

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra elektroenergetiky



**Návrh a realizace modelu pro simulaci
moderní osvětlovací soustavy**

červen 2014

Vypracoval: Bc. Adam Poláček

Vedoucí práce: Ing. Jan Zálešák



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Bc. Adam Poláček**

Studijní program: **Inteligentní budovy**

Název tématu česky: **Návrh a realizace modelu pro simulaci moderní osvětlovací soustavy**

Název tématu anglicky: **Design and Realization of Model for the Simulation of Advanced Lighting System**

Pokyny pro vypracování:

Proveďte rešerši nejčastěji používaných světelných zdrojů pro vnitřní osvětlovací soustavy. Na základě analýzy světelných zdrojů a nejběžnějších typů osvětlovacích soustav vytvořte koncept modelu, který následně zpracujte do skutečné podoby. Vyberte nejvhodnější materiály a prvky, z nichž bude model sestaven, včetně zmenšené osvětlovací soustavy a jejího napájení. Navržená osvětlovací soustava má být smíšená a stmívatelná. Její řízení proveďte dvěma způsoby. Jeden bude využívat k regulaci svítidel pouze potenciometry, druhý způsob řešení bude zahrnovat takzvanou inteligentní část elektroinstalace a svítidla budou adresovatelná pro protokol DALI. Pro vhodnější prezentaci funkcí nepřímé osvětlovací soustavy doplňte model o simulaci slunečního světla okenním otvorem s tím, že simulované sluneční světlo bude schopno měnit teplotu chromatičnosti a osvětlovací soustava na toto bude reagovat. Na závěr vypracujte zadání laboratorní úlohy realizované na Vašem modelu, kde se studenti seznámí se základy funkčnosti a řízení osvětlovacích soustav.

Seznam odborné literatury:

- [1] HABEL, Jiří, et al.: Světelná technika a osvětlování. 1. Praha: FCC Public, 1995. 438 s. ISBN 80-901985-0-3.
- [2] ČSN EN 60929. *Elektronické ovládací zařízení na střídavé a/nebo stejnosměrné napětí k zářivkám: Požadavky na provedení*. 4. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, meteorologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [3] MERZ, H., HANSEMAN, T. a HÜBNER, Ch.: Automatizované systémy budov: sdělovací systémy KNX/EIB, LON a BACnet. 1.vyd. Praha: Grada, 2008, 261 s. ISBN 978-80-247-2367-9.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Zálešák (K 13115)

Datum zadání diplomové práce: 2. ledna 2014

Platnost zadání do¹: 31. srpna 2015

Prof. Ing. Vladimír Haasz, CSc.
vedoucí katedry



Prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 2. 1. 2014

¹ Platnost zadání je omezena na dobu tří následujících semestrů.

Anotace:

Tato práce se zabývá problematikou osvětlovacích soustav v interiéru. V předložené práci jsou popsány základní světelné zdroje a nejběžnější typy osvětlovacích soustav. Ze zkušeností z běžně instalovaných osvětlovacích soustav byl navržen koncept modelu a následně zpracován do skutečné podoby. V modelu je sestavena ze světlo emitujících diod (LED) stmívatelná smíšená osvětlovací soustava představující skutečné lineární zářivky. Regulace soustavy je možná dvěma způsoby, a to manuálně – lineárními potenciometry, nebo prostřednictvím tzv. inteligentní části elektroinstalace. Ve druhém způsobu regulace jsou jednotlivá svítidla adresovatelná pro protokol DALI. Model je doplněn o simulaci příspěvku slunečního světla s možností změny teploty chromatičnosti. Součástí práce je zadání laboratorní úlohy pro studenty, kde se seznámí se základy funkčnosti a řízení osvětlovacích soustav.

Klíčová slova: LED, světlo emitující dioda, teplota chromatičnosti, DALI, KNX

Summary:

This thesis deals with problems of lighting system in interior. In the thesis are described basic lighting sources and most common types of lighting systems. Design of model is derived from experience with usually installed lighting systems. Then the model was created in real shape. The model is inside equipped with dimmable indirect lighting system assembled from light emitting diodes (LED) representing real world linear fluorescent lamp. Lighting system is regulated by two means – manual, with linear taper potentiometer, or intelligent digital control system. In the digital control system is every single light addressable for DALI protocol. Model has in addition simulation of Sun light with changeable color temperature. One part of the thesis is laboratory exercise for students.

Index Terms: LED, light emitting diode, color temperature, DALI, KNX

Čestné prohlášení autora práce

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

Datum: 7. 5. 2014

.....

podpis diplomanta

Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady a podporu pro vypracování této práce. Zvláště pak děkuji Ing. Janu Zálešákovi za trpělivost, odborné vedení a konzultování při tvorbě mé diplomové práce. Mé díky patří také Ing. Zuzaně Pelánové za vstřícnost a možnost konzultování. V neposlední řadě bych také rád poděkoval svým rodičům za umožnění studia a podporu v jeho průběhu.

Obsah

1. Úvod.....	7
2. Teoretický rozbor úlohy.....	8
2.1. Účel a využití.....	8
2.2. Zdroje světla a jejich využití	9
2.2.1. Žárovky	9
2.2.2. Zářivky	10
2.2.3. Výbojky	10
2.2.4. Světelné diody – LED.....	11
2.3. Osvětlovací soustavy	11
3. Realizace přípravku	16
3.1. Fyzické proporce	16
3.2. Realizace vnitřního osvětlení.....	20
3.3. Návrh a realizace simulace slunečního světla	24
4. Systém řízení osvětlení	26
4.1. Realizace manuálního řízení osvětlení	26
4.2. Realizace digitálního systému řízení osvětlení.....	29
4.3. Konfigurace digitálního systému řízení osvětlení	36
5. Počítačová simulace.....	39
6. Měření na přípravku.....	41
7. Získané zkušenosti doporučení.....	45
8. Závěr	48
9. Použitá literatura	50
10. Seznam obrázků.....	51
11. Seznam tabulek.....	52
12. Seznam příloh	53

1. Úvod

Předmětem této diplomové práce je návrh a realizace modelu (dále též „přípravku“) místnosti pro simulaci moderní osvětlovací soustavy. Model je proveden v měřítku 1:10 tak, že rozměry reflektují co nejpřesněji skutečné proporce místnosti. Celková velikost přípravku je v půdorysu 720 mm x 300 mm, výška je 315 mm. Velikost vlastní osvětlované modelové místnosti je 440 mm x 295 mm o výšce 270 mm.

Diplomová práce se zabývá teoretickým rozбором úlohy včetně řešení nejčastěji používaných světelných zdrojů pro vnitřní osvětlení, návrhem a výrobou přípravku včetně realizace modelové interiérové a exteriérové osvětlovací soustavy a dvou způsobů řízení interiérové osvětlovací soustavy. Řízení osvětlovacích soustav zahrnuje manuální ovládání, a tak zvanou inteligentní část elektroinstalace, kde svítidla jsou adresovatelná pro protokol DALI (Digital Addressable Lighting Interface). Přípravek disponuje propojovacím konektorem sběrnice DALI pro možnost připojení celého přípravku k digitálnímu systému řízení osvětlení laboratoře světelné techniky katedry elektroenergetiky na ČVUT v Praze, která disponuje digitálním systémem řízení osvětlení prostřednictvím dvou protokolů DALI a KNX (Konnex Bus). Tím je umožněno centrální ovládání všech světelných zdrojů umístěných v laboratoři. S touto možností propojení bylo nutno v průběhu navrhování a realizace jak celého modelu, tak i samotného elektrického řídicího systému počítat a jednotlivé části tomuto uzpůsobit.

Přípravek názorně demonstruje jednotlivé typy osvětlovacích soustav používaných v bytových i nebytových prostorách a má ukázat působení přímé a nepřímé (oblohové) sluneční složky světla na úroveň osvětlenosti v místnosti.

2. Teoretický rozbor úlohy

2.1. Účel a využití

Přípravek představuje miniaturu místnosti vybavenou funkčními svítidly, které v prostoru vytvářejí požadované světelné scény jednotlivých osvětlovacích soustav. Vlastními zdroji světla v jednotlivých svítidlech jsou světlo emitující diody (LED – Light-Emitting Diode). Světlo emitující diody jsou pro použití v tomto případě vhodné především svými malými rozměry a tím, že produkují minimum ztrátového tepla na rozdíl od teplotních elektrických zdrojů světla (např. žárovky se žhaveným vláknem). Ovládání jednotlivých svítidel je realizováno dvěma způsoby, manuálně a digitálně. Pomocí manuálního ovládacího panelu je možné regulovat všechny světelné zdroje, jak interiérové osvětlení, tak i simulaci slunečního světla. Digitální systém řízení osvětlení sběrníkovým protokolem DALI umožňuje regulaci pouze interiérového osvětlení. Jak manuálním tak i digitálním systémem řízení je možné nejen ovládat jednotlivá svítidla, ale také měnit jejich jas. V případě použití RGB LED (Red-Green-Blue LED) je možné měnit i teplotu chromatičnosti vyzařovaného světla – zde pouze prostřednictvím manuálního ovládání. Při použití LED pásků bílé barvy různých teplot chromatičnosti (denní bílá, studená bílá) do svítidel je také možné v přípravku simulovat funkci biodynamického osvětlení. [7]

Přípravek najde své využití jak v hodinách předmětů vyučovaných na Českém vysokém učení technickém v Praze, fakultě elektrotechnické – zaměřených na tematiku elektrického světla a elektrických světelných zdrojů (např. na oboru Inteligentní budovy – povinně volitelný předmět z prvního semestru – Elektrické světlo 1), kde může sloužit jako názorná pomůcka při výuce, tak také na různých předváděcích akcích, např. „Den otevřených dveří“. Pro použití přípravku při výuce je tato práce doplněna o postup pro laboratorní úlohu, která studenty seznámí se základy funkčnosti a řízení osvětlovacích soustav.

2.2. Zdroje světla a jejich využití

Zdroj světla produkuje do okolí elektromagnetické záření ve viditelném spektru, tj. záření o vlnové délce přibližně 380 nm až 750 nm. Světlo v tomto rozmezí vlnových délek je schopné zachytit lidské oko. Podle původu vzniku světla mohou být světelné zdroje umělé (např. žárovka, zářivka, LED) nebo přírodní (např. Slunce, blesk). Prvotním světelným zdrojem je zdroj, který sám vyzařuje světlo ve viditelném spektru. Druhotným zdrojem světla jsou pak povrchy, které propouštějí nebo odrážejí na ně dopadající světelné paprsky. [7] Typickými zástupci druhotných světelných zdrojů jsou např. kryty svítidel z mléčného skla nebo stěny (stropy) místností odrážející světlo vycházející od prvotního světelného zdroje. Podle způsobu vzniku světla se dále rozlišují elektrické světelné zdroje teplotní, výbojové (nízkotlaké a vysokotlaké) a elektroluminiscenční. [3]

2.2.1. Žárovky

Klasické žárovky jsou typickým zástupcem tepelných zdrojů světla. Žárovka se skládá z baňky, uvnitř které je v ochranné atmosféře umístěno odporové žáruvzdorné vlákno (materiálem je obvykle wolfram). Vláknem je procházejícím elektrickým proudem ohříváno na 2000 °C až 2700 °C a vysílá spojitě světelné záření. Při průchodu proudem je postupně z vlákna odpařován wolfram, do té doby, dokud nedojde k úplnému přepálení vlákna. Částečnému zamezení vypařování kovu z vlákna je docíleno pomocí ochranné atmosféry uvnitř baňky, složené ze směsi inertních plynů (argon, xenon atd.) a dusíku. Klasické žárovky jsou dnes nejrozšířenějším zdrojem světla hlavně díky jejich širokému sortimentu a malým nárokům na instalaci a údržbu. Mezi jejich hlavní výhody dále patří věrné podání barev a možnost napájení žárovky přímo z elektrické sítě. Nevýhodou těchto zdrojů je jejich krátká životnost, nízká účinnost a nízký měrný tok, který se pohybuje v rozmezí 8 až 20 lm/W. Udávaná životnost se pohybuje okolo 1000 h. Žárovky se vyrábějí se jmenovitými příkony do 200 W. [3]

Další vývojový stupeň teplotních zdrojů představují halogenové žárovky. Vyznačují se příměsí halogenů (jod, brom) uvnitř žárovky, které dovolují zhavení vlákna na vyšší teplotu a zpomalují rychlost odpařování wolframu z vlákna. Při určité teplotě a konstrukci baňky způsobují vratnou chemickou reakci odpařeného

wolframu, který se neusazuje na vnitřní stěně baňky, ale na chladnějších částech vlákna. To prodlužuje jejich životnost a světelný výkon. Halogenové žárovky se vyrábějí se jmenovitými příkony do 2000 W.

2.2.2. Zářivky

Zářivky jsou nízkotlaké výbojky obsahující rtuťové páry, ve kterých vzniká mezi žhavenými elektrodami nízkotlaký elektrický výboj. Tento výboj produkuje převážně ultrafialové světlo, které je pomocí luminoforu naneseného na vnitřní straně skleněné trubice zářivky transformováno do viditelného spektra. Výhodou zářivek je jejich větší účinnost, vyšší měrný výkon proti žárovkám, který se pohybuje od 70 lm/W do 100 lm/W, a jejich delší životnost dosahující až 75 000 h. Velkou nevýhodou zářivek je závislost jejich světelného toku na okolní teplotě. Zářivky jsou převážně konstruovány tak, aby jejich světelný tok byl nejvyšší při pokojové teplotě. Pokud jsou zářivky provozovány při nižších nebo vyšších teplotách prostředí, jejich měrný výkon klesá. Existují i takové zářivky, které mají svůj maximální měrný výkon v širším teplotním rozmezí, např. 20 °C až 80 °C. Zářivky také představují ekologickou zátěž z důvodu aplikace toxické rtuti. [3]

2.2.3. Výbojky

Vysokotlaké výbojové zdroje světla se rozlišují podle typu vnitřní náplně, ve které dochází k hoření elektrického oblouku, na vysokotlaké halogenidové a sodíkové výbojky. Samotná výbojka se skládá ze dvou baňek umístěných v sobě – vnější baňka a vnitřní baňka (hořák). [7] Pro snížení tepelných ztrát je z prostoru mezi baňkami odsán vzduch, a tak vytvořeno vakuum. Vnitřní baňka – hořák – je vyrobena z křemenného skla a její součástí jsou dvě hlavní a jedna pomocná elektroda. Při připojení napájení k patici výbojky se mezi hlavní a pomocnou elektrodou vytvoří doutnavý elektrický oblouk, kterým se do prostoru vnitřní baňky vypařuje daný prvek a zvyšuje koncentraci par. Po nasycení vnitřního prostoru hořáku parami daného prvku dojde k přeskočení výboje z pomocné elektrody na hlavní a vytvoření elektrického výboje generujícího vlastní světelné záření. Dosažení jmenovitého světelného toku ve výbojce dochází až po jejím úplném nažhavení, tj. v řádech jednotek minut. Nevýhodou těchto zdrojů světla je, že po vypnutí je nutné vyčkat, než úplně hořák vyhasne, aby bylo možné výbojku opět zapnout. Výbojky dosahují měrného

světelného toku až 180 lm/W a nejčastěji se využívají k veřejnému osvětlení, v průmyslu a na sportovištích. [3]

2.2.4. Světelné diody – LED

Světelné diody jsou studeným zdrojem světla a jsou považovány za nejperspektivnější světelné zdroje. Světlo emitující dioda je elektronický prvek vytvářející světelné záření způsobené průchodem proudu polovodičem v propustném směru. Při rekombinaci elektronu dochází k uvolnění určitého množství energie, kterého se část vyžáří mimo krystal v podobě světla a část se přemění na teplo. Takto vyzařené světlo je vždy v úzkém pásmu vlnových délek, a tak můžeme považovat světlo emitující diody za monochromatické. Barvu vyzařovaného světla je možné ovlivnit příměsí v polovodiči. Měrný světelný výkon se běžně pohybuje v řádech desítek lm/W, teoretické maximum je až v řádech stovek lm/W (až 220 lm/W). Nejlepšího měrného světelného výkonu v současné době dosahují LED studené bílé barvy, a to přibližně 150 lm/W. Velkou výhodou tohoto zdroje světla je dlouhá životnost dosahující až 100 000 h. [3] Negativní vlastností LED je produkce tepla, které je nutné ze zdroje odvádět pomocí chladičů. To zabraňuje v současnosti vysoké koncentraci jednotlivých zdrojů v těsné blízkosti od sebe a dosažení tak vyšších měrných výkonů. Aditivním skládáním barev je možné dosáhnout libovolných barev světla. [7]

2.3. Osvětlovací soustavy

Do osvětlovací soustavy spadají jak zdroje světla (např. žárovky atd. viz výše), tak i svítidla a jejich komponenty, včetně napájecích a ovládacích prvků. Těmito částmi je dosaženo v osvětlovaném prostoru určitého světelného prostředí, které je dáno rozmístěním a vlastnostmi těchto zařízení, vlastnostmi osvětlovaného prostoru a v něm umístěného vybavení.

Osvětlovací soustava musí zajistit určitou hladinu osvětlenosti v místě zrakového úkonu, aby úrovně zrakového výkonu a zrakové pohody bylo dosaženo s přijatelnou bezpečností osob a majetku, spolehlivostí a přijatelnou ekonomickou náročností. K těmto požadavkům je třeba ještě obvykle přidat požadavky provozní, technologické apod. [7]

Podle zdrojů světla se osvětlovací soustavy dělí na soustavy denního nebo umělého osvětlení. [3] Denním osvětlením interiéru je přírodní sluneční světlo přímé nebo rozptýlené oblohou, které proniká do místnosti osvětlovacími otvory (např. okny, průsvitnými stěnami, světlíky). Za denní osvětlení je též bráno přírodní světlo odražené od překážek umístěných uvnitř nebo vně osvětlovaného prostoru. Soustavy umělého osvětlení nahrazují denní osvětlení při jeho nedostatku v prostoru a zajišťují dostatečné osvětlení pro dané zrakové úkony.

Jak již bylo zmíněno výše, základní dělení osvětlovacích soustav je na denní a umělé. Následující text se bude dále věnovat pouze dělení osvětlovacích soustav umělého osvětlení.

Osvětlovací soustavy umělého osvětlení se dělí podle:

- zdroje proudu a provozního účelu
- soustředění světla
- rozdělení světelného toku do prostoru

Podle zdroje proudu a provozního účelu osvětlovací soustavy se rozlišuje normální a poruchové osvětlení. Normální osvětlení je napájeno z veřejné elektrické sítě a je určeno k osvětlování osvětlovaného prostoru za běžného stavu. Naopak poruchové osvětlení je napájeno ze záložního zdroje elektrické energie (akumulátory, dieselagregát). Poruchové osvětlení je možno dále dělit na náhradní a nouzové. Náhradní osvětlení slouží při výpadku hlavního osvětlení k dokončení nezbytných prací, aby nevznikly nebezpečné situace (např. nebezpečí požáru, poškození technologického zařízení), nedošlo ke škodám a zraněním. Nouzové osvětlení slouží k vyznačení únikových cest v objektu. Nouzové osvětlení je možno dále dělit na osvětlení únikových cest, na protipanické osvětlení a na protiúrazové osvětlení. Účelem osvětlení nouzových cest je umožnit osobám bezpečný odchod z daného prostoru. Cílem protipanického osvětlení je zmenšit pravděpodobnost paniky a umožnit osobám bezpečný pohyb k únikovým cestám. Účelem protiúrazového osvětlení je zvýšit bezpečnost osob po výpadku hlavního osvětlení a umožnit jim řádné ukončení činnosti. [3]

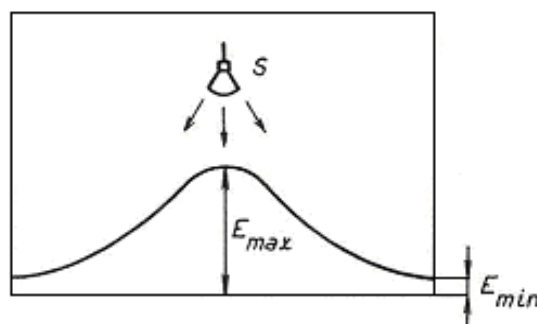
Poruchové osvětlení neslouží k osvětlování prostoru pro provádění zrakových úkonů při běžném provozu, ale pouze k základní orientaci v prostoru a vyznačení

únikových cest, proto je v normálním stavu běžně vypnuto. Teprve v okamžiku výpadku dodávky elektrického proudu z veřejné sítě se automaticky aktivuje. [7]

Podle soustředění světla je možné rozlišovat osvětlovací soustavy celkového, odstupňovaného a kombinovaného osvětlení. Soustava celkového osvětlení zajišťuje, bez ohledu na členitost a uspořádání vybavení v místnosti, v celém osvětlovaném prostoru konstantní hladinu osvětlení. Odstupňovaná osvětlovací soustava je obdoba soustavy celkového osvětlení s tím rozdílem, že v místech předpokládaných zrakových úkonů je zvýšena hladina osvětlení. Odstupňovaná osvětlovací soustava také zohledňuje členění a uspořádání vybavení v osvětlované místnosti. Poslední zmiňovaná osvětlovací soustava – kombinovaná – je tvořena celkovou a odstupňovanou soustavou, doplněnou místním (lokálním) osvětlením jednotlivých pracovišť, kde slouží k přisvětlení.

Podle rozložení světelného toku vycházejícího ze zdroje světla do dolního nebo horního poloprostoru se rozlišují osvětlovací soustavy přímá, smíšená a nepřímá. Právě toto rozlišení osvětlovacích soustav demonstruje model kancelářské místnosti (přípravek), kterým se zabývá tento projekt.

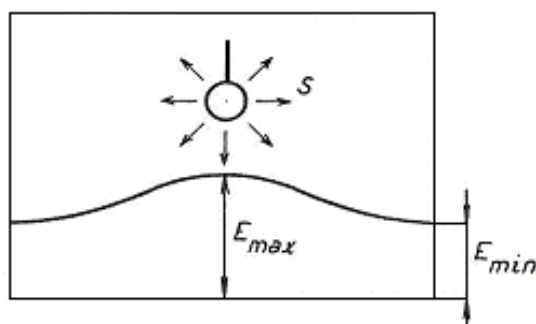
U **přímé osvětlovací soustavy** je všechen světelný tok směřován do dolního poloprostoru a dopadá tedy přímo na osvětlované plochy (stěna, podlaha apod.). Tím, že světelný tok dopadá na osvětlované plochy přímo a téměř beze ztrát, je tato soustava nejnehospodárnější pro danou hodnotu osvětlenosti. Nevýhodou této osvětlovací soustavy při použití pouze jednoho svítidla je, že dochází v místnosti k tvorbě ostrých tmavých stínů a velkých kontrastů jasů. To způsobuje výraznou nerovnoměrnost osvětlenosti a velkou možnost oslnění osob, provádějících zrakové úkony v tomto prostoru. Tuto nevýhodu přímé osvětlovací soustavy je možné snížit, případně zcela eliminovat, použitím více zdrojů světla daného druhu a vytvořit tak síť svítidel, která sníží nerovnoměrnost osvětlenosti v místnosti. Průběh osvětlenosti ve svislé rovině ke svítidlu je zobrazen na obr. 2.1.



Obr. 2.1 Přímá osvětlovací soustava (převzato z [3])

V soustavách smíšeného a nepřímého osvětlení postupně klesá jejich ekonomičnost a efektivnost, protože roste množství světelného toku, který dopadá více na stěny a strop osvětlovaného prostoru než přímo na osvětlovanou plochu. Zároveň stoupá celková rovnoměrnost osvětlenosti v místnosti.

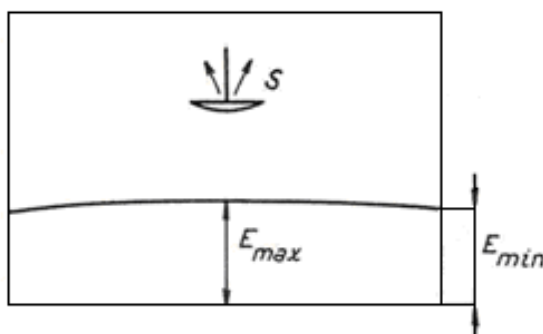
U **smíšené osvětlovací soustavy** zdroj světla vyzařuje svůj světelný tok zároveň do dolního i horního poloprostoru. Na osvětlovanou plochu tedy dopadá jak přímé světlo ze zdroje, tak i odražené od stěn a stropu. Rovnoměrnost osvětlení je tak vyšší (viz obr. 2.2) a v osvětlovaném prostoru vznikají měkčí stíny a menší kontrasty. Díky tomu je možnost oslnění v zorném poli menší, než u přímé osvětlovací soustavy.



Obr. 2.2 Smíšená osvětlovací soustava (převzato z [3])

Nepřímá osvětlovací soustava je pravým opakem přímé soustavy. Všechny vyzařovaný světelný tok je směřován do horního poloprostoru. Tím na osvětlovanou plochu nedopadá žádné přímé světlo, ale pouze světlo odražené prostřednictvím stěn a stropu místnosti, které se chovají jako sekundární zdroje světla. Při použití této osvětlovací soustavy je osvětlení místnosti téměř rovnoměrné (viz obr. 2.3), stíny se v prostoru v podstatě nevyskytují a přímé i odražené oslnění je prakticky vyloučeno. [3]

Nevýhodou je, že je tím ztíženo rozlišování, orientace v prostoru i odhad vzdálenosti. V porovnání s ostatními soustavami je nepřímá osvětlovací soustava nejméně hospodárná, a to kvůli své vyšší energetické náročnosti a nárokům na údržbu. To je dáno tím, že světelný tok z prvotních zdrojů světla dopadá nejdříve na odraznou plochu (strop místnosti), od které se následně odráží a rozptyluje do prostoru. Protože odrazná plocha (strop) nebude rozhodně ideálním reflektorem, budou zde vznikat ztráty. Aby byla tedy dosažena u této soustavy intenzita osvětlení na ploše zrakového úkonu stejná jako u přímé osvětlovací soustavy, je zapotřebí mnohem vyššího výkonu primárních zdrojů světla. [7]



Obr. 2.3 Nepřímá osvětlovací soustava (převzato z [3])

V nepřímých osvětlovacích soustavách je tedy nutná aplikace svítidel s vysokou účinností a měrným výkonem a vysokou odrazivostí stěn a stropu, aby odražené světlo od stěn a stropu dosahovalo dostatečné intenzity. S touto skutečností je třeba uvažovat při volbě vhodného udržovacího činitele, protože je zapotřebí častější čistění světločinných ploch svítidel, povrchů stěn a stropů. [3]

3. Realizace přípravku

3.1. Fyzické proporce

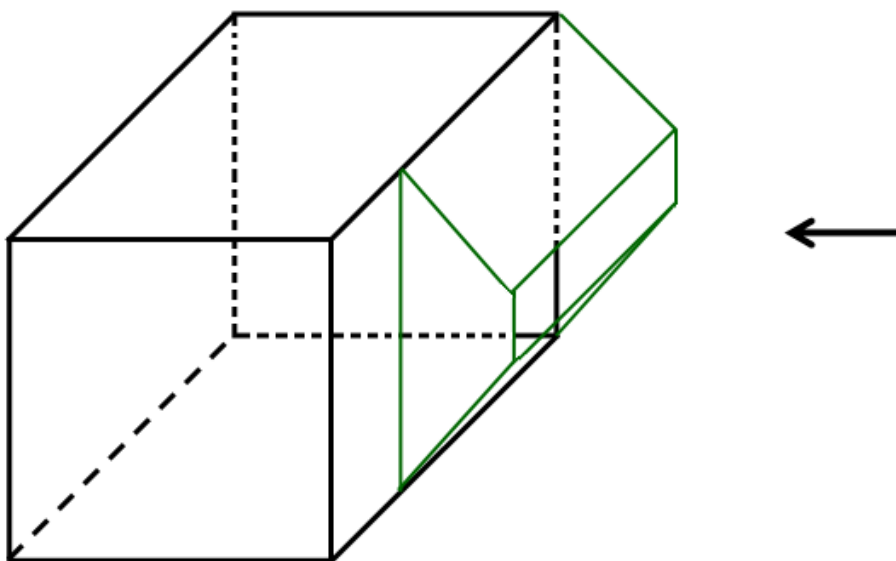
Jak již bylo uvedeno, model místnosti je zkonstruován v měřítku 1:10, a to z důvodu mobility přípravku a zároveň dostatečného prostoru pro realizaci miniatur svítidel. Půdorysné rozměry přípravku jsou 720 mm x 300 mm a výška 315 mm. Část přípravku zabírá jak vlastní elektronika pro ovládání a napájení svítidel, tak prostor s umístěním simulace přímé a nepřímé (oblohové) sluneční složky světla. Vlastní modelová místnost, ve které bude docházet k požadovaným efektům, má rozměry 440 mm x 295 mm a výšku 270 mm. Miniatury svítidel v přípravku jsou realizovány pomocí LED uspořádaných do linií (tzv. LED pásy, viz obr. 3.1), které jsou vhodné k věrné imitaci skutečných lineárních (např. zářivkových) svítidel. Použití LED pásků je v dnešní době velice rozšířené a oblíbené, převážně kvůli jejich cenové dostupnosti, velkému množství provedení (barev, velikostí, výkonností apod.), příslušenství a jednoduchosti práce s nimi. Výše uvedené rozměry modelu místnosti (přípravku) také korespondují s možností dělit LED pásy po určitých krocích, nejběžněji po 50 mm. [7]



Obr. 3.1 LED pásek vnitřní SQ3-300 (převzato z [9])

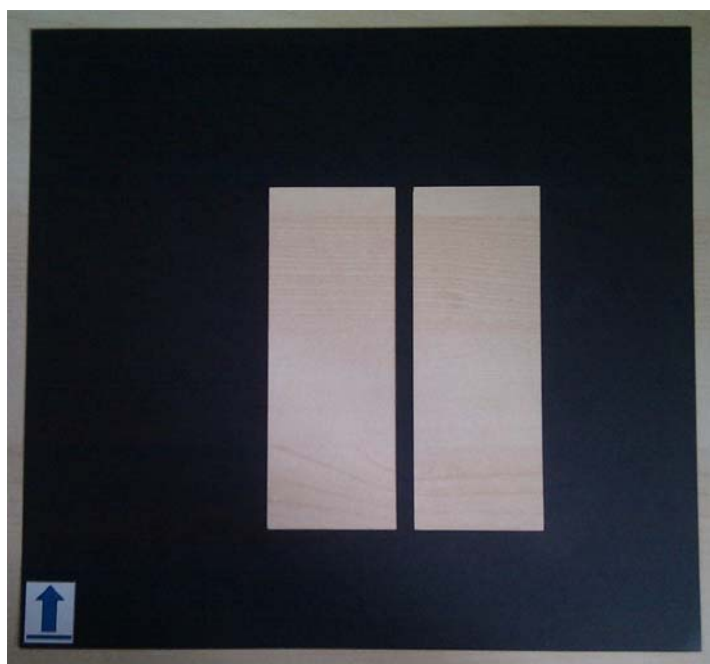
Vlastní model – kancelářská místnost – má plnohodnotné (pevné) pouze 3 boční stěny, strop a podlahu. Přední stěna je pouze z jedné pětiny, zbývající část stěny je nahrazena výměnným prvkem. Prvním prvkem je rovná stěna s různými typy povrchů určená pro měření na přípravku, zamezuje pronikání většiny denního světla do interiéru modelu, a tím zkreslení měřených hodnot – viz kapitola 6. Měření na přípravku.

