší adresy, příkazy SEARCHADDRH, SEARCHADDRM, SEARCHADDRL.
- Dotazem COMPARE se zjistí jestli mají nějaká zařízení adresu menší rovnou nastavené SEARCHADDR.
- Postup se opakuje až najdeme jediné zařízení s adresou rovnou SEARCHADDR.
- Tomuto zařízení se přiřadí krátká adresa příkazem PROGRAM SHORT ADDRESS.
- Předřadník se vyloučí z dalšího hledání nejnižší adresy příkazem WITHDRAW.
- Proces se opakuje pro další zařízení.
- Inicializační režim se ukončí příkazem TERMINATE.

Vyhledávání nejnižší adresy se provádí binárním dělením intervalu možných adres. Počáteční adresa je pro 2^{24} adres půlka intervalu tedy 2^{23} , pak se interval dělí na poloviny až se najde hodnota pod kterou už žádné zařízení není. Tato hodnota je nejnižší adresa na sběrnici. Na dotaz COMPARE odpovídají pouze zařízení, jejichž dlouhá adresa je menší nebo rovna hodnotě SEARCHADDR. Cyklus se opakuje maximálně 24 krát, pro jedno zařízení.

Proces končí přiřazením krátkých adres všem zařízením v intervalu 0 až N, kde N je počet zařízení na sběrnici.

Pozn: Je možné přiřadit krátkou adresu i přímo, pokud víme, že na sběrnici máme pouze jedno zařízení. Použijeme příkaz SET SHORT ADDRESS(broadcast).

Identifikace zařízení

Pokud jsou u všech zařízení na sběrnici DALI nastaveny krátké adresy, lze provést jejich identifikaci. K identifikaci se používá příkaz IDENTIFY DEVICE. Po odeslání příkazu IDENTIFY DEVICE vybrané zařízení zareaguje blikáním po dobu 10 sekund. Tímto způsobem lze identifikovat jednotlivá zařízení na sběrnici.

Kromě příkazu IDENTIFY DEVICE je možné používat i další příkazy pro identifikaci zařízení DALI. Mezi příklady patří vypnutí zařízení (příkaz OFF), nastavení maximálního jasu (příkaz RECALL MAX LEVEL) a další.

Pokud uživateli nevyhovují aktuálně nastavené krátké adresy, lze je změnit. K tomuto účelu slouží příkaz PROGRAM SHORT ADDRESS [7].

Přiřazení do skupin

Před samotným přiřazením zařízení do skupin je nutné naplánovat jejich strukturu. To zahrnuje:

- Určení požadovaných skupin a jejich funkcí (např. skupina 0 - osvětlení celé místnosti, skupina 1 - přímé osvětlení, skupina 2 - nepřímé osvětlení atd.).
- Výběr zařízení, která budou do jednotlivých skupin zařazena.

Po naplánování skupin se zařízení do nich přiřadí pomocí příkazů přidat zařízení do vybrané skupiny (příkaz ADD TO GROUP), odstranit zařízení z vybrané skupiny (příkaz REMOVE FROM GROUP).

Po přiřazení zařízení do skupin je možné je ovládat najednou. To umožňuje:

- Společné zapnutí/vypnutí všech světel ve skupině.
- Nastavení stejného jasu pro všechna světla ve skupině.
- Vytváření světelných scén s definovanými úrovněmi jasu pro různé skupiny.

Nastavení jasu scén

Scény v DALI slouží k ukládání a vyvolávání předdefinovaných nastavení osvětlení. Na rozdíl od skupin, které slouží k rozdělení světel do kategorií, scény uchovávají kompletní konfiguraci osvětlení pro daný účel (jas, barva, zapnutí/vypnutí). To umožňuje uživateli snadno přepínat mezi různými světelnými režimy bez nutnosti nastavování jednotlivých parametrů.

Prvním krokem při práci se scénami je jejich naplánování. Určení požadovaných scén a jejich funkcí (např. scéna 1 – přednáška, scéna 2 – písemka atd.). Definování nastavení osvětlení pro každou scénu (jas pro různé skupiny světel, barva, zapnutí/vypnutí).

Scény se pak nastaví pomocí příkazu `SET SCENE(device, value)`. Pokud světlo v dané scéně má být vypnuté použije se příkaz `REMOVE FROM SCENE`.

Aktivace scény se provede příkazem `GO TO SCENE(broadcast)`. Tento příkaz nastaví všechna světla na hodnoty uložené v dané scéně [7].

3.9 Příkazy

Proměnné `DRT0`, `DRT1`, `DRT2`

Pro pochopení ovládání předřadníků DALI je důležité znát princip odesílání příkazů. Některé příkazy, jako je nastavení jasu, jsou víceřadkové.

Příklad nastavení maximální úrovně jasu:

- **DTR0:** Nastavení proměnné pro další krok. Tento krok se provádí najednou pro všechna zařízení.
- **SET MAX LEVEL(device):** Nastavení maximální úrovně jasu pro vybraná zařízení.

Před odesláním příkazu `SET MAX LEVEL` je nutné nastavit proměnnou `DTR0` na požadovanou hodnotu jasu. Důvodem je omezení protokolu na dvoubajtové zprávy, kterými nelze v jednom kroku poslat všechny potřebné informace.

Adresovací hlavička

Adresovací byte je často první byte v datovém rámci a obsahuje informace o adrese zařízení komu je zpráva určena.

Může mít binární tvar (viz 7.2.1 [7]):

- `0AAA AAx` - krátká adresa, kde A je adresa zařízení.
- `100G GGGx` - skupina, kde G je číslo skupiny.
- `1111 110x` - broadcast, zpráva je určena zařízením bez krátké adresy.
- `1111 111x` - broadcast, zpráva je určena všem zařízením.

Pokud x je 1, jedná se o běžný příkaz, pokud je 0, jedná se o příkaz pro přímé ovládání jasu světel DAPC.

Přehled příkazů protokolu DALI

Příkazy protokolu DALI jsou rozděleny do několika skupin podle jejich funkce. Omezíme se pouze na přehled některých příkazů pro ovládání předřadníků světel, plný seznam je uveden v normě [7] v kapitole 11.

■ Ovládání jasu:

- **OFF:** Vypnutí světel.
- **RECALL MAX LEVEL:** Nastavení jasu na maximální hodnotu.
- **RECALL MIN LEVEL:** Nastavení jasu na minimální hodnotu.
- **SET MAX LEVEL:** Nastavení maximální hodnoty jasu.
- **SET MIN LEVEL:** Nastavení minimální hodnoty jasu.
- **SET SYSTEM FAILURE LEVEL:** Nastavení jasu při výpadku řídicí jednotky.
- **SET POWER ON LEVEL:** Nastavení jasu při zapnutí proudu.

■ Prolínání:

- **UP:** Zvýšení jasu.
- **DOWN:** Snížení jasu.
- **STEP UP:** Zvýšení jasu o krok.
- **STEP DOWN:** Snížení jasu o krok.
- **SET FADE TIME:** Nastavení času prolínání.
- **SET FADE RATE:** Nastavení rychlosti prolínání.

■ Adresování:

- **SET SHORT ADDRESS:** Nastavení krátké adresy pro jednotlivá světla.

■ Scény:

- **GO TO SCENE:** Přechod mezi jednotlivými scénami.
- **SET SCENE:** Nastavení světelné scény.
- **REMOVE FROM SCENE:** Odstranění světla ze scény.

■ Identifikace:

- **IDENTIFY DEVICE:** Identifikace jednotlivých zařízení - světlo se rozblíká po dobu 10 s.

■ Skupiny:

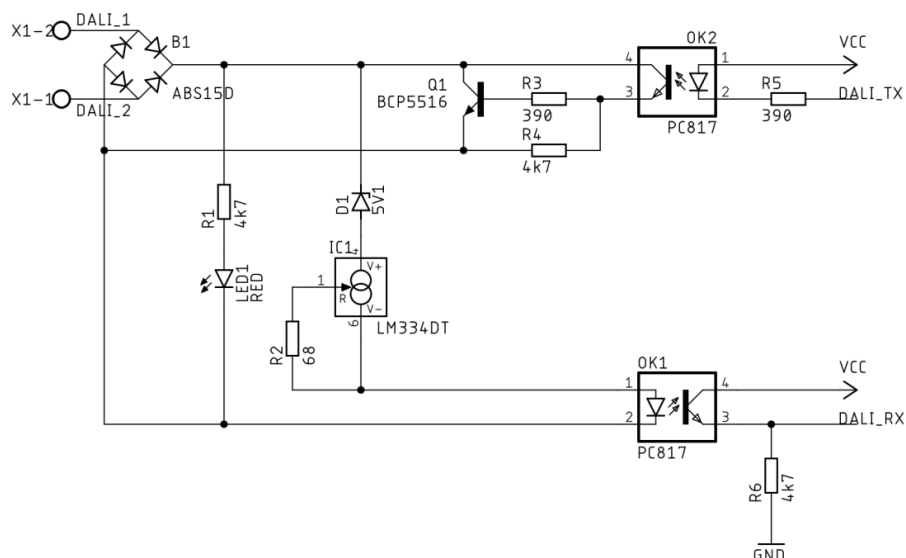
- **ADD TO GROUP:** Přidání světelného zařízení do skupin.
- **REMOVE FROM GROUP:** Odstranění světelného zařízení ze skupiny.

■ Operační mód:

- **SET OPERATING MODE:** Nastavení operačního módu.

3.10 Popis hardvéru

Pro komunikaci mikropočítače ESP32 po sběrnici DALI byl použit interface podle schématu na obr. 3.6 a interface pro napájení sběrnice podle schématu na obr. 3.7.



Obrázek 3.6. Schéma interface DALI

Kapitola 4

Praktická část

V praktické části diplomové práce byla provedena analýza stávajícího osvětlení ve výukové místnosti na gymnáziu U Libeňského zámku, která byla zaměřena na optimalizaci osvětlení pro výuku biologie. Prvním krokem bylo změření parametrů učebny a jejich srovnání s poskytnutými podklady, následně proběhlo měření osvětlenosti ve vertikální a horizontální rovině v různých světelných scénách. Měření bylo prováděno luxmetrem při zapnutí různých světelných scén, včetně kombinací přímého a nepřímého osvětlení a postupného rozsvěcování světelných řad, aby byl získán komplexní přehled o distribuci světla v učebně.

Dále byla provedena jasová analýza pomocí jasového analyzátoru, abychom měli přehled o kontrastech jasu na tabuli z kritických míst v učebně.

Na základě získaných dat byla v programu Dialux provedena simulace různých světelných scén s cílem navrhnout optimální nastavení osvětlení podle biologického komfortu žáků. Tyto simulace umožnily detailně zohlednit rozložení světla v prostoru a jeho dopad na uživatele, což bylo klíčové pro návrh efektivních světelných scén.

Nakonec byla věnována pozornost návrhu ovládacího panelu pro osvětlení, který byl zaměřen na redukci stávajícího počtu ovládacích prvků.

Hlavním cílem bylo snížit počet ovládacích prvků na tři tlačítka, která by spouštěla konkrétní světelné scény, včetně režimů jako výklad, psaní a denní světlo. Navíc bylo přidáno tlačítko **Off** pro celkové vypnutí osvětlení a tlačítka pro regulaci jasu.

Nový ovládací systém je navržen s důrazem na jednoduchost a intuitivnost, aby uživatelé mohli snadno vybrat požadovaný režim osvětlení bez zbytečné komplikace. Tímto přístupem se snažíme eliminovat potíže spojené se stávajícím systémem ovládání a přispět k zlepšení uživatelského komfortu výukového prostředí.

4.1 Popis učebny

Pro analýzu v praktické části byla zvolena výuková místnost na gymnáziu U Libeňského zámku (viz obr. 4.1 a 4.2), kde probíhá výuka biologie. Učebna se nachází ve druhém patře, kde jsou k nalezení modely lidských orgánů, v zadní části se nachází terárium s chameleonem a šedé skříně. Interiér místnosti je v přední části vybaven velkou učitelskou katedrou a 16 lavicemi pro 32 žáků. Učebna je osvětlována v plném rozsahu i při nižším počtu žáků. Strop, zadní stěna a stěna u oken jsou bílé barvy a zbývající dvě stěny jsou světle oranžové. Podlaha je světle hnědé barvy a okna jsou orientovaná na západ. U oken se nacházejí černé látkové rolety.

Umělé osvětlení uvnitř místnosti je řešeno pomocí moderního integrativního osvětlení, které se skládá z plnospektrálního LED nepřímého osvětlení a přímého LED osvětlení s nižší teplotou chromatičnosti. Světla jsou rozdělena do tří řad, každá řada se skládá z šesti nezávislých prvků. Nad tabulí jsou světelné prvky dlouhé 1,5 m a nad lavicemi jsou dva světelné prvky a každé z nich je dlouhé 3 m. To umožňuje nastavení

přímého a nepřímého osvětlení, maximální a minimální hodnoty světla a také jejich intenzity v závislosti na příspěvku denního světla. Osvětlení je nyní možné ovládat pomocí dvanácti tlačítek, která umožňují nezávislou plynulou regulaci světelného výkonu každého jednotlivého segmentu. Toto ovládání způsobuje složitější ovládání a potíže novým uživatelům. I přesto však existují pozitiva, která vyplývají z tohoto systému, když jsou parametry osvětlení správně nastaveny. Díky kvalitnímu osvětlení se lépe udržuje pozornost a zvyšuje se energetická úspornost

Půdorys	Obdelníkový
Rozměry	9,2 m × 6,9 m × 4 m
Velikost oken	2,9 m × 1,84 m
Výška parapetu	0,88 m
Výška světel	3,1 m
Lavice	1,3 m × 0,5 m × 0,76 m
Nížší katedra	1 m × 0,70 m × 0,77 m
Vyšší katedra	1,91 m × 0,70 m × 0,85 m
Zadní skříň	6 m × 0,5 m × 2,6 m

Tabulka 4.1. Parametry učebny

V učebně s parametry podle tab. 4.1 jsou nainstalovaná světla: EVA – LED linear light.

Parametry světel jsou uvedeny v tab. 4.2.

Světelné parametry	
Distribuce světla	lze kombinovat přímě a nepřímé
Optický systém	difuzor – opál
Index podání barev - CRI	≤ 90
Teplota chromatičnosti - CCT	4000 K
Svítivost	8 000 lm/m
Životnost	50 000 h
UGR	>19
Elektronické parametry	
Světelný zdroj	LED
Napájecí napětí	AC 230 V / 50 Hz
Předřadná část	elektronický předřadník
Možnosti regulace	ano
Parametry produktu	
Rozměr	60 × 60 × 3000 mm
Materiál	eloxovaný hliník, PMMA
Barva	stříbrná

Tabulka 4.2. Parametry světel [37]

Před měřením proběhla diskuze s učiteli ohledně osvětlení a ovládacího panelu, kde byly zjištěny pozitivní a negativní aspekty:

