

Spolupráce při realizaci laboratoře světelné techniky a programování řídicího systému

Bc. Martin Mitáš

Diplomová práce
2017

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Martin Mitáš**
Osobní číslo: **A15214**
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Integrované systémy v budovách**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Spolupráce při realizaci laboratoře světelné techniky
a programování řídicího systému**

Téma anglicky: **Cooperation in Realization of Laboratory of Lighting and
Programming of its Control System**

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte souhrn požadavků na laboratoř světelné techniky z hlediska jejího užití.
2. Uvedte možnosti řízení úrovně denního a umělého osvětlení.
3. Uvedte světelné a energetické parametry světelných zdrojů a možnost jejich nastavení.
4. Uvedte výpočtové metody úrovně denního, umělého a sdruženého osvětlení v relaci s nastavením žádaných hodnot a funkčních parametrů prvků umělého a denního osvětlení.
5. Navrhnete algoritmus popisující denní a roční průběh podmínek intenzity světelného záření ve vztahu k dennímu osvětlení předmětné laboratoře.
6. Na základě výše uvedených výpočtů a požadavků na úroveň osvětlení v místnosti stanovte pro daný typ stínění jeho regulaci.
7. Navrhnete automatické řízení výše uvedeného systému (světelné zdroje, žaluzie).

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. HABEL, Jiří. Světlo a osvětlování. Praha: FCC Public, 2013, 622 s. ISBN 978-80-86534-21-3.
2. ČSN EN 12464-1. Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů: Část 1:Vnitřní pracovní prostory. Praha: Český normalizační institut, 2012.
3. DIALux [online]. DIAL GmbH, 2014 [cit. 2017-02-16]. Dostupné z: <http://www.dial.de/DIAL/en/dialux-international-download.html>
4. Světlo [online]. 2008, 9 cit. 2017-02-16]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/obsah-cisla-04-2008--357>
5. MERZ, H., HANSEMANN, T., HUBNER, C.: Automatizované systémy budov. Praha: GRADA, 2007, ISBN 978-80-247-2367-9

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Martin Zálešák, CSc.

Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání diplomové práce:

3. března 2017

Termín odevzdání diplomové práce:

22. května 2017

Ve Zlíně dne 3. března 2017



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu

Jméno, příjmení:

Název bakalářské/diplomové práce:


Prohlašuji, že

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

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně, dne


.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem řízení osvětlení v laboratoři, včetně parametrizace a programování sběrníkových systémů KNX a DALI, a s tím spojených veličin jako jsou denní a umělá složka osvětlenosti. Návrh je orientovaný na dosažení maximálního konstantního osvětlení v celé laboratoři a maximálního využití denního osvětlení při zajištění normovaných požadavků. V teoretické části práce jsou popsány normou definované požadavky na osvětlení vnitřních prostorů, zmíněny parametry světelných zdrojů, výpočtové metody umělého i denního osvětlení a způsoby jeho řízení. Praktická část práce je zaměřena na samotný návrh a následnou realizaci programu s webovým vizualizačním prostředím definujícím rozhraní mezi aplikací a uživatelem. Nemalá část práce je věnována analýze současného stavu jednotlivých složek osvětlení v laboratoři.

Klíčová slova: Laboratoř, Světlo, Denní osvětlení, Umělé osvětlení, Žaluzie, LED, KNX, DALI, DIALux, homeLynk, ETS

ABSTRACT

The diploma thesis is focused on the proposal of lighting control in the laboratory, including parameterization and programming of KNX and DALI bus systems, and related variable such as daylight and artificial lighting. The proposal is aimed at achieving maximum constant lighting throughout the laboratory and maximizing the use of daylight when meeting standardized requirements. In the theoretical part of the thesis are described the interior lighting requirements, which are defined by the regulation, the parameters of the light sources, the calculation methods of artificial and daylight lighting and the ways of control. The practical part is focused on the proposal and the following implementation of the program with the web visualization environment, which determines the interface between the application and the user. A great part of the work deals with the analysis of the current conditions of the individual components of the lighting in the laboratory.

Keywords: Laboratory, Light, Daylight, Artificial lighting, Venetian blind, LED, KNX, DALI, DIALux, homeLynk, ETS

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Martinu Zálešákovi, CSc. za odborné vedení, rady návrhy a konzultace. Dále bych rád poděkoval panu Ing. Jiřímu Vincencovi za konzultace a cenné rady, které probíhaly po celou dobu psaní mé práce.

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

OBSAH

ÚVOD.....	9
I TEORETICKÁ ČÁST.....	10
1 POŽADAVKY NA OSVĚTLENÍ VNITŘNÍCH PROSTORŮ.....	11
1.1 DENNÍ OSVĚTLENÍ	12
1.2 SDRUŽENÉ OSVĚTLENÍ.....	13
2 SVĚTELNÉ A ENERGETICKÉ PARAMETRY ZDROJŮ SVĚTLA.....	15
2.1 SVĚTELNÝ TOK.....	15
2.2 TEPLOTA CHROMATIČNOSTI	16
2.3 MĚRNÝ VÝKON	17
2.4 VŠEOBECNÝ INDEX PODÁNÍ BAREV	18
2.5 ŽIVOTNOST SVĚTELNÉHO ZDROJE.....	19
3 METODY VÝPOČTU OSVĚTLENÍ VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ.....	21
3.1 VÝPOČTOVÉ METODY ÚROVNĚ DENNÍHO OSVĚTLENÍ	21
3.1.1 Bodové metody	21
3.1.2 Tokové metody.....	24
3.2 VÝPOČTOVÉ METODY ÚROVNĚ UMĚLÉHO OSVĚTLENÍ	25
3.2.1 Odhad příkonu osvětlovací soustavy	25
3.2.2 Toková metoda výpočtu osvětlenosti vnitřního prostoru.....	27
3.2.3 Metoda dutin	27
3.2.4 Integrovaná metoda bodového svítidla.....	28
4 ŘÍZENÍ ÚROVNĚ OSVĚTLENÍ VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ	30
4.1 ŘÍZENÍ INTENZITY DENNÍHO OSVĚTLENÍ	30
4.1.1 Boční osvětlení.....	30
4.1.2 Horní osvětlení	31
4.1.3 Kombinované osvětlení.....	32
4.1.4 Řízení intenzity denního osvětlení	33
4.2 ŘÍZENÍ INTENZITY UMĚLÉHO OSVĚTLENÍ.....	34
4.2.1 Elektronické předřadníky	34
4.2.2 Teplotní světelné zdroje	35
4.2.3 Výbojové světelné zdroje.....	37
4.2.4 Elektroluminiscenční světelné zdroje	39
4.3 MOŽNOSTI AUTOMATIZOVANÉHO ŘÍZENÍ A REGULACE OSVĚTLENÍ	40
5 SBĚRNICOVÉ SYSTÉMY	42
5.1 ROZHRANÍ DALI.....	43
5.1.1 Samostatný DALI systém	44
5.1.2 Samostatný DALI podsystém	45
5.1.3 Závislý DALI podsystém	45
5.2 SYSTÉM KNX	46
5.2.1 Topologie KNX.....	47

5.2.2	Adresování přístrojů KNX	48
5.2.3	Software ETS	49
II	PRAKTICKÁ ČÁST	50
6	IDENTIFIKACE PARAMETRŮ LABORATOŘE	51
6.1	GEOGRAFICKÉ PARAMETRY	51
6.2	ROZMĚROVÉ PARAMETRY	52
6.3	STANOVENÍ MĚŘÍCÍCH A VÝPOČETNÍCH BODŮ	53
6.4	DEFINICE A KLASIFIKACE MÍSTNOSTI A ČINNOSTI	54
6.5	TECHNICKÝ SOUHRN POŽADAVKŮ NA LABORATOŘ	55
7	DENNÍ A ROČNÍ PRŮBĚH SLUNEČNÍCH PARAMETRŮ	59
7.1	POLOHA SLUNCE	59
7.2	SOLÁRNÍ RADIACE	61
8	ANALÝZA OSVĚTLENÍ LABORATOŘE	64
8.1	MĚŘICÍ PŘÍSTROJE	65
8.2	DENNÍ OSVĚTLENÍ	65
8.2.1	Denní osvětlení při zatažené obloze	65
8.2.2	Denní osvětlení při jasné obloze	68
8.3	UMĚLÉ OSVĚTLENÍ	74
9	NÁVRH ŘÍZENÍ A REGULACE OSVĚTLENÍ V MÍSTNOSTI	77
9.1	DEFINICE UKAZATELŮ STAVU OSVĚTLENÍ	77
9.1.1	Parametrizace interního senzoru osvětlení a přítomnosti	78
9.1.2	Parametrizace externího senzoru osvětlení a teploty	80
9.2	ŘÍZENÍ A REGULACE STÍNÍCÍ TECHNIKY	81
9.2.1	Výpočet a definice parametrů stínění	82
9.2.2	Parametrizace žaluziového akčního členu	85
9.2.3	Algoritmus řízení a regulace stínící techniky	86
9.3	ŘÍZENÍ A REGULACE UMĚLÉHO OSVĚTLENÍ	87
9.3.1	Výpočet a definice parametrů umělého osvětlení	88
9.3.2	Parametrizace KNX/DALI brány	90
9.3.3	Algoritmus řízení a regulace umělého osvětlení	92
9.4	PROGRAMOVÁNÍ A VIZUALIZACE ŘÍDÍCÍHO SYSTÉMU	94
9.4.1	Programovací skripty	94
9.4.2	Vizualizace řídicího systému	95
	ZÁVĚR	98
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	100
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	102
	SEZNAM OBRÁZKŮ	104
	SEZNAM TABULEK	106
	SEZNAM PŘÍLOH	108

ÚVOD

Život člověka je zásadním způsobem ovlivněn činiteli charakterizujícími okolní prostředí. Fyziologické a psychologické reakce na určité podněty prostředí lze vyvolat působením daných činitelů, mezi které se řadí vzduch, voda, půda a světlo. Z těchto důvodů je světelné prostředí zkoumáno a analyzováno stále širším okruhem odborníků, kteří testují vliv světelných účinků nejen na zrakové funkce, ale i na oběhové ústrojí, rovnováhu, činnost mozku atd.

Snaha světelné techniky je tedy i ze zdravotních důvodů vytvářet co nejlepší světelnou pohodu a mikroklima jak na pracovištích, tak v obytných objektech, školách, nemocnicích atd. Kvalita osvětlení má vliv i na efektivitu práce, preciznost, tvorbu chyb, komfort a únavu. Zajištěním maximální úrovně denního osvětlení ve vnitřním prostředí lze poté podporovat pozitivní náladu uživatelů, jejich fyziologické a psychologické reakce, ale také nižší energetickou a ekonomickou náročnost budov.

K zajištění světelné pohody je nutné brát ohled na veškeré parametry osvětlení, jako jsou intenzita osvětlenosti v místnosti, správné rozložení jasů, omezení oslnění, správná barva světla, spektrální složení světla a dostatečné proslunění, zajištěné dostatečnou úrovní denního osvětlení.

S ohledem na dynamiku světla jsou v poslední době čím dál víc využívanější inteligentní systémy pro automatické řízení jak denního, tak umělého osvětlení. Díky automatické regulaci stínící techniky je dosaženo pružné reakce na změnu podnebí a zároveň v co nejvyšší míře využívané denní složky osvětlenosti. Automatickou regulací umělého osvětlení je doplněna denní složka osvětlenosti v případě neostatečného slunečního záření a tím zajištěna požadovaná světelná úroveň. Automatizované řízení, v případě možnosti stmívání světelných zdrojů, má značný vliv i na energetickou náročnost budovy, kdy v případě nadbytečného osvětlení v místnosti je následně regulován světelný výkon zdrojů.

Problematikou automatického řízení stínící a světelné techniky se zabývá i tato diplomová práce, ve které je provedena analýza osvětlení v laboratoři, na jejímž základě je postaven návrh řízení.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POŽADAVKY NA OSVĚTLENÍ VNITŘNÍCH PROSTORŮ

Osvětlení vnitřního prostoru je realizováno pomocí funkčně ucelených souborů osvětlovacích prostředků, které slouží k dosažení požadovaného osvětlení v daném prostředí, jejichž název je osvětlovací soustava. Osvětlovací soustavy můžeme dělit podle primárního zdroje osvětlení na denní a umělé osvětlení, přičemž jejich kombinací vzniká osvětlení sdružené. Osvětlovací normy vnitřních prostorů stanovují poté požadovanou úroveň osvětlenosti a další parametry v závislosti na druhu a využití daného prostoru. Podle světelně technických norem ovšem nezáleží na tom, jestli se celkových požadovaných parametrů dosáhne osvětlením denním, umělým nebo jejich kombinací, musí se ovšem dodržet určité stanovy. [1]

Požadavky na osvětlení vnitřních prostorů stanovuje zejména norma ČSN EN 12464. Podle této normy jsou hlavními parametry stanovujícími kritéria návrhu rozložení jasu, osvětlenost, směrovost světla, variabilita světla, podání barev a barevný tón, oslnění a míhání světla. [2]

Osvětlenost v místnostech

Efektivita pracovních činností a vnímání osob v místnostech je odvíjena od celkové osvětlenosti místnosti. Osvětlenost E (lx) lze stanovit buď v místě zrakového úkolu, nebo v místě bezprostředního okolí úkolu, které je definované šířkou alespoň 0,5 m kolem místa zrakového úkolu, popřípadě v pozadí úkolu, jehož šířka musí být minimálně 3 m a musí přiléhat k bezprostřednímu okolí úkolu. [2]

Rovnoměrnost osvětlení při využití umělého světla nebo světlíků je normou stanovená pro bezprostřední okolí úkolu na hodnotě $U_0 \geq 0,40$ a pro pozadí úkolu $U_0 \geq 0,10$. V případě osvětlení okny nedostatečné hodnoty rovnoměrnosti osvětlení lze kompenzovat dodatečnými přínosy denního osvětlení. [2]

Tabulka 1. Osvětlenost v místě zrakového úkolu a bezprostředního okolí úkolu [2]

Osvětlenost v místě zrakového úkolu [lx]	Osvětlenost v místě bezprostředního okolí úkolu [lx]
≥ 750	500
500	300
300	200
200	150
150	$E_{\text{úkol}}$
100	$E_{\text{úkol}}$
≤ 50	$E_{\text{úkol}}$

1.1 Denní osvětlení

Parametry denního osvětlení stanovuje norma ČSN 73 0580, podle které má být ve vnitřních prostorech s trvalým pobytem lidí, v závislosti na vykonávané činnosti, využíváno co nejvíce denní osvětlení. U ostatních prostorů je poté denní osvětlení navrhováno účelně a hospodárně. Denní osvětlení musí vytvářet podmínky pro zrakovou pohodu a dobré vidění pozorovaných předmětů, které zamezují předčasné a nadměrné únavě. Kritéria pro posouzení a stanovení denního osvětlení jsou:

- Činitel denní osvětlenosti, stanovující úroveň denního osvětlení
- Rovnoměrnost osvětlení
- Oslnění
- Rozložení světelného toku a převažující směr světla
- Další jevy ovlivňující zrakovou pohodu [3]

Tabulka 2. Zrakové činnosti v závislosti na činiteli denní osvětlenosti [3]

Třída zrakové činnosti	Charakteristika zrakové činnosti	Poměrná pozorovací vzdálenost	Činitel denní osvětlenosti	
			D_{\min} [%]	D_m [%]
I	Mimořádně přesná	> 3330	3,5	10
II	Velmi přesná	1670 - 3330	2,5	7
III	Přesná	1000 - 1670	2	6
IV	Středně přesná	500 - 1000	1,5	5
V	Hrubší	100 - 500	1	3
VI	Velmi hrubá	< 100	0,5	2
VII	Celková orientace	-	0,25	1

Úroveň denní osvětlenosti je vyjádřena pomocí činitele denní osvětlenosti D [%], který se stanoví podílem vnitřní osvětlenosti a osvětlenosti venkovní nezastíněné horizontální plochy.

$$D = \frac{E}{E_h} \quad (1.1)$$

Kde: E vnitřní osvětlenost v měřeném bodě [lx],

E_h venkovní osvětlenost nezastíněné horizontální plochy [lx]. [3]

Rovnoměrnost osvětlení v případě denní složky lze stanovit pomocí rovnice z maximální a minimální hodnoty činitele denní osvětlenosti:

$$U_0 = \frac{D_{min}}{D_{max}} \quad (1.2)$$

Kde: U_0 rovnoměrnost denní osvětlenosti [-],

D_{min} minimální hodnota činitele denní osvětlenosti [%],

D_{max} maximální hodnota činitele denní osvětlenosti [%]. [3]

Hodnoty rovnoměrnosti denního osvětlení jsou doporučeny dle ČSN 73 0580. Pro třídy zrakové činnosti, kde se požaduje splnění pouze minimální hodnoty činitele denní osvětlenosti, I. až IV. je doporučena nejnižší hodnota 0,2, pro zřakovou třídu V. by neměla být menší než 0,15. U zřakových tříd I. až III. je doporučena hodnota 0,3. [3]

1.2 Sdružené osvětlení

Hodnoty osvětlenosti sdruženého osvětlení (dle ČSN 36 0020) jsou stanoveny jako součet denního osvětlení, stanoveného dle ČSN 73 0580, a umělého osvětlení, definované v ČSN EN 12 464, a udávají se v luxech (lx). Daný typ osvětlení je realizován u nových budov jen v případě, kdy nelze docílit požadované osvětlenosti denním osvětlením. Z toho vyplývá, že sdružené osvětlení není rovnocenné dennímu osvětlení a vždy se první přihlíží na hygienické, až poté na technické a ekonomické požadavky. [4]

Při realizaci návrhu a posouzení rovnoměrnosti a úrovně sdruženého osvětlení se pro určení denní složky osvětlenosti využívá rovnoměrně zatažené oblohy s gradací jasu pro dvě kritické úrovně venkovní osvětlenosti, a to 5000 lx při posuzování kvantitativní úrovně osvětlení a 20 000 lx při posuzování kvalitativní úrovně a rovnoměrnosti osvětlení. Vnitřní prostor musí splňovat minimální a případně průměrné (horní osvětlení) hodnoty činitele denní osvětlenosti (viz tabulka 3). [4]

Tabulka 3. Hodnoty činitele denní osvětlenosti [4]

Třída zrakové činnosti	Hodnota činitele denní osvětlenosti [%]	
	Minimální D_{min}	Průměrná D_m
I, II	1,0	2,5
III	0,7	2,0
IV	0,5	1,5
V až VII	0,5	1,0

Norma dále stanovuje, že v případě využití pouze horního osvětlení je nutné splnit minimální hodnotu, i hodnotu průměrnou, u činitele denní osvětlenosti. V případě využití bočního osvětlení je požadavek na splnění minimální hodnoty činitele denní osvětlenosti. Průměrná hodnota činitele denní osvětlenosti musí poté pro všechny třídy být nejméně 1%. [4]

Umělá složka sdruženého osvětlení je navržena tak, aby výsledná osvětlenost splňovala hodnoty osvětlenosti pro konkrétní funkci budovy, dle [2]. V případě osvětlenosti 200 lx až 500 lx je ovšem navýšena o jeden stupeň řady osvětlenosti. [4]

Při stanovení rovnoměrnosti sdruženého osvětlení, při využití bočních osvětlovacích otvorů, je požadavek na její minimální hodnotu, stanovenou podílem nejmenší a největší hodnoty osvětlenosti v prostoru, při rovnoměrně zatažené obloze spolu s denní osvětleností 20 000 lx nejméně 0,2. [4]

Další požadavek normy je v případě jasů osvětlovacích otvorů, které musí vyhovovat normě ČSN 73 0580. Požadované hodnoty poměrů jasu pozorovaného předmětu a osvětlovacího otvoru nesmí překročit hodnoty v tabulce 4. [4]

Tabulka 4. Jasové poměry mezi pozorovaným předmětem a osvětlovacím otvorem [4]

Třídy zrakové činnosti	Poměr jasů
I., II., III.	1 : 40
IV.	1 : 80
V., VI.	1 : 200
VII	1 : 300

2 SVĚTELNÉ A ENERGETICKÉ PARAMETRY ZDROJŮ SVĚTLA

Světelné zdroje jsou popsány a charakterizovány pomocí řady parametrů. Tyto parametry stanovují vlastnosti jednotlivých světelných zdrojů. Parametry ze základního hlediska lze dělit na konstrukční, světelně technické, elektrické, ekonomické a jiné. V této kapitole jsou probrány světelně technické a energetické parametry světelných zdrojů.

2.1 Světelný tok

Jedná se o světelně technickou veličinu, pomocí níž lze vyjádřit schopnost zářivého toku způsobit zrakový vjem. Základní jednotkou světelného toku je jeden lumen (lm). Pomocí světelného toku můžeme specifikovat, kolik světelné energie vyzařuje světelný zdroj do okolí za jednotku času. Jeho velikost je závislá na druhu světelného zdroje a lze ho najít v katalogu nebo na obalu konkrétního zdroje. Světelný tok monochromatického záření lze popsat vztahem 2.1:

$$\Phi(\lambda) = K(\lambda) \Phi_e(\lambda) = K_m V(\lambda) \Phi_e(\lambda) \quad (2.1)$$

Kde: Φ světelný tok monochromatického záření [lm],

λ vlnová délka [m],

K světelný účinek monochromatického záření [lm/W],

Φ_e zářivý tok [W],

K_m maximální hodnota světelného účinku [lm/W],

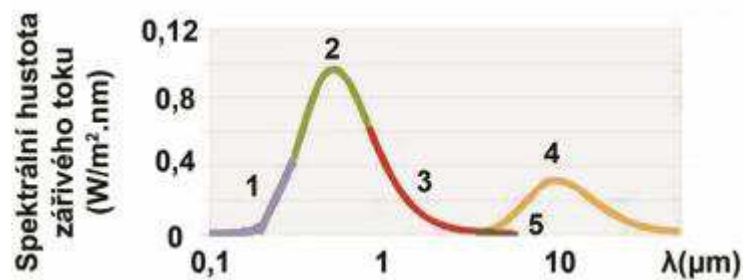
V poměrná světelná účinnost [-], vyjádřená dle vztahu 2.2 [1,5]

$$V(\lambda) = \frac{K(\lambda)}{K_m} \quad (2.2)$$

Pro spojitě záření platí vztah 2.3:

$$\Phi_e = \int_0^{\infty} \Phi_{e\lambda}(\lambda) d\lambda = \int_0^{\infty} \frac{\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} d\lambda \cong \sum_{i=1}^n (\Phi_{e\lambda})_i \Delta \lambda_i \quad (2.3)$$

Kde: $\frac{\Phi_e(\lambda)}{d\lambda}$ spektrální hustota zářivého toku Φ_e . [5]



Obrázek 1. Závislost spektrální hustoty na vlnové délce [5]

Na obr. 1 je vyjádřeno sluneční ultrafialové záření (1), sluneční viditelné záření (2), sluneční infračervené krátkovlnné záření (3), tepelné záření pozemských těles (4) a sluneční infračervené dlouhovlnné záření (5). [5]

V případě záření složeného z více monochromatických záření, lze vypočítat světelný tok jako n úseků světelného spektra o šířce $\Delta\lambda$. Každý úsek je poté stanovený střední hodnotou zářivého toku Φ_e a hodnotou poměrné světelné účinnosti $V(\lambda)$. Výsledný světelný tok se poté rovná sumě všech úseků. [5]

$$\Phi_e = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta\Phi_e(\lambda_i)}{\Delta\lambda_i} \right) K_m V(\lambda_i) \Delta\lambda_i \quad (2.4)$$

2.2 Teplota chromatičnosti

Parametr sloužící k popisu barevných vlastností světla. Při teplotních světelných zdrojích, jako jsou žárovky, odpovídá teplotě vlákna. V případě výbojových světelných zdrojů se využívá termín náhradní teplota chromatičnosti, která je ekvivalentní teplotnímu zdroji s podobným spektrálním složením, jako u daného výbojového světelného zdroje. Teplota chromatičnosti se označuje T_C a její jednotka je jeden kelvin (K). [5]

Teplotou chromatičnosti dle ČSN EN 12 464 lze popsat barevný tón umělého světla viz tab. 5.

Tabulka 5. Barevné tóny světelných zdrojů [2]

Barevný tón světla	Náhradní teplota chromatičnosti T_C [K]
teple bílý	do 3300
neutrálně bílý	3300 až 5300
chladně bílý	nad 5300

Tabulka 6. Teplota chromatičnosti pro různé světelné zdroje [5]

Druh světelného zdroje	T_c [K]
Zářivka studené denní světlo	6500 a více
Zářivka denní světlo	5400
Jasná obloha	6500
Slunce v létě v poledne	5500
Zářivka studená bílá	4000
Slunce při západu	3500 - 4000
Žárovka, žárovka teple bílá	2700
Plamen svíčky	1800

Ačkoli lze pomocí teploty chromatičnosti zjistit zdroje se stejnou barvou světla, nemusí mít tyto zdroje stejné podání barev, které je definované spektrálním složením světla světelných zdrojů. Dané spektrální složení světla lze popsat pomocí indexu podání barev. [5]

2.3 Měrný výkon

Měrný výkon definuje míru přeměny elektrické energie na energii světelnou, tedy popisuje vztah mezi vyzářeným světelným tokem světelného zdroje a jeho příkonem. Dochází k přeměně elektrického výkonu P (W) na světelný tok Φ , při které se ovšem musí zohledňovat princip vnímání světelného záření lidským okem. Stanovené maximum fotopického vidění (denní vidění) je 683 lm/W, přičemž jedny z neúčinnějších světelných zdrojů dosahují hodnoty měrného výkonu 200 lm/W. [5]

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad (2.5)$$

Kde: η měrný výkon [lm/W],

Φ světelný tok [lm],

P elektrický příkon [W].

Tabulka 7 popisuje hodnoty měrného výkonu v závislosti na příkonu současných světelných zdrojů. [5]

Tabulka 7. Hodnoty příkonů a měrného výkonu světelných zdrojů [5]

Druh světelného zdroje	Příkon [W]	Měrný výkon [lm/W]
Žárovka	15 - 200	6 - 15
Halogenová žárovka	10 - 2000	14 - 26
Kompaktní žárovka	5 - 60	56 - 88
Lineární zářivka T8	10 - 58	65 - 90
Lineární zářivka T5	14 - 80	70 - 104
Indukční výbojka	50 - 400	70 - 93
Rtuťová výbojka	50 - 1000	50 - 80
Vysokotlaká sodíková výbojka	50 - 1000	88 - 150
Halogenidová výbojka	35 - 3500	94 - 103
Nízkotlaká sodíková výbojka	18 - 180	130 - 200
Světelné diody	1 - 20	až 140
Xenonová výbojka	25 - 10000	až 95
Plazmový světelný zdroj	až 250	až 85

2.4 Všeobecný index podání barev

Z důvodu vývinu lidského zraku a zvyklosti na sluneční záření a teplotní světelné zdroje jsou lidé pod danými zdroji zvyklí vnímat rozdílnost barev. V případě osvětlení předmětů jiným světelným zdrojem s odlišným spektrálním složením světla, může docházet ke špatné interpretaci světla. Vliv na barevné vnímání mají především spektrální složení světla světelného zdroje a spektrální odraznost nebo propustnost osvětleného materiálu. Dalšími parametry, ovlivňující barevné vnímání, mohou být citlivost k jednotlivým barvám, úhel zorného pole a adaptace zraku. [1,5]

Všeobecný index podání barev, označovaný R_a , definuje vliv na barevné vnímání pomocí světelných zdrojů s různým spektrálním složením. Pomocí Indexu podání barev je vyjádřen stupeň shodnosti vnímání barev předmětu pod vybraným zdrojem a pod smluvně stanoveným tepelným zdrojem. Hodnota indexu je definovaná v rozsahu 0 – 100, přičemž hodnota 100 (např. u teplotních světelných zdrojů) udává shodu v podání barev u teplotních zdrojů a hodnota 0 udává barevnou nerozlišitelnost. Zkoušení se provádí pomocí barevných vzorků, u kterých se zjišťuje rozdílnost vnímání barev. Následně, po zjištění rozdílů, se stanoví všeobecný index podání barev R_a nebo speciální indexy podání barev R_1 , R_2 , R_3 atd. pro každý vzorek. [1,5]

Všeobecný index podání barev lze popsat vztahem 2.6.

$$R_a = 100 - 4,6\Delta\bar{E}_a \quad (2.6)$$

Kde: R_a všeobecný index podání barev [-],

ΔE_a vzdálenost bodů v rovnoměrném diagramu chromatičnosti [-]. [1]

Speciální index podání barev R_i vzorku se poté vypočítá podle vztahu 2.7.

$$R_i = 100 - 4,6\Delta E_i \quad (2.7)$$

$$\Delta\bar{E}_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta E_i \quad (2.8)$$

$$\Delta E_i = \sqrt{(U_{oi} - U_{ki})^2 + (V_{oi} - V_{ki})^2 + (W_{oi} - W_{ki})^2} \quad (2.9)$$

Kde: U_{oi}, V_{oi}, W_{oi} trichromatické složky, pomocí nichž je popsán v soustavě UVW barevný vjem i-tého vzorku při osvětlení srovnávacím zdrojem,

U_{ki}, V_{ki}, W_{ki} trichromatické složky, pomocí nichž je popsán v soustavě UVW barevný vjem i-tého vzorku při osvětlení zkoušeným zdrojem,

n počet vzorků (8 až). [1]

Podle normy ČSN EN 12 464 se ve většině interiérů, včetně pracovních prostorů, požaduje hodnota všeobecného indexu podání barev $R_a \geq 80$. [2]

2.5 Životnost světelného zdroje

Životnost světelného zdroje je další z řady důležitých parametrů popisující kvalitu světelného zdroje. Daný parametr udává dobu, po kterou dokáže daný zdroj hospodárně svítit. U žárovek, na rozdíl od dalších zdrojů, je přitom mezní stav životnosti dán přepálením wolframového vlákna. Během funkční doby světelného zdroje dochází k poklesu světelného toku. Po uplynutí určité doby světelný zdroj, i když je pořád funkční, začne vykazovat nevhodný provoz. Životnost světelného zdroje lze popsat pomocí dvou různých definic:

- Průměrná životnost
- Užitečná (ekonomická) životnost [5]

U průměrné životnosti se porovnávají jednotlivé světelné zdroje osvětlovací soustavy s předem stanovenými požadavky. Jedná se o dobu, po kterou bude svítit přesně polovina ze sledovaných světelných zdrojů. [5]

Užitečná životnost je definovaná ve vztahu k postupnému úbytku světelného toku zdrojů během doby jejich života. Hranice užitečné životnosti je stanovena na úrovni 80 % počáteční hodnoty světelného toku (u LED je tato hranice často uvažována na 70 %). [5]

Tabulka 8. Životnost jednotlivých světelných zdrojů [5]

Druh světelného zdroje	Průměrná životnost [h]	Užitečná životnost [h]
Obyčejné žárovky	1000	1000
Halogenové žárovky	2000 - 3000	2000 - 3000
Kompaktní žárovky	15 000	6000 - 15 000
Lineární zářivky	20 000	10 000 - 18 000
Vysokotlaké rtuťové výbojky	16 000 - 24 000	10 000 - 20 000
Vysokotlaké sodíkové výbojky	32 000	20 000
Nízkotlaké sodíkové výbojky	16 000	16 000
Halogenidové výbojky	10 000	4000
Indukční výbojky	60 000	20 000
Výkonové LED	50 000 - 100 000	25 000 - 50 000
Plazmové světelné zdroje	50 000	50 000
Xenonové výbojky	1000 - 3000	1000 - 3000

3 METODY VÝPOČTU OSVĚTLENÍ VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ

Základní návrh a projekt systému osvětlení vnitřních prostor je spojeno s velkým množstvím světelně technických výpočtů. Na základě daných výpočtů je poté stanoven požadovaný výkon a potřebný počet světelných zdrojů, neboli celkový instalovaný příkon osvětlení a také jsou na jejich základě ověřeny ukazatele dodržení jakosti a světelně technických norem osvětlení.

Výpočetní vztahy uvedené v této kapitole slouží pro jednoduché modelové případy. Pro komplexnější výpočty, kde je nutnost zahrnout velké množství okolních vlivů se využívají různé programové simulace. Existuje široká škála softwarových výpočetních programů pro vnitřní osvětlení. Jako příklad můžeme uvést SunLis, který slouží k výpočtu proslunění obytných prostor. Další softwarové možnosti jsou např. WDLS, sloužící k výpočtu denního osvětlení a WILS pro výpočet umělého osvětlení.

3.1 Výpočtové metody úrovně denního osvětlení

U denního osvětlení je základním parametrem rozhodujícím o hodnocení navrhovaného nebo realizovaného osvětlení činitel denní osvětlenosti. V určitých případech jsou vyžadovány doplňující informace jako je jas plochy nebo kontrast jasu. [6]

Vstupními informacemi důležitými pro výpočet denního osvětlení v interiéru jsou mj. jasová charakteristika oblohy, terénu a zastiňujících překážek, dále geometrické údaje o cílovém osvětlovaném prostoru spolu s okolím, činitelé odrazu světla hlavních ploch v interiéru a činitelé prostupu a ztrát světla. [6]

3.1.1 Bodové metody

Pro definici bodových metod k výpočtu činitele denní osvětlenosti je využitý vztah 3.1, ze kterého je odvozená široká škála bodových výpočetních metod, které často aplikují grafickou sumaci místo integrace. [6]

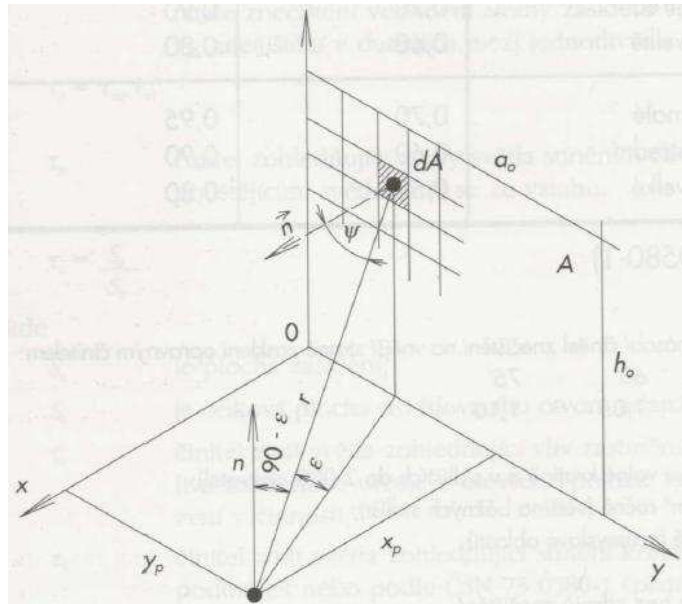
$$E = \int L_{\varepsilon} \cdot \cos(90 - \varepsilon) \cdot d\Omega \quad (3.1)$$

Kde: E osvětlenost v bodě P dané roviny [lx],

$d\Omega$ elementární prostorový úhel plochy dA k bodu P [sr],

L_{ε} jas plošného elementu příslušného k $d\Omega$ [cd/m^2],

90 – ε úhel dopadu světla měřený od normály plochy [°]. [6]



Obrázek 2. Zobrazení principu bodové metody [6]

Nejvíce využívané grafické metody u nás jsou:

- Daniljukovy diagramy
- Protraktory podle Kittlera
- Waldramovy diagramy
- Bodové metody s využitím výpočetní techniky [6]

Daniljukovy diagramy

Při využití metody Daniljukových diagramů jsou prováděny výpočty oblohové a venkovní odražené složky činitele denní osvětlenosti a to při libovolném sklonu osvětlovacího otvoru a libovolné poloze srovnávací roviny. Pomocí dané metody, oproti ostatním, lze pro realizaci výpočtu využít jiné než vodorovné roviny. Pro danou metodu je oblohová složka činitele denní osvětlenosti je vyjádřena pomocí vztahu 3.2 a venkovní odražená složka pomocí 3.3:

$$D_{ob} = \frac{n_I \cdot n_{II}}{100} \cdot k_{\varepsilon} \cdot \tau \quad (3.2)$$

Kde: D_{ob} oblohová složka činitele denní osvětlenosti [%],

n_I počet dílků přináležející osvětlovacímu otvoru [-],

n_{II} počet dílků vymezených šířkou osvětlovacího otvoru [-],

k_ε korekční hodnota na gradaci jasu oblohy [-],

τ souhrnný činitel prostupu a ztrát světla [-], stanovený dle ČSN 73 0580. [6]

$$D_e = D_{ob,F} \cdot 0,39 \cdot \rho_F \quad (3.3)$$

Kde: D_e venkovní odražená složka [%],

$D_{ob,F}$ oblohová složka získaná z části hemisféry zastíněné překážkou [%],

ρ_F činitel odrazu vertikální zastiňující překážky [-], u běžné fasády 0,3. [6]

Kittlerovy protraktory

Stanovení oblohové složky nebo venkovní odražené složky činitele denní osvětlenosti pomocí Kittlerových protraktorů se využívá u jednoduchých případů zastínění. Odvození protraktorů bylo provedeno pomocí podrobných analytických výpočtů. [6]

$$D_{ob} = D_{ob,\infty} \cdot \varphi_{k,s} \cdot \tau \quad (3.4)$$

Kde: $D_{ob,\infty}$ oblohová složka činitele nekonečně širokého osvětlovacího otvoru [%],

$\varphi_{k,s}$ korekční činitel [-].