Druhým výměnným prvkem je sbíhající se profil, zabráňující přílišnému vnikání denního světla do vnitřního prostoru místnosti, a tím k celkovému přesvětlení prostoru a ztrátě cíleného efektu vytvářeného vnitřním osvětlením. Tento profil ale zároveň umožňuje sledování jednotlivých světelných scén uvnitř modelu prostřednictvím průzoru. Vnitřní povrch profilu, kterým je možné do místnosti nahlížet, je opatřen černým nátěrem pro eliminaci rušivých odrazů světla. Schematické zobrazení celé konstrukce modelu je znázorněno na obr. 3.2, kde je zelenou barvou zvýrazněn profil se sbíhajícími se liniemi a šipkou směru pohledu. Celý vnější povrch přípravku má černou povrchovou úpravu.



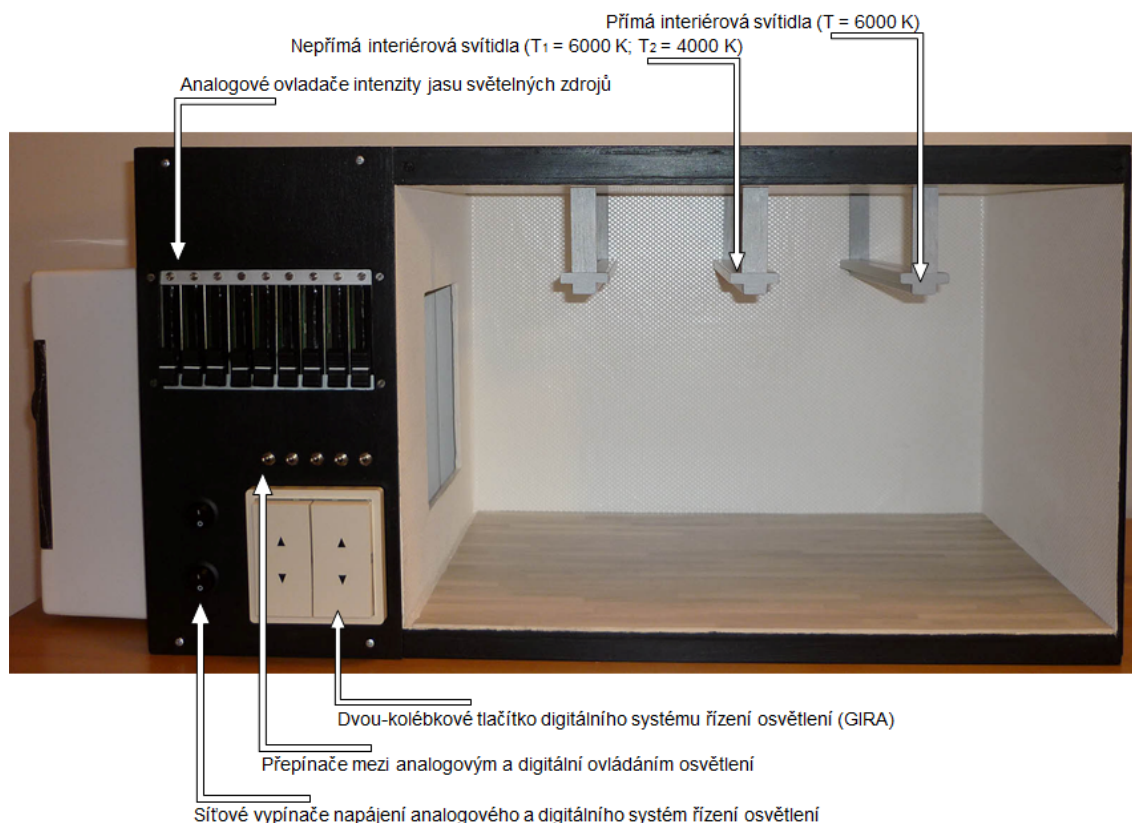
Obr. 3.2 Schematický náčrt modelu místnosti včetně profilu se sbíhajícími se liniemi pro eliminaci dopadu rušivého denního světla

Vnitřní prostor přípravku je rozdělen na dvě části – vlastní modelová místnost (vpravo) a prostor s umístěním umělého Slunce (vlevo – za ovládacím panelem). Tyto dva prostory jsou navzájem od sebe odděleny stěnou s otvorem představujícím okno, kterým do modelové místnosti mohou vnikat přímé nebo nepřímé (oblohové) složky denní světla z umělého Slunce. Ty se podílí s vnitřní osvětlovací soustavou na světelných podmínkách panujících v celém přípravku. Velikost otvoru (v příčce imitující okno) je 150 mm x 150 mm a není vyplněn žádným materiálem - sklem. Pro simulování co nejvěrnější situace v modelu je možno před dělící stěnu umístit desku se skleněnou výplní. Tato případná deska (tloušťka 5 mm) má otvor shodných rozměrů a umístění se sklem 3 mm silným. Rozdíl v silách jednotlivých materiálů imituje ostění, jako u skutečných místností. Z technologického hlediska okenní tabulka není v měřítku k modelu, který je v měřítku 1:10. Pro účely měření je možné, mezi pevně instalovanou příčku a přidavnou desku se skleněnou výplní, vsunout šablonu upravující velikost okna. Šablona je vyrobena z tvrdého kartonu černé barvy a upravuje šířku modelového okna na 120 mm, výška okna je ponechána stejná. Pro reálnější podmínky doplňuje šablona otvor o střední svislý okenní rám šířky 8 mm, viz obr. 3.3.



Obr. 3.3 Šablona upravující velikost modelového okna

Materiál použitý pro realizaci přípravku je kombinací tenkých kompozitních vícevrstvých dřevěných desek síly 5 mm a dřevěných hranolů pro vyztužení celé konstrukce. Stěny vnitřního prostoru, kde je umístěno umělé Slunce, jsou opatřeny bílým povrchovým nátěrem. Stěny interiérové části modelu jsou opatřeny bílými plastickými tapetami. Jako podlahová krytina je použito PVC (polyvinylchlorid) linoleum s imitací dřevěné plovoucí podlahy.



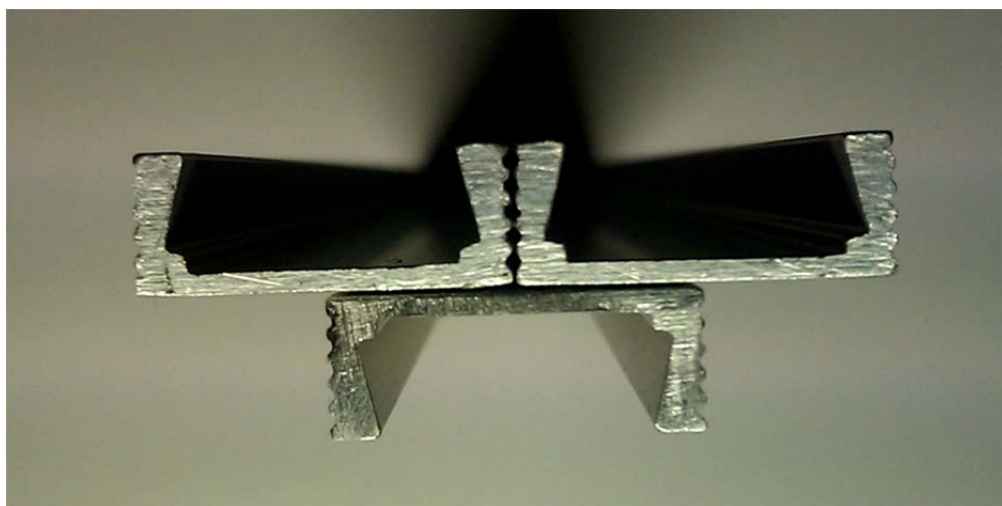
Obr. 3.4 Pohled na model včetně popisků

Na obr. 3.4 je znázorněn celý model, který se skládá z interiérové místnosti, v pravé části s modelovou osvětlovací soustavou, a z exteriérové místnosti, se simulací umělého slunečního světla situovanou za ovládacím panelem. Na levém boku modelu se nachází rozvaděčová skříňka s komponenty elektrického řídicího systému. Na ovládacím panelu se nachází síťové spínače, lineární stmívače manuálního systému řízení osvětlení, přepínače zdroje napájení pro interiérové světelné zdroje a dvou-kolébkové tlačítko digitálního systému. V interiérové místnosti jsou umístěny tři řady svítidel obsahující zdroje přímého a nepřímého osvětlení.

3.2. Realizace vnitřního osvětlení

Hlavním úkolem přípravku je vytvoření vhodných světelných podmínek, které by nejlépe představovaly jednotlivé osvětlovací soustavy a jejich světelné projevy. Každá osvětlovací soustava je realizována určitým počtem svítidel, regulovatelných po skupinách dle soustav. Součástí přípravku je také simulace přímé a nepřímé (oblohové) sluneční složky světla.

Pro interiérové osvětlení je použita kombinace jednobarevných LED pásků bílé a denní bílé barvy umístěné v hliníkových profilech zavěšených na závěsech ve vzdálenosti přibližně 45 mm pod stropem místnosti. V místnosti jsou zavěšeny celkem 3 skupiny svítidel, kde každé svítidlo se skládá z 3 hliníkových profilů typu „U“, viz obr. 3.5. Jednotlivé profily jsou navzájem slepeny epoxidovým lepidlem, odolávajícím tepelnému i mechanickému namáhání. V každém profilu je umístěn jeden LED pásek. Jeden LED pásek je situován tak, že vyzařuje svůj světelný tok do dolního poloprostoru – reprezentuje přímou osvětlovací soustavu. Zbylé dva LED pásy jsou situovány opačně, svůj světelný tok vyzařující do horního poloprostoru – reprezentují nepřímou osvětlovací soustavu. Použité LED pásy mají rozdílnou teplotu chromatičnosti, LED pásy bílé barvy v rozmezí 6000 K až 6500 K a denní bílé barvy v rozmezí 4000 K až 4500 K. Technické parametry použitých bílých LED pásků – viz níže. Jednotlivé hliníkové profily jsou zakryty plastovými difuzními kryty. [7]



Obr. 3.5 Hliníkový rám svítidel

Barva: bílá / denní bílá

Vstupní napětí: 12 V DC

Příkon: 4,8 W / 1 m

Počet LED: 60 / 1 m

Úhel svitu: 120°

LED čip: 3528 SMD Genesis SQ

Rozměry: 8 mm x 2,4 mm (šířka/výška)

Popis: vnitřní použití; vybaven samolepící páskou; dělitelnost po 50 mm [9]

Pro simulaci nepřímé (oblohové) sluneční složky světla je použit LED pásek bílé barvy. Pro simulaci přímé sluneční složky světla je použit RGB LED pásek, který umožňuje realizaci libovolné barvy světla tak, aby mohl korespondovat se změnou barvy slunečního světla v průběhu dne. RGB LED pásek se od jednobarevných pásků liší pouze v použitých LED čípech, ve kterých jsou v tomto případě integrovány 3 světlo emitující diody základních barev. Technické parametry použitého RGB pásku - viz níže.

Barva: RGB

Vstupní napětí: 12 V DC

Příkon: 14,4 W / 1 m

Počet LED: 60 / 1 m

Úhel svitu: 120°

LED čip: 5060 SMD

Rozměry: 10 mm x 2,4 mm (šířka/výška)

Popis: vnitřní použití, vybaven samolepící páskou, dělitelnost po 50 mm [9]

Přímá osvětlovací soustava se vyznačuje velkou nerovnoměrností osvětlení v ploše s ostrými stíny. Do přímé soustavy patří svítidla vyzařující svůj tok pouze do dolního poloprostoru. Tuto soustavu nejlépe vystihují např. bodová či lineární světla směřující dolů, jejichž světelný kužel vytváří poměrně ostře ohraničenou osvětlenou plochu.

V přípravku jsou tyto soustavy představovány třemi liniemi bílých LED, umístěných pod stropem, svítících do dolního poloprostoru. Každá linie světelných diod je ovladatelná nezávisle na ostatních liniích. To umožňuje prezentovat možnosti využití jak umělého, tak i denního světla vnikajícího do prostoru oknem, k osvětlení místnosti a zachování dostatečné úrovně osvětlení v celém prostoru. Intenzita vyzařovaného světla jednotlivých řad svítidel může být rozdílná v závislosti na vzdálenosti od prosklených ploch (např. oken), kde do místnosti zároveň vniká denní světlo a není potřeba takové množství umělého světla, viz obr. 3.6. Např. u oken je řada světél zcela vypnuta, zatím co řada nejdále od oken je plně zapnuta tak, aby byla intenzita osvětlení v místnosti co nejvíce vyrovnaná.

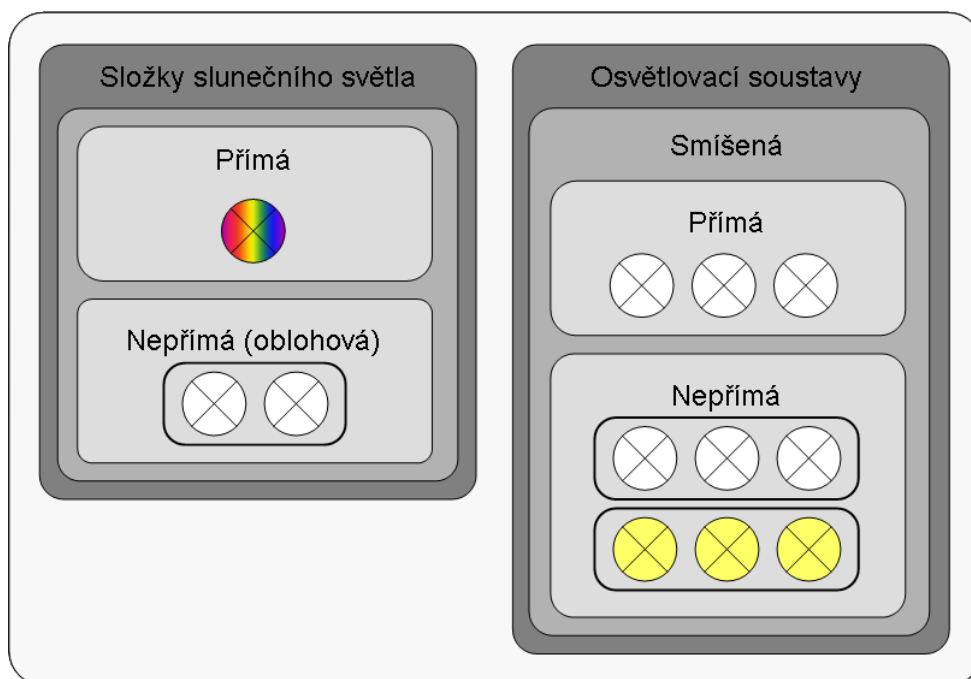


Obr. 3.6 Osvětlení místnosti kombinující umělé a denní světlo (převzato z [10])

Nepřímá osvětlovací soustava je opakem soustavy přímé. Zdroje světla vyzařují veškerý svůj světelný tok do horního poloprostoru proti stropu, od kterého se následně odráží. Osvětlované plochy se chovají jako druhotné zdroje světla. Jimi je osvětlována vlastní místnost. Orientace svítidel je zde opačná, proti svítidlům přímé osvětlovací soustavy tak, aby jejich světelný tok byl vyzařován proti stropu. Svítidla nepřímé osvětlovací soustavy jsou zdvojena, kvůli možnosti simulovat i biodynamické osvětlení v místnosti. Každá linie svítidel je osazena jak LED pásy bílé barvy, tak i denní bílé barvy. Svítidla jsou dle typu bílé barvy ovládána a regulována společně jako jedna skupina. [7]

Souběžnou kombinací přímé a nepřímé osvětlovací soustavy docílíme výsledné smíšené osvětlovací soustavy, kdy svítidla vyzařují svůj světelný tok jak do horního, tak do dolního poloprostoru osvětlované místnosti.

Vnitřní osvětlení přípravku zahrnuje celkem 5 skupin světél, které jsou ovládány nezávisle na sobě, viz obr. 3.7.

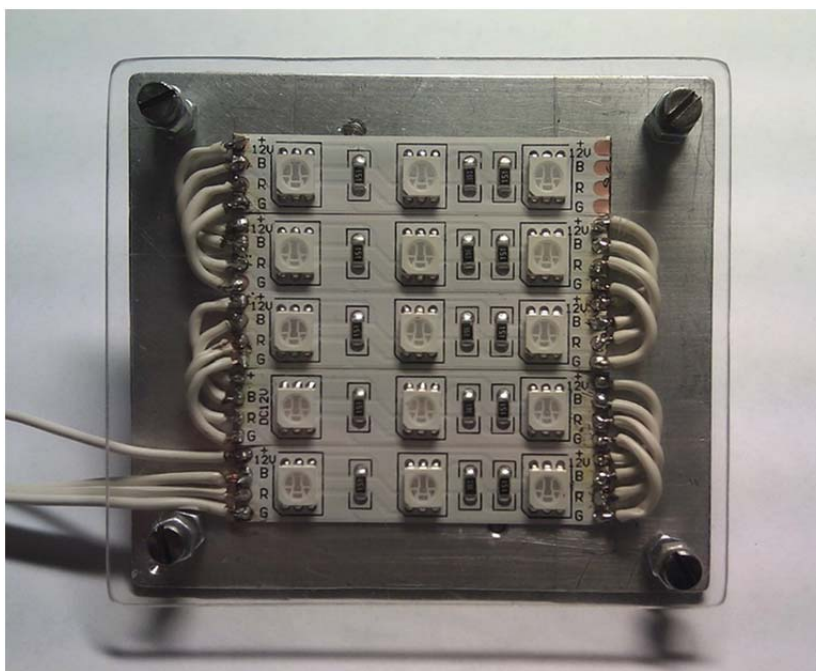


Obr. 3.7 Celkové schematické rozdělení skupin světél

3.3. Návrh a realizace simulace slunečního světla

Na výše popsanou realizaci vnitřního osvětlení přípravku navazuje návrh a realizace simulace slunečního světla, které představuje světlo pronikající do místnosti skleněnými plochami. Přípravek se dělí na vlastní místnost s interiérovým osvětlením a na část se světelnými zdroji slunečního světla, která zabírá přibližně 1/5 prostoru celého přípravku. Tato část modelu je vybavena dvěma zdroji světla představující přímé a nepřímé (oblohové) sluneční světlo. [7]

Přímé sluneční světlo je realizováno pomocí RGB LED pásku. Jelikož skutečné Slunce se jeví, ze své vzdálenosti, jako bodový zdroj světla, bylo i zde cílem, aby se umělé Slunce v přípravku tomuto faktu co nejvíce přibližovalo. Na hliníkové desce je koncentrováno, na malé ploše, těsně vedle sebe 5 pásků délky 5 cm, kde každý je osazen třemi RGB světelnými diodami, celkem tedy 15 LED.

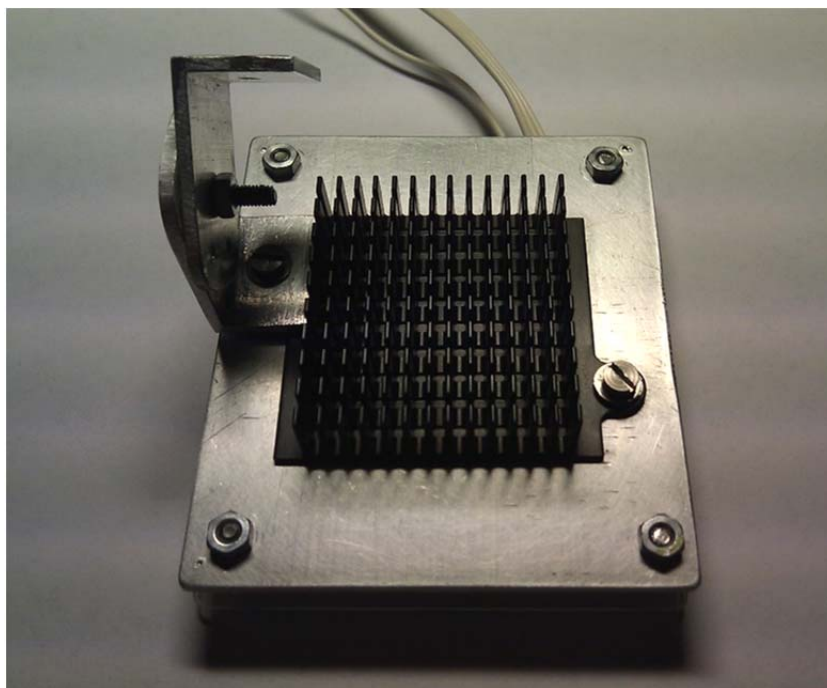


Obr. 3.8 Realizace přímého slunečního světla – světelný panel

Na hliníkové desce, relativně malých rozměrů, je umístěn větší počet světelných diod (15 chipů, každý po 3 LED, celkem tedy 45 LED, viz obr. 3.8), které při svém běhu produkují určité množství tepla. Z důvodů lepšího odvodu tepla z hliníkové desky je ze zadní strany opatřena pasivním chladičem, viz obr. 3.9. Pro lepší chlazení,

zejména v případě měření s přídavnou stěnou se skleněnou výplní, kdy je zamezeno přístupu chladného vzduchu z okolí modelu, je umístěn ve stěně za hliníkovou deskou s pasivním chladičem malý ventilátor. Rozměry ventilátoru jsou 50 mm x 50 mm x 10 mm. Ten je napájen z transformátoru pro manuální řídicí systém osvětlení a zapíná se samočinně vždy po připojení transformátoru na síťové napětí.

Celý světelný panel je umístěn šikmo pod stropem přípravku tak, aby vyzařoval svůj světelný tok přímo do místnosti. Panel svírá s rovinou podlahy modelu úhel 53° , který odpovídá poloze Slunce v letních měsících (červen, červenec) přibližně v 10:00 a 14:00. RGB LED pásku je použito kvůli potřebě měnit teplotu chromatičnosti tak, aby mohla korespondovat s barvou slunečního světla, měnícího se v závislosti na denní době. Zdroj přímého světla vytváří v místnosti intenzivně osvětlené plochy a tmavé stíny.



Obr. 3.9 Světelný panel - zadní strana opatřená chladičem

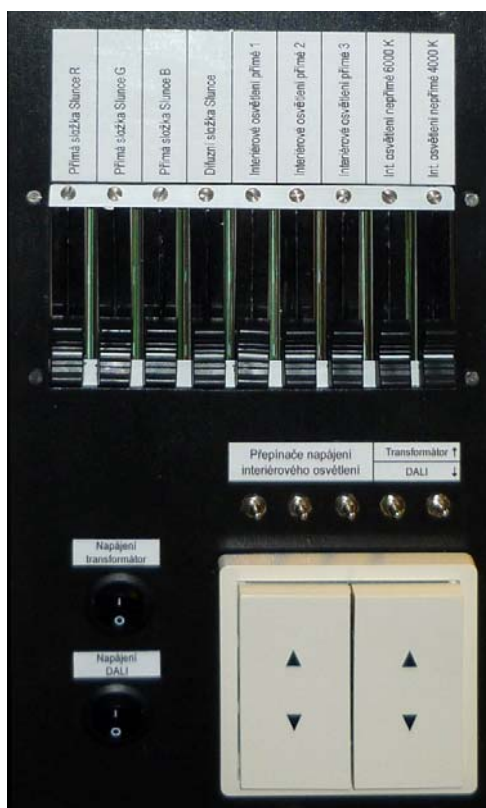
Nepřímá (oblohová) složka slunečního světla je realizována dvojicí bílých LED pásků 20 cm dlouhých umístěných na dělicí stěně. Pásky vyzařují světelný tok proti stěnám exteriérové části přípravku, od kterých se následně odráží do interiérové části. Tímto do místnosti proniká převážně difusní světlo, které nevytváří ostré stíny.

4. Systém řízení osvětlení

4.1. Realizace manuálního řízení osvětlení

K snadnému ovládání a regulaci všech svítidel umístěných v přípravku slouží ovládací panel (viz obr. 4.1), umístěný vlevo v přední části přípravku. Ovládací panel obsahuje jak prvky pro manuální regulace světelných zdrojů, tak i komponenty digitálního systému řízení pomocí protokolu DALI.

Prvky manuálního systému řízení všech světelných zdrojů jsou lineární stmívače. Pro volbu způsobu napájení a ovládání interiérových zdrojů světla slouží 5 páčkových přepínačů. Prvky digitálního systému řízení jsou na ovládacím panelu zastoupeny dvou-kolébkovým spínačem GIRA.



Obr. 4.1 Pohled na ovládací panel

Manuální regulace jednotlivých světelných zdrojů v přípravku je realizována pomocí jednoduchých posuvných lineárních ovladačů přímo určených pro použití s LED pásky (viz obr. 4.2). Jedná se o jedno-kanálový stmívač určený pro napětí 12 V - 24 V, který umožňuje regulaci jasu LED od úplného vypnutí až do maximálního svitu. Technické parametry použitých regulátorů jsou uvedeny níže. V přípravku je instalováno celkem 9 kusů těchto regulátorů, které jsou mechanickými spoji sjednoceny v jeden celek a připevněny k desce ovládacího panelu.

LED stmívač 1 kanál

Regulace jasu LED pásků a 12V LED žárovek v rozsahu 0 % – 100 %

Vstupní napětí: 12 V – 24 V DC

Výstup: 12 V / 4 A / 48 W nebo 24 V / 4 A / 96 W

Připojení: vstup/výstup - šroubovací svorkovnice

Rozměry: 14 mm x 123 mm x 19 mm [9]



Obr. 4.2 Stmívač pro regulaci jasu LED pásků (převzato z [9])

Všechny zdroje světla (LED pásy) a regulátory v přípravku jsou určeny pro napájení stejnosměrným napětím 12 V. Pro napájení je použit spínaný zdroj napětí s výkonem 40 W (viz obr. 4.3). Výkon zdroje musí být vyšší než příkon všech spotřebičů v obvodu. V tomto případě má zdroj dostatečně velkou výkonovou rezervu, a proto by nemělo docházet k jeho výraznému zahřívání. Technické parametry použitého zdroje napětí jsou uvedeny níže. [7]

LED spínaný zdroj 12V 40W je opatřen:

tepelnou pojistkou

pojistkou proti zkratu (po odstranění zkratu je opět plně funkční)

pojistkou proti přetížení

Vstupní napětí: 170 V – 265 V AC

Výstup: 12 V DC / 3,5 A

Výkon: 40 W

Váha: 0,25 kg

Zdroj určený pro vnitřní použití

Rozměry: 111 mm x 78 mm x 36 mm [9]



Obr. 4.3 Napájecí transformátor LED (převzato z [9])

4.2. Realizace digitálního systému řízení osvětlení

Většina budov je v současné době vybavena klasickým manuálním ovládáním osvětlení – tj. klasické elektrické vypínače. Tento systém je v ovládání osvětlení dlouhodobě zavedený. Klade hlavně důraz na jeho jednoduchost, a s tím spojené nízké pořizovací náklady. Manuální řízení osvětlení je vhodné pro ty budovy, ve kterých není potřeba určitého centrálního řízení veškerého osvětlení. V nově stavěných moderních budovách je s rostoucími požadavky na množství funkcí a úroveň komfortu často místo manuálního řízení použit sběrníkový digitální systém ovládání. Digitální systém řízení přináší úsporu v náročnosti na vedení a nabízí více funkcí, na druhou stranu je jeho pořizovací cena vyšší.

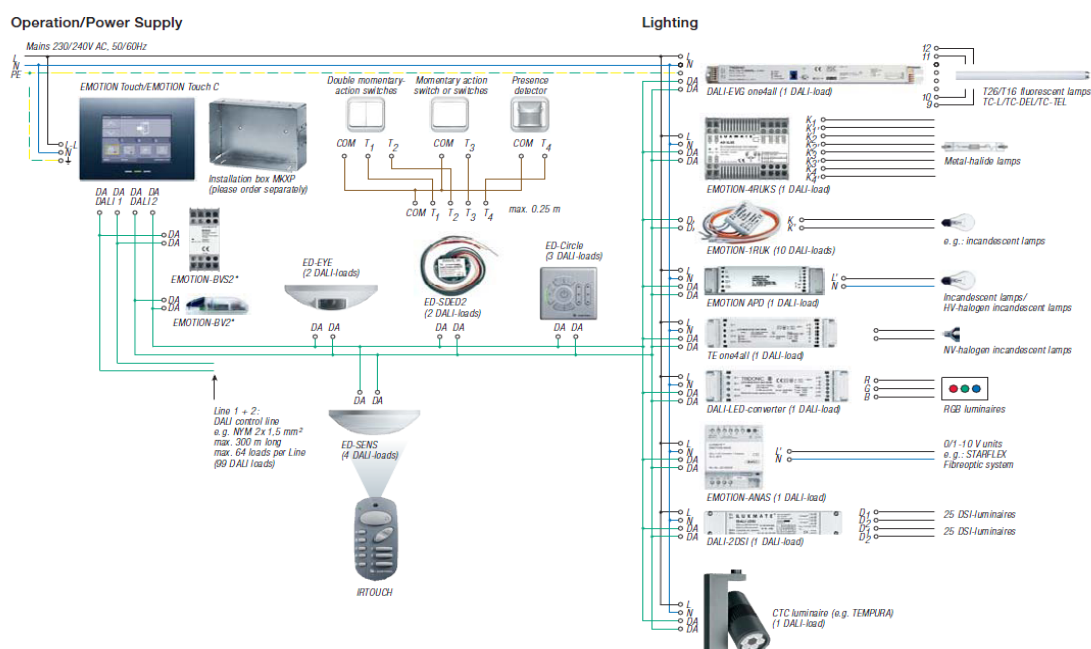
Tyto digitální systémy se v dnešní době nepoužívají jen pro řízení osvětlení, ale pro veškeré automatizace v budově, např. pro ovládání zastíňujících okenních prvků, ovládání termostatických hlav, přístupových a zabezpečovacích systémů a pro různé další technologie budovy. Řídicí systémy tyto technologie sdružují do celku, který je pak možné centrálně ovládat. Jedním z takových systémů je systém KNX, který umožňuje řízení jak osvětlení, tak i ovládání výše popsaných technologií nacházejících se v budově.

Vzhledem ke skutečnosti, že se v modelu nachází pouze osvětlení, byl jako digitální systém řízení, použit systém využívající komunikace po sběrnici s protokolem DALI. Systém založený na protokolu DALI umožňuje naprogramování jednotlivých ovládacích prvků (tlačítek), zapnutí a vypnutí svítidel nezávisle na sobě, tvorbu skupin svítidel a umožňuje řízení jejich jasu, případně volbu určité předem nastavené scény apod. Samozřejmostí je v případě použití RGB LED také řízení jejich teploty chromatičnosti (barvy světla).