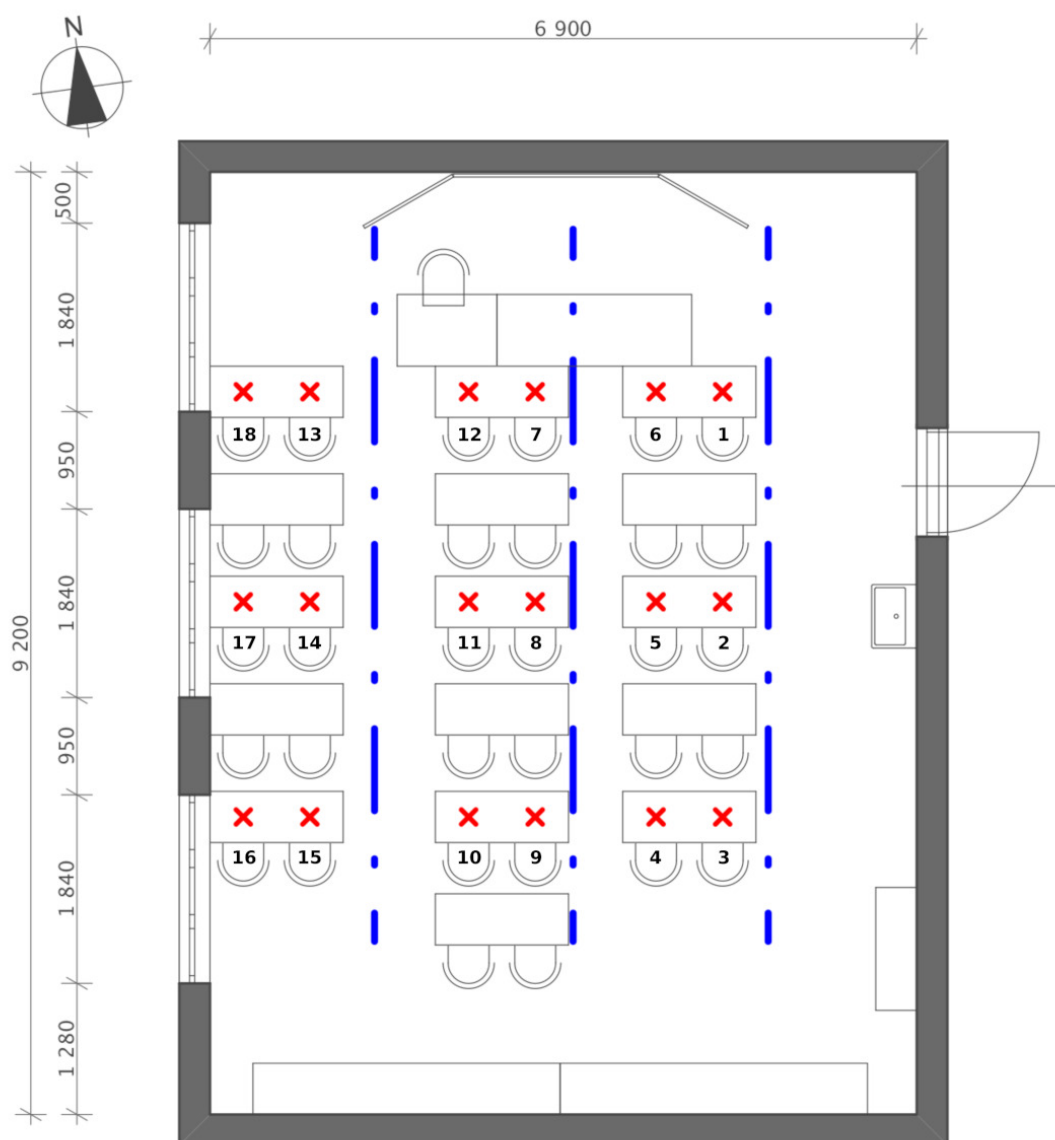
- **Pozitivní aspekty:** Učitelé vyjádřili pozitivní zkušenosti s aktuálním osvětlením ve třídě. Když jsou světla správně nastavena, pozorují, že děti lépe udržují pozornost a celkově se lépe soustředí na výuku. Navíc si všimli, že rostliny umístěné v učebně také lépe prosperují pod optimálním osvětlením, což přispívá k příjemné atmosféře ve třídě.
- **Negativní aspekty:** Učitelé zaznamenali několik negativních stránek současného osvětlení. Jedním z hlavních nedostatků je přebytek tlačítek na ovládání, což způsobuje zmatek a náročné ovládání pro nové uživatele. Problematické je chybějící tlačítko pro rychlé a jednoduché vypnutí a zapnutí všech světel. Dalším problémem je obtížnost rozpoznání stavu světel při nastavení na nejnižší intenzitu, a není tak jasné, zda jsou světla zapnutá nebo vypnutá a dochází tak ke zbytečné spotřebě energie.

Po diskuzi s učiteli bylo navrženo:

- **Tlačítko – Off:** Přidat jednoduché tlačítko umožňující úplné vypnutí osvětlení.
- **Scéna – Výklad:** Vytvořit přednastavenou scénu pro situace, kdy probíhá výklad, která optimalizuje osvětlení pro efektivní prezentaci a snadnou čitelnost pro všechny žáky.
- **Scéna – Písemka:** Vytvořit přednastavenou scénu určenou pro písemné práce a testy, která zajistí vhodné osvětlení pro psaní a soustředěnou práci žáků.
- **Scéna – Adaptace na denní světlo:** Implementovat scénu, která by se přizpůsobila osvětlení v učebně v závislosti na množství přirozeného denního světla, což by pomohlo minimalizovat nepříjemné odlesky a zajišťovalo optimální viditelnost pro všechny žáky.



Obrázek 4.1. Učebna



Obrázek 4.2. Půdorys učebny (červené křížky vyznačují měřicí kontrolní body a modrá barva rozmístění svítidel)

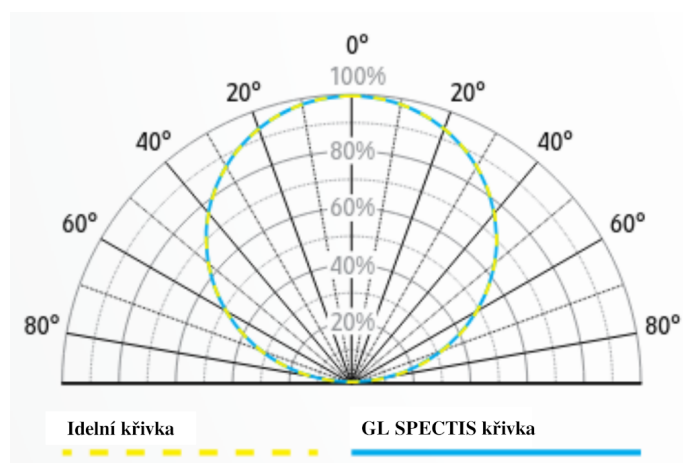
Kapitola 5

Měření

V praktické části diplomové práce proběhla analýza současného stavu umělého osvětlení ve školní učebně. Nejprve byly změřeny rozměry učebny pomocí laserového měřicího přístroje **CP –100P**, pro ověření poskytnutých podkladů.

Dále bylo provedeno měření umělého osvětlení. Měřila se osvětlenost E (lx) a jas L (cd/m²). Osvětlenost v učebně byla změřena v horizontální rovině, tedy na pracovní ploše studentů, ale také ve vertikální rovině. Díky tomu byla získána představa o tom, jak je prostor osvětlený a jak to ovlivňuje studenty při práci. Horizontální měření nám dává informaci, zda je dostatek světla na psaní a další činnosti na lavici a vertikální měření vnímání zrakové pohody při pohledu na tabuli.

Osvětlenost byla změřena pomocí spektrometru **GL Spectis 1.0 Touch** [1] (obr. 5.2), jedná se o kalibrovaný přístroj s dotykovým displejem s parametry dle tab. 5.1. Jeho výhodou je, že je napájený baterií a lze s ním měřit i v terénu. Obsahuje standardní difuzér – kosinusově korigovaná měřicí hlava (obr. 5.1), která snímá horní polokouli nad senzorem. Z Lambertova kosinového zákona vyplývá, že intenzita záření pozorovaná na „lambertovském“ povrchu je přímo úměrná kosinu úhlu mezi dopadajícím světlem a normálou k povrchu.



Obrázek 5.1. Měřicí křivka osvětlení

Se spektrometrem lze měřit osvětlení, celkový světelný tok, celkový zářivý výkon, barevnou teplotu v souladu se standardem CIE a další světelné vlastnosti.



Obrázek 5.2. Spektrometr GL Spectis 1.0 Touch [1]

Osvětlení:	10 – 100 000 lx
Ozáření:	0,03 – 600 W/m ²
Spektrální rozsah:	340 – 780 nm

Tabulka 5.1. Technické parametry GL Spectis 1.0 Touch [1]

Bylo zvoleno 18 kontrolních měřících bodů, aby zahrnovaly místa s největším a nejmenším osvětlením v učebně. Body pokrývaly celý prostor třídy a byly zaznamenány jejich přesné souřadnice. Analýza horizontální roviny osvětlení proběhla přibližně v 800 mm výšce a ve vertikální rovině ve výšce 1200 mm nad podlahou, což odpovídá průměrné výšce očí žáků. Pro vertikální měření byly vybrány stejné měřící body jako pro horizontální roviny.

Při provádění měření umělého osvětlení je klíčové zvolit vhodný stav místnosti, který minimalizuje příspěvek denního světla. K tomuto účelu můžeme zvolit následující postupy [36]:

- Měření v době bez přirozeného osvětlení, tedy za tmy.
- Měření během dne za zatemněných podmínek, kdy jsou všechny okna zatažená.

Před samotným zahájením měření je důležité umělé osvětlení zapnout s dostatečným předstihem, aby se světelný tok ustálil a stabilizoval [36].

Spektrometr snímá horní polokouli, proto je nutné zajistit, aby měřící nástavec nebyl zastíněn například měřící osobou nebo jinou překážkou.

Během analýzy byly změřeny různé světelné scény, aby mohly být následně navrženy optimální světelné scény v souladu s biologickými potřebami uživatelů. Tento přístup nám umožnil lépe porozumět potřebám osvětlení v učebním prostoru a navrhnout efektivní osvětlení.

5.1 Měření osvětlenosti a spektra na horizontální rovině

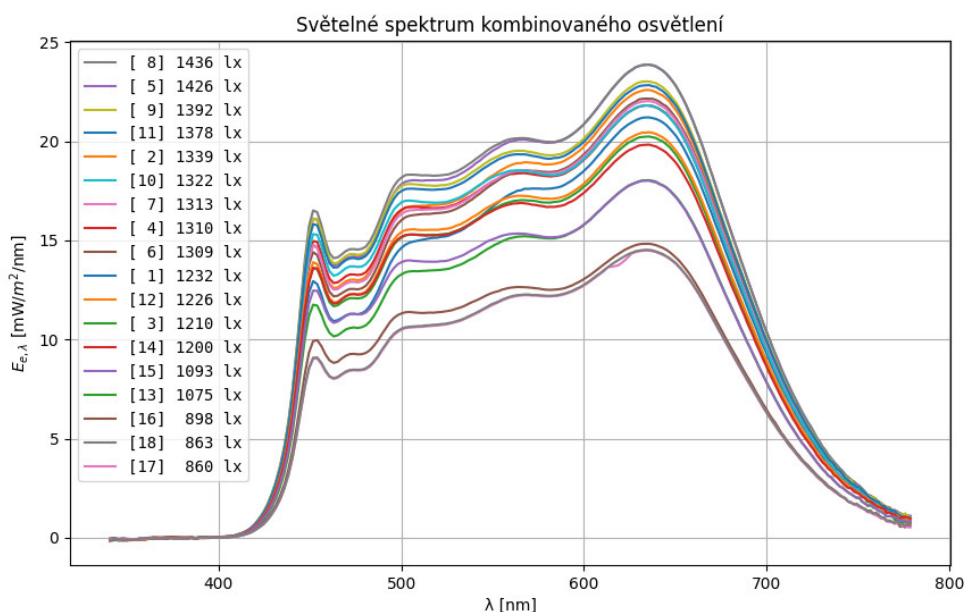
První měření zahrnovalo analýzu osvětlenosti na horizontální rovině ve výšce 800 mm při různých světelných scénách a spektrální analýzu, které proběhlo 21.3.2024 od 18:00 do 18:55 za tmy. U všech scén byla světla nastavena na maximální intenzitu a okna byla zatažena. Celkem bylo zvoleno šest světelných scén a změřeno 18 měřicích kontrolních bodů.

Nastavené světelné scény:

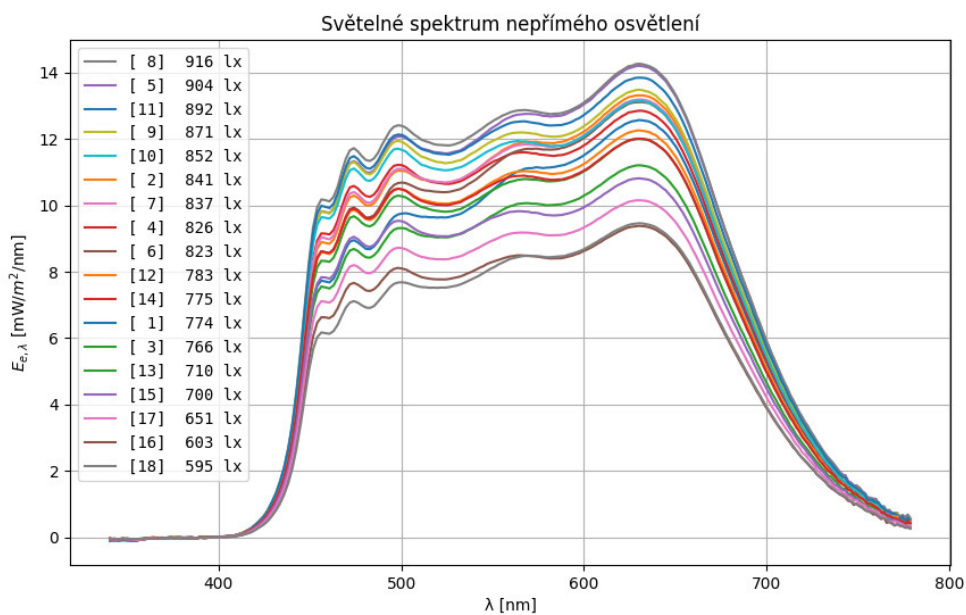
1. Maximální intenzita kombinace (přímé + nepřímé) osvětlení.
2. Maximální intenzita přímého osvětlení.
3. Maximální intenzita nepřímého osvětlení.
4. Minimální intenzita kombinace osvětlení.
5. Minimální intenzita přímého osvětlení.
6. Minimální intenzita nepřímého osvětlení.

5.1.1 Výsledky měření

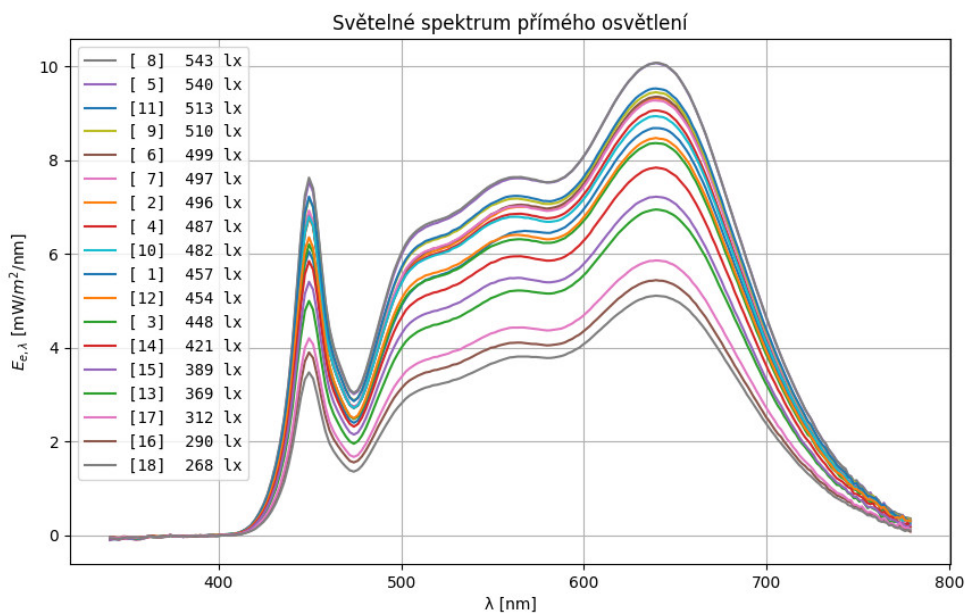
Na grafech 5.3 až 5.4 jsou zobrazena jednotlivá spektra v měřených bodech. V legendě jsou body seřazeny od nejvyšší po nejnižší hodnotu intenzity osvětlení a vedle každého bodu je uvedena naměřená osvětlenost v luxech.



Obrázek 5.3. Maximální intenzita kombinovaného osvětlení – horizontální rovina



Obrázek 5.4. Maximální intenzita nepřímého osvětlení – horizontální rovina



Obrázek 5.5. Maximální intenzita přímého osvětlení – horizontální rovina

Z grafů vidíme, že nejvyšší hodnota v luxech je v bodě 8 a nejnižší v bodě 18. Jelikož světla byla nastavená na maximální intenzitu je vidět z hodnot, že nejsou vhodná pro běžné použití.

Z prvního grafu vidíme, že nejvyšší intenzita je 1436 lx, tato hodnota odpovídá součtu přímého a nepřímého osvětlení. Nejnižší je 860 lx. Rovnoměrnost osvětlení je 0,7. Osvětlenost kombinovaného osvětlení je v 18. bodě 60% oproti maximální hodnotě.

Osvětlenost přímého osvětlení je v 18. bodě 50% oproti maximální hodnotě. Rovnoměrnost je zde 0,6. Osvětlenost je nižší, protože přímé osvětlení má slabší výkon a neodráží se od stěn. U přímého osvětlení jsou viditelné ostré píky v modrém spektru.

Osvětlenost nepřímého je v 18. bodě 65% oproti maximální hodnotě. Rovnoměrnost je 0,8. Jedná se o plnospektrální LED osvětlení, proto v grafech nevidíme ostré píky.

Měření s minimální intenzitou světla bylo provedeno, avšak hodnoty se pohybovaly pod 10 lx. Vzhledem k tomu, že spektrometr má rozsah měření od 10 lx do 100 000 lx, se tyto hodnoty jeví spíše jako nesmyslné, a proto nebyly použity pro další zpracování.

