


Inteligentní osvětlení budov a řízení světelné pohody

Intelligent lighting of buildings and control of lightening

Lukáš Konečný

Bakalářská práce
2013

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš KONEČNÝ**
Osobní číslo: **A09129**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informační a řídicí technologie**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Inteligentní osvětlení budov a řízení světelné pohody**

Zásady pro vypracování:

1. Uveďte teoretické základy a matematický aparát k osvětlení budov a pracovišť.
2. Zpracujte literární rešerši o problematice osvětlení a způsobech řešení.
3. Uveďte teoretické základy a matematické modely k osvětlení.
4. Zpracujte vzorovou studii podle dvou vybraných řešení pro modelovou budovu.
5. Analyzujte efekty technické, provozní, bezpečnostní a ekonomické.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. Schneider Electric CZ: I/NET Seven zabezpečovací a přístupový systém. Praha: Schneider Electric CZ, 2005
2. Bastian, Hans-Werner: Bezpečný dům a byt: ochrana před vloupáním, požárem a škodami způsobenými vodou. Praha: Beta-Dobrovský, 2004, ISBN 80-7306-171-6
3. Kindl, Jiří: Projektování bezpečnostních systémů: EPS, EZS. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2004, ISBN 80-7318-165-7
4. Sen Zekai: Solar Energy Fundamentals and modeling Techniques. London: Springer, 2008, ISBN: 978-1848001336
5. Rybár P. a kol: Denní osvětlení a oslunění budov. Brno: ERA group, 2002, ISBN 80-86517-33-0
6. Cihelka J.: Sluneční vytápěcí systémy. Praha: SNTL, 1984, ISBN 04-236-84

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. František Hruška, Ph.D.

Ústav elektroniky a měření

Datum zadání bakalářské práce:

24. února 2013

Termín odevzdání bakalářské práce:

14. června 2013

Ve Zlíně dne 24. února 2013

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je seznámení s řízením osvětlení uvnitř budov a následný návrh vzorové studie řízeného osvětlení modelového interiéru. Teoretická část se zabývá základními vlastnostmi světla z pohledu fyziky, účinky světla na lidský organismus, dělením druhů a zdrojů osvětlení, požadavky na osvětlení a způsoby řízení regulace světelných soustav. Dále jsou zde rozebrány matematické modely sloužící k výpočtům osvětlení. Praktická část se skládá z návrhu modelového interiéru a jeho světelné soustavy, na které jsou provedeny simulace za různých světelných podmínek.

Klíčová slova: světlo, osvětlení, zraková pohoda, zdroje světla, požadavky na osvětlení, řízení osvětlení, matematické modely osvětlení

ABSTRACT

The goal of this thesis is to introduce to the lighting control in buildings followed by model design of the interior lighting control. The theoretical part deals with the basic properties of light from the point of view of physics, the effects of light on the human body, classifying the types and sources of light, lighting standards and ways of lighting system control. There are also analyzed mathematical models for light calculation. The practical part consists of the model interior and its lighting system on which are carried out simulations under different lighting conditions.

Keywords: light, illumination, visual comfort, light sources, lighting standards, lighting control, lighting mathematical models

Rád bych poděkoval svému vedoucímu panu doc. Ing. Františku Hruškovi, Ph.D. za poskytnuté rady, připomínky a čas strávený u konzultací při zpracovávání této bakalářské práce.

Prohlašuji, že

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

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 TEORETICKÉ ZÁKLADY OSVĚTLENÍ	11
1.1 ZÁŘIVÝ TOK	11
1.2 SVĚTELNÝ TOK	11
1.3 SVÍTIVOST	11
1.4 OSVĚTLENOST	12
1.5 JAS	13
1.6 LOM ZÁŘENÍ	13
1.6.1 Index lomu.....	14
1.7 ODRAZ ZÁŘENÍ	15
1.7.1 Zrcadlový odraz.....	16
1.7.2 Rozptylný odraz	16
1.7.3 Smíšený odraz	16
1.7.4 Rovnoměrně rozptylný odraz	17
1.7.5 Směrově rozptylný odraz.....	17
1.8 PROSTUP ZÁŘENÍ	17
1.8.1 Přímý prostup	18
1.8.2 Rozptylný prostup	18
1.8.3 Smíšený prostup	19
1.8.4 Rovnoměrně rozptylný prostup	19
1.8.5 Směrově rozptylný prostup	20
2 ZPŮSOBY ŘEŠENÍ OSVĚTLENÍ	21
2.1 VLIV SVĚTLA NA ČLOVĚKA	21
2.1.1 Zraková pohoda.....	21
2.1.2 Oslnění	21
2.2 TYPY OSVĚTLENÍ	22
2.2.1 Denní osvětlení.....	22
2.2.2 Umělé osvětlení.....	23
2.2.3 Sdružené osvětlení	23
2.3 POŽADAVKY NA OSVĚTLENÍ	24
2.3.1 Požadavky na denní osvětlení	24
2.3.2 Požadavky na umělé osvětlení	25
2.4 UMĚLÉ SVĚTELNÉ ZDROJE	27
2.4.1 Základní pojmy a veličiny	27
2.4.2 Třídění umělých světelných zdrojů	29
2.4.3 Typy umělých světelných zdrojů.....	29
2.4.4 Prvky řídicích systémů	33
2.4.5 Uspořádání řídicích systémů	34
2.4.6 Typy řídicích systémů	36

3	MATEMATICKÉ MODELY K OSVĚTLENÍ	44
3.1	DENNÍ OSVĚTLENÍ	44
3.1.1	Vstupní údaje výpočtů.....	44
3.1.2	Metody výpočtů.....	49
3.2	UMĚLÉ OSVĚTLENÍ	55
3.2.1	Metody výpočtů.....	55
II	PRAKTICKÁ ČÁST	58
4	VZOROVÁ STUDIE ŘEŠENÍ OSVĚTLENÍ	59
4.1	NÁVRH INTERIÉRU.....	59
4.1.1	Místnost.....	59
4.1.2	Osvětlení	60
4.1.3	Vybavení	62
4.2	SIMULACE OSVĚTLENÍ	63
4.2.1	Pouze denní osvětlení.....	63
4.2.2	Pouze umělé osvětlení.....	66
4.2.3	Sdružené osvětlení	68
4.3	ZHODNOCENÍ EKONOMICKÝCH EFEKTŮ	78
4.3.1	Automatický řídicí systém.....	79
4.3.2	Manuální řídicí systém	79
4.3.3	Bez řízení osvětlení	80
	ZÁVĚR	81
	ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ	83
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	85
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	87
	SEZNAM OBRÁZKŮ	88
	SEZNAM TABULEK	91

ÚVOD

Světlo je jedním z nejdůležitějších faktorů životního prostředí. Jeho vlastnosti působí na lidskou psychiku a ovlivňují fyziologické funkce. Jeho druh, množství a intenzita má přímý dopad na pohodu nebo pracovní výkony člověka. Proto je důležité dodržovat zásady osvětlení a vhodně volit světelné zdroje, aby bylo dosaženo optimálních světelných podmínek.

Světelná technika zaznamenala velký rozvoj od klasických žárovek manuálně regulovaných napětím až po komplexní plně automatické elektronické řídicí systémy spolupracující s různými typy senzorů. V oblasti světelných zdrojů dochází také k patrným pokrokům, zlepšují se parametry výkonu, barevného podání nebo životnosti, využívají se nové materiály a konstrukce. V poslední době jsou moderním trendem LED svítidla pro svoji nízkou spotřebu, dlouhou životnost a malou velikost, která dovoluje vzniknout nejrůznějším designům.

Při projektování světelných systémů se čím dál víc dbá na ekonomické aspekty. Aby byla úspora energie co největší, volí se osvětlení vhodné pro specifické činnosti v daných prostorech a také se využívají řídicí systémy, které podle míry denního světla a přítomnosti osob tlumí nebo úplně vypínají světelné zdroje. Výsledkem takových řešení je kromě snížení provozních nákladů také kvalitnější osvětlení a zpříjemnění práce nebo pobytu.

V současnosti existuje pro řízení osvětlení několik standardů, které navíc umožňují i ovládání topení, klimatizace, bezpečnostních a nouzových systémů, atd. Budovy, ve kterých se takovéto systémy nachází, jsou označovány jako inteligentní. Na trhu se vyskytuje velké množství firem poskytujících takováto řešení a celé toto odvětví je na vzestupu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TEORETICKÉ ZÁKLADY OSVĚTLENÍ

Světlo je elektromagnetické záření, které je schopno prostřednictvím zrakového orgánu vzbudit zrakový vjem. Toto záření lze charakterizovat frekvencí nebo vlnovou délkou. Vlnové délky viditelného světla jsou v rozmezí od 380 nm do 780 nm. S viditelným světlem sousedí na straně kratších vlnových délek ultrafialové záření a na straně delších vlnových délek infračervené záření. [4]

1.1 Zářivý tok

Zářivý tok je výkon vysílaný zdrojem záření za jednotku času.

Je definován vztahem:

$$\Phi_{\varepsilon} = \frac{dE}{dt}, \quad (1)$$

kde

E je energie vysílaná zdrojem v joulech ($J = W \cdot s$);

t je čas v sekundách (s).

Jednotkou zářivého toku je watt (W).

1.2 Světelný tok

Světelný tok je výkon posuzovaný z hlediska citlivosti lidského oka. Udává, kolik světla celkem vyzařuje světelný zdroj do všech směrů. [3]

Je definován vztahem:

$$\Phi_v = \Phi_{\varepsilon} \cdot K, \quad (2)$$

kde

K je světelný účinek viditelného záření v lumenech na watt ($\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$).

Jednotkou světelného toku je lumen (lm).

1.3 Svítivost

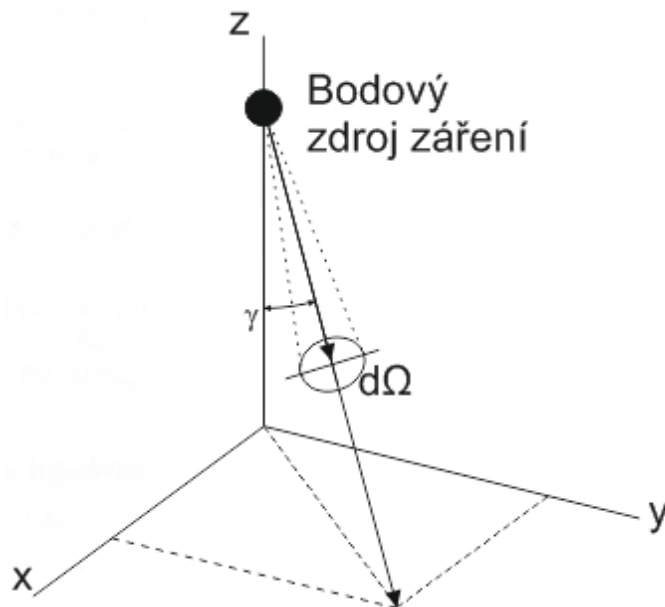
Svítivost je podíl světelného toku Φ_v a velikosti prostorového úhlu Ω do kterého je světelný tok vyzařován. Umožňuje popsat distribuci světelného toku bodového zdroje do prostoru. [1]

Aby mohl být zdroj považován za bodový, nesmí žádný z jeho rozměrů a být větší než poměr r/a , kde r je vzdálenost místa hodnocení od zdroje. [1]

Je definována vztahem:

$$I_v = \frac{d\Phi_v}{d\Omega}. \quad (3)$$

Jednotkou svítivosti je kandela (cd).



Obr. 1 Svítivost bodového zdroje záření

1.4 Osvětlenost

Osvětlenost je podíl světelného toku Φ_v dopadajícího na elementární plošku a velikosti této plochy. [1]

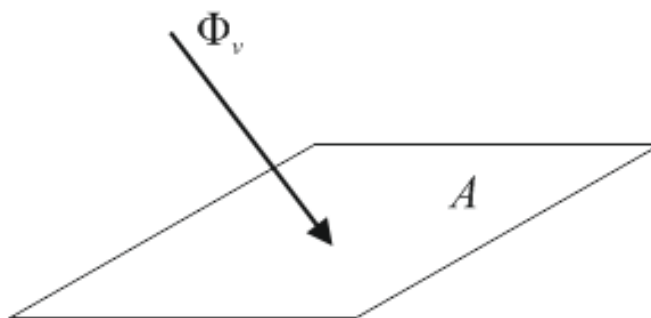
Je definována vztahem:

$$E_v = \frac{d\Phi_v}{dA}, \quad (4)$$

kde

A je velikost plochy v metrech čtverečních (m^2).

Jednotkou osvětlenosti je lux (lx).



Obr. 2 Osvětlenost elementární plošky

1.5 Jas

Jas je vyjádřením intenzity světelného záření elementární plochy do určitého směru nebo místa. [1]

Je definován vztahem:

$$L = \frac{d^2 \Phi_v}{dA \cdot \cos \Theta \cdot d\Omega}, \quad (5)$$

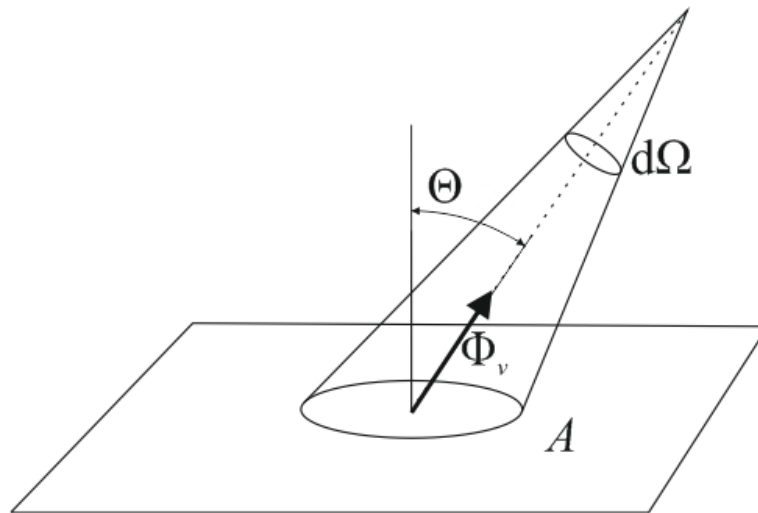
kde

A je velikost plochy v metrech čtverečních (m^2);

Θ je velikost úhlu mezi normálou plochy a směrem světelného toku;

Ω je velikost prostorového úhlu, do kterého je světelný tok vyzařován.

Jednotkou jasu je kandela na metr čtvereční ($cd \cdot m^{-2}$).



Obr. 3 Jas

1.6 Lom záření

Lom záření neboli refrakce je změna směru šíření záření vlivem změny jeho rychlosti při průchodu opticky nehomogenním prostředím nebo při prostupu rozhraním mezi dvěma prostředími s různými indexy lomu. [1]

V prostředí opticky homogenním je index lomu monochromatického záření konstantní a prostupující světelné paprsky zachovávají přímkový směr. V prostředí opticky nehomogenním může být dráha světelných paprsků různě zakřivena. [1]

Rozdílnost optických prostředí je určována pomocí indexu lomu.

1.6.1 Index lomu

Index lomu daného prostředí pro monochromatické záření o vlnové délce λ je dán poměrem rychlosti šíření elektromagnetických vln ve vakuu k jeho fázové rychlosti v uvažovaném prostředí: [1]

$$n(\lambda) = \frac{c_{vak}}{c} \geq 1, \quad (6)$$

kde

$n(\lambda)$ je index lomu pro vlnovou délku záření λ ;

c_{vak} je rychlost šíření záření ve vakuu v metrech za sekundu ($m \cdot s^{-1}$);

c je rychlost šíření záření v daném prostředí v metrech za sekundu ($m \cdot s^{-1}$).

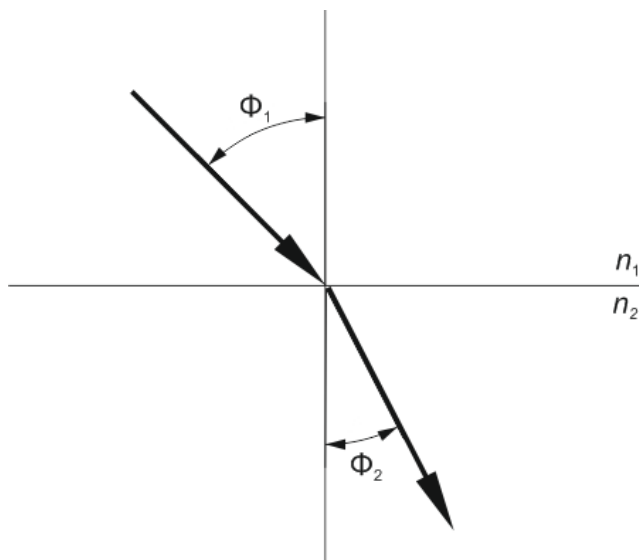
Index lomu je bezrozměrná veličina.

Index lomu při průchodu záření rozhraním z vakua do izotropního prostředí je také roven poměru sinu úhlu dopadu Φ_1 k sinu úhlu lomu Φ_2 : [1]

$$n(\lambda) = \frac{\sin \Phi_1}{\sin \Phi_2}. \quad (7)$$

Pro prostup rozhraním prostředí s různými indexy lomu je tento vztah obecněji vyjádřen tzv. Snellovým zákonem lomu: [1]

$$n_1(\lambda) \cdot \sin \Phi_1 = n_2(\lambda) \cdot \sin \Phi_2. \quad (8)$$



Obr. 4 Lom záření na rozhraní prostředí n_1 a n_2

Čirá plochá skla používaná ve stavebnictví jsou obecně pokládána za opticky homogenní izotropní materiály s přípustnými odchylkami stanovenými v závislosti na požadované jakosti technickými normami. Indexy lomu se u nich měří při určitém monochromatickém záření. U běžných čirých skel se indexy lomu považují za konstantní v celém oboru

vlnových délek viditelného záření. U speciálně upravených stavebních skel tomu tak není. Vjemově podobná skla mohou mít výrazně odlišné vlastnosti (např. jinou technologií zpracování, použitím jiných doplňkových látek, jinou historií tepelného zpracování apod.).