Zdrojem venkovní odražené složky činitele denní osvětlenosti je zastíněná část. Hodnota daného činitele lze vypočítat pomocí fiktivní oblohové složky dle vzorce 3.3. [6]

Waldramovy diagramy

Daná grafická metoda slouží pro určování oblohové složky činitele a při využití zastínění osvětlovacího otvoru i venkovní složky odrazivosti. Oproti dvěma předcházejícím metodám daná metoda dokáže relativně přesně zohledňovat i složité obrysy venkovních překážek. Jednotlivé odrazivé složky jsou vypočítány podle:

$$D_{ob} = n \cdot 0,1 \cdot \tau \quad (3.5)$$

Kde: n počet plošek volné části osvětlovacího otvoru [-]. [6]

$$D_e = D_{ob,F} \cdot \frac{L_F}{L_{ob}} = 0,39 \cdot \rho_F \quad (3.6)$$

Kde: L_F jas překážky [cd/m^2],

L_{ob} jas zastíněné části oblohy [cd/m^2]. [6]

Fiktivní zastíněná složka oblohy je v daném případě stanovena pomocí:

$$D_{ob,F} = n_F \cdot 0,1 \cdot \tau \quad (3.7)$$

Kde: n_F počet dílků zastíněné části průmětu okna [-]. [6]

3.1.2 Tokové metody

Jedná se o metody založené na posouzení světelného toku procházejícího osvětlovacími otvory a také na určení rozdělení světelného toku na jednotlivé povrchy v místnosti. Aplikací dané metody lze dosáhnout stanovení průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti, v podobě celkové hodnoty nebo odražené složky, na vodorovné srovnávací rovině. Existuje široká řada tokových metod pro výpočet denní osvětlenosti. Dále jsou vybrány určité metody, s jejichž aplikací lze dosáhnout vyšší přesnosti výpočtu. [6]

Stanovení vnitřní odražené složky činitele denní osvětlenosti

U daného typu tokové metody se předpokládá použití jednostranného bočního osvětlení. Pro dané osvětlení jsou poté spočítány průměrné a minimální hodnoty vnitřní odražené složky. Při realizaci vícestranných osvětlení se pro dosažení výsledku sčítají hodnoty jednotlivých výsledků pro jednostranně osvětlené prostory. Stanovení průměrné hodnoty u vnitřní odražené složky při jednostranném bočním osvětlení je realizováno podle vztahu:

$$D_{i,p} = \frac{\tau \cdot S_c}{S_m(1 - \rho_p)} \cdot (k_c \cdot \rho_d + 5 \cdot \rho_b) \quad (3.8)$$

Kde: $D_{i,p}$ průměrné hodnoty vnitřní odražené složky [%],

τ souhrnný činitel ztrát [-],

S_c skladebná plocha osvětlovacích otvorů [m²],

S_m plocha povrchů v místnosti [m²],

ρ_p průměrná hodnota činitele odrazu světla všech povrchů v místnosti [-],

k_c konstanta vlivu svislé plochy otvoru a venkovního zastínění [-],

ρ_d průměrná hodnota činitele odrazu světla dolní části místnosti [-],

ρ_b průměrná hodnota činitele odrazu světla horní části místnosti [-]. [6]

Účinnostní metoda výpočtu při bočním osvětlení

Metoda založená na výpočtu celkové průměrné hodnoty a také vnitřní odražené složky činitele denní osvětlenosti pro místnosti s jednostranným bočním osvětlením. V případě osvětlení místnosti s rozdílnou velikostí nebo umístěním oken je výpočet proveden u každého okna a jeho umístění zvlášť a výsledkem je nakonec suma jednotlivých výpočtů.

Realizace metody je pomocí světelného toku vstupujícího do místnosti oknem a rozdělujícího se na části, které dopadají na tři rozhodující plochy zkoumaného prostoru. Jedná se o plochy:

- Fiktivní stropní rovinu
- Stěny nacházející se mezi fiktivní stropní rovinou a srovnávací rovinou
- Srovnávací rovinu [6]

Účinnostní metoda výpočtu při horním osvětlení

Podstatou metody je realizace výpočtu průměrné hodnoty činitele vnitřní osvětlenosti, který je složený z oblohové a odražené složky, a výpočtu jeho průměrné vnitřní odražené složky. Metoda je využívána u místností osvětlených zenitním, pilovým, lucernovým nebo lichoběžníkovým světlíkem. [6]

3.2 Výpočtové metody úrovně umělého osvětlení

Jak již bylo zmíněno, výpočet úrovně umělého osvětlení slouží zejména ke stanovení počtu světelných zdrojů z hlediska docílení požadované intenzity osvětlení v prostoru. Vstupními parametry pro výpočet umělého osvětlení jsou zejména účel místností, půdorysné a výškové rozměry, určení míst v místnosti pro výpočet osvětlení, světelné vlastnosti stropů a stěn, požadované rozmístění osvětlovacích zdrojů (s ohledem na umístění nábytku, druhu práce atd.), plán instalací a případné ovlivňující faktory (prach, vlhkost atd.). [7]

3.2.1 Odhad příkonu osvětlovací soustavy

Pomocí dané metody lze stanovit orientační návrh osvětlovací soustavy. Stanovením vhodného osvětlení, činitelů odrazu světla od stěn a stropů a světlé výšky místnosti 3 m je výsledný výpočet určený s maximální odchylkou $\pm 10\%$. Tabulka 9 poté udává hodnoty elektrických příkonů vztažených na m^2 osvětlovací plochy, které jsou potřebné k dosažení osvětlenosti 100 lx s měrným výkonem světelných zdrojů 10 lm/W. [7]

Tabulka 9. Předpokládané hodnoty měrný příkonů [7]

Druh osvětlení	Činitel místnosti μ [-]	Poměrný příkon p při různých površích stěn a stropů $[\text{W}/\text{m}^2]$		
		světlé	středně světlé	tmavé
Přímé	< 2	25	28	30
	2 - 4	19	20	22
	> 4	15	16	18
Smíšené	< 2	42	60	80
	2 - 4	28	36	48
	> 4	20	26	32
Nepřímé	< 2	56	86	160
	2 - 4	36	56	106
	> 4	26	40	74

Výsledný příkon P (W) osvětlení ve vnitřním prostoru při požadované osvětlenosti se stanoví ze vztahu:

$$P = p \cdot A \cdot \frac{10 \cdot \bar{E}_m}{\eta_z \cdot 100} \quad (3.9)$$

Kde: P potřebný příkon osvětlení [W],

p poměrný příkon dle tabulky 5 $[\text{W}/\text{m}^2]$,

A osvětlená plocha $[\text{m}^2]$,

\bar{E}_m požadovaná úroveň osvětlenosti [lx],

η_z hodnota měrného výkonu dle použitého světelného zdroje $[\text{lm}/\text{W}]$. [7]

Hodnoty činitele místnosti jsou vypočítány pomocí rozměrů osvětlované místnosti a výšky svítidel nebo stropu ke srovnávací rovině. [7]

$$\mu = \frac{\check{s}}{h_v} \quad (3.10)$$

Kde: μ činitel místnosti [-],

s kratší rozměr místnosti [m],

h_v výška světelného zdroje nebo stropu ke srovnávací rovině [m]. [7]

V případě, že je využito přímého nebo smíšeného osvětlení je za výšku h_v dosazena výška světelného zdroje nad srovnávací rovinou. V případě nepřímého osvětlení se jedná o výšku stropu od srovnávací roviny. [7]

3.2.2 Toková metoda výpočtu osvětlenosti vnitřního prostoru

Jedná se o předběžný návrh osvětlení u vnitřních prostor, který je nejčastěji využíván. Danou metodou lze stanovit hodnotu počátečního světelného toku u světelných zdrojů, který je požadovaný v rámci dosažení určité úrovně osvětlení v bodech srovnávací roviny. Daný potřebný světelný tok se stanoví ze vzorce:

$$\Phi_z = \frac{\bar{E}_m \cdot A}{z \cdot \eta_E} = \frac{\bar{E}_0 \cdot A}{\eta_E} \quad (3.11)$$

- Kde: Φ_z světelný tok světelných zdrojů [lm],
 \bar{E}_m udržovaná osvětlenost [lx],
 \bar{E}_0 počáteční osvětlenost srovnávací roviny [lx],
 A plocha osvětlované roviny [m²],
 z udržovací činitel [-], stanovený podle stárnutí zdroje, znečištění svítidel, znečištění osvětlovacích ploch a funkční spolehlivosti zdrojů,
 η_E činitel využití [-]. [1]

3.2.3 Metoda dutin

U metody dutin jsou svítidla uspořádána do pravidelného čtvercového rozmístění a místnost je poté rozdělena na tři pásma (dutiny). Hodnocená pásma jsou nad svítidly (stropní dutina) a pod srovnávací rovinou (podlahová dutina). Počáteční úroveň osvětlenosti v místnosti na srovnávací rovině je vypočítána pomocí vztahu:

$$E_{PO} = \frac{\eta \cdot \Phi_C}{A} \quad (3.12)$$

- Kde: E_{PO} počáteční úroveň osvětlenosti [lx],
 η činitel využití osvětlovací soustavy [-],
 Φ_C světelný tok všech zdrojů světelné soustavy [lm],
 A plocha místnosti [m²]. [7]

Osvětlenost před výměnou světelných zdrojů a očištěním svítidel je daná vztahem:

$$E_{PK} = E_{PO} \cdot z \quad (3.13)$$

Kde: E_{PK} úroveň osvětlenosti před výměnou a očištěním zdrojů [lx]. [7]

Stanovení počtu svítidel potřebných pro dosažení požadované osvětlenosti lze provést dle vzorce:

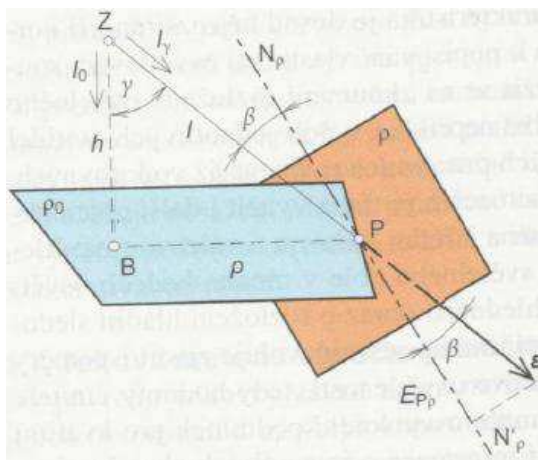
$$n_s = \frac{\Phi_C}{\Phi_{zs}} = \frac{E_{PK} \cdot A}{\eta \cdot z \cdot \Phi_{zs}} \quad (3.14)$$

Kde: n_s počet potřebných svítidel [-],

Φ_{zs} světelný tok všech světelných zdrojů ve svítidle [lm]. [7]

3.2.4 Integrální metoda bodového svítidla

Bodovým zdrojem je míněno svítidlo, jehož rozměry svítícího prvku jsou vůči vzdálenosti osvětleného okolí kontrolního bodu zanedbatelné. Danou metodu popisuje obrázek 3. [1]



Obrázek 3. Výpočet osvětlenosti pomocí bodové metody [1]

$$|\varepsilon| = E_N = \frac{I_y}{l^2} \quad (3.15)$$

Kde: ε světelný vektor [lx],

E_N normálová osvětlenost [lx],

I_y svítivost bodového zdroje Z s úhlem y [cd],

l vzdálenost zdroje Z od bodu P [m]. [1]

Výsledná osvětlenost v bodě P je vyjádřena dle vzorce:

$$E_{P\rho} = \varepsilon \cdot \cos\beta = \frac{I_y}{l^2} \cdot \cos\beta = \frac{I_y \cdot \cos\beta}{h^2 + p^2} \quad (3.16)$$

Kde: $E_{P\rho}$ osvětlenost v bodě P [lx],

β úhel mezi vektorem ε a normálou N'_{ρ} [°],

h vzdálenost zdroje světla Z od roviny ρ_0 [m],

p vzdálenost bodu P od bodu B [m]. [1]

4 ŘÍZENÍ ÚROVNĚ OSVĚTLENÍ VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ

Možnosti řízení úrovně osvětlení závisí v první řadě na využívaném druhu osvětlení a technologii. Ve většině případů je pro řízení úrovně osvětlení využíváno manuální ovládání. U denního světla se jedná o mechanické ovládání žaluzií, rolet, markýz apod. U umělého osvětlení se většinou využívá manuálních dvoustavových mechanických spínačů, které jsou realizovány pomocí různých druhů zapojení. Široká škála manuálního ovládání osvětlení je realizována zejména z hlediska pořizovací ceny řídicí technologie.

V posledních letech jde ovšem kupředu automatizované řízení osvětlení, které je rok od roku rozšířenější a využívanější jak v obytných, průmyslových, tak v administrativních a dalších typech budov. Automatizovaným řízením úrovně osvětlení v místnostech lze pohodlně dosáhnout vyhovující zrakové pohody a optimálních světelných podmínek, které jsou důležité pro pohodlný a zdravý pobyt u všech druhů objektů. Další nespornou výhodou automatizovaného osvětlení je v dodržení vyšších nároků na spotřebu energií, která vede k ochraně životního prostředí a celkovým úsporám při provozu budov.

4.1 Řízení intenzity denního osvětlení

Denní osvětlení je zpravidla v prostoru nebo jeho části realizováno třemi druhy:

- Bočním osvětlením
- Horním osvětlením
- Kombinovaným osvětlením [6]

4.1.1 Boční osvětlení

Daný typ osvětlení se vyznačuje zejména osvětlovacími otvory usazenými v obvodových stěnách osvětleného prostoru, přičemž světlo dopadá na vodorovnou rovinu převážně z boku s úhlem menším než 45° . Boční osvětlení lze rozdělit na jednostranné, vícestranné (dvoustranné a mnohostranné) a sekundární, při kterém světlo prostupuje osvětlovacími otvory ze sousedních místností. [6]

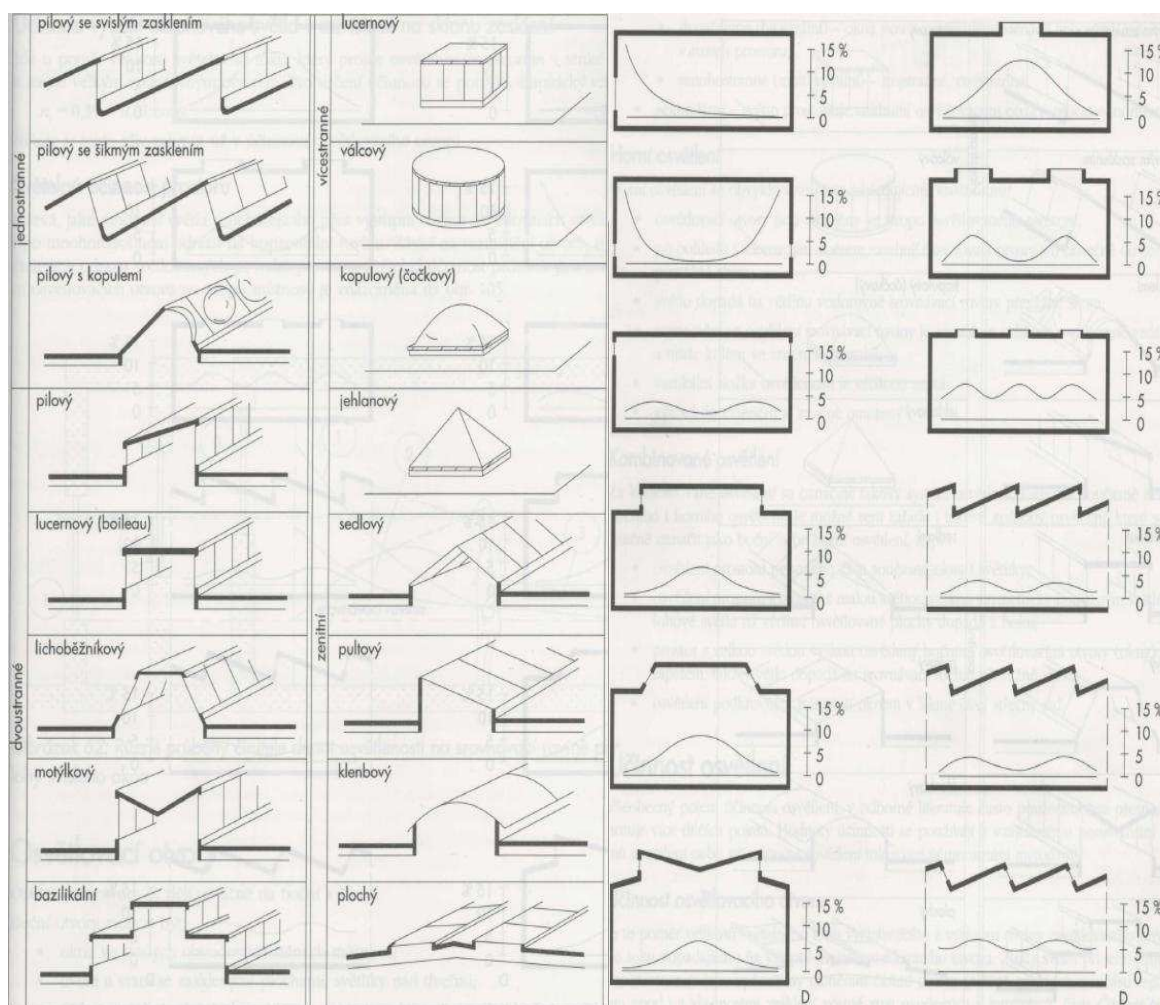
U bočního osvětlení se tedy jedná o okna ve svislých obvodových stěnách místností, prosklené dveře, vrata a světlíky nad dveřmi a nízko umístěná střešní okna, jejichž průchodem vytváří denní světlo boční osvětlení. [6]

4.1.2 Horní osvětlení

Tento typ osvětlení se vyznačuje zejména osvětlovacími otvory umístěnými ve stropu osvětleného prostoru, přičemž světlo dopadá na vodorovnou rovinu převážně shora. [6]

Horními osvětlovacími otvory mohou být například **světlíky**, vyznačující se širokou škálou druhů a vlastností. Světlíky mohou být podle tvaru (viz obr. 4):

- **Zenitní** - kopulové, čočkové, jehlanové, sedlové a pultové. Jejich výhodou je směr k zenitu a tím i vysoká účinnost.
- **Jednostranně orientované se svislým nebo nakloněným zasklením** - pilové a pultové s velkým sklonem. Mají nižší účinnost, ale pokud jsou správně orientované, poskytují dobrou ochranu proti přímému slunečnímu záření.
- **Vícestranně zasklené** - lucernové, lichoběžníkové nebo motýlkové. [6]



Obrázek 4. Druhy světlíků a účinnost osvětlovacích systémů (při poměru celkové plochy otvorů ku ploše srovnávací vodorovné roviny 1:6) [6]

Další možností realizace horního osvětlení jsou **světlovody**. Stejně jako u světlíků jde o pasivní osvětlovací systém, který je schopen přenášet světlo na velké vzdálenosti díky odrazům od reflexního povrchu. Jeho složení obsahuje rám zasklení, který je viditelný na povrchu střechy, různě dlouhý kruhový tubus s vysoce reflexním vnitřním povrchem a difuzér, pomocí něhož je světlo rozptýleno po místnosti. Světlovody lze využít jak u plochých střech, tak u střech se sklonem 15° až 60° . [8]



Obrázek 5. Složení světlovodu [9]

4.1.3 Kombinované osvětlení

Kombinovaný systém osvětlení sdružuje současně některé vlastnosti horního a bočního osvětlení. Do daného typu osvětlení spadají i způsoby osvětlení, které se neřadí jednoznačně posoudit jako boční nebo horní osvětlení. [6]

Osvětlení prostoru lze realizovat současně světlíkem a okny. Jedná se o realizaci světlíku s relativně nízkou světelnou výškou, díky čemuž oblohové světlo dopadá na většinu plochy z boku. Další možností je osvětlování prostoru s velkou světelnou výškou pomocí bočních osvětlovacích otvorů s vysokými parapety, díky čemuž dopadá světlo na vodorovnou rovinu převážně shora. [6]

4.1.4 Řízení intenzity denního osvětlení

Díky regulaci a řízení denního osvětlení se zejména omezují nežádoucí účinky slunečních paprsků na světelné prostředí interiéru. Základním pravidlem pro regulaci denního osvětlení je, že při nedostatku denního osvětlení z důvodu zatažené oblohy se omezuje co nejméně. Omezení se provádí zejména při požadavku na snížení vlivu slunečního záření, snížení vlivu rušivých jasů oblohy a snížení rušivých jasů, které vznikají odrazem jak v exteriéru tak interiéru. [6]

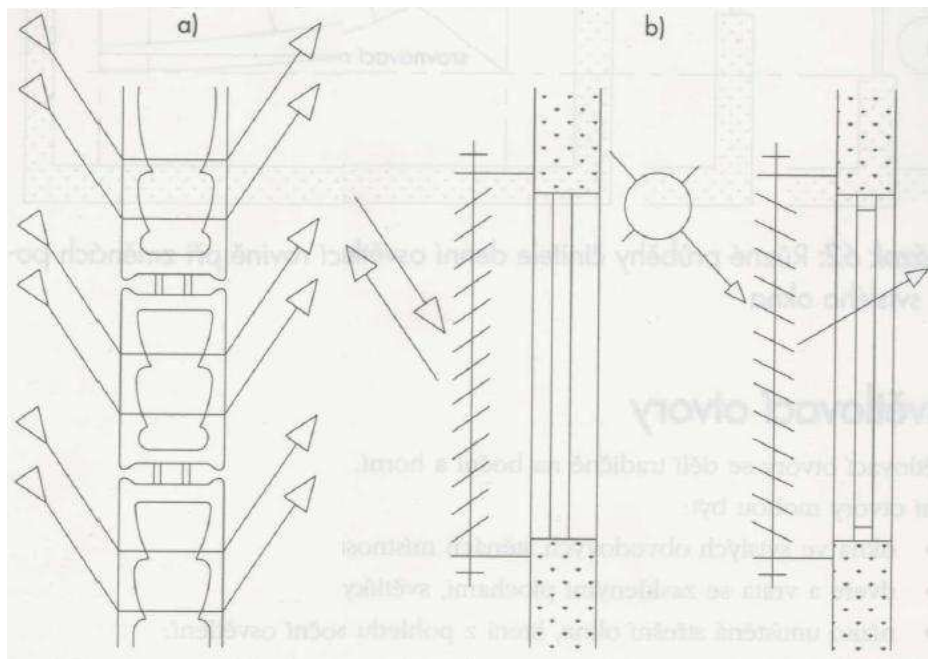
Výhodné řízení spočívá, mimo jiné, v přesměrování přímých světelných toků na jiné plochy osvětleného prostoru, čímž se docílí zvýšení úrovně adaptačního jasu. Denní osvětlení lze regulovat pomocí technických prvků (stínění), ovládaných jak mechanicky, tak elektronicky, umístěných jak z venkovní strany budovy, tak v konstrukci osvětlovacího otvoru nebo na vnitřní straně osvětlené budovy. [6]

K řízení denního osvětlení se využívají jak pasivní, tak i aktivní technické prvky:

- Pevné a pohyblivé clony, jako jsou např. lamely, markýzy atd.
- Žaluzie nebo rolety umístěné na straně exteriéru, interiéru nebo v konstrukčním osvětlovacím prvku
- Záclyny a závěsy umístěné na straně interiéru
- Usměrnující, rozptylující, částečně pohlcující nebo odrážející materiály, které mohou být součástí konstrukce nebo se na konstrukci nanášejí [6]

Pomocí aktivního stínění lze regulovat a optimalizovat množství denního záření. Daná regulace je realizována pomocí řízení geometrie stínění. Při posouzení jednotlivých druhů stínění lze konstatovat, že při využití žaluzií lze více regulovat denní osvětlení, na rozdíl od rolet, díky nimž lze dosáhnout kvalitnějšího zatmění místnosti, ale nižší možnosti regulace osvětlení. Nesporná výhoda je i u venkovního druhu žaluzií, díky nimž lze redukovat tepelné zisky místnosti v letním období. Jejich nevýhodou zas může být náchylnost na venkovní povětrnostní podmínky. [6]

Jak už bylo zmíněno žaluzie a rolety mohou být realizovány jak v exteriéru, tak v interiéru nebo přímo v konstrukčním prvku. U žaluzií je ještě možnost výběru horizontálního nebo vertikálního mechanismu. [6]



Obrázek 6. Regulace a přesměrování denního světla na strop, a) skleněné tvárnice, b) žaluzie [6]

4.2 Řízení intenzity umělého osvětlení

Úroveň umělého osvětlení je dána zvoleným druhem technologie. Základními technologickými prvky ovlivňující účinnost, spotřebu energie a životnost jsou jednotlivé druhy zdroje osvětlení a předřadníky, které slouží k regulaci osvětlení, omezení proudu, napětí a frekvence napětí. Předřadníky existují ve verzích elektromagnetických a elektronických. V poslední době jsou na vzestupu elektronické předřadníky, pomocí nichž je realizována regulace a řízení umělého osvětlení, kterým se tato kapitola zabývá. Světelné zdroje se rozdělují:

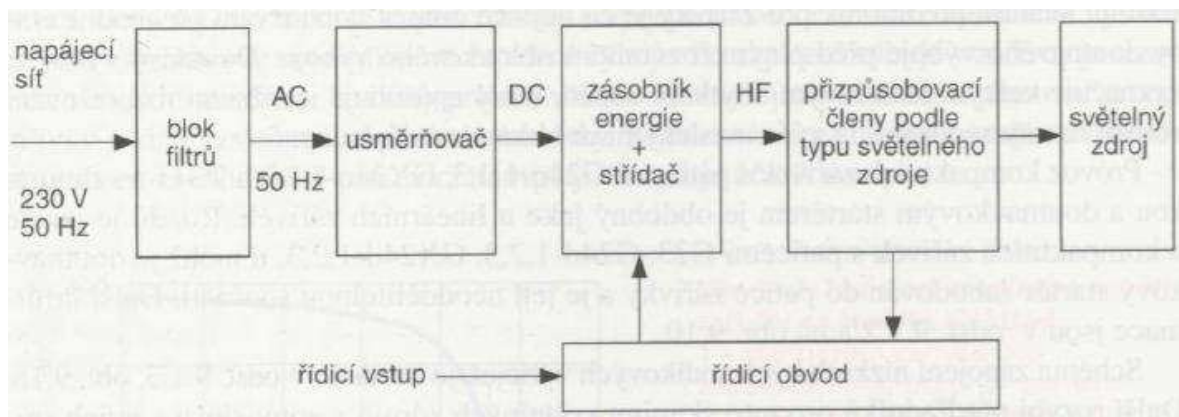
- Teplotní světelné zdroje
- Výbojové světelné zdroje
- Elektroluminiscenční světelné zdroje [1]

4.2.1 Elektronické předřadníky

Jak již bylo zmíněno, předřadné přístroje slouží pro regulaci osvětlení, omezování proudu, napětí a frekvence napětí u jednotlivých světelných zdrojů. Jsou tedy základním prvkem pro řízení osvětlení jak ve vnitřních prostorech, tak i venkovních. Největší vývoj v poslední době zaznamenali elektronické předřadníky, díky kterým lze zajistit vyšší kvalitu osvět-

lení, stabilizaci světelně technických parametrů u světelných zdrojů a to v širokém rozsahu napájecího napětí, prodlužují životnost světelných zdrojů, snižují spotřebu energie díky nižším ztrátám a vyšší účinnosti zdrojů a vyznačují se tichým provozem. Dalšími výhodami elektronických předřadníků jsou nižší geometrické rozměry a nižší hmotnost tlumivky nebo transformátoru. [1]

Elektronické předřadníky tvoří (viz obr. 7) na vstupu blok filtrů, který napomáhá, mimo jiné, k omezení harmonického zkreslení, k omezení zapínacího proudu a k eliminaci vysokofrekvenčního rádiového rušení. Další částí je dvoucestný usměrňovač, který převádí střídavé napájecí napětí na stejnosměrné pulsní napětí. Předřadník dále tvoří zásobník energie pro střídač a přizpůsobovací členy podle typu osvětleného zdroje (transformátor u tepelných zdrojů, tlumivka a startér u výbojových zdrojů). [1]



Obrázek 7. Blokové schéma zapojení elektronického předřadníku [1]

4.2.2 Teplotní světelné zdroje

Mezi daný typ zdrojů osvětlení se řadí obyčejné a halogenové žárovky. **Klasické žárovky** se vyznačují vysokou kvalitou světla, ale také velmi nízkou energetickou účinností, díky čemuž byla jejich výroba zastavena. Jejich princip je založený na tepelné emisi světla, kdy elektrický proud prochází přes tenké wolframové vlákno, které se zahřívá, na základě čehož vydává světlo. Wolframové vlákno se nachází uvnitř skleněné baňky, která ho chrání před kyslíkem a následnou oxidací. Uvnitř baňky se nacházelo buď vakuum, nebo interní plyn. Obyčejné žárovky vyzařují typické „teplé bílé“ světlo, vyznačují se spojitým světelným spektrem a vysokým indexem barevného podání. [10]

Halogenové žárovky obsahují také tenké wolframové vlákno spolu s interním plynem a malé množství halogenu (jod, brom). Jedná se tedy o jakousi zdokonalenou verzi obyčej-

ných žárovek, které se vyznačují možností vyšší provozní teploty, díky čemuž dosahují vyšší účinnosti. Významně vyšší účinnost mají pouze halogenové žárovky třídy C a B, které ve srovnání s kompaktními zářivkami jsou ovšem pořád neúčinné. [10]

Nová technologie u halogenových žárovek, kdy jsou plněné xenonem nebo kryptonem, umožnila až o 25% až 30%, někdy dokonce až 50% vyšší účinnost. Díky těmto vlastnostem byly obvykle zařazeny do energetických tříd C a B. [10]

Regulace a řízení teplotních světelných zdrojů

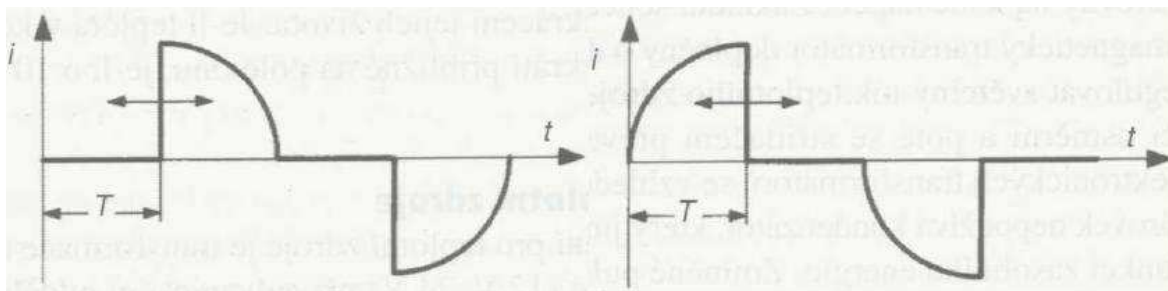
Jak již bylo zmíněno, řízení a regulace (stmívání) je u světelných zdrojů realizováno pomocí elektronických předřadníků, jejichž dalším úkolem je transformace napájecího napětí (230 V) na napětí malá (12 V nebo 24 V) při galvanickém oddělení obvodů. Daný typ předřadníků se nazývá elektronické transformátory. Teplotní světelné zdroje lze stmívat pomocí úpravy napájecích parametrů:

- Vně bloku elektronického transformátoru
- Uvnitř bloku elektronického transformátoru [1]

Regulace napájení vně bloku elektronického transformátoru probíhá pomocí fázového řízení, kdy se upravuje efektivní hodnota napájecího napětí. Napětí je přiváděno na transformátor v určitých úsecích každé půlperrody sinusového průběhu napětí sítě. Rozlišují se dvě metody fázového řízení (obr. 8) a to podle okamžiku připojení a odpojení napájecího napětí:

- Na rostoucí části sinusového průběhu (triakové stmívače)
- Na klesající části sinusového průběhu (tranzistorové stmívače)

Zatímco první případ je vhodný pro způsob fázového řízení běžných elektromagnetických transformátorů, druhý způsob se využívá u většiny elektronických transformátorů. Určité typy elektronických transformátorů lze řídit oběma způsoby fázového řízení, další typy nelze řídit ani jedním způsobem. [1]



Obrázek 8. Fázové řízení na rostoucí části (vlevo) a na klesající části (vpravo) sinusového průběhu [1]

Druhá metoda stmívání teplotních světelných zdrojů je úpravou napětí uvnitř bloku elektronického transformátoru, kdy jsou řídicí impulsy přiváděny přímo do řídicího bloku buď v digitální, nebo analogové podobě. [1]

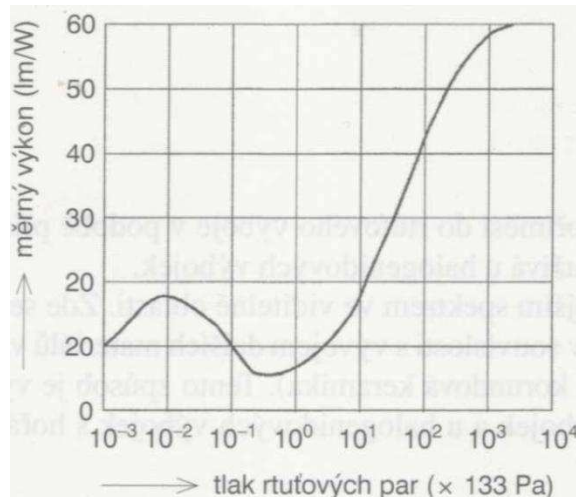
4.2.3 Výbojové světelné zdroje

Výbojovými světelnými zdroji jsou **nízkotlaké výbojové zdroje**, mezi které se řadí zářivky, kompaktní zářivky, nízkotlaké sodíkové výbojky a indukční výbojky, a **vysokotlaké výbojové zdroje**, mezi které se řadí vysokotlaké rtuťové výbojky, směšové výbojky, halogenidové výbojky a vysokotlaké sodíkové výbojky. [1]

U **nízkotlakých výbojových zdrojů** je charakteristický tlak rtuťových par kolem 1 Pa, proudová hustota několik desítek mA/cm^2 a příkon světelného zdroje obvykle nepřesahuje 100 W. Jedním ze základních druhů nízkotlakých výbojových zdrojů je **zářivka**, jejímž principem je vyzařování hlavní části světla jednou nebo více vrstvami luminoforu, který je buzený ultrafialovým zářením výboje. Na druhu luminoforu závisí barevný odstín světla a index podání barev. [1]

Kompaktní zářivky jsou poté složeny z trubice plněné rtuťovými párami a elektronickým předřadníkem, který slouží k omezení proudu v zářivce a stabilizaci. Ve srovnání se standardními žárovkami mají kompaktní zářivky o 60% - 80% vyšší energetickou účinnost a jejich životnost je 8 až 20krát vyšší. [10]

Vysokotlaké výbojové zdroje mají trochu odlišný mechanismus vzniku světla od nízkotlakých. Dochází u nich k postupnému zvyšování tlaku rtuťových par a proudové hustoty, přičemž se vyzařovaná energie posouvá směrem k vyšším vlnovým délkám, roste měrný výkon a také vzniká spojité spektrum, u kterého roste intenzita díky nárůstu tlaku rtuťových par. [1]



Obrázek 9. Závislost měrného výkonu výboje na tlaku rtuťových par u vysokotlakého výbojového zdroje [1]

Regulace a řízení výbojových světelných zdrojů

Elektronický předřadník zde plní funkci zapalovače výboje a omezovače proudu procházejícího výbojem. [1]

Stmívání je ve značné míře využíváno pouze u zářivek, v případě halogenidových a vysokotlakých sodíkových výbojek je využíváno jen zřídka. Základem stmívání je elektronický předřadník, který mění frekvenci napětí vytvářeného střídačem a přiváděného na elektrody zářivky. Princip popisuje vzorec 4.1:

$$I_z = \frac{U_z}{Z} = \frac{U_z}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L} \quad (4.1)$$

Kde: I_z proud zářivky [A],

U_z napětí střídače [V],

Z impedance tlumivky [Ω],

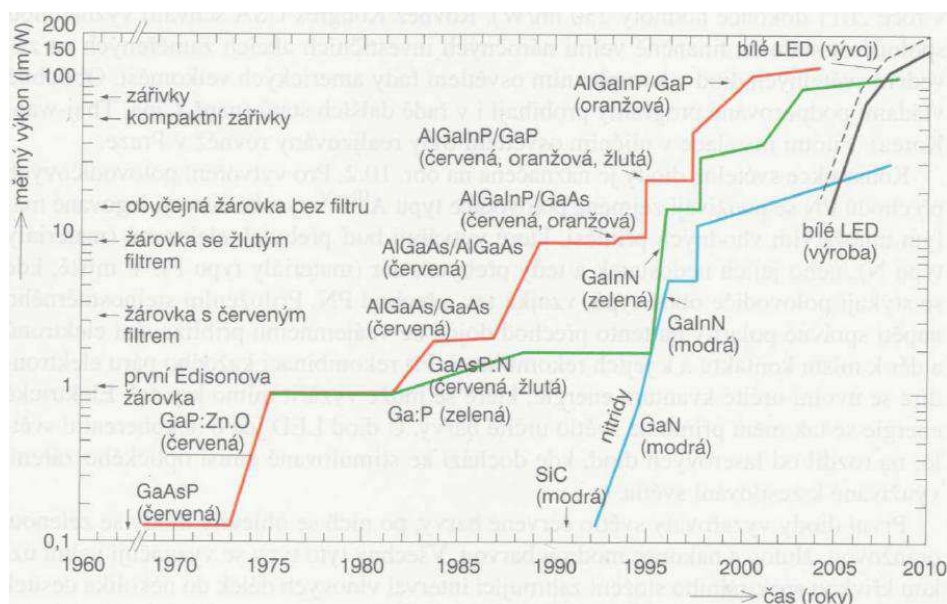
f frekvence napětí [Hz],

L indukce [H]. [1]

V případě nejnižší pracovní frekvence vytvářeného napětí je zároveň generován maximální světelný tok. Při zvýšení frekvence napětí vzroste současně impedance tlumivky a klesne proud zářivky, díky čemu se sníží světelný tok. [1]