5.2 Měření osvětlenosti a spektra na vertikální rovině

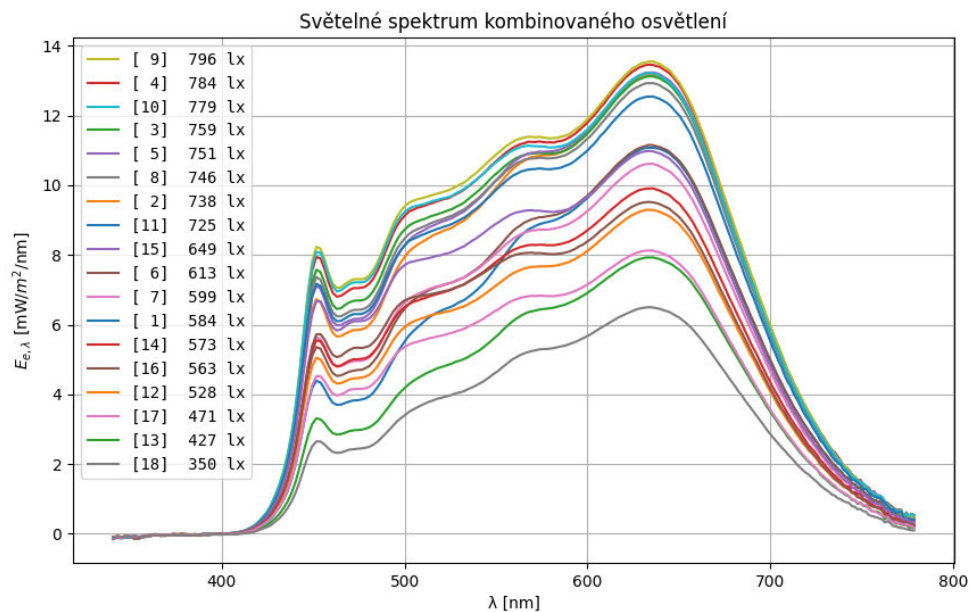
Druhé měření zahrnovalo měření osvětlenosti a spektrální analýzu, které proběhlo 4.3.2024 v čase 17:00–18:30 za tmy. Byla změřena vertikální rovina při různých světelných scénách. Celkem bylo zvoleno šest světelných scén a změřeno 18 měřicích kontrolních bodů. U všech scén byla světla nastavena na maximální intenzitu a okna byla zatažena. Tyto body byly měřeny ve výšce 1200 mm (spektrometr byl umístěn na stojanu a byl natočen směrem k tabuli), což odpovídá výšce očí žáků. Vertikální rovinu je zapotřebí měřit z důvodu biologického komfortu, abychom měli informaci o tom, jak je osvětlenost vnímaná z pohledu pozorovatele.

Nastavené světelné scény:

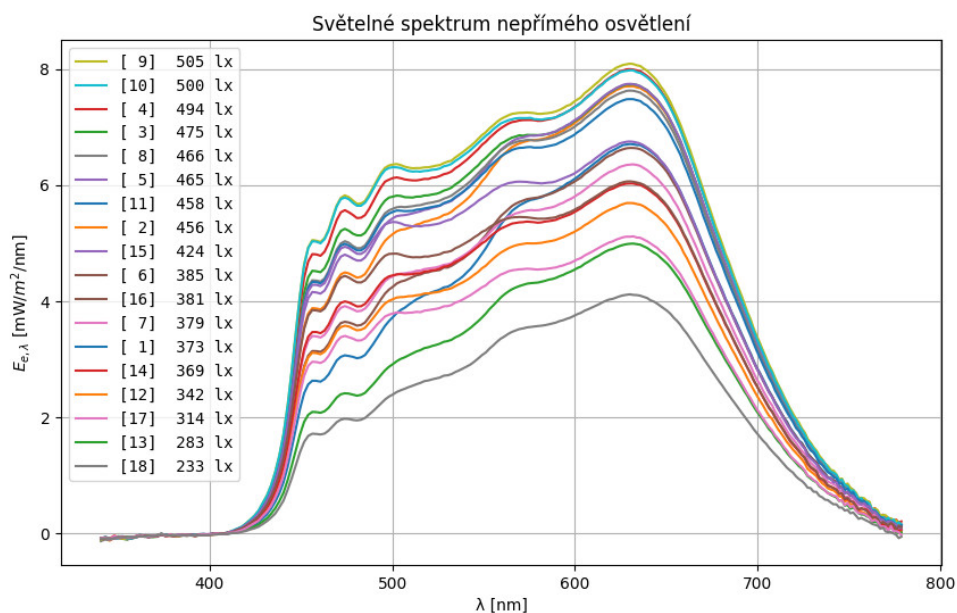
1. Maximální intenzita kombinovaného osvětlení.
2. Maximální intenzita přímého osvětlení.
3. Maximální intenzita nepřímého osvětlení.

5.2.1 Výsledky měření

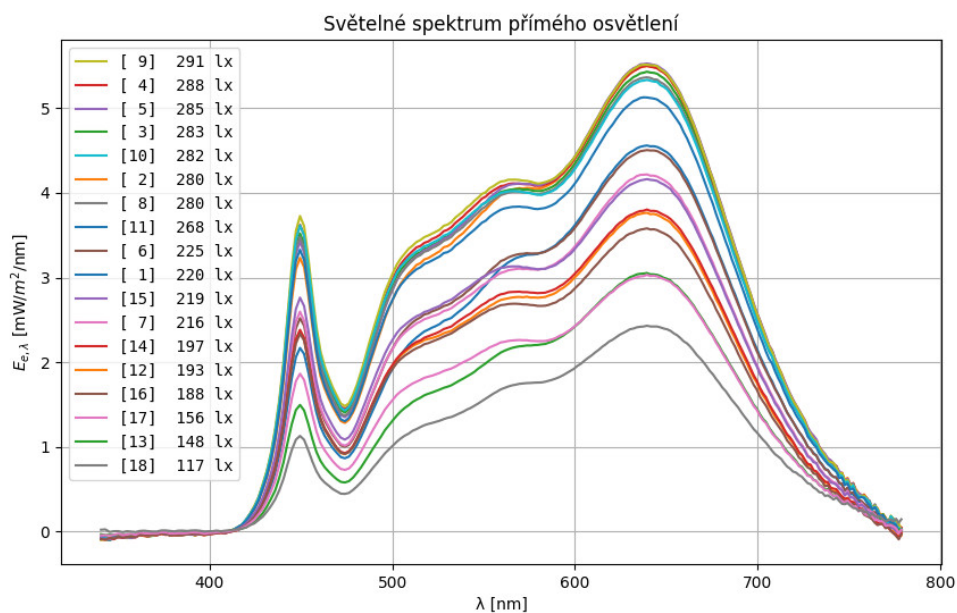
Na grafech 5.6 až 5.8 jsou zobrazena jednotlivá spektra v měřených bodech. V legendě jsou body seřazeny od nejvyšší po nejnižší hodnotu intenzity osvětlení a vedle každého bodu je uvedena naměřená osvětlenost v luxech.



Obrázek 5.6. Maximální intenzita přímého a nepřímého osvětlení – vertikální rovina



Obrázek 5.7. Maximální intenzita nepřímého osvětlení – vertikální rovina



Obrázek 5.8. Maximální intenzita přímého osvětlení – vertikální rovina

Z naměřených grafů vidíme, že nejnižší hodnoty luxu byly naměřeny v bodě 18 u studenta sedícího v první lavici u okna. Naopak nejvyšší hodnoty byly zjištěny v bodě 9 v zadní lavici ve středu, z důvodu že studenta osvětlují světla ze všech stran.

Na grafech dále pozorujeme, že u některých křivek dochází ke změně poměru krátkých a středních vlnových délek (překřížené linie). Tyto změny by mohly být způsobeny rozdílnou odrazivostí stěn v místnosti. Vzhledem k tomu, že se v učebně nachází jak bílé, tak oranžové stěny, může docházet k odlišnému odrazu světla v závislosti na barvě stěny, která se nachází v blízkosti měřeného bodu.

Typ scény	Max [lx]	Min [lx]	Rovnoměrnost [-]
Kombinované	796	350	0,6
Nepřímé	505	233	0,6
Přímé	291	117	0,5

Tabulka 5.2. Výsledky z měření

Použitý měřicí přístroj (GL Spectis 1.0 Touch [1]) zachycuje osvětlení z celé polokoule, avšak lidské oko má zorné pole menší. Z toho důvodu mohou být výsledky mírně zkreslené. Pro zpřesnění analýzy by bylo vhodné eliminovat z měření části osvětlení, které neodpovídají tvaru obličeje (např. nadočnicové oblouky).

5.3 Analýza osvětlenosti v horizontální rovině prostoru

Třetí měření proběhlo 6.3.2024 v době od 17:00 do 18:30 za tmy. Byla změřena horizontální rovina osvětlenosti při různých světelných scénách. Celkem bylo zvoleno devět světelných scén a změřeno 18 vybraných měřicích bodů ve výšce 850 mm. Scény byly tentokrát nastavovány po jednotlivých řadách postupně od dveří k oknu a byly změřeny tři režimy osvětlení při maximální intenzitě.

Maximální intenzita kombinovaného osvětlení:

1. Rozsvícená řada jen u dveří.
2. Rozsvícená řada jen ve středu.
3. Rozsvícená řada jen u okna.

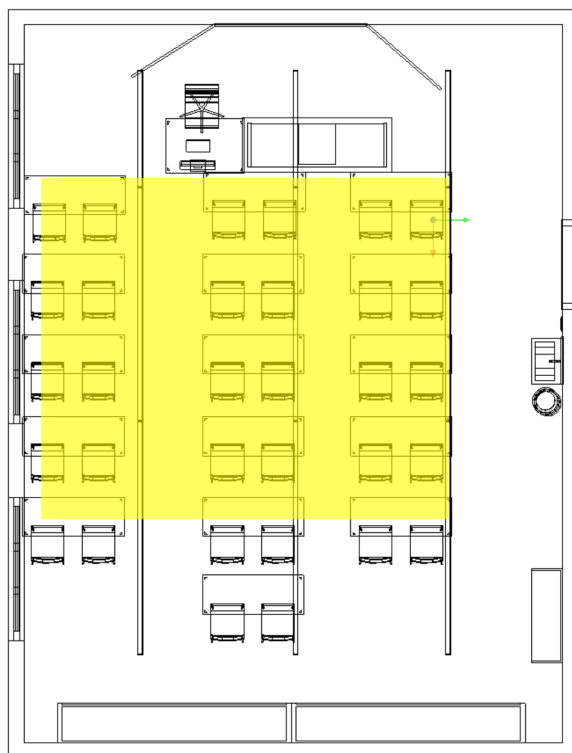
Maximální intenzita nepřímého osvětlení:

1. Rozsvícená řada jen u dveří.
2. Rozsvícená řada jen ve středu.
3. Rozsvícená řada jen u okna.

Maximální intenzita přímého osvětlení:

1. Rozsvícená řada jen u dveří.
2. Rozsvícená řada jen ve středu.
3. Rozsvícená řada jen u okna.

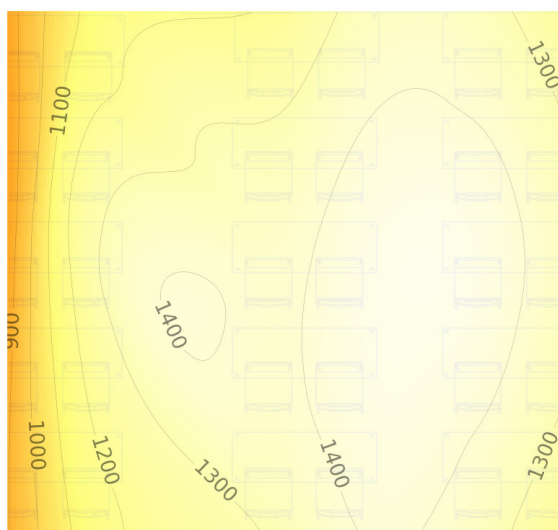
Na obrázku 5.9 je žlutou barvou zobrazena měřicí horizontální rovina v učebně.



Obrázek 5.9. Půdorys s měřicí rovinou

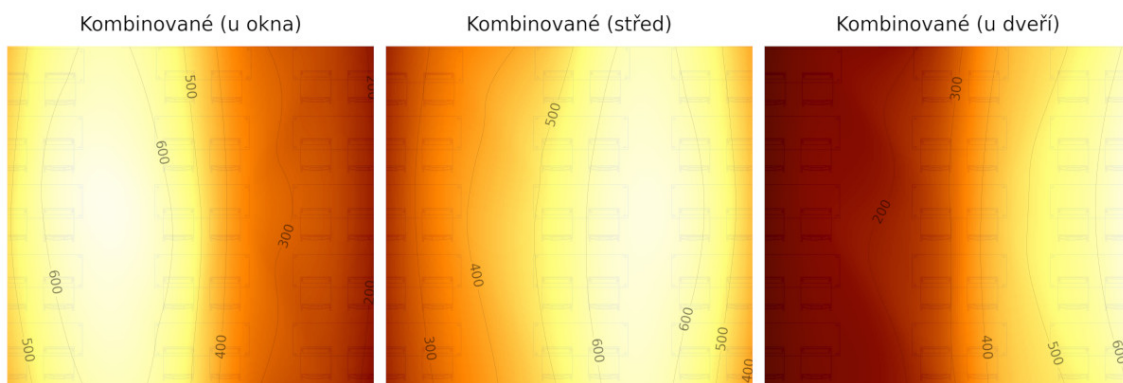
Na obrázku 5.10 vidíme světelnou mapu zapnutých všech světel na maximální intenzitě. Z hodnot intenzity osvětlení na isofotech je patrné, že osvětlenost je nejnižší u oken a nejvyšší uprostřed místnosti.

Kombinované

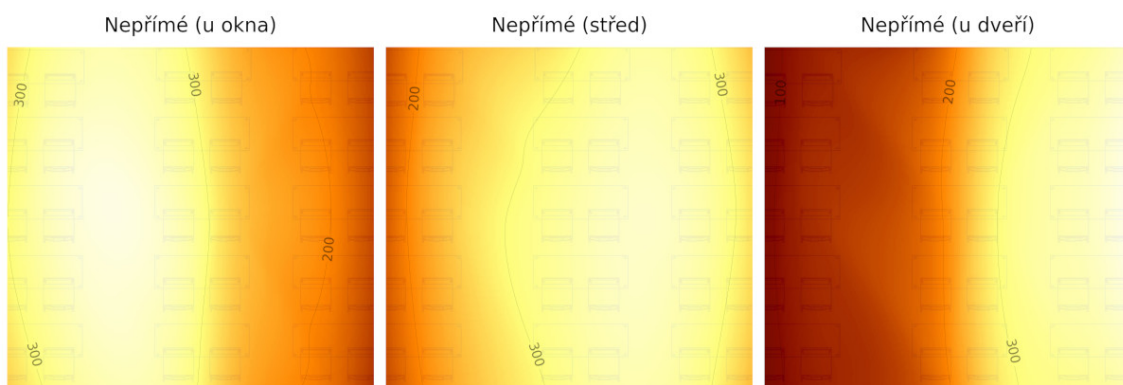


Obrázek 5.10. Světelná mapa kombinovaného osvětlení

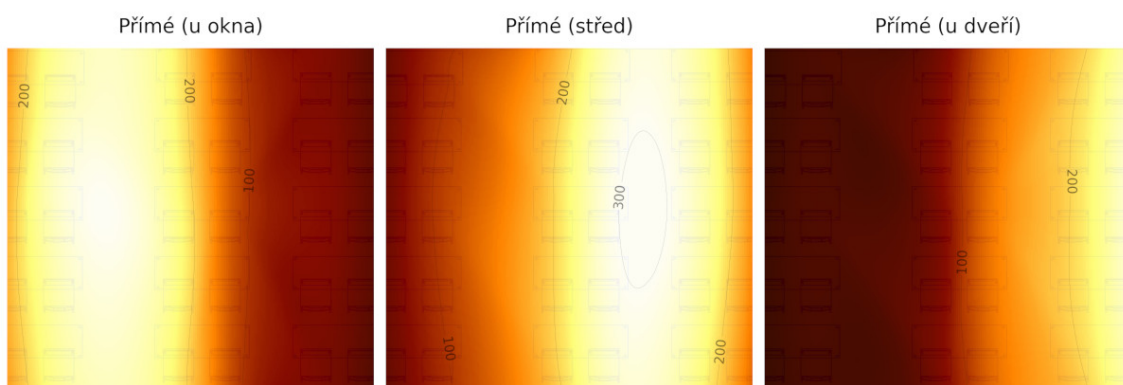
5.3.1 Výsledky měření



Obrázek 5.11. Světelné mapy kombinovaného osvětlení - okno, střed, dveře



Obrázek 5.12. Světelné mapy nepřímého osvětlení - okno, střed, dveře



Obrázek 5.13. Světelné mapy přímého osvětlení - okno, střed, dveře

5.3.2 Analýza měření

Následující grafy ukazují rozložení osvětlení (v luxech) v učebně. Nejprve s maximálním výkonem všech světel a poté s kombinací, nepřímým a přímým osvětlením po jednotlivých řadách.

Měření bylo provedeno za účelem stanovení příspěvku jednotlivých světelných řad k celkovému osvětlení prostoru.