[1]

Hodnoty indexů lomu ve vybraných prostředích:

Typ prostředí	Index lomu n
Vakuum	1
Suchý vzduch při normálním atmosférickém tlaku	1,0003
Voda	1,33
Sklo	1,45 až 1,95
Stavební sklo	1,52

Tab. 1 Hodnoty indexů lomu ve vybraných prostředích

1.7 Odraz záření

Odraz záření neboli reflexe je jev, při němž se záření vrací od povrchu nebo od prostředí beze změny kmitočtu jeho monochromatických složek. Část záření dopadající na prostředí je odražena na povrchu prostředí (povrchový odraz) a jiná část se může odrážet při průchodu prostředím (objemový odraz). [1]

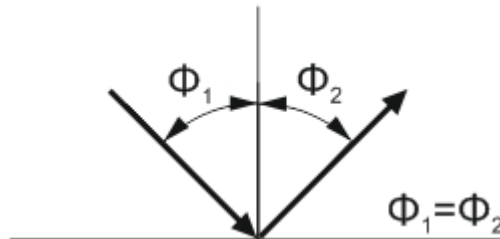
Při odrazu záření neprůsvitným prostředím dochází obecně ke ztrátám způsobených absorpcí. Záření částečně proniká do hmoty, kde se zářivá energie absorbuje a mění většinou na teplo. Pokud jsou jednotlivé monochromatické složky složeného záření zeslabeny různě (tj. absorpce záření je závislá na vlnové délce), pak je takový odraz hodnocen jako selektivní. [1]

Při selektivním odrazu složeného záření dojde ke změně jednotlivých monochromatických složek záření, což se projeví ve změně vjemu barvy odraženého záření. To, že vidíme různé povrchy v různých barevných odstínech, je důsledkem selektivního odrazu těmito povrchy. [1]

Odraz záření se dělí na zrcadlový a rozptylný, kombinací těchto odrazů vzniká odraz smíšený.

1.7.1 Zrcadlový odraz

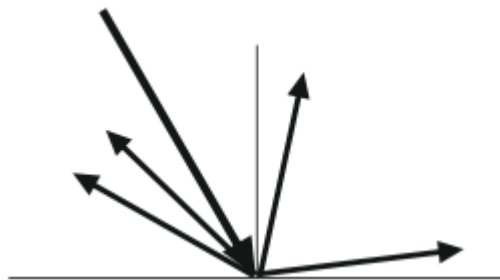
Zrcadlový odraz je odraz záření bez rozptylu ve shodě se zákony geometrické optiky. Úhel odrazu je velikostí roven úhlu dopadu, měřený od normály plochy, na kterou záření dopadá. Odražený paprsek leží v rovině dopadu, avšak je odvrácen na druhou stranu od kolmice. K zrcadlovému odrazu dochází na hladkých podlahách (např. napařované vrstvě chemicky čistého kovu na skle, na klidné vodní hladině apod.). [1]



Obr. 5 Zrcadlový odraz

1.7.2 Rozptylný odraz

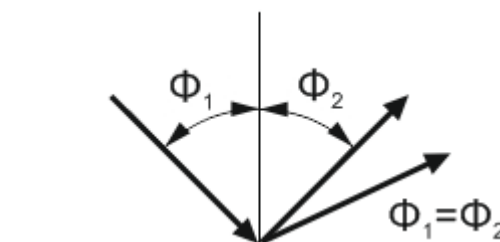
Rozptylný odraz je odraz záření do různých směrů, při němž v makroskopickém měřítku nevzniká odraz zrcadlový. Rozptylný odraz nastává na strukturovaném povrchu nebo od částic rozptýlených v daném prostředí (např. půdě, matném povrchu, v atmosféře apod.). [1]



Obr. 6 Rozptylný odraz

1.7.3 Smíšený odraz

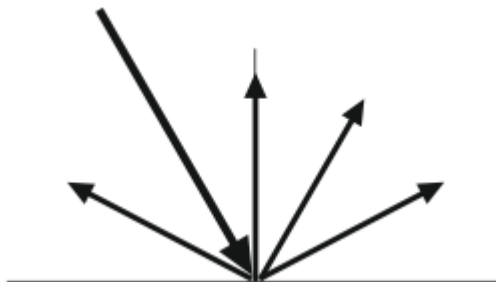
Smíšený odraz je odraz záření částečně zrcadlový a částečně rozptylný. [1]



Obr. 7 Smíšený odraz

1.7.4 Rovnoměrně rozptylný odraz

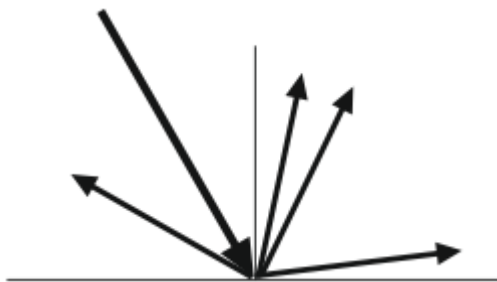
Rovnoměrně rozptylný odraz je odraz, při kterém prostorové rozložení odraženého záření je takové, že zář nebo jas jsou stejné ve všech směrech poloprostoru, do kterého je záření odraženo. [1]



Obr. 8 Rovnoměrně rozptylný odraz

1.7.5 Směrově rozptylný odraz

Směrově rozptylný odraz je odraz, jehož vlastnosti odpovídají vlastnostem rozptylného odrazu, avšak odražené záření v některém směru převažuje. [1]



Obr. 9 Směrově rozptylný odraz

Zrcadlový odraz a rovnoměrně rozptylný odraz jsou krajní teoretické stavy odrazu. U zrcadlového odrazu vždy existuje malá složka odraženého záření rozptylem. Stejně tak u rovnoměrně rozptýleného odrazu vždy dochází k malé asymetrii odraženého záření. [1]

1.8 Prostup záření

Prostup záření neboli transmise je šíření záření prostředím beze změny kmitočtu jeho monochromatických složek. [1]

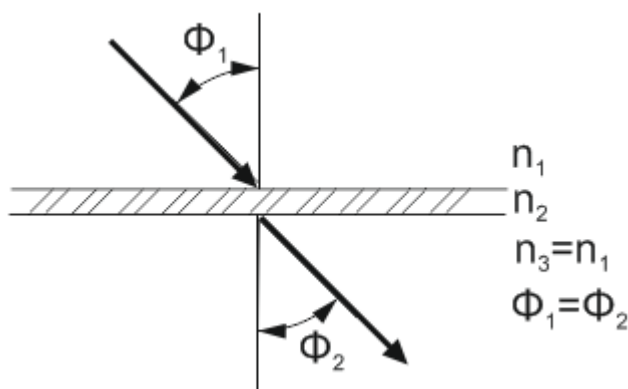
Při prostupu záření prostředím dochází obecně ke ztrátám způsobených absorpcí. Pokud jsou jednotlivé monochromatické složky záření zeslabeny různě (tj. absorpce záření je závislá na vlnové délce), pak je takový prostup hodnocen jako selektivní. [1]

Při selektivním prostupu záření dojde ke změně jednotlivých složek záření a tím i ke změně vjemu barvy světla. Změny barevného vjemu světla po prostupu (např. sklem) nás zajímají hlavně proto, abychom posoudili trvalý vliv zasklení na změnu barevného vjemu přírodního denního světla a z toho plynoucí důsledky pro vlastnosti denního osvětlení ve vnitřním prostoru budov. [1]

Prostup záření se dělí na přímý a rozptylný, kombinací těchto postupů vzniká postup smíšený.

1.8.1 Přímý postup

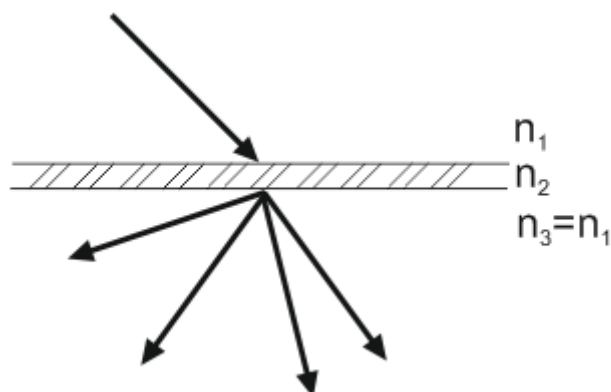
Přímý postup je postup záření prostředím bez rozptylu ve shodě se zákony geometrické optiky. [1]



Obr. 10 Přímý postup

1.8.2 Rozptylný postup

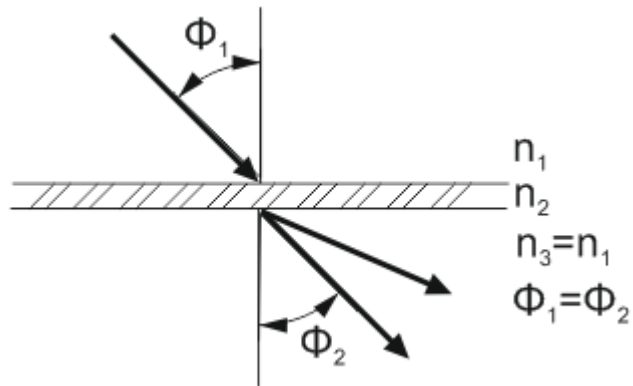
Rozptylný postup je postup záření prostředím do různých směrů, při němž v makroskopickém měřítku nedochází k prostupu směrovému. [1]



Obr. 11 Rozptylný postup

1.8.3 Smíšený prostup

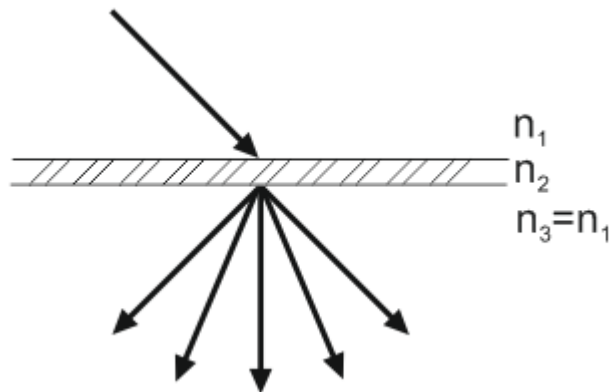
Smíšený prostup je prostup záření prostředím částečně přímý a částečně rozptylný. [1]



Obr. 12 Smíšený prostup

1.8.4 Rovnoměrně rozptylný prostup

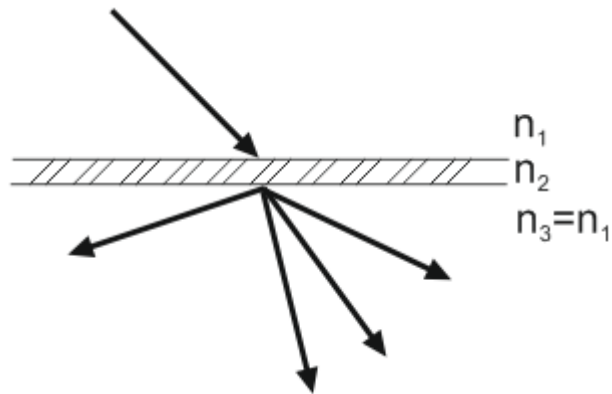
Rovnoměrně rozptylný prostup je prostup, při němž je vystupující záření prostorově rozděleno tak, že je zář stejná pro všechny směry poloprostoru, do něhož je záření vyzařováno. [1]



Obr. 13 Rovnoměrně rozptylný prostup

1.8.5 Směrově rozptylný prostup

Směrově rozptylný prostup je prostup, při němž má vystupující záření vlastnosti rozptylného prostupu, avšak v určitém směru převažuje. [1]



Obr. 14 Směrově rozptylný prostup

Přímý prostup a rovnoměrně rozptylný prostup jsou krajní teoretické stavy prostupu. U přímého prostupu vždy existuje malá složka rozptýleného záření. Podobně u rovnoměrně rozptylného prostupu není popsána charakteristika zcela dodržena. Malé odchylky od těchto teoretických stavů se zanedbávají. [1]

2 ZPŮSOBY ŘEŠENÍ OSVĚTLENÍ

2.1 Vliv světla na člověka

Lidskou psychiku významně ovlivňují typické vlastnosti denního osvětlení. Jeho dynamičnost a trvalé nepravidelné změny během dne co do množství i kvality jsou stimulatorem mechanismů pozornosti. Nedostatek světla byl vždy považován za degradaci životních podmínek. [1]

Přímé sluneční záření má psychicky jednoznačně aktivační vliv. Umělé světlo svou monotonií vede ke snížení bdělosti, pocitům ospalosti, poklesu výkonu a snížení reakční pohotovosti. Mezi krátkodobé psychické stavy, které mohou být zapříčiněny nevhodnými světelnými podmínkami lze řadit únavu a diskomfort. [1]

2.1.1 Zraková pohoda

Zraková pohoda je definována jako příjemný psychofyziologický stav potřebný pro účinnou práci a odpočinek. Není to pocit, ale stav organismu vytvořený vnějšími fyzikálními faktory. Prioritní pro zrakovou pohodu je světlo, ale ovlivňují ji i další vlivy jako hluk, teplota, proudění vzduchu, architektonické vlastnosti prostoru, barvy aj. Úzce souvisí s věkem uživatele, únavou, onemocněním a zrakovými vadami. [1]

Informace o světelné radiaci postupuje z oka do hypothalamu (část mezimozku), který je řídicím centrem vegetativních funkcí a určuje vnitřní ladění organismu. [1]

- **Ergotropní ladění** znamená stav pohotovosti k pracovnímu výkonu. [1]
- **Trofotropní ladění** charakterizuje připravenost k aktivnímu nebo pasivnímu odpočinku. [1]
- **Histotropní ladění** předchází spánku. [1]

Uvedená ladění vyžadují přiměřené světelné podmínky. Cílem tvorby světelného prostředí musí být vytvoření podmínek pro dobrou práci i odpočinek. [1]

2.1.2 Oslnění

Oslnění je definováno jako nepříznivý stav zraku, jenž ruší zrakovou pohodu, popřípadě zhoršuje nebo až znemožňuje vidění. Překročí-li poměr jasů v zorném poli současně nebo vzápětí po sobě přijatelnou mez, zhorší se zraková pohoda vidění a dochází k oslnění. [1]

- **Rušivé oslnění** budí nepříjemný pocit a rozptyluje pozornost, avšak nemusí zhoršovat činnost zraku. Považuje se za oslnění psychologické a vykazuje velké individuální rozdíly. Oslňující zdroj, který jeden pozorovatel nevnímá, je pro psychicky labilního nebo unaveného příčinou oslnění. [1]
- **Omezující oslnění** zhoršuje zrakovou činnost a zvyšuje nervovou únavu. [1]
- **Oslepující oslnění** znemožňuje vidění ještě nějakou dobu po zániku oslnění. Považuje se za oslnění fyziologické. [1]

Jas slunce i oblohy může vyvolat v interiérech budov některou z popsaných forem oslnění, proto musí být denní osvětlení navrženo tak, aby byli v těchto případech uživatelé vnitřních prostorů chráněni před vnikáním přímého slunečního světla. [1]

2.2 Typy osvětlení

2.2.1 Denní osvětlení

Denní osvětlení je osvětlení denním světlem, dopadajícím na zemi buď jako přímé sluneční světlo nebo rozptýlené atmosférou jako oblohové (difuzní) světlo. Intenzita denního osvětlení i jeho barva se v průběhu dne mění podle denní a roční doby, podle zeměpisné šířky a podle stavu oblohy. Denní osvětlení patří k základním faktorům životního prostředí člověka a má značný vliv na jeho zdravotní a psychický stav. Lze jednoznačně říci, že denní světlo vzhledem ke svému spektrálnímu složení a dynamickým vlastnostem není při současném stavu světelné techniky nahraditelné světlem z umělých zdrojů. Nejcharakterističtější v tomto směru je spektrální složení světla, podmíněné charakterem zdroje a zejména neustálá proměnlivost denního světla jak v intenzitě, tak ve spektrálním složení a rozložení světelného toku. [4]

Rozlišují se následující druhy denního osvětlení:

- **Boční osvětlení** se vyznačuje tím, že osvětlovací otvory jsou osazeny v obvodové stěně osvětlovaného prostoru. Při přibližně vodorovném směru pohledu umožňují výhled do exteriéru a osvětlovací otvory jsou v tomto směru dominantním svítícím prvkem. Na většinu vodorovné srovnávací roviny dopadá světlo převážně z boku pod úhlem menším než 45° a její osvětlenost klesá se vzdáleností od osvětlovacích otvorů. [1]

Rozmístění osvětlovacích otvorů ve stěnách může být jednostranné (unilaterální), dvojstranné (bilaterální) nebo mnohostranné (multilaterální).

- **Horní osvětlení** se vyznačuje tím, že osvětlovací otvory jsou umístěny ve stropu osvětlovaného prostoru. Při pohledu vodorovným směrem zasahují osvětlovací prostory jen částečně do zorného pole, a to převážně shora. Výhled do exteriéru je značně omezený. Na většinu vodorovné srovnávací roviny dopadá světlo převážně shora a rovnoměrnost její osvětlenosti je závislá na velikosti a vzájemné vzdálenosti světlíků. [1]
- **Kombinované osvětlení** označuje takový systém osvětlení, který má současně některé vlastnosti bočního i horního osvětlení. Je možné sem zařadit i takové způsoby osvětlení, které se nedají jednoznačně označit jako boční nebo horní osvětlení. [1]
- **Sekundární osvětlení** tvoří denní světlo prostupující vnitřními osvětlovacími otvory z vedlejší místnosti.