Význam zkratky DALI v překladu je digitálně adresované světelné rozhraní (Digital Adressable Lighting Interface). Ovládání svítidel s užitím protokolu DALI probíhá pomocí digitální komunikace po jednotné dvou vodičové sběrnici, na kterou jsou přes předřadníky připojena jednotlivá svítidla, případně ovládací prvky a senzory osvětlení. Systémy s protokolem DALI jsou v současné době často využívány

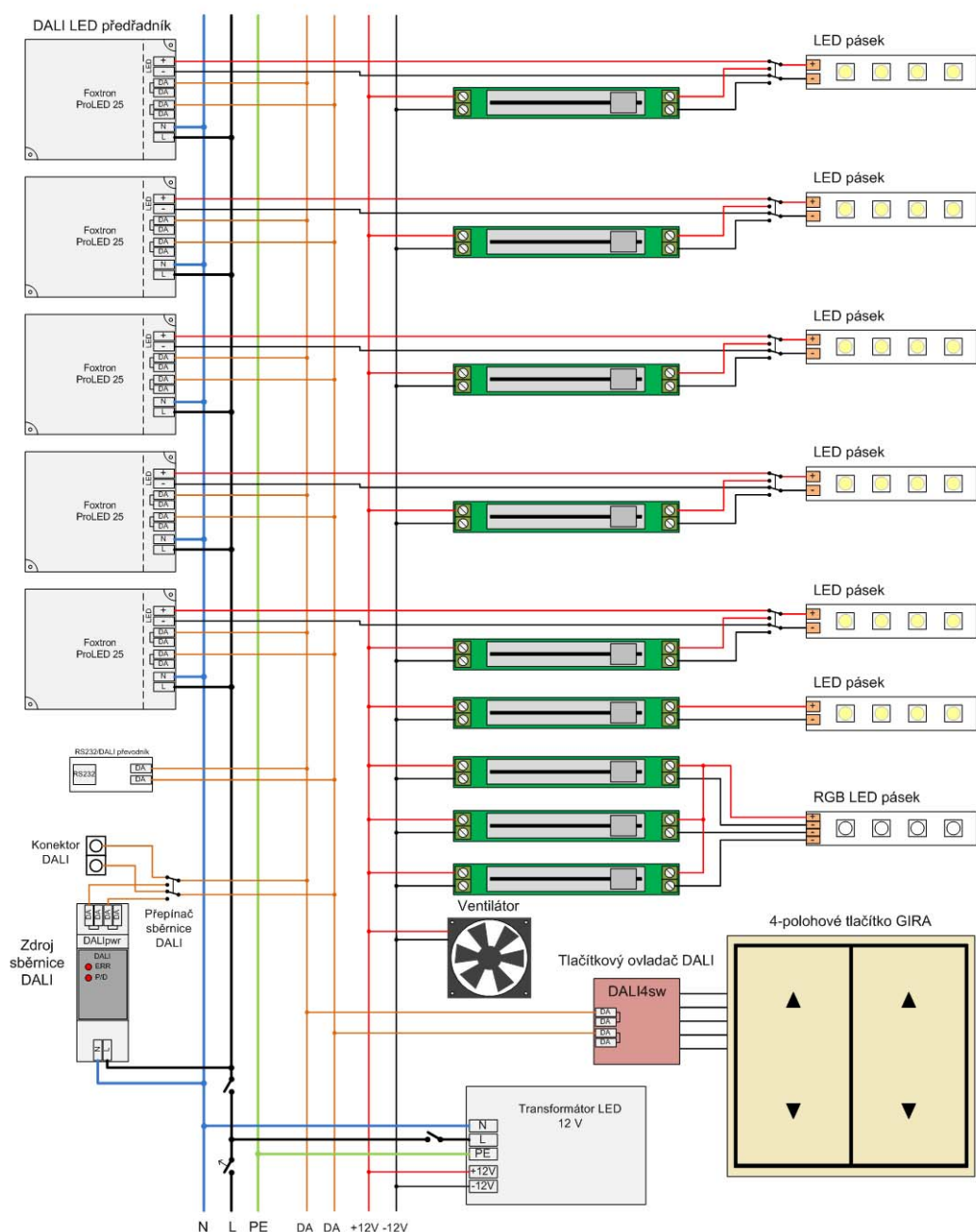
ve velkých administrativních budovách nebo v inteligentních rodinných domech, kde umožňují centralizovaný dohled a řízení elektrických osvětlovacích systémů.

Digitální komunikace po sběrnici používá kód Manchester. Systém s protokolem DALI umožňuje individuální nebo skupinovou adresaci, definici scén a čtení stavu svítidla (předradníku). Umožňuje adresování až 64 samostatných jednotek na jedné sběrnici, jejich rozdělení a adresování až do 16-ti skupin. Výhodami systému je jednoduchá tvorba skupin svítidel podle potřeby, není nutné již při pokládce vedení vědět, která svítidla budou sloučena do skupiny, a jednotlivě je propojovat. Dalšími výhodami jsou např. signalizace poruchy svítidla nebo regulace jasu svítidel. Topologie systému DALI může být sériová, paralelní nebo kombinace obou – sérioparalelní, nemůže však být kruhová, protože není systémem povolena. Samostatným adresováním jednotlivých svítidel není návrh celé topologie plně závazný. V systému jsou zátěže DALI propojeny s centrální řídicí jednotkou 5-ti žilovým vedením – fázový (L), nulový (N), zemnicí (PE) a pro digitální komunikaci slouží dvojice vodičů (DA1, DA2) - představující vlastní datovou sběrnici systému DALI. Vedení sběrnice je možné vést spolu se silovým vedením. [7] Na obr. 4.4 je znázorněno ukázkové schéma zapojení systému řízení osvětlení používající protokol DALI.



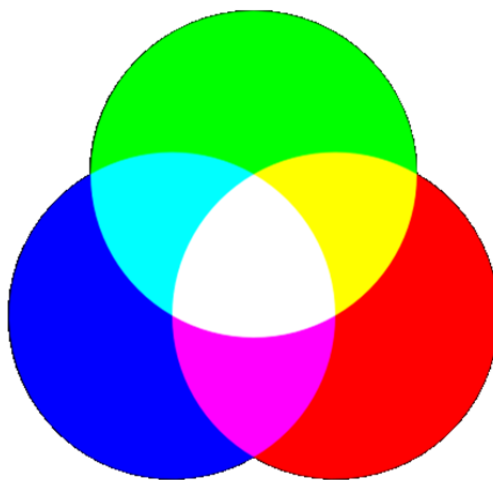
Obr. 4.4 Ukázkové schéma zapojení systému DALI (převzato z [10])

Do systému může být zapojeno velké množství různých typů komponentů. Najdeme zde předřadníky pro různé světelné zdroje (LED, klasické žárovky, zářivky, výbojky), senzory osvětlení, klasická tlačítka, bezdrátový dálkový ovladač nebo centrální řídicí jednotku s velkým dotykovým displejem. Na dalším obrázku (obr. 4.5) je znázorněno skutečné schéma společného zapojení obou elektrických systémů řízení osvětlení použitých v modelu – manuální a digitální systém řízení osvětlení.



Obr. 4.5 Schéma zapojení elektrického systému přípravku

Digitální systém umožňuje regulovat jednotlivé světelné zátěže (v tomto případě LED pásy) nezávisle na sobě a vytvářet tak různé světelné scény. V případě použití RGB LED je možné, na základě aditivního směšování barev, regulováním intenzity svitu jednotlivých světlo emitujících diod, vytvářet libovolnou barvu výsledného vyzařovaného světla (viz obr. 4.6). Této vlastnosti (změny chromatičnosti) využívá celý jeden typ osvětlení prostor, a to biodynamické osvětlení.

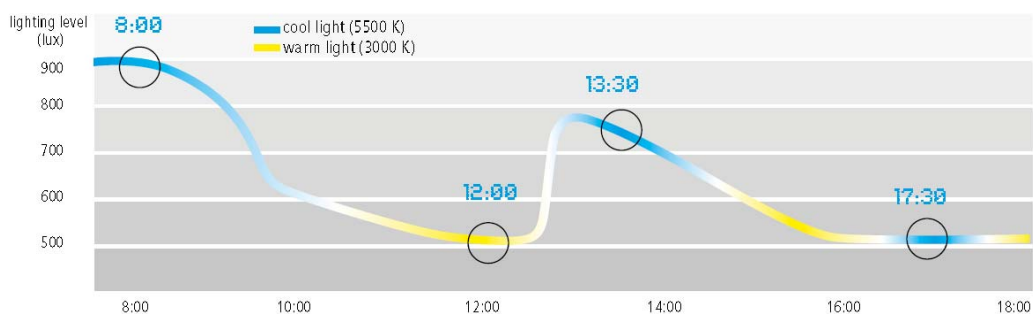


Obr. 4.6 Aditivní směšování barev (převzato z [8])

Biodynamické osvětlení bylo původně navrženo především pro bezokenní prostory, např. různé velíny elektráren nebo podzemní prostory. Nyní se stále častěji objevuje i v částech budov určených pro běžné užití, ve kterých je snížen podíl denního světla. Systém osvětlení tak dotváří celkový pocit více denního světla v místnosti. V prostoru s biodynamickým osvětlením se pomocí řídicí jednotky a venkovních senzorů intenzity osvětlení mění, v závislosti na denní době, teplota chromatičnosti a intenzita světla a směrové vlastnosti vyzařování svítidel. Teplota denního světla nezávisí jenom na denní době, ale také na atmosférických podmínkách panujících v okolí objektu – zda je obloha s nebo bez oblačnosti. Pokud je obloha jasná, na povrch dopadají přímé sluneční paprsky, světlo je teplejší barvy. Naopak, pokud je obloha zatažená, na povrch dopadá pouze difusní (rozptýlené) světlo, které je chladnější. Graf intenzity osvětlení a teploty chromatičnosti v průběhu dne je na obr. 4.7. Přibližná teplota denního světla v závislosti na různých podmínkách je v tab. 4.1.

Světelný zdroj	Teplota chrom. (K)
Sluneční světlo	
Při východu nebo západu	1 800
17 minut po východu / před západem	1 900
23 minut po východu / před západem	2 000
30 minut po východu / před západem	2 450
40 minut po východu / před západem	2 900
1 hodina po východu / před západem	3 500
2 hodiny po východu / před západem	4 400
Poledne	4 800 – 5 300
Denní světlo	
Ráno a večer	4 700
10 a 14 hodin	5 500
Letní dopoledne / odpoledne	5 300 – 5 800
Zimní dopoledne / odpoledne	5 000 – 6 000
Letní poledne, bílé oblaky	6 000 – 7 000
Zimní poledne, bílé oblaky	5 000 – 6 000
Zataženo (oblačnost), stín	
Středně zataženo	6 000 – 7 000
Mlha	
Modrá obloha v nížině	9 500 – 12 000
Modrá obloha v horách	12 500 – 25 000

Tab. 4.1 Teplota chromatičnosti denního světla (převzato z [2])



Obr. 4.7 Průběh intenzity a teploty chromatičnosti světla během dne (převzato z [6])

Digitální systém řízení osvětlení použitý v popisovaném přípravku (modelu), obsahuje 5 ovládacích předřadníků pro světlo emitující diody, napájecí zdroj sběrnice, dvoj-kolébkový spínač GIRA, převodník RS232/DALI a tlačítkový ovladač DALI4sw, který v tomto zapojení nahrazuje programovatelnou řídicí jednotku. Veškeré komponenty digitálního řídicího systému, včetně napájecího transformátoru LED pro manuální ovládání, jsou umístěny v rozvaděčové skříňce na levém boku modelu, viz obr. 4.8. Je zde umístěn i hlavní vypínač celého elektrického systému – jistič (na obr. úplně vlevo). Vpravo vedle jističe se nachází napájecí zdroj sběrnice DALI. Ve středu rozvaděčové skřínky je umístěno 5 předřadníků pro LED pásy. Úplně vpravo se pak nachází spínaný napájecí zdroj pro systém manuálního řízení osvětlení. Nad rozvaděčovou skříňkou je za mřížkou situován ventilátor pro chlazení panelu s LED pro simulaci přímé sluneční složky světla. V pravé části obrázku je pak vidět propojovací DALI konektor a přepínač napájení sběrnice.



Obr. 4.8 Rozvaděčová skříňka na levé straně modelu

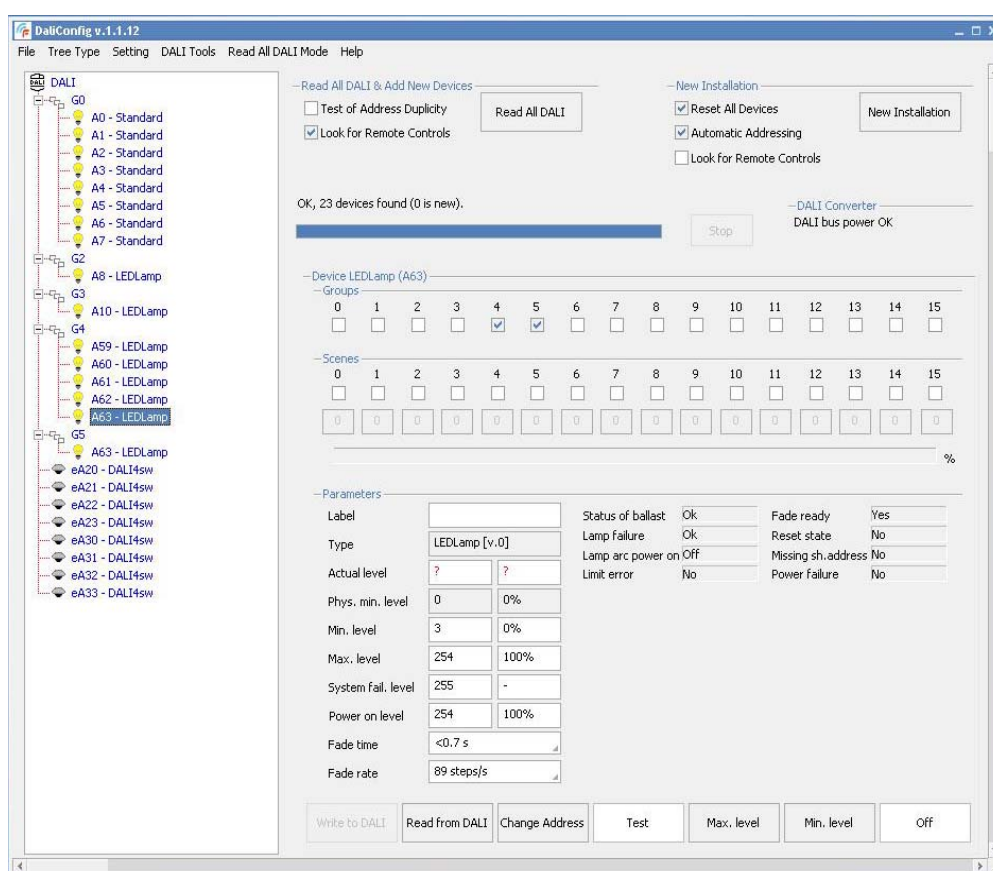
Pomocí DALI systému je možné regulovat pouze interiérové osvětlení modelu. Přímé a nepřímé (oblohové) složky slunečního světla nejsou osazeny digitálními předřadníky a lze je tak ovládat pouze prostřednictvím manuálních ovladačů.

Model místnosti bude převážně umístěn v laboratoři světelné techniky katedry elektroenergetiky na ČVUT v Praze, která je vybavena moderní osvětlovací soustavou využívající jak protokol DALI, tak i KNX. Z tohoto důvodu je digitální systém řízení osvětlení od počátku navrhován a přizpůsobován možnosti propojit tento model – systém řízení – s celým systémem laboratoře světelné techniky. Tato laboratoř disponuje v současnosti třemi nezávislými pracovišti pro výuku digitálních řídicích systémů v osvětlení. Pro možnost propojení digitálního systému přípravku a jeho centralizovaného řízení pomocí ovládacích prvků laboratoře je na levém boku modelu (vedle rozvaděčové skříňky) vyveden konektor DALI sběrnice, který umožňuje propojení s digitální sběrnicí laboratoře. Spojení dvou nezávislých sběrnicových systému osvětlení je možné jen v případě, pokud je sběrnice napájena pouze z jednoho zdroje. Souběh více napájecích zdrojů najednou je nežádoucí stav. Jelikož jeden napájecí zdroj sběrnice je umístěn v modelu a další v systému laboratoře, je nutné při vzájemném propojení systémů jeden zdroj vyřadit. K tomu slouží přepínač nad propojovacím konektorem, který odpojí napájecí zdroj modelu od sběrnice, která je napájena ze zdroje laboratoře. Propojovací kabel obsahuje ještě druhý konektor pro připojení světelného senzoru. Ten umožňuje automatickou regulaci intenzity interiérového osvětlení v modelové místnosti v závislosti na množství umělého slunečního světla pronikající z exteriérové části přípravku.

4.3. Konfigurace digitálního systému řízení osvětlení

Koncepce digitálního systému řízení osvětlení s protokolem DALI s adresovatelnými svítidly včetně jednotlivých komponentů a elektrického schématu zapojení je popsána výše v kapitole 4.2 Realizace digitálního systému řízení osvětlení.

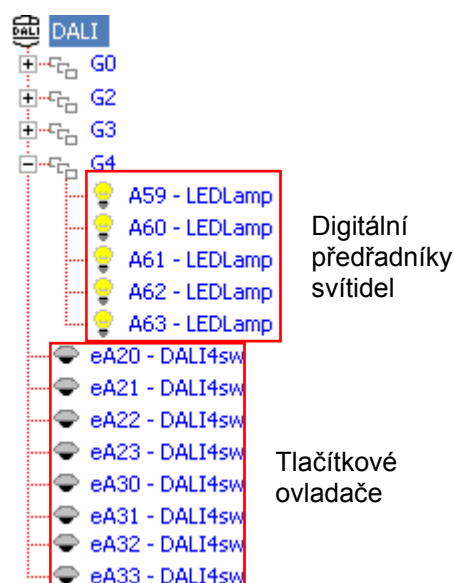
Po sestavení a oživení není digitální systém ještě funkční. Při prvním spuštění je nutné tento systém nejprve nakonfigurovat. Konfigurace probíhá pomocí programu DaliConfig, který přiřadí jednotlivým předřadníkům světel a tlačítkovým ovladačům adresy. Ukázka programu DaliConfig – viz obr. 4.9.



Obr. 4.9 Program DaliConfig

Pro nastavení digitálního systému modelu bylo nejprve nutné jeho propojení s digitálním systémem laboratoře. Systém laboratoře kombinuje komunikaci prostřednictvím protokolu DALI na jednom pracovišti a komunikaci s protokolem KNX na dvou pracovištích. Oba tyto systémy jsou propojeny a umožňují vzájemné ovládání všech prvků. Při připojení systému modelu založeném na DALI protokolu a načtení všech připojených DALI zařízení (předřadníky, tlačítkové ovladače) nastaly komplikace s duplicitou adres. Nebyly načteny všechny předřadníky svítidel, tlačítkové ovladače a některá svítidla fungovala společně. Pro správnou funkčnost bylo nutné propojit sběrnici modelu přímo s centrální jednotkou KNX systému laboratoře, aby byla aktivní všechna připojená zařízení. Dále bylo zapotřebí vymazat všechny přiřazené adresy, následně načíst pouze DALI prvky modelu a manuálně jim přiřadit adresy z konce adresního pole. Systém s protokolem DALI umožňuje adresaci až 64 zařízení (adresy A0 až A63). Digitálním předřadníkům světel byly přiřazeny adresy z rozsahu A59 až A63 a tlačítkovým ovladačům eA30 až eA33. Následně bylo možné připojit kromě modelu i celý systém laboratoře, načíst jeho konfiguraci a přiřadit adresy i jeho prvkům. Adresy byly automaticky přiřazeny od začátku adresního pole a nenastaly již původní problémy s duplicitou některých adres.

Po provedených úpravách bylo možné již digitální systém modelu normálně připojit do celého systému laboratoře nebo přímo RS232/DALI převodníkem do počítače jednoho pracoviště. Po spuštění programu DaliConfig, během načítání konfigurací jednotlivých předřadníků svítidel, bylo nutné zaktivovat jednotlivé tlačítkové ovladače. Po načtení předřadníků program vyzval ke stisknutí všech tlačítkových ovladačů, aby je mohl také načíst. Je vhodné při této aktivaci ovladačů postupovat systematicky a stisknout např. nejprve horní tlačítko první kolébky, následně dolní tlačítko první kolébky a obdobně i u druhé kolébky tak, aby byly adresy tlačítkům přiřazeny postupně a ulehčovalo to následně práci při samotné konfiguraci.



Obr. 4.10 Zobrazení načtených předřadníku a tlačítkových ovladačů

Po tomto prvotním nastavení adres jednotlivým zařízením dále probíhala již samotná konfigurace nastavení svítidel a funkcí tlačítek. Postup načtení, změn a nahrání konfigurací do systému modelu je detailně popsán v připravené laboratorní úloze pro studenty, přiložené v příloze. Laboratorní úloha postupně prochází vyrobený přípravek, jeho základní části a funkce, manuální a digitální systém řízení osvětlení. Na konfiguraci druhého zmiňovaného systému řízení osvětlení se úloha zaměřuje především a je připraveno několik úkolů na seznámení se s funkcemi tohoto systému, postupem vlastního nastavování a ukládání jednotlivých konfigurací.

5. Počítačová simulace

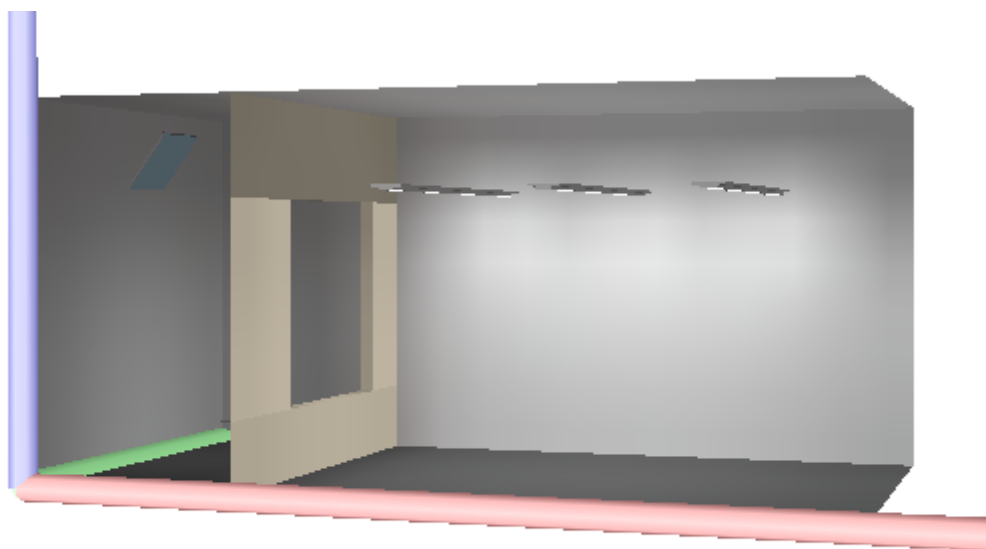
Pro ověření světelných parametrů převládajících v modelové místnosti a v místnosti stejných rozměrů ve skutečné velikosti byla provedena počítačová simulace pomocí programu DIALux. Tento program není nijak licencován a je možné ho bez poplatků stáhnout z internetových stránek jeho výrobce (<http://www.dial.de/>).

Simulační program DIALux je velmi užitečný při návrhu venkovního i vnitřního osvětlení. Umožňuje vytvářet projekty (scény) podle skutečných okolností, do které jsou následně vložena svítidla včetně jejich fotometrických údajů. Do projektu se mohou vkládat různé výpočtové plochy či výpočtové body, pro určení světelných hodnot v dané ploše nebo v daném bodu. Po vytvoření návrhu je spuštěn výpočet světelných parametrů. Podle výsledků z výpočtových ploch případně bodů je možné ověřit, zda daný počet světelných zdrojů o určitém výkonu, měrném toku, fotometrických hodnotách či jejich rozmístění v prostoru je adekvátní podle požadavků. Pro vyhodnocení slouží např. minimální a průměrné hodnoty osvětlenosti a rovnoměrnost osvětlenosti v prostoru. Přesné číselné hodnoty těchto vlastností, které se v osvětlovaném prostoru hodnotí, vycházejí z typu osvětlovaného prostoru a jsou uvedeny v českých státních normách.

V simulačním programu byl vymodelován model místnosti v měřítku 1:10 (odpovídající přípravku) a skutečná místnost korespondující rozměry místnosti modelové. Do obou místností byla vložena svítidla o rozměrech odpovídajících danému měřítku s příslušnými fotometriemi. Na obr. 5.1 je vyobrazen model místnosti v programu. Z porovnání výstupů simulačního programu pro modelovou místnost a místnost reálných rozměrů byly vypočítány světelně-technické hodnoty skutečných svítidel. V přípravku vyzařují jednotlivá modelová svítidla, každé složené z 25 LED, světelný tok průměrně 100 lm (lumen – jednotka světelného toku). Ve skutečné místnosti stejných rozměrů by bylo zapotřebí (při shodném rozmístění všech svítidel), aby svítidla přímé osvětlovací soustavy vyzařovala světelný tok přibližně 9000 lm a svítidla nepřímé osvětlovací soustavy přibližně 13000 lm. V případě realizace skutečné místnosti (dle modelové předlohy) by pro dosažení stejných světelných parametrů bylo možné použít např. svítidla Philips Celino TCS680. Jednotlivá osvětlovací tělesa přímé osvětlovací soustavy by byla realizována pomocí dvou

uvedených svítidel za sebou, každé osazené jedním světelným zdrojem (lineární zářivkou) o výkonu 58 W. Každé osvětlovací těleso nepřímého osvětlení by bylo realizováno obdobně, avšak osazeno světelnými zdroji o výkonu 80 W. V počítačové simulaci světelné parametry v modelové místnosti, při přímém a nepřímém osvětlení interiéru, v podstatě korespondují se světelnými parametry převládajícími v simulaci případné místnosti reálných rozměrů.

Počítačová simulace umělého slunečního světla v modelové místnosti pomocí LED se od předdefinovaných scén denního osvětlení liší. To může být způsobeno umístěním umělého Slunce v modelu příliš blízko okenního otvoru místnosti a zároveň relativně velkou vlastní vyzařovací plochou. Výstup ze simulačního programu – viz příloha.



Obr. 5.1 Vizualizace modelové místnosti v programu DIALux

6. Měření na přípravku

Hodnoty světelně-technických parametrů převládající v modelové místnosti, které byly vypočtené simulačním programem DIALux, bylo nutné ověřit i ve skutečnosti, a to provedením reálného měření na přípravku. K měření na přípravku bylo přistupováno shodně s postupem měření osvětlení ve skutečných místnostech, avšak s korekcí jednotlivých vzdáleností podle měřítka 1:10. Měření bylo provedeno pomocí digitálního luxmetru PRC Krochmann RadioLux 111. Osvětlenost se měřila v úrovni pracovního úkonu, tj. ve výšce 75 mm nad rovinou podlahy. Jednotlivé body tohoto měření korespondovaly se sítí měřících bodů vzdálených 50 mm od stěn místnosti a přibližně 50 mm vzdálených od sebe. Do plochy místnosti byl takto navržen rastr 5 x 8 měřících bodů (celkem 40 měřících bodů).

Měření na přípravku bylo provedeno pro následující varianty osvětlení při jejich 100 % světelném toku:

- Přímá osvětlovací soustava – všechna svítidla
- Přímá osvětlovací soustava – 1. svítidlo zleva
- Nepřímá osvětlovací soustava – bílá barva
- Přímá složka slunečního světla
- Difusní (oblohová) složka slunečního světla

Pro všechny popsané varianty osvětlení bylo provedeno také měření s přidavnou dělicí stěnou se skleněnou výplní. Pro simulaci slunečního světla bylo provedeno navíc ještě měření se šablonou upravující šíři okenního otvoru na 120 mm uprostřed s imitací okenního rámu.

Pro jednotlivé druhy světelných zdrojů (osvětlovací soustavy) byly v síti měřících bodů změřeny hodnoty intenzity osvětlení. Z naměřených hodnot luxmetrem daného měření byla vypočtena hodnota průměrné intenzity osvětlení (E_m [lx]) dle definice aritmetického průměru, viz (6.1) a vyznačeny minimální a maximální hodnoty osvětlenosti.

$$E_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i \quad (6.1)$$

Z poměru nejnižší hodnoty intenzity osvětlení ($E_{\min}$ [lx]) naměřené při dané scéně v měřeném prostoru k průměrné hodnotě osvětlenosti získáme rovnoměrnost intenzity osvětlení (U_0 [-]).

$$U_0 = \frac{E_{\min}}{E_m} \quad (6.2)$$

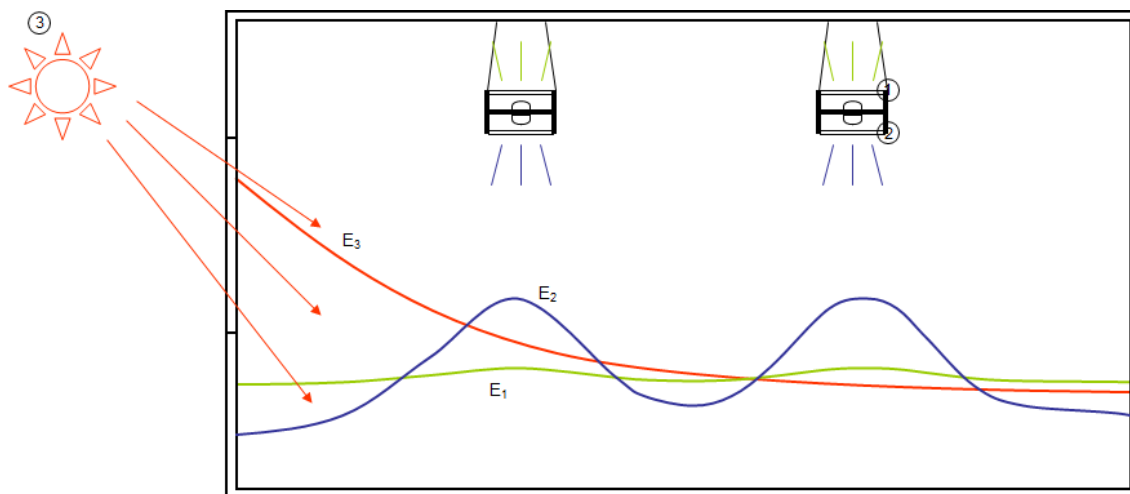
Hodnoty průměrné osvětlenosti a rovnoměrnosti intenzity osvětlení jsou určující parametry pro navrhování osvětlení. Veškeré hodnoty naměřené na modelu jsou zaznamenány do tabulky umístěné v příloze – viz příloha č. 6. V tab. 6.1 jsou uvedeny jen naměřené hodnoty minimální a maximální osvětlenosti a vypočtené hodnoty průměrné osvětlenosti a rovnoměrnost osvětlení pro jednotlivé světlené scény.