4.2.4 Elektroluminiscenční světelné zdroje

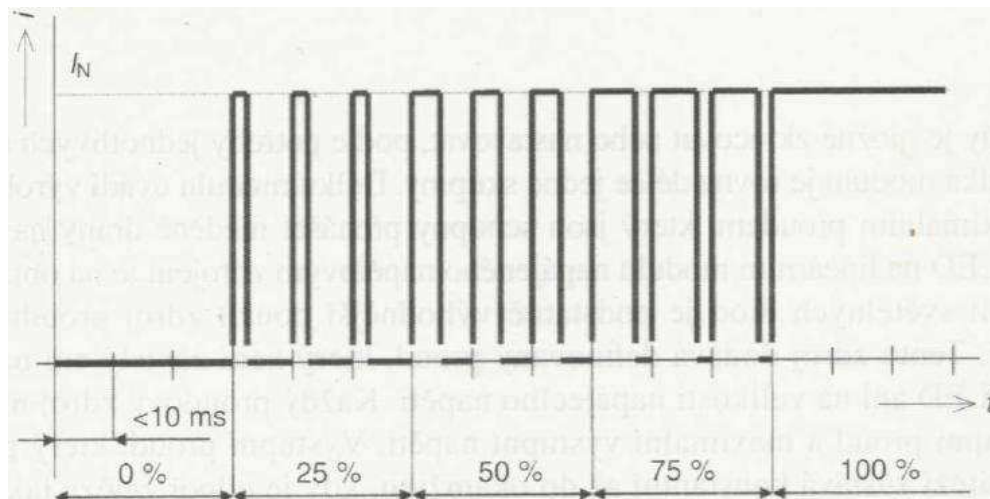
Jedná se o skupinu světelných zdrojů, založených na polovodičové technologii, obsahující LED diody, laserové diody a elektroluminiscenční panely. Základním prvkem LED diody a laserové diody je PN přechod, pomocí něhož je emitováno světelné záření v případě buzení pomocí elektrického proudu. V případě elektroluminiscenčních panelů je světelné záření buzeno pomocí elektrického pole v pevné látce, jako je luminofor. V poslední době, po vývoji bílé LED, dochází každým rokem k nárůstu energetické účinnosti, která je teoreticky vyšší jak u žárovek, zářivek i některých výbojek. [1, 10]



Obrázek 10. Vývoj měrného výkonu LED diod [1]

Regulace a řízení světelných diod

U daného typu osvětlení lze provádět stmívání v rozsahu 0% - 100%, kdy z důvodu strmosti voltampérové charakteristiky nelze využít pro stmívání změnu amplitudy napájecího napětí. Dioda až po určitou hodnotu napájecího napětí nesvítí, ale po překročení dané hodnoty je pro požadovanou změnu proudu, která ovlivňuje světelný tok, dostačující i velmi malá změna napětí. Danému principu nejlépe odpovídá pulzně šířková modulace (PWM), která je tak využívána pro stmívání LED diod. U PWM stanovují tzv. provozní úseky, ve kterých se pomocí šířky pulzu svítící diody určuje úroveň osvětlení. LED dioda je tedy neustále rozsvěcována a zhasínána. Metoda využívá setrvačnosti lidského oka, které nedokáže rozeznat zhasnutí světelného zdroje po dobu kratší jak 10 ms, což odpovídá frekvenci 100 Hz. K napájení LED diod využívajících PWM lze využít jak proudových, tak napětových zdrojů. Princip metody PWM je vyobrazen na obr. 11. [1]



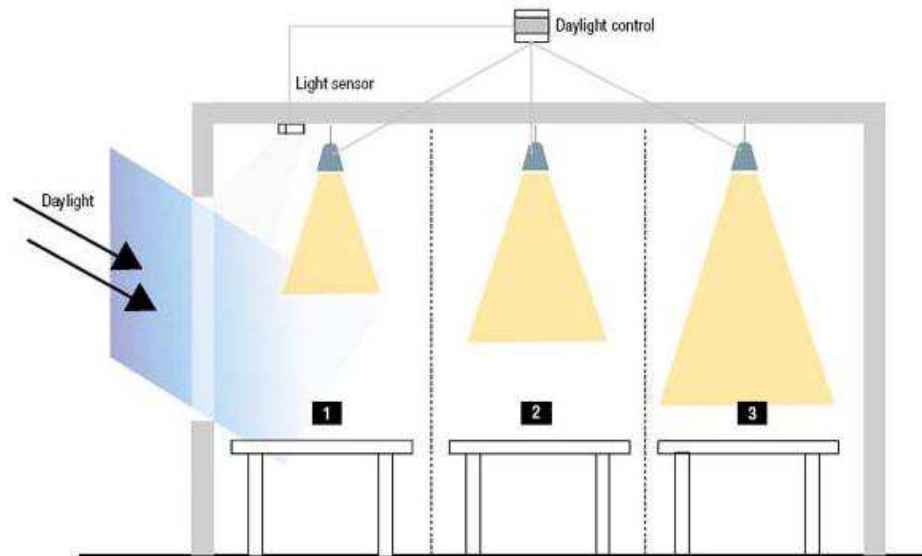
Obrázek 11. Metoda PWM [1]

4.3 Možnosti automatizovaného řízení a regulace osvětlení

Automatizované řízení osvětlení je realizováno pomocí senzorů, které představují zpětnou vazbu pro řídicí systémy, vyhodnocující aktuální osvětlení v místnostech. Jejich aplikací lze dosáhnout plně automatizovaného řídicího systému, který vyniká vysokým komfortem, úsporou energií, zajištěním hygienických standardů atd. Automatizované řízení lze poté rozdělit podle funkčních principů daných senzorů mimo jiné na:

- Řízení úrovně osvětlení na konstantní hodnotu
- Řízení podle přítomnosti osob
- Řízení podle polohy slunce nebo venkovního osvětlení
- Řízení podle vnitřního osvětlení
- Řízení podle kombinace předcházejících metod

Řízení úrovně osvětlení v místnosti na konstantní hodnotu je realizována v závislosti na denní úrovni osvětlení. Dané řízení zabezpečuje nedostatečné osvětlení a nedodržení hygienických norem, které stanovují úroveň osvětlení pro jednotlivé místnosti s ohledem na zdraví a pracovní výkonnost. Na druhé straně zabezpečuje spotřebu energie z hlediska nadměrného osvětlení v místnosti při dostatečném denním osvětlení. Princip metody řízení popisuje obr. 12.



Obrázek 12. Konstantní úroveň osvětlení [11]

Senzor přítomnosti zabezpečuje snížení osvětlení nebo úplné vypnutí v případě nepřítomnosti lidí v místnosti. Nejčastěji využívané u místností s krátkým pobytem osob. Hlavní výhodou dané regulace je opět snížení spotřeby energií.

Senzor detekující polohu slunce nebo venkovní osvětlení napomáhá řízení a regulace denního osvětlení pomocí automatizovaného stínění budovy. U žaluzií se jedná o náklon lamel, pomocí kterých se usměřňují sluneční paprsky. Díky tomu lze v místnosti nastavit požadované osvětlení, libovolné nebo stanovené hygienickými normami.

Interní senzory osvětlení jsou jedním z nejvyužívanějších typů senzorů. Jejich funkce spočívá v detekování osvětlení v místnosti a následné regulaci umělého osvětlení. Pro regulaci denního osvětlení nemají dostatečné informace o venkovních údajích.

5 SBĚRNICOVÉ SYSTÉMY

Řídicí systémy, které jsou využívány pro řízení a správu budov, využívají ke své funkci snímání aktuálních parametrů a stavů veličin, které jsou následně vyhodnoceny a porovnány s přednastavenými hodnotami, pomocí nichž je realizována automatizovaná regulační činnost nebo informována obsluha. Jednotlivé prvky systému spolu většinou komunikují pomocí sběrnice (BUS), kterou tvoří pár vodičů a ke které se paralelně připojují účastníci vyměňující si informace. Jednotlivé účastníky připojené ke sběrnici lze rozdělit do několika skupin:

- Akční členy (výkonové spínače, stmívače, binární a analogové výstupy)
- Senzory (tlačítkové spínače, senzory osvětlení, binární a analogové vstupy, infračervené přijímače, termostaty, senzory pohybu)
- Systémové přístroje a prvky (napáječe sběrnice, vazební členy sběrnice, sběrnicevé zesilovače, logické automaty a řadiče, rozhraní pro připojení počítačů). [12]

Výše zmíněné prvky sběrniceových systémů v rámci osvětlení vnitřních prostorů realizují funkce centrálního řízení osvětlení celého objektu nebo jeho částí, hospodárného provozu a úspory energie, regulace intenzity osvětlení v místnosti závislou na denním osvětlení, řízení osvětlení dle přítomnosti osob, ovládání stínících prvků, snadnou změnu programové části ovládacími prvky, řízení jednotlivých prvků napojením na PC atd.

Sběrniceové systémy lze realizovat pomocí třech odlišných způsobů řízení a komunikace jednotlivých účastníků na sběrnici:

- Centralizované systémy
- Decentralizované systémy
- Hybridní systémy [12]

Centralizované řízení se vyznačuje jedinou řídicí jednotkou, ke které jsou všechny vstupy a výstupy daného systému připojeny jednotlivě hvězdicovou topologií. Každý účastník může komunikovat pouze skrz danou řídicí jednotku. Vstupy daného systému jsou spínače, tlačítkové spínače, senzory atd., a výstupy tvoří zejména svítidla a spotřebiče. Centrální řídicí jednotku tvoří počítač připojený ke sběrnici, který v případě výpadku způsobí selhání celého systému. [12]

Decentralizovaný systém řízení neobsahuje jedinou řídicí jednotku, ale určité množství účastníků sběrnice komunikující spolu navzájem. Jednotlivé prvky sběrnice jsou řízeny

mikropočítačem, který zpracovává a vysílá data. V případě výpadku jednoho účastníka sběrnice nedochází k selhání systému. Nevýhodou může být problematictější sběr dat a řízení větších celků. [12]

Hybridní systém řízení poté spojuje výhody centralizovaného a decentralizovaného systému. Zde jsou vstupy propojeny pomocí sběrnice a výstupy jsou připojeny k řídicí jednotce. [12]

Sběrnicevé systémy lze realizovat jako sestavu jednotlivých komponentů od různých výrobců připojených na sběrnici (KNX, LonWorks, Dali atd.) nebo jako sestavu umožňující komunikaci pouze mezi komponenty od stejného výrobce (Nikobus, XComfort, INELS, Loxone atd.). [12]

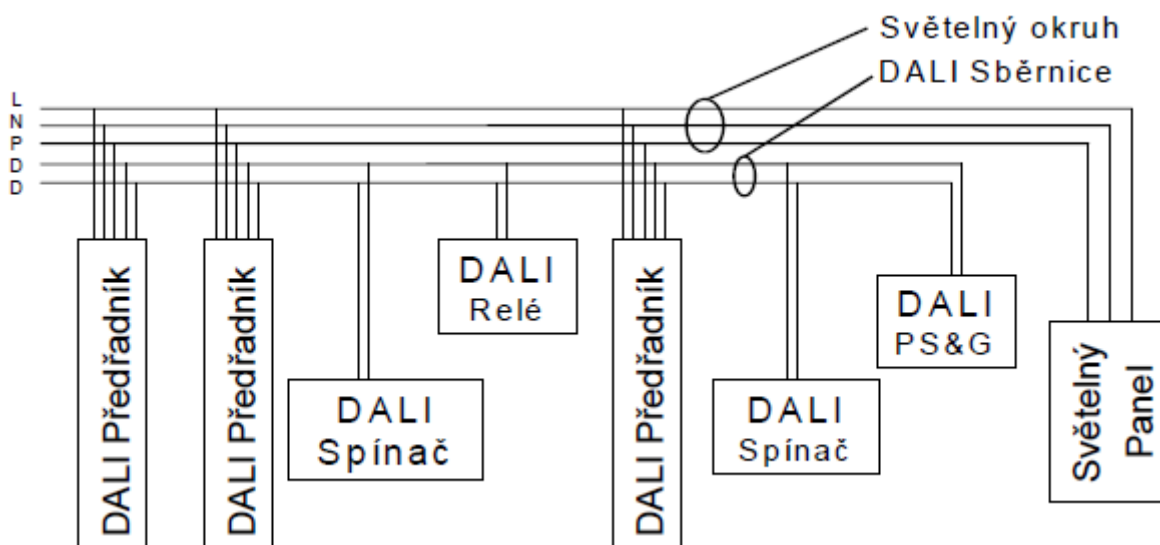
Světelné soustavy jsou v posledních letech řízeny zásadně pomocí digitálního řízení elektronických předřadníků. Pro digitální řízení existuje starší rozhraní DSI a novější rozhraní DALI. Jejich hlavními výhodami oproti staršímu analogovému řízení jsou odolnost vůči rušení a přepólování řídicího napětí. Novější druh rozhraní, DALI, přináší možnost zpětnovazebního hlášení v případě nefunkčního světelného zdroje a umožňuje ukládání světelných scén do paměti přístroje. Komunikace rozhraní probíhá opět pomocí sběrnicevého vedení, po kterém je vyslán digitální telegram. [12]

5.1 Rozhraní DALI

Protokol DALI (digitální adresovatelné světelné rozhraní) byl vytvořen v polovině devadesátých let mezinárodní elektrotechnickou komisí (IEC). Jedná se o technologickou nadstavbu staršího protokolu DSI, přinášející nové funkce. Dané rozhraní slouží jako mezinárodní norma zaručující možnost komunikace mezi řídicími stmívatelnými předřadníky od rozdílných firem. DALI umožňuje propojení pomocí sběrnice 64 individuálních jednotkám (adresám) v 16 skupinách s maximálně 16 světelnými scénami. Zároveň DALI sběrnice slouží jako napájení pro jednotlivé účastníky, kdy jejich celkový příkon nesmí překročit 250 mA. Maximální délka sběrnice je 300 m a maximální dovolený pokles napětí na sběrnici je 2 V. [12]

DALI sběrnice je tvořena dvojicí vodičů, ke které jsou připojeny všichni účastníci komunikace. Dovolená topologie je kombinace hvězdicové a větvené soustavy, kdy kruhová topologie je zakázána. Přenosová rychlost dat je 1200 b/s. Telegram je tvořen 19 bity, kdy

první bit je aktivační, následující byte slouží pro adresaci, další byte obsahuje příkazy a data a nakonec telegram obsahuje i dva stop bity. [12]

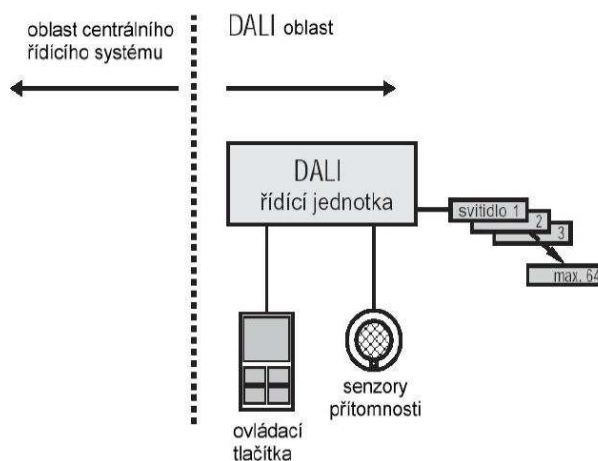


Obrázek 13. Příklad zapojení světelné soustavy pomocí DALI sběrnice [12]

DALI protokol lze implementovat do celkového systému zprávy budov buď jako samostatný systém řízení osvětlení, nebo jako samostatný podsystém nebo závislý podsystém.

5.1.1 Samostatný DALI systém

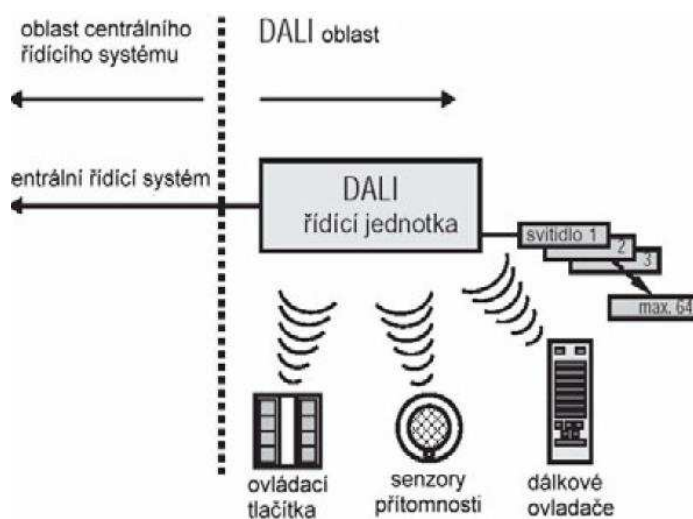
Základní a nejjednodušší řešení aplikace DALI systému, který tvoří datová sběrnice, její napájení, řídicí jednotka a předřadníky. Systém je realizován buď pomocí řídicí jednotky, na kterou se napojí jednotlivé prvky systému (přepínače, senzory pohybu nebo denního světla, dotykové obrazovky atd.), nebo spolu jednotlivé prvky systému komunikují přímo pomocí datové sběrnice. [12]



Obrázek 14. Schéma realizace samostatného DALI systému [12]

5.1.2 Samostatný DALI podsystém

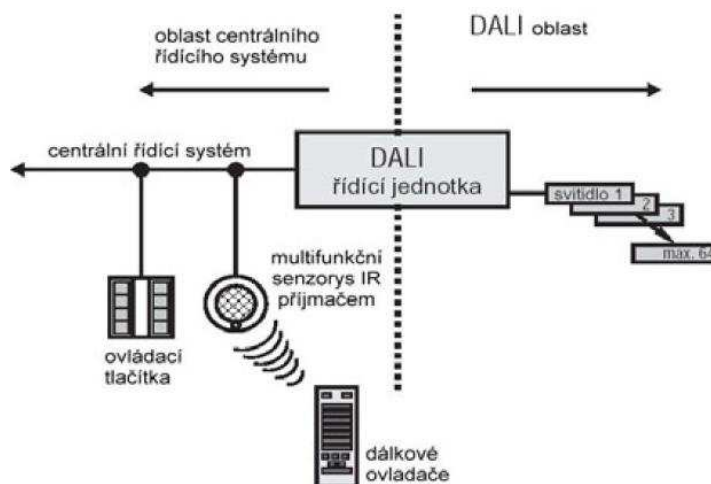
Typ systému, kdy je DALI zařazeno jako samostatný podsystém do systému zprávy budov. Jednotlivé prvky osvětlovacího systému DALI jsou připojeny k řídicí jednotce, která je napojena na centrální řídicí systém zprávy budov (EIB, LON atd.). Daný systém bude schopný provozu i při odpojení centrálního řídicího systému. Na centrální řídicí systém lze tímto způsobem napojit několik podsystémů, které jsou tímto systémem řízeny a monitorovány. [12]



Obrázek 15. Schéma realizace samotného podsystému DALI [12]

5.1.3 Závislý DALI podsystém

V dané realizaci systému má centrální řídicí systém veškeré funkce subsystému společně s adresací, konfigurací a řízením. Základním prvkem je brána (gateway), která slouží pro komunikaci mezi účastníky DALI sběrnice a centrálním systémem. Brána slouží jako překladač komunikačního protokolu mezi stranou centrálního řídicího systému a DALI protokolem. Příkladem daného systému je systém KNX. Pokud v daném systému dojde k poruše centrálního řídicího prvku, přestanou fungovat i všechny DALI podsystémy. [12]



Obrázek 16. Schéma realizace závislého podsystemu DALI [12]

5.2 Systém KNX

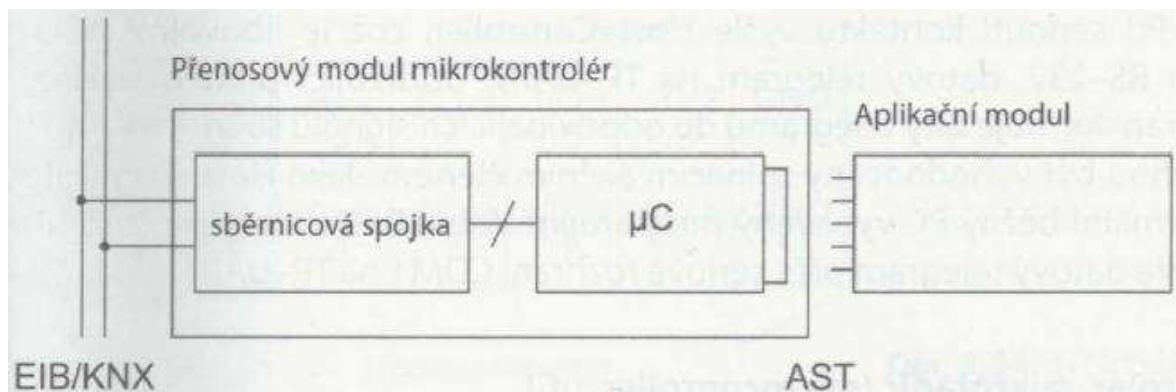
Evropská instalační sběrnice KNX je průmyslový komunikační systém používaný v technice budov pro síťové propojení jednotlivých zařízení. Výhodou je přizpůsobení KNX elektrotechnické instalaci, díky kterému jsou zajištěny funkce a automatizace procesů v budově. Komunikace jednotlivých účastníků sběrnice probíhá pomocí telegramů. Existují dva druhy telegramů a to datové telegramy a zpětná hlášení (potvrzovací telegramy). Komunikační sběrnici lze realizovat pomocí různých fyzikálně technických medií:

- Twisted pair (TP) – kroucený pár
- Power line (PL) – silové vedení
- Radio frequency (RF) – rádiový přenos
- Internet protocol (IP) – Ethernet
- Optická vlákna [14]

Nejčastější realizací sběrnice je pomocí krouceného páru. Přenosová rychlost této sběrnice je poté kolem 9615 b/s, kdy se vychází z času potřebného pro přenos 1 bitu (104 μ s). Kroucený pár je typicky v provedení YCYM 2 x 2 x 0,8. Daný typ vedení je poté realizován jedním párem vodičů zkrouceným a odstíněným pomocí kaširované hliníkové fólie, a uložen v zeleném opláštění z PVC materiálu. [14]

Všechny přístroje komunikující pomocí sběrnice musí být složeny ze dvou základních komponentů (sběrnice spojky a aplikačního modulu). Sběrnice spojka obsahuje přenosový modul a mikropočítač, integrovaný do jednoho obvodu (mikrokontrolér). Propojení mezi sběrnice spojku a aplikačním modulem je realizováno pomocí externího fyzic-

kého rozhraní (PEI). Sběrníková spojka a aplikační modul musí být vždy kompatibilní od stejného výrobce. [14]



Obrázek 17. Schéma zapojení sběrníkové spojky a aplikačního modulu [14]

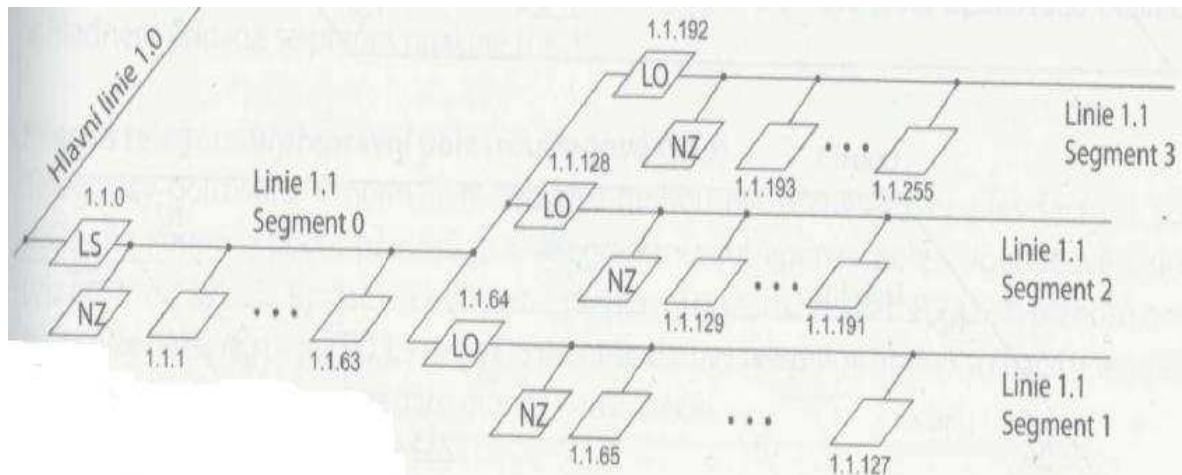
5.2.1 Topologie KNX

Základní jednotkou topologie KNX je liniový segment. K liniovému segmentu lze připojit až 64 účastníků, pro které musí být dostatečně dimenzovaný napájecí zdroj. Nadřazenou jednotkou liniového segmentu je poté linie, která může obsahovat až 4 liniové segmenty (256 účastníků). Pro propojení jednotlivých liniových segmentů v linii je nutno použít liniový opakovač. Nadřazenou jednotkou linie je poté oblast, ve které lze propojit až 15 linií s hlavní linií, po které probíhá komunikace. Pro dané propojení je nutné využít liniových spojek, přičemž v hlavní linii nesmí být využito liniového opakovače. Poslední jednotkou propojující až 15 oblastí pomocí oblastních spojek je páteřní linie, ve které nelze využít liniové opakovače. Každý liniový segment, linie, hlavní linie nebo páteřní linie musí mít svůj vlastní napájecí zdroj s tlumivkou z elektrických i komunikačních důvodů. [14]



Obrázek 18. Liniová spojka [15]

Liniová spojka může být využita v rámci systému jako liniový opakovač, liniová spojka nebo oblastní spojka. Její realizace je závislá na přiřazení speciální individuální adresy a volbě odpovídajícího aplikačního programu. Linie nebo liniové segmenty propojené pomocí liniové nebo oblastní spojky nebo liniového opakovače jsou elektricky soběstačné, přičemž je zachováno galvanické oddělení a jednotlivá propojení jsou pouze informační. [14]



Obrázek 19. Zapojení liniových segmentů s liniovými opakovači do jedné linie [14]

5.2.2 Adresování přístrojů KNX

Jednotliví účastníci komunikace systému KNX musí mít přiřazenou jednoznačnou individuální adresu podle jejich topologického umístění na sběrnici. Individuální adresu lze využít ke zprovoznění instalace, diagnostice, hledání chyb v systému, změně instalace nebo k adresování objektů rozhraní (pomocí softwaru ETS). Individuální adresa tedy jednoznačně identifikuje účastníka sběrnice a současně dává adresu místa topologické polohy v systému (např. 15.15.255). Definování individuálních adres jednotlivým účastníkům probíhá pomocí softwaru ETS, kdy se dlouhodobě uloží v paměti EEPROM. [14]

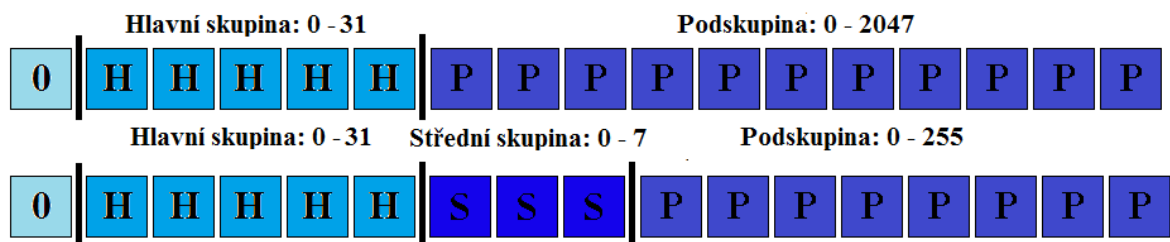


Obrázek 20. Obsah individuální adresy

Při oživování konfigurace KNX jsou využívány individuální adresy, které jsou pomocí ETS definovány jednotlivým účastníkům pro stanovení jejich umístění na sběrnici. Při normálním provozu se využívají skupinové adresy, které slouží k logickému propojení

funkcí přístrojů. Skupinovou adresou lze adresovat více přístrojů najednou, kdy je vyhrazena adresa pro broadcast (0/0/0). Skupinové adresy lze dělit na dvouúrovňové (s hlavní skupinou a podskupinou) a tříúrovňové (s hlavní a střední skupinou a podskupinou). Skupinová adresa má vyhrazené pole o velikosti 16 bitů, avšak vyžívá pouze 15 bitů. [14]

Dvouúrovňová adresace rezervuje první 4 bity hlavní skupině (0 - 15) a dalších 11 bitů podskupině (0 - 2047). Tříúrovňová adresace má hlavní skupinu stejně jako dvouúrovňová o velikosti 4 bity (0 - 15), střední skupina má poté vyhrazené pole o velikosti 3 bitů (0 - 7) a podskupina 8 bitů (0 - 255). [14]



Obrázek 21. Obsah dvouúrovňové a tříúrovňové skupinové adresy

5.2.3 Software ETS

Parametrizování přístrojů na sběrnici KNX je realizováno pomocí softwaru ETS. Jedná se o programové rozhraní sloužící k projektování a oživení inteligentní instalace. V dnešní době už je verze ETS 5. Důležitou součástí ETS je databáze, pomocí níž jsou tvořeny jednotlivé projekty. Součástí databáze jsou i data o produktech výrobců jednotlivých výrobků a poté i projektová data od uživatele. Jednotlivé data o produktech (plug-in) jsou poskytnuty dodavatelem přístroje, s jejíž pomocí je poté provedena konfigurace přístroje. Existují jak plné (placené), tak zkušební verze s omezeným počtem přístrojů na sběrnici. [14]



Obrázek 22. Logo ETS 5 [16]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 IDENTIFIKACE PARAMETRŮ LABORATOŘE

Laboratoř, ve které je realizován návrh řízení osvětlení, definovaná jako D308, se nachází na Fakultě aplikované informatiky FAI UTB ve Zlíně, jejíž poloha je na vyvýšeném terénu ve třetím patře jižní strany budovy. Návrh osvětlení závisí na dostatečné identifikaci návrhových podmínek pro danou konkrétní místnost.

6.1 Geografické parametry

Budova je umístěna dle souřadnicového systému na $49^{\circ}13'50''$ severní šířky a $17^{\circ}39'27''$ východní délky. Dalším důležitým vstupním parametrem pro návrh osvětlení v laboratoři je orientace normály roviny okna vůči severu neboli azimut roviny. Azimut vertikální roviny, v rozsahu 0° až 360° , kdy sever je 0° , byl stanovený pomocí mapy, u které je nutné zohlednit meridiánovou konvergenci C [$^{\circ}$], pomocí které se pootočí kartografický sever ve směru hodinových ručiček:

$$C = \frac{24^{\circ}50' - \lambda}{1,34} = 5^{\circ}21'18'' \quad (6.1)$$

Kde: λ východní délka objektu [$^{\circ}$].

Výsledný azimut byl poté stanoven, při orientaci stěny s okny na jižní stranu (tedy 180° bez uvažované meridiánové konvergence), na hodnotě $A_V \cong 174^{\circ}40'$.

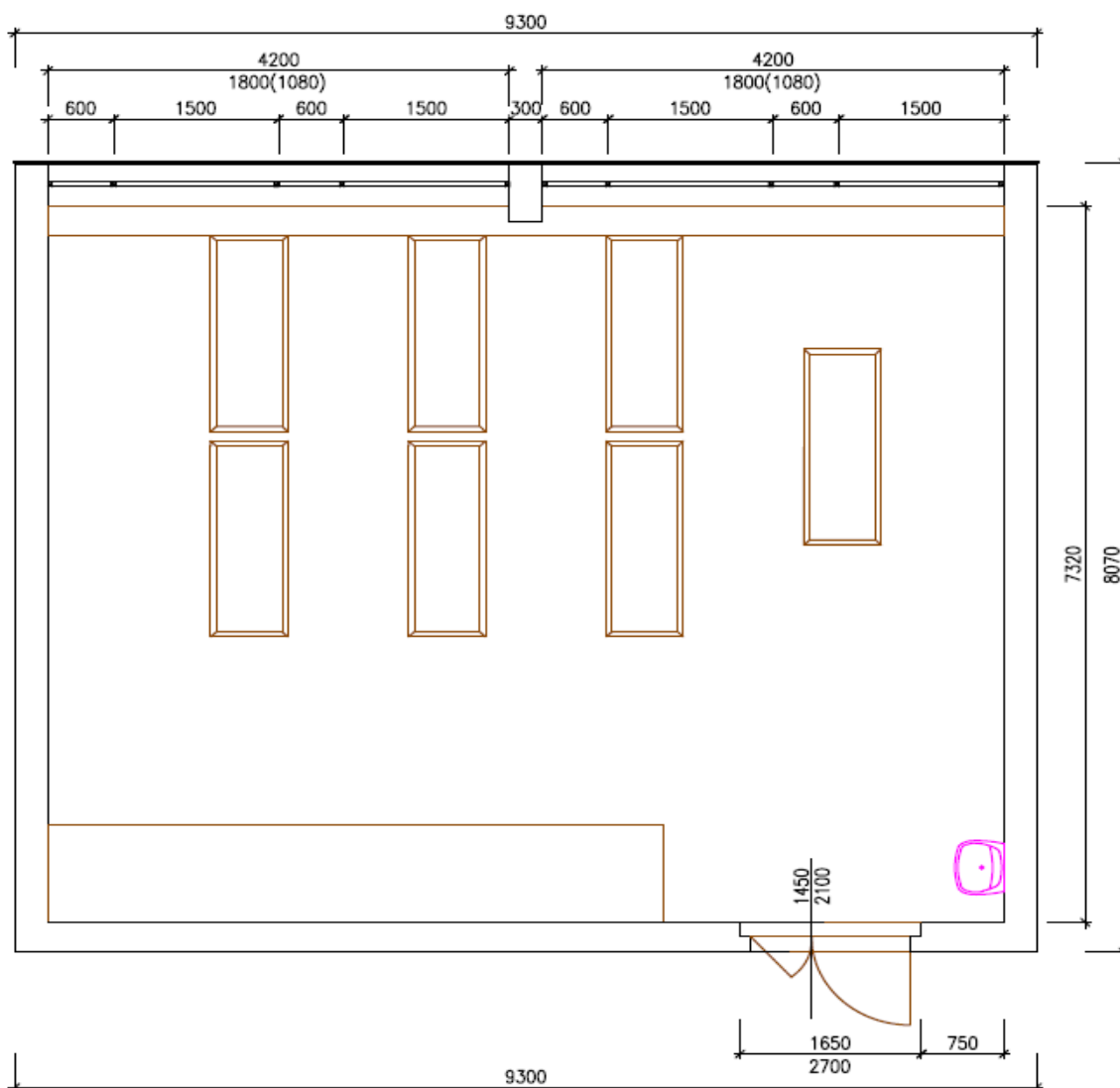


Obrázek 23. Umístění laboratoře na FAI UTB a zvirazněná okna místnosti D308

Dle obrázku 23 se před laboratoří D308 se nachází stromy, které mohou stínit slunečním paprskům během dne a tak ovlivňovat měření a výpočty osvětlení.

6.2 Rozměrové parametry

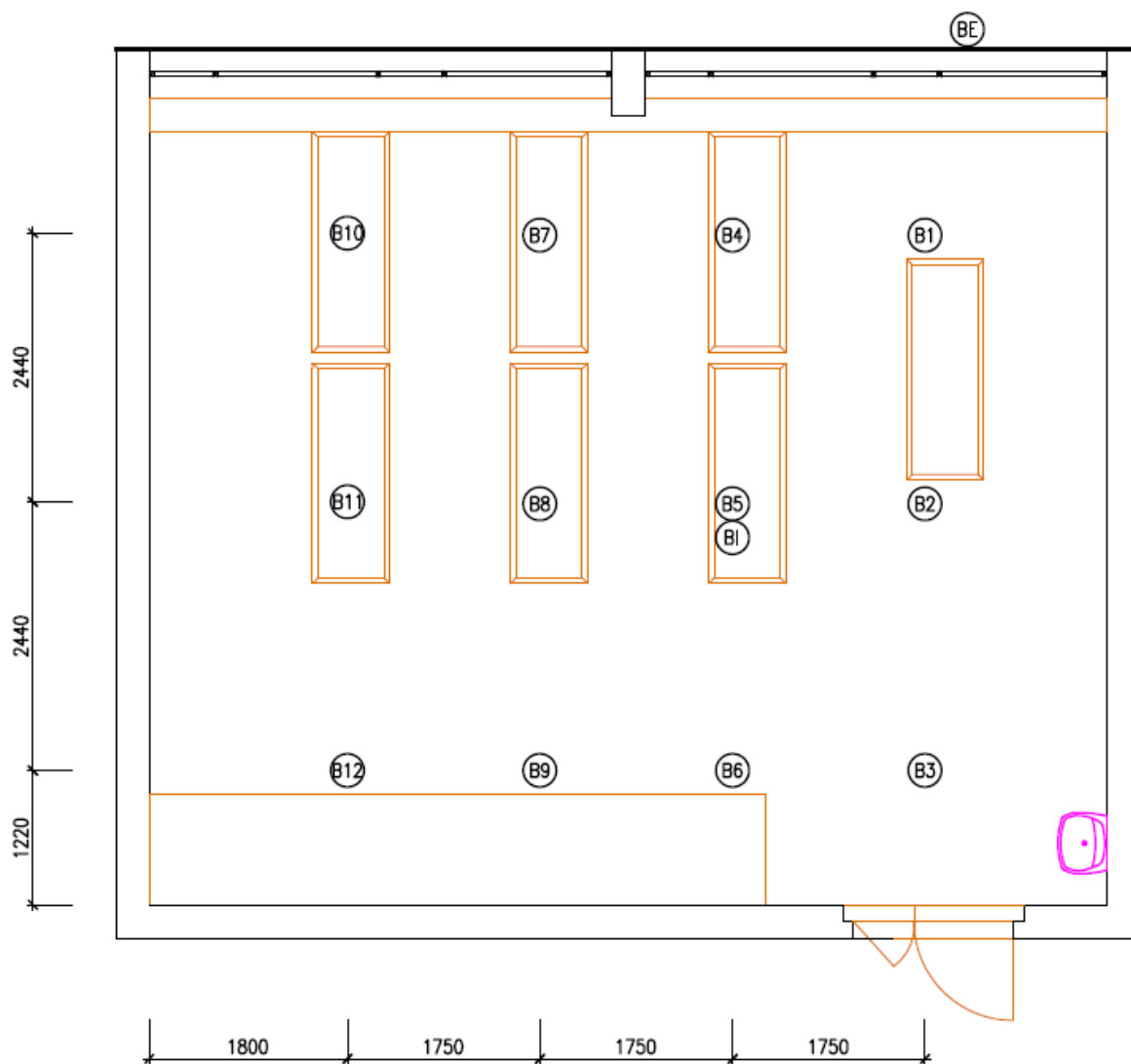
V laboratoři se nachází sedm pracovních stolů definujících pracovní oblast ve výšce 0,8 m nad podlahou. Dále laboratoř obsahuje dvanáct světelných zdrojů, které zároveň definují měřicí a výpočetní body. Stěna po celé délce osazená členěnými okny, mezi kterými jsou ukotveny tunely s vnitřními manuálními roletami, je orientovaná na jih, tedy lze očekávat velké tepelné zisky v letním období. Z venkovní strany oken jsou poté umístěny dvoje žaluzie, s elektrickými pohony, sloužící jako stínící prvky místnosti. Podél zdi na severní straně místnosti je umístěna dřevěná skříň tmavě hnědé barvy.