2.2.2 Umělé osvětlení

Umělé osvětlení je realizováno pomocí umělých světelných zdrojů. Jejich světlo nahrazuje denní světlo tam, kde je ho nedostatek, např. vzdálená místa od oken nebo při zastínění pracovní plochy překážkou. Moderní světelné zdroje umožňují vytvořit ve vnitřních prostorách umělé osvětlení kvantitativně srovnatelné s denním světlem. [4]

Rozlišují se následující druhy umělého osvětlení:

- **Celkové osvětlení** je rovnoměrné osvětlení prostoru bez ohledu na zvláštní místní požadavky. [5]
- **Odstupňované osvětlení** je v části prostoru zesílené na vyšší intenzity, (např. v místě výkonu práce). [5]
- **Místní osvětlení** doplňuje celkové osvětlení a je samostatně ovládané. Zvyšuje osvětlenost na omezené ploše. [5]
- **Kombinované osvětlení** tvoří celkové nebo odstupňované osvětlení doplněno osvětlením místním. [5]

2.2.3 Sdružené osvětlení

V budovách situovaných v hustě zastavěných centrech měst, v technologicky podmíněných hlubokých prostorech vícepodlažních budov, ve starších budovách adaptovaných k jinému účelu použití, ale také v mnoha jiných případech nelze zajistit dostatečné denní osvětlení

v celé ploše místnosti. V těchto prostorech se musí trvale nebo po převážnou část dne doplňovat denní světlo světlem z umělých zdrojů. [1]

Rozlišují se následující druhy umělého osvětlení:

- **Celkové sdružené osvětlení** je současné osvětlení denním světlem a doplňujícím celkovým nebo odstupňovaným umělým osvětlením. [4]
- **Sdružené osvětlení místní** je současné osvětlení denním světlem a doplňujícím místním umělým osvětlením na zastíněném místě vnitřního prostoru. [4]

2.3 Požadavky na osvětlení

Cílem osvětlení je vytváření zrakové pohody, která odpovídá potřebám člověka při práci a při odpočinku a umožňuje zraku optimálně plnit jeho funkci. Správné osvětlení, navržené podle zásad současné světelné techniky a respektující psychologické, fyziologické a biologické požadavky ovlivňuje kvalitu práce, únavu a zdravotní stav lidského organismu. [4]

2.3.1 Požadavky na denní osvětlení

- **Množství denního světla**

Množstvím denního světla se rozumí celkový světelný tok vstupující konstrukcemi osvětlovacích otvorů do osvětlovaného prostoru zesílený mnohonásobnými odrazy ve vnitřním prostoru. Množství světla je primární veličinou, od které se odvíjí parametry denního osvětlení interiéru. [1]

Požadované množství světla musí zabezpečit dimenze osvětlovacích otvorů a vlastnosti osvětlovaného prostoru. Dále musí být zohledněny stínící překážky v exteriéru a ztráty světla. Stanovuje se za podmínek rovnoměrně zatažené oblohy podle CIE s gradací jasu 1:3. [1]

Kontrolním místem pro dostatečné množství denního světla v osvětlovaném prostoru, je horizontální srovnávací rovina. V síti kontrolních bodů na srovnávací rovině se ověřují požadované hodnoty činitele denní osvětlenosti, které vycházejí z požadavků hygienických a z obtížnosti zrakové činnosti, která v tom prostoru bude vykonávána. [1]

Třídění zrakových činností a hodnoty činitele denní osvětlenosti:

Třída zrakové činnosti	Char. zrakové činnosti	Příklady zrakových činností	Hodnota č.d.o. v %	
			min. D_{min}	prům. D_p
I	mimořádně přesná	Nejpřesnější zraková činnost s omezenou možností, s požadavkem na vyloučení chyb v rozlišení, nejobtížnější kontrola.	3,5	10
II	velmi přesná	Velmi přesné činnosti při výrobě a kontrole, velmi přesné rýsování, ruční rytí s velmi malými detaily, velmi jemné umělecké práce.	2,5	7
III	přesná	Přesná výroba a kontrola, rýsování, technické kreslení, obtížné laboratorní práce, náročné vyšetření, jemné šití, vyšívání.	2	6
IV	středně přesná	Středně přesná výroba a kontrola, čtení, psaní, obsluha strojů, běžné laboratorní práce, vyšetření, ošetření, hrubší šití, pletení, žehlení, příprava jídel, závodní sport.	1,5	5
V	hrubší	Hrubší práce, manipulace s předměty a materiálem, konzumace jídla a obsluha, oddechové činnosti, základní a rekreační tělovýchova, čekání.	1	3
VI	velmi hrubá	Udržování čistoty, sprchování a mytí, převlékání, chůze po komunikacích přístupných veřejnosti.	0,5	2
VII	celková orientace	Chůze, doprava materiálu, skladování hrubého materiálu, celkový dohled.	0,25	1

Tab. 2 Třídění zrakových činností a hodnoty činitele denní osvětlenosti [1]

2.3.2 Požadavky na umělé osvětlení

- **Intenzita umělého světla**

Intenzitu umělého osvětlení navrhujeme na požadovaný zrakový výkon. Čím je zrakový výkon obtížnější, tím je vyšší intenzita osvětlení na základě toho, že oko musí rozlišovat menší detaily. Potřebná intenzita se zvyšuje s délkou zrakové činnosti, s rychlostí změn pozorovaného detailu a s menšími kontrasty pozorovaných ploch. [4]

Doporučené hodnoty intenzity umělého osvětlení podle CIE:

Prostor, Místo, Druh činnosti	Osvětlenost v lx
základní jednoduchá zraková orientace v prostředí	20 – 30 – 50
jednoduchá orientace, kratší doba jednoduché činnosti	50 – 75 – 100
prostory, které nejsou dlouhodobě užívány pro pracovní účely, prostory obytné a společenské	100 – 150 – 200
zraková místa pro jednodušší, běžné pracovní úkoly (kanceláře, školy)	200 – 300 – 500
zraková místa pro vizuálně náročnější déle trvající pracovní úkony	500 – 750 – 1000
zvláště náročné zrakové úkoly	1000 – 1500 – 2000
velmi náročné zrakové úkoly	více než 3000

Tab. 3 Doporučené hodnoty intenzity umělého osvětlení podle CIE [4]

- **Rovnoměrnost osvětlení**

Požadavek na rovnoměrnost osvětlení je založen na skutečnosti, že při střídavém pohledu do míst více a méně osvětlených nebo při průchodu místy více či méně osvětlenými, vidíme v místech méně osvětlených také méně detailů, než bychom viděli v místech rovnoměrně osvětlených. Je to důsledkem procesu adaptace zraku na změněné světelné poměry, resp. na změnu jasu. Rovnoměrnost osvětlení se hodnotí podle rozložení světelného toku dopadajícího na vodorovnou srovnávací rovinu. Je úzce závislá na druhu osvětlení, rozložení a vlastnostech osvětlovacích konstrukcí a svítidel i na odrazových vlastnostech osvětlovaného prostoru. [1]

- **Jasové poměry**

Vjem podrobností, předmětů, prostoru a jejich vzájemných rozhraní souvisí s veličinami jasu, kontrastu jasu a poměru jasů. Jasy mají být v zorném poli uspořádány tak, aby nejvyšší hodnoty byly v místě pozorované podrobnosti a postupně se snižovaly od blízkého okolí ke vzdálenému okolí až k periferní oblasti zorného pole. Pokud do zorného pole pronikne vyšší jas nesouvisející se zrakovým úkolem, odvádí pozornost od řešeného úkolu nebo v horším případě způsobuje některou z forem oslnění. Podobně nízký jasový kontrast mezi pozorovanou

podrobností a jejím okolím může u malých detailů způsobit, že budou viděny jen s velkou zrakovou námahou nebo nebudou viděny vůbec. [1]

- **Směrovost světla**

Směrové účinky světla můžeme v každém bodě určit směrem, ve kterém leží nejvyšší hodnota osvětlenosti. Pokud je rozdíl mezi hodnotami osvětlenosti v témže bodě do různých směrů malý, pak takové osvětlení nemá výrazné směrové účinky a povrchy předmětů jsou ze všech směrů osvětlovány prakticky stejně (difuzní osvětlení). Pokud v některém směru hodnota osvětlenosti výrazně převažuje nad ostatními směry, pak takové osvětlení považujeme za výrazně směrové, povrchy těles jsou z různých směrů osvětlovány různě, v převažujícím směru se vytváří za předměty stíny (přímé osvětlení). To usnadňuje prostorové vidění. [1]

2.4 Umělé světelné zdroje

2.4.1 Základní pojmy a veličiny

- **Měrný výkon**

Měrný výkon udává, s jakou účinností je ve zdroji světla elektřina přeměňována na světlo, tj. kolik lm světelného toku se získá z 1 W elektrického příkonu. Má zásadní vliv na velikost spotřebované energie. [6]

Je definován vztahem:

$$\eta = \frac{\Phi_v}{P}, \quad (9)$$

kde

Φ_v je světelný tok v lumenech (lm);

P je elektrický příkon ve wattech (W).

Jednotkou měrného výkonu je lumen na watt ($\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$).

- **Index barevného podání**

Každý světelný zdroj by měl podávat svým světelným tokem barvy okolí věrohodně, jak je známe u přirozeného světla. Měřítkem této vlastnosti je index barevného podání R_a daný rozsahem 100 až 0. Index barevného podání 100 mají takové světelné zdroje, které zobrazují barvy věrně, to znamená stejně jako denní světlo. Index barevného podání 0 mají naopak světelné zdroje, které vyzářují

veškerý světelný tok na jedné vlnové délce, tudíž nemůže docházet k rozeznání barev, protože tyto barvy nejsou ve spektru obsaženy. [6]

Index barevného podání je bezrozměrná veličina.

- **Teplota chromatičnosti**

Teplota chromatičnosti světelného zdroje se definuje porovnáním s tzv. černým tělesem a znázorňuje se v Planckově křivce. Jestliže se zvýší teplota černého tělesa, zvětší se ve spektru podíl modré složky a podíl červené složky se zmenší a naopak. [3]

Jednotkou teploty chromatičnosti je Kelvin (K).

Rozlišují se tři hlavní skupiny teplot:

- **Teple bílá:** do 3 300 K;
- **Neutrálně bílá:** 3 300 – 5 000 K;
- **Chladně bílá:** nad 5 000 K.

Tato veličina má výrazný vliv na vhodnost použití světelného zdroje pro konkrétní zrakové činnosti. Se zvyšující se teplotou chromatičnosti světelného zdroje klesá díky citlivosti lidského oka jeho světelný tok, tedy i měrný světelný výkon a naopak. [6]

- **Životnost**

Život světelného zdroje je doba funkce zdroje do okamžiku, kdy přestal splňovat stanovené požadavky. Obvykle se vyjadřuje v hodinách. V průběhu činnosti probíhají ve světelném zdroji různé procesy, které způsobují postupné změny jeho parametrů, a určují tak dobu jeho funkce. V této souvislosti se používá pojem užitečný a fyzický život. [6]

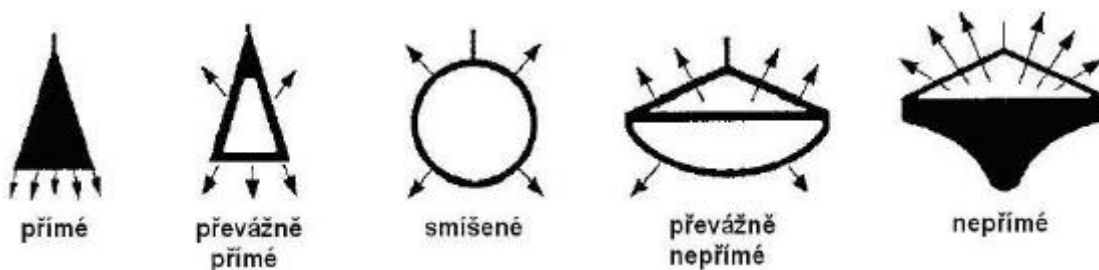
- **Užitečný život** je doba funkce zdroje, během níž si jeho parametry zachovávají hodnoty ležící v určitých stanovených mezích. [6]
- **Fyzický život** je celková doba svícení do okamžiku úplné ztráty provozuschopnosti. [6]

2.4.2 Třídění umělých světelných zdrojů

Rozdělení světelných zdrojů podle rozložení světelného jasu:

Typ svítidla	Světelný tok do dolního poloprostoru (%)	Světelný tok do horního poloprostoru (%)
přímé	90 až 100	0 až 10
převážně přímé	60 až 90	10 až 40
smíšené	40 až 60	40 až 60
převážně nepřímé	10 až 40	60 až 90
nepřímé	0 až 10	90 až 100

Tab. 4 Rozdělení světelných zdrojů podle rozložení světelného jasu [6]



Obr. 15 Rozdělení světelných zdrojů podle rozložení světelného jasu [6]

2.4.3 Typy umělých světelných zdrojů

- **Klasická žárovka**

Obyčejné žárovky jsou prvotním a stále nejpobulárnějším umělým zdrojem světla využívající technologii výroby, která je už více než 100 let stará. Jejich teplé světlo vytváří příjemnou atmosféru a jsou stále nejvyhledávanějšími ve výběru světelných zdrojů pro všeobecné osvětlování. Jsou vyráběny ve velkém sortimentu výkonů, rozměrů a tvarů. [4][6]

- **Halogenová žárovka**

Halogenové žárovky jsou velmi kompaktní světelné zdroje poskytující příjemné svěží bílé světlo. Mají široké možnosti použití, zejména v oblasti přesného směrování světelných paprsků. Vyrábí se v nízkonapěťovém (12V, 24V) nebo vysokonapěťovém (230V, 240V) provedení a ve variantách s odraznou plochou reflektoru i bez ní. Typy s reflektorem jsou určeny pro různé úhly vyzařování (10° až 60°) a při návrhu osvětlovací soustavy je nutno s tímto faktorem uvažovat. [4][6]

- **Lineární zářivka**

Lineární zářivky vyrábějí okolo 70 % umělého světla na celém světě a jsou velice výhodné zejména z ekonomického hlediska. Jejich životnost je silně ovlivněna počtem zapnutí, nehodí se proto tam, kde dochází k častému zapínání a vypínání. Zářivky dosahují jmenovité hodnoty světelného toku po dvou až třech minutách provozu a jsou velmi teplotně závislé, z toho vyplývá nevhodnost použití pro osvětlování venkovních prostorů, ve kterých dochází k poklesům teplot do oblasti bodu mrazu. [6]

- **Kompaktní zářivka**

U kompaktních zářivek se díky zahnutí a rozdělení skleněných trubiček podařilo dosáhnout rozměrů srovnatelných se standardními žárovkami. V porovnání s žárovkami dosahují výrazných energetických úspor, ale jejich nevýhodou je rychlost startu. Zatímco žárovky nabíhají na jmenovitý světelný tok téměř okamžitě, kompaktní zářivky po připojení napájecího napětí naběhnou pouze na polovinu světelného toku. To ukazuje na nevhodnost použití kompaktních zářivek v prostorech, kde je nutné dosáhnout okamžitě plného světelného toku. [6]

- **Halogenidová výbojka**

Halogenidové výbojky se i přes relativně vysokou cenu začínají prosazovat hlavně tam, kde jsou vysoké požadavky na barevné podání. Jedná se o kinematografii a osvětlování sportovišť, kde se předpokládá televizní vysílání atd. Využívají se také ve výrobních halách s vysokými závěsnými výškami svítidel. Na jmenovité parametry světelného toku nabíhá výbojka přibližně po deseti minutách. Tvary baňky a patice se vyrábí v různých konstrukčních provedeních. [6]

- **Vysokotlaká sodíková výbojka**

Vysokotlaké sodíkové výbojky mají dominantní postavení ve světelných zdrojích pro veřejná osvětlení ve většině zemí. Jsou vhodné pro osvětlování veškerých komunikací, pěších zón i osvětlování fasád objektů. Tyto světelné zdroje postupně nahradily méně účinné výbojky rtuťové a jejich podíl ve veřejném osvětlení stále roste hlavně díky významným úsporám elektrické energie. [6]

- **Nízkotlaká sodíková výbojka**

Nízkotlaké sodíkové výbojky lze s určitými omezeními uplatnit pouze ve veřejném osvětlení. Vzhledem k monochromatickosti vyzařování není v jejich světle možné rozlišovat barvy a také je velmi obtížné vyrobit svítidlo s vysokou účinností a distribucí světelného toku, kterou vyžaduje umístění na úzkých a dlouhých komunikacích. Jejich použití se tedy omezuje na osvětlení výpadových silnic a dálnic. [6]

- **Vysokotlaká rtuťová výbojka**

Vysokotlaké rtuťové výbojky se nehodí k osvětlování vnitřních prostorů, protože jejich světlo je modrobílé a modrozelené, červená složka světla chybí. Díky nízkému měrnému výkonu se ukončuje i jejich používání ve veřejném osvětlení a jsou nahrazovány účinnějšími halogenidovými a zejména vysokotlakými sodíkovými výbojkami. Jejich využití lze ale očekávat i v nejbližší budoucnosti pro poměrně nízkou cenu. Používají se v rámci osvětlování pěších zón, parků, pasáží a parkovacích nebo příjezdových ploch nákupních center. Na jmenovité parametry světelného toku nabíhá výbojka po třech až pěti minutách. [6]

- **Světelná dioda**

V oblasti obecného využití pro osvětlování lze uplatnit pouze LED diody s bílou barvou světla. V posledních letech se LED diody vyskytují ve stále větší míře a začínají se prosazovat v nejrůznějších oblastech osvětlovací techniky namísto konvenčních světelných zdrojů. K jejím význačným přednostem patří minimální spotřeba elektrické energie a velmi malé rozměry. Díky vysoké životnosti se v zařízeních s LED technologií nepočítá s výměnou světelného zdroje po celou dobu provozu. [4][6]

Obecný přehled vlastností jednotlivých typů umělých světelných zdrojů:

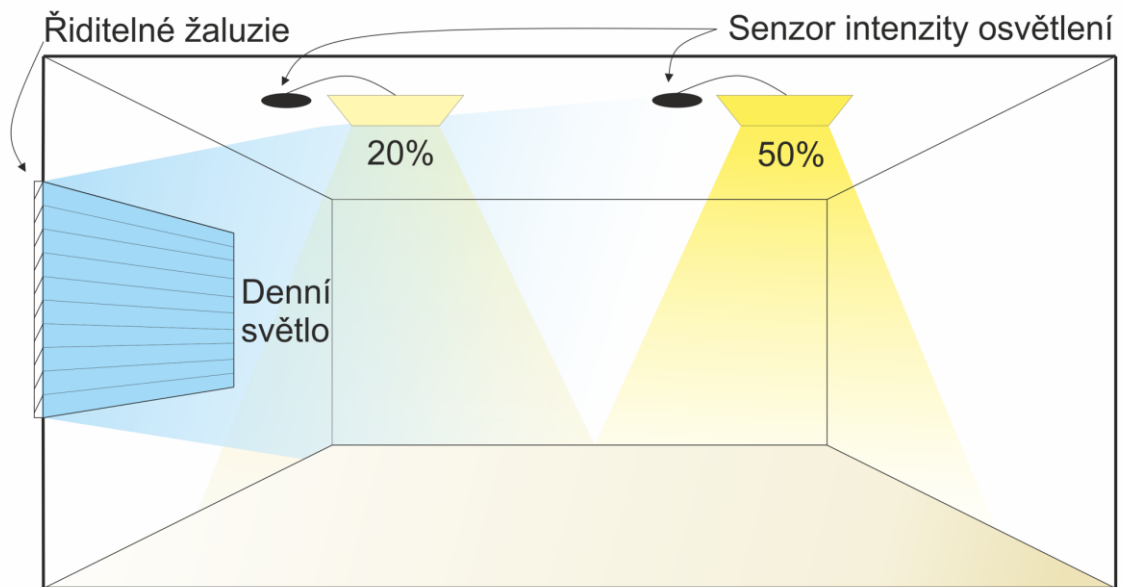
Typ zdroje	Měrný výkon v $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$	Index barevného podání	Teplota chromatičnosti	Životnost v hodinách
Klasická žárovka	10 – 15	95 – 100	2800 – 2900	1000
Halogenová žárovka	20 - 22	99 – 100	2900 – 3200	2000
Lineární zářivka	50 – 100	80 – 90	2700 – 3000	12000
Kompaktní zářivka	50 – 100	80 – 90	2700 – 3000	12000
Halogenidová výbojka	75 – 130	80 – 90	3000 – 4200	15000
Vysokotlaká sodíková výbojka	100 – 150	15 – 25	2000 – 3500	16000 – 32000
Nízkotlaká sodíková výbojka	120 – 200	0 – 4	1600	16000 – 24000
Vysokotlaká rtuťová výbojka	55 – 60	15 – 55	3300 – 5700	12000 – 20000
Světelná dioda	20 – 150	70 – 95	2700 – 3000	30000 – 50000