Výsledky měření osvětlenosti				
$E_{\min}$ [lx]	$E_{\max}$ [lx]	E_m [lx]	U_0 [-]	Pozn.
Světelná scéna - Přímá osvětlovací soustava – všechna svítidla				
586	1209	942	0,622	-
600	1213	953	0,630	sklo
Světelná scéna - Přímá osvětlovací soustava – 1. svítidlo zleva				
90	614	296	0,304	-
94	618	301	0,312	sklo
Světelná scéna - Nepřímá osvětlovací soustava – bílá barva				
394	626	539	0,731	-
425	626	544	0,781	sklo
Světelná scéna - Přímá složka slunečního světla				
54	368	128	0,423	-
48	325	113	0,426	sklo
34	293	88	0,386	sklo + šablona
Světelná scéna - Difusní (oblohová) složka slunečního světla				
42	178	70	0,596	-
37	145	59	0,625	sklo
28	120	46	0,613	sklo + šablona

Tab. 6.1 Výsledky měření osvětlenosti

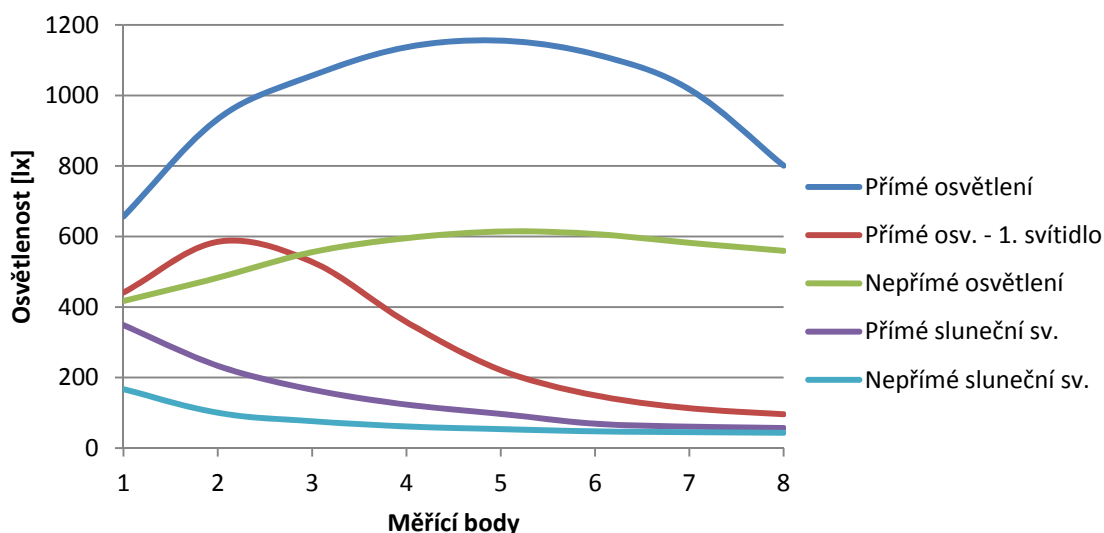
Z tabulky naměřených hodnot jsou jasné patrné teoretické předpoklady. Nejlepší rovnoměrnosti osvětlení dosahuje nepřímá osvětlovací soustava. Průměrná osvětlenost u nepřímé soustavy nabývá nižších hodnot než u soustavy přímého osvětlení, protože světlo dopadá na osvětlovanou plochu odrazem od stropu, který funguje jako sekundární zářič. Průměrná osvětlenost přímé osvětlovací soustavy dosahuje skoro dvojnásobku průměrné osvětlenosti nepřímé osvětlovací soustavy, protože svítidla vyzařují svůj světelný tok přímo proti osvětlované ploše, ale to na úkor nižší rovnoměrnosti osvětlení v prostoru. Pro prezentaci rovnoměrnosti osvětlení bylo provedeno měření pouze s prvním svítidlem přímého osvětlení. Zde je vidět, že rovnoměrnost osvětlení je logicky ještě razantně nižší, než v případě zapnutých všech svítidel přímého osvětlení, nebo svítidel nepřímého osvětlení. Obdobná rovnoměrnost osvětlení převládá i u přímé a nepřímé složky slunečního světla, které pronikají do místnosti pouze skrze jednu stěnu a v osvětlované místnosti, tak vytvářejí velkou nerovnoměrnost osvětlení.

Teoretický předpoklad průběhu intenzit osvětlení jednotlivých zdrojů světla, z fáze návrhu modelu, je znázorněn na obr. 6.1. Modrá křivka (E_2) ukazuje předpokládaný průběh intenzity osvětlení od přímé osvětlovací soustavy, zelená křivka (E_1) zobrazuje průběh od nepřímé osvětlovací soustavy a červená křivka (E_3) průběh od slunečního světla vnikajícího do interiéru okenním otvorem.



Obr. 6.1 Předpokládané průběhy osvětlenosti jednotlivých typů svítidel

Z naměřených hodnot pro všech 5 vzorových světelných scén, pro případ stěny bez skleněné výplně a bez šablony upravující velikost okenního otvoru, jsou v přílohách vytvořeny názorné trojrozměrné grafy, viz přílohy č. 7 až č. 11. Z naměřených hodnot ze středního pásma ($y = 126, 164$ a 202 mm) byly vypočteny průměrné hodnoty a vyneseny do grafu křivek osvětlenosti, viz obr. 6.2.



Obr. 6.2 Naměřené průběhy osvětlenosti

Z grafu jsou patrné převládající hodnoty osvětlenosti v modelové místnosti. Nejlepší rovnoměrnosti osvětlení dosahuje nepřímé osvětlení, ale na úkor nižších hodnot osvětlenosti. Naopak největších hodnot osvětlenosti dosahuje přímá osvětlovací soustava, ale na úkor rovnoměrnosti osvětlení. Průběhy osvětlenosti přímé a nepřímé osvětlovací soustavy jsou podle svislice nesymetrické. Toto je způsobeno tím, že je v levé stěně modelové místnosti situován okenní otvor. Jelikož okenní plocha nemá žádnou výplň, nedochází od ní k odrazům, a proto jsou naměřené hodnoty osvětlenosti nižší.

7. Získané zkušenosti a doporučení

Tvorba modelu, kterou se zabývá tato práce, byla v průběhu prováděna jako každý projekt různými problémy a komplikacemi. Jelikož projekty obdobného typu v podstatě neexistují, nešlo tedy využít zkušeností jiných tvůrců a bylo nutné samostatně jednotlivé problémy vyřešit. V této kapitole bych rád popsal zkušenosti a doporučení získaná v průběhu navrhování a vlastní realizace modelu. Tyto poznatky by měly posloužit do začátku dalším tvůrcům, kteří mají zájem o popisovanou problematiku a chtěli by rozšířit stávající model o jeho další využití, nebo vytvořit vlastní obdobu přípravku.

Možnosti rozšíření stávajícího modelu by v první řadě mohly spočívat v rozšíření digitálního systému řízení osvětlení a doplnit jej o 4 digitální předřadníky pro přímou a nepřímou (oblohovou) složku slunečního světla. Simulace slunečního světla je v současné době regulovatelná pouze manuálním systémem řízení osvětlení. V návaznosti na to by bylo žádoucí vyměnit stávající panel přímé sluneční složky světla složeného z 15 RGB LED čipů za jednu vysoce svítící RGB LED. Aktivní chlazení panelu by bylo využito i po případné výměně světelného zdroje. Současné světelné diody přímé sluneční složky dle výsledků měření nedosahují požadovaného světelného toku. Při maximálním jasu interiérového osvětlení nevynikají příliš světelné scény tvořené simulací slunečního světla. Toto je možné korigovat snížením jasu interiérových světelných zdrojů.

Rozšíření by mohla také doznat konfigurace digitálního systému řízení osvětlení (DALI). Zde by se daly najít konkrétně možnosti rozšíření v naprogramování a samovolném běhu složitějších světelných scén, např. biodynamické osvětlení, vzorový průběh denního osvětlení (po digitalizaci simulace slunečního světla). Toto nastavení by muselo být realizováno prostřednictvím napsaných skriptů a jejich přímého zapisování skrze DALI terminal na datovou sběrnici.

Do modelu před dělicí příčku s okenním otvorem je možné vložit přídavnou stěnu se skleněnou výplní. Rozšíření modelu by mohlo spočívat v realizaci více takovýchto výměnných stěn s různými typy skla. S využitím těchto výměnných stěn by pak bylo možné provádět měření vlivů jednotlivých skleněných výplní na množství pronikajícího denního světla do interiéru.

Další popsané možnosti rozšíření bych kvůli jejich velkému zásahu do samotné konstrukce modelu, spojené s náročnými technologickými postupy, doporučil realizovat až na konstrukci nového modelu.

Model by mohl obsahovat výměnné světelné zdroje, které by se vyměňovaly jako celá soustava a propojovaly by se prostřednictvím jediného konektoru se systémem řízení osvětlení. Takto výměnné osvětlovací soustavy by nemusely být soustředěny pouze pod stropem, ale mohlo by se jednat také o různé stěnové osvětlovací soustavy. V současnosti použité světelné zdroje LED by mohly být nahrazeny plošnými organickými elektroluminiscenčními diodami (OLED – Organic light-emitting diode). Ty by pokrývaly např. celou plochu stropu či stěny.

Stěny modelu jsou v současnosti pokryty plastickou tapetou bílé barvy. Model by mohl být uzpůsoben tomu, aby se povrchy stěn daly zaměňovat. To by mohlo být realizováno vkládáním a fixací desek různé barvy a různých materiálů, což by umožňovalo měření odrazivosti jednotlivých povrchů a zkoumání vlivu povrchu stěn na celkové osvětlení prostoru. Obdobně by mohlo být připraveno několik výměnných desek podlahových krytin.

V koncepci návrhu nového modelu by se mohlo počítat s pohyblivou simulací slunečního světla. Ta by při svém pohybu vytvářela v modelové místnosti proměnlivé stíny tak, jako tomu je při pohybu Slunce ve skutečnosti.

Světelné podmínky převládající v daný moment v osvětlovaném prostoru modelu jsou hodnoceny jen subjektivně. Objektivní hodnocení je výsledkem měření, které je nyní relativně zdoluhavé a neumožňuje měřit hodnoty ve všech měřených bodech ve stejný okamžik. Proto by mohl být model vybaven senzorovou sítí realizovanou v podlaze, např. prostřednictvím fotodiod. Tato síť by byla vybavena číslcovým výstupem a zobrazovacím zařízením, na kterém by se v reálném čase zobrazovaly aktuální snímané hodnoty.

Postřehy a zkušenosti technického (konstrukčního) charakteru nabyté v průběhu navrhování a vlastní realizace modelu lze shrnout do následujících vět. Měřítko samotného modelu - modelové místnosti - by mohlo být větší, přibližně 1:8. Model by byl stále relativně malý, ale na druhou stranu by v něm bylo více prostoru pro samotou realizace modelového osvětlení a jednotlivé výrobní detaily by se lépe řešily (např. v současnosti připevnění hliníkových rámců svítidel ke svislým prvkům uchycení). Pro možnost osazení světelnými zdroji libovolnou stěnu by bylo vhodné všechny stěny modelu realizovat dvojitou konstrukcí. Tato konstrukce umožňuje dobré přichycení případných svítidel a také skryté vedení přípojných vodičů.

8. Závěr

Podle zadání byla zpracována rešerše nejčastěji používaných světelných zdrojů pro vnitřní osvětlovací soustavy. Z dostupných světelných zdrojů byly vybrány ty nejvhodnější pro použití v přípravku, a to světlo emitující diody, konkrétně liniově uspořádané – LED pásy. Na základě vybraných světelných zdrojů a požadavků pro nejčastěji používané osvětlovací soustavy v interiéru byl proveden koncept modelu. Tento návrh byl následně realizován do skutečné podoby.

Celý model byl vyroben z vícevrstvých kompozitních dřevěných desek a dřevěných hranolů o vnějších rozměrech 720 mm x 300 mm (půdorys) a výškou 315 mm. Měřítko modelu je proti skutečnost 1:10. Součástí modelové místnosti je i zmenšená osvětlovací soustava. Soustava je plynule regulovatelná a je schopna simulovat přímé i nepřímé osvětlení. Regulace osvětlovací soustavy, respektive jednotlivých svítidel, je realizována dvěma způsoby – manuální systém řízení osvětlení a tzv. inteligentní elektroinstalací. V prvním případě jsou svítidla napájena spínaným zdrojem a regulovatelná pomocí lineárních posuvných stmívačů. Ve druhém případě jsou jednotlivá svítidla vybavena elektronickými předřadníky a jsou tak adresovatelná pro protokol DALI. Tento digitální systém ovládání osvětlení je možné programovat prostřednictvím připojeného počítače.

Součástí modelu je také simulace umělého slunečního světla. V přípravku je realizována jak přímá složka slunečního světla, tak i složka difusní (oblohová). Přímá složka slunečního světla umožňuje měnit teplotu chromatičnosti díky použití RGB LED. Umělé sluneční světlo vniká do modelové interiérové místnosti okenním otvorem v dělicí stěně. Okenní otvor je možné prostřednictvím přídatné stěny doplnit o skleněnou výplň, případně pomocí šablon upravit jeho velikost.

Uspořádáním svítidel přímé osvětlovací soustavy je možné reflektovat světlo pronikající do místnosti okenním otvorem a příslušně snížit výkon jednotlivých svítidel. To je možné provést, buď manuálně pomocí stmívačů, nebo prostřednictvím senzoru osvětlení připojeného k digitálnímu systému řízení. Osazením nepřímé osvětlovací soustavy zdroji světla dvou teplot chromatičnosti je možné v modelové místnosti simulovat biodynamické osvětlení.

V programu DIALux byla vymodelována realizovaná modelová místnost a následně provedena počítačová simulace světelných parametrů v ní převládající. Pro ověření hodnot ze simulačního programu bylo provedeno skutečné měření na přípravku. Z naměřených hodnot byly sestrojeny trojrozměrné grafy – viz příloha této práce – kde jsou jasně patrné převládající světelné podmínky při jednotlivých světelných scénách. Výsledky z měření a ze simulačního programu pro interiérové osvětlení spolu velmi blízko korespondují. Rozdíly ve výsledcích pro doplňkové denní osvětlení jsou větší. Nesrovnalosti ve výsledcích lze vysvětlit tím, že jednotlivé světelné zdroje jsou vytvořeny pouze pro názornou reprezentaci skutečných osvětlovacích soustav – v žádném případě se nejedná o přesné kopie. Pro reálnější simulaci slunečního osvětlení se ukázalo vhodnější použití světelného zdroje s vyšším světelným tokem.

Součástí této práce je také postup pro laboratorní úlohu na sestrojeném modelu, kde se studenti seznámí se základy funkčnosti a řízení osvětlovacích soustav s vlastní konfigurací digitálního systému řízení osvětlení s adresovatelnými svítidly pro protokol DALI.

Za přínos této práce považuji rozbor dané úlohy, teoretický návrh a praktickou realizace vlastního funkčního modelu. V celém průběhu, zejména v části fyzické realizace přípravku, se postupně vyskytovaly různé menší či větší problémy, které bylo nutno odstranit. V jedné kapitole je na tyto problémy a postřehy poukazováno, aby případní budoucí zájemci o rozšíření tohoto modelu, případně o stavbu nějaké obdoby modelu, se těchto chyb pokud možno vyvarovali a ulehčilo to jejich snahu do začátku. Za přínos dále považuji skutečnost, že tento přípravek může sloužit studentům při výuce jako názorná a praktická pomůcka.

9. Použitá literatura:

- [1] ČSN EN 60929. *Elektronické ovládací zařízení na střídavé a/nebo stejnosměrné napětí k zářivkám: Požadavky na provedení*. 4. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, meteorologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [2] FotoAparát.cz - rádce fotografa: Teplota chromatičnosti, jaké je světlo?. [online]. 2001 [cit. 2014-01-25]. Dostupné z: <http://www.fotoaparat.cz/article/2145/print>
- [3] HABEL, Jiří a Petr ŽÁK. *Elektrické světlo I*. Praha, 2011.
- [4] HABEL, Jiří, et al. *Světelná technika a osvětlování*. 1. Praha : FCC Public, 1995. 438 s. ISBN 80-901985-0-3.
- [5] MERZ, Hermann, Thomas HANSEMANN a Christof HÜBNER. *Automatizované systémy budov: sdělovací systémy KNX/EIB, LON a BACnet*. 1. vyd. Praha: Grada, 2008, 261 s. ISBN 978-80-247-2367-9.
- [6] *OMS Lighting* [online]. 2012 [cit. 2014-02-27]. Dostupné z: <http://www.omslighting.com>
- [7] POLÁČEK, Adam. *Projekt 2: Realizace modelu pro prezentaci přímé, nepřímé a smíšené osvětlovací soustavy*. Praha, 2014.
- [8] RGB. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2013 [cit. 2014-02-04]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/RGB>
- [9] *T-LED* [online]. 2012 [cit. 2014-02-27]. Dostupné z: <http://www.t-led.cz/>
- [10] *Zumtobel* [online]. 2013 [cit. 2014-02-04]. Dostupné z: <http://www.zumtobel.com/cz-cs/index.html>

10. Seznam obrázků

Obr. 2.1 Přímá osvětlovací soustava (převzato z [3]).....	14
Obr. 2.2 Smíšená osvětlovací soustava (převzato z [3]).....	14
Obr. 2.3 Nepřímá osvětlovací soustava (převzato z [3])	15
Obr. 3.1 LED pásek vnitřní SQ3-300 (převzato z [9])	16
Obr. 3.2 Schematický náčrtek modelu místnosti včetně profilu se sbíhajícími se linie pro eliminaci dopadu rušivého denního světla	17
Obr. 3.3 Šablona upravující velikost modelového okna.....	18
Obr. 3.4 Pohled na model včetně popisků	19
Obr. 3.5 Hliníkový rám svítidel	20
Obr. 3.6 Osvětlení místnosti kombinující umělé a denní světlo (převzato z [10]) ...	22
Obr. 3.7 Celkové schematické rozdělení skupin světla	23
Obr. 3.8 Realizace přímého slunečního světla – světelný panel.....	24
Obr. 3.9 Světelný panel - zadní strana opatřená chladičem.....	25
Obr. 4.1 Pohled na ovládací panel	26
Obr. 4.2 Stmívač pro regulaci jasu LED pásků (převzato z [9])	27
Obr. 4.3 Napájecí transformátor LED (převzato z [9]).....	28
Obr. 4.4 Ukázkové schéma zapojení systému DALI (převzato z [10]).....	30
Obr. 4.5 Schéma zapojení elektrického systému přípravku.....	31
Obr. 4.6 Aditivní směšování barev (převzato z [8])	32
Obr. 4.7 Průběh intenzity a teploty chromatičnosti světla během dne (převzato z [6]).....	33
Obr. 4.8 Rozvaděčová skříňka na levé straně modelu	34
Obr. 4.9 Program DaliConfig	36
Obr. 4.10 Zobrazení načtených předřadníků a tlačítkových ovladačů	38
Obr. 5.1 Vizualizace modelové místnosti v programu DIALux.....	40
Obr. 6.1 Předpokládané křivky osvětlenosti jednotlivých typů svítidel	43
Obr. 6.2 Naměřené křivky osvětlenosti	44

Seznam tabulek

Tab. 4.1 Teplota chromatičnosti denního světla (převzato z [2])	33
Tab. 6.1 Výsledky měření osvětlenosti.....	42

11. Seznam příloh

Příloha č. 1: Celkový pohled na přípravek	A
Příloha č. 2: Pohled do modelové místnosti	B
Příloha č. 3: Model s profilem omezující vníkaní denního světla	C
Příloha č. 4: Pohled na rozvaděčovou skříňku a ovládací panel.....	D
Příloha č. 5: Pohled na osvětlovací tělesa.....	E
Příloha č. 6: Tabulka naměřených hodnot osvětlenosti	F
Příloha č. 7: Hodnoty osvětlenosti – přímá osvětlovací soustava – všechna svítidla (bez skleněné výplně, bez šablony).....	G
Příloha č. 8: Hodnoty osvětlenosti – přímá osvětlovací soustava – 1. svítidlo zleva (bez skleněné výplně, bez šablony).....	H
Příloha č. 9: Hodnoty osvětlenosti – nepřímá osvětlovací soustava – bílá barva světla (bez skleněné výplně, bez šablony)	I
Příloha č. 10: Hodnoty osvětlenosti – přímá složka slunečního světla (bez skleněné výplně, bez šablony)	J
Příloha č. 11: Hodnoty osvětlenosti – nepřímá složka slunečního světla (bez skleněné výplně, bez šablony)	K
Příloha č. 12: Výstup ze simulačního programu DIALux	
Příloha č. 13: Laboratorní úloha	

Příloha č. 1: Celkový pohled na přípravek



Příloha č. 2: Pohled do modelové místnosti



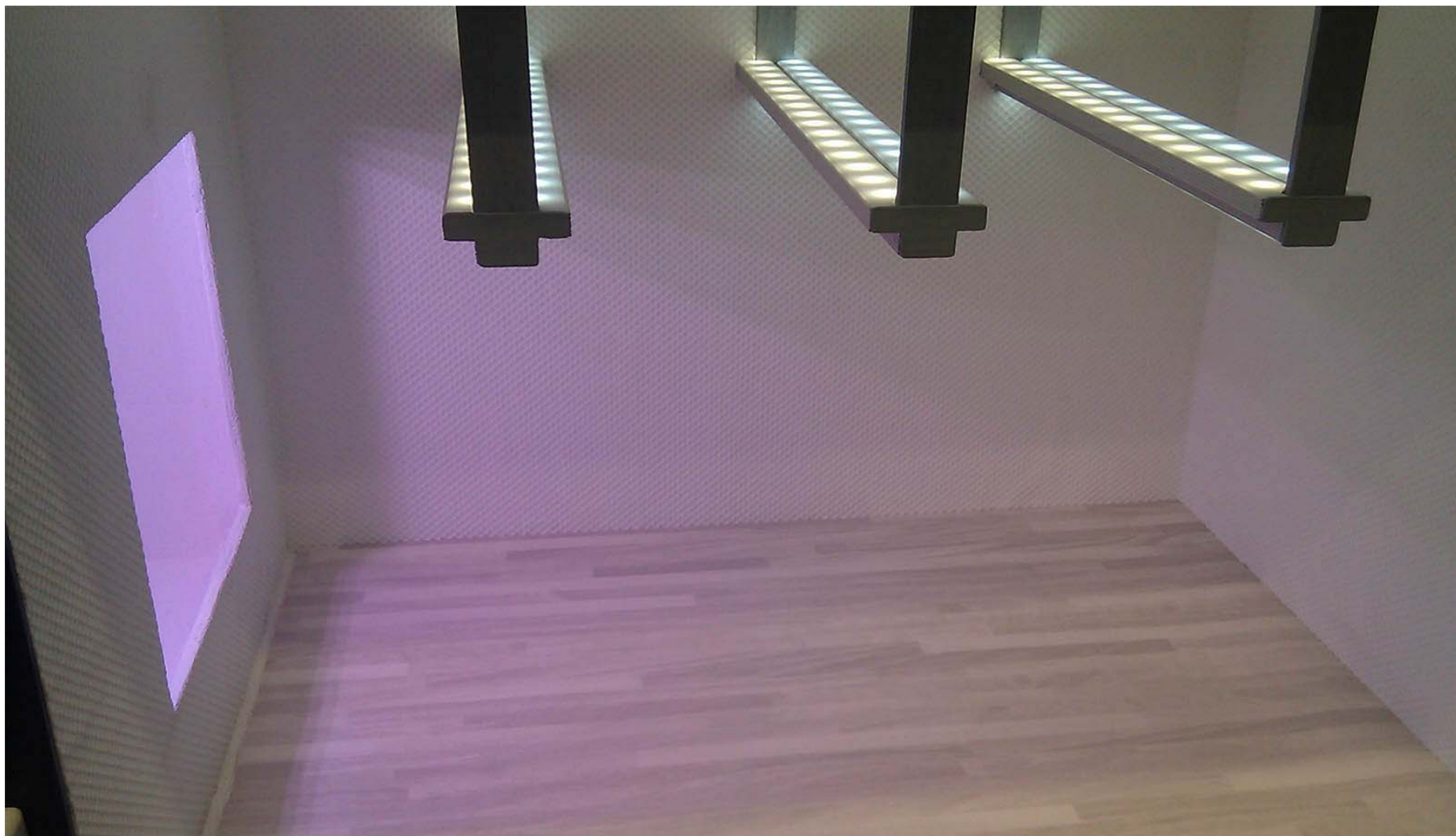
Příloha č. 3: Model s profilem omezující vnikání denního světla



Příloha č. 4: Pohled na rozvaděčovou skříňku a ovládací panel



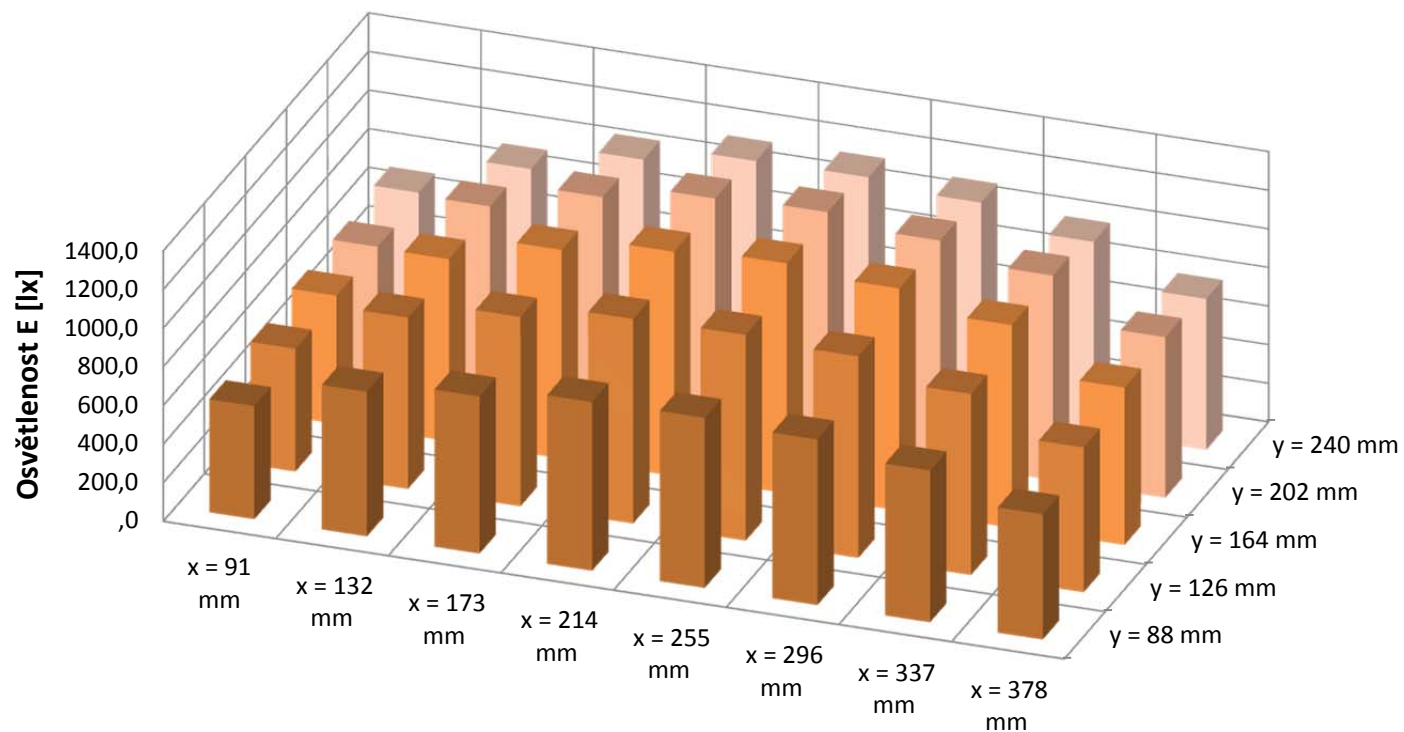
Příloha č. 5: Pohled na osvětlovací tělesa