Obrázek 24. Půdorysné zobrazení laboratoře D308

6.3 Stanovení měřících a výpočetních bodů

Pro identifikaci osvětlení v místnosti bylo rovnoměrně definováno 12 měřících a výpočetních bodů, které definují pracovní plochy a pobyt lidí. Dané body byly umístěny dle normy ve výšce 0,8 m nad podlahou, kde se následně měřila intenzita denního a umělého osvětlení.



Obrázek 25. Rozložení měřících a výpočetových bodů v místnosti D308

Obrázek 25 vyobrazuje dvanáct výpočetových a měřících bodů (B1 až B12) dané laboratoře, pomocí nichž je analyzováno osvětlení vnitřní místnosti. Měřící bod B5 taktéž označuje místo uložení interního senzoru osvětlení (BI). Poslední měřící bod se nacházel na externí straně oken (BE), kde se měřila venkovní intenzita osvětlení na parapetu.

6.4 Definice a klasifikace místnosti a činnosti

Každý návrh osvětlení v místnostech podléhá určitým hygienickým a normativním požadavkům, které určují parametry osvětlení v jednotlivých místnostech dle jejich účelů. Laboratoř bude sloužit pro výzkum světla, dynamiky světla a teploty chromatičnosti. V současné době zde může probíhat i výuka, od které se bude odvíjet samotná kategorizace.

Hygienické požadavky na osvětlení místnosti jsou určeny normou ČSN EN 12 464. Podle této normy lze danou laboratoř zařadit do skupiny pro praktickou výuku a laboratoře, ale také do skupiny pro večerní studium a vzdělávání dospělých, které podléhají přísnějším kritériím. Místnost byla nakonec zařazena díky přísnějším kritériím do skupiny s večerním studiem a vzděláváním dospělých.

Jednotlivé hygienické parametry stanovené danou normou jsou obsaženy v tabulce 10. Norma tedy určuje hodnoty udržované osvětlenosti \bar{E}_m , zkoumané na srovnávací rovině, hodnotu limity maximálního mezního indexu oslnění UGR_L , minimální rovnoměrnost osvětlení U_0 a minimální index podání barev R_a . Podle této normy lze definovat i požadovanou hodnotu osvětlenosti bezprostředního okolí úkolu.

Tabulka 10. Požadavky na osvětlení místnosti dle normy ČSN EN 12 464 [2]

Druh prostoru, úkolu nebo činnosti	E_m [lx]	Bezprostřední okolí úkolu [lx]	UGR_L [-]	U_0 [-]	R_a [-]	Specifické požadavky
Místnosti pro praktickou výuku a laboratoře	500	300	19	0,6	80	
Učebny pro večerní studium a vzdělávání dospělých	500	300	19	0,6	80	Osvětlení má být regulovatelné

Denní osvětlení je poté charakterizováno pomocí normy 73 0580-1, kde jsou definovány jednotlivé třídy zrakové činnosti podle činností v posuzovaných místnostech. Danou laboratoř lze zařadit do třídy zrakové činnosti IV, středně přesnou.

Tabulka 11. Požadované hodnoty denní osvětlenosti místnosti dle ČSN 73 0580 [3]

Třída zrakové činnosti	Charakteristika zrakové činnosti	Poměrná pozorovací vzdálenost	Rovnoměrnost bočního osvětlení	Hodnota činitele denní osvětlenosti [%]	
				Minimální D_{min}	Průměrná D_m
IV	středně přesná	500 až 1000	0,2	1,5	5

6.5 Technický souhrn požadavků na laboratoř

Základním požadavkem na laboratoř je možnost řízení intenzity umělého osvětlení spolu s možností změny barvy světla. Měření intenzity osvětlení bude poté realizováno jak na externí, tak interní straně místnosti. Důležitým požadavkem je zajištění co největší rovnoměrnosti osvětlení místnosti spolu s požadovanou hodnotou intenzity osvětlení. Toto bude realizováno pomocí pravidelně rozmístěných dvanácti světel s možností řízení barvy světla a regulací intenzity osvětlení (stmívání). Řízení osvětlení a barvy světla bude realizováno pomocí DALI předřadníků připojených KNX/DALI bránou k systému KNX. Osm světel je navrženo přímo nad pracovními stoly místnosti ve dvou řadách, zbylé čtyři světla tvoří poslední třetí řadu osvětlení v blízkosti dveří.

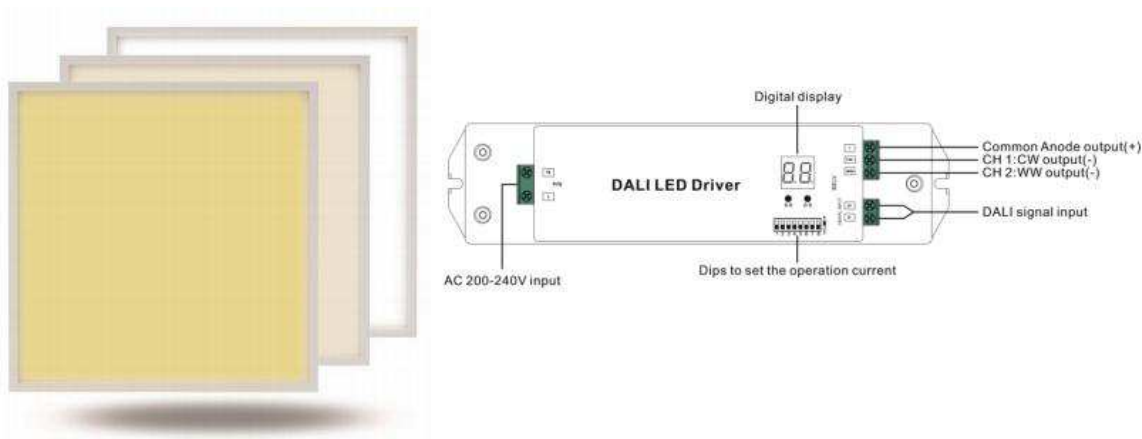
Další požadavek je kladen na zamezení oslnění denním osvětlením uživatele laboratoře. Denní složka osvětlení, spolu s oslněním místnosti, bude řízena pomocí stínění (žaluzií) umístěného na vnější straně okenních výplní. Žaluzie budou ovládány pomocí pohonů, které řídí žaluziové aktory připojené po sběrnici KNX.

Celá laboratoř bude řízena pomocí vizualizace realizované účastníkem KNX sběrnice, homeLynkem. KNX a DALI instalace tedy obsahuje:

- KNX napájecí zdroj
- KNX žaluziový akční člen
- KNX externí snímač osvětlení a teploty
- KNX detektor přítomnosti s řízením osvětlení
- KNX USB interface
- KNX/Modbus/BACnet/IP homeLynk kontrolér
- Napájecí zdroj pro homeLynk
- KNX/DALI brána

Světla

Pro realizaci osvětlení v laboratoři D308 byly vybrány světelné zdroje typu LED, u kterých lze regulovat intenzitu osvětlení a zároveň měnit teplotu chromatičnosti. Daný typ osvětlení vyznačující se vysokou životností je společně s předřadníkem vyobrazen na obrázku 27, parametry jsou poté popsány v tabulce 12.



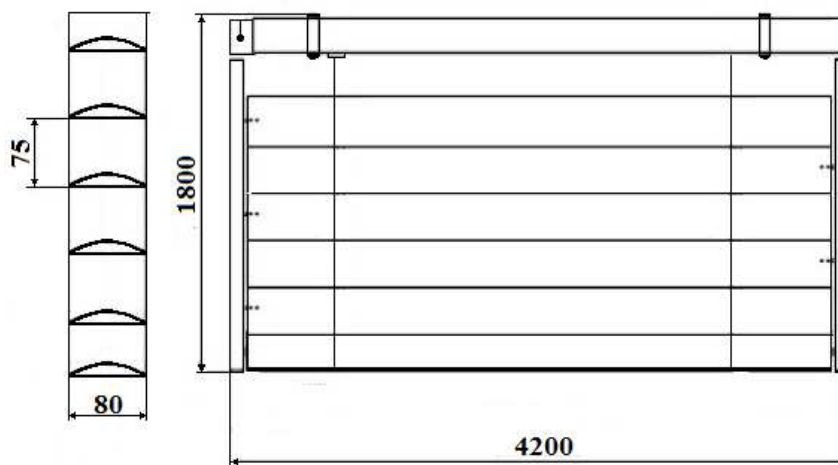
Obrázek 27. Světelné zdroje typu LED s předřadníkem

Tabulka 12. Parametry světelných zdrojů a jejich předřadníků

Světelný zdroj		Předřadník	
Typ	LED	Typ	DALI (DT8)
Příkon	36 W	Příkon	50 W
Světelný tok	3500 lm	Frekvence	50/60 Hz
Barva světla	2800 K až 6500 K	Vstupní proud	0,27 A
Rozsah stmívání	5 % až 100 %	Vstupní napětí	200 až 240 V AC
Světelný úhel	110 °	Pracovní teplota	-20 °C až 45 °C
Index podání barev	< 80	Pracovní vlhkost	10 % až 95 %
Životnost	50 000 h	Stupeň krytí IP	20
Rozměry	600 x 600 x 11 mm	Rozměry	210 x 50 x 32 mm

Žaluzie

Dvojice horizontálních externích žaluzií, jejichž lamely tvoří písmeno C, jsou ovládané dvojicí pohonů J406WT Somfy. Dané stínění o rozměrech 4200 x 1800 mm, šířce lamel 80 mm a vzdálenosti jednotlivých lamel 75 mm, lze ovládat jak pomocí pozice ve vertikálním směru, tak pomocí rotace lamel v úhlu 0° až 75°.



Obrázek 28. Vzhled a parametry žaluzií

Jednotlivé žaluzie dále obsahují jak dolní, tak horní koncový spínač, který v případě sepnutí vypne pohon žaluzií.

Tabulka 13. Technické parametry
pohonů

Napájecí napětí	230 V / 50 Hz
Jmenovitý příkon	95 W
Krouticí moment	6 Nm
Rychlost otáčení	24 ot./min.
Max. doba chodu	6 minut
Třída ochrany	I
Krytí	IP 54
Délka	306 mm

7 DENNÍ A ROČNÍ PRŮBĚH SLUNEČNÍCH PARAMETRŮ

Pro návrh řízení osvětlení v místnosti je důležitým faktorem analýza denní složky osvětlení. Denní složka je dána určitými slunečními parametry. Zejména se jedná o intenzitu slunečního osvětlení, a polohu slunce. Intenzita slunečního osvětlení, oproti poloze slunce, svou hodnotou do určité míry definuje i stav oblohy, počasí a znečištění ovzduší v dané lokalitě, které jsou často proměnlivé. Poloha slunce je stanovena slunečním azimutem a výškou slunce nad obzorem, které lze oproti intenzitě slunečního osvětlení jednoduše vypočítat a tak i definovat s určitou přesností na jednotlivé dny i hodiny v roce.

7.1 Poloha slunce

Výpočet slunečního azimutu A ($^{\circ}$) a výšky slunce nad obzorem h ($^{\circ}$) je realizovaný dle normy ČSN 73 0581:

$$\cos A = \frac{\tan \varphi}{\cos h} \cdot \left(\sin h - \frac{\sin \delta}{\sin \varphi} \right) \quad (7.1)$$

Kde: φ zeměpisná šířka [$^{\circ}$],

δ sluneční deklinace [$^{\circ}$].

$$\sin h = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau \quad (7.2)$$

Kde: τ hodinový úhel [$^{\circ}$].

Hodnota sluneční deklinace δ , definovanou jako úhel svírající spojnicí středů slunce a země a rovinu zemského rovníku, lze vypočítat jako:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin(0,98 \cdot D + 29,7 \cdot M - 109) \quad (7.3)$$

Kde: D číslo dne v měsíci [-],

M číslo měsíce v roce [-].

Hodinový úhel τ je určený úhlovou vzdáleností deklinační kružnice slunce a meridiánu:

$$\tau = 15 \cdot (PSČ - 12) \quad (7.4)$$

Kde: $PSČ$ pravý sluneční čas [h].

$$PSČ = 0,125 \cdot \sin(32 - t) + 0,165 \cdot \sin(38 - 2t) + SEČ + \frac{\lambda - 15}{15} \quad (7.5)$$

Kde: $SEČ$ středoevropský čas [h],

λ zeměpisná délka [°].

t parametr t , definovaný jako:

$$t = 0,98 \cdot D + 29,7 \cdot M \quad (7.6)$$

Tabulka 14. Hodnoty výšky slunce v jednotlivých hodinách a měsících

Měsíc	Výška slunce na obloze [°] v jednotlivých hodinách									
	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
1	4,93	11,85	17,04	20,07	20,62	18,64	14,33	8,09	0,39	0
2	11,69	19,21	25,02	28,53	29,32	27,27	22,66	16,02	7,91	0
3	19,74	28,14	35,00	39,54	41,04	39,21	34,39	27,34	18,82	9,45
4	27,56	36,67	44,57	50,27	52,61	50,94	45,74	38,14	29,18	19,57
5	34,21	43,65	52,12	58,47	61,09	58,94	52,88	44,57	35,19	25,43
6	38,37	47,82	56,24	62,33	64,16	60,88	53,93	45,10	35,50	25,72
7	38,16	47,32	55,11	60,16	60,87	56,94	49,78	40,92	31,32	21,54
8	32,33	40,95	47,90	52,08	52,43	48,87	42,31	33,92	24,55	14,80
9	22,12	30,21	36,57	40,41	41,07	38,41	32,94	25,44	16,64	7,14
10	11,29	18,91	24,85	28,54	29,51	27,64	23,18	16,64	8,60	0
11	3,71	10,88	16,40	19,83	20,80	19,23	15,28	9,33	1,84	0
12	1,42	8,27	13,44	16,55	17,29	15,59	11,62	5,74	0	0

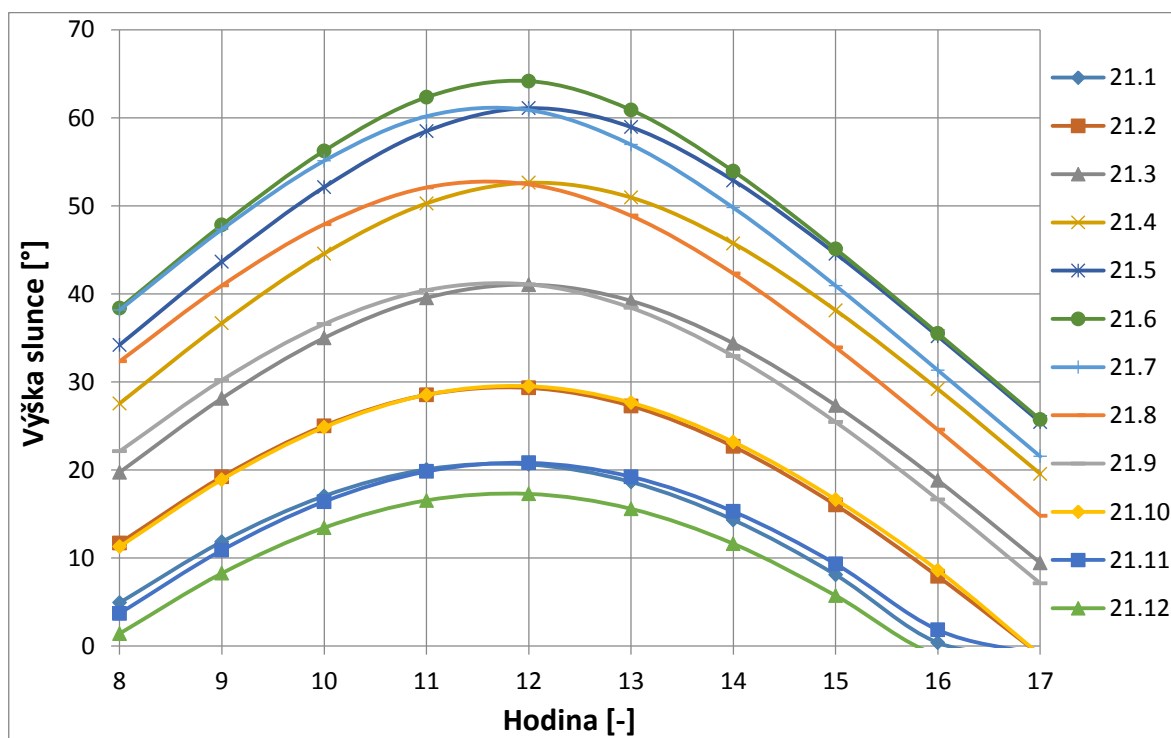
Tabulka 15. Hodnoty slunečního azimutu v průběhu roku a dne

Měsíc	Azimut slunce [°] v jednotlivých hodinách									
	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
1	51,19	38,78	25,25	10,74	4,28	19,09	33,09	45,97	57,81	68,89
2	56,73	43,61	29,01	13,01	3,78	20,33	35,75	49,67	62,22	73,82
3	65,91	52,28	36,59	18,59	1,02	20,53	38,31	53,76	67,21	79,31
4	75,51	61,89	45,52	25,44	2,08	21,60	42,34	59,30	73,31	85,51
5	81,65	68,20	51,36	29,15	1,47	26,56	49,38	66,68	80,39	92,15
6	81,90	68,14	50,33	25,93	4,66	33,91	56,15	72,51	85,49	96,76
7	76,58	61,99	43,18	18,48	10,26	36,61	57,03	72,64	85,39	96,69
8	69,10	54,25	36,09	14,11	9,96	32,51	51,35	66,69	79,67	91,33
9	62,73	48,62	32,32	13,75	6,07	25,31	42,54	57,45	70,49	82,36
10	57,64	44,59	30,07	14,12	2,69	19,32	34,85	48,89	61,53	73,18
11	53,22	40,97	27,62	13,23	1,77	16,69	30,86	43,95	55,95	67,14
12	50,35	38,37	25,39	11,51	2,85	17,09	30,65	43,23	54,85	65,73

Azimut slunce je stanoven úhlem mezi kolmým průmětem sluncem do roviny horizontu a jižním směrem. Díky hodnotě azimutu slunce lze definovat, kdy sluneční paprsky dopadají na plochu konstrukce a kdy se naopak slunce nachází na druhé straně budovy. Nejnižší hodnotu azimutu slunce lze pozorovat v poledních hodinách, kdy se slunce nachází nejbližší k jižnímu geografickému směru. Poté ve směrech od jihu k východu a od jihu k západu jeho hodnota narůstá.

Hodnoty respektive zobrazení výšky slunce nad obzorem pro zadanou místnost lze porovnat pomocí tabulky 14 respektive grafu 1. Všechny výpočty jsou vztaženy k 21. dni jednotlivých měsíců. Při porovnání jednotlivých hodnot můžeme sledovat, že slunce je v nejvyšším bodě 21.6 a v nejnižším bodě 21.12. Výsledné hodnoty také ukazují, že v určitých měsících v roce je průběh výšky slunce nad obzorem velice obdobný.

Hodnoty vypočítaných slunečních azimutů pro danou místnost jsou poté obsaženy v tabulce 15.



Graf 1. Výška slunce nad obzorem během dne a roku

7.2 Solární radiace

Hodnota solární radiace definuje množství energie od slunečního záření dopadající na jednotku plochy. Daná hodnota v sobě zahrnuje jak složku přímého záření, tak difuzního

a zároveň je závislá na orientaci ozářené plochy vůči světovým stranám. Přímé záření I_D (W/m^2) je definováno svazkem paprsků od slunce dopadajících na povrch země. Lze jej tedy měřit pouze za stavu jasné oblohy. Velikost daného typu záření je závislá mimo jiné na nadmořské výšce, znečištění atmosféry, výšce slunce nad obzorem a solární konstantě. V případě difuzního záření I_d (W/m^2) jde o část záření rozptýlené v atmosféře o částičky molekul.

Výpočtem celkové hodnoty I (W/m^2) solární radiace v jednotlivých dnech a hodinách v roce se zabývá norma ČSN 73 0548:

$$I = I_D \cdot \cos \gamma + I_d \quad (7.7)$$

Kde: γ úhel dopadu [$^\circ$].

$$I_D = 1350 \cdot e^{-0,097 \cdot z \cdot (\sin h)^{-0,8}} \quad (7.8)$$

Kde: z znečištění atmosféry [-].

$$I_d = \left[1350 - I_D - (1080 - 1,4 \cdot I_D) \sin^2 \frac{\alpha}{2} \right] \cdot \frac{\sin h}{3} \quad (7.9)$$

Kde: α úhel plochy s vodorovnou rovinou na odvrácené straně od slunce [$^\circ$].

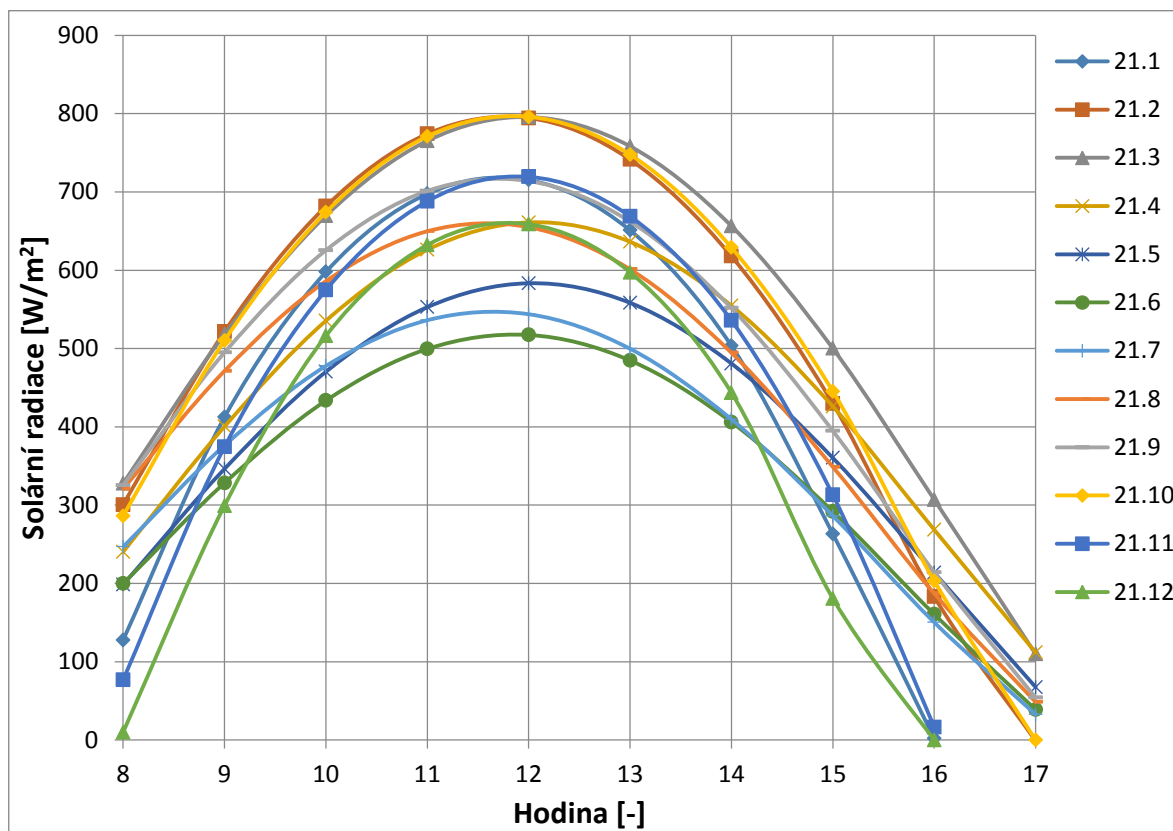
$$\cos \gamma = \sin h \cdot \cos \alpha + \cos h \cdot \sin \alpha \cdot \cos(A - A_s) \quad (7.10)$$

Kde: A_s azimut normály osluněné stěny [$^\circ$].

Tabulka 16. Hodnoty solární radiace během dne a roku

Měsíc	Hodnota celkové solární radiace [W/m^2] v jednotlivých hodinách									
	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
1	127,65	412,29	597,79	697,53	715,16	650,95	503,40	263,16	1,84	0
2	300,54	521,66	681,59	774,08	794,36	741,31	617,81	429,71	183,00	0
3	327,67	518,14	669,57	765,17	795,67	758,28	656,44	500,09	306,98	109,78
4	240,40	400,34	535,47	626,13	661,09	636,32	554,66	426,05	268,52	111,84
5	198,41	346,30	470,35	552,81	583,36	558,38	480,82	360,30	213,77	67,55
6	199,71	328,28	433,49	499,47	517,33	484,76	405,99	291,92	160,62	38,82
7	246,71	376,26	477,72	536,16	543,82	499,71	409,60	286,25	150,31	32,72
8	320,87	471,34	586,03	649,77	655,01	601,16	494,51	348,82	187,18	48,58
9	325,47	494,94	625,52	701,21	713,88	662,21	551,62	394,82	214,28	54,14
10	286,17	510,26	674,01	770,93	795,98	747,73	628,88	445,29	203,28	0
11	76,79	374,32	574,63	688,02	719,25	668,81	535,74	312,98	16,49	0
12	9,90	299,32	516,18	632,26	658,74	597,33	443,58	180,74	0	0

Tabulka 16 obsahuje vypočítané hodnoty solární radiace pro jižní orientaci prosklené plochy (dle zadané místnosti). Všechny hodnoty odpovídají 21. dni v daném měsíci a jsou vypočítány dle doporučených hodnot znečištění atmosféry v ČSN 73 0548.



Graf 2. Hodnoty solární radiace během dne a roku

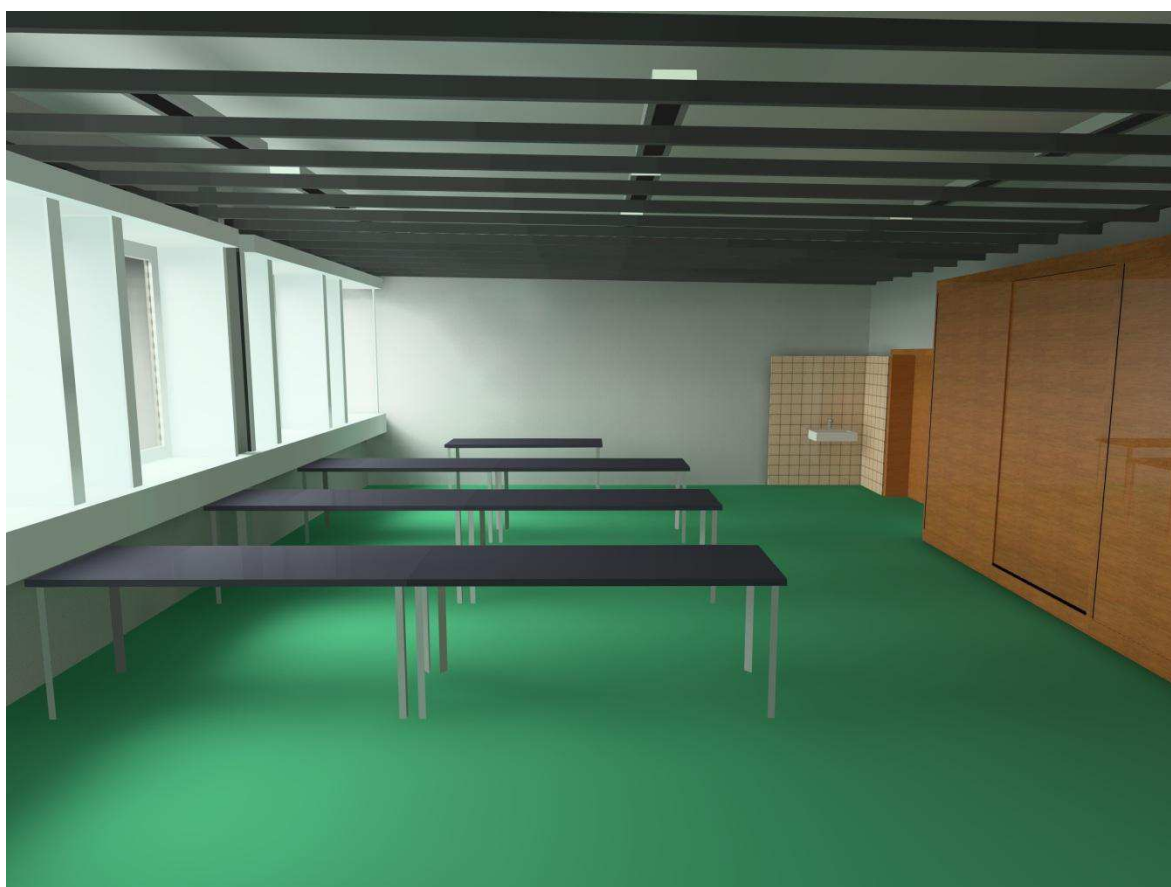
Pomocí grafu 2 lze pozorovat průběh solární radiace v roce. Největší hodnoty radiace zaznamenáváme v únoru, březnu a říjnu, naproti tomu nejmenší hodnoty pozorujeme mimo jiné v červnu, ve kterém jsou sice jednotlivé složky záření na maximální hodnotě díky nejvyšší poloze slunce nad obzorem, ale zároveň je nízká hodnota úhlu dopadu vůči prosklené stěně v definované místnosti.

Díky intenzitě solární radiace lze pozorovat další možnost definování vnějších světelných vlivů. Nevýhoda dané veličiny je opět v absenci různých stavů oblohy, stejně jako u výšky slunce nad obzorem. Dalším problémem by byla složitost přepočtu W/m^2 na luxy, ve kterých je venkovní osvětlenost měřena. V daném převodu záleží mimo jiné na vlnové délce a barvě světla. Existují ovšem tzv. přibližné konverze.

8 ANALÝZA OSVĚTLENÍ LABORATOŘE

Další částí návrhu řízení osvětlení v laboratoři je analýza současného stavu. Jelikož v této době v laboratoři D308 není ještě realizováno nové umělé osvětlení řízené systémem KNX a DALI, byla analýza provedena pomocí současných světelných zdrojů v místnosti. Jak z hygienického hlediska, tak z hlediska snižování nákladů na energie, je nejvhodnějším způsobem realizace osvětlení v co největší míře denní složkou. Zároveň musí být zajištěno požadované stínění oslnění uživatelů laboratoře a dostatečná úroveň intenzity osvětlení pro splnění normativních požadavků. Laboratoř obsahuje jak vnější, elektronicky řízené, tak vnitřní mechanické manuální, žaluzie. Jelikož je cílem této práce automatizované řízení osvětlení, bude se tato kapitola zabývat pouze žaluziemi elektronickými.

V rámci analýzy osvětlení byly v místnosti provedeny měření jak denního osvětlení, tak osvětlení umělého v definovaných měřících bodech, které jsou vzhledem k pracovní ploše ve výšce 0,8 m nad podlahou. Následně byl vytvořen model místnosti (viz obrázek 29) v programu DIALux evo 7, pomocí něhož byly provedeny simulace osvětlení pro jednotlivé světelné podmínky.



Obrázek 29. Modelová místnost v programu DIALux

8.1 Měřicí přístroje

Intenzita osvětlení byla v místnosti měřena univerzálními měřicími přístroji od firmy AHLBORN ALMEMO 2390-8 a ALMEMO 2690. ALMEMO 2390-8 měřilo pomocí sondy FLA623VL horizontální intenzitu osvětlení na vodorovné ploše (v tomto případě na parapetu) s rozsahem 0 lx – 20 000 lx a 0 lx – 170 000 lx. ALMEMO 2690 poté pomocí sondy FLA603VL2 měřilo intenzitu osvětlení v kontrolních bodech místnosti s rozsahem 0,5 lx – 12 500 lx.

Tabulka 17. Parametry sond FLA623VL a FLA603VL2 (vpravo)

Počet kanálů	2	Počet kanálů	3
Rozsah kanálů	0 až 20 000 lx	Rozsah kanálů	0,05 až 12 500 lx
	0 až 170 000 lx	Přesnost	5%
Přesnost	5%	Citlivost	20pA/lx
Spektrální citlivost	380 až 720 nm	Rozměry	37 x 20 mm
Rozměry	33 x 29 mm		

8.2 Denní osvětlení

Pro analýzu osvětlení denní složky bylo nutné změřit vnitřní osvětlenost v návrhových bodech a zároveň měřit hodnotu intenzity venkovní osvětlenosti, pomocí kterých jsou vypočteny hodnoty činitele denní osvětlenosti dle vzorce 1.1 definovaného v první kapitole, a také hodnota rovnoměrnosti denního osvětlení podle vzorce 1.2.

Měření byla provedena při rovnoměrně zatažené obloze, dle normy ČSN 36 0011, ale také při jasné obloze s vlivem žaluzií.

8.2.1 Denní osvětlení při zatažené obloze

Měření probíhalo 12. 4. 2017 od 11:17 do 11:30 při zatažené obloze. Tabulka 18 obsahuje naměřené a vypočítané hodnoty osvětlení pro zataženou oblohu. Jedná se o hodnoty naměřené venkovní a vnitřní intenzity osvětlení a z nich vypočítané hodnoty činitelů denní osvětlenosti a hodnoty rozložení osvětlenosti místnosti, které jsou vztažené k nejvyšší hodnotě. Měřicí body byly rozděleny do skupin podle řad, přičemž řady u okna a uprostřed odpovídají pracovním prostorům místnosti. Vzhledem k normativním požadavkům na hodnoty činitele denní osvětlenosti (který je v případě výskytu pouze bočního osvětlení využíván v podobě minimální hodnoty), rovnoměrnosti bočního osvětlení, vztažených vždy k nejvyšší hodnotě činitele denní osvětlenosti v místnosti, a intenzity osvětlení, tyto dvě řady, na rozdíl od řady u dveří, splňují parametry denního osvětlení.

Tabulka 18. Naměřené a vypočítané hodnoty osvětlení při zatažené obloze

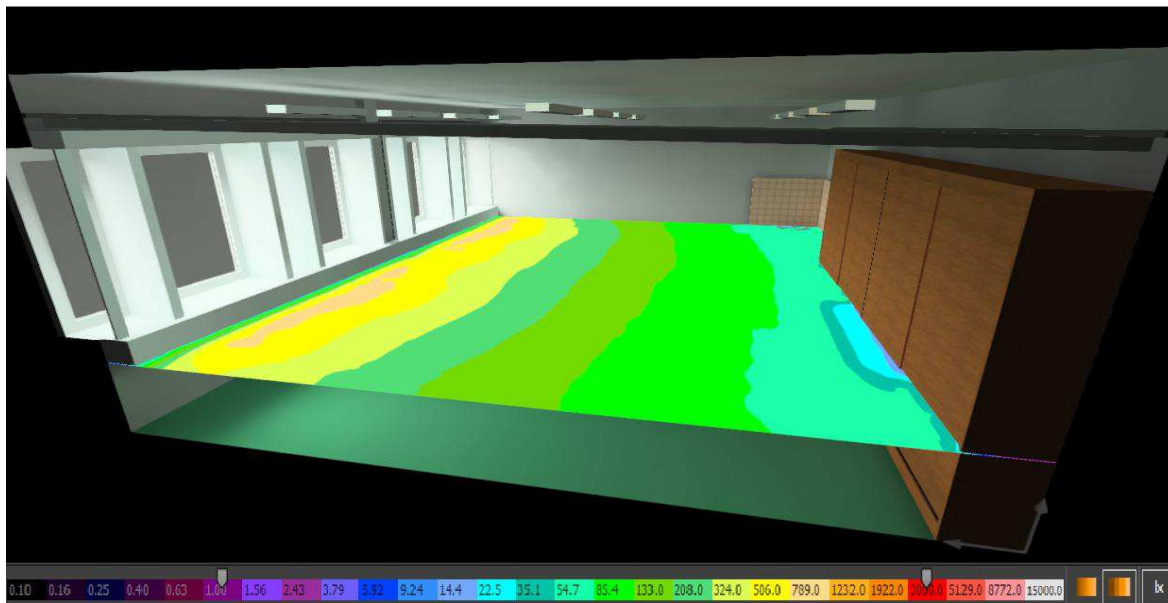
Řada u okna	Vnitřní osvětlení [lx]	Venkovní osvětlení [lx]	Činitel denní osvětlenosti [%]	Rovnoměrnost denního osvětlení [-]	Rozložení osvětlenosti [%]
Bod 1	2218	19489	11,38	0,89	100
Bod 4	2006	19262	10,41		90
Bod 7	1885	18545	10,16		85
Bod 10	1999	18581	10,76		90
Řada uprostřed	Vnitřní osvětlení [lx]	Venkovní osvětlení [lx]	Činitel denní osvětlenosti [%]	Rovnoměrnost denního osvětlení [-]	Rozložení osvětlenosti [%]
Bod 2	621	19381	3,20	0,24	28
Bod 5	574	19187	2,99		26
Bod 8	510	18565	2,75		23
Bod 11	503	18386	2,73		23
Řada u dveří	Vnitřní osvětlení [lx]	Venkovní osvětlení [lx]	Činitel denní osvětlenosti [%]	Rovnoměrnost denního osvětlení [-]	Rozložení osvětlenosti [%]
Bod 3	259	19346	1,34	0,09	12
Bod 6	245	18525	1,32		11
Bod 9	186	18861	0,99		8
Bod 12	195	18485	1,06		9

Při porovnání reálného měření se simulací (tabulka 19) lze pozorovat markantní rozdíly v hodnotách činitele denní osvětlenosti, které jsou způsobeny složitostí výpočtu a taky nesprávného měření venkovní osvětlenosti, které probíhalo na parapetu místo na otevřeném prostoru. Měření na otevřeném prostoru bylo z technického důvodu nemožné realizovat. Měření na parapetu způsobilo nižší výsledné hodnoty intenzity venkovního osvětlení, díky čemuž byly hodnoty podílů denní osvětlenosti vyšší, než by byly u měření na otevřeném prostoru.