Tab. 5 Obecný přehled vlastností jednotlivých typů umělých světelných zdrojů

Mezi hlavní důvody regulace osvětlení patří dosažení požadovaného osvětlení s ohledem na vykonávanou činnost, přizpůsobení osvětlení požadavkům uživatele, dosažení požadovaného osvětlení v závislosti na úrovni denního světla a snížení provozních nákladů na osvětlení. Výsledkem je zlepšení kvality osvětlení, příjemnější pobytu a práce, snížení příkonu svítidel a ztrát na napájecím vedení. Dříve byly světelné zdroje regulovány z důvodu přizpůsobení jasů určité situaci, v posledních desetiletích osvětlovací zařízení regulují intenzitu osvětlení převážně z ekonomického hlediska. S vývojem elektronických technologií se ustupuje od klasického způsobu ovládání osvětlovací soustavy změnou napájecího napětí. Přístupuje se k řízení osvětlení pomocí různých inteligentních řídicích systémů. Tyto systémy poskytují možnost řídit a ovládat osvětlovací soustavu z hlediska maximálního využití denního světla a přítomnosti osob. V dnešní době existují systémy, které se zabývají nejen řízením osvětlení, ale také ovládáním všech technologií v budově, jako jsou vytápění, klimatizace, bezpečnostní systémy a požární signalizace. Přestože ekonomické a energetické úspory jsou hlavním kritériem pro volbu těchto systémů, nabízí tyto systémy také zvýšení komfortu osvětlování a provozní bezpečnosti. [4]

2.4.4 Prvky řídicích systémů

Řídicí systémy pro správu budov se v principu neliší od jiných automatizovaných systémů řízení. Princip řízení spočívá ve vyhodnocování okamžitých stavů snímaných veličin, které se porovnávají s předem nastavenými hodnotami. Na základě vyhodnocení se provede zpravidla samočinně regulační zásah nebo o stavu dané veličiny systém informuje obsluhu. [4]



Obr. 16 Ukázka řízení regulace osvětlení

- **Snímače:**

Do této skupiny přístrojů patří tlačítkové spínače, senzory osvětlení, binární vstupy, infračervené přijímače, termostaty, senzory pohybu, požární hlásiče. Jsou to přístroje, které sledují události v systému, jako je přítomnost osob nebo změna některé sledované veličiny (intenzita osvětlení, teplota, tlak, vlhkost). Jestliže dojde ke změně v systému, senzor dává povel na sběrnici nebo do řídicí jednotky. [4]

- **Aktory:**

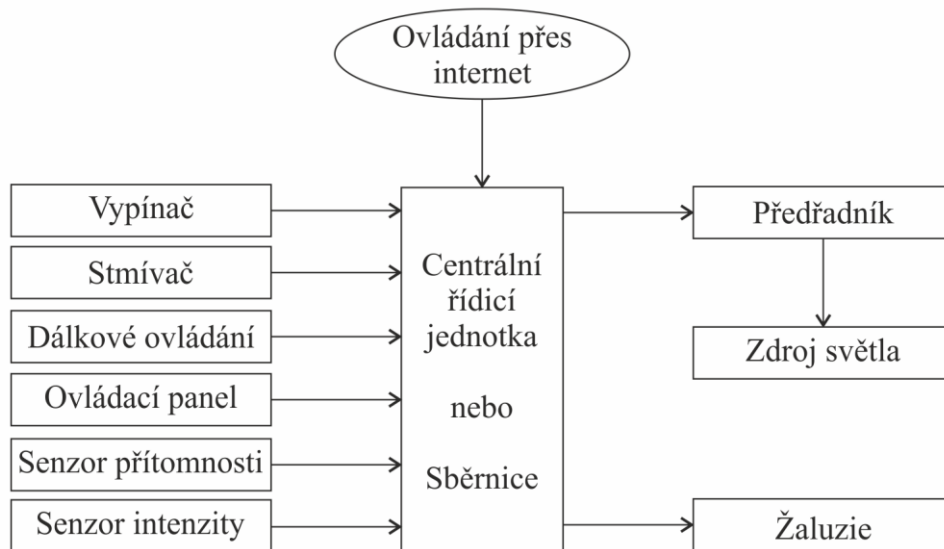
Aktory neboli akční členy tvoří skupinu přístrojů obsahující především výkonové spínače, binární výstupy a stmívače. Mají za úkol zajistit provedení požadované operace, ke které dostávají povel ze společné sběrnice od senzorů nebo od řídicí jednotky. [4]

- **Systémové přístroje a komponenty:**

Mezi systémové přístroje patří především napáječe sběrnice, vazební členy mezi jednotlivými úseky, zesilovače, logické automaty a řadiče, rozhraní pro připojení počítačů. Zajišťují základní funkce systému a vytvářejí jeho infrastrukturu. [4]

Světelné zdroje v interiérech, kromě klasické žárovky, potřebují pro svoji činnost předřadné přístroje, které omezují elektrický proud tekoucí světelným zdrojem na požadovanou hodnotu. U klasických žárovek plní předřadný přístroj pouze funkci regulátoru. [4]

Regulace lze dosáhnout použitím **spínačů**, které umožňují přepínání obvykle mezi 50% a 100% světelného toku nebo **stmívačů**, které poskytují plynulou regulaci osvětlení.

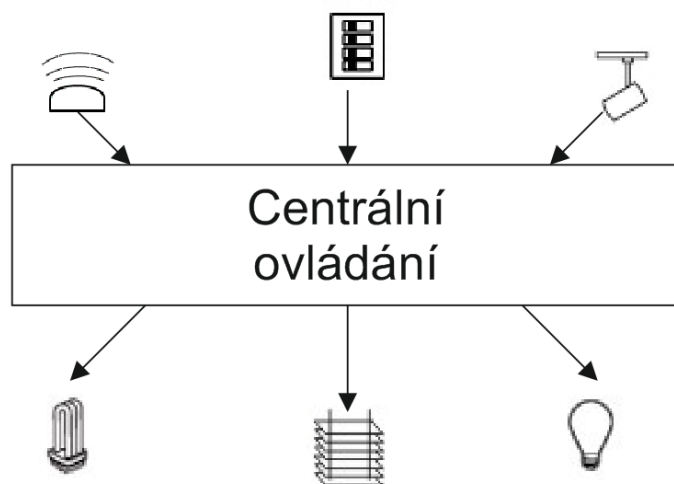


Obr. 17 Funkční struktura řídicích systémů

2.4.5 Uspořádání řídicích systémů

- **Centralizovaný systém:**

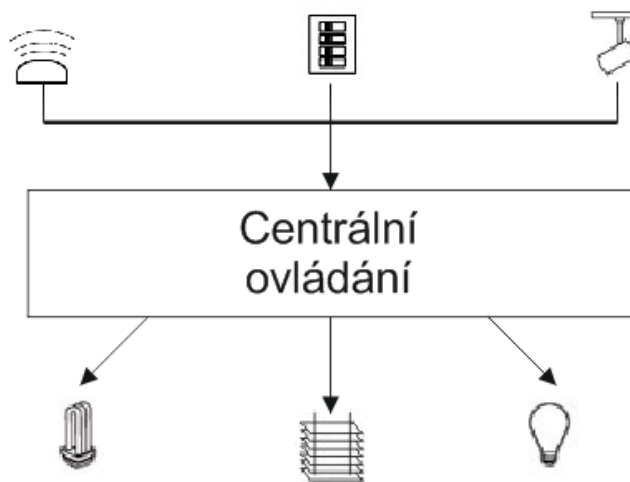
Je řízen z jednoho místa, kde se shromažďují informace o událostech v systému. U tohoto systému jsou vstupy a výstupy propojeny s centrální řídicí jednotkou. Centrální řídicí jednotkou je počítač, který je trvale připojen na systém. Při poruše řídicího počítače dojde k selhání celého systému, což je nevýhodou tohoto systému. [4]



Obr. 18 Centralizovaný systém

- **Hybridní systém:**

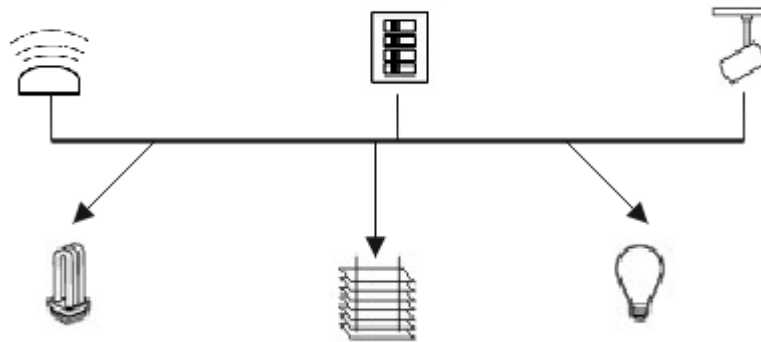
Princip funkce je stejný jako u centralizovaného systému, s tím rozdílem že jsou vstupy před příchodem do centrální jednotky mezi sebou propojeny na sběrnici.



Obr. 19 Hybridní systém

- **Decentralizovaný systém:**

Je založený na komunikaci po sběrnici bez nutnosti použití centrální jednotky, přístroje na sběrnici se oslovují navzájem. Každý účastník má v sobě integrovaný mikropočítač, který zpracovává signály. [4]



Obr. 20 Decentralizovaný systém

2.4.6 Typy řídicích systémů

- **Signál 0 – 10 V nebo 1 – 10 V:**

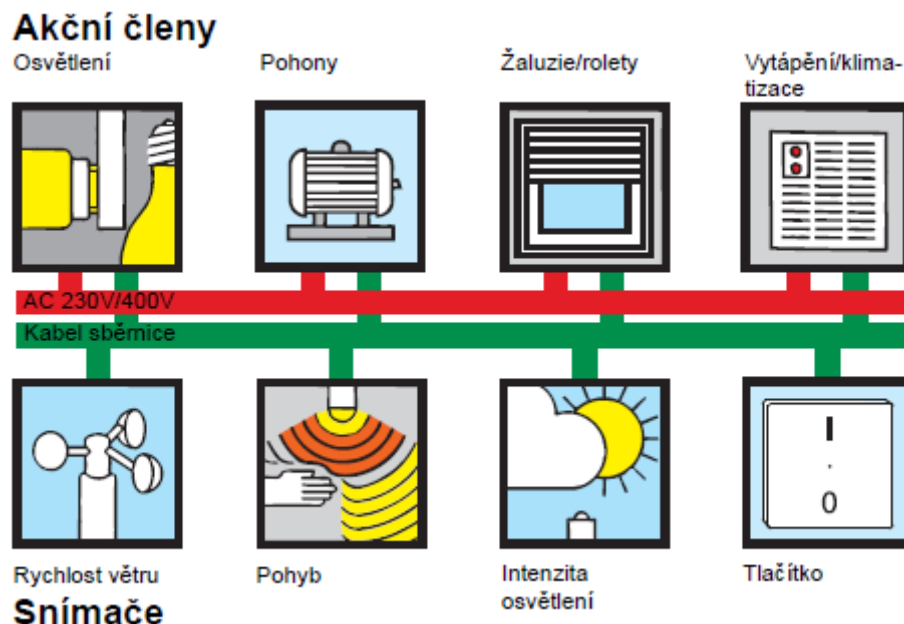
Jeden z nejstarších a nejjednodušších způsobů řízení osvětlovacích soustav. Předřadník světla je ovládán řídicím stejnosměrným proudem ze stmívače v rozsahu 0 až 10 voltů, při vstupu o hodnotě 10 V dosahuje světlo 100% svého světelného toku a při hodnotě 0 V je světlo vypnuto. Některé předřadníky podporují řízení pouze v rozsahu 1 až 10 voltů a k zhasnutí světla musí být použit spínač. Při propojení více svítidel dlouhým kabelem může díky poklesu napětí na vedení dojít k nerovnoměrným úrovním světelného toku mezi prvními a posledními světly řízené soustavy.

- **DSI:**

DSI převádí signály ze stmívače na digitální data a přenáší je k jednotlivým elektronickým předřadným přístrojům. Protože jednotlivé předřadníky jsou řízeny datovými vstupy, je úroveň světelného toku od prvního do posledního svítidla stejná. V digitálním systému jsou jednotlivé hodnoty stmívání přiřazeny definovaným hodnotám světelného toku a jejich odstupňování je v souladu s logaritmickou křivkou oční citlivosti, proto je vnímání průběhu stmívání okem lineární. [4]

- **KNX / EIB:**

KNX/EIB je decentralizovaný systém skládající se z dvoužilové sběrnice a z připojených kompatibilních instalačních zařízení, jako jsou snímače, akční členy a systémové komponenty. Sběrnice vedoucí ke každému zařízení přenáší datové pakety a zároveň napájí elektroniku připojených zařízení pomocí bezpečného nízkého stejnosměrného napětí SELV: 24 V (+6/-4 V). Když napětí klesne pod 20 V, zařízení se od sběrnice odpojí. Ke snímačům zpravidla vede pouze sběrnice, akční členy obvykle potřebují dodatečné síťové napětí 230/400 V. Sběrnice a síťový zdroj jsou od sebe striktně odděleny. [8]

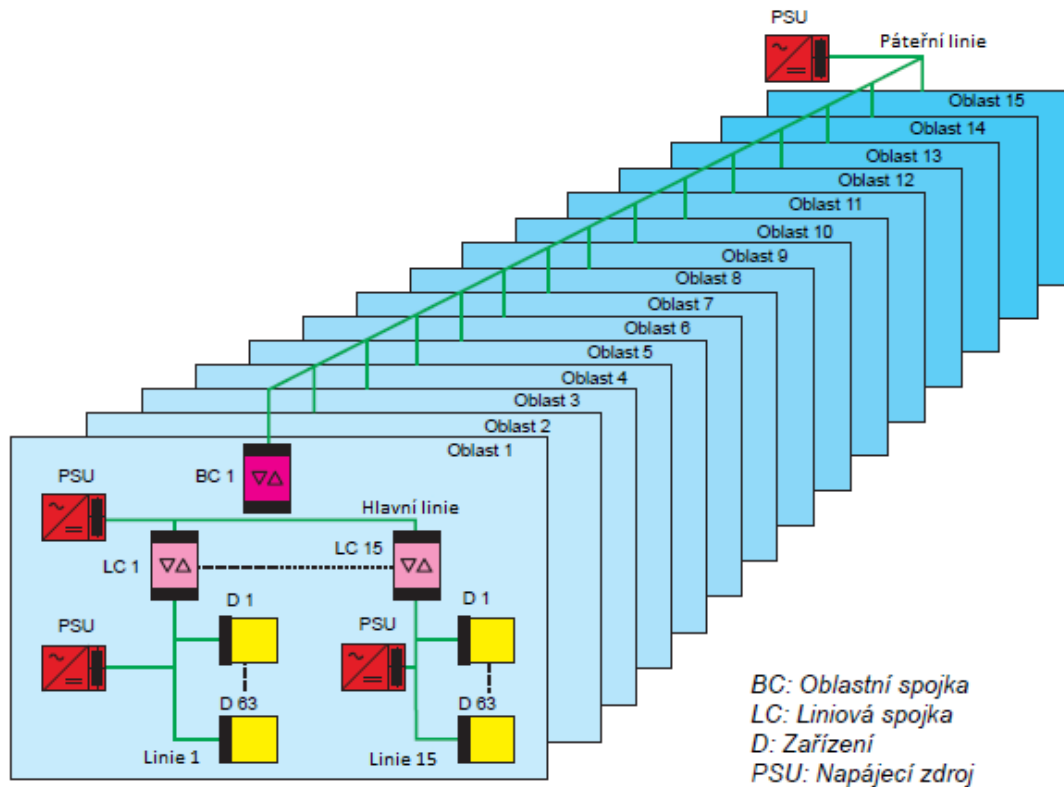


Obr. 21 Příklad systému KNX/EIB [8]

Snímače a akční členy jsou vybírány v závislosti na požadované aplikaci a skládají se ze sběrnice spojky a modulu s odpovídajícím aplikačním programem. Program se do zařízení nahrává pomocí softwaru ETS prostřednictvím rozhraní USB a sběrnice. [8]

KNX/EIB se dělí na segmenty s hierarchickou strukturou. Linie, která je nejmenší částí, obsahuje až 64 sběrniceových zařízení a napájecí zdroj. Pomocí liniových spojek, které jsou připojeny na hlavní linii, lze vzájemně propojit až 15 linií. Takto je vytvořena jedna oblast. U větších instalací lze použít oblastní spojky k propojení až 15 oblastí pomocí páteřní linie. Hlavní a páteřní linie vyžadují také napájecí zdroj. Při použití všech linií a oblastí lze do systému připojit až 12000 sběrniceových

zařízení. Vedení sběrnicových kabelů lze v linii provést ve sběrnicovém, hvězdicovém nebo stromovém uspořádání a jsou možné také jejich kombinace. Přičemž maximální délka kabelu mezi napájecím zdrojem a zařízením je 350 m, maximální délka mezi dvěma zařízeními je 700 m a celková délka všech kabelů linie musí být do 1000 m. [8]



Obr. 22 Příklad struktury systému KNX/EIB[8]

Při adresování KNX/EIB rozlišuje mezi fyzickými a skupinovými adresami. Kromě servisních a programovacích procedur je zařízení vždy adresováno na základě své skupinové adresy, která určuje přiřazení sběrnicových zařízení mezi sebou. Je rozdělena do 15 hlavních skupin, každá o maximálně 2048 podskupinách a psána ve formě „Hlavní skupina/Podskupina“ (např. 1/127). Fyzická adresa je označení zařízení na sběrnici a je psána ve formě „Oblast.Linie.Zařízení“ (např. 5.4.23). K zabránění kolize paketů a zničení dat se používá přístup CSMA/CA a rychlost přenosu dat dosahuje 9,6 kbit/s. [8]