Graf 5.10: Světelná mapa kombinovaného osvětlení

- První graf zobrazuje rozložení osvětlenosti v učebně při zapnutí všech světel na maximum. Je zřejmé, že takto vysoké hodnoty luxů (nad 1000 luxů) nejsou vhodné pro běžné používání, protože můžou snižovat kontrast na interaktivní tabuli a způsobovat nadměrnou spotřebu energie. Osvětlenost u okna je nižší než jinde, protože jsou zatažená černými látkovými roletami, které absorbují světlo a blokují přirozené denní světlo. V reálných podmínkách, kdy rolety nebudou zataženy, se osvětlenost v této oblasti výrazně zvýší.

Graf 5.11: Světelné mapy kombinovaného osvětlení - okno, střed, dveře

- Na základě měření můžeme usuzovat, že všechny řady svítidel přispívají k osvětlení učebny relativně rovnoměrně. To naznačuje, že jejich umístění a nastavení jsou pravděpodobně správné.

Graf 5.12: Světelné mapy nepřímého osvětlení - okno, střed, dveře

- Průběhy ukazují, že v učebně je osvětlení relativně rovnoměrné rozložené. To je dosaženo díky nepřímému způsobu osvětlení, kdy se světlo ze svítidel odráží od stěn a stropu. Výhoda tohoto typu osvětlení je, že napodobuje přirozené rozptýlené světlo, které vnímáme z venkovního prostředí a vytváří tak přirozený vzhled, příjemnou a komfortní atmosféru, která je méně namáhavá pro zrak.
- Díky velké odrazné ploše má nízký plošný jas než přímé osvětlení, čímž se minimalizuje oslnění, což je také důležité pro studenty v učebnách, kde tráví dlouho čas soustředěnou prací. Dále nepřímé světlo vytváří měkké a rozptýlené světlo, proto nevzniká tolik nerovnoměrností v prostoru.
- Vidíme, že nepřímé osvětlení je ideálním řešením pro učebny. Poskytuje nám rovnoměrné, komfortní a zdravé osvětlení, které podporuje koncentraci a učení studentů.

Graf 5.13: Světelné mapy přímého osvětlení - okno, střed, dveře

- Z grafu je patrné, že přímé osvětlení do prostoru přispívá méně. Je to způsobeno několika faktory. Pro přímé osvětlení se používá světlo s nižším světelným výkonem, aby nedocházelo k oslnění. Dále přímé osvětlení slouží spíše jako doplňkové osvětlení k nepřímému, aby se osvětlila určitá místa v učebně, jako jsou stoly studentů, katedra nebo tabule. Dalším důvodem je, že se přímé osvětlení odráží méně než nepřímé, což je způsobeno jeho úhlem dopadu.
- I když je přínos přímého osvětlení menší, jeho kombinace s nepřímým osvětlením je vhodná pro dosažení optimálního osvětlení.
- Přímé osvětlení má vyšší účinnost, dosahuje cílové osvětlenosti s menším instalovaným výkonem, a proto se používá častěji než nepřímé osvětlení. Přímé osvětlení je směrovější, vytváří prostředí s většími kontrasty mezi světlem a stínem. Pokud kontrasty nejsou příliš výrazné, může to prostor oživit, zatímco nepřímé osvětlení může působit jednotvárně. Je to jako rozdíl mezi zataženou oblohou s difúzním světlem a slunečným dnem s přímým, směrovým zářením.

5.4 Jasová analýza

Čtvrté měření proběhlo 22.4.2024 v čase 17:00–18:30. Byla provedena jasová analýza různých světelných scén, abychom zmapovali světelné podmínky v učebně biologie a ověřili čitelnost na interaktivní tabuli. Měření bylo prováděno pomocí jasového analyzátoru LDA (Luminance Distribution Analyzer) [31], který je navržen k hodnocení jasu za použití metadat digitální fotografie. Pro tento proces byl použit fotoaparát značky **Nikon model D7200** s CMOS snímačem o rozměrech 23,5 mm × 15,6 mm. Zaostření bylo nastaveno v rozmezí od 1 do 3, citlivost ISO byla stanovena na 100 a clona na hodnotu 4. Výška čočky objektivu byla nastavena na 1,2 m, což odpovídá normové výšce očí osoby v sedící pozici (viz obr. 5.14).

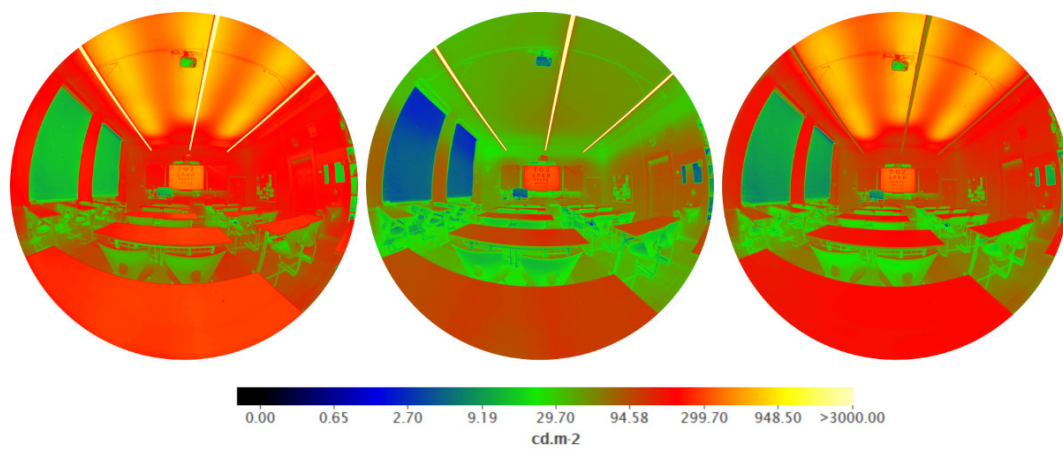
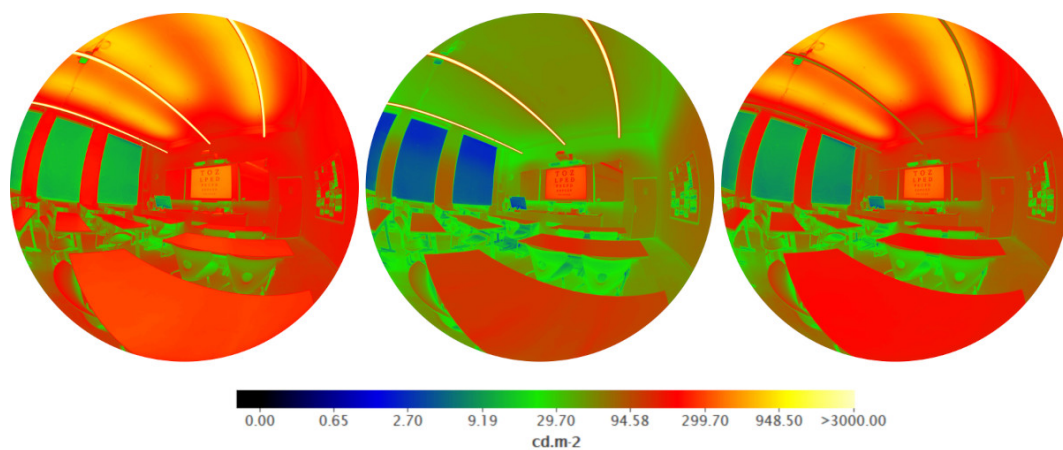
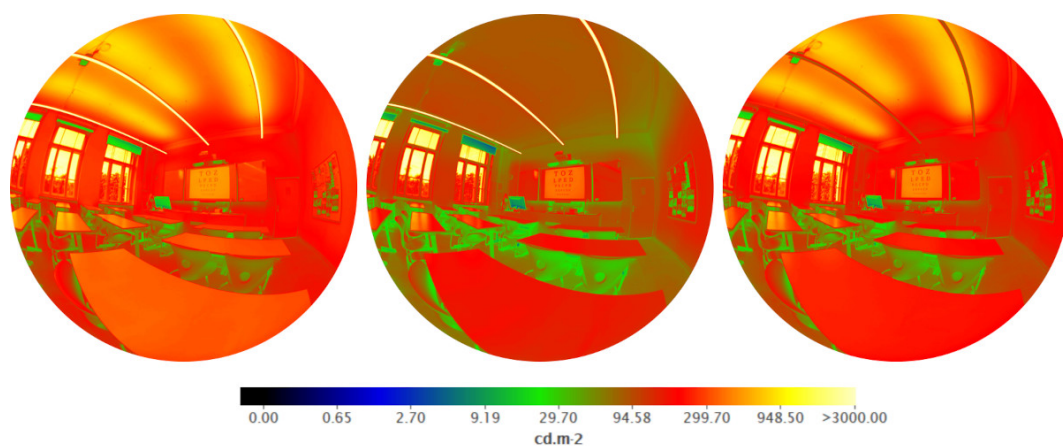
Měření proběhlo ve dvou měřicích bodech. V bodu 2 a 9 (viz půdorys obr. 4.2):

- **Bod 9** – žák sedí v zadní lavici uprostřed a má dominantní pohled na tabuli. Žák v tomto bodě může být vystaven oslnění z umělých světelných zdrojů a nebo světelným odrazům od lesklých povrchů lavic a židlí.
- **Bod 2** – žák sedí ve třetí lavici u dveří. Žák při pohledu na tabuli může být vystaven oslnění přirozeného světla pronikajícího z prvního okna a odleskům z lesklých povrchů lavic.

Pro každý kontrolní bod bylo pořízeno devět snímků na složení HDR obrazu. Snímky byly zachyceny s rychlostí závěrky **1/2 s, 1/10 s, 1/50 s, 1/250 s, 1/1000 s, 1/2000 s, 1/4000 s, 1/8000 s**. Objektiv byl zvolený fish eye bez filtru. Byly nastaveny tři světelné scény, kde byly zapnutá světelná zařízení na maximální intenzitu - kombinované, přímé, nepřímé (řazeny zleva doprava na grafech níže). Naměřená data byla následně zpracována v programu LumiDISP [31] z Vysokého učení technického v Brně.



Obrázek 5.14. Ukázka nastavení měření pomocí jasového analyzátoru

5.4.1 Výsledky měření**Obrázek 5.15.** Jasová analýza bodu 9 – zatažené rolety (A, B, C)**Obrázek 5.16.** Jasová analýza bodu 2 – zatažené rolety (A, B, C)**Obrázek 5.17.** Jasová analýza bodu 2 – vytažené rolety (A, B, C)

■ 5.4.2 Analýza měření

Výsledky měření hodnotíme z rizika oslnění žáků a svítivosti tabule.

Obrázek (5.15): Měření v bodě 9 – zatažené rolety

- Byly změřeny tři světelné scény se zataženými roletami oken, abychom eliminovali dopad denního světla. Největší kontrasty jsou pozorovány u grafu přímého světla, což jsme očekávali, protože svítidla disponují nižším výkonem než u nepřímého osvětlení a nerozptylují se od okolních ploch. Kontrasty na tabuli jsou optimální a u všech grafů podobné. Největší odrazy jsou pozorovány od lesklých lavic. Na stropě vidíme, jak je krásně světlý a rovnoměrně rozložen od osvětlení nepřímým světlem. Odráží se do prostoru a vytváří homogenní prostředí.
- Rozložením jasů v bodě 9 lze hodnotit kladně. Grafické znázornění ukazuje relativně rovnoměrné rozložení intenzity osvětlení po celé ploše učebny.

Obrázek (5.16): Měření v bodě 2 – zatažené rolety

- V bodě 2 byly změřeny tři světelné scény se zataženými roletami oken, aby byl eliminován dopad denního světla. Z grafů vidíme, že výsledky jsou velmi podobné, jako v bodě 9, což naznačuje správné rozložení jasů v celém prostoru.

Obrázek (5.17): Měření v bodě 2 – vytažené rolety

- Měření v bodě 2 s vytaženými roletami oken, bylo provedeno z důvodu získání informací o jasech s vlivem přirozeného světla. Učebna je více oslňována, ale osvětlení je stále v přijatelném rozmezí a interaktivní tabule je stále dobře čitelná.

Shrnutí:

- Obrázky z měření v bodech 9 a 2 s různými světelnými scénami naznačují, že rozložení jasů v učebně je optimální. Světla zajišťují rovnoměrné osvětlení s minimálními kontrasty a odrazy. Přirozené světlo dopadající z oken má pozitivní vliv na osvětlení v bodě 2, aniž by narušovalo studijní prostředí.

Kapitola 6

Simulace v DIALuxu

V této části jsme se soustředili na simulaci osvětlení ve 3D modelu učebny v programu DIALux. Modelovali jsme osvětlení pro různé školní činnosti, jako je výklad, písemka a adaptace na denní světlo. Výsledkem simulace byly číselné parametry jednotlivých scén, které budou využity pro nastavení jasu světel v řídicí jednotce při budoucí realizaci řízení osvětlení v učebně.

DIALux [33] je software pro simulaci osvětlení ve vnitřních a venkovních podmínkách. Umožňuje 3D modelování různých typů prostorů, od malých bytů po velké komerční budovy, a vytváření modelů pro venkovní osvětlení, jako jsou silnice, parky a sportovní zařízení. Program umožňuje simulace s denním i nočním světlem a nabízí možnost vkládání svítidel od různých výrobců, přičemž parametry těchto svítidel lze individuálně upravit.

Celkově lze říct, že DIALux slouží k návrhu, vizualizaci a analýze osvětlenosti, jasu, distribuce světla, teploty barvy, indexu podání barev, energetické účinnosti, oslnění a dalších parametrů osvětlení. V základní verzi je program zdarma [33].

Proces tvorby modelu v programu DIALux:

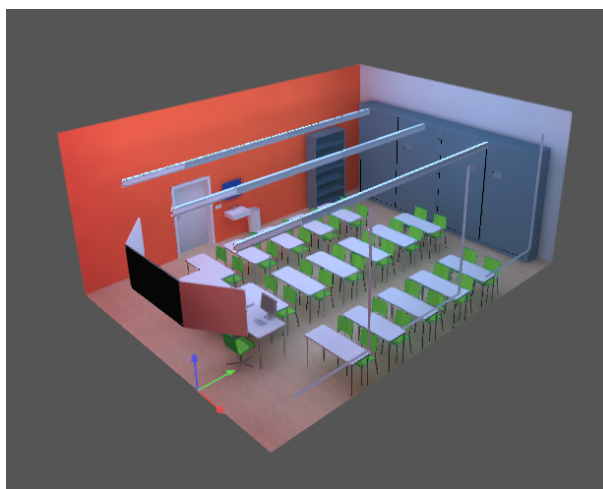
- nakreslení půdorysu,
- vytvoření 3D modelu učebny,
- zvolení světelných prvků,
- nastavení parametrů světel,
- verifikace modelu,
- validace modelu,
- výpočty pro zvolené světelné scény – výklad, písemka, denní světlo,
- určení parametrů pro řídicí jednotku.

Podle uvedeného postupu byly připraveny parametry pro simulaci. Byl vybrán typ místnosti: **Třída** – obecné činnosti (viz obr. 6.1), kde jsou nastaveny parametry z normy, které nelze měnit. Po nastavení byl podle naměřených údajů nakreslen půdorys učebny. Poté byl vytvořen 3D model, včetně volby materiálů a barev. Do 3D modelu byla vložena LED svítidla firmy **Spectrasol – Spectra Mikado Linear** 3000 mm a 1500 mm (1 × LED linear) s odpovídajícími parametry (viz. příloha D), která se jeví jako nejvíce podobná skutečným světlům umístěným v učebně.

Použití	
Uvnitř	<input checked="" type="checkbox"/>
Způsob využívání	
Referenční číslo	44.1
Oblast	Vzdělávací instituce - školy
Provedení	Třída - obecné činnosti
Intenzita osvětlení	
Hodnoty údržby	
Vizuální úloha (Em)	500.0 lx
Vizuální úkol upraven (Em,mod)	1000.0 lx
Okolí (Em)	300.0 lx
Pozadí (Em)	100.0 lx
Válcové (Em,z)	150.0 lx

Obrázek 6.1. Zvolené parametry v DIALuxu

Výsledný model je vidět na obrázku 6.2. Současně tento náhled slouží i jako verifikace modelu, kde jsme zkontrolovali správnost umístění svítidel a materiálů, aby simulace co nejlépe odpovídala reálnému prostředí. Tento krok ověřuje, že všechny prvky jsou správně nastaveny a připraveny pro další analýzu a optimalizaci osvětlení v učebně.



Obrázek 6.2. 3D model v DIALuxu

6.1 Validace modelu

Pro ověření přesnosti a správnosti vytvořeného 3D modelu v programu DIALux byla provedena validace. Tento krok zahrnuje porovnání simulovaných hodnot s reálným měřením v učebně a kontrolu, zda model splňuje stanovené požadavky a normy. Validace je klíčová pro zajištění, že simulace odpovídá skutečným podmínkám a že navržené osvětlení bude efektivní a funkční v reálném prostředí.

Postup provedení validace:

- Porovnáváme kombinované, nepřímé a přímé osvětlení mezi měřením a simulací.