Příloha č. 6: Tabulka naměřených hodnot osvětlenosti

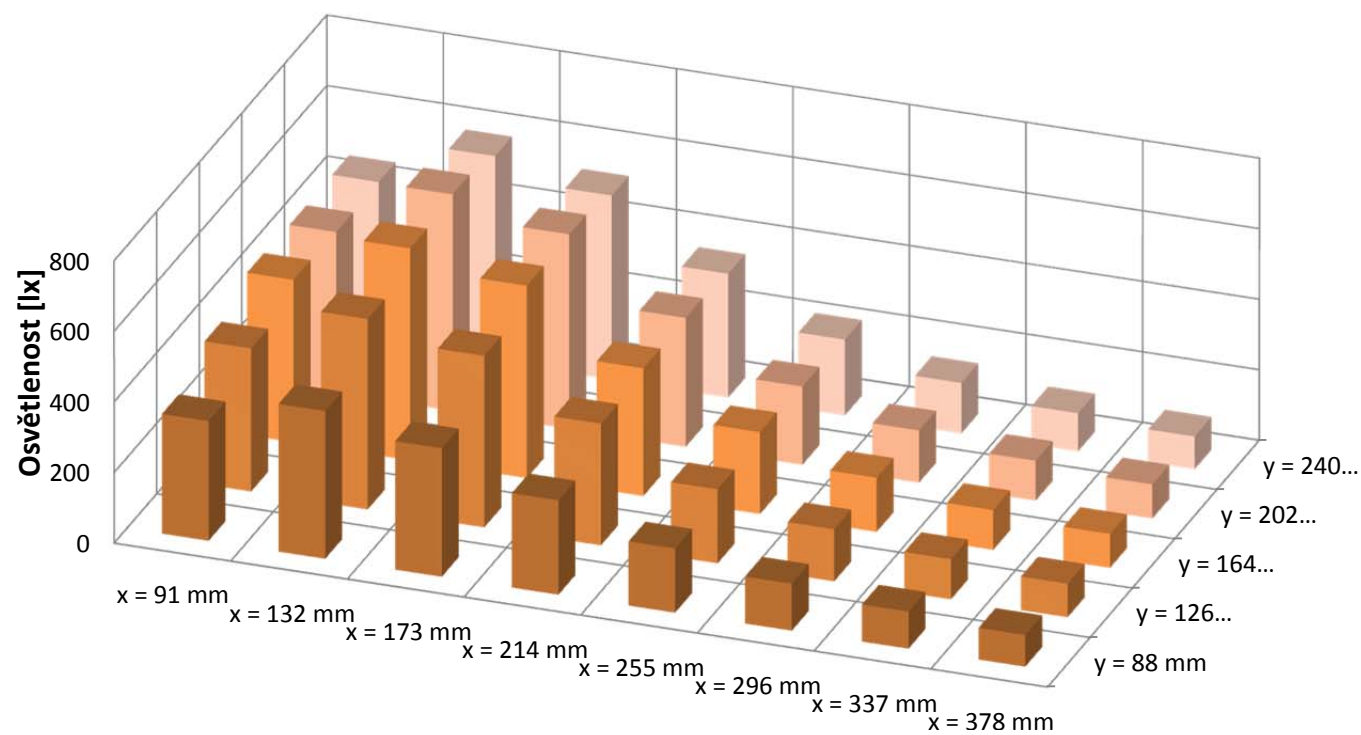
Měření intenzity osvětlení v přípravku (Udržovací činitel 0,8)																															
Měření bez skleněné výplně a bez šablony										Měření se skleněnou výplní										Měření se skleněnou výplní a šablonou											
Světelná scéna - Přímá osvětlovací soustava – všechna svítidla										Světelná scéna - Přímá osvětlovací soustava – všechna svítidla																					
x [mm]										x [mm]																					
		91	132	173	214	255	296	337	378			91	132	173	214	255	296	337	378												
y [mm]	240	704	916	1054	1137	1142	1102	988	782	y [mm]	240	719	955	1061	1137	1154	1104	1001	800												
	202	670	970	1107	1190	1209	1152	1061	831		y [mm]	202	726	984	1133	1200	1213	1160	1042								840				
	164	664	943	1081	1161	1190	1151	1051	818			164	703	951	1110	1177	1190	1136	1022								815				
	126	636	887	981	1060	1067	1046	942	754			126	667	883	1026	1073	1072	1037	950								753				
	88	586	750	816	877	885	863	793	656			88	600	716	859	887	913	885	799								672				
		Emin [lx]	586	Em [lx]	942	U0 [-]	0,622	T [°C]	23,5 <th colspan="2"></th> <td>Emin [lx]</td> <td>600</td> <td>Em [lx]</td> <td>953</td> <td>U0 [-]</td> <td>0,630</td> <td>T [°C]</td> <td>22,4</td>			Emin [lx]	600	Em [lx]	953	U0 [-]	0,630	T [°C]	22,4												
Světelná scéna - Přímá osvětlovací soustava – 1. svítidlo zleva										Světelná scéna - Přímá osvětlovací soustava – 1. svítidlo zleva																					
x [mm]										x [mm]																					
		91	132	173	214	255	296	337	378			91	132	173	214	255	296	337	378												
y [mm]	240	459	583	522	351	215	143	108	93	y [mm]	240	471	593	534	346	228	147	111	96												
	202	457	614	552	366	222	148	113	97		y [mm]	202	482	618	550	368	236	154	112								96				
	164	461	601	546	362	232	154	113	96			164	460	602	536	362	234	153	114								99				
	126	406	540	486	345	210	147	114	95			126	435	546	494	334	220	142	114								98				
	88	339	418	364	267	182	133	105	90			88	382	435	369	263	171	131	106								94				
		Emin [lx]	90	Em [lx]	296	U0 [-]	0,304	T [°C]	24,3 <th colspan="2"></th> <td>Emin [lx]</td> <td>94</td> <td>Em [lx]</td> <td>301</td> <td>U0 [-]</td> <td>0,312</td> <td>T [°C]</td> <td>24,2</td>			Emin [lx]	94	Em [lx]	301	U0 [-]	0,312	T [°C]	24,2												
Světelná scéna - Nepřímá osvětlovací soustava – bílá barva										Světelná scéna - Nepřímá osvětlovací soustava – bílá barva																					
x [mm]										x [mm]																					
		91	132	173	214	255	296	337	378			91	132	173	214	255	296	337	378												
y [mm]	240	430	484	544	582	603	587	562	538	y [mm]	240	442	492	550	582	598	588	562	542												
	202	416	491	567	605	626	614	589	565		y [mm]	202	439	506	575	605	626	614	586								567				
	164	418	487	562	601	621	615	590	567			164	439	503	567	606	620	613	589								569				
	126	418	471	538	580	596	591	567	546			126	435	498	547	580	602	584	562								545				
	88	394	459	500	530	545	538	517	498			88	425	456	503	536	552	542	525								504				
		Emin [lx]	394	Em [lx]	539	U0 [-]	0,731	T [°C]	24,2 <th colspan="2"></th> <td>Emin [lx]</td> <td>425</td> <td>Em [lx]</td> <td>544</td> <td>U0 [-]</td> <td>0,781</td> <td>T [°C]</td> <td>23,7</td>			Emin [lx]	425	Em [lx]	544	U0 [-]	0,781	T [°C]	23,7												
Světelná scéna - Přímá složka slunečního světla										Světelná scéna - Přímá složka slunečního světla										Světelná scéna - Přímá složka slunečního světla											
x [mm]										x [mm]										x [mm]											
		91	132	173	214	255	296	337	378			91	132	173	214	255	296	337	378			91	132	173	214	255	296	337	378		
y [mm]	240	266	199	150	118	98	70	61	56	y [mm]	240	227	177	137	105	87	62	54	52	y [mm]	240	196	154	102	82	68	47	42	40		
	202	322	222	158	122	96	67	60	57		y [mm]	202	299	198	138	108	84	61	54		52	y [mm]	202	201	133	106	93	75	50	44	43
	164	368	240	175	126	99	70	61	58			164	325	218	151	113	91	65	55		52		164	293	195	134	102	81	56	46	43
	126	355	238	163	123	96	70	62	57			126	298	208	148	112	90	63	54		51		126	230	151	107	84	69	50	41	40
	88	82	96	102	90	77	60	57	54			88	66	67	82	77	69	55	50		48		88	43	44	40	45	42	38	35	34
		Emin [lx]	54	Em [lx]	128	U0 [-]	0,423	T [°C]	24,1 <th colspan="2"></th> <td>Emin [lx]</td> <td>48</td> <td>Em [lx]</td> <td>113</td> <td>U0 [-]</td> <td>0,426</td> <td>T [°C]</td> <td>22,8<th colspan="2"></th><td>Emin [lx]</td><td>34</td><td>Em [lx]</td><td>88</td><td>U0 [-]</td><td>0,386</td><td>T [°C]</td><td>23,6</td></td>			Emin [lx]	48	Em [lx]	113	U0 [-]	0,426	T [°C]	22,8 <th colspan="2"></th> <td>Emin [lx]</td> <td>34</td> <td>Em [lx]</td> <td>88</td> <td>U0 [-]</td> <td>0,386</td> <td>T [°C]</td> <td>23,6</td>			Emin [lx]	34	Em [lx]	88	U0 [-]	0,386	T [°C]	23,6		
Světelná scéna - Difusní (oblohová) složka slunečního světla										Světelná scéna - Difusní (oblohová) složka slunečního světla										Světelná scéna - Difusní (oblohová) složka slunečního světla											
x [mm]										x [mm]										x [mm]											
		91	132	173	214	255	296	337	378			91	132	173	214	255	296	337	378			91	132	173	214	255	296	337	378		
y [mm]	240	121	86	70	59	50	46	43	42	y [mm]	240	97	76	59	50	43	40	37	37	y [mm]	240	67	54	45	36	32	30	28	28		
	202	177	106	80	62	54	48	44	43		y [mm]	202	145	96	67	54	47	41	38		38	y [mm]	202	116	72	52	41	33	30	29	29
	164	178	91	76	61	54	47	44	43			164	144	89	66	51	45	41	38		38		164	120	73	50	40	35	31	30	30
	126	146	103	73	61	54	47	47	44			126	118	86	64	53	46	42	39		38		126	96	65	46	40	36	31	30	30
	88	112	86	71	60	53	47	45	42			88	69	66	58	51	46	41	38		37		88	54	56	46	40	36	32	30	29
		Emin [lx]	42	Em [lx]	70	U0 [-]	0,596	T [°C]	22,8 <th colspan="2"></th> <td>Emin [lx]</td> <td>37</td> <td>Em [lx]</td> <td>59</td> <td>U0 [-]</td> <td>0,625</td> <td>T [°C]</td> <td>22,8<th colspan="2"></th><td>Emin [lx]</td><td>28</td><td>Em [lx]</td><td>46</td><td>U0 [-]</td><td>0,613</td><td>T [°C]</td><td>24,1</td></td>			Emin [lx]	37	Em [lx]	59	U0 [-]	0,625	T [°C]	22,8 <th colspan="2"></th> <td>Emin [lx]</td> <td>28</td> <td>Em [lx]</td> <td>46</td> <td>U0 [-]</td> <td>0,613</td> <td>T [°C]</td> <td>24,1</td>			Emin [lx]	28	Em [lx]	46	U0 [-]	0,613	T [°C]	24,1		

Příloha č. 7: Hodnoty osvětlenosti – přímá osvětlovací soustava – všechna svítidla (bez skleněné výplně, bez šablony)



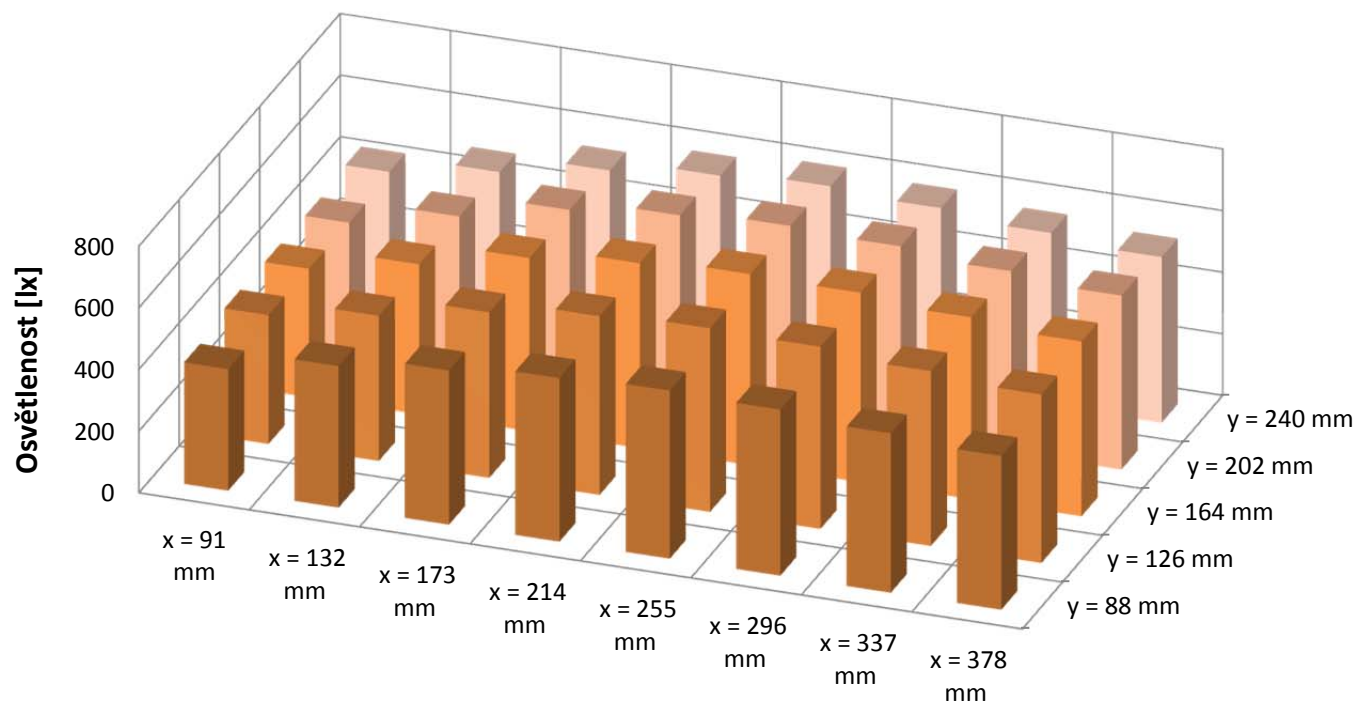
		x [mm]							
		91	132	173	214	255	296	337	378
y [mm]	240	704	916	1054	1137	1142	1102	988	782
	202	670	970	1107	1190	1209	1152	1061	831
	164	664	943	1081	1161	1190	1151	1051	818
	126	636	887	981	1060	1067	1046	942	754
	88	586	750	816	877	885	863	793	656
		E _{min} [lx]	586	E _m [lx]	942	U ₀ [-]	0,622	T [°C]	23,5

Příloha č. 8: Hodnoty osvětlenosti – přímá osvětlovací soustava – 1. svítidlo zleva (bez skleněné výplně, bez šablony)



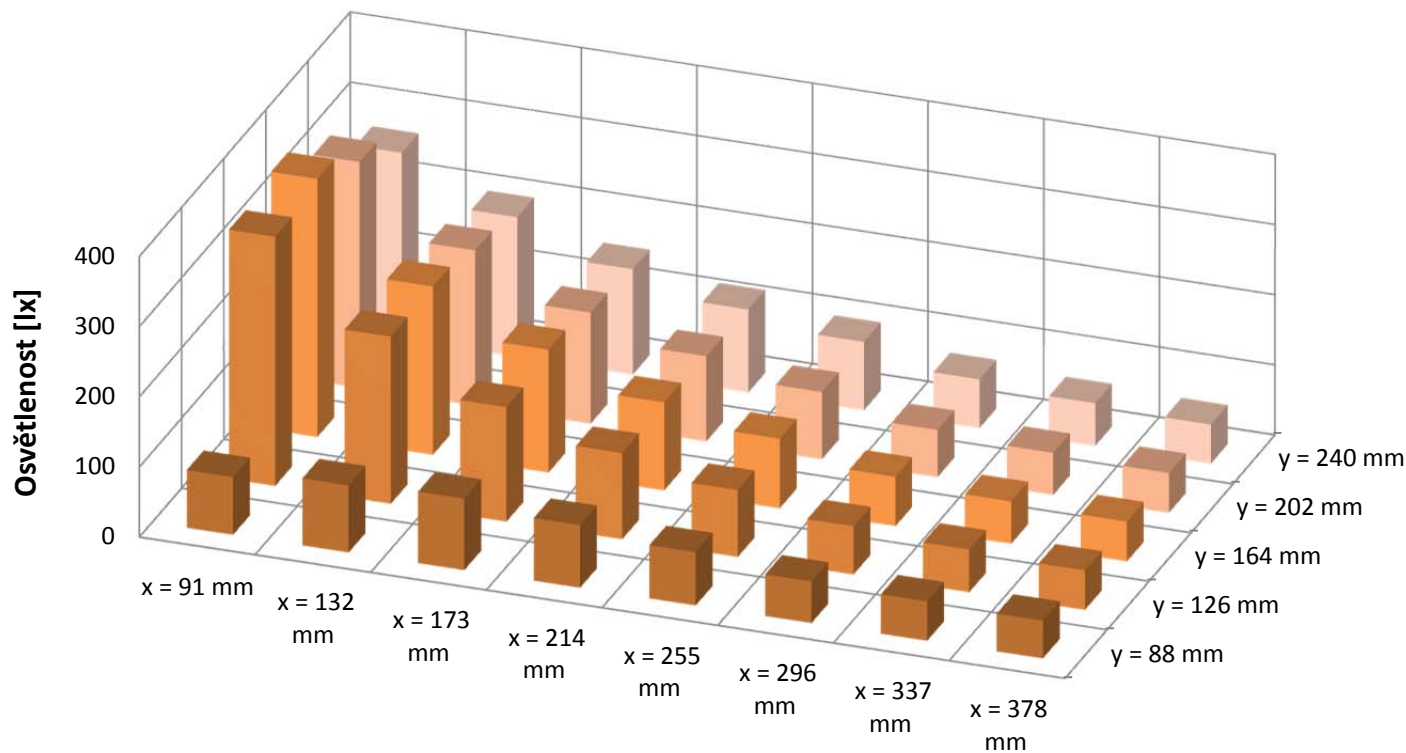
		x [mm]							
		91	132	173	214	255	296	337	378
y [mm]	240	459	583	522	351	215	143	108	93
	202	457	614	552	366	222	148	113	97
	164	461	601	546	362	232	154	113	96
	126	406	540	486	345	210	147	114	95
	88	339	418	364	267	182	133	105	90
		Emin [lx]	90	Em [lx]	296	U0 [-]	0,304	T [°C]	24,3

Příloha č. 9: Hodnoty osvětlenosti – nepřímá osvětlovací soustava – bílá barva světla (bez skleněné výplně, bez šablony)



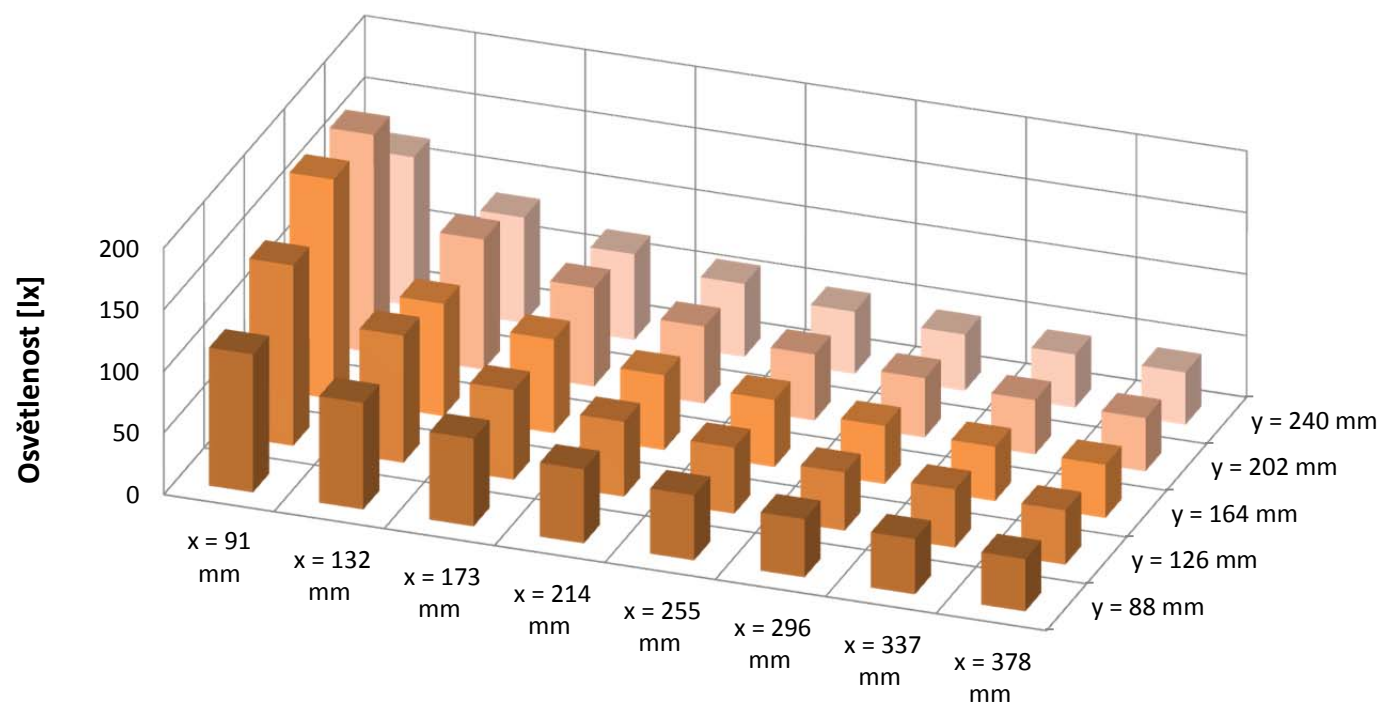
		x [mm]							
		91	132	173	214	255	296	337	378
y [mm]	240	430	484	544	582	603	587	562	538
	202	416	491	567	605	626	614	589	565
	164	418	487	562	601	621	615	590	567
	126	418	471	538	580	596	591	567	546
	88	394	459	500	530	545	538	517	498
		E _{min} [lx]	394	E _m [lx]	539	U ₀ [-]	0,731	T [°C]	24,2

Příloha č. 10: Hodnoty osvětlenosti – přímá složka slunečního světla (bez skleněné výplně, bez šablony)



		x [mm]							
		91	132	173	214	255	296	337	378
y [mm]	240	266	199	150	118	98	70	61	56
	202	322	222	158	122	96	67	60	57
	164	368	240	175	126	99	70	61	58
	126	355	238	163	123	96	70	62	57
	88	82	96	102	90	77	60	57	54
		Emin [lx]	54	Em [lx]	128	U0 [-]	0,423	T [°C]	24,1

Příloha č. 11: Hodnoty osvětlenosti – nepřímá složka slunečního světla (bez skleněné výplně, bez šablony)



		x [mm]							
		91	132	173	214	255	296	337	378
y [mm]	240	121	86	70	59	50	46	43	42
	202	177	106	80	62	54	48	44	43
	164	178	91	76	61	54	47	44	43
	126	146	103	73	61	54	47	47	44
	88	112	86	71	60	53	47	45	42
		E _{min} [lx]	42	E _m [lx]	70	U ₀ [-]	0,596	T [°C]	22,8

Model pro simulaci moderní osvětlovací soustavy

Popis: Simulace modelu pro prezentaci moderní osvětlovací soustavy. Tento projekt je součástí diplomové práce zpracovávané na Českém vysokém učení technickém v Praze, fakultě elektrotechnické.



Datum: 24.04.2014
Zpracovatel: Adam Poláček



České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Technická 2
166 27 Praha 6 - Dejvice

Zpracovatel Adam Poláček
Telefon
Fax
e-mail polacada@fel.cvut.cz

Obsah

Model pro simulaci moderní osvětlovací soustavy

Titulní strana projektu	1
Obsah	2
OSRAM S.P.A._uprava Pokojicek White 6000K Real	
Datový list svítidla	3
Model (měřítko 1:1, okno 1,5 x 1,5 m)	
Kusovník svítidel	4
Světelné scény	
Zatažená obloha	
Shrnutí	5
Jasně nebe	
Shrnutí	6
Obloha s mraky	
Shrnutí	7
Přímé osvětlení	
Shrnutí	8
Nepřímé osvětlení (T=6000K)	
Shrnutí	9
Přímé osv. - 1. svítidlo	
Shrnutí	10
Model (měřítko 1:1, okno 1,5 x 1,2 m)	
Světelné scény	
Zatažená obloha	
Shrnutí	11
Jasně nebe	
Shrnutí	12
Obloha s mraky	
Shrnutí	13
Přímé osvětlení	
Shrnutí	14
Nepřímé osvětlení (T=6000K)	
Shrnutí	15
Přímé osv. - 1. svítidlo	
Shrnutí	16
Model (měřítko 1:10, okno 1,5 x 1,5 m)	
Kusovník svítidel	17
Světelné scény	
Přímé osvětlení	
Shrnutí	18
Nepřímé osvětlení (T=6000K)	
Shrnutí	19
Nepřímá sluneční složka	
Shrnutí	20
Přímá sluneční složka	
Shrnutí	21
Přímé osv. - 1. svítidlo	
Shrnutí	22



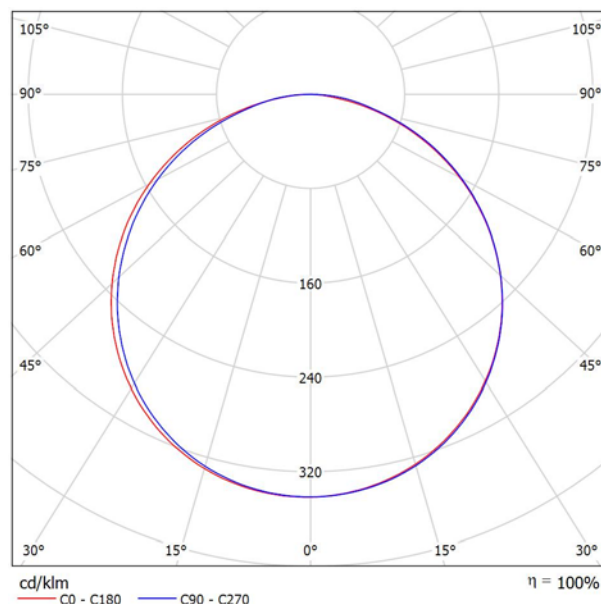
České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Technická 2
166 27 Praha 6 - Dejvice

Zpracovatel Adam Poláček
Telefon
Fax
e-mail polacada@fel.cvut.cz

OSRAM S.P.A._uprava Pokojicek White 6000K Real / Datový list svítidla

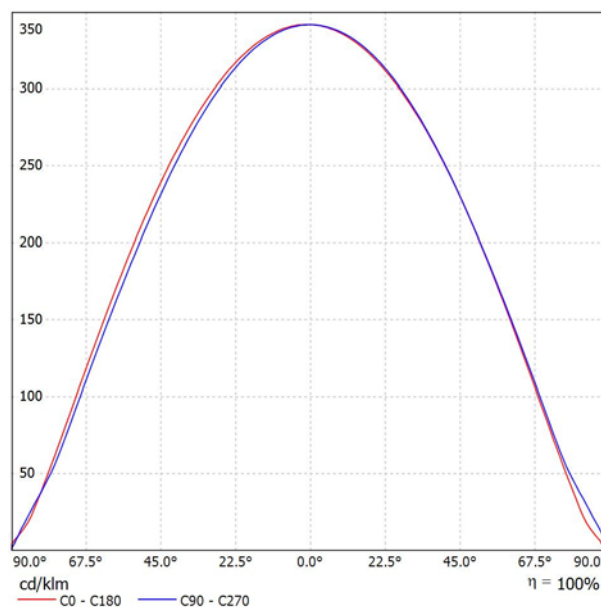
Výstup světla 1:

Obrázek svítidla najdete v našem katalogu svítidel.



Klasifikace svítidel dle CIE: 100
Kód CIE Flux Code: 46 78 95 100 100

Výstup světla 1:

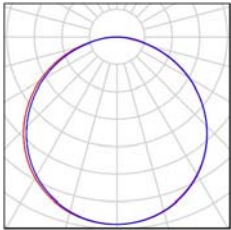
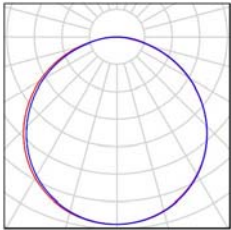
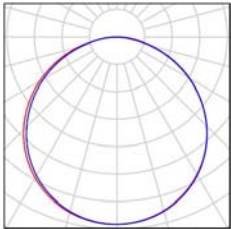




České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Technická 2
166 27 Praha 6 - Dejvice

Zpracovatel Adam Poláček
Telefon
Fax
e-mail polacada@fel.cvut.cz

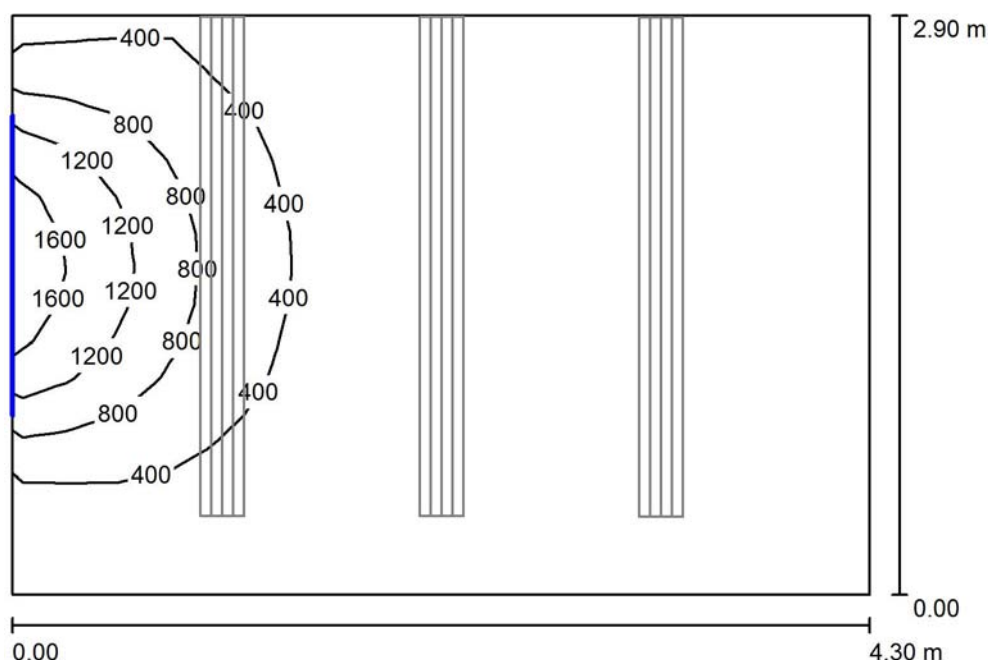
Model (měřítko 1:1, okno 1,5 x 1,5 m) / Kusovník svítidel

3 ks	OSRAM S.P.A._uprava Pokojicek White 4000K Real (Typ 1) C. výrobku: Světelný tok (Svítidlo): 10899 lm Světelný tok (Zdroje): 10900 lm Výkon svítidla: 160.0 W Klasifikace svítidel dle CIE: 100 Kód CIE Flux Code: 46 78 95 100 100 Osazení: 1 x Definováno uživatelem (Opravný faktor 1.000).	Obrázek svítidla najdete v našem katalogu svítidel.	
3 ks	OSRAM S.P.A._uprava Pokojicek White 6000K Real (Typ 1) C. výrobku: Světelný tok (Svítidlo): 6900 lm Světelný tok (Zdroje): 6900 lm Výkon svítidla: 108.0 W Klasifikace svítidel dle CIE: 100 Kód CIE Flux Code: 46 78 95 100 100 Osazení: 1 x Definováno uživatelem (Opravný faktor 1.000).	Obrázek svítidla najdete v našem katalogu svítidel.	
3 ks	OSRAM S.P.A._uprava Pokojicek White 6000K Real (Typ 2) C. výrobku: Světelný tok (Svítidlo): 10899 lm Světelný tok (Zdroje): 10900 lm Výkon svítidla: 160.0 W Klasifikace svítidel dle CIE: 100 Kód CIE Flux Code: 46 78 95 100 100 Osazení: 1 x Definováno uživatelem (Opravný faktor 1.000).	Obrázek svítidla najdete v našem katalogu svítidel.	

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Technická 2
166 27 Praha 6 - Dejvice

Zpracovatel Adam Poláček
Telefon
Fax
e-mail polacada@fel.cvut.cz

Model (měřítko 1:1, okno 1,5 x 1,5 m) / Zatažená obloha / Shrnutí



Výška místnosti: 2.700 m, Činitel údržby: 0.80

Hodnoty v Lux, Měřítko 1:38

Plocha	η [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Uživatelská úroveň	/	303	64	1915	0.211
Podlaha	20	282	93	833	0.331
Strop	50	112	71	191	0.635
Stěny (4)	50	126	54	436	/

Uživatelská úroveň:

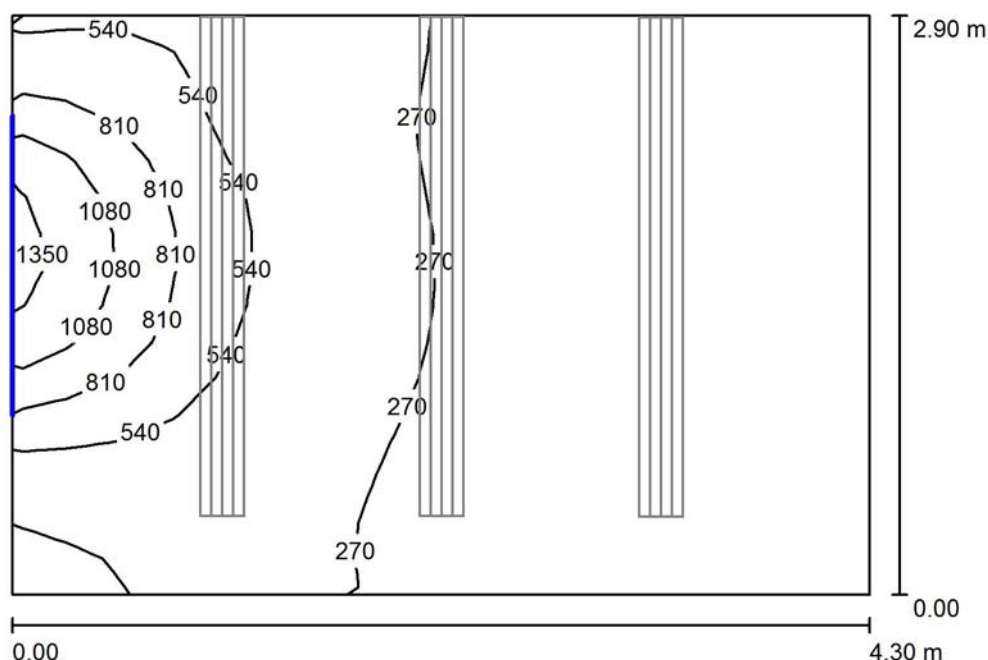
Výška: 0.750 m
Rastr: 16 x 16 Body
Okrajová zóna: 0.000 m

Čistá scéna denního světla, bez svítidel.