Rozdíly jsou i v hodnotách vnitřního osvětlení, ty ovšem vyplývají z rozdílných hodnot osvětlení venkovního. Jediné hodnoty rozložení osvětlenosti a rovnoměrnost denního osvětlení jsou mírně podobnější.

Při posouzení simulovaných hodnot při zatažené obloze lze konstatovat, že požadavek 1,5 % činitele denní osvětlenosti není splněn ve více než polovině místnosti, tedy i tam, kde jsou umístěná pracovní místa. Z tohoto důvodu je podle stanovení norem nutné využívat v těchto místech sdružené osvětlení. Pokud by byl požadavek na rozšíření pracovních

ploch místnosti, musel by být také splněn požadavek normy ČSN 36 0020 na hodnotu činitele denní osvětlenosti minimálně 0,5 %.



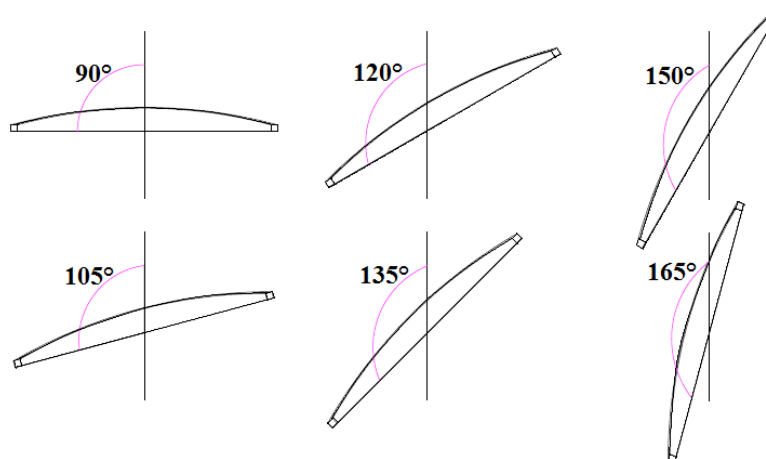
Obrázek 30. Barevné podání pracovní roviny při zatažené obloze

Tabulka 19. Simulované hodnoty osvětlenosti pro zataženou oblohu

Řada u okna	Vnitřní osvětlení [lx]	Venkovní osvětlení [lx]	Činitel denní osvětlenosti [%]	Rovnoměrnost denního osvětlení [-]	Rozložení osvětlenosti [%]
Bod 1	812	16300	4,98	0,83	100
Bod 4	715	16300	4,39		88
Bod 7	670	16300	4,11		83
Bod 10	739	16300	4,53		91
Řada uprostřed	Vnitřní osvětlení [lx]	Venkovní osvětlení [lx]	Činitel denní osvětlenosti [%]	Rovnoměrnost denního osvětlení [-]	Rozložení osvětlenosti [%]
Bod 2	181	16300	1,11	0,22	22
Bod 5	190	16300	1,17		23
Bod 8	183	16300	1,12		23
Bod 11	176	16300	1,08		22
Řada u dveří	Vnitřní osvětlení [lx]	Venkovní osvětlení [lx]	Činitel denní osvětlenosti [%]	Rovnoměrnost denního osvětlení [-]	Rozložení osvětlenosti [%]
Bod 3	81	16300	0,50	0,09	10
Bod 6	87	16300	0,53		11
Bod 9	81	16300	0,50		10
Bod 12	75	16300	0,46		9

8.2.2 Denní osvětlení při jasné obloze

Měření probíhalo 11. 4. 2017 od 11:00 do 13:05 při jasné obloze. Měření bylo provedeno stejně jako u zatažené oblohy při různých stavech stínění s různým náklonem lamel. Následující tabulky obsahují naměřené hodnoty vnitřní a venkovní osvětlenosti společně s podílem denní osvětlenosti (definujícího kolik procent z venkovní osvětlenosti připadá na jednotlivé body v místnosti) a rozložením osvětlenosti v místnosti, kdy jsou jednotlivé hodnoty vztaženy k té nejvyšší.



Obrázek 31. Definované náklony žaluzií pro měření

S vlivem žaluzií s náklonem 90°

Následující tabulka 20 obsahuje jednotlivé naměřené a vypočítané hodnoty osvětlení pro jasnou oblohu s vlivem žaluzií při náklonu 90°.

Tabulka 20. Naměřené a vypočítané hodnoty osvětlení při jasné obloze a náklonu 90°

Řada u okna	Vnitřní osvětlení [lx]	Venkovní osvětlení [lx]	Podíl denní osvětlenosti [%]	Rozložení osvětlenosti [%]
Bod 1	1158	89114	1,30	100
Bod 4	1035	90020	1,15	89
Bod 7	1000	89362	1,12	86
Bod 10	1138	89302	1,27	98
Řada uprostřed	Vnitřní osvětlení [lx]	Venkovní osvětlení [lx]	Podíl denní osvětlenosti [%]	Rozložení osvětlenosti [%]
Bod 2	643	89629	0,72	56
Bod 5	617	89681	0,69	53
Bod 8	617	89203	0,69	53
Bod 11	568	89927	0,63	49

Řada u dveří	Vnitřní osvětlení [lx]	Venkovní osvětlení [lx]	Podíl denní osvětlenosti [%]	Rozložení osvětlenosti [%]
Bod 3	323	89528	0,36	28
Bod 6	320	89864	0,36	28
Bod 9	355	89189	0,40	31
Bod 12	238	89639	0,27	21

S vlivem žaluzií s náklonem 105°

Následující tabulka 21 obsahuje jednotlivé naměřené a vypočítané hodnoty osvětlení pro jasnou oblohu s vlivem žaluzií při náklonu 105°.

Tabulka 21. Naměřené a vypočítané hodnoty osvětlení při jasné obloze a náklonu 105°

Řada u okna	Vnitřní osvětlení [lx]	Venkovní osvětlení [lx]	Podíl denní osvětlenosti [%]	Rozložení osvětlenosti [%]
Bod 1	857	84456	1,01	99
Bod 4	794	85044	0,93	92
Bod 7	774	84689	0,91	89
Bod 10	867	84919	1,02	100
Řada uprostřed	Vnitřní osvětlení [lx]	Venkovní osvětlení [lx]	Podíl denní osvětlenosti [%]	Rozložení osvětlenosti [%]
Bod 2	444	85145	0,52	51
Bod 5	432	84674	0,51	50
Bod 8	427	85097	0,50	49
Bod 11	407	85157	0,48	47
Řada u dveří	Vnitřní osvětlení [lx]	Venkovní osvětlení [lx]	Podíl denní osvětlenosti [%]	Rozložení osvětlenosti [%]
Bod 3	232	84964	0,27	27
Bod 6	231	85165	0,27	27
Bod 9	259	84805	0,31	30
Bod 12	176	84862	0,21	20

S vlivem žaluzií s náklonem 120°

Následující tabulka 22 obsahuje jednotlivé naměřené a vypočítané hodnoty osvětlení pro jasnou oblohu s vlivem žaluzií při náklonu 120°.

Tabulka 22. Naměřené a vypočítané hodnoty osvětlení při jasné obloze a náklonu 120°

Řada u okna	Vnitřní osvětlení [lx]	Venkovní osvětlení [lx]	Podíl denní osvětlenosti [%]	Rozložení osvětlenosti [%]
Bod 1	678	86458	0,78	100
Bod 4	639	87248	0,73	94
Bod 7	552	87348	0,63	81
Bod 10	586	87387	0,67	87
Řada uprostřed	Vnitřní osvětlení [lx]	Venkovní osvětlení [lx]	Podíl denní osvětlenosti [%]	Rozložení osvětlenosti [%]
Bod 2	346	86807	0,40	51
Bod 5	329	87288	0,38	49
Bod 8	311	87106	0,36	46
Bod 11	298	87095	0,34	44
Řada u dveří	Vnitřní osvětlení [lx]	Venkovní osvětlení [lx]	Podíl denní osvětlenosti [%]	Rozložení osvětlenosti [%]
Bod 3	192	87300	0,22	28
Bod 6	187	87567	0,21	28
Bod 9	204	87217	0,23	30
Bod 12	139	87266	0,16	21

S vlivem žaluzií s náklonem 135°

Následující tabulka 23 obsahuje jednotlivé naměřené a vypočítané hodnoty osvětlení pro jasnou oblohu s vlivem žaluzií při náklonu 135°.

Tabulka 23. Naměřené a vypočítané hodnoty osvětlení při jasné obloze a náklonu 135°

Řada u okna	Vnitřní osvětlení [lx]	Venkovní osvětlení [lx]	Podíl denní osvětlenosti [%]	Rozložení osvětlenosti [%]
Bod 1	448	87213	0,51	100
Bod 4	432	87171	0,50	97
Bod 7	377	87527	0,43	84
Bod 10	398	87146	0,46	89
Řada uprostřed	Vnitřní osvětlení [lx]	Venkovní osvětlení [lx]	Podíl denní osvětlenosti [%]	Rozložení osvětlenosti [%]
Bod 2	251	87104	0,29	56
Bod 5	235	87507	0,27	52
Bod 8	223	87176	0,26	50
Bod 11	212	87264	0,24	47
Řada u dveří	Vnitřní osvětlení [lx]	Venkovní osvětlení [lx]	Podíl denní osvětlenosti [%]	Rozložení osvětlenosti [%]
Bod 3	153	87344	0,18	34
Bod 6	145	87240	0,17	32
Bod 9	155	86489	0,18	35
Bod 12	109	87839	0,12	24

S vlivem žaluzií s náklonem 150°

Následující tabulka 24 obsahuje jednotlivé naměřené a vypočítané hodnoty osvětlení pro jasnou oblohu s vlivem žaluzií při náklonu 150°.

Tabulka 24. Naměřené a vypočítané hodnoty osvětlení při jasné obloze a náklonu 150°

Řada u okna	Vnitřní osvětlení [lx]	Venkovní osvětlení [lx]	Podíl denní osvětlenosti [%]	Rozložení osvětlenosti [%]
Bod 1	208	89501	0,23	100
Bod 4	205	89451	0,23	98
Bod 7	195	89158	0,22	94
Bod 10	202	89039	0,23	97
Řada uprostřed	Vnitřní osvětlení [lx]	Venkovní osvětlení [lx]	Podíl denní osvětlenosti [%]	Rozložení osvětlenosti [%]
Bod 2	114	89048	0,13	55
Bod 5	109	88788	0,12	52
Bod 8	107	89135	0,12	51
Bod 11	102	89350	0,11	49
Řada u dveří	Vnitřní osvětlení [lx]	Venkovní osvětlení [lx]	Podíl denní osvětlenosti [%]	Rozložení osvětlenosti [%]
Bod 3	68	89608	0,08	33
Bod 6	63	89038	0,07	30
Bod 9	64	89180	0,07	30
Bod 12	49	89251	0,05	23

S vlivem žaluzií s náklonem 165°

Následující tabulka 25 obsahuje jednotlivé naměřené a vypočítané hodnoty osvětlení pro jasnou oblohu s vlivem žaluzií při náklonu 165°.

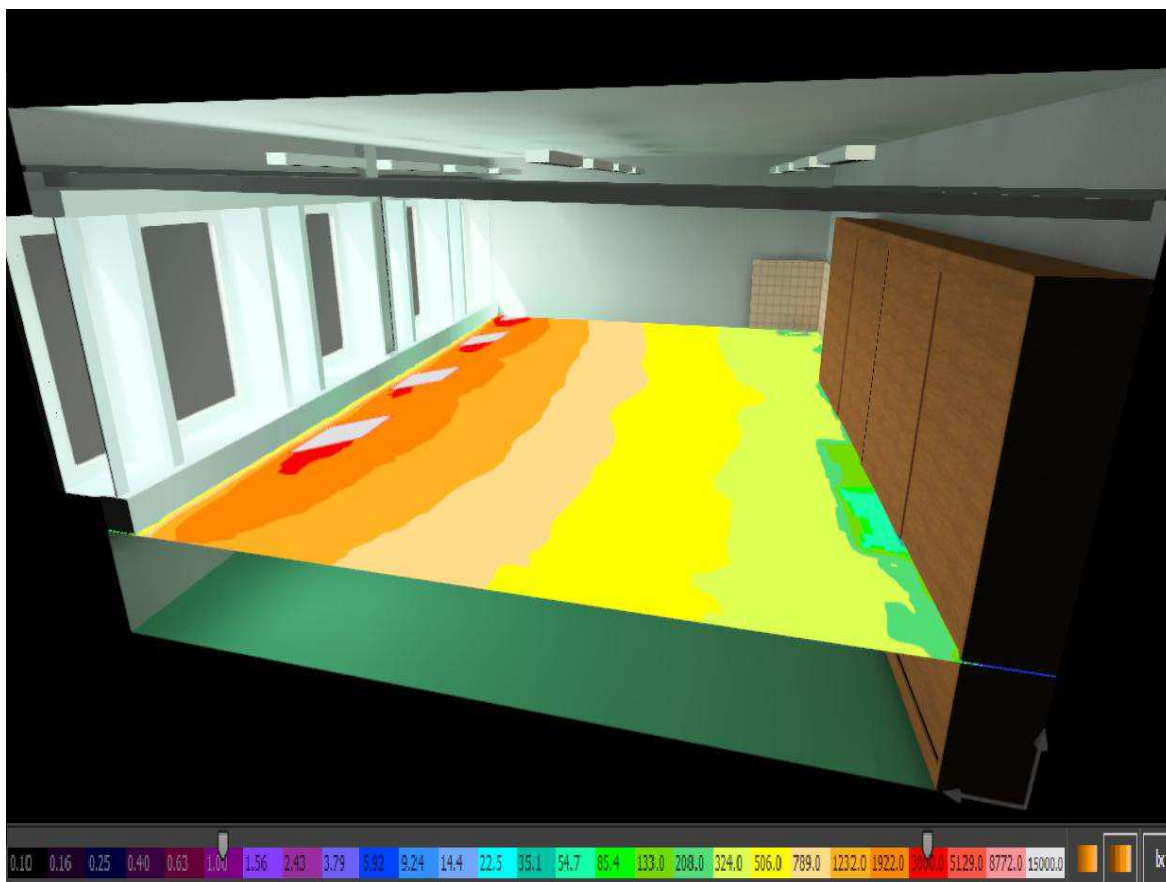
Tabulka 25. Naměřené a vypočítané hodnoty osvětlení při jasné obloze a náklonu 165°

Řada u okna	Vnitřní osvětlení [lx]	Venkovní osvětlení [lx]	Podíl denní osvětlenosti [%]	Rozložení osvětlenosti [%]
Bod 1	58	90424	0,06	99
Bod 4	58	89958	0,06	100
Bod 7	55	90062	0,06	95
Bod 10	55	90098	0,06	94
Řada uprostřed	Vnitřní osvětlení [lx]	Venkovní osvětlení [lx]	Podíl denní osvětlenosti [%]	Rozložení osvětlenosti [%]
Bod 2	26	89797	0,03	44
Bod 5	25	90155	0,03	43
Bod 8	24	90236	0,03	42
Bod 11	23	89809	0,03	40

Řada u dveří	Vnitřní osvětlení [lx]	Venkovní osvětlení [lx]	Podíl denní osvětlenosti [%]	Rozložení osvětlenosti [%]
Bod 3	13	90437	0,01	22
Bod 6	12	90487	0,01	20
Bod 9	12	90292	0,01	20
Bod 12	9	90368	0,01	16

Simulace osvětlení v místnosti při jasné obloze

Výsledná simulace osvětlení dle modelové místnosti obsahuje pouze hodnoty osvětlení v bodech a rozložení osvětlenosti. Jedná se tak z důvodu, že při výpočtu osvětlenosti při jasné obloze v prostředí DIALux není uvedený model oblohy a horizontální osvětlenost (intenzita venkovního osvětlení). Z tohoto důvodu je pochopitelné, že naměřené a simulované (vypočítané) hodnoty osvětlenosti v jednotlivých bodech mohou být odlišné, jelikož denní osvětlení při měření a simulaci mohlo být zcela jiné. Jednotlivé simulace obsahují pouze hodnoty osvětlenosti pro řadu u oken a uprostřed, které charakterizují pracovní oblasti.



Obrázek 32. Barevné podání pracovní roviny při jasné obloze

Tabulka 26 obsahuje vypočítané hodnoty pro jednotlivé náklony lamel žaluzií. Při porovnání s naměřenými lze pozorovat pouze mírné odchylky. V dané tabulce se nacházejí pouze hodnoty z řad u okna a uprostřed, které definují pracovní oblasti laboratoře.

Tabulka 26. Simulované hodnoty osvětlenosti pro jasnou oblohu s vlivem žaluzií

Náklon lamel [°]	90		105		120	
Výpočtový bod	Vnitřní osvětlení [lx]	Rozložení osvětlenosti [%]	Vnitřní osvětlení [lx]	Rozložení osvětlenosti [%]	Vnitřní osvětlení [lx]	Rozložení osvětlenosti [%]
Bod 1	1271	100	991	100	903	100
Bod 2	510	40	405	41	365	40
Bod 4	1111	87	905	91	834	92
Bod 5	514	40	414	42	368	41
Bod 7	1090	86	888	90	816	90
Bod 8	490	39	405	41	362	40
Bod 10	1184	93	941	95	867	96
Bod 11	443	35	374	38	346	38
Náklon lamel [°]	135		150		165	
Výpočtový bod	Vnitřní osvětlení [lx]	Rozložení osvětlenosti [%]	Vnitřní osvětlení [lx]	Rozložení osvětlenosti [%]	Vnitřní osvětlení [lx]	Rozložení osvětlenosti [%]
Bod 1	587	100	247	100	85	100
Bod 2	239	41	102	41	35	41
Bod 4	558	95	228	92	79	93
Bod 5	241	41	103	42	36	42
Bod 7	540	92	222	90	81	95
Bod 8	238	41	104	42	35	41
Bod 10	565	96	237	96	85	100
Bod 11	226	39	98	40	33	39

Vyhodnocení naměřených a simulovaných dat při jasné obloze s využitím žaluzií

Z naměřených a vypočítaných dat denního osvětlení při jasné obloze lze pozorovat, že při použití žaluzií jsou poměry mezi osvětlovanými řadami (u okna, uprostřed a u dveří) zhruba stejné u libovolných náklonů lamel. Tedy nejvyšší osvětlenost v řadě u okna je přibližně dvakrát větší než osvětlenost v prostřední řadě, u které lze zase pozorovat dvakrát větší osvětlenost než u řady u dveří. Dané poměry tedy lze využít při řízení osvětlení v místnosti spolu s měřením vnitřní osvětlenosti v jednom bodě. Následnou optimalizací a zahrnutím vlivů jednotlivých světelných zdrojů lze poté stanovit požadovanou osvětlenost v libovolném bodě.

Také pokud se lamely budou natáčet automaticky s pohybem slunce na obzoru, dalo by se stanovit vnitřní osvětlení pomocí podílů denní osvětlenosti pro jednotlivé náklony lamel. Dané řešení vychází z faktu, že při jednotlivých výškách slunce jsou sluneční paprsky odraženy pod stejným úhlem do místnosti. Z důvodu nezrealizované laboratoře v době psaní této práce ovšem není možné toto řešení ověřit.

8.3 Umělé osvětlení

Umělé osvětlení v místnosti bylo měřeno, stejně jako denní osvětlení, v bodech 1 až 12, pomocí nichž byly určeny světelné parametry místnosti. V místnosti se v současné době nachází pouze neregulovatelné osvětlení, u kterého lze samostatně sepnout řadu světel u dveří, nebo dohromady řady uprostřed a u okna, nebo jejich kombinací veškeré osvětlení v místnosti. Tabulky s naměřenými daty poté obsahují jednotlivé osvětlenosti v měřicích bodech a hodnoty rozložení osvětlenosti vztažené k nejvyšší hodnotě v místnosti.

Měření probíhalo dne 20. 4. 2017 od 12:25 do 13:08. Denní osvětlení bylo eliminováno zatažením vnitřních rolet. U tohoto druhu měření se také zkoumalo, zda a jak jednotlivé světla ovlivňují druhé. Zkouška proběhla pomocí různých kombinací zapnutého osvětlení. Jednotlivé světelné zdroje byly kvůli ustálení jejich světelného toku před měřeními zapnuty po určitou dobu.

Tabulka 27. Naměřené hodnoty umělého osvětlení

Řada u okna	Vnitřní osvětlení [lx]	Rozložení osvětlenosti [%]
Bod 1	1055	82
Bod 4	1220	94
Bod 7	1177	91
Bod 10	943	73
Řada uprostřed	Vnitřní osvětlení [lx]	Rozložení osvětlenosti [%]
Bod 2	1116	86
Bod 5	1294	100
Bod 8	1248	96
Bod 11	999	77
Řada u dveří	Vnitřní osvětlení [lx]	Rozložení osvětlenosti [%]
Bod 3	937	72
Bod 6	1066	82
Bod 9	994	77
Bod 12	811	63

Pomocí tabulky 27 je dále vypočítána rovnoměrnost osvětlení U_0 :

$$E_m = \frac{\sum_{i=1}^{12} E_i}{12} = 1072 \text{ lx} \quad (8.1)$$

$$U_0 = \frac{E_{min}}{E_m} = 0,76 \quad (8.2)$$

Kde: E_{min} minimální hodnota osvětlenosti v místnosti [lx],

E_m průměrná hodnota osvětlenosti v místnosti [lx],

Z hlediska normativních požadavků, při kompletně rozsvícených světelných zdrojích v místnosti, na intenzitu osvětlení a rovnoměrnost umělého osvětlení dané hodnoty vyhovují, ovšem stávající umělé osvětlení neumožňuje světelnou regulaci a tudíž nevyhovuje kategorii učebny pro večerní studium a vzdělávání dospělých. Z tabulky 27 vyplývá, že naměřené hodnoty jsou téměř dvakrát větší, než požaduje norma, a tudíž pro snížení energetických nároků na provoz laboratoře je vhodné zavést regulovatelné osvětlení. Největší hodnoty osvětlenosti lze pozorovat v řadě uprostřed z důvodu ovlivnění ze sousedních řad.

V tabulce 28 jsou naměřené hodnoty umělého osvětlení, kdy je buď rozsvícena jen jedna řada světel u dveří, nebo dohromady řady uprostřed a u okna.

Tabulka 28. Naměřené hodnoty umělého osvětlení řady u dveří a řad uprostřed a u okna

Řada u okna	Osvětlení řady uprostřed a u oken		Osvětlení řady u dveří	
	Vnitřní osvětlení [lx]	Rozložení osvětlenosti [%]	Vnitřní osvětlení [lx]	Rozložení osvětlenosti [%]
Bod 1	839	84	111	17
Bod 4	1003	100	127	20
Bod 7	1004	100	118	18
Bod 10	816	81	99	15
Řada uprostřed	Vnitřní osvětlení [lx]	Rozložení osvětlenosti [%]	Vnitřní osvětlení [lx]	Rozložení osvětlenosti [%]
Bod 2	748	74	281	44
Bod 5	905	90	320	50
Bod 8	905	90	298	47
Bod 11	735	73	240	38
Řada u dveří	Vnitřní osvětlení [lx]	Rozložení osvětlenosti [%]	Vnitřní osvětlení [lx]	Rozložení osvětlenosti [%]
Bod 3	349	35	561	88
Bod 6	402	40	638	100
Bod 9	368	37	607	95
Bod 12	307	31	493	77

V případě aktivních světelných zdrojů v řadě u okna a uprostřed lze pozorovat nedostatečné osvětlení dle norem řady u dveří. Větší hodnoty osvětlenosti jsou v řadě u okna, což je způsobeno blízkostí odrazových ploch v podobě zatažených vnitřních rolet a zdi, které navyšují hodnoty osvětlenosti v měřících bodech.

Pokud se aktivují pouze světla v řadě u dveří, je nedostatečná osvětlenost ve většině místnosti. V rámci řady u dveří lze pozorovat nejvyšší hodnoty ve středu řady, jde opět o navýšení osvětlenosti z okolních světel.

9 NÁVRH ŘÍZENÍ A REGULACE OSVĚTLENÍ V MÍSTNOSTI

Jak již bylo zmíněno v kapitole 6.5 základním úkolem dané laboratoře je řídit intenzitu osvětlení tak, aby byla co nejvíce rovnoměrná a aby splňovala požadované normované hodnoty. Při co největším využití denního světla není nutné v každém stavu využívat maximální světelný výkon zdrojů, čímž lze dosáhnout vyšších energetických úspor. Daného stavu lze dosáhnout pomocí inteligentní instalace, které jsou díky tomu stále častěji využívanější a dostupnější i na českém trhu.

Nezbytnou součástí návrhu řízení vnitřního osvětlení je regulace denního osvětlení, pomocí níž lze zamezit nadměrnému oslnění pracovní plochy. Správným řízením denního osvětlení lze dosáhnout požadovaných hodnot osvětlení a jasů v místnosti, zároveň zajistit dostatečný rozhled do okolí, tím dosáhnout lepší světelné pohody, a regulovat tepelné ztráty a zisky místnosti v jednotlivých ročních obdobích.

9.1 Definice ukazatelů stavu osvětlení

Osvětlení v místnosti lze definovat na základě určitých naměřených a vypočítaných parametrů. Kombinací daných parametrů lze navrhnout algoritmus řízení osvětlení, který efektivně sníží spotřebu energie při dosažení požadovaných hodnot osvětlení. Optimální hodnocení jednotlivých stavů lze především stanovit na místě instalace. Ukazatele denního osvětlení jsou popsány v kapitole 7. Umělé osvětlení je stanoveno převážně pomocí parametrů světelných zdrojů, jako jsou světelný tok, intenzita osvětlení pracovní plochy, hodnota teploty chromatičnosti stanovující barvu světla a v neposlední řadě samotným počtem zdrojů a jejich umístění. Jednotliví ukazatelé stavu osvětlení, společně s principem jejich stanovení, jsou definovány v tabulce 29.

Tabulka 29. Definice ukazatelů stavů osvětlení

Název veličiny	Značka/Jednotka	Princip stanovení
Výška slunce nad obzorem	h [°]	Výpočtem
Azimut slunce	A [°]	Výpočtem
Vnější intenzita osvětlení	E_D [lx]	Měřením
Vnitřní intenzita osvětlení	E_V [lx]	Měřením
Činitel denní osvětlenosti	D [%]	Měřením/Výpočtem
Rovnoměrnost osvětlení	u_0 [-]	Měřením/Výpočtem
Rozložení osvětlenosti	[%]	Měřením/Výpočtem
Teplota chromatičnosti	T_c [K]	Měřením

Při stanovování ukazatelů osvětlení je nutné brát zřetel na jejich objektivní posouzení. Jedná se zejména o ovlivnění měření nebo výpočtu přímým slunečním zářením nebo vrhanými stíny okenního rámu, popřípadě nábytku. Pro eliminaci těchto negativních vlivů při řízení osvětlení v místnosti je důležité správné rozmístění měřících senzorů, které následně zajistí efektivní řízení.

9.1.1 Parametrizace interního senzoru osvětlení a přítomnosti

Detekci přítomnosti osob a měření osvětlení v místnosti zajišťuje interní senzor, který je pro optimální detekování veličin nutné správně nakonfigurovat. Konfigurace byla provedena pomocí softwaru ETS 4, do kterého byl naimportován plug-in konkrétního druhu senzoru.

Senzor přítomnosti a vnitřního osvětlení ovlivňuje spousta parametrů, které stanovuje do určité míry i instalace samotného senzoru. Jelikož není laboratoř v místnosti D308 v době psaní této práce hotová, je nutné některé parametry po instalaci přenastavit. Návrh umístění vnitřního senzoru v rámci této práce je na pracovní ploše u měřícího bodu číslo 5 (referenční oblast). V budoucnu se počítá s instalací senzoru na strop místnosti (instalační oblast), kdy je nutné poté zkorigovat naměřenou hodnotu vnitřního osvětlení pomocí nastavení interní křivky. Korekce se provádí z důvodu požadovaného měření vnitřního osvětlení v místě referenční oblasti, podle kterého následně probíhá řízení osvětlení. Pro korekci naměřené hodnoty je nutné luxmetrem realizovat následující čtyři měření:

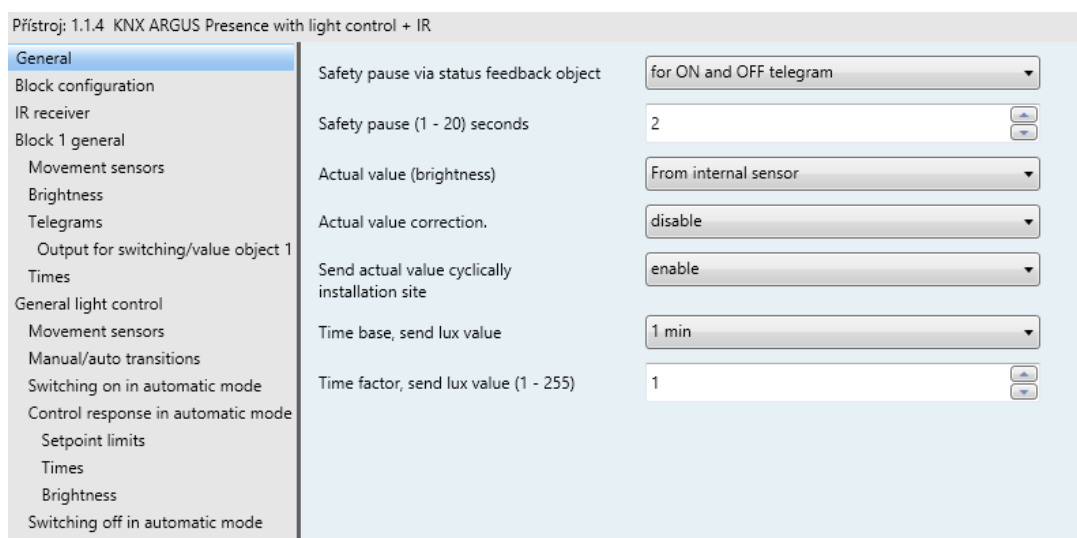
- Měření osvětlení na místě instalace při vypnutých světelných zdrojích
- Měření osvětlení na místě instalace při maximálním výkonu světelných zdrojů
- Měření osvětlení na referenční oblasti při vypnutých světelných zdrojích.
- Měření osvětlení na referenční oblasti při maximálním výkonu světelných zdrojů

Naměřené hodnoty lze následně zadat do aplikačního softwaru ETS 4, který provede korekci. V případě změn nábytku v místnosti se změní i jejich reflexní povrchy. Poté je potřeba znovu provést všechna měření a přeprogramovat senzor.

Dalším parametrem, který je ovlivněn instalací senzoru, je optická zpětná vazba, která v případě instalace světel v oblasti detekce senzoru může způsobit ovlivnění detektoru přítomnosti zapínáním a vypínáním světel. Tedy teplotní rozdíl nebo změnu v infračerveném spektru lze detekovat jako pohyb v místnosti. K eliminaci daného jevu je využita bezpeč-

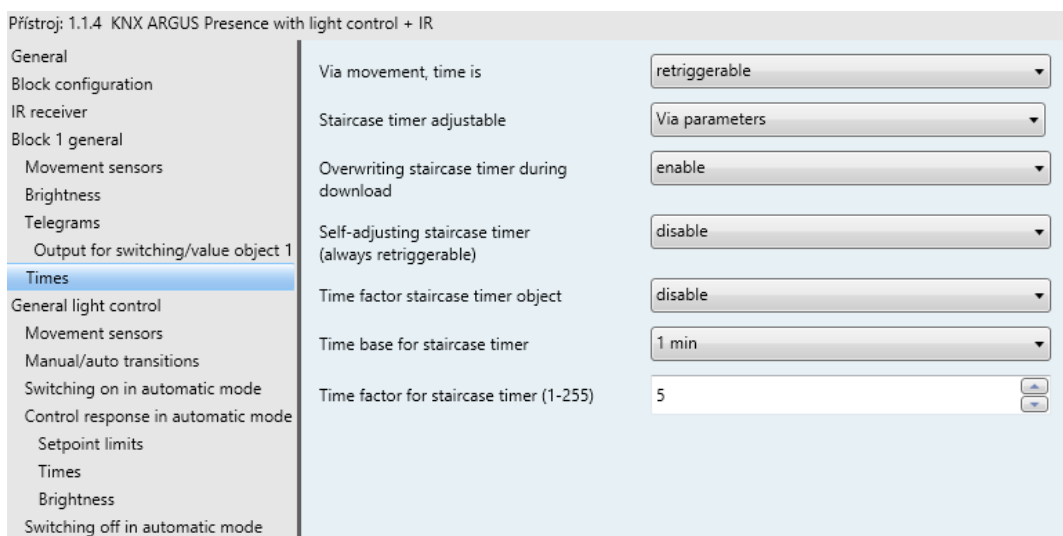
nostní pauza, která vyhodnocuje zpětnou vazbu od světel a v případě změny jejich stavu po určitou dobu (2 sekundy) zastaví detekci přítomnosti.

Hodnota naměřené vnitřní osvětlenosti je poté cyklicky posílána na sběrnici (každou minutu), pomocí níž je následně ve vizualizačním prostředí kontroléru homeLynk dále zpracována a vyobrazena. Komunikačním objektem je samotná hodnota osvětlenosti (2 byte).



Obrázek 33. Parametrizování vnitřního senzoru osvětlení v prostředí ETS 4

Detekce přítomnosti v místnosti je poté taktéž cyklicky posílána na sběrnici, přičemž pokud není pohyb v místnosti detekován po delší dobu (5 minut) je detektorem vyhodnocena logická 0. Pokud je detekován pohyb v místnosti, je detektorem generována logická 1, přičemž při opětovném pohybu je vnitřní časovač restartován. Výsledná hodnota je poté ve vizualizačním prostředí kontroléru homeLynk dále zpracována a vyobrazena.



Obrázek 34. Parametrizování detektoru přítomnosti v prostředí ETS 4

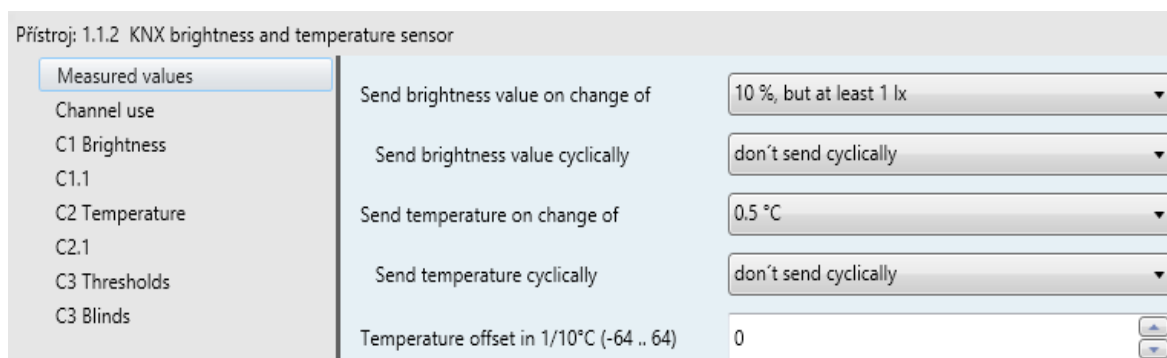
9.1.2 Parametrizace externího senzoru osvětlení a teploty

Měření denního osvětlení na externí části laboratoře zajišťuje externí senzor osvětlení a teploty, který je pro optimální měření veličin nutné správně nakonfigurovat. Konfigurace byla provedena pomocí softwaru ETS 4, do které byl naimportován plug-in konkrétního druhu senzoru.

Jelikož daný senzor snímá dvě veličiny, je nutné definovat jejich vzájemné působení popřípadě jejich samotnou definici na sběrnici KNX. V konkrétním případě laboratoře D308 bylo zvoleno, že hodnota venkovní osvětlenosti bude automaticky posílána na sběrnici v případě změny venkovní osvětlenosti o 10%, přičemž nejmenší možná detekovaná změna je 1 lx. Tímto způsobem je zaručena detekce požadované změny venkovní osvětlenosti a zároveň nezahlcení sběrnice telegramy.

V případě měření venkovní teploty je opět automaticky detekována změna venkovní teploty a poté posílána na sběrnici v případě změny teploty o 0,5 °C. U měření venkovní teploty lze také nastavit požadovaný offset teploměru, kdy je zapotřebí měřením zjistit požadované podmínky u instalace systému. Jelikož není v době psaní této práce laboratoř D308 k dispozici byl tento offset nulován.

Komunikačními objekty pro odesílání naměřených hodnot a další jejich zpracování a vizualizaci v prostředí homeLynku jsou poté fyzická hodnota osvětlenosti (2 byte) a fyzická hodnota teploty (2 byte), ke kterým byly následně přiřazeny konkrétní skupinové objekty.