Typ osvětlení	Světla u tabule [lm]	Světla nad lavicemi [lm]
Nepřímé	5 500	11 000
Přímé	2 500	5 000

Tabulka 6.1. Nastavené parametry světel

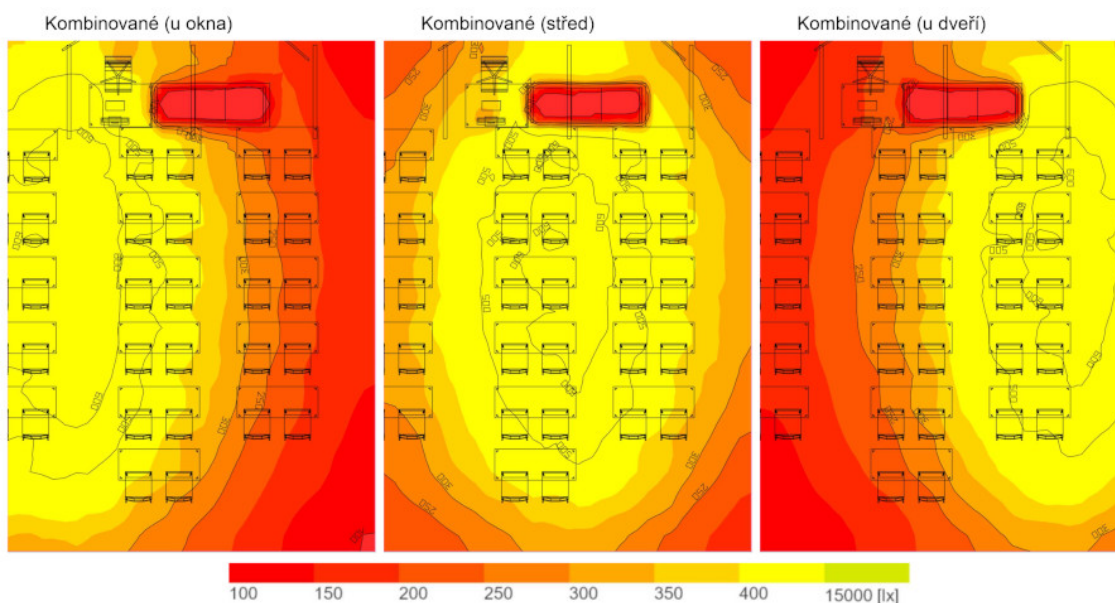
Parametry světel, které nejvíce odpovídaly měřeným hodnotám, vidíme v tabulce 6.1.

Porovnání simulovaných hodnot s reálným měřením v učebně:

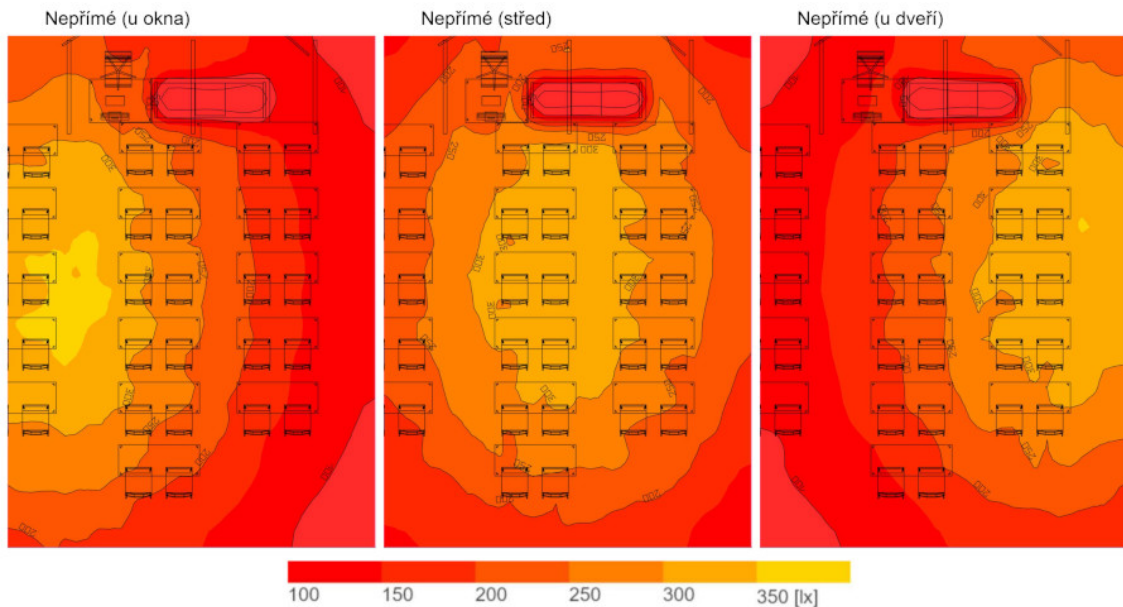
Kombinované osvětlení podle měření z obr. 5.11 dosahuje maxima kolem 600 luxů, což odpovídá simulovaným hodnotám na obr. 6.3. Tvarově se oba obrázky velmi dobře podobají, což potvrzuje správnost modelu. Toto srovnání ukazuje, že jak přímé, tak nepřímé osvětlení je v modelu dobře zachyceno, což je důležité pro řízení světelných scén.

Podobné výsledky byly získány také při porovnání měřených a simulovaných dat u nepřímého osvětlení na obr. 5.12 a obr. 6.4 a přímého osvětlení na obr. 5.13 a obr. 6.5.

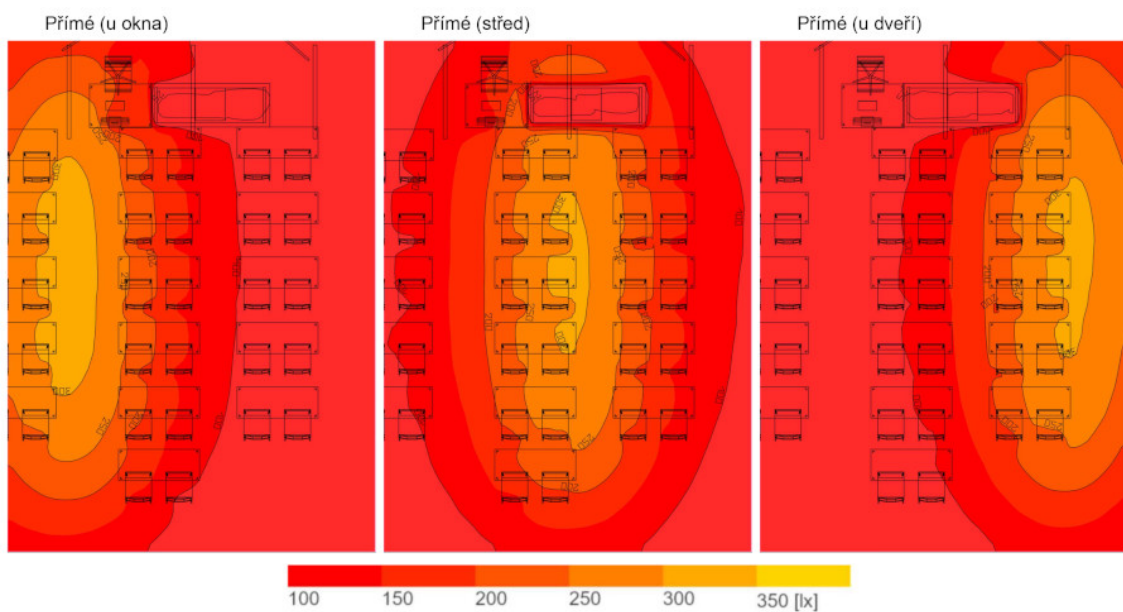
Všechny simulované obrázky ukazují, že katedra u tabule má nedostatečné osvětlení. Důvodem je, že simulační rovina byla umístěna do výšky lavic (800 mm). Katedra je ale umístěna na vyvýšeném pódiu, takže se nachází nad simulační rovinou a to co vidíme je vlastně osvětlení pod stolem.



Obrázek 6.3. Validace kombinovaného osvětlení - okno, střed, dveře



Obrázek 6.4. Validace nepřímého osvětlení - okno, střed, dveře



Obrázek 6.5. Validace přímého osvětlení - okno, střed, dveře

Na základě úspěšné validace modelu lze přistoupit k optimalizaci parametrů osvětlení v učebně pro různé scény.

6.2 Simulace – Výklad

Pro světelnou scénu **Výklad** byl zvolen typ nepřímého osvětlení.

- **Typ osvětlení:** Nepřímé.
- **Cíl:** Zajistit měkké a rovnoměrné osvětlení, které minimalizuje oslnění a umožňuje studentům snadno vidět na interaktivní tabuli.

- **Osvětlení:** Požadavkem je, aby intenzita osvětlení na tabuli a v prostoru byla 300–500 luxů a vyhnout se přímému osvětlení tabule, které by mohlo způsobovat nižší viditelnost na interaktivní tabuli.

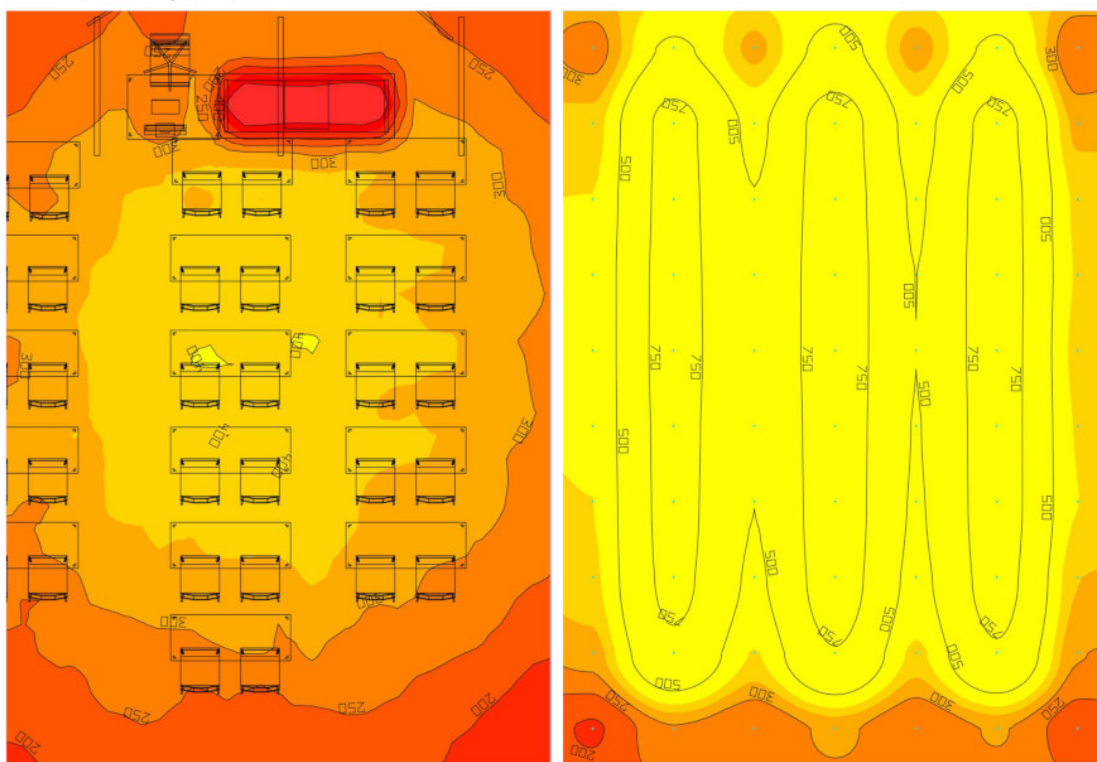
Ze simulace vyplývá, že nastavení světelného toku svítidel pro nepřímé osvětlení je následující:

Typ osvětlení	Světla u tabule [lm]	Světla nad lavicemi [lm]
Nepřímé	2 500	5 000

Tabulka 6.2. Nastavené parametry světelných zdrojů pro scénu – Výklad

Na následujícím obrázku vidíme výsledky simulace osvětlení v učebně pro scénu Výklad se srovnávací rovinou ve výšce 800 mm nad podlahou (levý obrázek 6.6) a osvětlenost na stropě jako kontrola rovnoměrnosti osvětlení.

Scéna: výklad



Obrázek 6.6. Simulace scény výklad. Vlevo srovnávací rovina 800 mm, vpravo strop. Isofoty v luxech.

6.3 Simulace – Písemka

Pro světelnou scénu **Písemka** byl zvolen typ kombinovaného osvětlení.

- **Typ osvětlení:** Kombinace přímého a nepřímého
- **Cíl:** Zajistit dostatek osvětlení na pracovní plochy studentů a zároveň minimalizovat oslnění a únavu očí.

- **Nastavení:** Požadavkem je, aby intenzita osvětlení na pracovních plochách studentů byla 300–500 luxů a vyhnout se přímému osvětlení očí studentů.

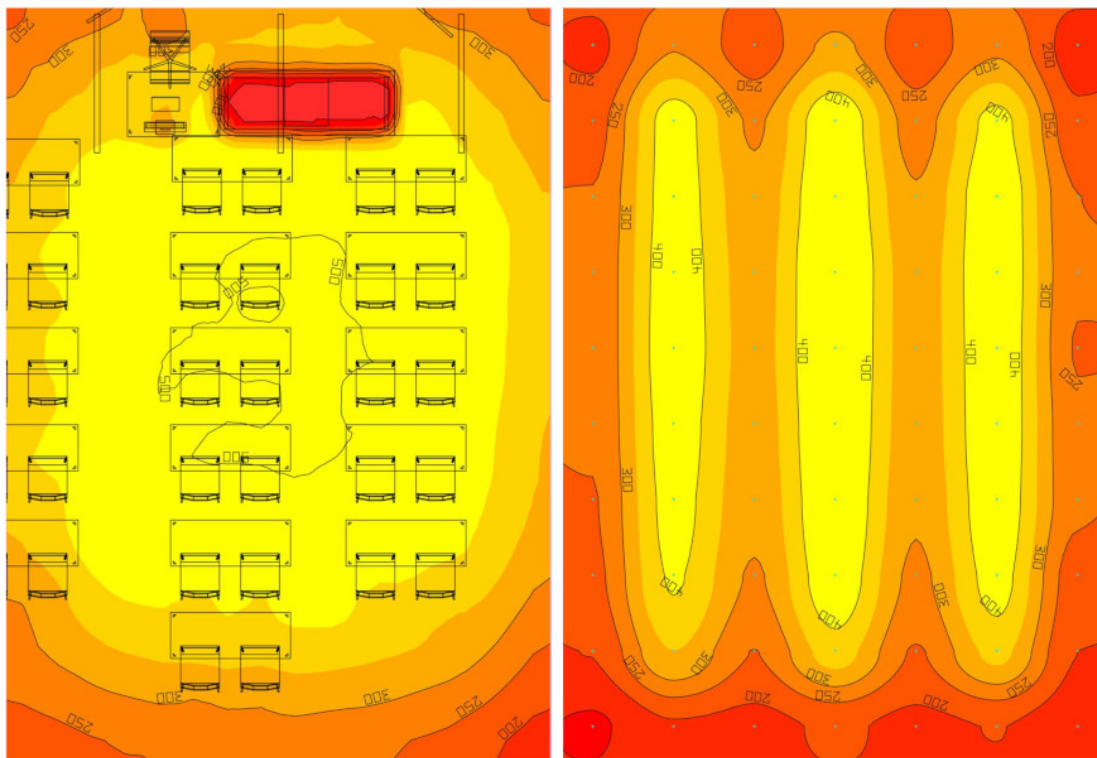
Ze simulace vyplývá, že nastavení světelného toku svítidel pro přímé a nepřímé osvětlení je následující:

Typ osvětlení	Světla u tabule [lm]	Světla nad lavicemi [lm]
Nepřímé	1 000	2 000
Přímé	1 500	3 000

Tabulka 6.3. Nastavené parametry světel pro scénu – Písemka

Na následujícím obrázku vidíme výsledky simulace osvětlení v učebně pro scénu Písemka se srovnávací rovinou ve výšce 800 mm nad podlahou (levý obrázek 6.7) a osvětlenost na stropě jako kontrola rovnoměrnosti osvětlení nepřímého světla.

Scéna: písemka



Obrázek 6.7. Simulace scény písemka. Vlevo srovnávací rovina 800 mm, vpravo strop. Isofoty v luxech.

6.4 Simulace – Denní světlo

Pro světelnou scénu **Denní světlo** byl zvolen typ kombinovaného umělého osvětlení a přirozené denní světlo.