➤ Rozdíl mezi novějším KNX a starším EIB:

Při vytváření nového standardu KNX byla zvolena sběrnice EIB pro její technický charakter i dosavadní úspěch na trhu. Díky tomu jsou všechny výrobky a zařízení určené pro sběrnici EIB plně kompatibilní i se standardem KNX a často bývají

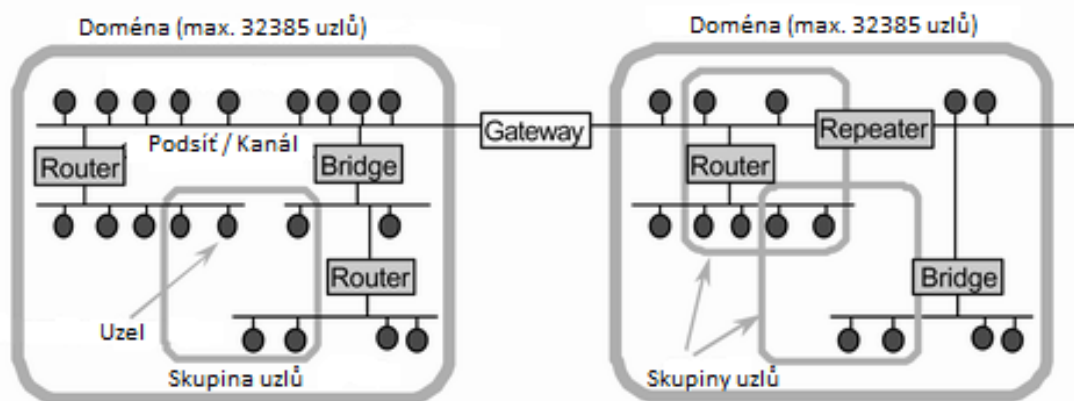
současně označovány oběma ochrannými známkami KNX/EIB. Standard KNX rozšiřuje EIB o větší objem funkcí, které umožňují připojení a řízení většího sortimentu nejrůznějších přístrojů, možnost využití dalších přenosových médií a integraci různých zařízení (pro topení, větrání, klimatizaci, ovládání domácích spotřebičů atd.). [9]

- **LonWorks:**

LonWorks je decentralizovaný systém vycházející z definice sítě LON. Skládá se z inteligentních uzlů využívajících peer-to-peer architekturu s prioritním systémem zasílání zpráv. Inteligentní uzel (tzv. node) je založen na speciálních mikrokontrolérech nazývaných Neuron chip, na kterých běží LonTalk protokol řídící přenos a směrování paketů. Pro přístup uzlů k vysílání se zde využívá metoda CSMA/CA. Každý uzel může být připojen k síťovému nástroji pro management, pomocí kterého může uživatel změnit jeho konfiguraci. [10][11]

Komunikační model je nezávislý na fyzickém přenosovém médiu i na topologii sítě a pakety tak lze přenášet libovolným způsobem (využitím zkrouceného páru vodičů, radiového přenosu, optických vláken, koaxiálního kabelu nebo i napájecím výkonovým vedením a síťovými rozvody 230/400 V). Samozřejmostí je navázání více druhu médií, kdy se například od vzdálené řídicí stanice využije síťové vedení a pak pro místní přístroje zkroucený pár. [10][11]

Při adresování v síti se využívá tři úrovně k identifikování daného uzlu. První úrovní hierarchie je doména. K propojení domén slouží brána (gateway). Druhou úrovní je podsíť. V každé doméně může být až 255 podsítí. Podsíť je tvořena logickou skupinou uzlů z různých kanálů. K propojení podsítí se používá směrovač (router) nebo most (bridge). Třetí úroveň tvoří samotný uzel. V každé podsíti může být až 127 uzlů. To dává dohromady maximální počet 32385 uzlů v jedné doméně. Každý uzel může být členem maximálně dvou domén, tím sloužit jako mezidoménová brána a posílat například data z jednoho senzoru do dvou domén najednou. [11]



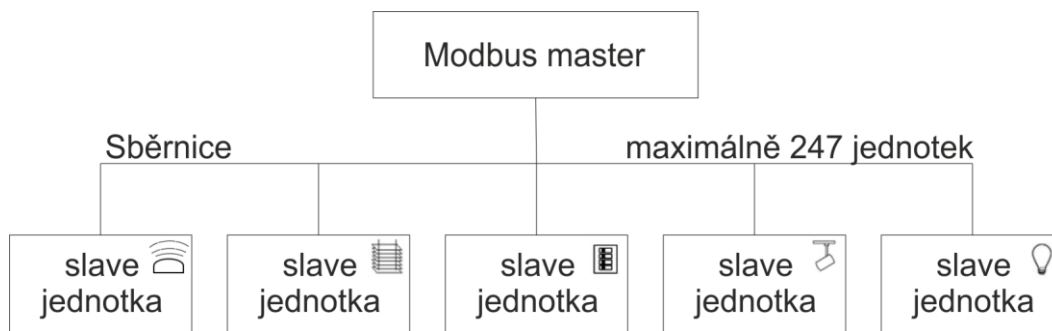
Obr. 23 Příklad struktury systému LonWorks [11]

- **Modbus:**

Modbus je centralizovaný systém poskytující komunikaci typu klient-server (slave-master) mezi zařízeními na různých typech sítí a sběrnic. Podporovány jsou sériové linky (RS-232, RS-422, RS-485), optické a rádiové sítě nebo síť Ethernet s využitím protokolu TCP/IP. Komunikace probíhá metodou požadavek-odpověď a skládá se z kódu funkce a datové části. [12]

Kód funkce udává serveru jaký druh operace má provést. Rozsah kódů je 1 až 255, přičemž kódy 128 až 255 jsou vyhrazeny pro oznámení záporné odpovědi (chyby). Některé kódy funkcí obsahují i kód podfunkce upřesňující blíže požadovanou operaci. Obsah datové části poslané klientem slouží serveru k uskutečnění operace určené kódem funkce, může to být například adresa a počet vstupů, které má server přečíst nebo hodnoty registrů, které má server zapsat. U některých funkcí nejsou pro provedení operace zapotřebí další data a v tom případě může datová část ve zprávě úplně chybět. Pokud při provádění požadované operace nedojde k chybě, odpoví server o úspěšném vykonání požadavku zprávou obsahující kód provedené funkce. Jestliže chyba nastane, odpoví server kódem nevykonané funkce zároveň s datovou částí obsahující chybový kód. [12]

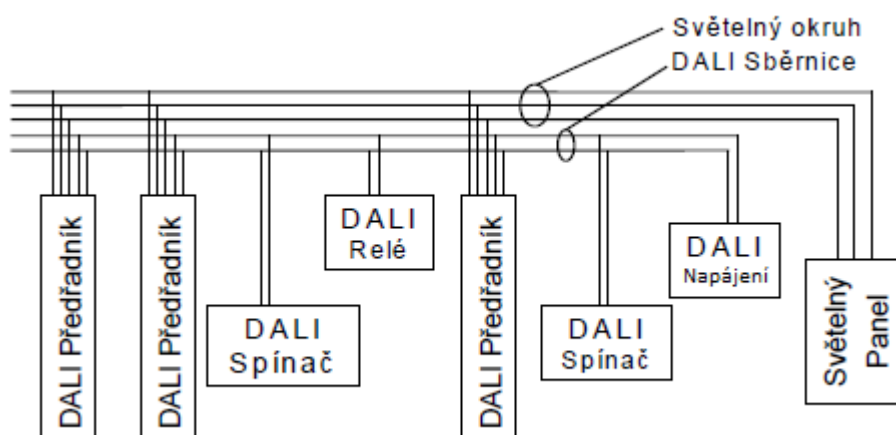
V Modbus síti se nachází vždy jeden master, na který může být připojeno až 247 slave jednotek. Komunikaci vždy zahajuje master, slave nesmí nikdy vysílat data bez pověření mastera. Master nemá žádnou specifickou adresu, pouze slave jednotky musejí mít adresu a ta musí být v celé síti jedinečná. Požadavky na slave jednotky jsou vysílány buď jako broadcast, kdy přijde požadavek všem jednotkám a žádná neodpoví nebo jako unicast ke konkrétní jednotce a ta pošle odpověď. [12]



Obr. 24 Příklad struktury systému Modbus

- **DALI:**

DALI je sběrniceový systém, který zprostředkovává digitální komunikaci mezi všemi zúčastněnými komponenty v osvětlovacím systému nebo v celých systémech správy budov. Umožňuje zpětné hlášení nefunkčního světelného zdroje i ukládání světelných scén do paměti přístroje. Sběrnici tvoří dva vodiče, které zároveň napájí všechny prvky v systému. Zapojení prvků může být libovolnou kombinací hvězdicové a větvené soustavy, není povoleno kruhové uspořádání. Systém je navržen pro adresaci maximálně 64 individuálních jednotek, 16 skupin a 16 hodnot světelných scén. Data se po sběrnici přenášejí přenosovou rychlostí 1,2 kbit/s, přičemž délka sběrnice nesmí překročit 300 m nebo pokles napětí 2 V. Logická jednička je definována napětím 16 V a logická nula napětím 0 V. [4]

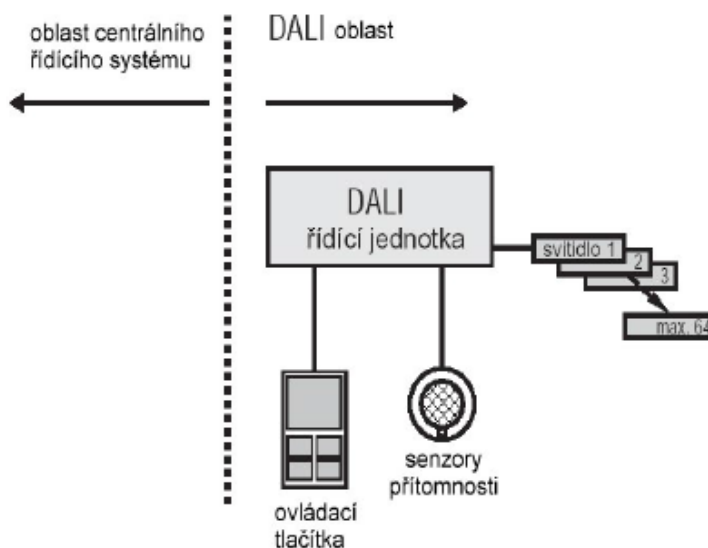


Obr. 25 Příklad struktury systému DALI [4]

Systémy řízení osvětlení založené na DALI protokolu se mohou používat jako samostatný systém i jako subsystém v rámci celkového systému správy budov. Integrace systému ovládání osvětlení DALI do systému správy budovy se může provádět následovně: [4]

➤ **DALI jako samostatný systém:**

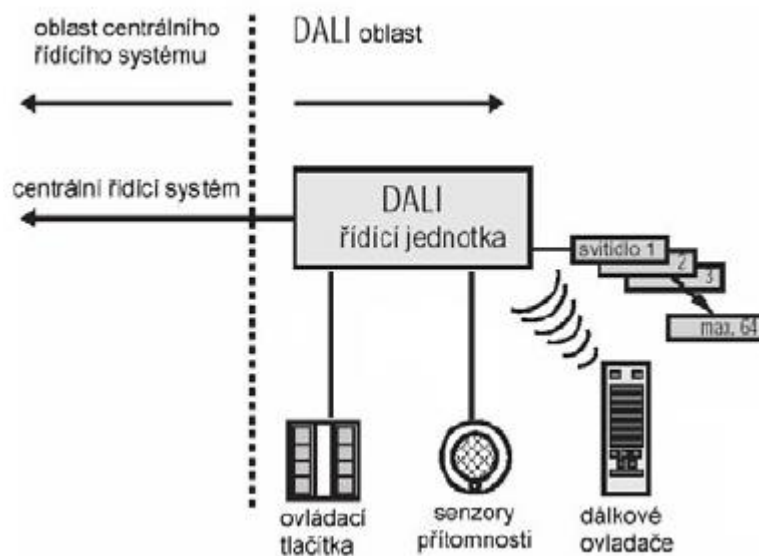
Toto řešení je nejjednodušší možností aplikace DALI systému. Systém je vytvořen datovou sběrnici, napájením datové sběrnice, řídicí jednotkou a řízenými prvky. Jednou z možností je na řídicí jednotky přímo napojit ovládací prvky jako jsou přepínače, senzory pohybu, senzory denního světla, dotykové obrazovky atd. Druhou možností je připojení ovládacích prvků přímo na datovou sběrnici, přes kterou řídicí jednotka vyhodnocuje jednotlivé požadavky. Nastavení se provádí pomocí PC napojeného na DALI systém modulem převádějícím DALI protokol na rozhraní RS 232. [4]



Obr. 26 DALI jako samostatný systém [4]

➤ **DALI jako samostatný podsystém:**

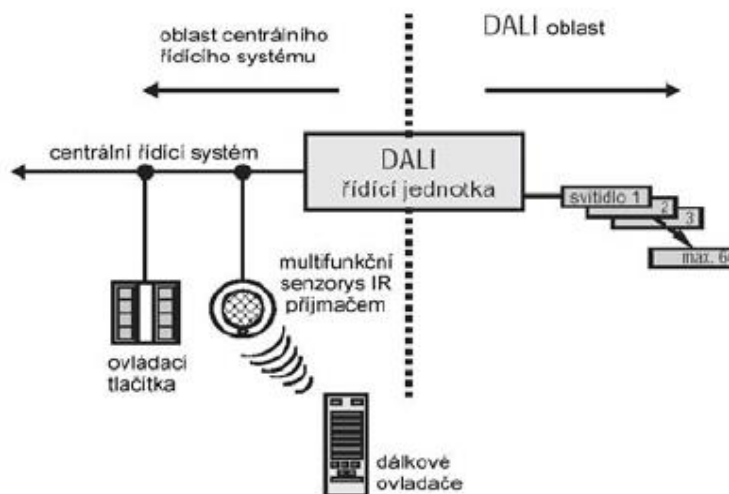
DALI je využíván jako samostatný podsystém v rámci systému správy budovy. Všechny ovládací prvky, senzory či programovací jednotky jsou zapojeny v DALI podsystému a ten je pomocí řídicí jednotky připojen na centrální řídicí systém jako je KNX/EIB, LonWorks nebo Modbus. S centrálním systémem správy budovy dochází pouze k výměně nejdůležitějších informací (funkce centrálních spínačů, vyvolání zvolené scény) a také může zpětně od DALI podsystému přijímat některé důležité informace (např. chybová hlášení nebo informace o stavu vybraných prvků). Takto lze zapojit několik podsystémů na centrální systém budovy, který je řídí a monitoruje. Nastavení lze provést přes systém správy budovy za předpokladu, že tato možnost bude nabídnuta softwarovými nástroji. [4]



Obr. 27 DALI jako samostatný podsystém [4]

➤ **DALI jako závislý podsystém:**

Centrální řídicí systém přebírá všechny funkce DALI podsystému včetně adresace, konfigurace a řízení. Pro komunikaci mezi DALI jednotkami a centrálním systémem se navrhuje překladač (brána). Ve většině případů nejsou v těchto řešeních ovládací prvky součástí DALI podsystémů, ale centrálního systému. Při poruše centrálního řídicího systému nefungují ani DALI podsystémy. [4]



Obr. 28 DALI jako závislý podsystém [4]

3 MATEMATICKÉ MODELY K OSVĚTLENÍ

Účelem matematických modelů pro výpočet osvětlení je kvantifikace veličin rozhodujících pro hodnocení navrhovaného nebo realizovaného osvětlení. [1]

3.1 Denní osvětlení

Nejčastěji se určují hodnoty činitele denní osvětlenosti jako základního parametru denního osvětlení požadovaného v příslušných předpisech. V některých případech se jako doplňující údaje určují jasy ploch a kontrast jasu. [1]

3.1.1 Vstupní údaje výpočtů

- **Činitel odrazu světla**

Činitel odrazu světla je vlastností povrchu těles. Definuje ho poměr odraženého světelného toku vzhledem k dopadajícímu světelnému toku: [13]

$$\rho = \frac{\Phi_r}{\Phi_0}, \quad (10)$$

kde

Φ_r je odražený světelný tok v lumenech (lm);

Φ_0 je dopadající světelný tok v lumenech (lm).

Činitel odrazu světla souvisí s odstínem barvy povrchu a může pro zcela pohlcující (černé) až po zcela odrazné (bílé) povrchy nabývat hodnot v intervalu 0 až 1. [13]

➤ Činitelé odrazu světla povrchů z normy ČSN 73 0580-1:

Druh povrchu	Činitel odrazu světla ρ
Povrch konstrukce: bílý	0,75 až 0,80
krémový, béžový	0,60 až 0,70
světle žlutý	0,60 až 0,70
tmavě žlutý	0,50 až 0,60
světle červený	0,40 až 0,50
tmavě červený	0,15 až 0,30
světle zelený	0,45 až 0,65
tmavě zelený	0,05 až 0,20
světle modrý	0,40 až 0,60
tmavě modrý	0,05 až 0,20
hnědý	0,12 až 0,25

světle šedý	0,40 až 0,60
tmavě šedý	0,15 až 0,20
černý	0,01 až 0,03
Cihla (červená, pálená hlína)	0,25
Písek světlý	0,50
Sádra bílá	0,80 až 0,92
Mramor bílý	0,55 až 0,80
Žula	0,40 až 0,50
Dřevo: světlé	0,30 až 0,50
tmavé	0,15 až 0,25
Zeleň, tráva	0,05 až 0,10
Asfaltový povrch	0,10
Betonová dlažba	0,30
Zemina	0,08 až 0,20
Ocel	0,28
Hliník eloxovaný nebo leštěný	0,75 až 0,85
Zrcadlo skleněné (zrcadlový odraz)	0,80 až 0,90
Okno: s čirým sklem (z vnější strany)	0,10
s čirým sklem a bílou záclonou	0,30 až 0,40
Sníh (čistý)	0,75 až 0,80

Tab. 6 Činitelé odrazu světla běžných povrchů (ČSN 73 0580-1) [1]

- **Činitel prostupu a ztrát světla**

Činitel prostupu a ztrát určuje zmenšení světelného toku při průchodu světla osvětlovacím otvorem v závislosti na materiálu zasklení, vlivem neprůsvitných částí konstrukce okna a vlivem znečištění zasklení. Definuje ho poměr prošlého světelného toku vzhledem k dopadajícímu světelnému toku: [13]

$$\tau = \frac{\Phi_t}{\Phi_0}, \quad (11)$$

kde

Φ_t je prostupující světelný tok v lumenech (lm);

Φ_0 je dopadající světelný tok v lumenech (lm).