Obrázek 35. Parametrizace externího senzoru osvětlení a teploty

9.2 Řízení a regulace stínící techniky

Základním principem žaluzií je zamezení oslnění pracovní plochy, kdy je vhodné odrážet přímé sluneční paprsky ke stropu, a tím dosáhnout maximálního osvětlení místnosti, navýšení hygienických standardů společně se světelnou pohodou zaručující příjemný a zdravý pobyt v místnosti. Pro zvýšení efektivity stínící techniky a pohodlí uživatelů při jeho využívání je vhodné realizovat návrhy s využitím automatizovaného řízení.

Inteligentní instalací lze efektivně provést automatické i manuální řízení žaluzií. Externí žaluzie poháněné elektrickými pohony napojenými na žaluziové aktory poté řídí a regulují povely v telegramech přenášených po sběrném vedení, pomocí něhož probíhá komunikace jednotlivých účastníků instalace. Z hlediska životnosti jednotlivých spínacích členů je vhodné řízení s určitými definovanými časovými cykly, aby nedocházelo k častému spínání žaluziového pohonu.

Stínící techniku lze řídit pomocí venkovních stavů světelných veličin a slunce, ale také pomocí vnitřních údajů jasů a osvětlení v místnosti. V případě zatažené oblohy, nebo pokud se slunce nachází na druhé straně objektu, nedochází k přímému oslnění prosklených konstrukcí, a tudíž je vhodné nevyužívat žaluzie vůbec a docílit tak maximálního rozhledu do okolí a denního osvětlení v místnosti. V případě jasné oblohy a polohy slunce před prosklenou konstrukcí je vhodné mít žaluzie stažené a ovládat pouze náklon jednotlivých lamel.

Světelné stavy venkovních světelných veličin lze jak vypočítat, tak naměřit. Asi nejčastějším způsobem řízení stínící techniky je dle venkovní intenzity osvětlení. Ta je měřena pomocí externího senzoru umístěného na fasádě objektu. Pro kvalitní a objektivní hodnocení naměřených hodnot venkovní intenzity osvětlení je důležité efektivně a účelně vybrat místo instalace senzoru.

Dalším prvkem definujícím požadované denní osvětlení v místnosti je senzor přítomnosti. V případě, že se v místnosti nenachází osoby, je vhodné automatické řízení žaluzií podle topného období a tím regulování tepelných zisků a ztrát v předemné laboratoři.

K návrhu stínící techniky lze využít i simulace dle vytvořeného modelu místnosti D308 v programu DIALux. Daná metoda je založena na vyšší paměťové náročnosti, kdy je potřeba simulovat průběh denního záření v jednotlivých měsících, dnech a hodinách při různě

ných stavech oblohy. Další nevýhodou je úzká škála žaluziových systémů v daném programu, kdy zde nemusí být navrženy konkrétní žaluzie.

9.2.1 Výpočet a definice parametrů stínění

Základním požadavkem pro řízení externích žaluzií v místnosti D308 je detekce přímých slunečních paprsků dopadajících na prosklené plochy místnosti. Přímé sluneční paprsky lze definovat pomocí stavu oblohy, azimutem slunce (viz vzorec 7.1), určujícím polohu slunce vůči jižnímu směru, a hodnotou výšky slunce nad obzorem (viz vzorec 7.2), která určuje východ a západ slunce, ale také v jakém úhlu paprsky na předmětnou konstrukci dopadají.

Stav oblohy

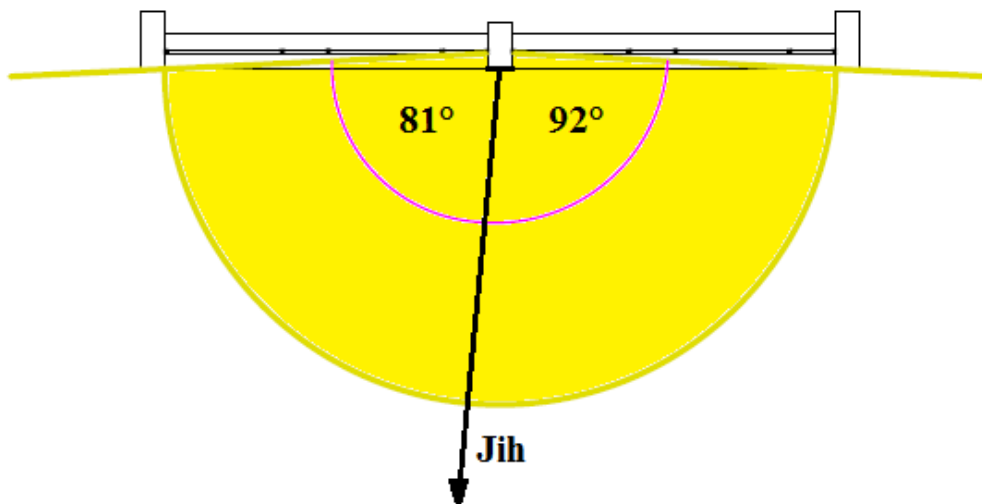
Stav oblohy lze definovat pomocí hodnoty venkovního osvětlení. Z důvodu požadavku stínění denního osvětlení pouze v případě přímých slunečních paprsků, je regulace stíněním realizována pouze při hodnotě venkovního osvětlení pro jasnou oblohu. Jako rozšíření je možné definovat více stavů oblohy, podle kterých poté lze žaluzie spouštět do definované výšky okna a naklánět jednotlivé lamely podle slunečních paprsků. Příklady hodnot intenzity osvětlení jednotlivých stavů oblohy jsou znázorněny v tabulce 30.

Tabulka 30. Definování stavu oblohy

Stav oblohy	Intenzita osvětlení [lx]
Jasná obloha	> 30 000
Polojasná obloha	20 000 až 30 000
Zatažená obloha	< 20 000

Azimut slunce

Pomocí azimutu slunce lze stanovit, kdy se slunce nachází vzhledem k předmětné konstrukci přímo před oknem a kdy naopak mu stíní určité překážky (objekty, stromy, okenní rámy atd.). Definovaný rozsah azimutů předmětné místnosti D308 zobrazuje obrázek 36, který určuje, v jakém maximálním úhlu od jižního směru dopadají přímé sluneční paprsky na laboratoř.



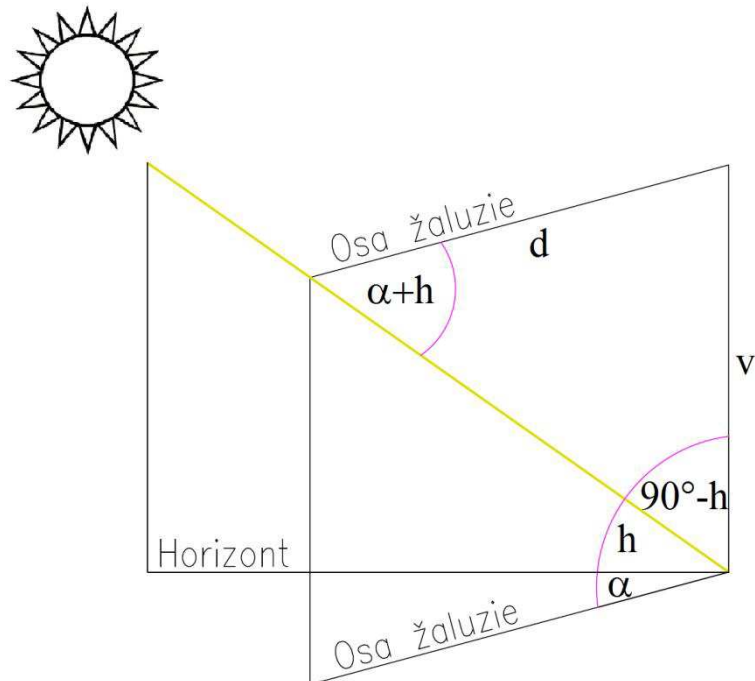
Obrázek 36. Definování přímých slunečních paprsků v závislosti na slunečním azimutu

Při stanovování úhlu dopadu slunečních paprsků bylo nutné opět zohlednit meridiánovou konvergenci (viz kapitola 6.1), pomocí které byl následně natočený kartografický sever po směru hodinových ručiček.

Náklon lamel žaluzií

Po určení přímých slunečních paprsků je nutné zajistit požadované náklony jednotlivých lamel žaluzií tak, aby nepropouštěli přímé sluneční paprsky a zároveň aby umožnili maximální denní osvětlení v místnosti a určitý rozhled do okolí. Maximální denní osvětlení lze zajistit odražením slunečních paprsků na strop místnosti, kdy je podmínkou stanovení dostatečného náklonu žaluzií tak, aby při pohledu osoby po směru slunečních paprsků tyto nepronikali skrz. Při výpočtu náklonu lamel α jsou důležitými parametry jak šířka jednotlivých lamel d , tak vzdálenost mezi lamelami v . Posledním parametrem výpočtu je výška slunce nad obzorem h , která definuje úhel, v jakém sluneční paprsky dopadají na lamely žaluzií. Princip výpočtu náklonu lamel je zobrazen na obrázku 37.

V opačném případě, kdy v místnosti není detekována přítomnost osob, je poté důležité zajistit maximální tepelnou ochranu místnosti. Ta je zajištěna maximálním náklonem žaluzií při vysokých nebo nízkých venkovních teplotách a vytažením žaluzií v případě požadavku na chlazení nebo ohřev místnosti.



Obrázek 37. Definice stanovení požadovaného náklonu lamel

Pomocí obrázku 37, definujícího návrh řízení natáčení jednotlivých lamel žaluzií s pohybem slunce na obzoru, lze vypočítat s využitím sinovi věty úhel náklonu žaluzií:

$$\frac{d}{v} = \frac{\sin(90 - h)}{\sin(\alpha + h)} \quad (9.1)$$

$$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{\sin(90 - h) \cdot v}{d} \right) - h \quad (9.2)$$

- Kde: α požadovaný úhel náklonu lamel [°],
 h výška slunce nad obzorem [°],
 v vzdálenost mezi jednotlivými lamelami [m],
 d šířka jednotlivých lamel [m].

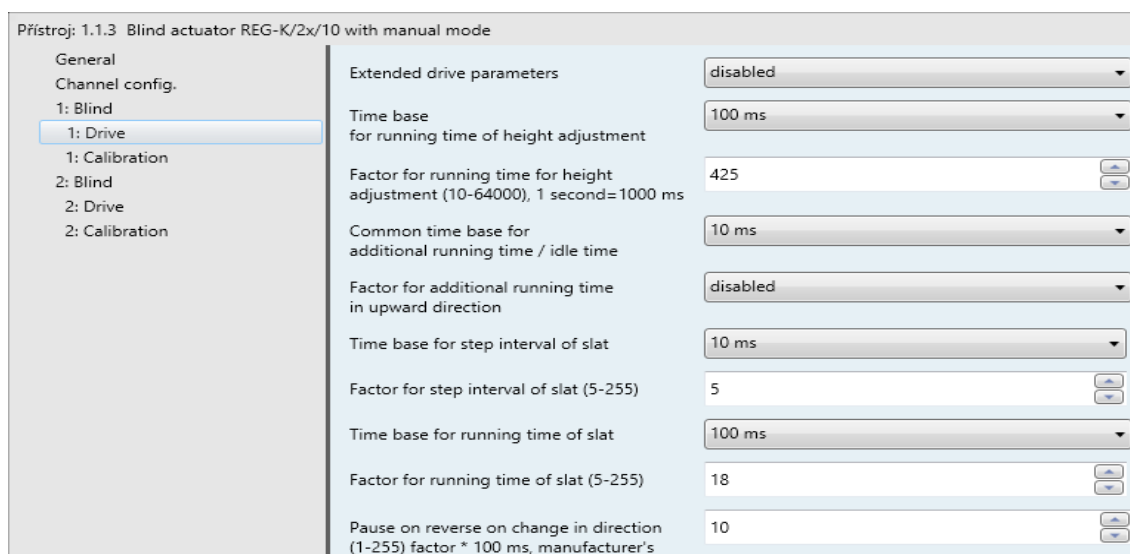
Jednotlivé výpočty lamel na základě polohy slunce nad obzorem jsou zhotoveny v excelovské příloze odevzdané společně s touto prací. Všechny výše zmíněné sluneční parametry a požadované náklony lamel žaluzií budou cyklicky vypočítávány a měřeny po určitém čase pomocí sběrnicové instalace a logického kontroléru homeLynk, pomocí něhož budou výsledná data přeposílána po sběrnici cílovým účastníkům sběrnice a následně vizualizována.

9.2.2 Parametrizace žaluziového akčního členu

Řízení žaluziového pohonu zajišťuje žaluziový akční člen, který pro optimální funkci žaluzií je nutné správně nakonfigurovat. Konfigurace byla provedena pomocí softwaru ETS 4, do které byl naimportován plug-in konkrétního druhu členu. Pomocí akčního členu lze ovládat výšku a náklon žaluzií ručně nebo automaticky, kalibrovat polohu žaluzií, nastavovat alarmy při různém počasí, omezovat rozsah jízdy žaluzií atd.

Nejprve je nutné zvolit typ aplikovaných žaluzií, kdy v rámci této diplomové práce jsou využity žaluzie bez pracovní polohy, které jsou ve směru nahoru v otevřené poloze (0% náklon) a ve směru dolů v zavřené poloze (100% náklon). Lze také určit, v jaké pozici se mají lamely nacházet po výškovém pohybu žaluzií, zde byla vybrána možnost bez reakce, tedy lamely se budou nacházet v pozici podle výškového pohybu žaluzií. Následně jsou žaluzie definovány časem běhu při jednotlivých příkazech. Zde je nutné naměřit celkové časy běhu pohonů při výškovém pohybu žaluzií (42,5 s) a při náklonu lamel z 0% na 100% (1,8 s). Důležitým parametrem z hlediska životnosti pohonů je doba pauzy mezi změnou směru běhu (5 s). Posledním parametrem je kalibrace, kdy bylo specifikováno, že vždy po 10 výškových pohybech žaluzií dojde ke kalibraci žaluzií ve vysunutě poloze.

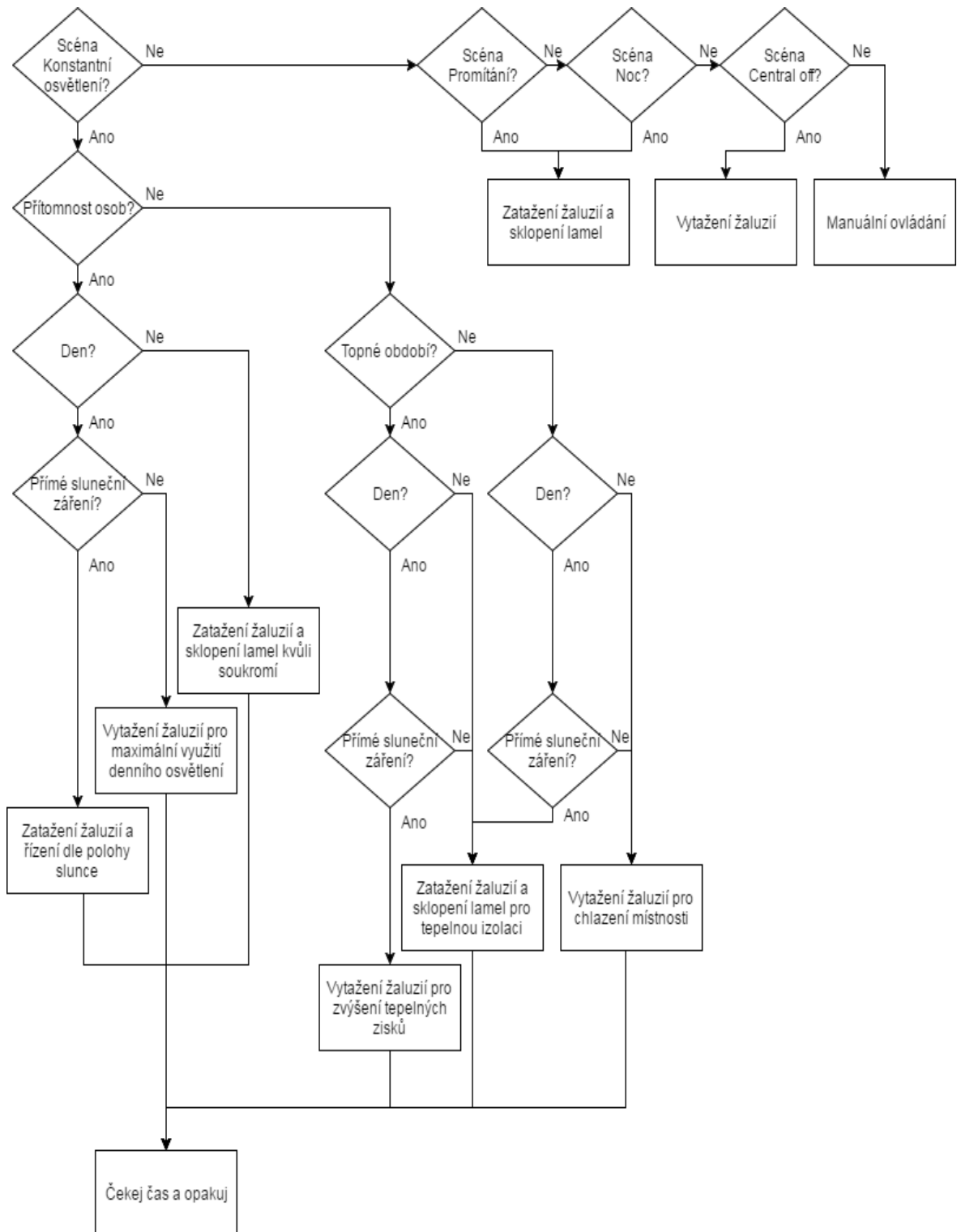
Po nastavení jednotlivých parametrů ve specifikacích žaluziového akčního členu lze poté přiřadit skupinové adresy jednotlivým komunikačním objektům. Jedná se o komunikační objekty pro definování výškové pozice žaluzií (1 byte) a komunikační objekt stanovující úhel natočení lamel (1 byte). Nakonec je celá konfigurace nahrána, po aktivování programovacího tlačítka, do příslušného modulu akčního členu.



Obrázek 38. Parametrizování žaluziového akčního členu v prostředí ETS 4

9.2.3 Algoritmus řízení a regulace stínící techniky

Algoritmus popisující řízení a regulaci stínící techniky je vyobrazen na obrázku 39.



Obrázek 39. Algoritmus regulace stínící techniky

Algoritmus řízení a regulace žaluzií vychází ze čtyř předem naprogramovaných světelných scén. Jedná se o scény promítání a noc, při kterých jsou žaluzie zataženy a sklopeny na maximální úroveň z důvodu lepší viditelnosti, popřípadě soukromí uživatelů. Dále se jedná o scénu central off, která zajistí vytažení žaluzií do výchozí pozice, a scénu konstantního osvětlení, kdy jsou žaluzie řízeny pomocí posloupnosti určitých dotazů.

Základními informacemi pro automatické řízení žaluzií (scéna konstantního osvětlení) je přítomnost osob v místnosti, indikace noci a výskyt přímého slunečního záření. V případě, kdy se v místnosti nenachází žádné osoby, je poloha žaluzií definována topným obdobím. Pokud je aktuálně topné období, lze pomocí žaluzií efektivně zvyšovat tepelnou izolaci místnosti, popřípadě zvyšovat tepelné zisky místnosti při působení přímého slunečního záření a tím tak místnost ohřívat. Taktéž v období bez vytápění lze zataženými žaluziemi snížit tepelné zisky v místnosti, popřípadě chladit místnost nižší venkovní teplotou při vytažení žaluzií.

Při detekci přítomnosti osob je v případě noci žaluziemi zabezpečeno soukromí zatažením žaluzií a sklopením lamel. V případě zatažené oblohy, nebo pokud poloha slunce nedovoluje průnik přímého slunečního záření do místnosti, je žádoucí využívat maximální množství denního osvětlení, které je zajištěno vytažením žaluzií do výchozí polohy. V případě detekce přímého slunečního záření jsou žaluzie staženy a náklon lamel je poté řízen dle hodnoty výšky slunce nad obzorem.

Při aktivní scéně konstantního osvětlení se vyhodnocení slunečních parametrů provádí cyklicky každých 15 minut, čímž se zajistí minimální spínání akčních členů a pohonů žaluzií a zároveň dostatečnou reakci na změnu počasí a polohy slunce.

Pokud není aktivní žádná z předem definovaných scén, lze žaluzie řídit pomocí manuálního rozhraní definovaného vizualizací v kontroléru homeLynk.

9.3 Řízení a regulace umělého osvětlení

Cílem této práce je automatické řízení osvětlení v laboratoři, které musí splňovat požadované hodnoty osvětlenosti dle normy a zároveň se přibližovat k co nejrovnoměrnostem hodnotám osvětlenosti v celé místnosti.

Vyhodnocení intenzity osvětlení lze provést jak pomocí externího, tak interního senzoru, přičemž pro stanovení maximální rovnoměrnosti osvětlení je nutné brát v úvahu jak intenzitu denního osvětlení, tak intenzitu umělého osvětlení a jeho vzájemné ovlivnění. Důležité

je také využívat v maximální míře denního osvětlení a umělým osvětlením pouze kompenzovat nedostatečnou úroveň osvětlení v laboratoři. V návaznosti na senzory osvětlení lze využít hodnoty činitelů denní osvětlenosti (při zatažené obloze) a podílů denního osvětlení (při jasné obloze) pro stanovení intenzity denního osvětlení v jednotlivých místech laboratoře. Podíly denního osvětlení jsou závislé na náklonu lamel žaluzií a výšky slunce nad obzorem. Jelikož ovšem v současné době není daná laboratoř realizovaná nelze stanovit přesné hodnoty podílů denního osvětlení.

Při změně požadovaného světelného toku jednotlivých zdrojů je vhodné danou změnu realizovat postupně bez náhlých skoků. Náhlé změny světelného toku zdrojů mohou působit negativně na uživatele laboratoře a ovlivnit tak efektivitu práce.

9.3.1 Výpočet a definice parametrů umělého osvětlení

Pro stanovení požadované intenzity umělého osvětlení jsou navrženy dvě metody pro jasnou oblohu a pro zataženou oblohu. Při zatažené obloze je požadovaná intenzita umělého osvětlení v jednotlivých bodech stanovena činiteli denní osvětlenosti (viz tabulka 18), kteří jsou určeni na základě měření v laboratoři při zatažené obloze (kapitola 8.2.1), přičemž denní složka osvětlenosti bude stanovena pomocí externího senzoru osvětlení.

Při jasné obloze je využit interní senzor osvětlenosti, který společně s naměřenými poměry osvětlenosti při jasné obloze s použitím žaluzií (kapitola 8.2.2) slouží ke stanovení aktuální osvětlenosti v jednotlivých bodech místnosti (viz tabulka 31).

Tabulka 31. Stanovení intenzity denní osvětlenosti v místnosti pomocí jednoho senzoru

Řada u okna	2. (<i>Intenzita vnitřního osvětlení</i>)
Řada uprostřed	<i>Intenzita vnitřního osvětlení</i>
Řada u dveří	$\frac{\textit{Intenzita vnitřního osvětlení}}{2}$

Stav oblohy bude stejně jako u řízení žaluzií definovat tabulka 30 společně s naměřenými hodnotami venkovní osvětlenosti.

Stanovení požadovaného světelného toku zdrojů

Po stanovení aktuální osvětlenosti v jednotlivých bodech je nutné přepočítat nutnou kompenzaci umělého osvětlení. Daný přepočet je proveden pomocí bodové metody viz vzorec 3.15 (strana 29) popřípadě 3.16 (strana 30). U dané metody se však nebere v potaz světelná odrazivost materiálů a tím je celý vzorec zjednodušen. Bodová metoda je dále v ideálním případě vhodná pro světelné zdroje, jejichž rozměry se blíží k nule. Její výpočet ovšem platí s určitou chybou (10 %) i v případě, kdy největší rozměr světelného zdroje je menší než 1/3 vzdálenosti světelného zdroje od nejbližšího srovnávacího bodu (dle [17]), tedy:

$$s < \frac{l}{3} \quad (9.3)$$

$$0,6 < \frac{2,2}{3} \quad (9.4)$$

Kde: s největší rozměr světelného zdroje [m],

l vzdálenost světelného zdroje od nejbližšího srovnávacího bodu [m]

Pomocí bodové metody, a kosinové věty, lze i stanovit vliv okolních světél v místnosti ve všech výpočetních bodech při součtu všech světél v místnosti:

$$E_{bod1} = \sum_{i=1}^{12} \frac{I_i}{l_i^2} \cdot \cos \beta_i \quad (9.5)$$

$$I = \frac{\phi}{2 \cdot \pi \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right)} \quad (9.6)$$

Kde: E_{bod1} osvětlenost v bodě 1 [lx],

I svítivost světelného zdroje [cd],

l vzdálenost světelného zdroje od bodu 1 [m]

β úhel, pod kterým dopadá světelný paprsek na bod 1 [°],

ϕ světelný tok světelného zdroje [lm],

α vyzářovací úhel světelného zdroje [°].

Například výpočet osvětlenosti v bodě 3 při aktivních světlech pouze u bodů 3 a 6 při světelném toku zdrojů 1000 lx a bez vlivu denního osvětlení:

$$E_{světlo3} = \frac{\frac{1000}{2 \cdot \pi \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{110}{2}\right)\right)}}{2,2^2} \cdot \cos(0) = 77,1532 \text{ lx}$$

$$E_{světlo6} = \frac{\frac{1000}{2 \cdot \pi \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{110}{2}\right)\right)}}{2,8111^2} \cdot \cos(35,5) = 36,9807 \text{ lx}$$

$$E_{bod3} = E_{světlo3} + E_{světlo6} = 114,1339 \text{ lx}$$

Celé nadefinované vzorce pro celou laboratoř jsou umístěny v příloze souboru excel odevzaného společně s touto prací. Všechny výše zmíněné parametry světelné techniky budou cyklicky vypočítávány a měřeny každou minutu pomocí sběrnice instalace a logického kontroléru homeLynk, pomocí něhož budou výsledná data přeposílána po sběrnici cílovým účastníkům sběrnice a následně vizualizována.

Pro stanovení co nejmenších změn osvětlenosti je definována i tolerance vnitřního osvětlení ± 50 lx. Dále samotná intenzita osvětlení bude zvyšována a snižována po 10 % v každém cyklu dokud nedosáhne 500 lx, popřípadě požadované intenzity u činitele denního osvětlení.

9.3.2 Parametrizace KNX/DALI brány

Definování parametrů jednotlivých světelných zdrojů zajišťuje KNX/DALI brána, kterou je pro optimální funkci světelných zdrojů nutné správně nakonfigurovat. Konfigurace byla provedena pomocí softwaru ETS 4, do které byl naimportován plug-in konkrétního druhu brány.

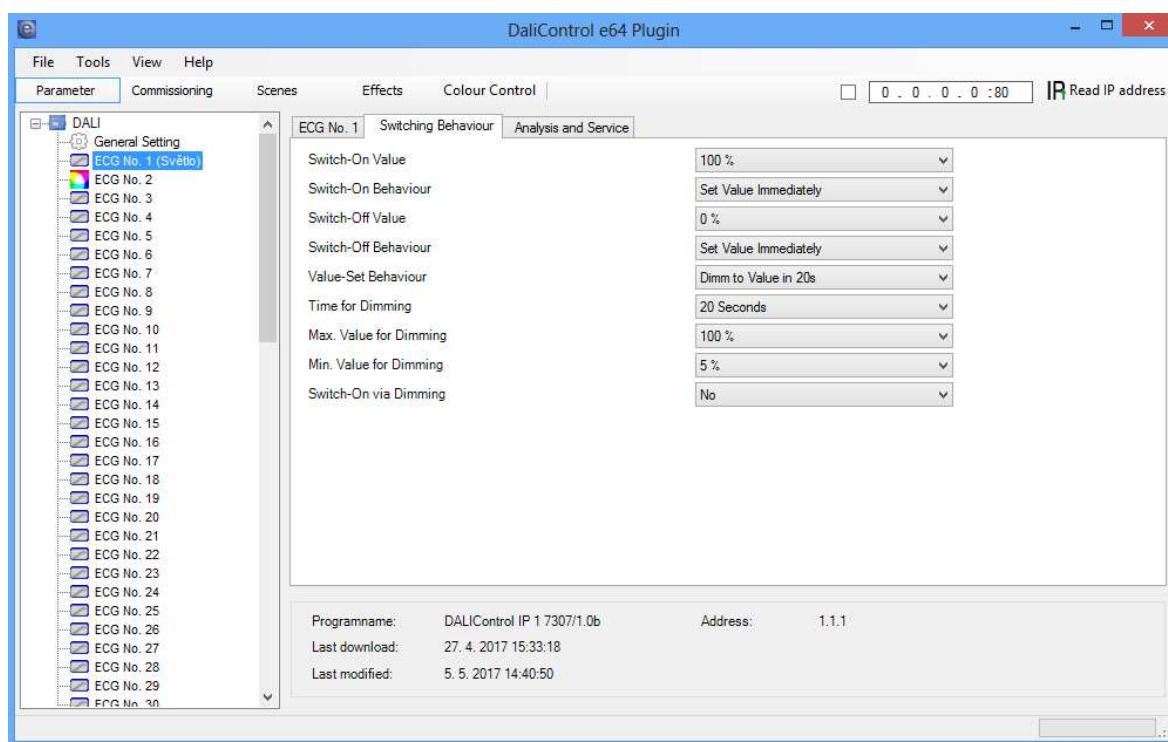
KNX/DALI brána, mimo jiné, slouží jako napájecí prvek pro předřadníky. Dále umožňuje napojení až 64 světel, které lze rozdělit do 16 skupin, které lze následně zapínat a vypínat, definovat požadovanou intenzitu světelného toku, popřípadě teplotu chromatičnosti.

Daný prvek lze parametrizovat přímo na konkrétním zařízení, nebo pomocí webového serveru, popřípadě softwaru ETS, který byl využit v rámci této práce.

Nejprve je nutné ve specifikacích přístroje vybrat správný typ používaného osvětlení, kdy v tomto případě se jedná o LED osvětlení s možností regulace teploty chromatičnosti. Ná-

sledně se definují parametry intenzity osvětlení při zapnutí a vypnutí světla. Důležitým parametrem je čas pro postupné přidávání nebo ubírání intenzity světelného toku při požadavku na jeho změnu. V rámci této práce byl nastavený čas pro změnu hodnoty intenzity světelného toku na 20 s, který zajistí dostatečně pomalou změnu osvětlení.

Dalším parametrem definujícím funkce KNX/DALI brány je rozsah stmívatelných hodnot. Zde se dají posunovat hranice stmívatelnosti jednotlivých světelných zdrojů. Každý typ světelného zdroje má odlišné hranice stmívatelnosti, přičemž světelný zdroj v rámci této práce je stmívatelný, s lineární charakteristikou, od 5 % až do 100 %, kdy je požadováno využití celého rozsahu. Následně lze jednotlivé světla rozdělit do určitých scén podle požadavku.



Obrázek 40. Parametrizace KNX/DALI brány v ETS 4

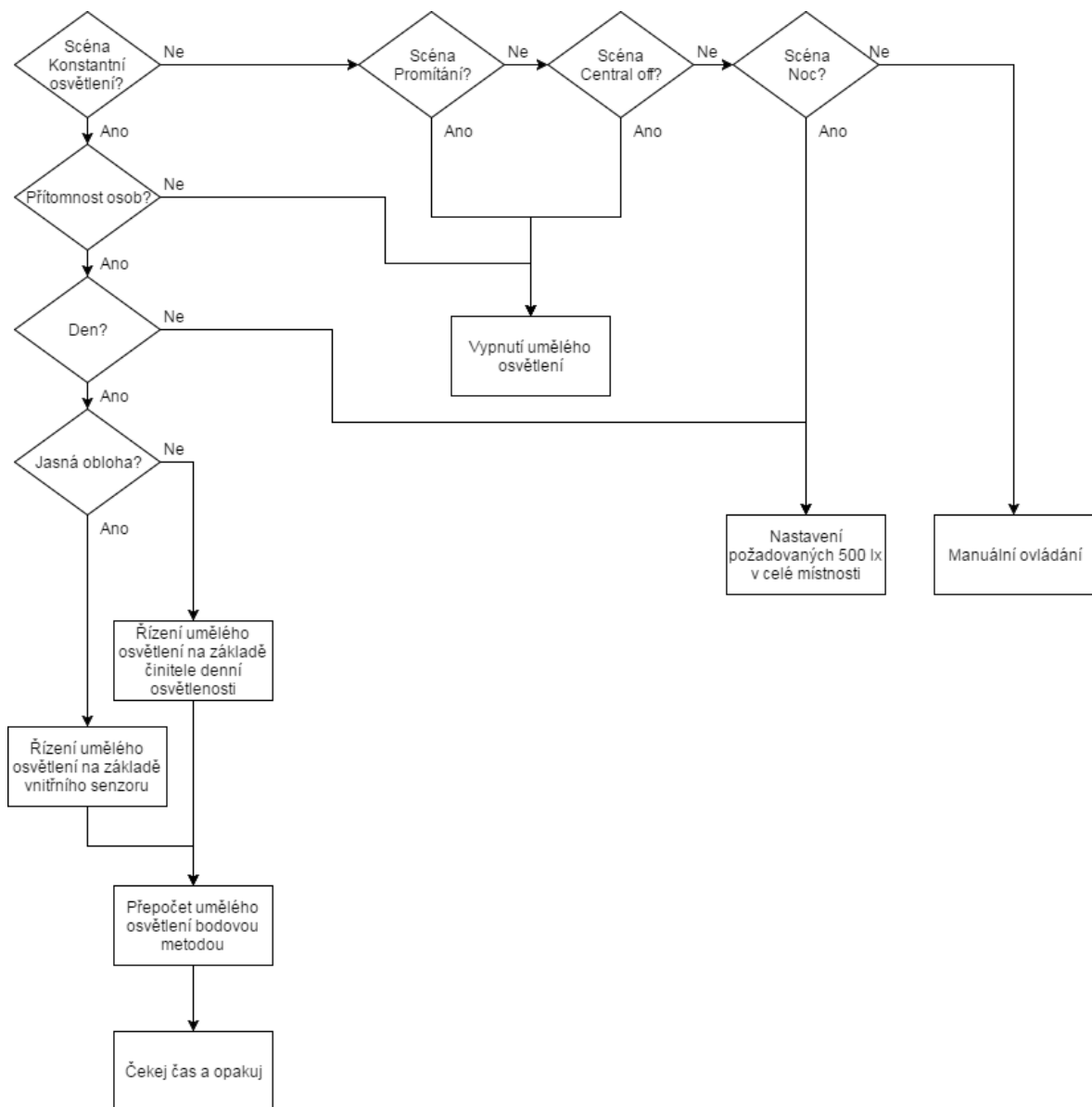
Komunikačními objekty sloužícími k definování stavu osvětlení, ke kterým se následně připojí skupinové adresy, jsou poté:

Tabulka 32. Komunikační objekty KNX/DALI brány

Funkce	Typ	Rozsah hodnot
Switch ON/OFF	1 bit	True / false
Dimming	4 bit	Poměrné stmívání 0 % - 100 %
Set Value	1 byte	0 - 255
Status ON/OFF	1 bit	True / false
Status Value	1 byte	0 - 255
Failure	1 bit	True / false

9.3.3 Algoritmus řízení a regulace umělého osvětlení

Algoritmus popisující regulaci umělého osvětlení je vyobrazen na obrázku 41.



Obrázek 41. Algoritmus řízení umělého osvětlení

Stejně jako u řízení stínícího systému algoritmus řízení a regulace umělého osvětlení vychází ze čtyř předem naprogramovaných světelných scén. Jedná se o scény promítání a central off, při kterých je umělé osvětlení vypnuto. Dále se jedná o scénu noc, která nastaví hodnoty světelných toků jednotlivých světel tak, aby splňovali požadavek na 500 lx a zároveň aby v místnosti byla co největší rovnoměrnost osvětlení. Poslední scénou je scéna konstantního osvětlení, kdy je řízení umělého osvětlení zajištěno pomocí posloupnosti určitých dotazů.

Základními informacemi pro automatické řízení umělého osvětlení (scéna konstantního osvětlení) je přítomnost osob v místnosti, indikace noci a stavu oblohy. Pokud se v místnosti nenachází žádné osoby (detekce po 5 minutách), je umělé osvětlení vypnuto, čímž je zajištěna úspora energií.

Při detekci přítomnosti osob jsou v nočním období nastaveny požadované hodnoty světelných toků pro jednotlivé světelné zdroje tak, aby splňovali předepsané normativní požadavky a rovnoměrné osvětlení. Přes den při zatažené obloze je poté umělé osvětlení řízeno na základě činitelů denní osvětlenosti pro jednotlivé body v místnosti. Při jasné obloze je využito senzoru vnitřního osvětlení, který s pomocí naměřených poměrů osvětlení v jednotlivých řadách stanovuje výsledné hodnoty světelných toků.

V období dne, při automatickém řízení osvětlení, jsou pro jednotlivé metody stanovení hodnot umělého osvětlení dále cyklicky přepočítávány vzájemné působení světelných zdrojů a tím je tak zaručeno řízení osvětlení na co nejvíce rovnoměrnou úroveň. Snižování a zvyšování úrovní světelných toků je zajištěno plynule v každém cyklu, při požadavku na snížení nebo zvýšení s tolerancí ± 50 lx, o 10 %. Pomocí parametrizace KNX/DALI brány (kapitola 9.3.2) jsou zaručené plynulé změny světelných toků zdrojů a tím tak zabráněno nežádoucím náhlým změnám osvětlení v místnosti.

Při aktivní scéně konstantního osvětlení se vyhodnocení světelného osvětlení a světelných toků zdrojů provádí cyklicky každou minut, čímž se zajistí požadované úrovně osvětlení během dne. Výpočty, vizualizace a samotné řízení poté zajišťuje kontrolér homeLynk.

Pokud není aktivní žádná s předem definovaných scén, lze umělé osvětlení řídit pomocí manuálního rozhraní definovaného vizualizací v kontroléru homeLynk.