- **Typ osvětlení:** kombinace denního a umělého osvětlení

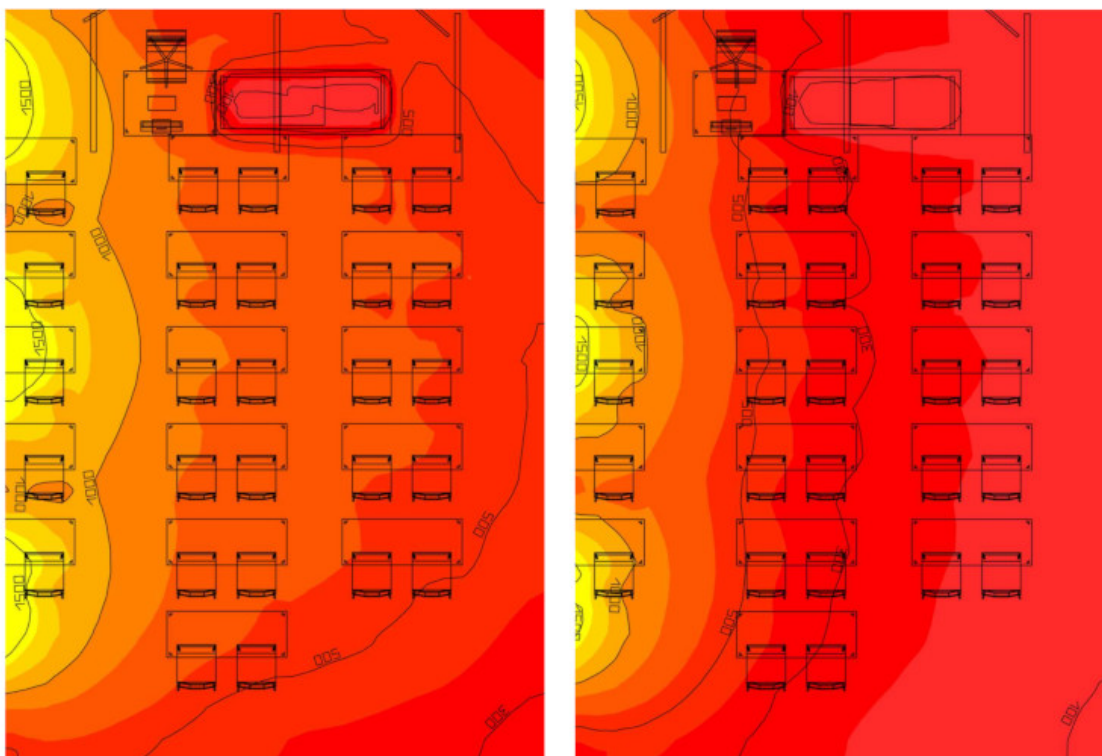
- **Cíl:** Využít co nejvíce denního světla a minimalizovat potřebu umělého osvětlení.
- **Nastavení:** V případě potřeby doplnit denní světlo umělým osvětlením tak, aby byla zajištěna požadovaná intenzita osvětlení (300-500 luxů).

Typ osvětlení	Světla u dveří [lm]	Světla ve středu [lm]	Světla u okna [lm]
Nepřímé	3 000	2 000	1000
Přímé	1 500	1 000	500

Tabulka 6.4. Nastavené parametry světel pro scénu – Denní světlo

Na následujícím obrázku vidíme výsledky simulace osvětlení v učebně pro scénu Denní světlo se srovnávací rovinou ve výšce 800 mm nad podlahou. Vlevo na obrázku 6.8 je simulace příspěvku denního světla s kombinací umělého osvětlení a vpravo výsledky simulace při zatažené obloze bez umělého osvětlení.

Scéna: denní světlo



Obrázek 6.8. Simulace scény denní světlo. Vlevo denní a umělé osvětlení, vpravo zatažená obloha. Srovnávací rovina 800 mm. Isofoty v luxech.

6.5 Vyhodnocení simulace

Scéna Výklad:

Simulace osvětlení pro scénu Výklad ukázala, že nepřímé osvětlení zajišťuje měkké a rovnoměrné osvětlení v celé učebně. Intenzita osvětlení v prostoru dosahuje 200–350 luxů, což splňuje požadované normy.

Z poměru světelného toku (tab. 6.2) a světelného toku pro maximální intenzitu (tab. 6.1) plyne, že světelný tok nepřímých svítidel pro tuto scénu je nastaven na 45 % maximálního světelného toku.

Scéna Písemka:

Kombinace přímého a nepřímého osvětlení v simulaci scény Písemka zajišťuje dostatek osvětlení na pracovních plochách studentů (500 lx) a zároveň minimalizuje oslnění a únavu očí.

Z poměru světelného toku (tab. 6.3) a světelného toku pro maximální intenzitu (tab. 6.1) plyne, že světelný tok nepřímých svítidel pro tuto scénu je nastaven na 18 % maximálního světelného toku a světelný tok přímých svítidel na 27 % maximálního světelného toku.

Scéna Denní světlo:

Simulace scény Denní světlo ukázala, že správně orientovaná okna umožňují optimální využití denního světla v učebně. V případě potřeby je denní světlo doplňováno umělým osvětlením tak, aby byla zajištěna požadovaná intenzita osvětlení (300–500 luxů) v závislosti na počasí.

Z poměru světelného toku (tab. 6.4) a světelného toku pro maximální intenzitu (tab. 6.1) plyne, že světelný tok nepřímých svítidel je u dveří nastaven na 27 %, uprostřed na 18 % a u okna na 9 % maximálního světelného toku a světelný tok přímých svítidel je u dveří nastaven na 14 %, uprostřed na 9 % a u okna na 5 % maximálního světelného toku.

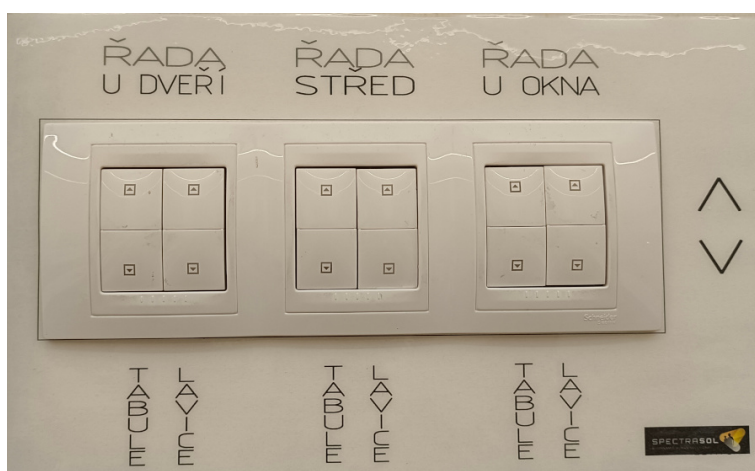
Shrnutí:

Simulace osvětlení učebny v programu DIALux pro scény Výklad, Písemka a Denní světlo ukázaly, že navržené osvětlení splňuje všechny platné normy a předpisy, a zajišťuje optimální vizuální komfort a vhodné podmínky pro studenty. Osvětlení je rovnoměrné, bez oslnění a tmavých míst, jeho barevná teplota podporuje soustředění a produktivitu. Využití denního světla snižuje spotřebu energie a zvyšuje celkovou pohodu studentů.

Kapitola 7

Návrh světelného ovládání

Poslední fáze praktické části se zaměřila na optimalizaci stávajícího světelného ovládání s cílem zjednodušit jeho obsluhu a zvýšit uživatelský komfort.



Obrázek 7.1. Aktuální ovládání

7.1 Analýza stávajícího ovládání

V současnosti je systém vybaven 12 tlačítky, které slouží k ovládání jednotlivých řad světel (viz obrázek 7.1). Každé tlačítko ovládá jednu řadu světel a reaguje na dva typy stisknutí:

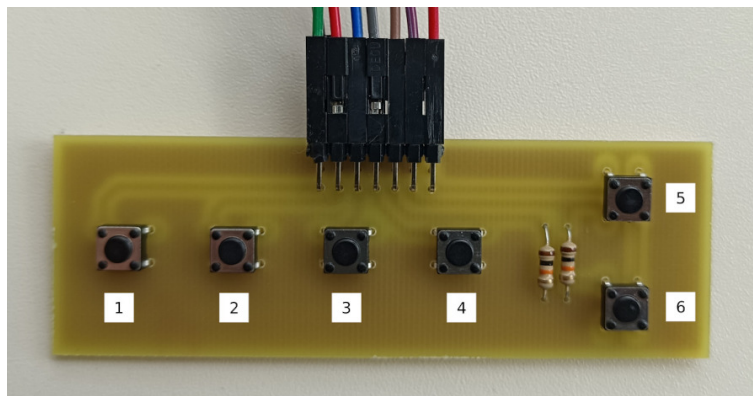
- **Krátké stisknutí:** Zapíná nebo vypíná příslušné světelné zařízení.
- **Dlouhé stisknutí:** Postupně zvyšuje nebo snižuje jas daného světelného zařízení.

Toto ovládání má svá omezení:

- **Složitost:** Velký počet tlačítek a dva typy stisknutí pro každé tlačítko mohou být pro uživatele matoucí a obtížně zapamatovatelné.
- **Neintuitivní ovládání:** Postupné zvyšování a snižování jasu dlouhým stisknutím tlačítka nemusí být pro uživatele intuitivní a pohodlné.

7.2 Návrh optimalizovaného ovládání

Navrhované optimalizované řešení snižuje počet tlačítek na 4 a doplňuje je o 2 tlačítka pro regulaci jasu (viz obrázek 7.2).



Obrázek 7.2. Deska s návrhem optimalizovaného ovládání

Tlačítka jsou rozdělena do dvou sekcí:

■ **Ovládání zapnutí/vypnutí:**

- **tlačítko 1:** slouží k vypnutí všech světel,
- **tlačítka 2–4:** slouží k zapínání jednotlivých světelných scén.

■ **Regulace jasu:**

- **tlačítka 5–6:** slouží k postupnému zvyšování a snižování jasu všech zapnutých světel.

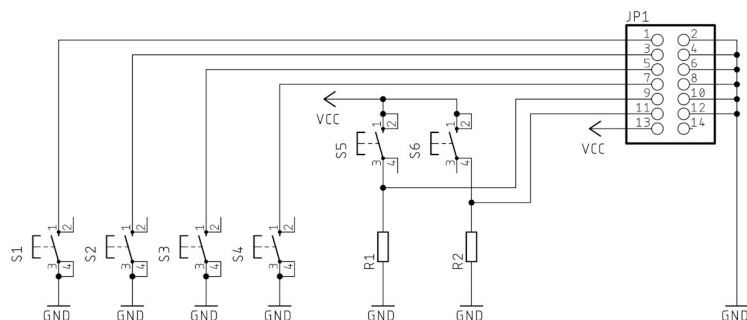
Toto řešení přináší následující výhody:

- Menší počet tlačítek a jednodušší typy stisknutí usnadňují pochopení a ovládání systému.
- Oddělení funkce zapnutí/vypnutí od regulace jasu umožňuje intuitivnější a pohodlnější ovládání.
- Regulace jasu ovládá všechna zapnutá světla najednou, takže není potřeba nastavovat jas pro každou sekci zvlášť.

7.3 Elektrické schéma

Elektrické schéma pro optimalizované ovládání světel je znázorněno na obrázku 7.3. Schéma zahrnuje:

- Tlačítka pro zapnutí/vypnutí a regulaci jasu jsou připojena ke konektoru JP1. K tlačítkům 5 a 6 jsou připojeny pull-down rezistory o hodnotě 10 k Ω , protože vstupní piny procesoru nemají integrované pull-down rezistory pro dané vstupy.
- Tlačítka 1 až 4 mají invertovanou logiku, tj. při stisku se na vstupu procesoru objeví logická nula.
- Tlačítka 5 a 6 mají neinvertovanou logiku, tj. při stisku se na vstupu procesoru objeví logická jednička.



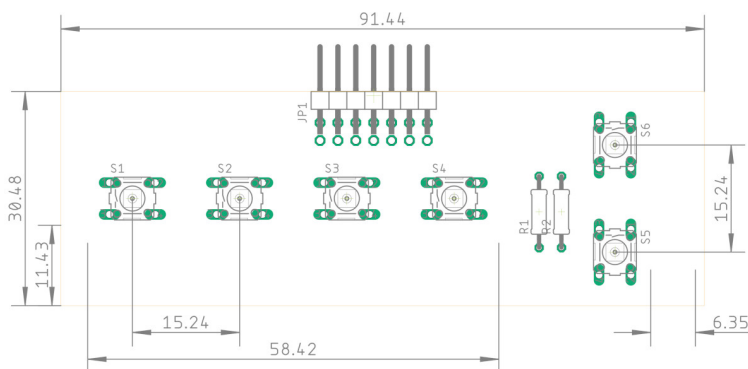
Obrázek 7.3. Elektrické schéma zapojení tlačítek

7.4 Plošný spoj

Plošný spoj (PCB) pro optimalizované ovládání světel je znázorněn na obrázku 7.4. PCB obsahuje všechny komponenty uvedené na schématu, včetně:

- **Napájecího konektoru:** Konektor pro připojení napájení.
- **Tlačítek:** Tlačítka pro zapnutí/vypnutí a regulaci jasu.
- **Pull-down rezistorů:** Rezistory 10 k Ω pro tlačítka regulace jasu.

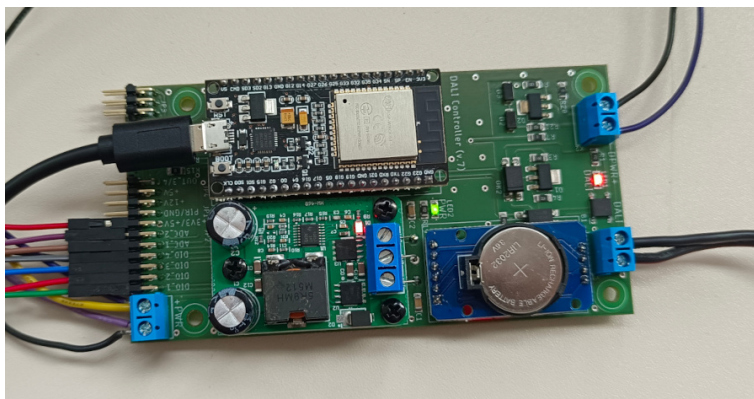
Rozměry desky plošného spoje jsou 91,5 x 30,5 mm.



Obrázek 7.4. Plošný spoj

7.5 Řídicí jednotka

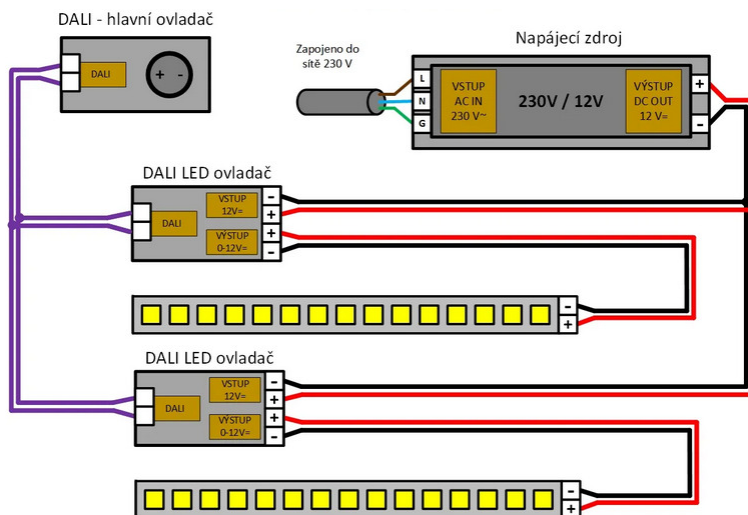
Pro řízení světel byla zvolena řídicí jednotka s mikrokontrolérem ESP32 WROOM, který se vyznačuje vysokým výkonem, nízkým odběrem energie a širokou škálou funkcí (viz obrázek 7.5). Řídicí jednotka je připojena k plošnému spoji tlačítek pomocí konektoru JP2.



Obrázek 7.5. Řídicí jednotka

7.6 Realizace řídicího systému

Montáž nově navrženého panelu do učebny musela být z provozních důvodů odložena na období mimo výuku. Z tohoto důvodu proběhlo veškeré zapojení a testování panelu v laboratorních podmínkách, byla použita LED světla s teplotou chromatičnosti 2700 K a 4000 K (viz ilustrační obr. 7.6).



Obrázek 7.6. Zapojení LED světel s protokolem DALI [34]

Přípravné práce:

- **Osazení plošného spoje tlačítek:** Nejprve byl plošný spoj osazen všemi součástkami, včetně rezistorů.
- **Testování funkčnosti tlačítek:** Reakce řídicí jednotky na stisknutí jednotlivých tlačítek byla ověřována pomocí testovacích programů, pro bezchybné fungování tlačítek a jejich integraci s řídicím systémem.

Zapojení systému:

- **Propojení světel s řídicí jednotkou:** Vodiče sběrnice DALI byly připojeny k příslušným pinům řídicí jednotky.

- **Napájení řídicí jednotky:** Napájecí zdroje 12 V byly připojeny k napájecím konektorům řídicí jednotky.
- **Zapojení světel do zásuvky:** Světla byla zapojena do zásuvky a napájena síťovým napětím 230 V.