Souhrnný činitel prostupu a ztrát se určí podle vztahu:

$$\tau = \tau_s \cdot \tau_z \cdot \tau_b \cdot \tau_k \cdot \tau_r, \quad (12)$$

kde

- τ_s je činitel prostupu světla druhem zasklení;
- τ_z je činitel ztrát světla znečištěním zasklení;
- τ_b je činitel ztrát světla stínícími konstrukcemi budovy;
- τ_k je činitel ztrát světla částmi konstrukce osvětlovacího otvoru nepropouštějícími světlo;
- τ_r je činitel ztrát světla zařízením na regulaci osvětlení;

➤ Činitelé prostupu světla druhem zasklení z normy ČSN 73 0580-1:

Druh materiálu	Činitel prostupu světla τ_s
Číré tabulové sklo 3 mm až 4 mm	0,92
Surové sklo (nevzorované)	0,88
Vzorované sklo	0,85 až 0,90
Drátové sklo 6 mm až 7 mm	0,60 až 0,86
Mdlené sklo	0,75 až 0,80
Laminát se skelným vláknem	0,35 až 0,85
Akrylát: čirý	0,85 až 0,92
rozptylný	0,60 až 0,80
Determální skla	0,35 až 0,70
Reflexní skla	0,55 až 0,65
Skleněné tvárnice: jednovrstvé	0,85 až 0,89
dvouvrstvé	0,55 až 0,62
Záclony	0,50 až 0,75

Tab. 7 Činitelé prostupu světla vybraných materiálů (ČSN 73 0580-1) [1]

- Činitelé ztrát světla znečištěním zasklení z normy ČSN 73 0580-1:

Druh osvětlovacího otvoru	Sklon zasklení osvětlovacího otvoru	Znečištění vzduchu	Činitel znečištění τ_z	
			Vnější strana τ_{ze}	Vnitřní strana τ_{zi}
svislý	90°	malé	0,95	0,95
		střední	0,90	0,85
		velké	0,85	0,65
šikmý	45°	malé	0,80	0,95
		střední	0,70	0,90
		velké	0,60	0,80
vodorovný	0°	malé	0,70	0,95
		střední	0,60	0,90
		velké	0,50	0,80

Tab. 8 Činitelé ztrát světla znečištěním zasklení (ČSN 73 0580-1) [1]

Činitel ztrát světla znečištěním zasklení se určí ze vztahu:

$$\tau_z = \tau_{ze} \cdot \tau_{zi} \quad (13)$$

Při šikmém zasklení s jiným sklonem než 45° se násobí činitel znečištění na vnější straně zasklení opravným činitelem: [1]

Sklon zasklení	15°	30°	60°	75°
Opravný činitel	0,90	0,95	1,05	1,10

Tab. 9 Opravný činitel znečištění (ČSN 73 0580-1) [1]

- Činitelé ztrát světla stínícími konstrukcemi budovy z normy ČSN 73 0580-1:

Druh konstrukce	Činitel ztrát světla τ_b
Ocelová příhradová	0,9
Železobetonová nebo dřevěná příhradová	0,8
Plnostěnné vazníky a nosníky s výškou: do 0,5 m nad 0,5 m	0,9
	0,8

Tab. 10 Činitelé ztrát světla stínícími konstrukcemi budovy (ČSN 73 0580-1) [1]

- Činitel ztrát světla částmi konstrukce osvětlovacího otvoru se určí ze vztahu:

$$\tau_k = \frac{S_s}{S_c}, \quad (14)$$

kde

S_s je plocha zasklení v metrech čtverečných (m²);

S_c je celková plocha osvětlovacího otvoru ze stavební dokumentace v metrech čtverečných (m²).

- Činitel ztrát světla zařízením na regulaci osvětlení se určí ze vztahu:

$$\tau_k = \frac{S_s - S_r}{S_c}, \quad (15)$$

kde

S_r je plocha regulačních konstrukcí metrech čtverečných (m²).

- **Jasová charakteristika oblohy, terénu a zastiňujících překážek**

Obloha se uvažuje rovnoměrně zastíněná s gradací jasu 1:3 podle CIE. Terén se předpokládá tmavý s činitelem odrazu 0,05 až 0,2. [1]

- Osvětlenost venkovní ničím nezastíněné horizontální roviny (terénu) v lx se určí podle vztahu: [1]

$$E_h = \pi \cdot L, \quad (16)$$

kde

L je průměrný jas oblohy v kandelách na metr čtvereční (cd·m⁻²).

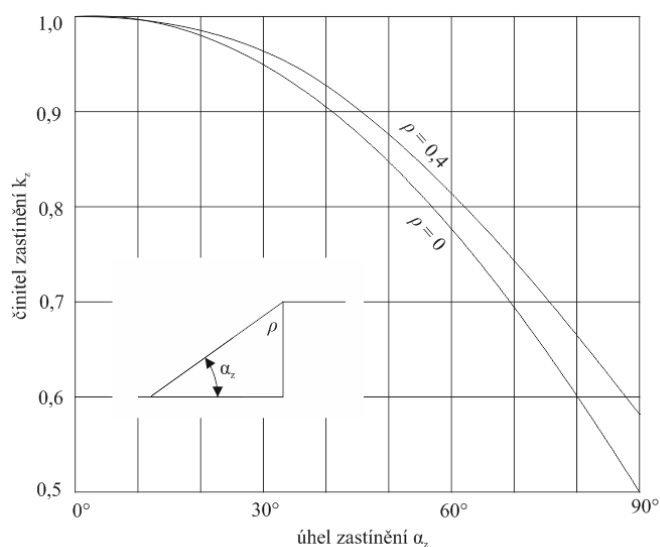
- Osvětlenost venkovní horizontální roviny (terénu) zastíněné z jedné strany souvislou překážkou v lx se určí podle vztahu: [1]

$$E_z = \pi \cdot L \cdot k_z, \quad (17)$$

kde

k_z je činitel zastínění terénu v místě výpočtu.

- Činitel zastínění k_z se určí v závislosti na úhlu zastínění α_z a činiteli odrazu ρ stínící překážky z obr. 29



Obr. 29 Činitel zastínění terénu [1]

- Osvětlenost jiné než horizontální roviny se stanoví podle empirického vztahu:

[1]

$$E_{\beta} = E_n \cdot (0,39 + 0,61 \cdot \cos\beta) , \quad (18)$$

kde

β je úhel sklonu roviny měřený od horizontály.

3.1.2 Metody výpočtů

K výpočtu činitele denní osvětlenosti je možno použít více metod, které se od sebe liší přesností, pracností a vhodností použití při různých okolnostech. Všem metodám je však společné stanovení výsledné hodnoty činitele denní osvětlenosti jako součtu tří dílčích složek: [14]

$$D = D_s \cdot D_e \cdot D_i , \quad (19)$$

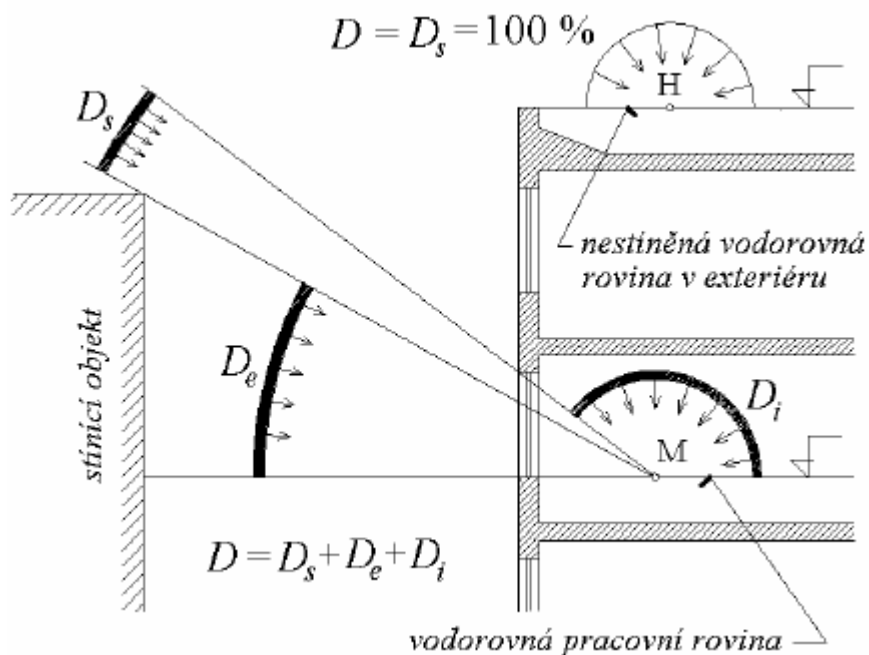
kde

D je činitel denní osvětlenosti v procentech (%);

D_s je oblohová složka činitele denní osvětlenosti v procentech (%);

D_e je vnější odražená složka činitele denní osvětlenosti v procentech (%);

D_i je vnitřní odražená složka činitele denní osvětlenosti v procentech (%).



Obr. 30 Činitel denní osvětlenosti a jeho složky [14]

- **Analytické metody**

Analytické metody vychází ze základního poznatku fotometrie: [14]

$$E = \frac{L \cdot dS_2}{R^2}, \quad (20)$$

kde

E je osvětlenost v luxech (lx);

L je jas plošného zdroje světla v kandelách na metr čtvereční ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$);

dS je plocha vzniklá dvojitým průmětem v metrech čtverečných (m^2);

R je poloměr myšlené kruhové plochy (hemisféry).

Činitel denní osvětlenosti v procentech tak lze vypočítat ze vztahu: [14]

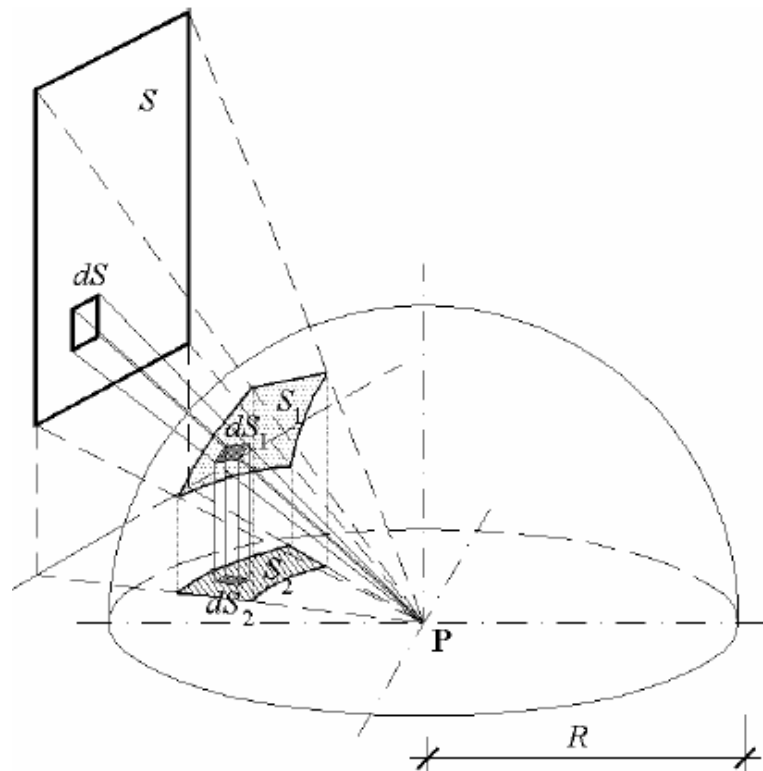
$$D = \frac{1}{\pi \cdot R^2} \int \frac{L}{L_m} dS_2 = \frac{1}{\pi \cdot R^2} \int q dS_2, \quad (21)$$

$$q = \frac{3}{7}(1 + 2 \sin \varepsilon), \quad (22)$$

kde

L_m je průměrný jas oblohy v kandelách na metr čtvereční ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$);

q je činitel gradovaného jasu.

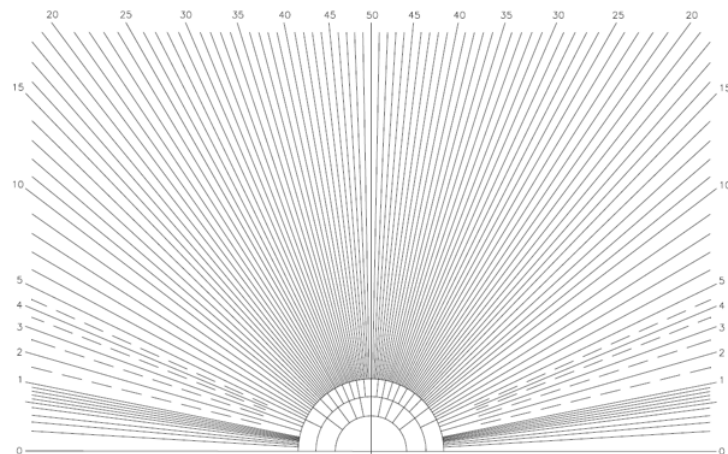


Obr. 31 Analytické metody výpočtu činitele denní osvětlenosti [14]

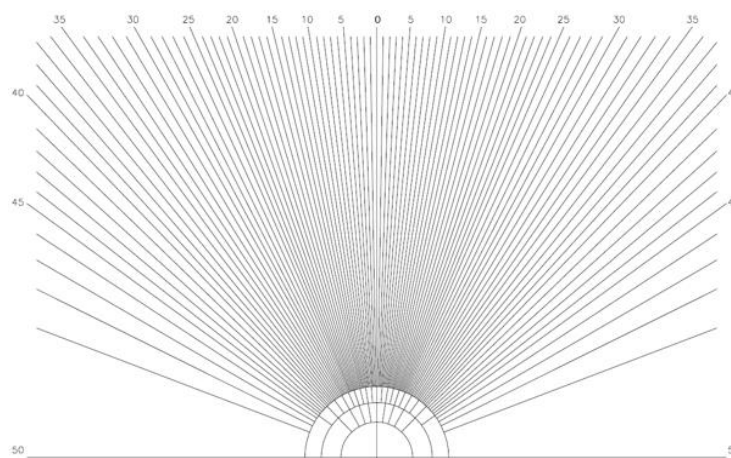
- **Grafické metody**

- **Daniljukovi diagramy**

Metoda využívající úhlové síť pro výpočet oblohové a venkovní odražené složky činitele denní osvětlenosti pro pravoúhlé osvětlovací otvory libovolného sklonu a libovolné polohy srovnávací roviny. Oblohová hemisféra je rozdělena systémem rovnoběžek a poledníků na 100x100 dílků o stejné ploše a stejné osvětlenosti. Umístěním diagramů do řezu a půdorysu místnosti se odečítají příslušné počty dílků náležících osvětlovacímu otvoru. Metoda vychází z výpočtového modelu zatažené oblohy s konstantním jasem a neuvažuje ztráty světla v osvětlovacím otvoru. Proto musí být při výpočtu korigována činitelem gradovaného jasu, který se také určuje graficky a souhrnným činitelem prostupu a ztrát světla ze vzorce (12). [1][14]



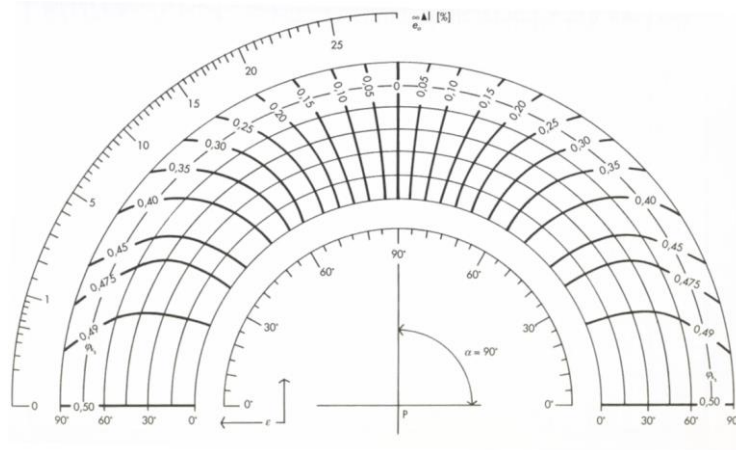
Obr. 32 Daniljukův diagram pro řez [14]



Obr. 33 Daniljukův diagram pro půdorys [14]

➤ Protraktory

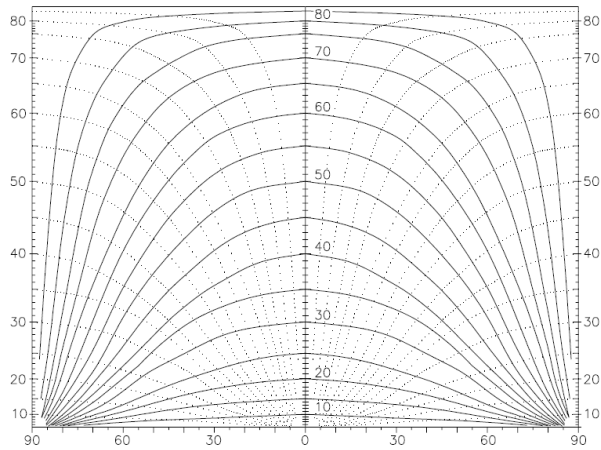
Metoda k určení oblohové a venkovní odražené složky činitele denní osvětlenosti. Je použitelná pro pravoúhlý osvětlovací otvor se sklonem 45° , 60° , 75° , 90° a vodorovnou srovnávací rovinu. Pomocí protraktoru se odečte z řezu místnosti velikost oblohové složky činitele denního osvětlení od nekonečně širokého osvětlovacího otvoru, která se následně koriguje podle jeho skutečné šířky a od vzdálenosti kontrolního místa v půdoryse. Venkovní odraženou složku činitele denní osvětlenosti lze odvodit ze vztahu oblohové složky a činitele odrazu světla. Protraktory byly odvozeny na základě podrobných analytických výpočtů. [1]



Obr. 34 Protraktor pro osvětlovací otvor se sklonem 90° [1]

➤ Waldramův diagram

Metoda k určení oblohové a venkovní odražené složky činitele denní osvětlenosti použitelná pro svislý pravoúhlý osvětlovací otvor. Diagram představuje polovinu hemisféry rozdělenou pravoúhlou čtvercovou sítí na plošky, z nichž každá má hodnotu oblohové složky činitele denní osvětlenosti 0,1%. Po umístění diagramu se odečítají příslušné plošky náležící volné části osvětlovacího otvoru. Do výpočtu se zahrnuje souhrnný činitelem prostupu a ztrát světla ze vzorce (12). Venkovní odraženou složku činitele denní osvětlenosti lze odvodit ze vztahu oblohové složky, činitele odrazu světla a poměru jasu překážky k jasu zastíněné oblohy. [1]



Obr. 35 Waldramův diagram [14]

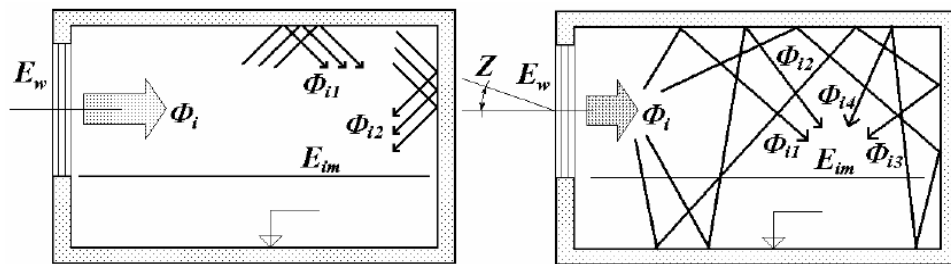
- Tokové metody

- Arndtův vztah

Metoda k určení vnitřní odražené složky činitele denní osvětlenosti.