9.4 Programování a vizualizace řídicího systému

Jak již bylo zmíněno veškeré výpočty pro řízení stínění a umělého osvětlení jsou realizovány pomocí naprogramovaných skriptů ve webovém prostředí homeLynku. V daném prostředí byla poté vytvořena i vizualizace místnosti spolu s jednotlivými zařízeními. Jelikož je řízení systému závislé na aktuálním času a datu je nutné tyto parametry správně nastavit. Při připojení homeLynku k internetu datovým vodičem je poté datum a čas automaticky aktualizovaný z příslušných serverů. Pokud není k dispozici internetové připojení je nutné dané parametry nastavit ručně v systému.

9.4.1 Programovací skripty

Příklad vytvořeného skriptu pro řízení a regulaci osvětlení je ukázán pomocí obrázku 42.

```
Scheduled: Automaticke_rizeni_osvetleni
-----Jasno-----
-----Řada u dveří-----
21 if Constant_light == true and Venkovni_osvetleni > 30000 and Vyska_slunce > 10 and Detekce_pritomnosti == true then
22
23
24
25 Value_Candela_S3 = Value_S3/(2*math.pi*(1-math.cos(math.rad(110/2))))
26 Value_Candela_S6 = Value_S6/(2*math.pi*(1-math.cos(math.rad(110/2))))
27 Value_Candela_S9 = Value_S9/(2*math.pi*(1-math.cos(math.rad(110/2))))
28 Value_Candela_S12 = Value_S12/(2*math.pi*(1-math.cos(math.rad(110/2))))
29
30 Value_Candela_S2 = Value_S2/(2*math.pi*(1-math.cos(math.rad(110/2))))
31 Value_Candela_S5 = Value_S5/(2*math.pi*(1-math.cos(math.rad(110/2))))
32 Value_Candela_S8 = Value_S8/(2*math.pi*(1-math.cos(math.rad(110/2))))
33 Value_Candela_S11 = Value_S11/(2*math.pi*(1-math.cos(math.rad(110/2))))
34
35 Value_Candela_S1 = Value_S1/(2*math.pi*(1-math.cos(math.rad(110/2))))
36 Value_Candela_S4 = Value_S4/(2*math.pi*(1-math.cos(math.rad(110/2))))
37 Value_Candela_S7 = Value_S7/(2*math.pi*(1-math.cos(math.rad(110/2))))
38 Value_Candela_S10 = Value_S10/(2*math.pi*(1-math.cos(math.rad(110/2))))
39
40 Prepecet_Value_S3 = Value_Candela_S3/math.pow(2.2,2)
41 Prepecet_Value_S6 = (Value_Candela_S6/math.pow(2.811139,2))*math.cos(math.rad(38.50065))
42 Prepecet_Value_S9 = (Value_Candela_S9/math.pow(4.134,2))*math.cos(math.rad(57.8477))
43 Prepecet_Value_S12 = (Value_Candela_S12/math.pow(5.692319,2))*math.cos(math.rad(67.264))
44
45 Prepecet_Value_S2 = (Value_Candela_S2/math.pow(3.2854,2))*math.cos(math.rad(47.9609))
46 Prepecet_Value_S5 = (Value_Candela_S5/math.pow(3.7224,2))*math.cos(math.rad(53.7008))
47 Prepecet_Value_S8 = (Value_Candela_S8/math.pow(4.8,2))*math.cos(math.rad(62.7314))
48 Prepecet_Value_S11 = (Value_Candela_S11/math.pow(6.1882,2))*math.cos(math.rad(69.3153))
49
50 Prepecet_Value_S1 = (Value_Candela_S1/math.pow(5.353,2))*math.cos(math.rad(65.7332))
51 Prepecet_Value_S4 = (Value_Candela_S4/math.pow(5.6318,2))*math.cos(math.rad(67.0058))
52 Prepecet_Value_S7 = (Value_Candela_S7/math.pow(6.3957,2))*math.cos(math.rad(69.8812))
53 Prepecet_Value_S10 = (Value_Candela_S10/math.pow(7.4978,2))*math.cos(math.rad(72.9379))
54
55 Celkem_3_6_9_12 = Prepecet_Value_S3 + Prepecet_Value_S6 + Prepecet_Value_S9 + Prepecet_Value_S12 + Prepecet_Value_S2 + Prepecet_Value_S5
56 Pozadavek_3_6_9_12 = (500 - 0.5*Vnitрни_osvetleni)
57
58 if (Pozadavek_3_6_9_12 - 50) > Celkem_3_6_9_12 then
59   Navyseni_3_6_9_12 = Value_S3 + 3500/10
60   if Navyseni_3_6_9_12 > 3500 then
61     Navyseni_3_6_9_12 = 3500
62   end
63   if Navyseni_3_6_9_12 < 0 or Navyseni_3_6_9_12 == 0 then
64     Navyseni_3_6_9_12 = 0
65   end
66   grp.write('1/1/43',Navyseni_3_6_9_12)
67   grp.write('1/1/58',Navyseni_3_6_9_12/1.8)
68   grp.write('1/1/73',Navyseni_3_6_9_12/1.8)
69   grp.write('1/1/83',Navyseni_3_6_9_12)
70 end
71
72 if (Pozadavek_3_6_9_12 + 50) < Celkem_3_6_9_12 then
73   Navyseni_3_6_9_12 = Value_S3 - 3500/10
74   if Navyseni_3_6_9_12 > 3500 then
75     Navyseni_3_6_9_12 = 3500
76   end
77   if Navyseni_3_6_9_12 < 0 or Navyseni_3_6_9_12 == 0 then
78     Navyseni_3_6_9_12 = 0
79   end
80   grp.write('1/1/43',Navyseni_3_6_9_12)
81   grp.write('1/1/58',Navyseni_3_6_9_12/1.8)
82   grp.write('1/1/73',Navyseni_3_6_9_12/1.8)
83   grp.write('1/1/83',Navyseni_3_6_9_12)
84 end
85 end
```

Obrázek 42. Část skriptu pro řízení světelného toku světél v řadě u dveří při jasné obloze

Programování celého systému, společně s definováním funkcí 96. skupinových komunikačních objektů, bylo provedeno pomocí dvou druhů skriptů, a to skripty založenými na změně stavu a cyklicky se opakujícími skripty. Dále byl uplatněn i inicializační skript, kterým byl definován stav systému po jeho softwarovém nebo hardwarovém restartu.

Inicializační skript deaktivuje veškeré osvětlení a scény, umísťuje polohu žaluzií do plně otevřené polohy, detekuje aktuální čas a datum a výpočtem stanoví veškeré aktuální sluneční parametry.

Cyklicky opakující skripty jsou vytvořeny pro výpočet parametrů sluneční polohy a požadovaného náklonu lamel žaluzií (každých 15 minut), dále pro detekci a přepočtení osvětlení v místnosti (každou minutu) a vyobrazení aktuálního data s časem.

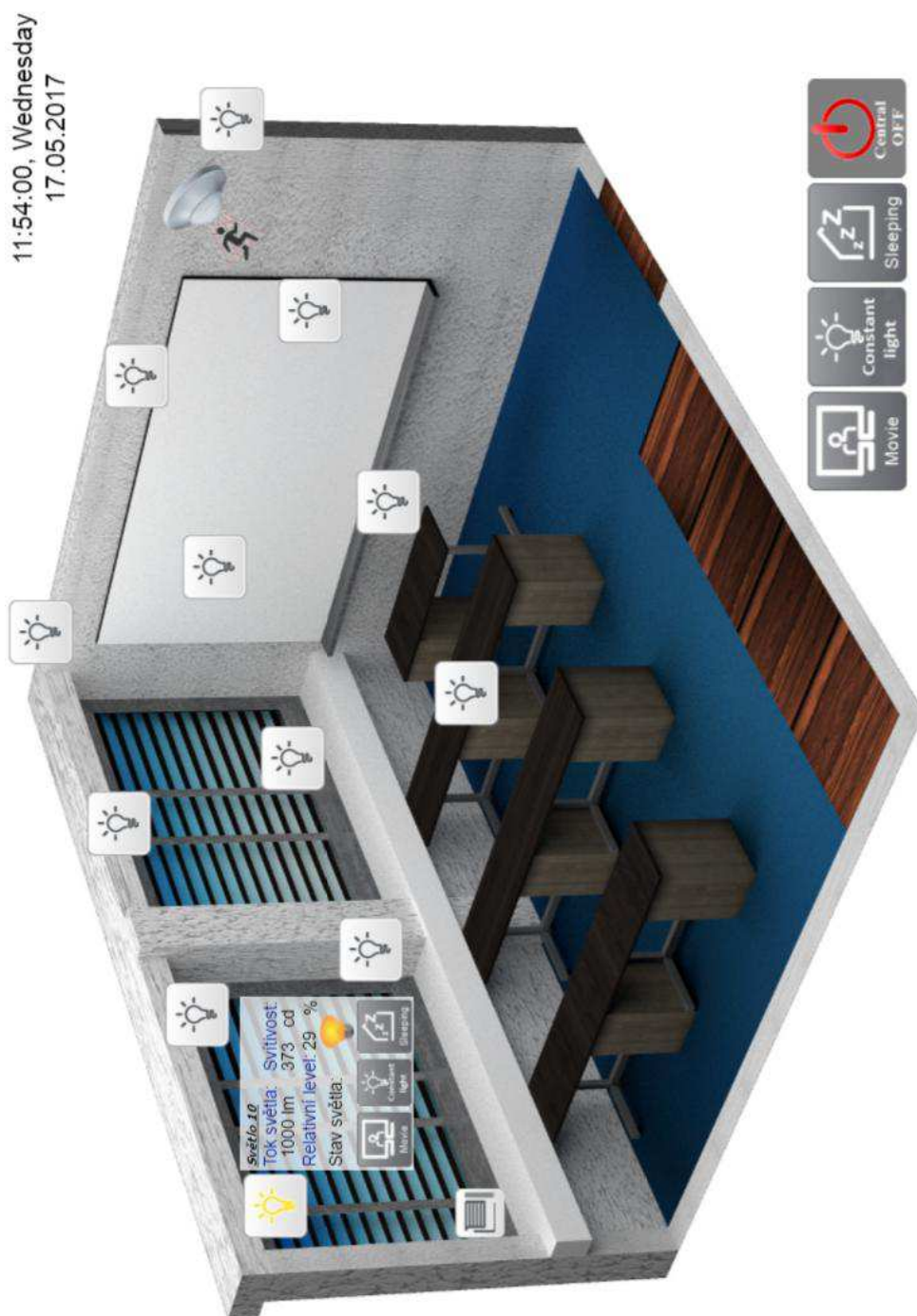
Pomocí skriptů reagujících na změnu stavu určité skupinové adresy jsou poté definovány funkce jednotlivých scén systému, přepočty na procentuální hodnotu výšky žaluzií, náklonu lamel, světelného výkonu a další parametry světelných zdrojů.

9.4.2 Vizualizace řídicího systému

Řízení celého systému obsahujícího stínící techniku a umělé osvětlení je zajištěno pomocí webového rozhraní vytvořeného v programovacím prostředí kontroléru homeLynk. Webové rozhraní mimo jiné obsahuje ikony s jednotlivými světelnými zdroji a žaluziemi, které po aktivaci zobrazí widgety, jejichž obsahem jsou informace o konkrétním zařízení a aktivované scéně. Další widget lze aktivovat při použití ikony slunce, jehož obsahem jsou poté veškeré sluneční parametry. Na obrázku 43 jsou poté jednotlivé widgety vyobrazeny.



Obrázek 43. Widgety pro světelné zdroje, žaluzie a slunce



Obrázek 44. Vzhled vizualizačního prostředí

Widgety světel (viz obrázek 43) obsahují proměnnou s hodnotou světelného toku, který slouží pro zápis i čtení. Tedy v případě požadavku na manuální ovládání lze intenzitu jednotlivých světel ovládat změnami této hodnoty. Následně jsou s její pomocí stanoveny hodnoty svítivosti a úrovně výkonu světelného zdroje v procentech. Posledním zobrazovacím parametrem u světelných zdrojů je jejich status, tedy jestli jsou aktivní nebo ne.

Widgety se žaluziemi obsahují hodnoty výškových stavů žaluzií a náklonů lamel. Zde pro zápis hodnot slouží proměnná definovaná procentama. Pomocí dané proměnné jsou následně vypočítány hodnoty v rozsahu 1 bytu (0 – 255), které následně zajistí požadovaný stav. Jak widgety se světelnými zdroji, tak se žaluziemi obsahují dále ikony charakterizující aktivní scény systému.

Poslední widget definuje parametry slunce, pomocí nichž lze analyzovat jednotlivé sluneční veličiny. Jedná se o hodnoty sluneční deklinace, výšky slunce nad obzorem, azimutu slunce, úhlu dopadu, difuzního, přímého a celkového záření a také venkovní intenzity osvětlení a teploty vzduchu.

Výsledná řídicí vizualizace je vyobrazena na obrázku 44. S její pomocí lze dosáhnout komplexní regulace světelné techniky a analýzy jednotlivých stavů v dané laboratoři. Výsledné programy, tedy zálohovaný projekt v ETS 4 a programové prostředí homeLynku, jsou společně se soubory pro analýzu osvětlení v programu DIALux přiloženy k této diplomové práci.

ZÁVĚR

Návrh řízení osvětlení ve vnitřním prostředí zahrnuje širokou škálu souvisejících činností, definujících osvětlovaný vnitřní prostor, dynamiku světla a světelné parametry, specifikaci řídicího systému a v neposlední řadě samotné požadavky uživatele.

Cílem této diplomové práce byla realizace automatického řízení osvětlení v laboratoři světelné techniky. K samotnému řízení a regulaci byla využita stínicí technika a světelné zdroje typu LED s možností řízení teploty chromatičnosti a intenzity osvětlení. Pro maximální komfort uživatelů byl v co nejvyšší míře zajištěn přístup denního osvětlení, jehož působení má pozitivní vliv na psychiku uživatelů a efektivitu pracovních činností. Světelná pohoda byla také zajištěna co nejvyšší konstantní osvětleností v celé laboratoři při dodržení normových požadavků.

Intenzita osvětlení v laboratoři je měřena externím a interním senzorem, které poskytují zpětnou vazbu při systémové regulaci. Stínicí technika je regulována na základě informací od venkovního senzoru a výpočtu slunečního azimutu, včetně řízení náklonu lamel dle výpočtů výšky slunce nad obzorem. Vnitřní umělé osvětlení je regulováno pomocí zpětné vazby jak od vnitřního, tak venkovního senzoru, díky čemuž byla zahrnuta do celkového výpočtu denní (činitel denní osvětlenosti) a umělá složka spolu s vlivem jednotlivých světelných zdrojů. Korekce vlivu světelných zdrojů byla provedena pomocí výpočetní bodové metody. U umělého osvětlení byl dále kladen důraz na pozvolnou změnu světelného toku zdrojů, která byla zajištěna cyklicky s určitou výkonovou hodnotou.

V rámci návrhu bylo provedeno velké množství měření, s jehož pomocí probíhala analýza osvětlení místnosti, včetně simulování světelných podmínek v prostředí DIALux. Základním předpokladem kvalitní analýzy osvětlení, pomocí které vzniká návrh řízení, byla realizace laboratoře, která se do konce této diplomové práce nestihla uskutečnit. Z daného důvodu probíhalo měření ve stávající místnosti s odlišným zařízením a světelnými zdroji. Pro stanovení aktuálních světelných podmínek a světelné dynamiky v laboratoři proto doporučuji provést opětovnou analýzu po realizaci laboratoře a její výsledky následně zahrnout do programové aplikace.

Světelná a stínicí technika byla realizována ve výukovém prostředí pomocí inteligentní sběrníkové instalace KNX a DALI, jejíž jednotlivé zařízení byly parametrizovány v softwaru ETS 4 dle požadované funkce. Kromě automatického režimu byly dále vytvořeny tři světelné scény, pomocí nichž lze osvětlení uskutečnit. Programování jednotlivých

funkcí, společně s vizualizací definující rozhraní mezi uživatelem a aplikací, bylo následně provedeno ve webovém prostředí homeLynku.

Výstupem práce, kromě analýzy současného stavu osvětlení v místnosti společně s vytvořenými modely simulace, je komplexní program s vizualizací pro automatické řízení stínící techniky a umělého osvětlení, společně s dalšími scénami, který bude aplikován v laboratoři D308 na Fakultě aplikované informatiky UTB. Do budoucna je možné rozšíření programu dle požadavků na výzkum v laboratoři.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HABEL, Jiří et al. *Světlo a osvětlování*. Praha: FCC Public, 2013, 624 s. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [2] ČSN EN 12 464: *Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů*. Praha: Český normalizační institut, 2012.
- [3] ČSN 73 0580: *Denní osvětlení budov*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [4] ČSN 36 0020: *Sdružené osvětlení*. Praha: Český normalizační institut, 2015.
- [5] SOKANSKÝ, Karel et al. *Světelná technika*. Praha: ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-04941-9.
- [6] RYBÁR, Peter et al. *Denní osvětlení a oslunění budov*. Brno: ERA group spol., 2001. ISBN 80-86517-33-0.
- [7] MARKOVÁ, Lidmila a Zuzana VYORALOVÁ. *Technická zařízení budov 40: Umělé osvětlení, elektrorozvody, hromosvody*. Vyd. 5. Praha: ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03147-0.
- [8] Světlo pro plochou střechu. *Můj Dům* [online]. Praha: Business Media CZ, 2015 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: https://mujdum.dumabyt.cz/rubriky/stavba/svetlo-pro-plochou-strechu_538.html.
- [9] Jak funguje světlovod. *SOLATUBE* [online]. Horoměřice: WT-WINDOWS TOMORROW, 2014 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.solatube.cz/technologie/jak-funguje-svetlovod>.
- [10] Energeticky úsporné osvětlování v domácnostech: přehled technologií a legislativy. *Evropská komise* [online]. Praha: Zastoupení Evropské komise v České republice, 2010 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/czech-republic/sites/czech-republic/files/brozurazarovky.pdf>.
- [11] Automatické řízení osvětlení místností na konstantní hodnotu. *E-Light* [online]. Brno: A-Light, 2011 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <https://www.e-light.cz/zprava/automaticke-rizeni-osvetleni-kancelare-na-konstatni-hodnotu>.

- [12] SOKANSKÝ, Karel et al. Inteligentní řízení osvětlovacích soustav vnitřního osvětlení [online]. Ostrava: VŠB-TU, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2003 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.csorsostrava.cz>.
- [13] ČSN EN 12665: *Světlo a osvětlení – Základní termíny a kritéria pro stanovení požadavků na osvětlení*. Praha: Český normalizační institut, 2012.
- [14] MERZ, Hermann, Thomas HANSEMANN a Christof Hubner. *Automatizované systémy budov*. Praha: Grada, 2008. ISBN 978-80-247-2367-9.
- [15] KNX liniová a řadová spojka. *SCHRACK Technick* [online]. Praha: Schrack Technik, 2017 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.schrack.cz/eshop/knx-liniová-a-radová-spojka-kxik00rk.html>
- [16] ETS 5.5 news. *Training KNX* [online]. Los Angeles, 2017 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.training-knx.com/ets-5-5-news/>
- [17] BYSTRICKÝ, Václav a Jan KAŇKA. *Osvětlení*. 2. Vyd. Praha: ČVUT, 1997. ISBN 80-01-01585-8.
- [18] Světlo [online]. 2008, 9 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/obsah-cisla-04-2008--357>
- [19] DIALux [online]. DIAL GmbH, 2014 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.dial.de/DIAL/en/dialux-international-download.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

E	Intenzita osvětlení (lx)
D	Činitel denní osvětlenosti (%)
φ	Zeměpisná šířka (°)
λ	Zeměpisná délka (°)
K	Světelný účinek monochromatického záření (lm/W)
V	Poměrná světelná účinnost (-)
T_C	Teplota chromatičnosti (K)
P	Elektrický výkon (W)
η	Měrný výkon (lm/W)
R_a	Všeobecný index podání barev (-)
L	Jas (cd/m^2)
I_Y	Svítivost (cd)
$d\Omega$	Elementární prostorový úhel (sr)
μ	Činitel účinnosti (-)
z	Udržovací činitel (-)
η_E	Činitel využití (-)
ρ	Činitel odrazu (-)
f	Frekvence (Hz)
L	Indukce (H)
C	Meridiánová konvergence (°)
A_V	Azimut vertikální roviny (°)
U_0	Rovnoměrnost osvětlení (-)
A	Sluneční azimut (°)
h	Výška slunce nad obzorem (°)
δ	Sluneční deklinace (°)

τ	Hodinový úhel ($^{\circ}$)
I_D	Přímé sluneční záření (W/m^2)
I_d	Difuzní sluneční záření (W/m^2)
I	Celkové sluneční záření (W/m^2)
γ	Úhel dopadu ($^{\circ}$)
α	Úhel náklonu lamel ($^{\circ}$)
ČSN	Česká Technická Norma
DALI	Digital Addressable Lighting Interface
DSI	Digital Seriál Interface
EN	Evropská Norma
IEC	International Electrotechnical Commission
IP	Internet Protocol
LED	Light Emitting Diode
PL	Power Line
PSC	Pravý Sluneční Čas
PWM	Pulse Width Modulation
RF	Radio Frequency
SEČ	Středoevropský Čas
TP	Twisted Pair
URG	Unified Glare Rating
USB	Universal Serial Bus

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Závislost spektrální hustoty na vlnové délce [5].....	16
Obrázek 2. Zobrazení principu bodové metody [6].....	22
Obrázek 3. Výpočet osvětlenosti pomocí bodové metody [1].....	28
Obrázek 4. Druhy světlíků a účinnost osvětlovacích systémů (při poměru celkové plochy otvorů ku ploše srovnávací vodorovné roviny 1:6) [6]	31
Obrázek 5. Složení světlovodu [9].....	32
Obrázek 6. Regulace a přesměrování denního světla na strop, a) skleněné tvárnice, b) žaluzie [6]	34
Obrázek 7. Blokové schéma zapojení elektronického předřadníku [1]	35
Obrázek 8. Fázové řízení na rostoucí části (vlevo) a na klesající části (vpravo) sinusového průběhu [1]	37
Obrázek 9. Závislost měrného výkonu výboje na tlaku rtuťových par u vysokotlakého výbojového zdroje [1]	38
Obrázek 10. Vývoj měrného výkonu LED diod [1]	39
Obrázek 11. Metoda PWM [1]	40
Obrázek 12. Konstantní úroveň osvětlení [11]	41
Obrázek 13. Příklad zapojení světelné soustavy pomocí DALI sběrnice [12]	44
Obrázek 14. Schéma realizace samostatného DALI systému [12].....	44
Obrázek 15. Schéma realizace samotného podsystému DALI [12]	45
Obrázek 16. Schéma realizace závislého podsystému DALI [12].....	46
Obrázek 17. Schéma zapojení sběrnice spojky a aplikačního modulu [14]	47
Obrázek 18. Liniová spojka [15]	47
Obrázek 19. Zapojení liniových segmentů s liniovými opakovači do jedné linie [14]	48
Obrázek 20. Obsah individuální adresy	48
Obrázek 21. Obsah dvouúrovňové a tříúrovňové skupinové adresy	49
Obrázek 22. Logo ETS 5 [16].....	49
Obrázek 23. Umístění laboratoře na FAI UTB a zvirazněná okna místnosti D308	51
Obrázek 24. Půdorysné zobrazení laboratoře D308	52
Obrázek 25. Rozložení měřicích a výpočtových bodů v místnosti D308.....	53
Obrázek 26. Blokové schéma zapojení KNX instalace	56
Obrázek 27. Světelné zdroje typu LED s předřadníkem	57
Obrázek 28. Vzhled a parametry žaluzií.....	58

Obrázek 29. Modelová místnost v programu DIALux	64
Obrázek 30. Barevné podání pracovní roviny při zatažené obloze	67
Obrázek 31. Definované náklony žaluzií pro měření	68
Obrázek 32. Barevné podání pracovní roviny při jasné obloze	72
Obrázek 33. Parametrizování vnitřního senzoru osvětlení v prostředí ETS 4.....	79
Obrázek 34. Parametrizování detektoru přítomnosti v prostředí ETS 4.....	79
Obrázek 35. Parametrizace externího senzoru osvětlení a teploty	80
Obrázek 36. Definování přímých slunečních paprsků v závislosti na slunečním azimutu	83
Obrázek 37. Definice stanovení požadovaného náklonu lamel.....	84
Obrázek 38. Parametrizování žaluziového akčního členu v prostředí ETS 4.....	85
Obrázek 39. Algoritmus regulace stínící techniky.....	86
Obrázek 40. Parametrizace KNX/DALI brány v ETS 4.....	91
Obrázek 41. Algoritmus řízení umělého osvětlení	92
Obrázek 42. Část skriptu pro řízení světelného toku světél v řadě u dveří při jasné obloze.....	94
Obrázek 43. Widgety pro světelné zdroje, žaluzie a slunce	95
Obrázek 44. Vzhled vizualizačního prostředí.....	96

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1. Osvětlenost v místě zrakového úkolu a bezprostředního okolí úkolu [2]	11
Tabulka 2. Zrakové činnosti v závislosti na činiteli denní osvětlenosti [3].....	12
Tabulka 3. Hodnoty činitele denní osvětlenosti [4]	13
Tabulka 4. Jasové poměry mezi pozorovaným předmětem a osvětlovacím otvorem [4]	14
Tabulka 5. Barevné tóny světelných zdrojů [2].....	16
Tabulka 6. Teplota chromatičnosti pro různé světelné zdroje [5]	17
Tabulka 7. Hodnoty příkonů a měrného výkonu světelných zdrojů [5]	18
Tabulka 8. Životnost jednotlivých světelných zdrojů [5]	20
Tabulka 9. Předpokládané hodnoty měrný příkonů [7]	26
Tabulka 10. Požadavky na osvětlení místnosti dle normy ČSN EN 12 464 [2].....	54
Tabulka 11. Požadované hodnoty denní osvětlenosti místnosti dle ČSN 73 0580 [3].....	54
Tabulka 12. Parametry světelných zdrojů a jejich předřadníků.....	57
Tabulka 13. Technické parametry pohonů	58
Tabulka 14. Hodnoty výšky slunce v jednotlivých hodinách a měsících.....	60
Tabulka 15. Hodnoty slunečního azimutu v průběhu roku a dne	60
Tabulka 16. Hodnoty solární radiace během dne a roku	62
Tabulka 17. Parametry sond FLA623VL a FLA603VL2 (vpravo)	65
Tabulka 18. Naměřené a vypočítané hodnoty osvětlení při zatažené obloze	66
Tabulka 19. Simulované hodnoty osvětlenosti pro zataženou oblohu.....	67
Tabulka 20. Naměřené a vypočítané hodnoty osvětlení při jasné obloze a náklonu 90°	68
Tabulka 21. Naměřené a vypočítané hodnoty osvětlení při jasné obloze a náklonu 105°.....	69
Tabulka 22. Naměřené a vypočítané hodnoty osvětlení při jasné obloze a náklonu 120°.....	70
Tabulka 23. Naměřené a vypočítané hodnoty osvětlení při jasné obloze a náklonu 135°.....	70
Tabulka 24. Naměřené a vypočítané hodnoty osvětlení při jasné obloze a náklonu 150°.....	71
Tabulka 25. Naměřené a vypočítané hodnoty osvětlení při jasné obloze a náklonu 165°.....	71
Tabulka 26. Simulované hodnoty osvětlenosti pro jasnou oblohu s vlivem žaluzií.....	73

Tabulka 27. Naměřené hodnoty umělého osvětlení.....	74
Tabulka 28. Naměřené hodnoty umělého osvětlení řady u dveří a řad uprostřed a u okna	75
Tabulka 29. Definice ukazatelů stavů osvětlení	77
Tabulka 30. Definování stavu oblohy	82
Tabulka 31. Stanovení intenzity denní osvětlenosti v místnosti pomocí jednoho senzoru.....	88
Tabulka 32. Komunikační objekty KNX/DALI brány	92

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Naměřená data osvětlenosti laboratoře

PŘÍLOHA P I: NAMĚŘENÁ DATA OSVĚTLENOSTI LABORATOŘE

Měření denní osvětlenosti při zatažené obloze

Datum: 12. 4. 2017

Tabulka 1. Naměřená data osvětlenosti při zatažené obloze

Bod	Čas měření	E_I [lx]	E_E [lx]	D [%]	\bar{E}_I [lx]	\bar{D} [%]	Relativní chyba [%]
Bod 1	11:17:05	2194	19312	11,36	2218	11,38	0,38
	11:17:10	2199	19349	11,36			
	11:17:15	2201	19362	11,37			
	11:17:20	2206	19403	11,37			
	11:17:25	2211	19481	11,35			
	11:17:30	2216	19518	11,35			
	11:17:35	2225	19624	11,34			
	11:17:40	2234	19633	11,38			
	11:17:45	2242	19612	11,43			
	11:17:50	2250	19600	11,48			
Bod 2	11:18:04	612	19384	3,16	621	3,20	0,90
	11:18:09	612	19373	3,16			
	11:18:14	616	19341	3,19			
	11:18:19	620	19296	3,21			
	11:18:24	622	19146	3,25			
	11:18:29	624	19473	3,20			
	11:18:34	626	19413	3,22			
	11:18:39	626	19384	3,23			
	11:18:44	625	19481	3,21			
	11:18:49	623	19518	3,19			
Bod 3	11:19:02	255	19633	1,30	259	1,34	1,62
	11:19:06	254	19612	1,30			
	11:19:11	260	19384	1,34			
	11:19:16	260	19373	1,34			
	11:19:21	259	19341	1,34			
	11:19:26	259	19296	1,34			
	11:19:31	259	19178	1,35			
	11:19:36	259	19145	1,35			
	11:19:41	260	19231	1,35			
11:19:46	260	19267	1,35				

Bod	Čas měření	E_I [lx]	E_E [lx]	D [%]	\bar{E}_I [lx]	\bar{D} [%]	Relativní chyba [%]
Bod 4	11:20:13	2024	19212	10,54	2006	10,41	0,81
	11:20:18	2027	19315	10,49			
	11:20:23	2018	19341	10,43			
	11:20:28	2012	19296	10,43			
	11:20:33	2007	19178	10,47			
	11:20:38	2004	19145	10,47			
	11:20:43	1999	19231	10,39			
	11:20:48	1995	19267	10,35			
	11:20:53	1990	19341	10,29			
	11:20:58	1984	19296	10,28			
Bod 5	11:21:14	575	19413	2,96	574	2,99	0,63
	11:21:19	576	19347	2,98			
	11:21:24	576	19322	2,98			
	11:21:29	574	19313	2,97			
	11:21:34	573	19249	2,98			
	11:21:39	573	19125	3,00			
	11:21:44	574	19113	3,00			
	11:21:49	574	19056	3,01			
	11:21:54	573	19014	3,01			
	11:21:59	571	18919	3,02			
Bod 6	11:22:15	250	18729	1,34	245	1,32	0,99
	11:22:20	249	18669	1,34			
	11:22:25	247	18638	1,33			
	11:22:30	247	18543	1,33			
	11:22:35	244	18479	1,32			
	11:22:40	243	18424	1,32			
	11:22:45	243	18392	1,32			
	11:22:50	242	18412	1,31			
	11:22:55	241	18465	1,30			
	11:23:00	240	18498	1,30			
Bod 7	11:23:17	1472	18549	7,94	1453	7,83	0,69
	11:23:22	1475	18632	7,92			
	11:23:27	1468	18729	7,84			
	11:23:32	1459	18669	7,82			
	11:23:37	1454	18638	7,80			
	11:23:42	1448	18543	7,81			
	11:23:47	1443	18424	7,83			
	11:23:52	1439	18392	7,82			
	11:23:57	1436	18412	7,80			
	11:24:02	1433	18465	7,76			

Bod	Čas měření	E_I [lx]	E_E [lx]	D [%]	\bar{E}_I [lx]	\bar{D} [%]	Relativní chyba [%]
Bod 8	11:24:19	516	18632	2,77	510	2,75	0,97
	11:24:23	515	18729	2,75			
	11:24:28	514	18669	2,75			
	11:24:33	512	18424	2,78			
	11:24:38	511	18392	2,78			
	11:24:43	509	18412	2,77			
	11:24:48	508	18465	2,75			
	11:24:53	507	18541	2,73			
	11:24:58	506	18675	2,71			
	11:25:03	506	18712	2,70			
Bod 9	11:25:23	187	18746	1,00	186	0,99	0,88
	11:25:28	187	18754	1,00			
	11:25:33	187	18763	1,00			
	11:25:38	187	18772	1,00			
	11:25:43	186	18862	0,99			
	11:25:48	186	18920	0,98			
	11:25:53	186	18931	0,98			
	11:25:58	186	18946	0,98			
	11:26:03	186	18973	0,98			
11:26:08	185	18946	0,98				
Bod 10	11:26:38	1662	18549	8,96	1677	9,03	0,98
	11:26:43	1671	18632	8,97			
	11:26:48	1672	18729	8,93			
	11:26:53	1674	18729	8,94			
	11:26:58	1677	18669	8,98			
	11:27:03	1678	18638	9,00			
	11:27:08	1681	18465	9,10			
	11:27:13	1682	18498	9,09			
	11:27:18	1685	18549	9,08			
	11:27:23	1688	18351	9,20			
Bod 11	11:27:47	464	18453	2,51	470	2,56	1,04
	11:27:51	466	18476	2,52			
	11:27:56	468	18512	2,53			
	11:28:01	469	18314	2,56			
	11:28:06	470	18345	2,56			
	11:28:11	471	18367	2,56			
	11:28:16	472	18376	2,57			
	11:28:21	473	18346	2,58			
	11:28:26	474	18353	2,58			
	11:28:31	475	18321	2,59			

Bod	Čas měření	E_I [lx]	E_E [lx]	D [%]	\bar{E}_I [lx]	\bar{D} [%]	Relativní chyba [%]
Bod 12	11:28:56	192	18608	1,03	195	1,06	1,47
	11:29:01	193	18579	1,04			
	11:29:06	195	18561	1,05			
	11:29:11	195	18543	1,05			
	11:29:16	196	18531	1,05			
	11:29:21	196	18499	1,06			
	11:29:26	196	18491	1,06			
	11:29:31	197	18364	1,07			
	11:29:36	197	18342	1,08			
	11:29:41	198	18333	1,08			

Měření denní osvětlenosti při jasné obloze – žaluzie 90°

Datum: 11. 4. 2017

Tabulka 2. Naměřená data osvětlenosti při jasné obloze a nákonu lamel 90°

Bod	Čas měření	E_I [lx]	E_E [lx]	\bar{E}_I [lx]	Relativní chyba [%]
Bod 1	11:18:54	1157	88 920	1158	0,11
	11:18:59	1156	88 950		
	11:19:04	1157	88 990		
	11:19:09	1157	89 120		
	11:19:14	1158	89 180		
	11:19:19	1158	89 050		
	11:19:24	1158	89 100		
	11:19:29	1159	89 200		
	11:19:34	1159	89 250		
	11:19:39	1160	89 380		
Bod 2	11:20:07	634	89 540	643	0,52
	11:20:12	640	89 650		
	11:20:17	643	89 640		
	11:20:22	643	89 460		
	11:20:27	644	89 460		
	11:20:32	645	89 760		
	11:20:37	645	89 640		
	11:20:42	645	89 730		
	11:20:47	645	89 650		
11:20:52	645	89 760			

Bod	Čas měření	E_I [lx]	E_E [lx]	\bar{E}_I [lx]	Relativní chyba [%]
Bod 3	11:21:07	317	89 250	323	0,65
	11:21:18	324	89 460		
	11:21:23	324	89 760		
	11:21:28	324	89 850		
	11:21:33	324	89 960		
	11:21:38	324	89 650		
	11:21:43	324	89 450		
	11:21:48	324	89 470		
	11:21:53	324	89 120		
	11:21:58	324	89 310		
Bod 4	11:22:37	1029	89 380	1035	0,23
	11:22:42	1034	89 980		
	11:22:47	1035	89 940		
	11:22:52	1035	89 830		
	11:22:57	1036	90 580		
	11:23:02	1036	90 150		
	11:23:07	1036	90 420		
	11:23:12	1036	90 120		
	11:23:17	1036	89 950		
	11:23:22	1036	89 850		
Bod 5	11:23:48	614	89 960	616	0,16
	11:23:53	617	89 650		
	11:23:58	617	89 460		
	11:24:03	617	89 760		
	11:24:08	617	89 640		
	11:24:13	617	89 730		
	11:24:18	617	89 310		
	11:24:23	617	89 380		
	11:24:28	617	89 980		
	11:24:33	617	89 940		
Bod 6	11:25:02	317	89 830	320	0,30
	11:25:07	320	90 150		
	11:25:12	320	90 420		
	11:25:17	320	90 120		
	11:25:22	320	89 950		
	11:25:27	320	89 850		
	11:25:32	320	89 640		
	11:25:37	320	89 460		
	11:25:42	320	89 460		
	11:25:47	320	89 760		

Bod	Čas měření	E_I [lx]	E_E [lx]	\bar{E}_I [lx]	Relativní chyba [%]
Bod 7	11:26:19	975	89 120	1000	0,90
	11:26:24	1005	89 180		
	11:26:29	1003	89 050		
	11:26:34	1004	89 100		
	11:26:39	1003	89 200		
	11:26:44	1003	89 650		
	11:26:49	1003	89 640		
	11:26:54	1003	89 460		
	11:26:59	1003	89 460		
	11:27:04	1003	89 760		
Bod 8	11:27:32	613	89 120	617	0,21
	11:27:37	616	89 180		
	11:27:42	617	89 050		
	11:27:47	617	89 100		
	11:27:52	617	89 200		
	11:27:57	617	89 250		
	11:28:02	618	89 460		
	11:28:07	617	88 950		
	11:28:12	617	88 760		
	11:28:17	618	89 960		
Bod 9	11:28:44	354	89 450	355	0,17
	11:28:49	355	88 940		
	11:28:54	356	88 750		
	11:28:59	356	88 630		
	11:29:04	356	89 150		
	11:29:09	355	89 450		
	11:29:14	355	89 460		
	11:29:19	355	89 760		
	11:29:24	355	89 120		
	11:29:29	355	89 180		
Bod 10	11:29:56	1132	89 050	1138	0,21
	11:30:01	1137	89 100		
	11:30:06	1139	89 200		
	11:30:11	1140	89 250		
	11:30:16	1138	89 050		
	11:30:21	1138	89 100		
	11:30:26	1136	89 200		
	11:30:31	1137	89 960		
	11:30:36	1139	89 650		
	11:30:41	1139	89 460		