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Technická 2
166 27 Praha 6 - Dejvice

Zpracovatel Adam Poláček
Telefon
Fax
e-mail polacada@fel.cvut.cz

Model (měřítko 1:1, okno 1,5 x 1,5 m) / Jasně nebe / Shrnutí



Výška místnosti: 2.700 m, Činitel údržby: 0.80

Hodnoty v Lux, Měřítko 1:38

Plocha	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Uživatelská úroveň	/	351	144	1484	0.411
Podlaha	20	283	168	528	0.595
Strop	50	247	173	372	0.700
Stěny (4)	50	264	110	793	/

Uživatelská úroveň:

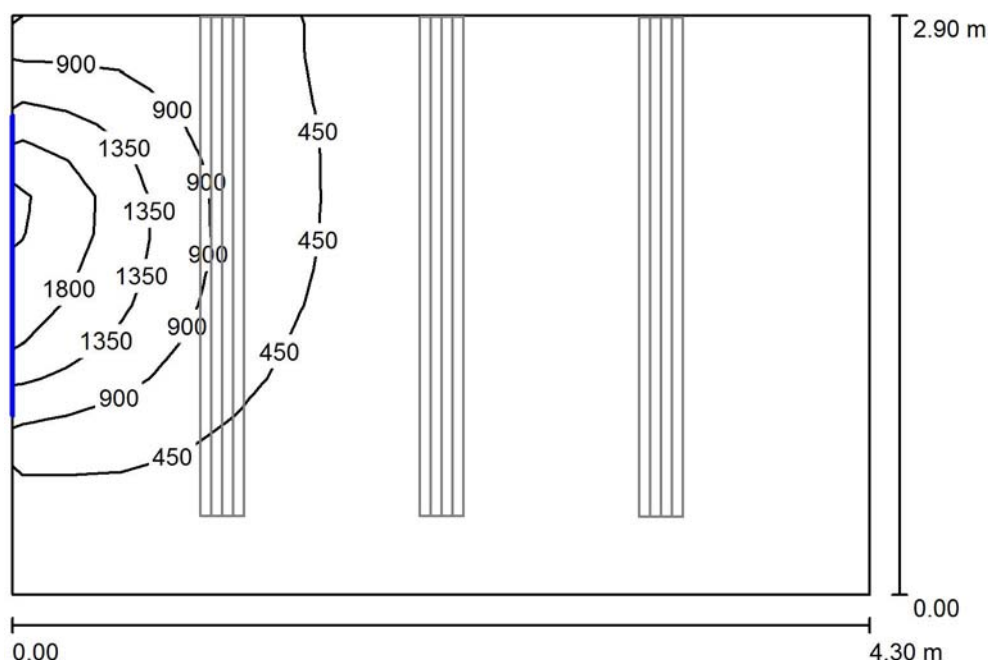
Výška: 0.750 m
Rastr: 16 x 16 Body
Okrajová zóna: 0.000 m

Čistá scéna denního světla, bez svítidel.

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Technická 2
166 27 Praha 6 - Dejvice

Zpracovatel Adam Poláček
Telefon
Fax
e-mail polacada@fel.cvut.cz

Model (měřítko 1:1, okno 1,5 x 1,5 m) / Obloha s mraky / Shrnutí



Výška místnosti: 2.700 m, Činitel údržby: 0.80

Hodnoty v Lux, Měřítko 1:38

Plocha	η [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Uživatelská úroveň	/	393	94	2270	0.239
Podlaha	20	342	128	901	0.375
Strop	50	169	109	271	0.645
Stěny (4)	50	204	80	953	/

Uživatelská úroveň:

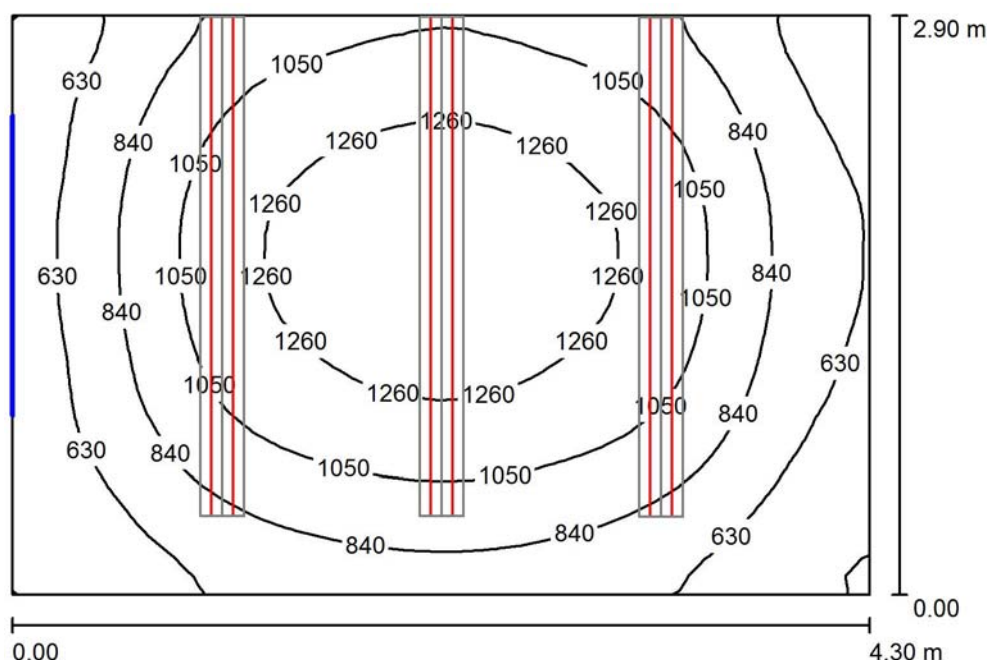
Výška: 0.750 m
Rastr: 16 x 16 Body
Okrajová zóna: 0.000 m

Čistá scéna denního světla, bez svítidel.

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Technická 2
166 27 Praha 6 - Dejvice

Zpracovatel Adam Poláček
Telefon
Fax
e-mail polacada@fel.cvut.cz

Model (měřítko 1:1, okno 1,5 x 1,5 m) / Přímé osvětlení / Shrnutí



Výška místnosti: 2.700 m, Činitel údržby: 0.80

Hodnoty v Lux, Měřítko 1:38

Plocha	u [%]	E _m [lx]	E _{min} [lx]	E _{max} [lx]	E _{min} / E _m
Uživatelská úroveň	/	945	405	1409	0.428
Podlaha	20	725	425	973	0.587
Strop	50	160	111	199	0.695
Stěny (4)	50	389	95	5932	/

Uživatelská úroveň:

Výška: 0.750 m
Rastr: 32 x 32 Body
Okrajová zóna: 0.000 m

Kusovník svítidel

Č.	ks	Označení (Opravný faktor)	I (Svítidlo) [lm]	I (Zdroje:) [lm]	P [W]
1	3	OSRAM S.P.A._uprava Pokojicek White 6000K Real (Typ 1)* (1.000)	6900	6900	108.0

*Pozměněné technické údaje

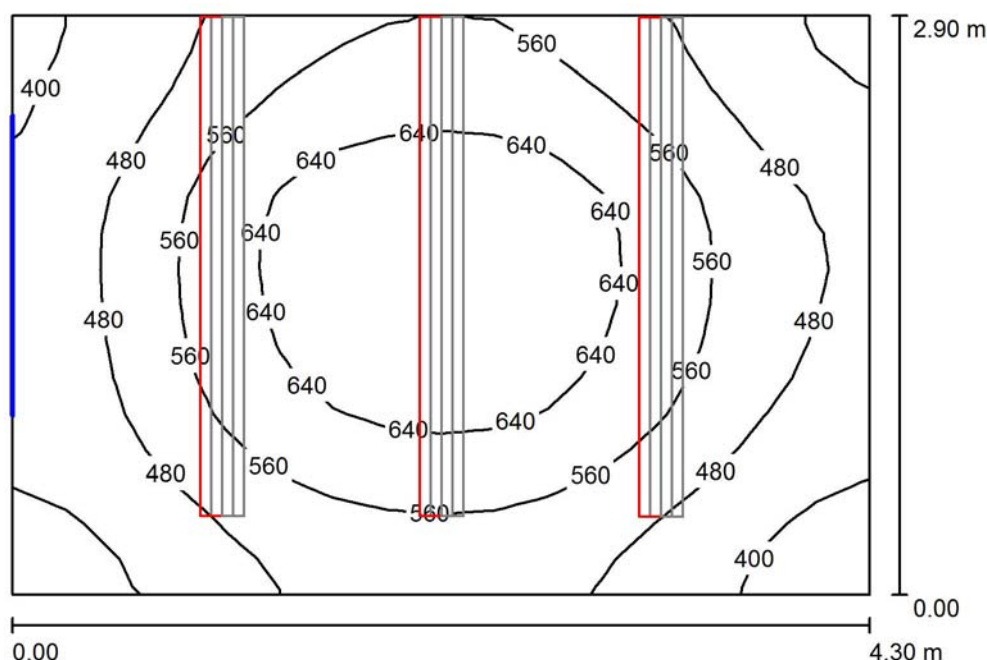
Celkem: 20699 Celkem: 20700 324.0

Specifický příkon: 25.98 W/m² = 2.75 W/m²/100 lx (Základní plocha: 12.47 m²)

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Technická 2
166 27 Praha 6 - Dejvice

Zpracovatel Adam Poláček
Telefon
Fax
e-mail polacada@fel.cvut.cz

Model (měřítko 1:1, okno 1,5 x 1,5 m) / Nepřímé osvětlení (T=6000K) / Shrnutí



Výška místnosti: 2.700 m, Činitel údržby: 0.80

Hodnoty v Lux, Měřítko 1:38

Plocha	u [%]	E _m [lx]	E _{min} [lx]	E _{max} [lx]	E _{min} / E _m
Uživatelská úroveň	/	540	353	715	0.654
Podlaha	20	416	311	507	0.748
Strop	50	1979	390	3658	0.197
Stěny (4)	50	474	192	9547	/

Uživatelská úroveň:

Výška: 0.750 m
Rastr: 16 x 16 Body
Okrajová zóna: 0.000 m

Kusovník svítidel

Č.	ks	Označení (Opravný faktor)	I (Svítidlo) [lm]	I (Zdroje:) [lm]	P [W]
1	3	OSRAM S.P.A._uprava Pokojicek White 6000K Real (Typ 1)* (1.000)	10899	10900	160.0

*Pozměněné technické údaje

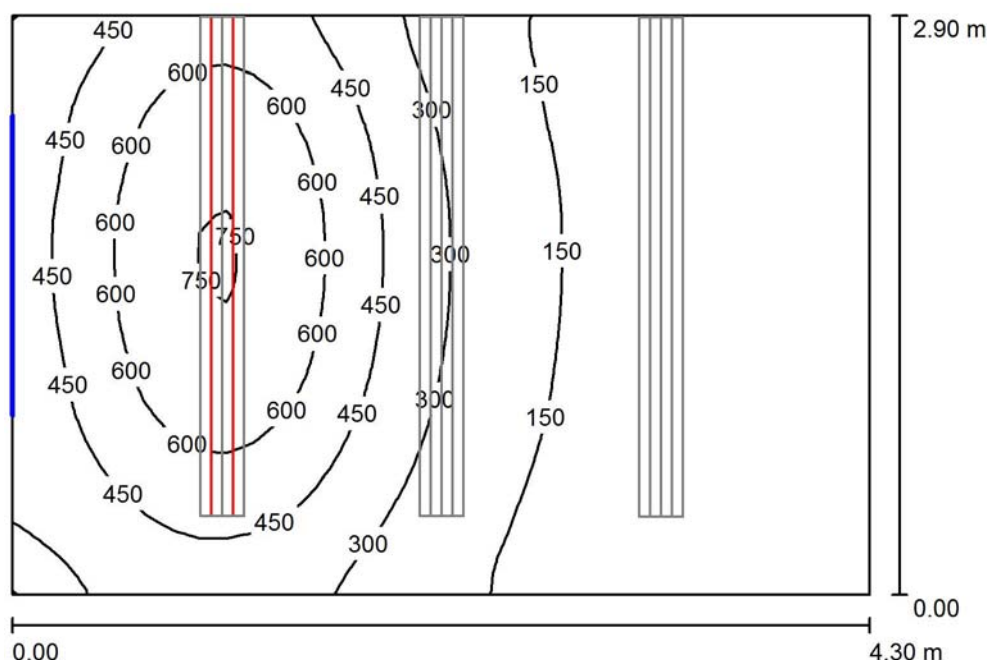
Celkem: 32698 Celkem: 32700 480.0

Specifický příkon: 38.49 W/m² = 7.13 W/m²/100 lx (Základní plocha: 12.47 m²)

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Technická 2
166 27 Praha 6 - Dejvice

Zpracovatel Adam Poláček
Telefon
Fax
e-mail polacada@fel.cvut.cz

Model (měřítko 1:1, okno 1,5 x 1,5 m) / Přímé osv. - 1. svítidlo / Shrnutí



Výška místnosti: 2.700 m, Činitel údržby: 0.80

Hodnoty v Lux, Měřítko 1:38

Plocha	u [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Uživatelská úroveň	/	302	44	769	0.147
Podlaha	20	230	62	425	0.269
Strop	50	50	26	77	0.513
Stěny (4)	50	125	24	5876	/

Uživatelská úroveň:

Výška: 0.750 m
Rastr: 32 x 32 Body
Okrajová zóna: 0.000 m

Kusovník svítidel

Č.	ks	Označení (Opravný faktor)	I (Svítidlo) [lm]	I (Zdroje:) [lm]	P [W]
1	1	OSRAM S.P.A._uprava Pokojicek White 6000K Real (Typ 1)* (1.000)	6900	6900	108.0

*Pozměněné technické údaje

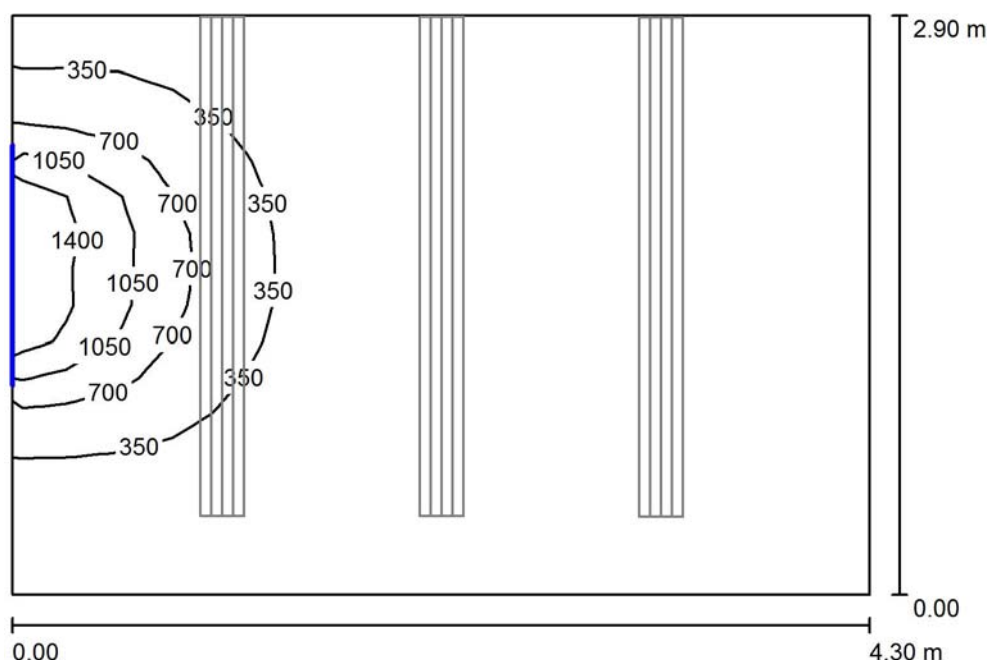
Celkem: 6900 Celkem: 6900 108.0

Specifický příkon: $8.66 \text{ W/m}^2 = 2.86 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Základní plocha: 12.47 m^2)

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Technická 2
166 27 Praha 6 - Dejvice

Zpracovatel Adam Poláček
Telefon
Fax
e-mail polacada@fel.cvut.cz

Model (měřítko 1:1, okno 1,5 x 1,2 m) / Zatažená obloha / Shrnutí



Výška místnosti: 2.700 m, Činitel údržby: 0.80

Hodnoty v Lux, Měřítko 1:38

Plocha	η [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Uživatelská úroveň	/	222	36	1766	0.161
Podlaha	20	210	55	685	0.265
Strop	50	32	21	43	0.671
Stěny (4)	50	70	18	327	/

Uživatelská úroveň:

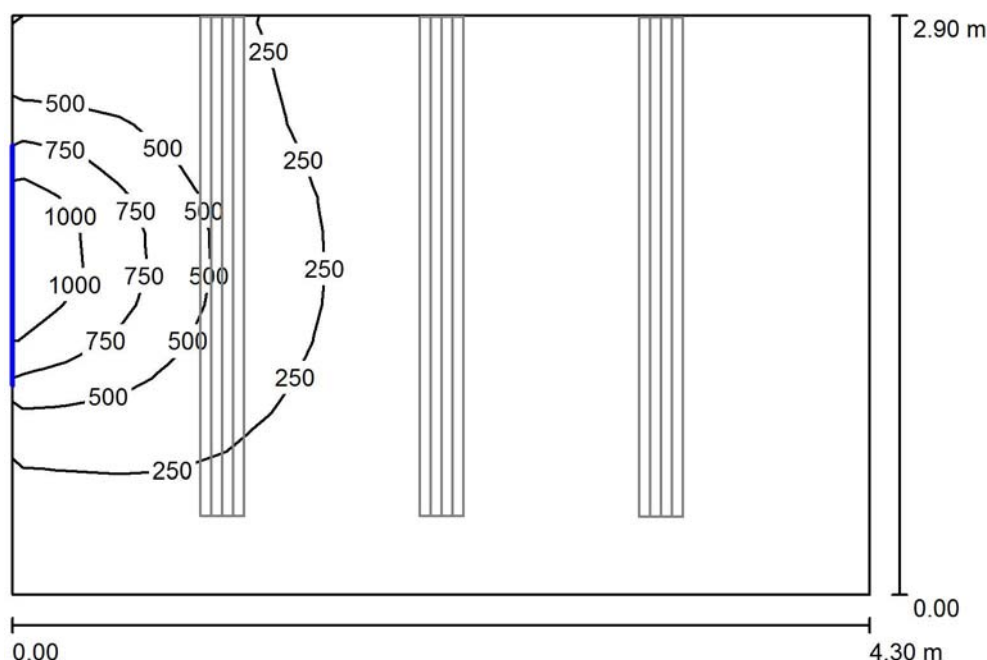
Výška: 0.750 m
Rastr: 16 x 16 Body
Okrajová zóna: 0.000 m

Čistá scéna denního světla, bez svítidel.

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Technická 2
166 27 Praha 6 - Dejvice

Zpracovatel Adam Poláček
Telefon
Fax
e-mail polacada@fel.cvut.cz

Model (měřítko 1:1, okno 1,5 x 1,2 m) / Jasně nebe / Shrnutí



Výška místnosti: 2.700 m, Činitel údržby: 0.80

Hodnoty v Lux, Měřítko 1:38

Plocha	η [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Uživatelská úroveň	/	220	63	1290	0.285
Podlaha	20	178	90	388	0.507
Strop	50	44	35	52	0.794
Stěny (4)	50	118	31	493	/

Uživatelská úroveň:

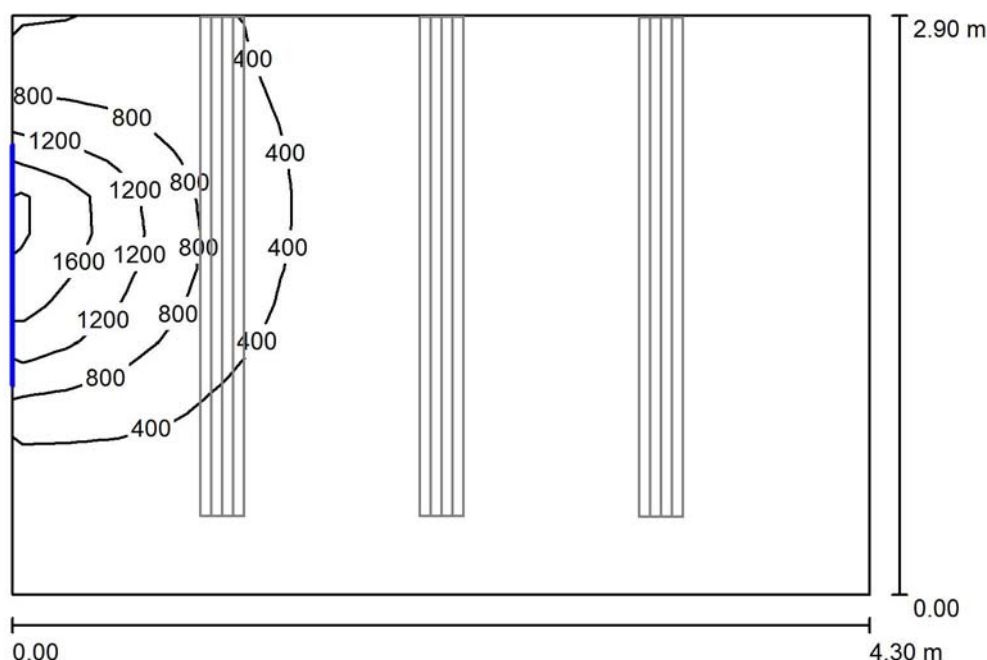
Výška: 0.750 m
Rastr: 16 x 16 Body
Okrajová zóna: 0.000 m

Čistá scéna denního světla, bez svítidel.

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Technická 2
166 27 Praha 6 - Dejvice

Zpracovatel Adam Poláček
Telefon
Fax
e-mail polacada@fel.cvut.cz

Model (měřítko 1:1, okno 1,5 x 1,2 m) / Obloha s mraky / Shrnutí



Výška místnosti: 2.700 m, Činitel údržby: 0.80

Hodnoty v Lux, Měřítko 1:38

Plocha	η [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Uživatelská úroveň	/	281	51	2046	0.182
Podlaha	20	248	74	749	0.299
Strop	50	46	30	64	0.642
Stěny (4)	50	114	25	734	/

Uživatelská úroveň:

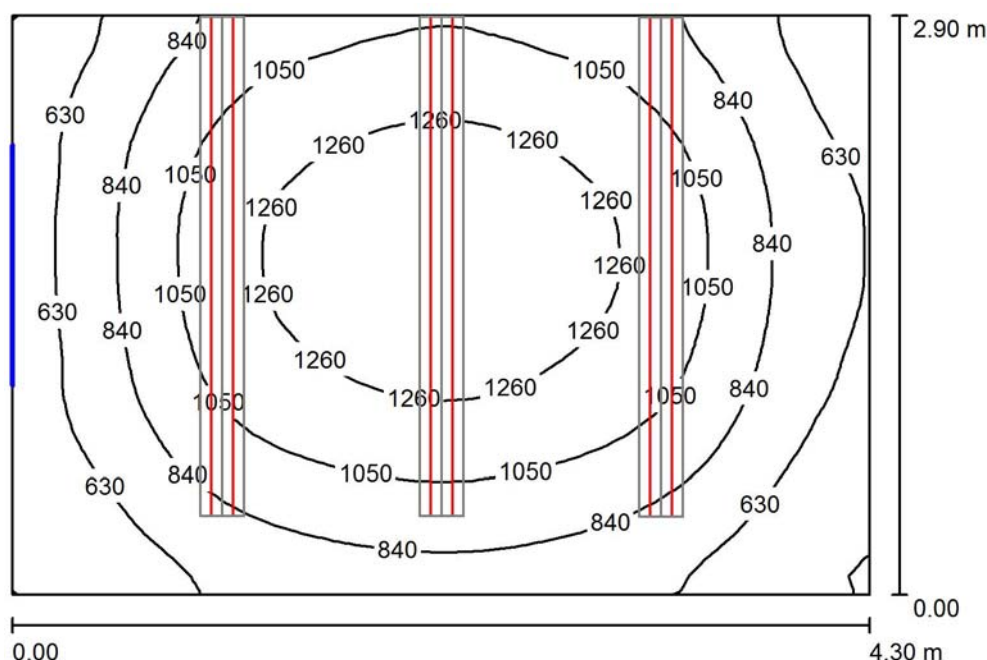
Výška: 0.750 m
Rastr: 16 x 16 Body
Okrajová zóna: 0.000 m

Čistá scéna denního světla, bez svítidel.

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Technická 2
166 27 Praha 6 - Dejvice

Zpracovatel Adam Poláček
Telefon
Fax
e-mail polacada@fel.cvut.cz

Model (měřítko 1:1, okno 1,5 x 1,2 m) / Přímé osvětlení / Shrnutí



Výška místnosti: 2.700 m, Činitel údržby: 0.80

Hodnoty v Lux, Měřítko 1:38

Plocha	u [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Uživatelská úroveň	/	948	406	1410	0.428
Podlaha	20	728	427	974	0.587
Strop	50	162	114	201	0.705
Stěny (4)	50	395	97	5936	/

Uživatelská úroveň:

Výška: 0.750 m
Rastr: 32 x 32 Body
Okrajová zóna: 0.000 m

Kusovník svítidel

Č.	ks	Označení (Opravný faktor)	I (Svítidlo) [lm]	I (Zdroje:) [lm]	P [W]
1	3	OSRAM S.P.A._uprava Pokojicek White 6000K Real (Typ 1)* (1.000)	6900	6900	108.0

*Pozměněné technické údaje

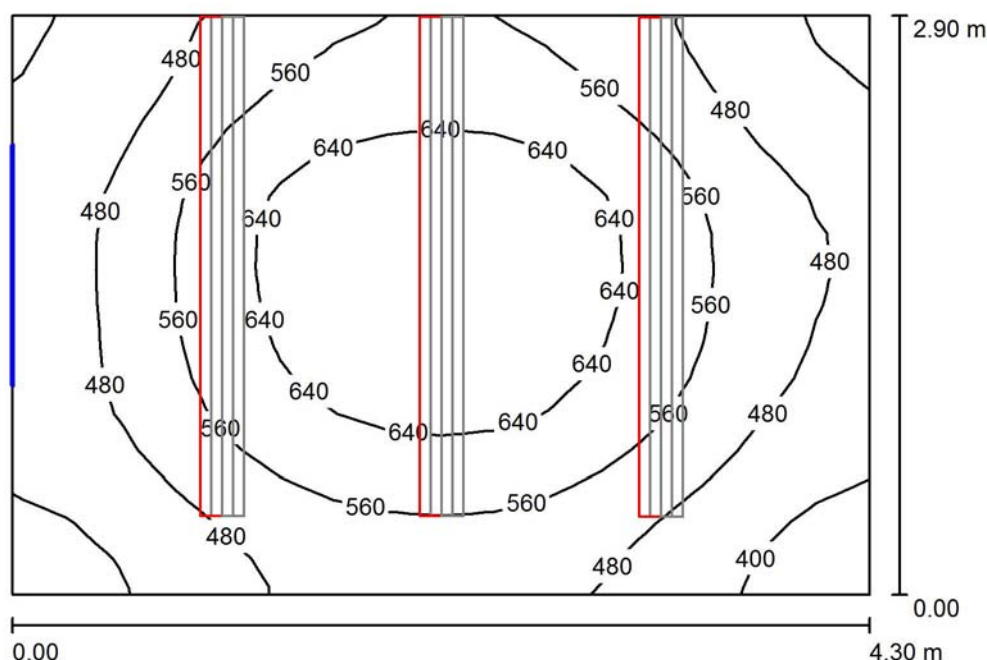
Celkem: 20699 Celkem: 20700 324.0

Specifický příkon: $25.98 \text{ W/m}^2 = 2.74 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Základní plocha: 12.47 m^2)

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Technická 2
166 27 Praha 6 - Dejvice

Zpracovatel Adam Poláček
Telefon
Fax
e-mail polacada@fel.cvut.cz

Model (měřítko 1:1, okno 1,5 x 1,2 m) / Nepřímé osvětlení (T=6000K) / Shrnutí



Výška místnosti: 2.700 m, Činitel údržby: 0.80

Hodnoty v Lux, Měřítko 1:38

Plocha	u [%]	E _m [lx]	E _{min} [lx]	E _{max} [lx]	E _{min} / E _m
Uživatelská úroveň	/	542	354	716	0.652
Podlaha	20	418	312	508	0.746
Strop	50	1981	391	3660	0.197
Stěny (4)	50	476	193	9549	/

Uživatelská úroveň:

Výška: 0.750 m
Rastr: 16 x 16 Body
Okrajová zóna: 0.000 m

Kusovník svítidel

Č.	ks	Označení (Opravný faktor)	I (Svítidlo) [lm]	I (Zdroje:) [lm]	P [W]
1	3	OSRAM S.P.A._uprava Pokojicek White 6000K Real (Typ 1)* (1.000)	10899	10900	160.0

*Pozměněné technické údaje

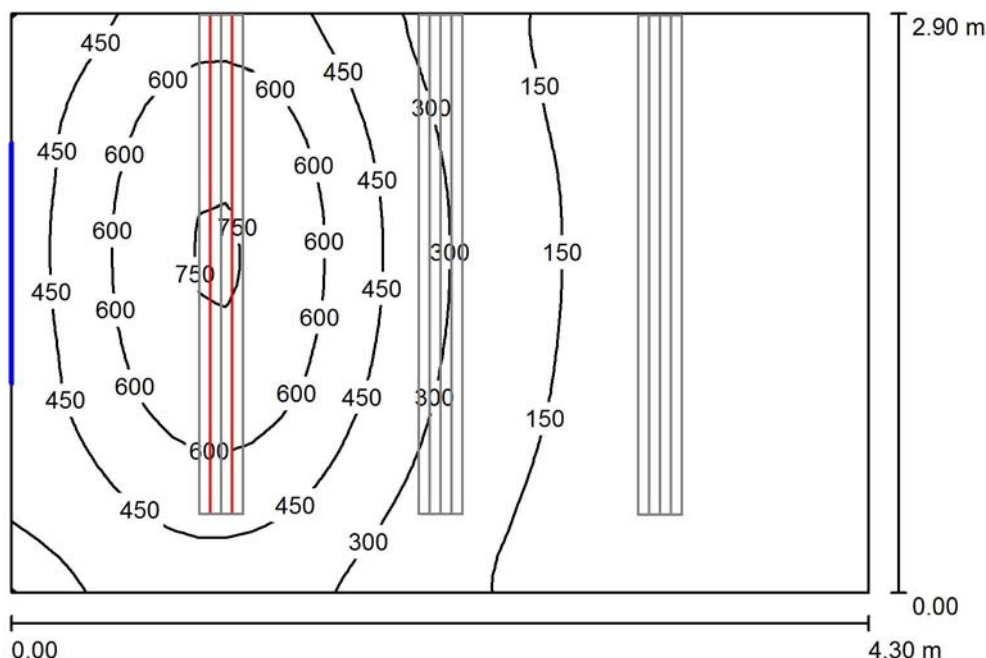
Celkem: 32698 Celkem: 32700 480.0

Specifický příkon: 38.49 W/m² = 7.10 W/m²/100 lx (Základní plocha: 12.47 m²)