7.7 Vývojové prostředí

Jako vývojové prostředí pro programování řídicí jednotky lze použít:

- **PlatformIO:** PlatformIO je open-source vývojové prostředí pro vývoj softwaru pro mikrokontroléry. Nabízí programování v mnoha jazycích a podporuje mnoho různých mikrokontrolérů [24].
- **Arduino IDE:** Arduino IDE je vývojové prostředí pro programování mikrokontrolérů z platformy Arduino. Umožňuje psát kód v jazyce C++ [25].
- **ESP-IDF (Espressif IoT Development Framework):** ESP-IDF je oficiální vývojové prostředí pro mikrokontroléry ESP32. Používá jazyk C a poskytuje širokou škálu funkcí pro vývoj softwaru [23].

Ukazuje se, že nejvhodnějším vývojovým prostředím pro programování řídicí jednotky je PlatformIO, protože je integrované do vývojového prostředí Visual Studio Code s velmi pohodlným textovým editorem a nabízí širokou škálu funkcí pro vývoj softwaru. Nevýhodou je, že mnohé knihovny jsou portovány do prostředí často s výrazným zpožděním. Popřípadě je nutné provést ruční konfiguraci knihoven, což může být značně časově náročné.

Prostředí Arduino IDE je původní vývojové prostředí pro mikrokontroléry z platformy Arduino do kterého je možné nainstalovat knihovny pro ESP32. Výhodou je jednoduchá instalace. Pokud je preferencí použít společný editor pro všechny projekty, tak PlatformIO je vhodnější volbou a zahrnuje většinu funkcí Arduino IDE.

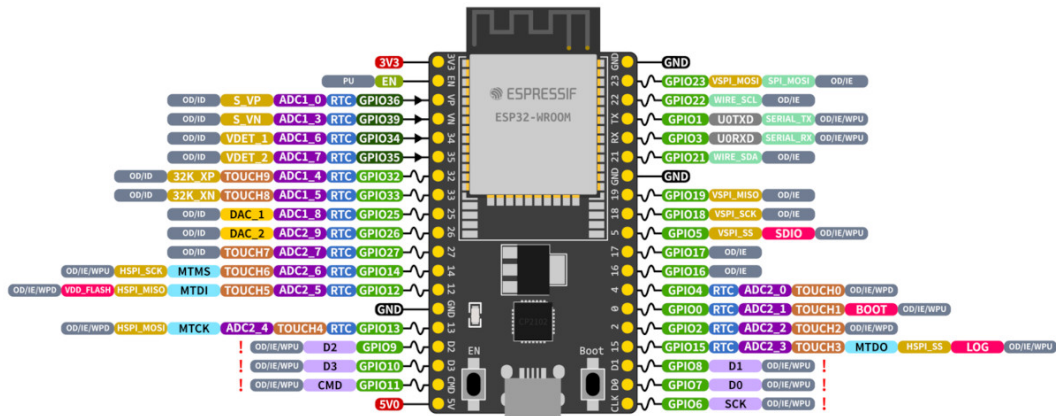
Framework ESP-IDF je vhodný pro uživatele, kteří potřebují využít pokročilé funkce mikrokontroléru ESP32. Lze ho použít s libovolným textovým editorem a integrace s Visual Studio Code je velmi dobrá.

Pro vývoj řídicí jednotky bylo zvoleno vývojové prostředí PlatformIO, z důvodu, že byla k dispozici jednoduchá knihovna pro komunikaci řídicí jednotky se světly pomocí protokolu DALI verze 1.

7.8 Inicializace řídicí jednotky:

Rozložení portů ESP32 WROOM:

Rozložení portů je vidět na následujícím obrázku 7.7.



Obrázek 7.7. Rozložení portů ESP32 WROOM [35]

Nastavení portů:

V programu byly definovány následující porty pro řídicí jednotku:

```
#define DALI_TX_PIN  GPIO_NUM_32
#define DALI_RX_PIN  GPIO_NUM_33
#define LED_PIN      GPIO_NUM_2
#define PB1          GPIO_NUM_21
#define PB2          GPIO_NUM_19
#define PB3          GPIO_NUM_18
#define PB4          GPIO_NUM_17
#define PB5          GPIO_NUM_34
#define PB6          GPIO_NUM_35
```

Inicializace portů byla provedena ve funkci `setup()`.

```
void setup() {
    pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
    digitalWrite(LED_PIN, LOW);

    pinMode(DALI_TX_PIN, OUTPUT);
    digitalWrite(DALI_TX_PIN, HIGH);

    pinMode(DALI_RX_PIN, INPUT);

    // buttons
    pinMode(PB1, INPUT_PULLUP);
    pinMode(PB2, INPUT_PULLUP);
    pinMode(PB3, INPUT_PULLUP);
    pinMode(PB4, INPUT_PULLUP);
    pinMode(PB5, INPUT);           // external pull-down
    pinMode(PB6, INPUT);           // external pull-down
    ...
}
```

Seznam příkazů pro práci s řídicí jednotkou:

Funkce PrintHelp() vypíše seznam používaných příkazů v kódu řídicí jednotky.

```
void PrintHelp() {
    Serial.println();
    Serial.println("Help");
    Serial.println("-----");
    Serial.println("-1 = broadcast");
    Serial.println("(Switch Off) off: device");
    Serial.println("(Set Max Level) smax: device light level");
    Serial.println("(Set Min Level) smin: device light level");
    Serial.println("(Set System Failure Level) sfail:
        device light level");
    Serial.println("(Set Power On Level) spower: device light level");
    Serial.println("(Set Fade Time) sft: device time");
    Serial.println("(SetFadeRate) sfr: device rate");
    Serial.println("(Set Short Address) ssa: device number");
    Serial.println("(Set Scene) ss: device number_of_scene light level");
    Serial.println("(Go To Scene) gts: device number_of_scene");
    Serial.println("(Identify Device) id: device");
    Serial.println("(Add To Group) atg: device number_of_group");
    Serial.println("(Remove From Group) rfg: device number_of_group");
    Serial.println("(Set Operating Mode) som: device
        number_of_mode(hex) (0 default)");
    Serial.println();
}
```

Konfigurace adres:

- Inicializace zařízení a adres byla provedena postupem uvedeným v kapitole 3.8. Každému světlu byla přiřazena unikátní adresa v rámci komunikační sítě. Základní ověření funkčnosti a identifikace byla ověřena příkazem IDENTIFY. Při správném nastavení se zařízení rozblikalo na 10 sekund.
- V tomto případě byla světla nastavena na adresy v rozmezí 0 až 3, čímž se vytvořila adresní mapa pro komunikaci mezi mikrokontrolérem a jednotlivými světly.

Nastavení výchozích parametrů:

- **set failure system (180):** Nastaví úroveň jasu světelných zařízení při výpadku řídicí jednotky. Hodnota 180 přibližně odpovídá 70 % maximálního výkonu.
- **set power on (200):** Nastaví úroveň jasu při zapnutí zařízení. Hodnota 200 přibližně odpovídá 80 % maximálního výkonu.
- **set max level (254):** Nastaví maximální dosažitelný jas. Hodnota 254 odpovídá 100 % maximálního výkonu.
- **set min level (85):** Nastaví minimální dosažitelný jas. Hodnota 85 přibližně odpovídá 34 % maximálního výkonu.
- **set fade time:** Nastaví čas plynulého rozsvícení/zhasnutí při změně jasu. Dobu je možné vypočítat podle vzorce (6).

$$Fade\ time = 2^{\left(\frac{fade\ time}{2} - 1\right)} \quad (6)$$

kde $fade_{time}$ je hodnota v rozsahu 1 až 15. Minimální doba je 0,7 s a maximální doba je 90,5 s (viz. tabulka 4 v [7]).

- **set rate time:** Nastaví rychlost plynulé změny jasu na požadovanou úroveň. Rychlost je možné vypočítat podle vzorce (7).

$$Fade\ rate = \frac{506}{2^{\left(\frac{fade_{rate}}{2}\right)}} \quad (7)$$

kde $fade_{rate}$ je hodnota v rozsahu 1 až 15. Minimální rychlost je 2,8 kroků/s a maximální rychlost je 358 kroků/s (viz. tabulka 5 v [7]).

V kódu byly vytvořeny funkce pro přidání zařízení do skupin a nastavování scén.

- Funkce **AddToGroup(dev, grp):** Kde *dev* je číslo zařízení a *grp* je číslo skupiny. Přidá zadané zařízení do vybrané skupiny. To umožňuje ovládat více zařízení najednou.

```
void AddToGroup (int value, int group) {
    uint8_t device = parse_device(value);
    DaliTransmitCMD(device, 0x60+(group&0x0F));
    delayMilisec(DALI_TWO_PACKET_DELAY);

    DaliTransmitCMD(device, 0x60+(group&0x0F));
    delayMilisec(DALI_TWO_PACKET_DELAY);
} // add to group
```

- Funkce **SetScene(dev, scene, level):** Nastaví úroveň jasu (*level*) pro zadanou scénu (*scene*) a zadané zařízení (*dev*).

```
void SetScene(int value, int numberScene, int levelScene) {
    uint8_t device = parse_device(value);
    DaliTransmitCMD(0xA3, levelScene);
    delayMilisec(DALI_TWO_PACKET_DELAY);

    DaliTransmitCMD(device, 0x40+(numberScene&0x0F));
    delayMilisec(DALI_TWO_PACKET_DELAY);

    DaliTransmitCMD(device, 0x40+(numberScene&0x0F));
    delayMilisec(DALI_TWO_PACKET_DELAY);
} // set scene
```

7.9 Nastavení scén

Pro laboratorní účely byly nastaveny tyto scény:

- Tlačítko **Off:** Slouží k úplnému vypnutí světla.
- Tlačítko **Výklad:** Dva světelné prvky jsou zapnuté a dva vypnuté.
- Tlačítko **Písemka:** Dva světelné prvky jsou nastaveny na vyšší intenzitu a dva na nižší intenzitu.
- Tlačítko **Denní světlo:** Každý prvek je nastaven s jinou intenzitou – od nejnižší po nejvyšší podle vzdálenosti od oken.
- Tlačítko **Regulace jasu:** Při krátkém nebo dlouhém stisku se intenzita postupně zvyšuje/snižuje.

Popis kroků pro nastavení scén:

První scéna – dva světelné prvky s adresou 1 a 2 byly nastavené na intenzitu jasu 200 a dva zbylé byly vypnuté:

1. **Přidání** světel 1 a 2 do skupiny 1:

- `AddToGroup(1,1)`
- `AddToGroup(2,1)`

2. **Vypnutí** všech světel ve scéně, výchozí stav:

- `SetScene(-1,1,0)`

3. **Nastavení** světel 1 a 2 na hodnotu jasu 200 pomocí skupiny 1 ve scéně 1:

- `SetScene(101,1,200)`



Obrázek 7.8. Scéna 1

Druhá scéna – dva světelné prvky s adresou 0 a 2 byly nastavené na vyšší intenzitu jasu 200 a dva zbylé (adresa 1 a 3) byly na nižší intenzitu jasu 120:

1. **Nastavení** světel 0 a 2 na hodnotu jasu 200

- `SetScene(0,2,200)`
- `SetScene(2,2,200)`

2. **Nastavení** světel 1 a 3 na hodnotu jasu 120

- `SetScene(1,2,120)`
- `SetScene(3,2,120)`



Obrázek 7.9. Scéna 2

Třetí scéna – každý světelný prvek byl nastaven na jinou hodnotou jasu:

1. **Nastavení** světel 0 až 3 na hodnoty jasu 85, 240, 130 a 180:

- SetScene(0, 3, 85)
- SetScene(1, 3, 240)
- SetScene(2, 3, 130)
- SetScene(3, 3, 180)



Obrázek 7.10. Scéna 3

U scény 2 a 3 nebylo zapotřebí vytvářet skupiny, protože každému zařízení jsme nastavili přímo danou hodnotu jasu.

Obsluha tlačítka off

Tlačítko Off slouží k úplnému vypnutí světel.

```
void Off(int value){
    uint8_t device = parse_device(value);
    DaliTransmitCMD(device, OFF_C);
    delayMilisec(DALI_TWO_PACKET_DELAY);
    Serial.println("Off");
} // off
```

Obsluha tlačítek pro regulaci jasu

Tlačítka regulace jasu slouží k plynulému zvyšování nebo snižování intenzity světla. Po stisknutí a podržení tlačítka se jas bude pomalu a plynule zvyšovat nebo snižovat, dokud se tlačítko nepustí. Část kódu pro zvyšování a snižování jasu je uvedena níže.

```
// brightness increase using the button -----
if(active_group > 0 && button6_new == PB_ON){
    actual_time = millis();
    delta_time = actual_time - time_b2;
    if(delta_time > 30){
        StepUp(100 + active_group);
        time_b2 = actual_time;
    }
}
```



```
// brightness decrease using the button -----  
if(active_group > 0 && button5_new == PB_ON){  
    actual_time = millis();  
    delta_time = actual_time - time_b3;  
    if(delta_time > 30){  
        StepDown(100 + active_group);  
        time_b3 = actual_time;  
    }  
}
```

7.10 Shrnutí

Cílem této části praktické části bylo navrhnout intuitivní ovládání pro regulaci světelného systému. Celkově můžeme říci, že:

- Jsme navrhli intuitivní ovládání světelného systému pomocí čtyř tlačítek pro různé světelné scény a dvou tlačítek pro regulaci jasu.
- Otestovali jsme funkčnost řídicí jednotky, tlačítek a implementovali scény, které se co nejvíce přiblížily budoucí realizaci.
- V laboratoři jsme pracovali se čtyřmi světelnými zařízeními s protokolem DALI.
- Testy ukázaly jednodušší ovládání pro uživatele než aktuální instalovaný panel v učebně biologie.
- Uživatelé snadno pochopí, jak světla vypnout.
- Zvolené řešení je vhodné pro uživatele, kteří preferují intuitivní ovládání tlačítka.

Závěr

V této diplomové práci byl navržen optimální ovládací panel pro učebnu biologie na gymnáziu U Libeňského zámku. Cílem práce bylo zjednodušit aktuální ovládání osvětlení v učebně, které bude zapínat předem definované světelné scény pro různé aktivity studentů.

V teoretické části se práce zabývala legislativními požadavky na osvětlení ve školních prostorech, fyziologií oka a protokolem DALI, používaným pro komunikaci mezi ovládacím panelem a světly.

V praktické části proběhla analýza aktuálního osvětlení v učebně. Analýza ukázala dobrou rovnoměrnost osvětlení, nadstandardní osvětlenost a spektrální kvalitu. Na základě těchto výsledků byly navrženy tři světelné scény pro činnosti – Výklad, Písemka a Adaptace na denní světlo. Tyto scény byly nasimulovány a navrženy pomocí programu DIALux pro budoucí realizaci v učebně. Dále byl v laboratorních podmínkách navržen a zkonstruován ovládací panel se třemi tlačítky pro zapínání scén, dvěma tlačítky pro regulaci jasu a jedním tlačítkem pro celkové vypnutí světel. Tato implementace byla provedena s ohledem na aktuální situaci, kdy instalace v učebně není možná z důvodu probíhající školní výuky. Plánuje se však její realizace mimo školní rok, kdy bude možné provést potřebné úpravy.

Nový ovládací panel a světelné scény splňují všechny požadavky na osvětlení v učebně biologie. Ovládání panelu je intuitivní a snadné, zatímco světelné scény zajišťují optimální podmínky pro různé činnosti studentů. Implementace tohoto systému v učebně by vedla ke zlepšení komfortu studentů, pedagogů a k úspoře energie.

V budoucnu by mohly být do systému integrovány senzory pro automatické přizpůsobení osvětlení dennímu světlu, dotykový panel pro intuitivní regulaci jasu a Wi-Fi připojení pro vzdálené ovládání. Implementace těchto vylepšení by vedla k ještě většímu pohodlí uživatelů a k efektivnějšímu využití osvětlení.

Diplomová práce prokázala, že inteligentní osvětlení má značný potenciál pro zlepšení komfortu a produktivity v učebnách. Zároveň však zdůrazňuje, že nedostatečná pozornost věnovaná intuitivnímu ovládání může vést k neefektivnímu využití inteligentního osvětlení.