Světelný tok Φ_i [lm] vnikající oknem do místnosti je součinem osvětlenosti roviny zasklení E_w [lx], činitele difúzního prostupu světla $\tau_{s,dif}$ [-] a čisté plochy W [m²] zasklení okna: [14]

$$\Phi_i = E_w \cdot \tau_{s,dif} \cdot W . \quad (23)$$



Obr. 36 Arndtův vztah pro výpočet činitele denní osvětlenosti [14]

Světelný tok Φ_{in} [lm] po n -tém odrazu od vnitřních povrchů místnosti s průměrným činitelem odrazu světla ρ_m [-] je: [14]

$$\Phi_{in} = \Phi_i \cdot \rho_m^n . \quad (24)$$

Světelný tok Φ_{in} [lm] osvětluje vnitřní povrchy místnosti, jejichž plocha je ΣS [m²]. Průměrná osvětlenost E_{imn} [lx] vnitřních povrchů místnosti světlem odraženým n -krát od vnitřních povrchů místnosti pak je: [14]

$$E_{imn} = \frac{\Phi_{in}}{\Sigma S} = \frac{E_w \cdot \tau_{s,dif} \cdot W \cdot \rho_m^n}{\Sigma S} . \quad (25)$$

Celková průměrná osvětlenost E_{im} [lx] světlem odraženým od vnitřních povrchů místnosti je součtem osvětleností po všech odrazech světla od vnitřních povrchů: [14]

$$E_{im} = \sum_{n=1}^{\infty} E_{imn} = \frac{E_w \cdot \tau_{s,dif} \cdot W}{\sum S} \sum_{n=1}^{\infty} \rho_m^n = \frac{E_w \cdot \tau_{s,dif} \cdot W \cdot \rho_m}{\sum S(1-\rho_m)}. \quad (26)$$

Obě strany rovnice (26) lze dělit horizontální exteriérovou osvětleností E_h [lx] (16) a násobit 100%. Získá se tak Arndtův vztah mezi průměrnou hodnotou vnitřní odražené složky činitele denní osvětlenosti D_{im} [%] a činitelem denní osvětlenosti roviny zasklení okna D_w [%]: [14]

$$D_{im} = \frac{D_w \cdot \tau_{s,dif} \cdot W \cdot \rho_m}{\sum S(1-\rho_m)}. \quad (27)$$

Hodnotu činitele difúzního světla lze uvažovat jako $\tau_{s,dif} = 0,9$. [14]

➤ BRS

Metoda k určení vnitřní odražené složky činitele denní osvětlenosti. Zpřesňuje Arndtův vztah tím, že odděleně sleduje světelný tok přicházející do vnitřního prostoru shora a odrážející se především od podlahy místnosti a světelný tok přicházející zdola převážně odrazem od terénu a odrážející se především od stropu místnosti. Do výpočtu se zavádí průměrný činitel odrazu světla ρ_{mh} [-] povrchů nad vodorovnou pracovní rovinou a průměrný činitel odrazu světla ρ_{md} [-] povrchů pod vodorovnou pracovní rovinou. Průměrná hodnota vnitřní odražené složky činitele denní osvětlenosti je po tomto zpřesnění:

$$D_{im} = \frac{\tau_{s,dif} \cdot W}{\sum S(1-\rho_m)} (C\rho_{md} + 5\rho_{mh}). \quad (28)$$

➤ Metoda mnohonásobných odrazů

Metoda modeluje konečný počet odrazů světla ve vnitřním prostoru budovy a stanoví tak hodnoty vnitřní odražené složky činitele denní osvětlenosti. Je využívána ve výpočtech na PC. [14]

- **Bodové metody**

Metoda k určení oblohové a venkovní odražené složky činitele denní osvětlenosti. Princip spočívá v rozdělení osvětlovacího otvoru na velký počet malých plošek, z

nichž každá působí do sledovaného místa jako bodový zdroj světla. Metoda je využívána v programech na PC. [14]

- **Empirické metody**

Empirické metody jsou přibližné metody určení činitele denní osvětlenosti založené na odhadu, tradici nebo zkušenostech (např. poměr plochy okna k ploše podlahy). Do této skupiny lze též zařadit různé grafické metody, jejichž původ, odvození a podmínky použití nelze zjistit z dostupných parametrů. [1]

3.2 Umělé osvětlení

3.2.1 Metody výpočtů

Účelem výpočtů je stanovit počet a rozmístění svítidel. Uvedené metody se používají pro orientační stanovení počtu svítidel osvětlovací soustavy ve fázi projekční přípravy k územnímu nebo stavebnímu řízení. Ve fázi realizační projektové dokumentace jsou světelné technické výpočty osvětlení prováděny na počítači s použitím výpočetních programů firem vyrábějících svítidla. V programech jsou zahrnuty veškeré údaje o vyráběných svítidlech potřebné pro přesný výpočet. [15]

- **Metoda poměrného příkonu**

Tato metoda určuje na základě typu zvoleného svítidla a požadované průměrné osvětlenosti místnosti výsledný příkon, kterého by měla dosahovat osvětlovací soustava:

$$P = \frac{p \cdot S \cdot E}{100}, \quad (29)$$

kde

- P je výsledný příkon osvětlovací soustavy ve wattech (W);
- p je poměrný příkon z Tab. 11 ve wattech na metr čtvereční ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$);
- S je plocha místnosti v metrech čtverečních (m^2);
- E je požadovaná osvětlenost v luxech (lx).

Tabulka hodnot poměrných příkonů pro různé typy svítidel:

Typ osvětlení	Žárovkové světlo			Zářivkové světlo		
	Stěny			Stěny		
	světlé	tmavé	tmavé	světlé	tmavé	tmavé
	Strop			Strop		
	světlý	světlý	tmavý	světlý	světlý	tmavý
Přímé	14	16	18	4	5	6
Převážně přímé	18	22	25	5	6	7
Směšené	22	27	34	6	7	9
Převážně nepřímé	25	34	44	6,5	9	10
Nepřímé	29	42	57	7	10	15

Tab. 11 Hodnoty poměrných příkonů pro různé typy svítidel [15]

- **Bodová metoda**

Bodová metoda výpočtu osvětlenosti platí pouze pro bodový zdroj světla, jehož rozměry se blíží k nule. Skutečný zdroj má však vždy určité rozměry, což způsobuje určitou chybu výpočtu. Aby se tato chyba zmenšila, rozdělují se světelné zdroje podle poměru jejich rozměru ke vzdálenosti od kontrolního místa na zdroje bodové a plošné. [15]

Osvětlenost bodového zdroje v bodě roviny kolmé vůči směru osvětlování je:

$$E = \frac{I}{l^2}, \quad (30)$$

kde

E je osvětlenost v luxech (lx);

I je svítivost v kandelách (cd);

l je vzdálenost zdroje od osvětlované plochy v metrech (m).

Osvětlenost plošného zdroje, u kterého dopadá osvětlení pod určitým úhlem je:

$$E = \frac{I}{l^2} \cos \gamma, \quad (31)$$

kde

γ je úhel dopadajících paprsků.

- **Metoda toková**

Tato metoda určuje na základě typu zdroje světla a požadované udržované osvětlenosti prostoru výsledný počet kusů svítidel v osvětlovací soustavě:

$$n_s = \frac{E \cdot S}{\eta_{os} \cdot z \cdot \Phi}, \quad (32)$$

kde

n_s je počet svítidel osvětlovací soustavy v kusech (ks);

E je osvětlenost v luxech (lx);

S je plocha místnosti v metrech čtverečních (m²);

η_{os} je činitel využití osvětlovací soustavy v procentech (%);

- určuje se z tabulek vydaných výrobcem svítidla na základě činitele místnosti k a činitele odrazu světla ρ ;

z je udržovací činitel svítidla;

- určuje se z tabulek vydaných výrobcem svítidla.

Činitel místnosti se určí:

$$k = \frac{5 \cdot h \cdot (a_m + b_m)}{a_m \cdot b_m}, \quad (33)$$

$$h = h_m - h_1 - h_3, \quad (34)$$

kde

a_m je šířka místnosti v metrech (m);

b_m je délka místnosti v metrech (m);

h je závěsná výška svítidla v metrech (m);

h_m je výška místnosti v metrech (m);

h_1 je vzdálenost svítidla od stropu v metrech (m);

h_3 je výška srovnávací roviny v metrech (m).

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 VZOROVÁ STUDIE ŘEŠENÍ OSVĚTLENÍ

Cílem vzorové studie je zpracovat model interiéru s denním i umělým osvětlením, který bude znázorňovat vliv řízení regulace světelné soustavy na jeho celkovou osvětlenost. Pro vypracování byl použit freeware program DIALux ve verzi 4.11 od německého institutu DIAL.

4.1 Návrh interiéru

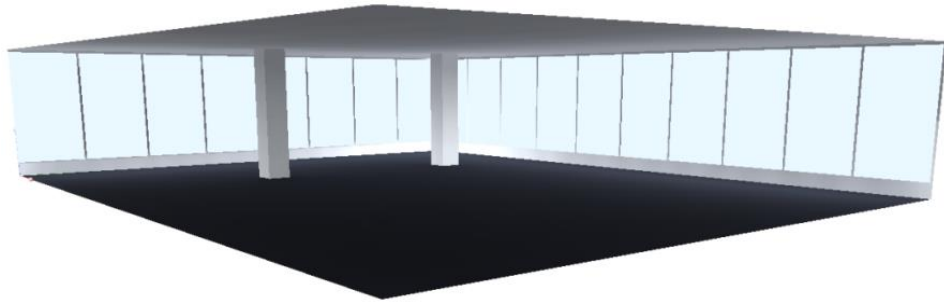
Pro realizaci modelového interiéru byl zvolen otevřený kancelářský prostor nacházející se ve výškové administrativní budově se skleněnou fasádou.

4.1.1 Místnost

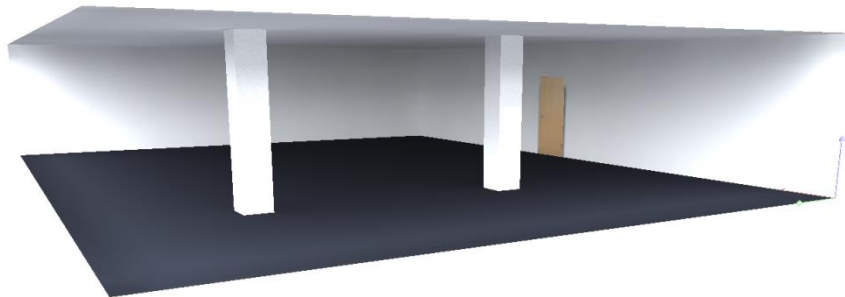
Místnost kanceláře je umístěna v rohové části stavby, dvě její stěny jsou tvořeny již zmíněnou skleněnou fasádou a zbývající dvě stěny jsou zděné příčky uvnitř budovy. Do návrhu místnosti jsou zahrnuty i vnitřní nosné sloupy. Prostor je dlouhý 15 m, široký 12 m a strop je ve výšce 2,8 m. Na obr. 37 je znázorněn půdorys místnosti a na obrázcích 38 a 39 je vizualizace prázdného interiéru.



Obr. 37 Půdorys kanceláře



Obr. 38 Vizualizace prázdné místnosti ve směru k prosklené části



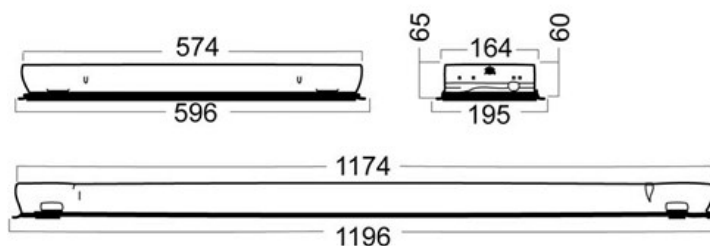
Obr. 39 Vizualizace prázdné místnosti ve směru od prosklené části

4.1.2 Osvětlení

Předpokládá se, že hlavní vykonávanou činností zde bude psaní, psaní na PC, čtení a zpracování dat. Pro tyto úkony je požadovaná střední hodnota intenzity osvětlení 500 lx. Jelikož se jedná o technologicky podmíněný hloubkový prostor výškové budovy, není možné tuto hodnotu ve všech částech kanceláře udržet pouze za pomoci denního světla, proto je zde i přes den nutné využití světla umělého. Takový systém osvětlení se označuje jako sdružený.

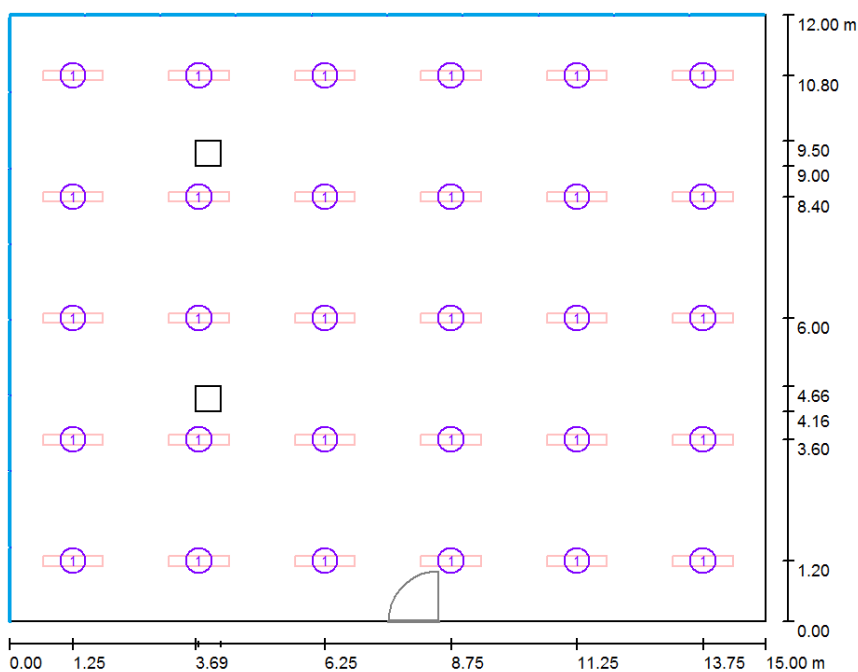
Denní světlo proniká do budovy bočním osvětlením složeným z osmnácti oken v obvodových stěnách. Každé okno je široké 1,45 m, vysoké 2,45 m a umístěné 0,3 m nad podlahou.

Umělé světlo tvoří skupina třiceti podhledových svítidel rozdělených do pěti řad po šesti kusech. Jako zdroj světla jsou zde použity zářivky typu T5 o výkonu 54 W a na jedno svítidlo případnou dva kusy těchto zářivek. Každá zářivka je umístěna do parabolického reflektoru, který zajišťuje symetrickou distribuci světla. Součástí každého svítidla je i elektronicky adresovatelný předřadník, pomocí kterého se připojí do řídicího systému. Rozměry v mm a tvar použitého typu svítidla je znázorněn na obr. 40.



Obr. 40 Rozměry použitého svítidla v mm [16]

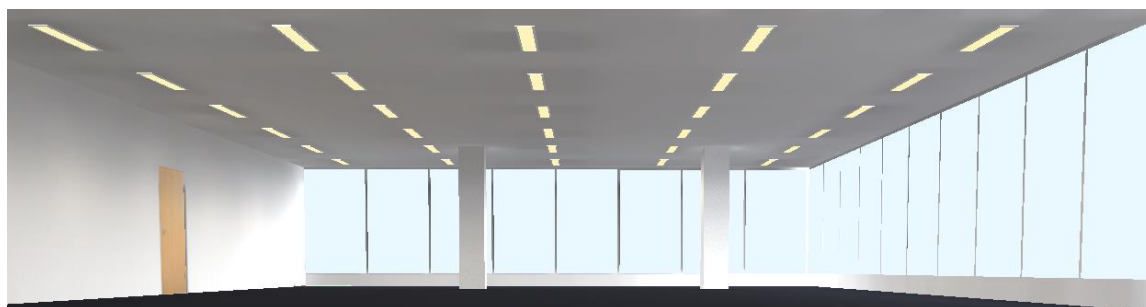
Rozmístění a počet svítidel (viz obr. 41) byl vybrán na základě asistenční funkce programu DIALux, která obsahuje veškeré technické údaje o použitém svítidle potřebných pro tento výpočet. Výsledná hodnota intenzity světelné soustavy byla tímto výpočtem stanovena na 591 lx. Vizualizace znázorňující místnost s nainstalovanými svítidly je na obr. 42.