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Technická 2
166 27 Praha 6 - Dejvice

Zpracovatel Adam Poláček
Telefon
Fax
e-mail polacada@fel.cvut.cz

Model (měřítko 1:1, okno 1,5 x 1,2 m) / Přímé osv. - 1. svítidlo / Shrnutí



Výška místnosti: 2.700 m, Činitel údržby: 0.80

Hodnoty v Lux, Měřítko 1:38

Plocha	u [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Uživatelská úroveň	/	304	45	771	0.148
Podlaha	20	232	63	428	0.270
Strop	50	52	26	80	0.512
Stěny (4)	50	129	25	5878	/

Uživatelská úroveň:

Výška: 0.750 m
Rastr: 32 x 32 Body
Okrajová zóna: 0.000 m

Kusovník svítidel

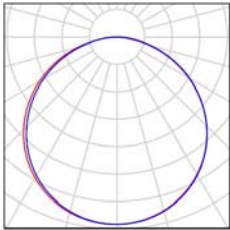
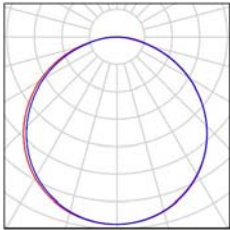
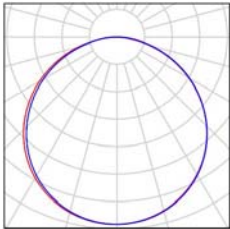
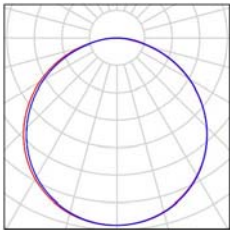
Č.	ks	Označení (Opravný faktor)	I (Svítidlo) [lm]	I (Zdroje:) [lm]	P [W]
1	1	OSRAM S.P.A._uprava Pokojicek White 6000K Real (Typ 1)* (1.000)	6900	6900	108.0
*Pozměněné technické údaje			Celkem: 6900	Celkem: 6900	108.0

Specifický příkon: $8.66 \text{ W/m}^2 = 2.85 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Základní plocha: 12.47 m^2)

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Technická 2
166 27 Praha 6 - Dejvice

Zpracovatel Adam Poláček
Telefon
Fax
e-mail polacada@fel.cvut.cz

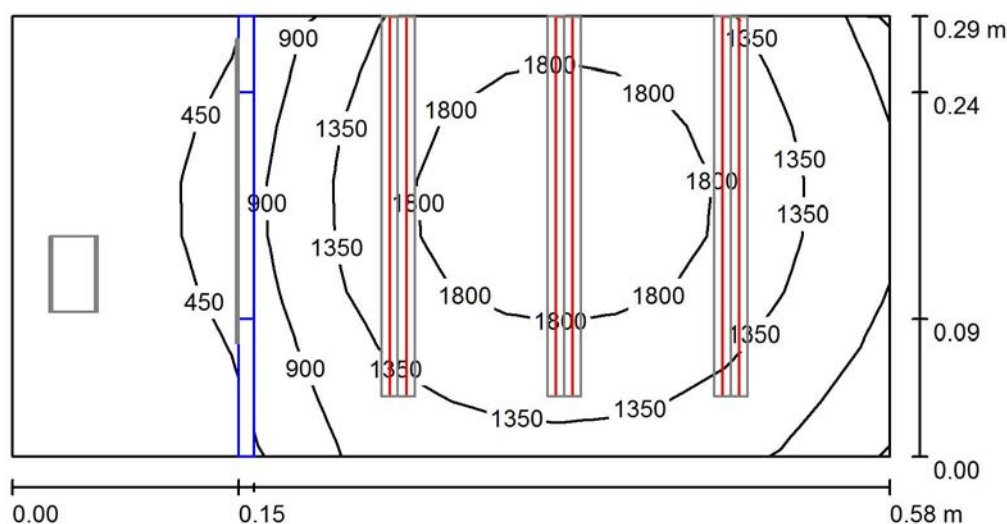
Model (měřítko 1:10, okno 1,5 x 1,5 m) / Kusovník svítidel

- | | | | |
|------|--|--|---|
| 1 ks | <p>OSRAM S.P.A._uprava Pokojicek RGB Pokojicek
RGB (Typ 1)
C. výrobku: Pokojicek RGB
Světelný tok (Svítidlo): 111 lm
Světelný tok (Zdroje): 111 lm
Výkon svítidla: 2.2 W
Klasifikace svítidel dle CIE: 100
Kód CIE Flux Code: 46 78 95 100 100
Osazení: 1 x Definováno uživatelem (Opravný faktor 1.000).</p> | <p>Obrázek svítidla najdete v našem katalogu svítidel.</p> |  |
| 3 ks | <p>OSRAM S.P.A._uprava Pokojicek White 4000K 25cm Pokojicek White 4000K 25cm (Typ 1)
C. výrobku: Pokojicek White 4000K 25cm
Světelný tok (Svítidlo): 98 lm
Světelný tok (Zdroje): 98 lm
Výkon svítidla: 1.2 W
Klasifikace svítidel dle CIE: 100
Kód CIE Flux Code: 46 78 95 100 100
Osazení: 1 x Definováno uživatelem (Opravný faktor 1.000).</p> | <p>Obrázek svítidla najdete v našem katalogu svítidel.</p> |  |
| 2 ks | <p>OSRAM S.P.A._uprava Pokojicek White 6000K 20cm Pokojicek White 6000K 20cm (Typ 1)
C. výrobku: Pokojicek White 6000K 20cm
Světelný tok (Svítidlo): 82 lm
Světelný tok (Zdroje): 82 lm
Výkon svítidla: 1.0 W
Klasifikace svítidel dle CIE: 100
Kód CIE Flux Code: 46 78 95 100 100
Osazení: 1 x Definováno uživatelem (Opravný faktor 1.000).</p> | <p>Obrázek svítidla najdete v našem katalogu svítidel.</p> |  |
| 6 ks | <p>OSRAM S.P.A._uprava Pokojicek White 6000K 25cm Pokojicek White 6000K 25cm (Typ 1)
C. výrobku: Pokojicek White 6000K 25cm
Světelný tok (Svítidlo): 103 lm
Světelný tok (Zdroje): 103 lm
Výkon svítidla: 1.2 W
Klasifikace svítidel dle CIE: 100
Kód CIE Flux Code: 46 78 95 100 100
Osazení: 1 x Definováno uživatelem (Opravný faktor 1.000).</p> | <p>Obrázek svítidla najdete v našem katalogu svítidel.</p> |  |

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Technická 2
166 27 Praha 6 - Dejvice

Zpracovatel Adam Poláček
Telefon
Fax
e-mail polacada@fel.cvut.cz

Model (měřítko 1:10, okno 1,5 x 1,5 m) / Přímé osvětlení / Shrnutí



Výška místnosti: 0.270 m, Činitel údržby: 0.80

Hodnoty v Lux, Měřítko 1:5

Plocha	u [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Uživatelská úroveň	/	1128	69	2148	0.061
Podlaha	20	864	65	1494	0.075
Strop	50	205	55	331	0.270
Stěny (4)	50	456	57	1934	/

Uživatelská úroveň:

Výška: 0.075 m
Rastr: 16 x 8 Body
Okrajová zóna: 0.000 m

Kusovník svítidel

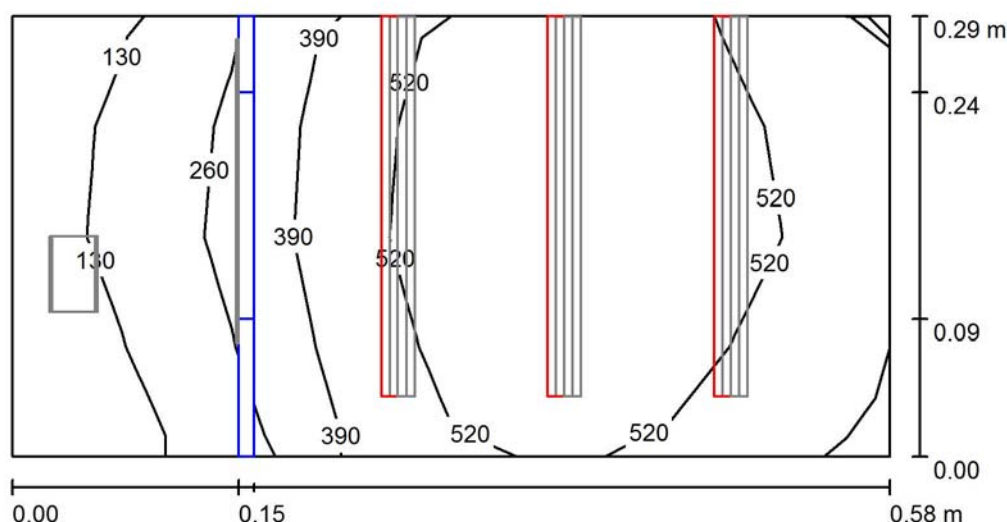
Č.	ks	Označení (Opravný faktor)	I (Svítidlo) [lm]	I (Zdroje:) [lm]	P [W]
1	3	OSRAM S.P.A._uprava Pokojicek White 6000K 25cm Pokojicek White 6000K 25cm (Typ 1)* (1.000)	103	103	1.2
*Pozměněné technické údaje			Celkem: 309	Celkem: 309	3.6

Specifický příkon: $21.40 \text{ W/m}^2 = 1.90 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Základní plocha: 0.17 m^2)

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Technická 2
166 27 Praha 6 - Dejvice

Zpracovatel Adam Poláček
Telefon
Fax
e-mail polacada@fel.cvut.cz

Model (měřítko 1:10, okno 1,5 x 1,5 m) / Nepřímé osvětlení (T=6000K) / Shrnutí



Výška místnosti: 0.270 m, Činitel údržby: 0.80

Hodnoty v Lux, Měřítka 1:5

Plocha	α [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Uživatelská úroveň	/	422	58	693	0.138
Podlaha	20	326	56	502	0.171
Strop	50	1414	28	3254	0.020
Stěny (4)	50	340	29	2189	/

Uživatelská úroveň:

Výška:	0.075 m
Rastr:	8 x 4 Body
Okrajová zóna:	0.000 m

Kusovník svítidel

Č.	ks	Označení (Opravný faktor)	I (Svítidlo) [lm]	I (Zdroje:) [lm]	P [W]
1	3	OSRAM S.P.A._uprava Pokojicek White 6000K 25cm Pokojicek White 6000K 25cm (Typ 1)* (1.000)	103	103	1.2
*Pozměněné technické údaje			Celkem: 309	Celkem: 309	3.6

*Pozměněné technické údaje

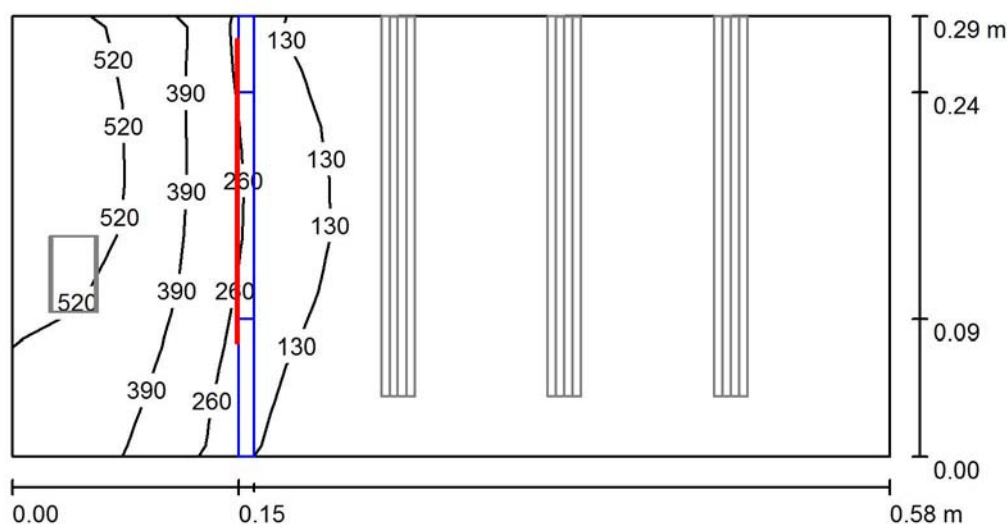
Celkem: 309 Celkem: 309 3.6

Specifický příkon: $21.40 \text{ W/m}^2 = 5.08 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Základní plocha: 0.17 m^2)

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Technická 2
166 27 Praha 6 - Dejvice

Zpracovatel Adam Poláček
Telefon
Fax
e-mail polacada@fel.cvut.cz

Model (měřítko 1:10, okno 1,5 x 1,5 m) / Nepřímá sluneční složka / Shrnutí



Výška místnosti: 0.270 m, Činitel údržby: 0.80

Hodnoty v Lux, Měřítko 1:5

Plocha	u [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Uživatelská úroveň	/	149	13	632	0.089
Podlaha	20	294	16	5179	0.055
Strop	50	305	15	6945	0.048
Stěny (4)	50	282	15	1271	/

Uživatelská úroveň:

Výška: 0.075 m
Rastr: 16 x 8 Body
Okrajová zóna: 0.000 m

Kusovník svítidel

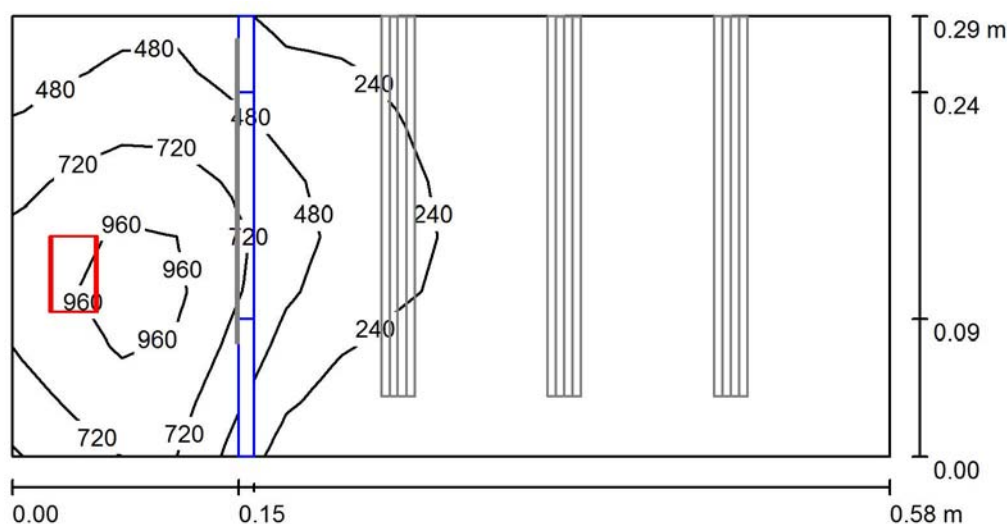
Č.	ks	Označení (Opravný faktor)	I (Svítidlo) [lm]	I (Zdroje:) [lm]	P [W]
1	2	OSRAM S.P.A._uprava Pokojicek White 6000K 20cm Pokojicek White 6000K 20cm (Typ 1)* (1.000)	82	82	1.0
*Pozměněné technické údaje			Celkem: 164	Celkem: 164	2.0

Specifický příkon: $11.89 \text{ W/m}^2 = 7.96 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Základní plocha: 0.17 m^2)

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Technická 2
166 27 Praha 6 - Dejvice

Zpracovatel Adam Poláček
Telefon
Fax
e-mail polacada@fel.cvut.cz

Model (měřítko 1:10, okno 1,5 x 1,5 m) / Přímá sluneční složka / Shrnutí



Výška místnosti: 0.270 m, Činitel údržby: 0.80

Hodnoty v Lux, Měřítko 1:5

Plocha	u [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Uživatelská úroveň	/	300	23	1178	0.077
Podlaha	20	218	22	667	0.101
Strop	50	131	18	1193	0.134
Stěny (4)	50	168	17	1038	/

Uživatelská úroveň:

Výška: 0.075 m
Rastr: 16 x 8 Body
Okrajová zóna: 0.000 m

Kusovník svítidel

Č.	ks	Označení (Opravný faktor)	I (Svítidlo) [lm]	I (Zdroje:) [lm]	P [W]
1	1	OSRAM S.P.A. uprava Pokojicek RGB Pokojicek RGB (Typ 1)* (1.000)	111	111	2.2

*Pozměněné technické údaje

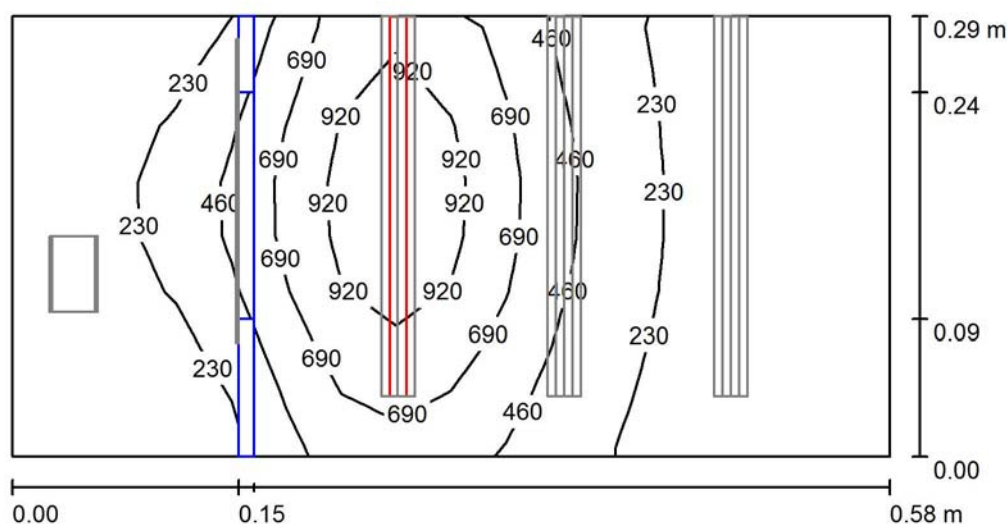
Celkem: 111 Celkem: 111 2.2

Specifický příkon: $13.08 \text{ W/m}^2 = 4.36 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Základní plocha: 0.17 m^2)

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Technická 2
166 27 Praha 6 - Dejvice

Zpracovatel Adam Poláček
Telefon
Fax
e-mail polacada@fel.cvut.cz

Model (měřítko 1:10, okno 1,5 x 1,5 m) / Přímé osv. - 1. svítidlo / Shrnutí



Výška místnosti: 0.270 m, Činitel údržby: 0.80

Hodnoty v Lux, Měřítko 1:5

Plocha	u [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Uživatelská úroveň	/	382	37	1156	0.096
Podlaha	20	291	36	660	0.123
Strop	50	71	29	136	0.412
Stěny (4)	50	143	30	1596	/

Uživatelská úroveň:

Výška: 0.075 m
Rastr: 16 x 8 Body
Okrajová zóna: 0.000 m

Kusovník svítidel

Č.	ks	Označení (Opravný faktor)	I (Svítidlo) [lm]	I (Zdroje:) [lm]	P [W]
1	1	OSRAM S.P.A._uprava Pokojicek White 6000K 25cm Pokojicek White 6000K 25cm (Typ 1)* (1.000)	103	103	1.2
*Pozměněné technické údaje			Celkem: 103	Celkem: 103	1.2

Specifický příkon: $7.13 \text{ W/m}^2 = 1.87 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Základní plocha: 0.17 m^2)

Laboratorní úloha

Model pro simulaci moderní osvětlovací soustavy

Obsah:

1. Stručný popis celého modelu
2. Úkol měření
3. Postup měření

1. Stručný popis celého modelu

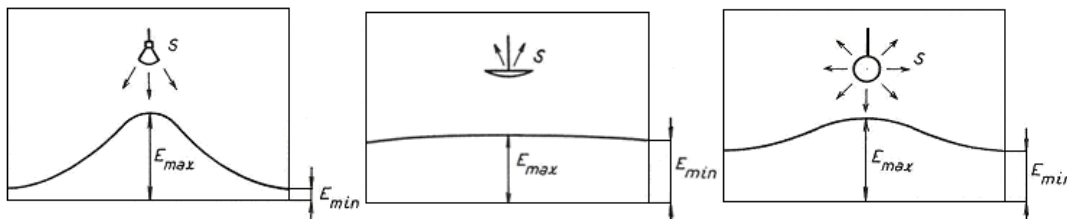
Model (dále též „přípravek“), kterému je věnována tato laboratorní úloha, představuje model místnosti včetně jejího interiérového a venkovního osvětlení a dvou způsobů regulace osvětlení – manuálního (lineární potenciometry) a digitálního (svítidla jsou adresovatelná pro protokol DALI). Model obsahuje jednu exteriérovou a jednu interiérovou místnost. Obě místnosti jsou od sebe odděleny příčkou s otvorem (oknem). Před tento okenní otvor je možné vložit přídavnou stěnu se skleněnou výplní pro simulaci reálnějších podmínek. Šablonou umístěnou mezi dělicí a přídavnou stěnou, lze měnit velikost plochy okenního otvoru, kterou do interiérové místnosti má pronikat denní světlo.

Interiérová místnost disponuje svítidly, pomocí kterých je možné realizovat základní druhy osvětlovacích soustav. Těmi jsou přímé a nepřímé osvětlovací soustavy. Vzájemnou kombinací těchto soustav vzniká smíšená osvětlovací soustava. Základní rozdíly mezi jednotlivými soustavami jsou patrné na obrázku níže.

Pro **přímou osvětlovací** soustavu je charakteristická vysoká nerovnoměrnost osvětlenosti. Tato soustava vyzařuje veškerý světelný tok do dolního poloprostoru a vytváří tak ostré tmavé stíny a velké kontrasty. Eliminovat tento jev je možné použitím většího počtu takovýchto svítidel. Výhodou přímé osvětlovací soustavy je její vysoká hospodárnost, protože světelný tok je směřován přímo na osvětlovanou plochu.

Nepřímá osvětlovací soustava je opakem přímé soustavy. Světelný tok svítidel je vyzařován do horního poloprostoru proti ploše stropu. V tomto případě strop představuje sekundární světelný zdroj a na vlastní osvětlovanou plochu dopadá světelný tok až od něj odražený. V této soustavě se dosahuje v osvětlovaném prostoru nejlepší rovnoměrnosti osvětlení, stíny se v prostoru téměř nevyskytují. Proti přímé osvětlovací soustavě jsou pro stejnou hladinu osvětlenosti potřebná svítidla s vyšším světelným tokem, protože dochází ke ztrátám způsobeným odrazem od stěn a stropu. Tato soustava je více náchylná na čistotu povrchu místnosti, obzvláště pak stěn a stropu.

Kombinací předchozích dvou soustav je **smíšená osvětlovací soustava**. Svítidla v tomto případě vyzařují svůj světelný tok jak do horního, tak i dolního poloprostoru. Rovnoměrnost osvětlenosti je nižší než u nepřímé soustavy, ale na druhou stranu je hospodárnější a méně náchylná na čistotu stropu a stěn.



Osvětlovací soustava – přímá, nepřímá a smíšená

Pro účely měření je součástí modelu odnímatelná přední stěna, která eliminuje veškeré rušivé denní i umělé světlo. Pro ostatní činnosti na modelu, místo této stěny, slouží odnímatelný profil se sbíhajícími se plochami, který snižuje množství pronikajícího rušivého světla do interiéru modelu.

Zdroji světla v modelové místnosti jsou světelné LED uspořádané do linie (LED pásek). Tímto jsou napodobeny klasické lineární zářivky, které jsou velmi často používány pro osvětlování interiérových místností. V modelu místnosti najdeme celkem 3 osvětlovací tělesa, každé je osazené třemi sadami světlo emitujících diod. V každém tělese svítí 2 LED pásy do horního a 1 LED pásek do dolního poloprostoru. Do horního poloprostoru svítí LED bílé (6000 K) a denní bílé (4000 K) teploty chromatičnosti. Do dolního poloprostoru pouze LED bílé barvy (6000 K). LED pásy svítící proti stropu jsou regulovány podle barvy světla vždy jako jeden celek. LED pásy svítící do dolního poloprostoru je možné regulovat nezávisle po řadách. Model disponuje exteriérovou místností se simulací přímé a nepřímé (oblohové) sluneční složky světla. Přímé sluneční světlo je realizováno pomocí RGB LED, kterými je možné nastavit libovolnou teplotu chromatičnosti vyzařovaného světla. Nepřímá složka je tvořena dvěma LED pásy, které svítí proti stěnám modelu, a do interiérové místnosti tak proniká pouze odražené (difusní) světlo.

V levé části modelu před exteriérovou místností je umístěn ovládací panel a na levém boku modelu bílá rozvaděčová skříňka. V rozvaděčové skříňce se nachází jistič (hlavní vypínač) a veškerá elektronika pro digitální systém, na ovládacím panelu pak dva síťové vypínače pro manuální a digitální systém řízení osvětlení. Jak již bylo uvedeno na začátku, osvětlení v přípravku je možné **regulovat** dvěma způsoby, a to manuálně (potenciometry) nebo digitálně (systémem s protokolem DALI).



K **manuálnímu ovládání** slouží v horní části ovládacího panelu 9 lineárních potenciometrů, které umožňují plynule regulovat všechny světelné zdroje v modelu v rozsahu od 0 % do 100 %. První 4 potenciometry slouží k regulaci simulace slunečního světla a zbylých 5 pro regulaci světla v interiérové místnosti – viz popisky nad regulátory.

Digitální ovládání osvětlení prostřednictvím protokolu DALI umožňuje regulovat pouze interiérové osvětlení. Pro změnu ovládání svítidel v interiéru z manuálního na digitální systém slouží 5 páčkových přepínačů na ovládacím panelu pod potenciometry. K samotné volbě jednotlivých funkcí v modelu slouží dvou-kolébkové tlačítko GIRA, umístěné ve spodní části ovládacího panelu. Pro propojení modelu s digitálním systémem laboratoře světelné techniky za účelem centrálního ovládání všech svítidel (jak v laboratoři, tak v modelu místnosti) nebo programování světelných scén v přípravku slouží propojovací konektor. Tento konektor je na levém boku modelu vedle rozvaděčové skřínky. Nad konektorem se nachází páčkový přepínač, kterým se určuje napájení DALI sběrnice modelu buď z lokálního zdroje, nebo ze zdroje napájení celé učebny. Tímto způsobem je vyloučeno nežádoucí současné napájení DALI sběrnice ze dvou zdrojů.

2. Úkol měření

- a. Seznamte se s přípravkem, jeho manuálním a digitálním systémem řízení osvětlení a možností propojení se světelnou instalací laboratoře.
- b. Vyzkoušejte pomocí manuálního systému řízení osvětlení v modelu nasimulováním jednotlivých typů osvětlovacích soustav (přímá, nepřímá, smíšená), které se nejčastěji používají v reálných instalacích. Zaměřte se na to jaké asi hodnoty osvětlenosti a rovnoměrnosti je možné v místnosti dosáhnout a za jakých podmínek.
- c. Vyzkoušejte také simulaci obou složek (přímá, nepřímá – oblohová) umělého slunečního světla. Zaměřte se na tvorbu stínů v prostoru, do kterého proniká denní světlo.