Bod	Čas měření	E_I [lx]	E_E [lx]	\bar{E}_I [lx]	Relativní chyba [%]
Bod 11	11:31:12	563	89 760	568	0,42
	11:31:17	566	89 640		
	11:31:22	566	89 730		
	11:31:27	567	89 940		
	11:31:32	568	89 830		
	11:31:37	569	90 580		
	11:31:42	569	90 150		
	11:31:47	570	90 420		
	11:31:52	570	90 120		
	11:31:57	571	89 100		
Bod 12	11:32:31	238	89 200	238	0,19
	11:32:36	237	89 250		
	11:32:41	238	89 380		
	11:32:46	238	89 540		
	11:32:51	238	89 650		
	11:32:56	238	89 640		
	11:33:01	238	89 460		
	11:33:06	238	90 150		
	11:33:11	239	89 870		
	11:33:16	239	90 250		

Měření denní osvětlenosti při jasné obloze – žaluzie 105°

Datum: 11. 4. 2017

Tabulka 3. Naměřená data osvětlenosti při jasné obloze a nákonu lamel 105°

Bod	Čas měření	E_I [lx]	E_E [lx]	\bar{E}_I [lx]	Relativní chyba [%]
Bod 1	11:39:34	855	84 190	857	0,08
	11:39:39	856	84 280		
	11:39:44	856	84 400		
	11:39:49	856	84 250		
	11:39:54	857	84 960		
	11:39:59	857	84 580		
	11:40:04	857	84 750		
	11:40:09	857	84 630		
	11:40:14	857	84 950		
	11:40:19	857	84 810		

Bod	Čas měření	E_I [lx]	E_E [lx]	\bar{E}_I [lx]	Relativní chyba [%]
Bod 2	11:40:50	444	84 860	444	0,25
	11:40:55	444	84 910		
	11:41:00	443	84 220		
	11:41:05	444	84 130		
	11:41:10	445	84 950		
	11:41:15	444	84 750		
	11:41:20	446	84 860		
	11:41:25	442	84 910		
	11:41:30	444	84 220		
	11:41:35	445	84 130		
Bod 3	11:42:04	230	84 760	232	0,41
	11:42:09	232	84 870		
	11:42:14	232	84 960		
	11:42:19	232	84 940		
	11:42:24	233	84 810		
	11:42:29	233	84 980		
	11:42:34	233	84 860		
	11:42:39	233	84 740		
	11:42:44	233	84 940		
	11:42:49	232	84 610		
Bod 4	11:43:23	792	84 860	794	0,10
	11:43:28	794	84 910		
	11:43:33	794	84 950		
	11:43:38	794	84 750		
	11:43:43	794	84 860		
	11:43:48	793	84 610		
	11:43:53	793	84 600		
	11:43:58	794	84 980		
	11:44:03	794	84 860		
	11:44:08	795	84 740		
Bod 5	11:44:38	429	84 810	432	0,31
	11:44:43	431	84 950		
	11:44:48	433	84 750		
	11:44:53	433	84 860		
	11:44:58	433	84 250		
	11:45:03	433	84 960		
	11:45:08	433	84 580		
	11:45:13	433	84 750		
	11:45:18	433	84 190		
	11:45:23	433	84 180		

Bod	Čas měření	E_I [lx]	E_E [lx]	\bar{E}_I [lx]	Relativní chyba [%]
Bod 6	11:45:56	225	84 400	231	0,95
	11:46:01	231	84 250		
	11:46:06	232	84 960		
	11:46:11	232	84 740		
	11:46:16	232	84 820		
	11:46:21	232	84 460		
	11:46:26	232	84 610		
	11:46:31	232	84 720		
	11:46:36	232	84 780		
	11:46:41	232	84 250		
Bod 7	11:47:15	773	84 960	774	0,13
	11:47:20	774	85 010		
	11:47:25	774	84 580		
	11:47:30	774	84 750		
	11:47:35	773	84 190		
	11:47:40	771	83 900		
	11:47:45	774	84 400		
	11:47:50	774	84 250		
	11:47:55	774	84 960		
	11:48:00	774	84 340		
Bod 8	11:48:51	426	84 810	427	0,20
	11:48:56	428	84 860		
	11:49:01	428	84 530		
	11:49:06	428	84 610		
	11:49:11	428	84 980		
	11:49:16	428	84 760		
	11:49:21	428	84 870		
	11:49:26	426	84 960		
	11:49:31	427	84 980		
	11:49:36	427	84 400		
Bod 9	11:50:06	259	84 250	259	0,19
	11:50:11	259	84 960		
	11:50:16	260	84 580		
	11:50:21	259	84 250		
	11:50:26	259	84 960		
	11:50:31	259	84 790		
	11:50:36	259	84 580		
	11:50:41	259	84 670		
	11:50:46	260	84 930		
	11:50:51	260	84 630		

Bod	Čas měření	E_I [lx]	E_E [lx]	\bar{E}_I [lx]	Relativní chyba [%]
Bod 10	11:51:39	864	84 760	867	0,11
	11:51:44	866	84 910		
	11:51:49	866	85 450		
	11:51:54	867	84 580		
	11:51:59	867	84 670		
	11:52:04	867	84 960		
	11:52:09	867	84 830		
	11:52:14	867	84 400		
	11:52:19	867	84 250		
	11:52:24	867	84 960		
Bod 11	11:52:58	405	85 450	407	0,25
	11:53:03	406	85 790		
	11:53:08	407	84 860		
	11:53:13	407	85 790		
	11:53:18	407	85 630		
	11:53:23	408	85 450		
	11:53:28	408	85 760		
	11:53:33	408	85 410		
	11:53:38	408	85 370		
	11:53:43	408	85 450		
Bod 12	11:54:13	176	84 400	176	0
	11:54:18	176	84 250		
	11:54:23	176	84 940		
	11:54:28	176	84 610		
	11:54:33	176	84 860		
	11:54:38	176	84 990		
	11:54:43	176	84 950		
	11:54:48	176	84 750		
	11:54:53	176	85 110		
	11:54:58	176	85 200		

Měření denní osvětlenosti při jasné obloze – žaluzie 120°

Datum: 11. 4. 2017

Tabulka 4. Naměřená data osvětlenosti při jasné obloze a nákonu lamel 120°

Bod	Čas měření	E_I [lx]	E_E [lx]	\bar{E}_I [lx]	Relativní chyba [%]
Bod 1	11:59:38	679	86 450	678	0,18
	11:59:43	678	86 560		
	11:59:48	678	86 750		
	11:59:53	679	86 910		
	11:59:58	679	86 640		
	12:00:03	678	86 350		
	12:00:08	678	86 290		
	12:00:13	676	86 210		
	12:00:18	676	86 180		
	12:00:23	676	86 240		
Bod 2	12:00:51	334	86 370	346	1,26
	12:00:56	346	86 460		
	12:01:01	346	86 610		
	12:01:06	347	86 780		
	12:01:11	348	86 790		
	12:01:16	348	86 880		
	12:01:21	347	86 950		
	12:01:26	348	86 990		
	12:01:31	347	87 110		
	12:01:36	348	87 130		
Bod 3	12:02:05	188	87 240	191	0,61
	12:02:10	192	87 280		
	12:02:15	192	87 310		
	12:02:20	192	87 400		
	12:02:25	192	87 420		
	12:02:30	192	87 350		
	12:02:35	192	87 310		
	12:02:40	192	87 250		
	12:02:45	192	87 240		
	12:02:50	192	87 200		
Bod 4	12:03:25	633	87 190	639	0,32
	12:03:30	639	87 130		
	12:03:35	639	86 950		
	12:03:40	640	87 050		
	12:03:45	640	87 140		
	12:03:50	637	87 170		
	12:03:55	639	87 240		
	12:04:00	640	87 540		
	12:04:05	640	87 860		
	12:04:10	640	87 210		

Bod	Čas měření	E_I [lx]	E_E [lx]	\bar{E}_I [lx]	Relativní chyba [%]
Bod 5	12:04:37	328	87 290	329	0,20
	12:04:42	329	87 560		
	12:04:47	329	87 910		
	12:04:52	330	87 950		
	12:04:57	329	88 120		
	12:05:02	329	87 510		
	12:05:07	329	87 130		
	12:05:12	328	86 520		
	12:05:17	328	86 430		
	12:05:22	329	86 460		
Bod 6	12:05:53	183	86 980	187	0,71
	12:05:58	187	87 460		
	12:06:03	187	87 540		
	12:06:08	187	87 650		
	12:06:13	187	87 790		
	12:06:18	187	87 890		
	12:06:23	187	87 250		
	12:06:28	187	87 520		
	12:06:33	188	87 630		
	12:06:38	188	87 960		
Bod 7	12:07:09	551	88 120	552	0,10
	12:07:14	553	87 510		
	12:07:19	552	87 130		
	12:07:24	552	86 520		
	12:07:29	552	87 140		
	12:07:34	551	87 170		
	12:07:39	552	87 240		
	12:07:44	551	87 540		
	12:07:49	551	87 860		
	12:07:54	552	87 250		
Bod 8	12:08:21	310	87 240	311	0,40
	12:08:26	310	87 200		
	12:08:31	310	87 190		
	12:08:36	310	87 130		
	12:08:41	310	86 880		
	12:08:46	312	86 950		
	12:08:51	312	86 990		
	12:08:56	313	87 110		
	12:09:01	313	87 130		
	12:09:06	313	87 240		

Bod	Čas měření	E_I [lx]	E_E [lx]	\bar{E}_I [lx]	Relativní chyba [%]
Bod 9	12:09:34	203	87 510	204	0,20
	12:09:39	204	87 130		
	12:09:44	204	86 520		
	12:09:49	205	86 430		
	12:09:54	205	86 460		
	12:09:59	205	87 540		
	12:10:04	205	87 650		
	12:10:09	205	87 790		
	12:10:14	204	87 890		
	12:10:19	204	87 250		
Bod 10	12:10:49	587	87 520	586	0,23
	12:10:54	588	87 630		
	12:10:59	586	87 960		
	12:11:04	586	88 120		
	12:11:09	586	87 510		
	12:11:14	584	87 130		
	12:11:19	588	86 520		
	12:11:24	584	87 110		
	12:11:29	587	87 130		
12:11:34	587	87 240			
Bod 11	12:12:07	297	87 510	298	0,26
	12:12:12	298	87 130		
	12:12:17	299	86 520		
	12:12:22	299	87 860		
	12:12:27	299	87 210		
	12:12:32	299	87 290		
	12:12:37	299	87 560		
	12:12:42	299	86 430		
	12:12:47	298	86 460		
12:12:52	299	86 980			
Bod 12	12:13:27	138	87 460	139	0,29
	12:13:32	139	87 540		
	12:13:37	140	87 650		
	12:13:42	140	86 450		
	12:13:47	140	86 510		
	12:13:52	140	86 960		
	12:13:57	139	86 840		
	12:14:02	140	87 560		
	12:14:07	140	87 760		
12:14:12	140	87 930			

Měření denní osvětlenosti při jasné obloze – žaluzie 135°

Datum: 11. 4. 2017

Tabulka 5. Naměřená data osvětlenosti při jasné obloze a nákonu lamel 135°

Bod	Čas měření	E_I [lx]	E_E [lx]	\bar{E}_I [lx]	Relativní chyba [%]
Bod 1	12:15:33	445	87 170	448	0,37
	12:15:38	446	87 240		
	12:15:43	446	87 540		
	12:15:48	447	87 860		
	12:15:53	447	87 250		
	12:15:58	449	87 240		
	12:16:03	450	87 200		
	12:16:08	449	87 190		
	12:16:13	450	86 460		
	12:16:18	449	86 980		
Bod 2	12:16:44	240	87 460	251	1,56
	12:16:49	251	87 540		
	12:16:54	252	87 650		
	12:16:59	252	86 450		
	12:17:04	252	86 510		
	12:17:09	252	86 960		
	12:17:14	252	86 990		
	12:17:19	253	87 110		
	12:17:24	253	87 130		
	12:17:29	253	87 240		
Bod 3	12:17:59	148	87 280	153	1,28
	12:18:04	154	87 310		
	12:18:09	154	87 400		
	12:18:14	154	87 140		
	12:18:19	154	87 170		
	12:18:24	154	87 240		
	12:18:29	154	87 540		
	12:18:34	154	87 860		
	12:18:39	154	87 210		
	12:18:44	154	87 290		

Bod	Čas měření	E_I [lx]	E_E [lx]	\bar{E}_I [lx]	Relativní chyba [%]
Bod 4	12:19:19	429	87 510	432	0,35
	12:19:24	434	87 130		
	12:19:29	434	86 520		
	12:19:34	434	86 430		
	12:19:39	433	86 460		
	12:19:44	433	86 980		
	12:19:49	432	87 460		
	12:19:54	431	87 540		
	12:19:59	432	87 790		
	12:20:04	432	87 890		
Bod 5	12:20:37	227	87 250	235	1,13
	12:20:42	236	87 520		
	12:20:47	236	87 630		
	12:20:52	236	87 960		
	12:20:57	235	88 120		
	12:21:02	235	87 510		
	12:21:07	235	87 130		
	12:21:12	235	87 170		
	12:21:17	235	87 240		
	12:21:22	235	87 540		
Bod 6	12:21:59	143	87 860	145	0,57
	12:22:04	145	87 250		
	12:22:09	146	87 240		
	12:22:14	146	87 200		
	12:22:19	146	87 190		
	12:22:24	146	87 130		
	12:22:29	146	86 880		
	12:22:34	146	86 460		
	12:22:39	145	87 540		
	12:22:44	145	87 650		
Bod 7	12:23:14	373	87 790	377	0,47
	12:23:19	376	87 890		
	12:23:24	375	87 250		
	12:23:29	376	87 520		
	12:23:34	377	87 630		
	12:23:39	378	87 960		
	12:23:44	377	87 240		
	12:23:49	378	87 280		
	12:23:54	378	87 310		
	12:23:59	379	87 400		

Bod	Čas měření	E_I [lx]	E_E [lx]	\bar{E}_I [lx]	Relativní chyba [%]
Bod 8	12:24:26	222	87 420	223	0,23
	12:24:31	223	87 350		
	12:24:36	224	87 310		
	12:24:41	224	87 250		
	12:24:46	224	87 560		
	12:24:51	223	86 430		
	12:24:56	224	86 460		
	12:25:01	224	86 980		
	12:25:06	223	87 460		
	12:25:11	223	87 540		
Bod 9	12:25:40	155	87 650	155	0,08
	12:25:45	155	86 450		
	12:25:50	155	86 510		
	12:25:55	155	86 640		
	12:26:00	155	86 350		
	12:26:05	155	86 290		
	12:26:10	155	86 210		
	12:26:15	155	86 180		
	12:26:20	155	86 240		
	12:26:25	155	86 370		
Bod 10	12:26:55	396	86 460	398	0,24
	12:27:00	398	87 110		
	12:27:05	398	87 130		
	12:27:10	398	87 240		
	12:27:15	398	87 510		
	12:27:20	399	87 130		
	12:27:25	399	86 520		
	12:27:30	399	87 860		
	12:27:35	399	87 210		
	12:27:40	399	87 290		
Bod 11	12:28:08	213	87 240	212	0,14
	12:28:13	212	87 510		
	12:28:18	213	87 130		
	12:28:23	213	87 240		
	12:28:28	213	87 540		
	12:28:33	212	87 860		
	12:28:38	212	87 250		
	12:28:43	212	87 240		
	12:28:48	212	87 200		
	12:28:53	213	86 430		

Bod	Čas měření	E_I [lx]	E_E [lx]	\bar{E}_I [lx]	Relativní chyba [%]
Bod 12	12:29:23	108	86 460	108	0,27
	12:29:28	108	86 980		
	12:29:33	109	87 460		
	12:29:38	109	87 540		
	12:29:43	109	87 650		
	12:29:48	109	88 150		
	12:29:53	108	88 530		
	12:29:58	109	88 450		
	12:30:03	109	88 630		
	12:30:08	109	88 540		

Měření denní osvětlenosti při jasné obloze – žaluzie 150°

Datum: 11. 4. 2017

Tabulka 6. Naměřená data osvětlenosti při jasné obloze a nákonu lamel 150°

Bod	Čas měření	E_I [lx]	E_E [lx]	\bar{E}_I [lx]	Relativní chyba [%]
Bod 1	12:32:20	208	89 880	208	0,17
	12:32:25	208	89 210		
	12:32:30	209	89 290		
	12:32:35	209	89 510		
	12:32:40	209	89 130		
	12:32:45	209	89 520		
	12:32:50	208	89 430		
	12:32:55	208	89 480		
	12:33:00	209	89 980		
	12:33:05	209	89 580		
Bod 2	12:33:33	112	89 480	114	0,81
	12:33:38	114	88 450		
	12:33:43	115	88 510		
	12:33:48	115	88 980		
	12:33:53	115	88 990		
	12:33:58	115	89 110		
	12:34:03	115	89 130		
	12:34:08	114	89 240		
	12:34:13	114	89 280		
	12:34:18	114	89 310		

Bod	Čas měření	E_I [lx]	E_E [lx]	\bar{E}_I [lx]	Relativní chyba [%]
Bod 3	12:34:52	67	89 400	68	0,70
	12:34:57	68	89 540		
	12:35:02	68	89 990		
	12:35:07	68	89 890		
	12:35:12	68	89 250		
	12:35:17	68	89 520		
	12:35:22	68	89 830		
	12:35:27	68	89 240		
	12:35:32	68	89 540		
	12:35:37	69	89 880		
Bod 4	12:36:11	199	89 250	205	0,94
	12:36:16	204	89 240		
	12:36:21	205	89 200		
	12:36:26	205	89 190		
	12:36:31	205	89 130		
	12:36:36	206	89 850		
	12:36:41	206	89 990		
	12:36:46	206	89 890		
	12:36:51	205	89 250		
	12:36:56	206	89 520		
Bod 5	12:37:31	108	89 830	109	0,33
	12:37:36	109	89 980		
	12:37:41	109	89 240		
	12:37:46	109	88 450		
	12:37:51	109	88 510		
	12:37:56	109	88 840		
	12:38:01	109	88 350		
	12:38:06	109	88 290		
	12:38:11	109	88 210		
	12:38:16	109	88 180		
Bod 6	12:38:47	62	88 240	63	0,96
	12:38:52	61	88 390		
	12:38:57	63	88 520		
	12:39:02	63	89 880		
	12:39:07	63	89 210		
	12:39:12	63	89 290		
	12:39:17	63	89 240		
	12:39:22	63	89 510		
	12:39:27	63	88 990		
	12:39:32	63	89 110		

Bod	Čas měření	E_I [lx]	E_E [lx]	\bar{E}_I [lx]	Relativní chyba [%]
Bod 7	12:40:00	192	89 130	195	0,57
	12:40:05	195	89 240		
	12:40:10	195	89 280		
	12:40:15	195	89 310		
	12:40:20	195	89 400		
	12:40:25	195	89 140		
	12:40:30	195	89 190		
	12:40:35	195	89 240		
	12:40:40	195	89 130		
	12:40:45	195	88 520		
Bod 8	12:41:12	106	89 880	107	0,34
	12:41:17	107	89 210		
	12:41:22	107	89 290		
	12:41:27	108	89 240		
	12:41:32	107	89 510		
	12:41:37	107	89 130		
	12:41:42	107	89 200		
	12:41:47	107	88 430		
	12:41:52	107	88 480		
	12:41:57	107	88 980		
Bod 9	12:42:25	63	89 480	64	0,15
	12:42:30	64	89 540		
	12:42:35	64	89 850		
	12:42:40	64	88 150		
	12:42:45	63	88 480		
	12:42:50	64	88 980		
	12:42:55	64	89 480		
	12:43:00	64	89 540		
	12:43:05	64	89 850		
	12:43:10	64	88 450		
Bod 10	12:43:39	201	88 510	202	0,43
	12:43:44	202	89 250		
	12:43:49	202	89 240		
	12:43:54	202	89 200		
	12:43:59	201	89 190		
	12:44:04	202	88 480		
	12:44:09	203	88 980		
	12:44:14	203	89 480		
	12:44:19	203	89 540		
	12:44:24	204	88 520		

Bod	Čas měření	E_I [lx]	E_E [lx]	\bar{E}_I [lx]	Relativní chyba [%]
Bod 11	12:44:53	102	89 880	102	0,31
	12:44:58	102	89 210		
	12:45:03	102	89 290		
	12:45:08	103	89 240		
	12:45:13	103	89 510		
	12:45:18	103	89 130		
	12:45:23	103	89 240		
	12:45:28	103	89 540		
	12:45:33	103	88 980		
	12:45:38	103	89 480		
Bod 12	12:46:07	49	89 540	49	0,41
	12:46:12	48	89 850		
	12:46:17	49	88 150		
	12:46:22	49	88 530		
	12:46:27	49	89 540		
	12:46:32	49	89 880		
	12:46:37	49	89 250		
	12:46:42	49	89 240		
	12:46:47	49	89 290		
	12:46:52	49	89 240		

Měření denní osvětlenosti při jasné obloze – žaluzie 165°

Datum: 11. 4. 2017

Tabulka 7. Naměřená data osvětlenosti při jasné obloze a nákonu lamel 165°

Bod	Čas měření	E_I [lx]	E_E [lx]	\bar{E}_I [lx]	Relativní chyba [%]
Bod 1	12:47:55	58	90 120	58	0,65
	12:48:00	58	90 540		
	12:48:05	58	90 350		
	12:48:10	58	90 150		
	12:48:15	58	90 630		
	12:48:20	58	90 500		
	12:48:25	58	90 710		
	12:48:30	57	90 640		
	12:48:35	58	90 340		
	12:48:40	57	90 260		

Bod	Čas měření	E_I [lx]	E_E [lx]	\bar{E}_I [lx]	Relativní chyba [%]
Bod 2	12:49:09	25	90 190	26	1,66
	12:49:14	26	90 010		
	12:49:19	26	89 760		
	12:49:24	26	89 620		
	12:49:29	26	89 460		
	12:49:34	26	89 560		
	12:49:39	26	89 730		
	12:49:44	26	89 790		
	12:49:49	26	89 860		
	12:49:54	26	89 990		
Bod 3	12:52:46	13	90 400	13	0,62
	12:52:51	13	90 520		
	12:52:56	13	90 620		
	12:53:01	13	90 670		
	12:53:06	13	90 810		
	12:53:11	13	90 610		
	12:53:16	13	90 520		
	12:53:21	13	90 310		
	12:53:26	13	90 130		
	12:53:31	13	89 780		
Bod 4	12:54:08	58	89 690	58	0,25
	12:54:13	58	89 610		
	12:54:18	58	89 530		
	12:54:23	58	89 460		
	12:54:28	58	89 740		
	12:54:33	58	89 810		
	12:54:38	58	89 970		
	12:54:43	58	90 460		
	12:54:48	58	90 580		
	12:54:53	58	90 730		
Bod 5	12:55:22	25	90 410	25	0,94
	12:55:27	25	89 560		
	12:55:32	25	89 730		
	12:55:37	25	89 790		
	12:55:42	25	89 860		
	12:55:47	25	89 990		
	12:55:52	25	90 400		
	12:55:57	25	90 520		
	12:56:02	25	90 620		
	12:56:07	25	90 670		

Bod	Čas měření	E_I [lx]	E_E [lx]	\bar{E}_I [lx]	Relativní chyba [%]
Bod 6	12:56:35	11	90 810	12	0,56
	12:56:40	12	90 610		
	12:56:45	12	90 350		
	12:56:50	12	90 150		
	12:56:55	12	90 630		
	12:57:00	12	90 500		
	12:57:05	12	90 710		
	12:57:10	12	90 640		
	12:57:15	12	90 340		
	12:57:20	12	90 130		
Bod 7	12:57:49	55	89 780	55	0,14
	12:57:54	55	89 690		
	12:57:59	55	89 610		
	12:58:04	55	89 530		
	12:58:09	55	89 990		
	12:58:14	55	90 400		
	12:58:19	55	90 520		
	12:58:24	55	90 620		
	12:58:29	55	90 670		
	12:58:34	55	89 810		
Bod 8	12:59:01	24	89 970	24	0,27
	12:59:06	24	90 460		
	12:59:11	24	90 580		
	12:59:16	24	90 730		
	12:59:21	24	90 410		
	12:59:26	24	89 560		
	12:59:31	24	89 730		
	12:59:36	24	89 790		
	12:59:41	24	90 630		
	12:59:46	24	90 500		
Bod 9	13:00:12	12	90 710	12	0,45
	13:00:17	12	90 640		
	13:00:22	12	90 340		
	13:00:27	12	90 260		
	13:00:32	12	90 190		
	13:00:37	12	90 010		
	13:00:42	12	89 760		
	13:00:47	12	90 120		
	13:00:52	12	90 540		
	13:00:57	12	90 350		

Bod	Čas měření	E_I [lx]	E_E [lx]	\bar{E}_I [lx]	Relativní chyba [%]
Bod 10	13:01:43	47	90 150	55	5,18
	13:01:48	56	90 410		
	13:01:53	56	89 560		
	13:01:58	56	90 340		
	13:02:03	56	90 130		
	13:02:08	56	89 780		
	13:02:13	56	89 690		
	13:02:18	55	89 610		
	13:02:23	56	90 580		
	13:02:28	56	90 730		
Bod 11	13:02:55	23	90 410	23	0,55
	13:03:00	24	89 560		
	13:03:05	24	89 730		
	13:03:10	24	90 130		
	13:03:15	24	89 780		
	13:03:20	23	89 690		
	13:03:25	23	89 610		
	13:03:30	23	89 530		
	13:03:35	23	89 790		
	13:03:40	23	89 860		
Bod 12	13:04:09	9	89 990	9	0,50
	13:04:14	9	90 400		
	13:04:19	9	90 520		
	13:04:24	9	90 620		
	13:04:29	9	90 710		
	13:04:34	9	90 640		
	13:04:39	9	90 340		
	13:04:44	9	90 260		
	13:04:49	9	90 190		
	13:04:54	9	90 010		

Měření intenzity umělého osvětlení – celá místnost

Datum: 20. 4. 2017

Tabulka 8. Naměřená data osvětlenosti při umělého osvětlení v celé místnosti

Bod	Čas měření	E_1 [lx]	\bar{E}_1 [lx]	Relativní chyba [%]
Bod 1	12:24:52	1051	1055	0,16
	12:24:57	1053		
	12:25:02	1055		
	12:25:07	1056		
	12:25:12	1057		
	12:25:17	1055		
	12:25:22	1056		
	12:25:27	1056		
	12:25:32	1056		
	12:25:37	1056		
Bod 2	12:25:57	1111	1116	0,23
	12:26:02	1118		
	12:26:07	1118		
	12:26:12	1118		
	12:26:17	1117		
	12:26:22	1117		
	12:26:27	1116		
	12:26:32	1115		
	12:26:37	1114		
	12:26:42	1113		
Bod 3	12:27:01	942	937	1,19
	12:27:05	906		
	12:27:10	944		
	12:27:15	943		
	12:27:20	942		
	12:27:25	941		
	12:27:30	940		
	12:27:35	939		
	12:27:40	937		
	12:27:45	936		
Bod 4	12:28:08	1215	1220	0,33
	12:28:13	1227		
	12:28:18	1225		
	12:28:23	1224		
	12:28:28	1222		
	12:28:33	1221		
	12:28:38	1219		
	12:28:43	1218		
	12:28:48	1217		
	12:28:53	1216		

Bod	Čas měření	E_1 [lx]	\bar{E}_1 [lx]	Relativní chyba [%]
Bod 5	12:29:14	1298	1294	0,30
	12:29:19	1299		
	12:29:24	1297		
	12:29:29	1296		
	12:29:34	1294		
	12:29:39	1293		
	12:29:44	1292		
	12:29:49	1290		
	12:29:54	1289		
	12:29:59	1288		
Bod 6	12:30:19	1069	1066	0,25
	12:30:23	1070		
	12:30:28	1069		
	12:30:33	1068		
	12:30:38	1067		
	12:30:43	1066		
	12:30:48	1065		
	12:30:53	1064		
	12:30:58	1063		
	12:31:03	1062		
Bod 7	12:31:27	1169	1177	0,30
	12:31:32	1181		
	12:31:37	1180		
	12:31:42	1180		
	12:31:47	1179		
	12:31:52	1178		
	12:31:57	1177		
	12:32:02	1176		
	12:32:07	1175		
	12:32:12	1174		
Bod 8	12:32:30	1247	1248	0,13
	12:32:35	1249		
	12:32:40	1250		
	12:32:45	1249		
	12:32:50	1249		
	12:32:55	1248		
	12:33:00	1247		
	12:33:05	1246		
	12:33:10	1246		
	12:33:15	1245		

Bod	Čas měření	E_1 [lx]	\bar{E}_1 [lx]	Relativní chyba [%]
Bod 9	12:33:35	994	994	0,12
	12:33:40	995		
	12:33:45	995		
	12:33:50	994		
	12:33:55	994		
	12:34:00	994		
	12:34:05	993		
	12:34:10	993		
	12:34:15	992		
	12:34:20	992		
Bod 10	12:34:41	942	943	0,09
	12:34:46	944		
	12:34:51	944		
	12:34:56	944		
	12:35:01	944		
	12:35:06	943		
	12:35:11	943		
	12:35:16	943		
	12:35:21	942		
12:35:26	942			
Bod 11	12:35:47	997	999	0,11
	12:35:52	998		
	12:35:57	1000		
	12:36:02	1000		
	12:36:07	1000		
	12:36:12	999		
	12:36:17	999		
	12:36:22	999		
	12:36:27	998		
	12:36:32	998		
Bod 12	12:37:18	811	811	0,06
	12:37:23	811		
	12:37:28	812		
	12:37:33	811		
	12:37:38	811		
	12:37:43	811		
	12:37:48	810		
	12:37:53	810		
	12:37:58	810		
	12:38:03	810		

Měření intenzity umělého osvětlení – osvětlení uprostřed a u okna

Datum: 20. 4. 2017

Tabulka 9. Naměřená data osvětlenosti při umělém osvětlení uprostřed a u okna

Bod	Čas měření	E_1 [lx]	\bar{E}_1 [lx]	Relativní chyba [%]
Bod 1	12:38:48	839	839	0,06
	12:38:53	839		
	12:38:58	839		
	12:39:03	839		
	12:39:08	839		
	12:39:13	839		
	12:39:18	839		
	12:39:23	838		
	12:39:28	838		
	12:39:33	838		
Bod 2	12:39:54	743	748	0,23
	12:39:59	748		
	12:40:04	749		
	12:40:09	748		
	12:40:14	748		
	12:40:19	748		
	12:40:24	748		
	12:40:29	748		
	12:40:34	748		
	12:40:39	748		
Bod 3	12:40:58	348	349	0,20
	12:41:03	348		
	12:41:08	350		
	12:41:13	349		
	12:41:18	349		
	12:41:23	349		
	12:41:28	349		
	12:41:33	349		
	12:41:38	349		
	12:41:43	348		

Bod	Čas měření	E_1 [lx]	\bar{E}_1 [lx]	Relativní chyba [%]
Bod 4	12:42:07	1004	1003	0,03
	12:42:12	1004		
	12:42:17	1003		
	12:42:22	1003		
	12:42:27	1003		
	12:42:32	1003		
	12:42:37	1003		
	12:42:42	1003		
	12:42:47	1003		
	12:42:52	1003		
Bod 5	12:43:13	904	905	0,05
	12:43:18	906		
	12:43:23	906		
	12:43:28	906		
	12:43:33	905		
	12:43:38	905		
	12:43:43	905		
	12:43:48	905		
	12:43:53	905		
	12:43:58	905		
Bod 6	12:44:17	402	402	0,04
	12:44:22	402		
	12:44:27	402		
	12:44:32	402		
	12:44:37	402		
	12:44:42	402		
	12:44:47	402		
	12:44:52	402		
	12:44:57	402		
	12:45:02	402		
Bod 7	12:45:25	1005	1004	0,04
	12:45:30	1005		
	12:45:35	1005		
	12:45:40	1005		
	12:45:45	1005		
	12:45:50	1004		
	12:45:55	1004		
	12:46:00	1004		
	12:46:05	1004		
	12:46:10	1004		

Bod	Čas měření	E_1 [lx]	\bar{E}_1 [lx]	Relativní chyba [%]
Bod 8	12:46:31	904	905	0,05
	12:46:36	905		
	12:46:41	906		
	12:46:46	906		
	12:46:51	906		
	12:46:56	906		
	12:47:01	905		
	12:47:06	905		
	12:47:11	905		
	12:47:16	905		
Bod 9	12:47:42	367	368	0,07
	12:47:47	368		
	12:47:52	368		
	12:47:57	368		
	12:48:02	368		
	12:48:07	368		
	12:48:12	367		
	12:48:17	368		
	12:48:22	367		
	12:48:27	368		
Bod 10	12:48:59	815	816	0,04
	12:49:03	816		
	12:49:08	816		
	12:49:13	816		
	12:49:18	816		
	12:49:23	816		
	12:49:28	816		
	12:49:33	816		
	12:49:38	816		
	12:49:43	816		
Bod 11	12:50:24	734	735	0,09
	12:50:29	735		
	12:50:34	736		
	12:50:39	735		
	12:50:44	735		
	12:50:49	736		
	12:50:54	736		
	12:50:59	736		
	12:51:04	736		
	12:51:09	736		

Bod	Čas měření	E_I [lx]	\bar{E}_I [lx]	Relativní chyba [%]
Bod 12	12:51:32	306	307	0,28
	12:51:37	306		
	12:51:42	308		
	12:51:47	308		
	12:51:52	308		
	12:51:57	308		
	12:52:02	308		
	12:52:07	308		
	12:52:12	308		
	12:52:17	308		

Měření intenzity umělého osvětlení – osvětlení u dveří

Datum: 20. 4. 2017

Tabulka 10. Naměřená data osvětlenosti při umělém osvětlení u dveří

Bod	Čas měření	E_I [lx]	\bar{E}_I [lx]	Relativní chyba [%]
Bod 1	12:54:14	111	111	0,84
	12:54:18	111		
	12:54:23	112		
	12:54:28	112		
	12:54:33	111		
	12:54:38	109		
	12:54:43	110		
	12:54:48	111		
	12:54:53	112		
	12:54:58	112		
Bod 2	12:55:28	281	281	0,13
	12:55:33	281		
	12:55:38	280		
	12:55:43	281		
	12:55:48	280		
	12:55:53	280		
	12:55:58	281		
	12:56:03	281		
	12:56:08	281		
	12:56:13	281		

Bod	Čas měření	E_I [lx]	\bar{E}_I [lx]	Relativní chyba [%]
Bod 3	12:56:39	562	561	0,27
	12:56:43	562		
	12:56:48	563		
	12:56:53	562		
	12:56:58	561		
	12:57:03	561		
	12:57:08	560		
	12:57:13	559		
	12:57:18	559		
	12:57:23	558		
Bod 4	12:57:48	126	127	0,36
	12:57:53	127		
	12:57:58	128		
	12:58:03	127		
	12:58:08	127		
	12:58:13	127		
	12:58:18	127		
	12:58:23	127		
	12:58:28	127		
	12:58:33	126		
Bod 5	12:58:55	321	320	0,32
	12:59:00	321		
	12:59:05	322		
	12:59:10	321		
	12:59:15	321		
	12:59:20	320		
	12:59:25	320		
	12:59:30	319		
	12:59:35	319		
	12:59:40	319		
Bod 6	13:00:01	639	638	0,27
	13:00:06	640		
	13:00:11	640		
	13:00:16	639		
	13:00:21	638		
	13:00:26	638		
	13:00:31	637		
	13:00:36	636		
	13:00:41	636		
	13:00:46	635		

Bod	Čas měření	E_1 [lx]	\bar{E}_1 [lx]	Relativní chyba [%]
Bod 7	13:01:49	116	118	0,48
	13:01:54	118		
	13:01:59	118		
	13:02:04	118		
	13:02:09	118		
	13:02:14	118		
	13:02:19	118		
	13:02:24	118		
	13:02:29	118		
	13:02:34	118		
Bod 8	13:02:53	298	298	0,15
	13:02:58	298		
	13:03:03	299		
	13:03:08	298		
	13:03:13	298		
	13:03:18	298		
	13:03:23	298		
	13:03:28	298		
	13:03:33	297		
	13:03:38	297		
Bod 9	13:03:57	607	607	0,10
	13:04:02	607		
	13:04:07	608		
	13:04:12	608		
	13:04:17	607		
	13:04:22	607		
	13:04:27	607		
	13:04:32	606		
	13:04:37	606		
	13:04:42	606		
Bod 10	13:05:05	99	99	0,13
	13:05:10	99		
	13:05:15	99		
	13:05:20	99		
	13:05:25	99		
	13:05:30	99		
	13:05:35	99		
	13:05:40	99		
	13:05:45	99		
	13:05:50	99		

Bod	Čas měření	E_1 [lx]	\bar{E}_1 [lx]	Relativní chyba [%]
Bod 11	13:06:11	239	240	0,20
	13:06:16	239		
	13:06:21	240		
	13:06:26	240		
	13:06:31	240		
	13:06:36	240		
	13:06:41	240		
	13:06:46	240		
	13:06:51	240		
	13:06:56	240		
Bod 12	13:07:19	492	493	0,09
	13:07:24	493		
	13:07:29	493		
	13:07:34	493		
	13:07:39	493		
	13:07:44	493		
	13:07:49	493		
	13:07:54	493		
	13:07:59	492		
	13:08:04	492		