Literatura

- [1] *EN-Catalogue-GL-SPECTIS-1.0-Touch.pdf* [online]. [vid. 2024-04-08]. Dostupné na <https://gloptic.com/wp-content/uploads/2023/12/EN-Catalogue-GL-SPECTIS-1.0-Touch.pdf>.
- [2] BOŠOVÁ, Daniela. *Denní osvětlení budov*. Informační centrum ČKAIT, 2016. ISBN 9788087438701.
- [3] VYCHYTIL, Jaroslav a Jan KAŇKA. *Stavební světelná technika*. ČVUT, 2016. ISBN 9788001060605.
- [4] *Bus Communication* [online]. [vid. 2024-04-08]. Dostupné na <https://onlinedocs.microchip.com/pr/GUID-0CDBB4BA-5972-4F58-98B2-3F0408F3E10B-en-US-1/GUID-910C4B97-3A38-4F04-A78A-DF74EE1A3612.html>.
- [5] HABEL, Jiří, Karel DVOŘÁČEK, Vladimír DVOŘÁČEK a Petr ŽÁK. *Světlo a osvětlování*. FCC Public, 2013. ISBN 9788086534213.
- [6] IEC. *ČSN EN IEC 62386-101:2022 Digitální adresovatelné rozhraní pro osvětlení - Část 101: Obecné požadavky - Komponenty systému*.
- [7] IEC. *ČSN EN IEC 62386-102:2022 - Digitální adresovatelné rozhraní pro osvětlení - Část 102: Obecné požadavky - Ovládací zařízení*.
- [8] IEC. *ČSN EN IEC 62386-103:2022 - Digitální adresovatelné rozhraní pro osvětlení - Část 103: Obecné požadavky - Řídící zařízení*.
- [9] IEC. *ČSN EN IEC 62386-104:2019 - Digitální adresovatelné rozhraní pro osvětlení - Část 104: Obecné požadavky - Bezdrátové a alternativní komponenty kabelového systému*.
- [10] IEC. *ČSN EN IEC 62386-105:2020 - Digitální adresovatelné rozhraní pro osvětlení - Část 105: Zvláštní požadavky na ovládací zařízení - Přenos pevně zabudovaného programu*.
- [11] *ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovišť - Část 1: Vnitřní pracoviště*.
- [12] *ČSN 73 0580-3 stanovuje požadavky na denní osvětlení škol*.
- [13] *DALI Quick Start Guide* [online], [vid. 2024-05-01]. Dostupné na https://www.dali-alliance.org/data/downloadables/3/4/8/dali-quick-start-guide_public-v1_1_april-2023.pdf.
- [14] FOSTER, Russell G. a Mark W. HANKINS. *Circadian vision*. *Current Biology* [online], [vid. 2024-05-18]. Dostupné na <https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.07.007>.
- [15] BRAINARD, GEORGE, HANIFIN, JOHN, GREESON, JEFFREY, BYRNE, BRENDA, GLICKMAN, GENA, GERNER, EDWARD, ROLLAG a MARK. *Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor* [online], [vid. 2024-05-18]. Dostupné na <https://www.jneurosci.org/content/21/16/6405>.

- [16] SAMER, Hattar, Liao H.W., Takao MOTOHARU, Berson DAVID a Yau KING-WAI. *Melanopsin-containing retinal ganglion cells: architecture, projections, and intrinsic photosensitivity [online]*, [vid. 2024-05-18]. Dostupné na https://www.researchgate.net/publication/11525664_Hattar_S_Liao_HW_Takao_M_Berson_DM_Yau_KW_Melanopsin-containing_retinal_ganglion_cells_architecture_projections_and_intrinsic_photosensitivity_Science_295_1065-1070.
- [17] *ISO 22510:2019 - Open data communication in building automation, controls and building management – Home and building electronic systems – KNXnet/IP communication*.
- [18] *Modbus Application Protocol Specification V1.1b [online]*, [vid. 2024-05-01]. Dostupné na https://modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b.pdf.
- [19] OED, Richard. *Old, but Still Useful: The Manchester Code [online]*, [vid. 2024-05-03]. Dostupné na <https://www.digikey.com/en/blog/old-but-still-useful-the-manchester-code>.
- [20] *LM134/LM234/LM334 3-Terminal Adjustable Current Sources [online]*, [vid. 2024-05-01]. Dostupné na <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm134.pdf>.
- [21] *PC817 Series High Density Mounting Type Photocoupler [online]*, [vid. 2024-05-01]. Dostupné na https://learnabout-electronics.org/Downloads/PC817_optocoupler.pdf.
- [22] *Wide-Input Synchronous Buck Controller [online]*, [vid. 2024-05-03]. Dostupné na <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps40055-ep.pdf>.
- [23] *ESP-IDF Programming Guide – v5.2.1 documentation [online]*, [vid. 2024-05-11]. Dostupné na <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/stable/esp32/index.html>.
- [24] *PlatformIO: Your Gateway to Embedded Software Development Excellence [online]*, [vid. 2024-05-07]. Dostupné na <https://platformio.org>.
- [25] *Arduino IDE: Arduino IDE 2.3.2 [online]*, [vid. 2024-05-07]. Dostupné na <https://www.arduino.cc/en/software>.
- [26] *Jak funguje světlo jako fyzikální jev [online]*, [vid. 2024-05-01]. Dostupné na <https://www.lighting.philips.cz/consumer/advice-on-lighting-ideas/jak-funguje-svetlo>.
- [27] *Co znamenají pojmy Lumen, Lux a Candela? [online]*, [vid. 2024-05-01]. Dostupné na <https://www.az-led.cz/a/co-znamenaji-pojmy-lumen-lux-candela>.
- [28] JANČOVIČ, Adam. *Vnímání barev [online]*, [vid. 2024-05-01]. Dostupné na <https://www.ped.muni.cz/wphy/publikace/jancovic1.html>.
- [29] *Soustava smyslová [online]*, [vid. 2024-04-15]. Dostupné na <https://orgpad.com/o/ACe7hVNypGPI31bVzVWI5I>.
- [30] KAŇKA, Jiří a Jiřina WEIGLOVÁ. *Stavební fyzika 10 - Denní osvětlení a oslunění budov*. ČVUT, 2005. ISBN 8001031276.
- [31] *Luminance Analyser [online]*, [vid. 2024-04-20]. Dostupné na <https://lumidisp.eu/technical-specifications/>.
- [32] *Denní osvětlení budov [online]*, [vid. 2024-05-10]. Dostupné na <https://profesi.s.ckait.cz/dokumenty-ckait/tp-1-8-8/>.

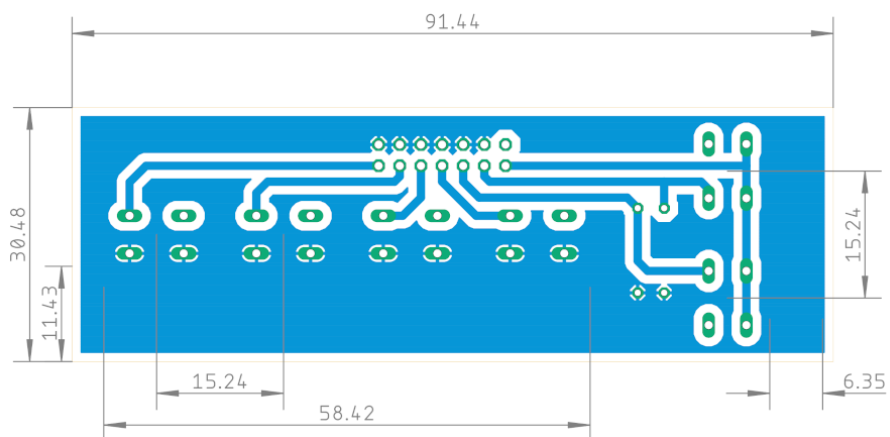
Příloha A

Zkratky

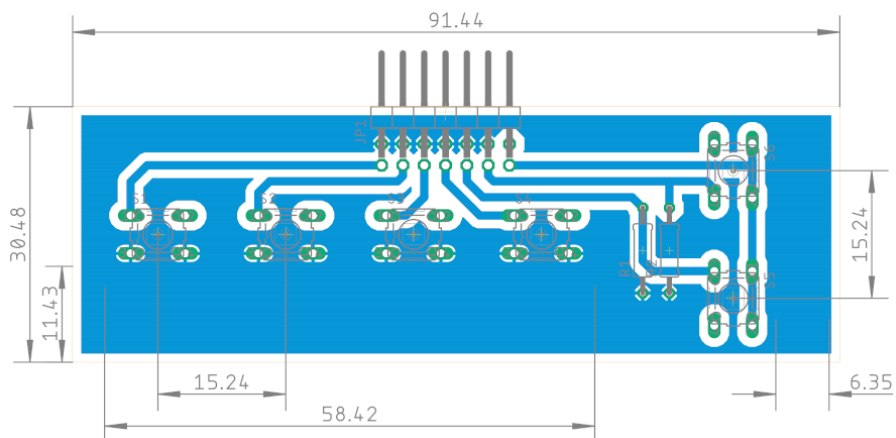
CCT	■ korelovaná barevná teplota – Correlated Color Temperature
CIE	■ Mezinárodní komise pro osvětlování – International Commission on Illumination
CMOS	■ komplementární kov-oxid-polovodič – Complementary Metal-Oxide-Semiconductor
DALI	■ Digital Addressable Lighting Interface
DALI-2	■ Digital Addressable Lighting Interface verze 2
DAPC	■ přímá metoda řízení světelných zdrojů – Direct Arc Power Control
EMI	■ Elektromagnetické rušení – Electromagnetic interference
ESP32	■ mikrokontrolér společnosti Espressif Systems – microcontroller by Espressif Systems
HDR	■ vysoký dynamický rozsah – High Dynamic Range
IEC	■ Mezinárodní elektrotechnická komise – International Electrotechnical Commission
ipRGC	■ intrinsicky fotosenzitivní gangliové buňky sítnice – intrinsically photosensitive Retinal Ganglion Cells
ISO	■ Mezinárodní organizace pro normalizaci – International Organization for Standardization
LDA	■ analyzátor distribuce svítivosti – Luminance Distribution Analyzer
LED	■ světelná dioda – Light Emitting Diode
MOSFET	■ polem řízený transistor – Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor
PCB	■ deska plošných spojů – Printed Circuit Board
UGRL	■ index oslnění – Unified Glare Rating Limit

Příloha C

Schéma optimalizovaného ovládání



Obrázek C.13. Plošný spoj



Obrázek C.14. Rozmístění součástek na plošném spoji

Příloha D

Parametry světel

Projekt

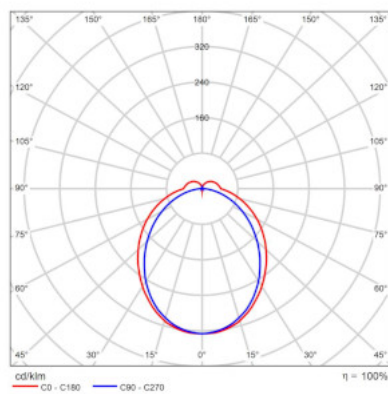
DIALux

Datový list výrobku

Spectrasol - Spectra Mikado Linear 1500mm



P	75.0 W
Φ _{žárovka}	7500 lm
Φ _{světlo}	7499 lm
η	99.99 %
Světelný výtěžek	100.0 lm/W
CCT	4700 K
CRI	95



Polární LDC

Vyhodnocení osnění dle UGR												
μ		70	70	50	50	30	70	70	60	50	30	
μ		50	30	50	30	30	50	30	50	30	30	
μ		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Válcová míra osnění		Směr pohledu např.					Pohled směrem pohledu					
X	Y	k ose lampy					k ose lampy					
2H	2H	21.9	23.2	22.4	23.6	24.0	21.6	22.8	22.0	23.2	23.7	
	3H	23.6	24.7	24.1	25.2	25.7	22.9	24.0	23.4	24.5	25.0	
	4H	24.4	25.4	24.9	25.9	26.4	23.4	24.5	23.9	24.9	25.4	
	6H	25.1	26.1	25.6	26.5	27.1	23.8	24.8	24.3	25.3	25.8	
	12H	25.8	26.8	26.2	27.1	27.6	24.0	24.9	24.5	25.4	25.9	
4H	2H	22.5	23.6	23.0	24.0	24.5	22.2	23.3	22.7	23.7	24.2	
	3H	24.4	25.3	24.9	25.8	26.3	23.7	24.7	24.3	25.2	25.7	
	4H	25.3	26.1	25.8	26.6	27.2	24.4	25.2	25.0	25.8	26.3	
	6H	26.1	26.9	26.7	27.4	28.0	24.9	25.6	25.5	26.2	26.8	
	12H	26.9	27.5	27.5	28.1	28.8	25.2	25.8	25.8	26.4	27.0	
6H	4H	25.6	26.2	26.1	26.8	27.4	24.8	25.4	25.4	26.0	26.7	
	6H	26.8	27.2	27.2	27.8	28.4	25.4	26.0	26.1	26.6	27.3	
	8H	27.1	27.6	27.8	28.2	28.9	25.7	26.2	26.3	26.8	27.5	
	12H	27.6	28.1	28.3	28.7	29.4	25.9	26.3	26.6	27.0	27.7	
	12H	4H	25.6	26.2	26.2	26.8	27.4	24.8	25.4	25.4	26.0	26.7
6H	26.7	27.2	27.3	27.8	28.5	25.6	26.1	26.2	26.7	27.4		
8H	27.2	27.7	27.9	28.3	29.0	25.9	26.3	26.6	27.0	27.7		
Všechny hodnoty jsou zaokrouhleny pro viditelnost v tabulce S												
S = 1.0H		+0.1 / -0.1					+0.1 / -0.1					
S = 1.5H		+0.2 / -0.3					+0.2 / -0.4					
S = 2.0H		+0.3 / -0.6					+0.4 / -0.7					
Standardní tabulka		BK07					BK06					
Korekční sčítanec		10.5					9.6					
Klasifikace osňování: osňování na 1500mm Celný osňování: osňování												

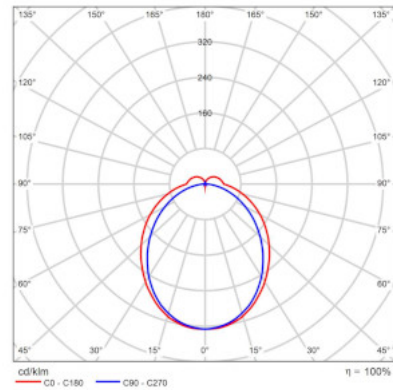
UGR diagram (SHR: 0.25)

Datový list výrobku

Spectrasol - Spectra Mikado Linear 3000mm



P	150.0 W
Φžárovka	15000 lm
Φsvětlo	14999 lm
η	99.99 %
Světelný výtěžek	100.0 lm/W
CCT	4700 K
CRI	95



Polární LDC

Vyhodnocení osinění dle UGR												
μ Strop	70	70	50	50	30	30	70	70	50	50	30	30
μ Stěny	50	30	50	30	30	30	50	30	50	30	30	50
μ Podlaha	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Velikost místnosti	X	Y	Směr pohledu napříc k ose žerývy				Podélný směr pohledu k ose žerývy					
2H	2H	21.9	23.2	22.4	23.8	24.0	21.8	22.8	22.0	23.2	23.7	23.7
	3H	23.6	24.7	24.1	25.2	25.0	22.9	24.0	23.4	24.5	24.5	25.0
	4H	24.3	25.4	24.8	25.9	25.4	23.4	24.5	23.9	25.0	25.0	25.9
	6H	25.0	26.0	25.6	26.5	27.0	23.8	24.8	24.3	25.3	25.8	26.8
	8H	25.3	26.3	25.9	26.8	27.3	23.9	24.9	24.4	25.4	25.4	25.9
	12H	25.8	26.5	26.2	27.0	27.6	24.0	24.9	24.5	25.4	25.4	26.0
4H	2H	22.5	23.6	23.0	24.0	24.5	22.2	23.3	22.7	23.7	24.2	24.2
	3H	24.4	25.3	24.9	25.8	26.3	23.8	24.7	24.3	25.2	25.7	25.7
	4H	25.3	26.1	25.8	26.6	27.2	24.4	25.2	25.0	25.9	26.4	26.4
	6H	26.1	26.9	26.7	27.4	28.0	24.9	25.6	25.5	26.2	26.8	26.8
	8H	26.5	27.2	27.1	27.8	28.4	25.1	25.8	25.7	26.3	27.0	27.0
	12H	26.9	27.5	27.5	28.1	28.7	25.2	25.9	25.8	26.4	27.1	27.1
8H	4H	25.5	26.2	26.1	26.8	27.4	24.8	25.5	25.4	26.0	26.7	26.7
	6H	26.6	27.1	27.2	27.7	28.4	25.5	26.0	26.1	26.6	27.3	27.3
	8H	27.1	27.6	27.7	28.2	28.9	25.7	26.2	26.4	26.9	27.6	27.6
	12H	27.6	28.1	28.3	28.7	29.4	25.9	26.4	26.6	27.0	27.7	27.7
12H	4H	25.5	26.2	26.2	26.8	27.4	24.8	25.5	25.4	26.0	26.7	26.7
	6H	26.7	27.2	27.3	27.8	28.5	25.8	26.1	26.2	26.7	27.4	27.4
	8H	27.2	27.7	27.9	28.3	29.0	25.9	26.4	26.6	27.0	27.7	27.7
Všechny pohledy pozorovatele pro vzdálenosti svítilny 5												
S = 1.0H		+0.1	-0.1				+0.1	-0.1				
S = 1.5H		+0.2	-0.3				+0.2	-0.4				
S = 2.0H		+0.3	-0.6				+0.4	-0.7				
Standardní tabulka		BKG7				BKG6						
Korekční koeficient		10.5				9.0						
Korigované osinění odůvodněné vzhledem na 1500lm Celkový světelný tok												

UGR diagram (SHR: 0.25)