- d. Proved'te nastavení jednotlivých řad přímé osvětlovací soustavy s ohledem na pronikání umělého slunečního světla do místnosti tak, aby byla plocha místnosti rovnoměrně osvětlena.
- e. Seznamte se s konfiguračním programem DaliConfig pro nastavení digitálního systému řízení osvětlení prostřednictvím protokolu DALI.
- f. Vyzkoušejte režim „Test“ pro nastavování systému a přímé ovládání jednotlivých svítidel prostřednictvím programu.
- g. Proved'te nastavení digitálního systému softwarem DaliConfig tak, aby dvo-kolébkové tlačítko fungovalo dle následujících požadavků:
 1. Kolébka 1 – zapnutí resp. vypnutí všech svítidel přímého osvětlení krátkým stiskem tlačítek
Kolébka 2 – zapnutí resp. vypnutí svítidel nepřímého osvětlení (6000 K) krátkým stiskem tlačítek
 2. Kolébka 1 – zapnutí resp. vypnutí svítidel nepřímého osvětlení (4000 K) krátkým stiskem tlačítek a plynulá regulace jejich jasu (pomalé stmívání) dlouhým stiskem tlačítek
Kolébka 2 – zapnutí resp. vypnutí svítidel nepřímého osvětlení (6000 K) a prostředního svítidla přímého osvětlení krátkým stiskem tlačítek a plynulá regulace jejich jasu (rychlé stmívání) dlouhým stiskem tlačítek
 3. Kolébka 1 – zapnutí resp. vypnutí svítidel přímé osvětlovací soustavy krátkým stiskem tlačítek na hodnotu jasu 10 % prvního svítidla, 50 % druhého svítidla a 90 % třetího svítidla
Kolébka 2 – zapnutí resp. vypnutí svítidel nepřímého osvětlení (6000 K) krátkým stiskem tlačítek a plynulá regulace jejich jasu dlouhým stiskem tlačítek
 4. Kolébka 1 – plynulé zapnutí resp. vypnutí svítidel nepřímého osvětlení (4000 K) krátkým stiskem tlačítek na hodnotu jasu 10 %, plynulé zesílení jasu dlouhým stiskem tlačítek na max. hodnota 100 %
Kolébka 2 – plynulé zapnutí resp. vypnutí svítidel nepřímého osvětlení (6000 K) krátkým stiskem tlačítek na hodnotu jasu 100 % resp. 0% a plynulá regulace jasu dlouhým stiskem tlačítek
 5. Nastavte konfiguraci systému DALI do původních hodnot:
 - Max. hodnota jasu 100 % pro všechna svítidla, min. hodnota 0 %
 - Všem svídlům přiřaďte stejnou skupinu 4 a pro tu nastavte ovládání kolébkou 1 – zapnutí resp. vypnutí krátkým stiskem a plynulou regulaci jasu dlouhým stiskem
 - Svítidlo nepřímého osvětlení (4000 K) přiřaďte zároveň do skupiny 5 a pro tu nastavte ovládání kolébkou 2 – zapnutí resp. vypnutí krátkým stiskem a plynulou regulaci jasu dlouhým stiskem
- h. Uveďte celé pracoviště do původního stavu!
- i. Dle pokynů vyučujícího případně propojte model s digitálním systémem laboratoře a vyzkoušejte centrální řízení všech svítidel. **Před propojením je třeba vrátit konfiguraci modelu nebo alespoň adresy a skupiny svítidel a adresy tlačítkových spínačů do původních hodnot, pokud byly změněny.**

3. Postup měření

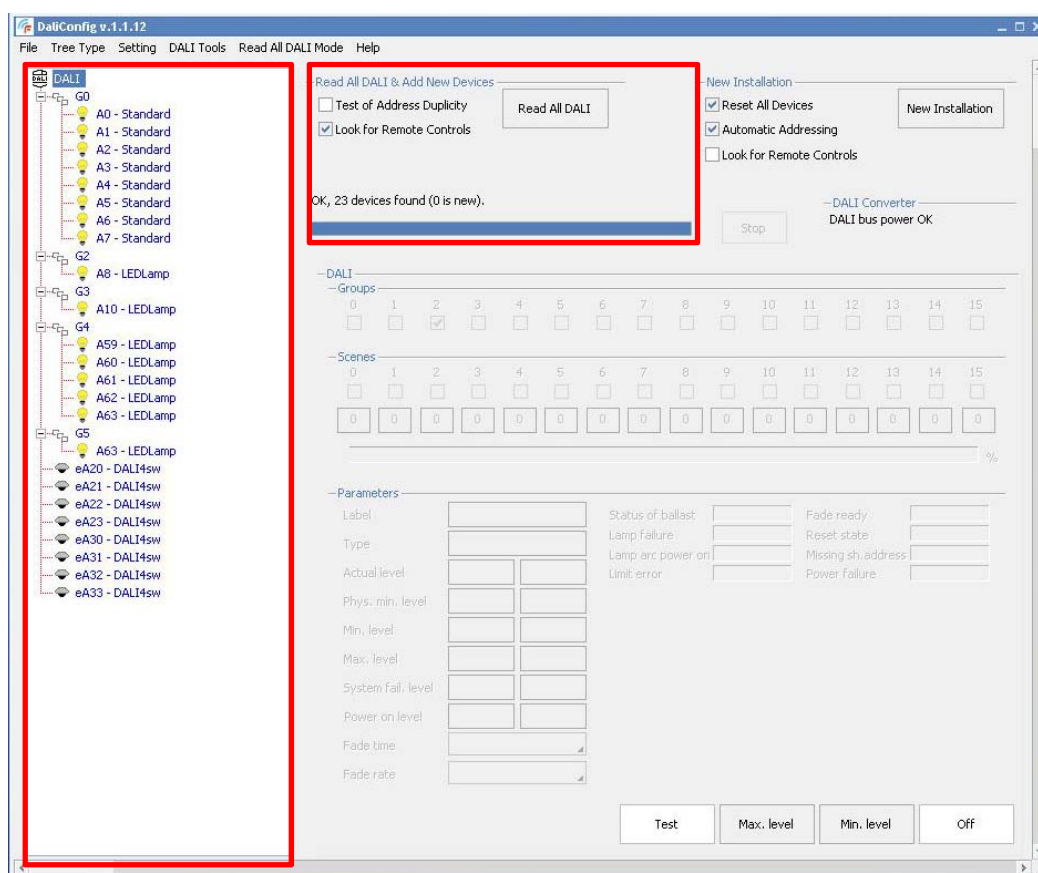
- a. Na levé straně přípravku v rozvaděčové skřínce zapněte hlavní jistič. Nastavte 5 páčkových přepínačů na ovládacím panelu pod posuvnými regulátory do horní polohy. Tím jsou LED diody napájeny z transformátoru manuálního systému řízení osvětlení. Zapněte napájení manuálního systému řízení osvětlení černým spínačem na ovládacím panelu.
- b. Pomocí devíti posuvných regulátorů v horní části ovládacího panelu je možné plynule regulovat od 0 % do 100 % obě složky umělého slunečního světla a jednotlivá interiérová svítidla. Přímá složka umělého slunečního světla je sestava z RGB LED diod, a proto posuvné regulátory umožňují nastavit libovolnou teplotu chromatičnosti vyzařovaného světla.
- c. Nastavte regulátory tak, aby v osvětlované modelové místnosti byla přímá, nepřímá a smíšená osvětlovací soustava. Do interiérové místnosti zkuste vložit nějaký vhodně velký předmět a zaměřte se na to, jaký stín (ostrý, měkký) vytváří tento předmět při jednotlivých osvětlovacích soustavách – více viz Stručný popis přípravku.
- d. Nastavte přímou (případně i nepřímou) složku umělého slunečního světla (např. na maximální hodnotu jasu) a doregulujte jednotlivá svítidla přímé osvětlovací soustavy tak, aby respektovala množství umělého denního světla pronikajícího do místnosti a zároveň, aby byla osvětlenost prostoru co nejrovnoměrnější.



- e. Digitální systém řízení osvětlení umožňuje regulovat pouze svítidla v interiérové místnosti, ne simulaci umělého slunce. Pro jeho používání proveďte následující úkony. Posuvné regulátory manuálního systému řízení přesuňte do nejspodnější polohy (0 % jasu – vypnuto). Všechny páčkové přepínače pod posuvnými regulátory nastavte do dolní polohy, tím budou LED diody napájeny z předřadníků digitálního systému řízení. Na levém boku, vpravo od bílé rozvaděčové skřínky, se přesvědčte, že páčkový přepínač volby napájení sběrnice DALI je v horní

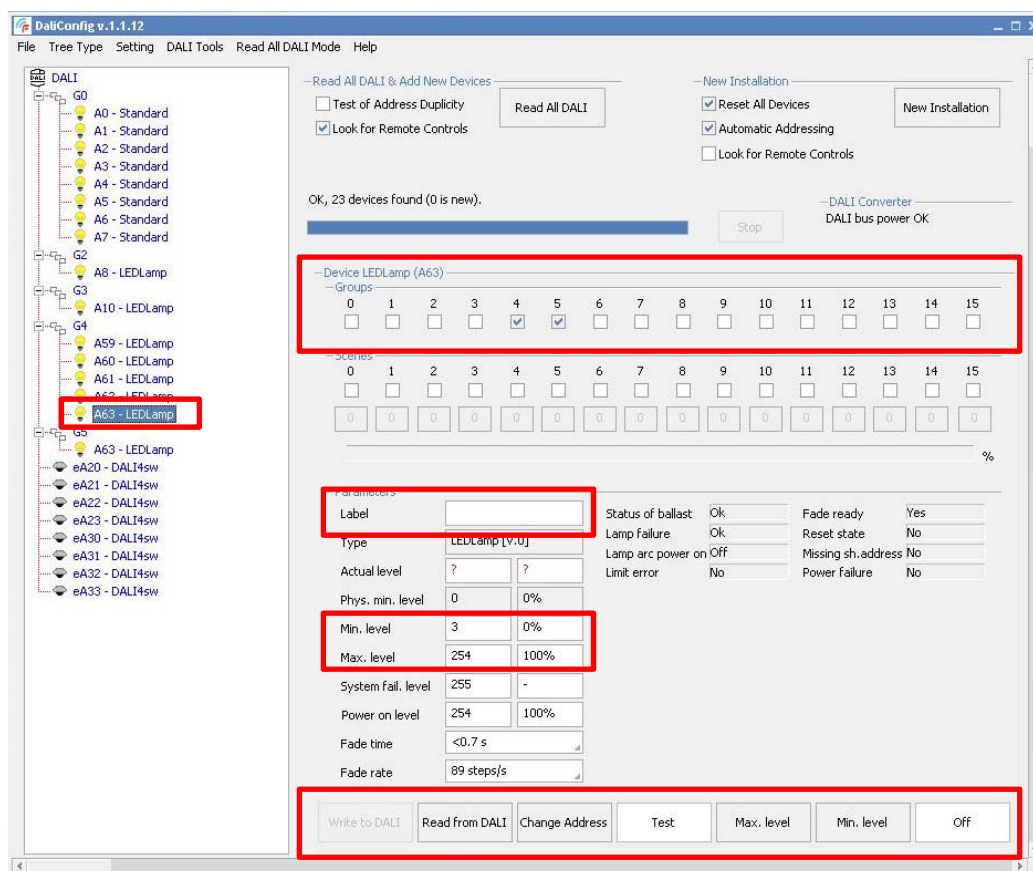
poloze. Zapněte napájení digitálního systému černým kolébkovým spínačem na ovládacím panelu.

- f. Vyzkoušejte funkčnost velkého dvou-kolébkového vypínače GIRA na ovládacím panelu dole. Po krátkém stisku levé kolébky nahoru by se měla všechna svítidla v modelu rozsvítit na maximální hodnotu. Při stisku stejné kolébky dolů by se všechna svítidla měla vypnout. Dlouhé stisknutí by mělo umožňovat plynulou regulaci jasu všech svítidel. Pravá kolébka by stejným způsobem měla regulovat pouze svítidla nepřímé osvětlovací soustavy (4000 K).
- g. Pomocí vodiče s RS232/DALI převodníkem propojte model s počítačem na pracovišti číslo 3. V PC spusťte konfigurační software DaliConfig. Systém DALI obecně funguje v on-line režimu – nejprve je potřeba načíst konfigurace, následně upravit a na závěr je opět nahrát do řídicí jednotky. Před každou konfigurací celého systému je potřeba načíst jednotlivá zařízení (předřadníky, tlačítka) připojená ke sběrnici. K tomu slouží v dialogovém okně konfiguračního programu tlačítko „Read all DALI“. Po načtení se všechna připojená zařízení zobrazí v levém sloupci. Svítidlům (předřadníkům) je přiřazena adresa A0 až A63. V levém sloupci jsou zobrazena i připojená tlačítka – označená jako DALI4sw.

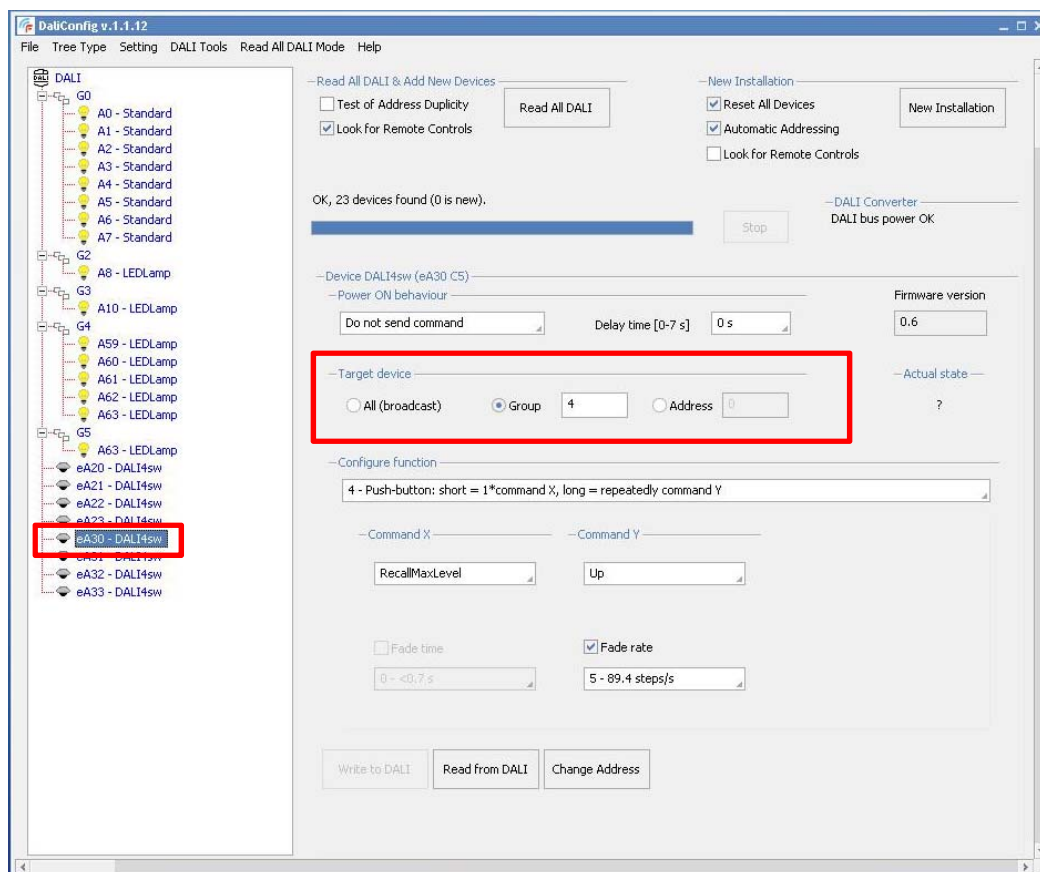


Konfiguraci systému řízení je možné uložit do souboru jako zálohu, ze souboru ji nahrát zpět jako obnovení nebo současnou konfiguraci odstranit a resetovat tak veškerá nastavení a adresy všech připojených prvků ke sběrnici.

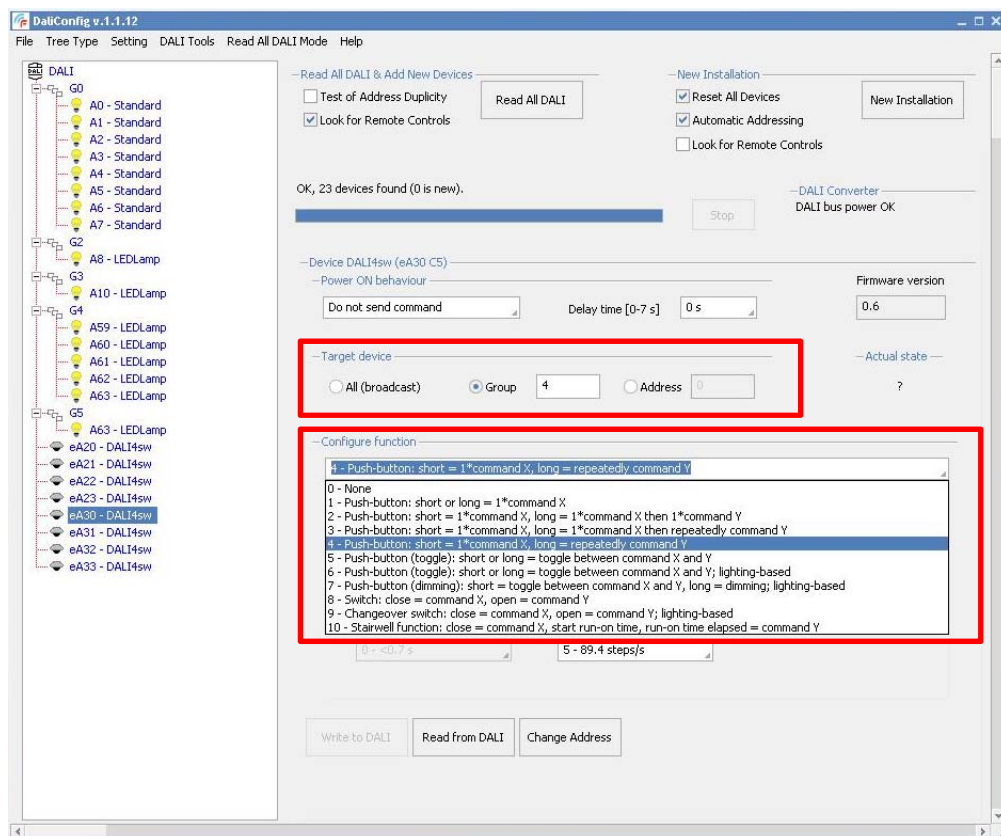
- h.** V levém sloupci konfiguračního programu označte libovolné svítidlo, tím se zpřístupní možnost nastavování jeho parametrů. V pravé části je možné přiřadit svítidlo až do 16-ti skupin zároveň. Ve spodní části okna stiskněte tlačítko „Test“, vybrané svítidlo začne v intervalech blikat. Toto slouží pro zjištění, které svítidlo je vybráno. Přiřaďte tak jednotlivým svítidlům vhodné popisky pro lepší orientaci – kolonka „Label“. Systém umožňuje nastavení minimální a maximální hodnoty jasu svítidla – Min. level, Max. level. Nastavte min. level např. na 10 % a max. level např. na 60 %. Po každé konfiguraci je třeba ji nahrát do řídicí jednotky pomocí tlačítka „Write to DALI“. Vyzkoušejte tlačítka „Max. level“ a „Min. level“. Svítidla se rozsvítí na nastavené hladiny. Tlačítkem „Off“ se svítidlo vypne.



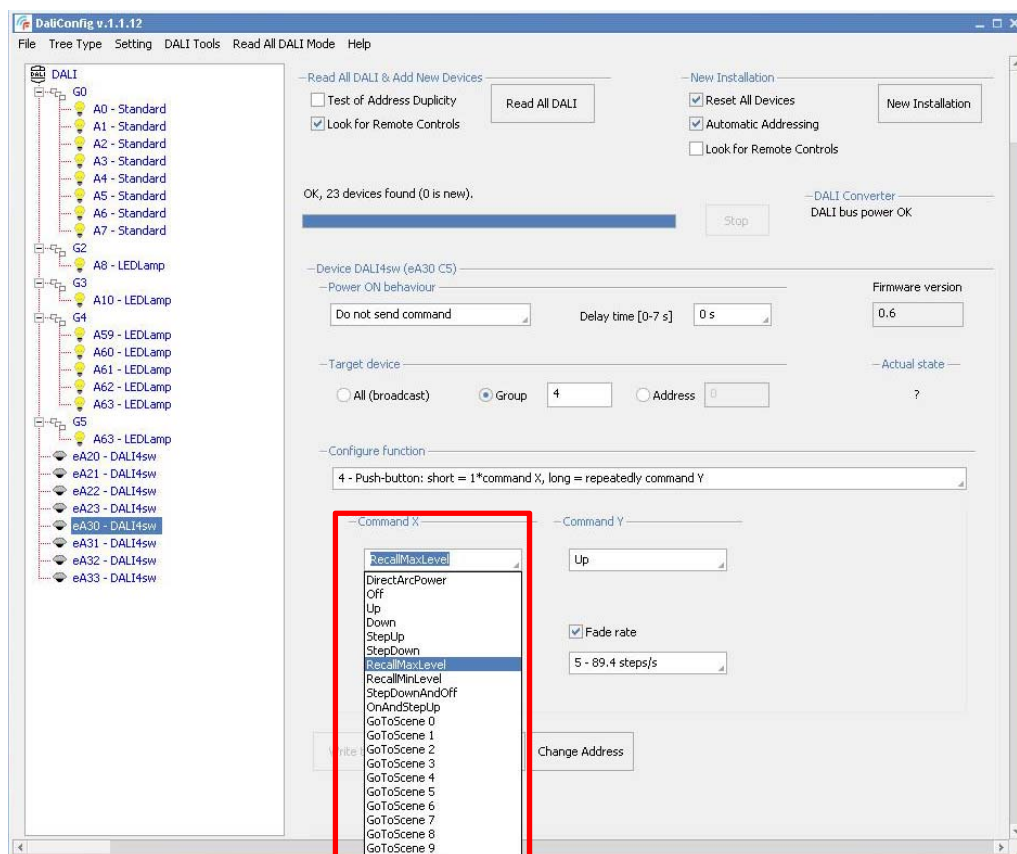
- i.** Pro nastavení funkcí tlačítek vyberte první ovládací prvek (DALI4sw) v levém sloupci dialogového okna. Pro která svítidla mají být příkazy spouštěné tlačítkovým ovladačem, je možné nastavit v „Target device“. Příkaz může být platný pro všechna svítidla „All (broadcast)“, pro skupinu svítidel „Group“ nebo pro jediné svítidlo „Adress“. V případě skupiny je potřeba zadat do příslušné kolonky její číslo, v případě přímé adresace jediného svítidla pak jeho adresu – např. „60“.



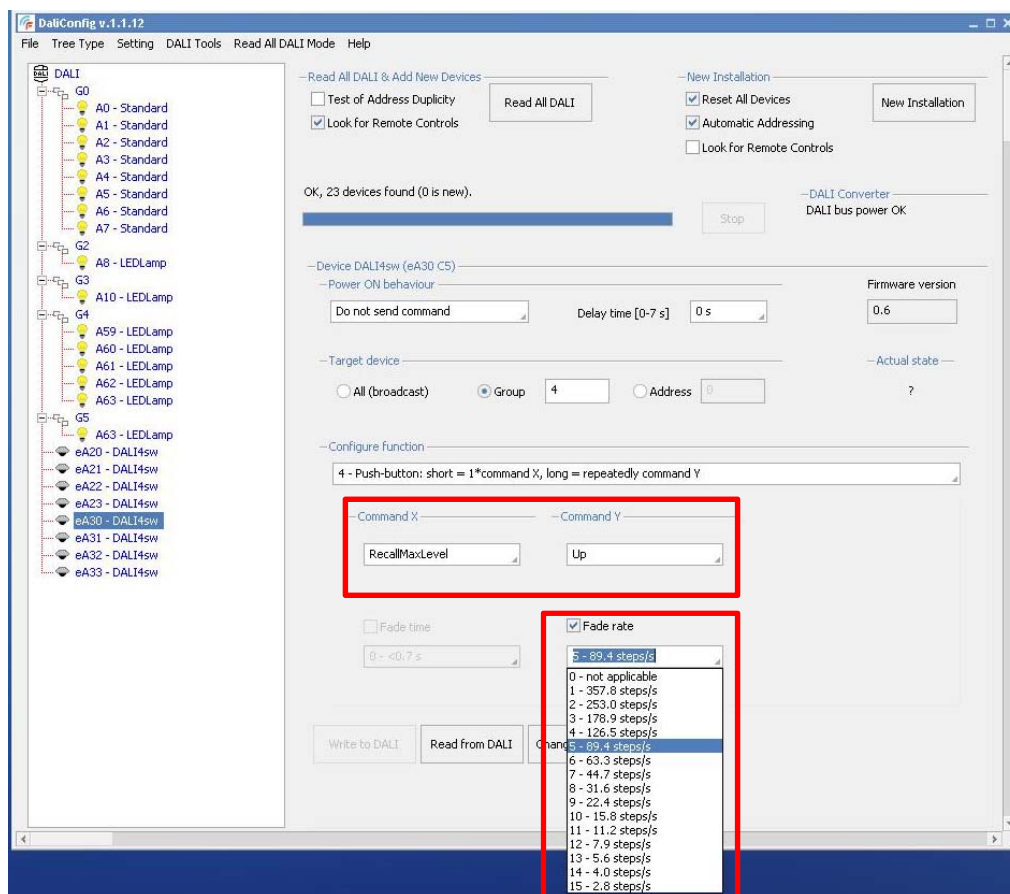
- j. Vlastní funkce tlačítkového ovladače se nastavuje v dolní části okna programu. Systém rozpoznává krátký a dlouhý stisk tlačítkového ovladače. Jednomu tlačítku je tedy možné přiřadit dvě funkce – Command X a Command Y – jednotlivé příkazy se mohou různě kombinovat / opakovat. Přesné typy a posloupnosti obou příkazů jsou vidět po rozbalení nabídky.



- k. Dále je popsáno použití nejvíce používaných příkazů, které mohou být nastaveny na jednotlivé tlačítkové ovladače. Jejich vhodnou kombinací splňte požadavky na nastavení dle zadání.
- l. Pro jednoduché zapnutí a vypnutí svítidla (svítidel) zvolte funkci „1- Push-button: short or long = 1*command X“. Po stisknutí tlačítka krátce nebo dlouze se provede pouze „command X“. Vlastní funkce „command X“ se nastavuje v rozbalovacím menu. Pro „command X“ nastavte funkci „RecallMaxLevel“ (zapnutí na max. hodnotu). Konfiguraci nahrajte do systému tlačítkem „Write to DALI“. Obdobným způsobem nastavte druhé tlačítko pro vypnutí svítidel. Pro vypnutí použijte příkaz „Off“. Ověřte funkčnost.



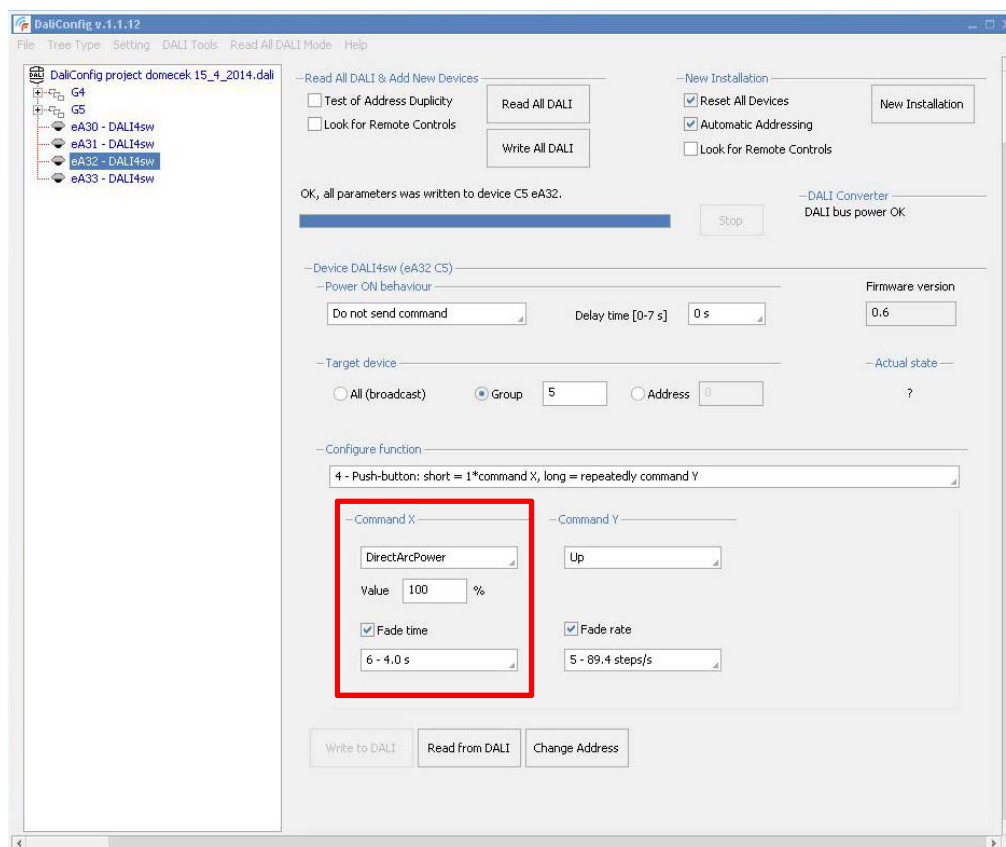
- m.** Pro nastavení dvou funkcí jednomu tlačítku zvolte příkaz „4 – Push-button: short = 1*command X, long = repeatedly command Y“. Při krátkém stisku tlačítkového ovladače se provede 1x command X, při dlouhém stisku se bude opakovat command Y. Pro přechod svítidla na předem definovanou minimální / maximální úroveň jasu slouží příkazy „RecallMinLevel“ a „RecallMaxLevel“. Nastavení min. a max. úrovně jasu svítidla, viz výše – Postup měření bod „h“.
- n.** Nastavte max. a min. hodnoty všech svítidel na 100 % a 0 %. Pro „command X“ prvního tlačítka nastavte funkci „RecallMaxLevel“ (zapnutí na max. hodnotu) a pro „command Y“ nastavte funkci „Up“ (navyšování jasu). Nahrajte nastavení tlačítka. Pro druhé tlačítko nastavte „command X“ na „Off“ (vypnutí) a „command Y“ na „Down“ (snižování jasu). Nahrajte nastavení tlačítka. Ověřte funkčnost. Položkou „Fade rate“ lze nastavit rychlost zvyšování / snižování jasu svítidla při dlouhém stisku tlačítkového ovladače.



- o. Nastavte max. hodnoty jasu svítidel přímé osvětlovací soustavy následovně:
1. svítidlo 10 %
 2. svítidlo 50 %
 3. svítidlo 90 %

Následně nakonfigurujte jednoduché zapínání / vypínání. Postup nastavení je shodný jako v předchozích bodech. Nezapomeňte po každé změně konfigurace ji zapsat prostřednictvím tlačítka „Write to DALI“.

- p. Další možností nastavení je plynulé zapíná svítidla na nastavenou úroveň jasu a plynulé vypínání. K tomu slouží příkaz „DirectArcPower“. Pro „command X“ nastavte „DirectArcPower“ a hodnotu „Value“ 10 %. „Fade time“ určuje dobu, za kterou bude dosažena požadovaná hodnota jasu svítidla. Nastavte například na „6 – 4.0 s“. Pro „command Y“ nastavte stejný příkaz a hodnotu „Value“ nastavte na 100 %. Nahrajte konfiguraci. Pro tlačítko vypínání použijeme opět stejné příkazy. Pro „command X“ nastavíme hodnotu 10 %, ale pro „command Y“ hodnotu 0 %. Při vypínání nemusíme nastavovat stejné hodnoty „Value“.



- q. Pro druhou kolébku tlačítkového ovladače nastavte funkci na krátký stisk „command X“ stejně jako první kolébku. Pro „command Y“ nastavte možnost plynule rozsvěcet a stmívat daná svítidla funkce „Down“ a „Up“.
- r. Veškerou komunikaci, která probíhá po DALI sběrnice, je možné zobrazit v DALI terminálu. Ten se nachází v záložce „DALI tools → DALI terminal...“.

Time	Type	Data(hex)	Address	Command
08:47:59	Cmd	A305	Undef	DTR(5)
08:47:59	Cmd	892F	G4	StoreDTRAsFadeRate
08:47:59	Cmd	892F	G4	StoreDTRAsFadeRate
08:47:59	Cmd	8902	G4	Down
08:47:59	Cmd	A305	Undef	DTR(5)
08:47:59	Cmd	892F	G4	StoreDTRAsFadeRate
08:47:59	Cmd	892F	G4	StoreDTRAsFadeRate
08:48:00	Cmd	8902	G4	Down
08:48:00	Cmd	A305	Undef	DTR(5)
08:48:00	Cmd	892F	G4	StoreDTRAsFadeRate
08:48:00	Cmd	892F	G4	StoreDTRAsFadeRate
08:48:00	Cmd	8902	G4	Down
08:48:01	Cmd	8905	G4	RecallMaxLevel
08:48:02	Cmd	8900	G4	Off
08:48:02	Cmd	8800	G5	Off
08:48:03	Cmd	8805	G5	RecallMaxLevel
08:48:04	Cmd	8800	G5	Off
08:48:05	Cmd	A305	Undef	DTR(5)
08:48:05	Cmd	882F	G5	StoreDTRAsFadeRate
08:48:05	Cmd	882F	G5	StoreDTRAsFadeRate
08:48:05	Cmd	8801	G5	Up
08:48:06	Cmd	A305	Undef	DTR(5)
08:48:06	Cmd	882F	G5	StoreDTRAsFadeRate
08:48:06	Cmd	882F	G5	StoreDTRAsFadeRate
08:48:06	Cmd	8801	G5	Up
08:48:06	Cmd	8800	G5	Off

- s. Dle pokynů vyučujícího případně připojte model propojovacím kabelem do digitálního systému řízení osvětlení laboratoře místo pracoviště číslo 2. **Před propojením je třeba vrátit konfiguraci modelu – adresy svítidel a tlačítkových spínačů a skupiny svítidel – do původních hodnot!** Propojovací kabel se připojuje přes konektor na levém boku modelu vedle bílé pojistkové skříňky. Po propojení nastavte páčkový vypínač do dolní polohy – napájení sběrnice z externího zdroje. Následně probíhá konfigurace funkcí shodně s výše uvedenými postupy.
- t. Po skončení práce nahrajte do digitálního systému modelu původní konfiguraci a vyzkoušejte její funkčnost.

Schéma zapojení elektrického systému