Kusovník svítidel

Č.	ks	Označení
1	30	Glamox MODUL-R200 3542 254 LL - 2x54W T5 54W HO

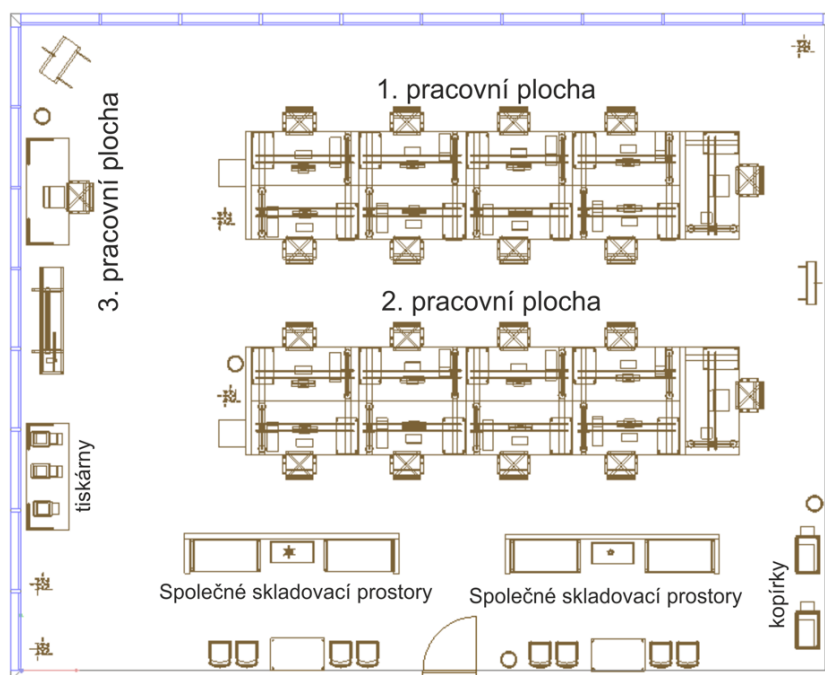
Obr. 41 Půdorys s rozmístěním svítidel



Obr. 42 Vizualizace rozmístění svítidel v místnosti

4.1.3 Vybavení

Místnost je vybavena klasickým kancelářským nábytkem. Hlavní pracovní plochy tvoří dvě totožné devítimetrové řady stolů s celkovou kapacitou osmnácti pracovišť. Třetí pracovní plochou je samostatně umístěný stůl u okenní řady. Mezi doplňky patří různé odkládací a skladovací plochy, kopírky, stůl s tiskárnami, přenosné tabule a další drobné doplňky dokreslující atmosféru kanceláře. Na obr. 43 je znázorněn půdorys místnosti s rozmístěním vybavení a kancelářského nábytku, na obrázcích 44 a 45 je vizualizace vybaveného interiéru.



Obr. 43 Půdorys s rozmístěním vybavení



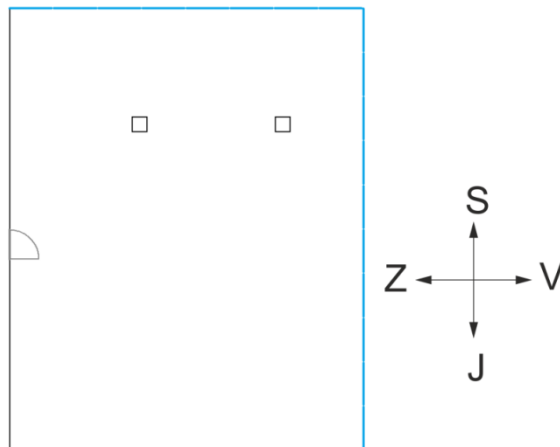
Obr. 44 Vizualizace vybavené kanceláře - celkový pohled



Obr. 45 Vizualizace vybavené kanceláře - pohled na zadní část

4.2 Simulace osvětlení

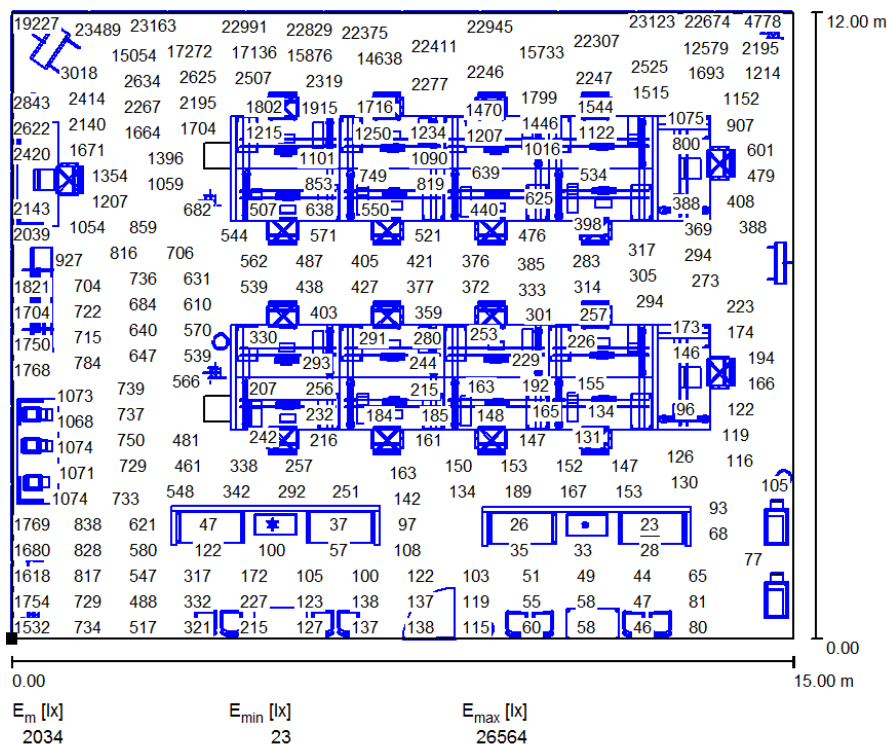
Všechny simulace byly provedeny pro časovou zónu UTC+1 s datem nastaveným na 21. březen a geografická poloha byla zvolena pro hlavní město Prahu. Kratší strana skleněné fasády je orientována na sever a delší strana je orientována na východ (viz obr. 46). Srovnávací rovina je umístěna ve výšce 0,85 m nad podlahou. Při výpočtech obsahujících denní světlo nebyly brány v potaz vnější vlivy způsobené okolní zástavbou.



Obr. 46 Orientace místnosti na světové strany

4.2.1 Pouze denní osvětlení

V této variantě je znázorněno, jak by prostor vypadal pouze při denním osvětlení bez jakékoliv regulace. Umělé osvětlení je u výpočtu vypnuto. Měření je provedeno s časem nastaveným na 11:00, kdy se dosahuje vysokých hodnot intenzity denního osvětlení. Ale ani v tuto dobu se zadní část hloubkového prostoru kanceláře neobejde bez pomoci umělého osvětlení.



Obr. 47 Půdorys s hodnotami intenzit denního osvětlení na srovnávací rovině

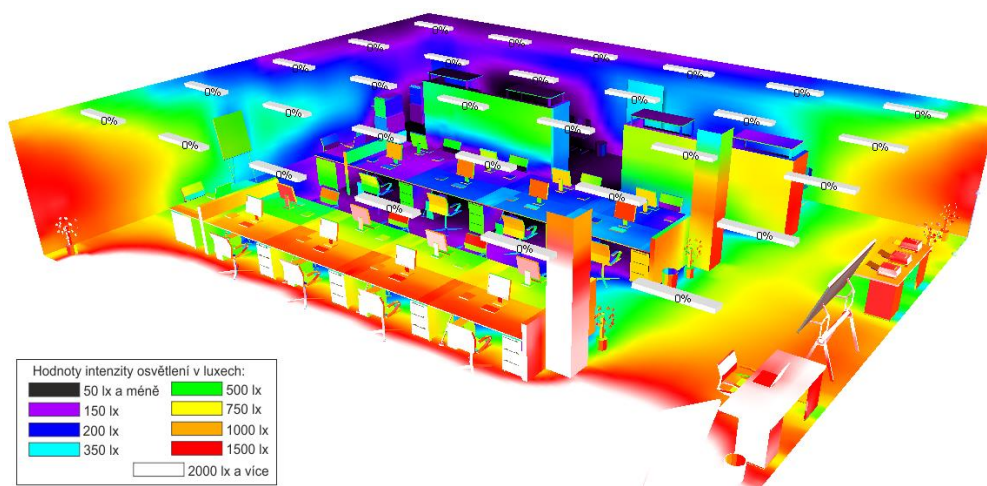
Na obr. 47 je z výpočtu rozložení intenzity denního osvětlení jasné, že pracoviště umístěné hlouběji do prostoru kanceláře má nedostatečné osvětlení pro výkon požadovaných činností a v zadní části je osvětlení dostatečné pouze pro orientaci v prostředí. V přední části prostoru je situace opačná, sluneční paprsky mohou způsobovat rušivé až omezující oslnění a snižovat čitelnost plochy monitorů. Proto by zde bylo na místě využití stínícího prvku. Vizualizace takto osvětleného prostoru je na obrázcích 48 a 49, na obrázcích 50 a 51 je znázornění místnosti s rozložením intenzity denního světla na površích v nepravých barvách.



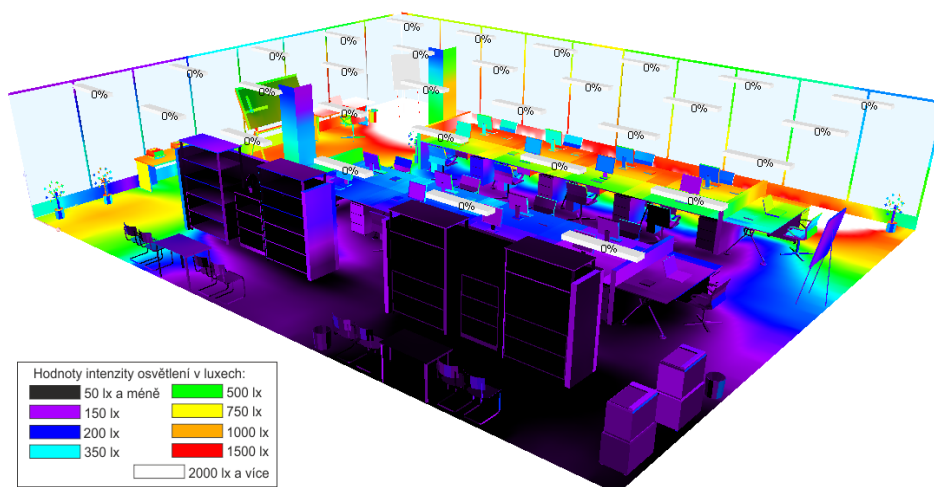
Obr. 48 Vizualizace denního osvětlení směrem od prosklené části



Obr. 49 Vizualizace denního osvětlení směrem k prosklené části



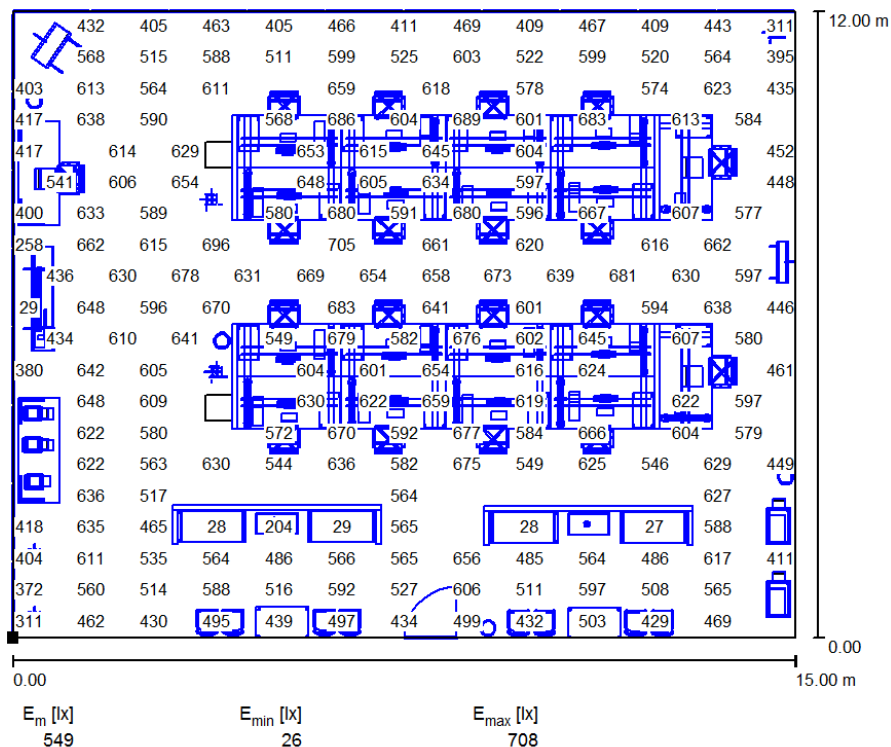
Obr. 50 Rozložení intenzity denního světla na površích v nepravých barvnách



Obr. 51 Rozložení intenzity denního světla na površích v nepravých barvnách

4.2.2 Pouze umělé osvětlení

Tato varianta představuje pouze účinek umělého osvětlení místnosti, denní světlo je z výpočtů úplně odstraněno a místnost se chová, jako kdyby neměla žádná okna.



Obr. 52 Půdorys s hodnotami intenzit umělého osvětlení na srovnávací rovině

Na obr. 52 je z výpočtu intenzity umělého osvětlení vidět její rovnoměrné rozložení a dostatečné osvětlení všech částí místnosti. Všechna světla jsou zapnutá na 100% svého výkonu a díky vhodně zvolenému uspořádání zde nevznikají žádné rušivé stíny.

Celkový výkon svítidel je 3390 W se specifickým příklonem $18 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Na vytvoření osvětlení o intenzitě 100 lx je v přepočtu potřeba $3,34 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

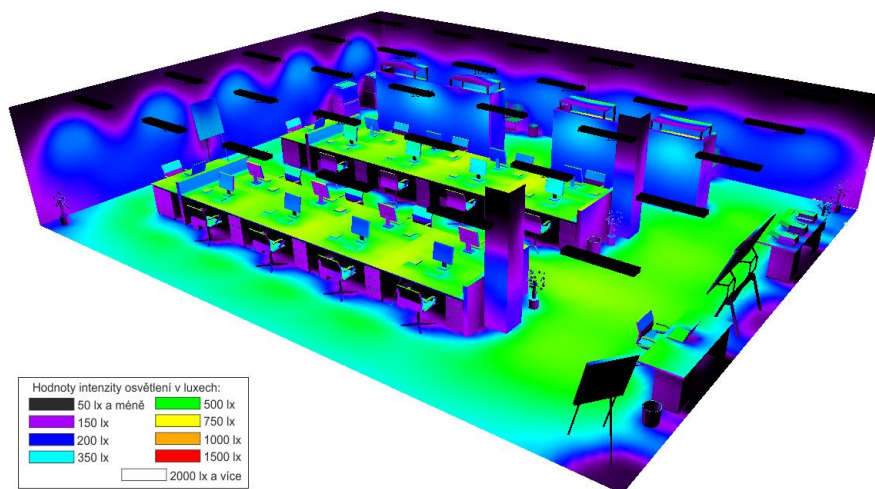
Vizualizace takto osvětleného prostoru je na obrázcích 53 a 54, na obrázcích 55 a 56 je znázornění místnosti s rozložením intenzity umělého světla na površích v nepravých barvách.



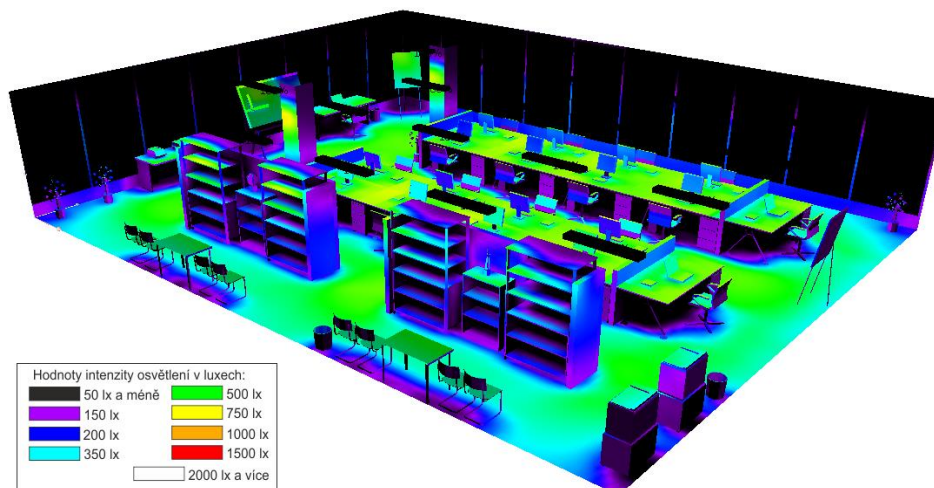
Obr. 53 Vizualizace umělého osvětlení směrem od prosklené části



Obr. 54 Vizualizace umělého osvětlení směrem k prosklené části



Obr. 55 Rozložení intenzity umělého světla na površích v nepravých barvnách

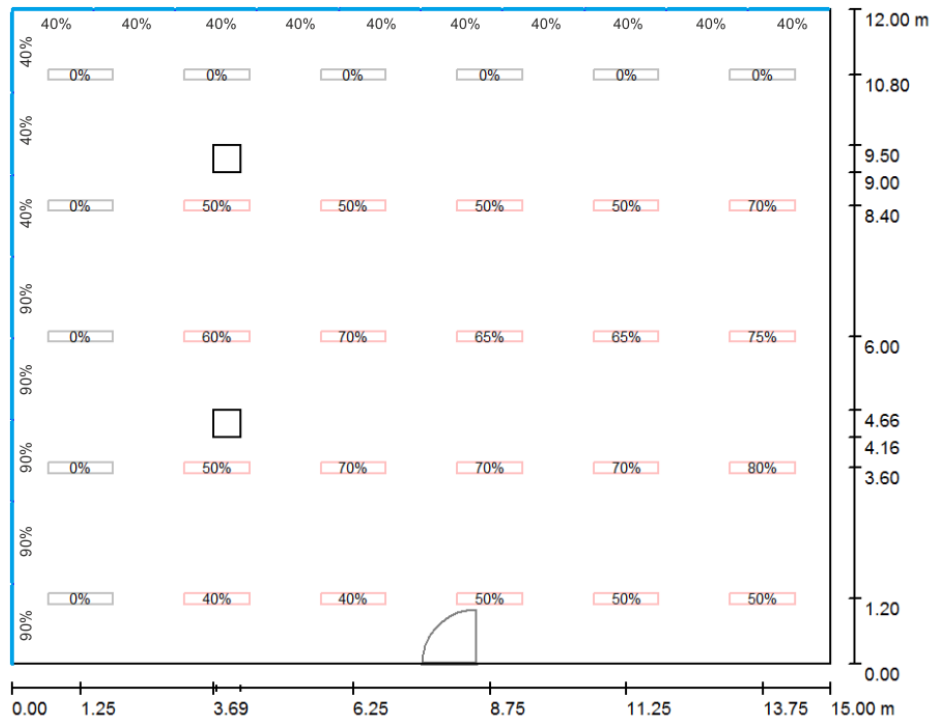


Obr. 56 Rozložení intenzity umělého světla na površích v nepravých barvnách

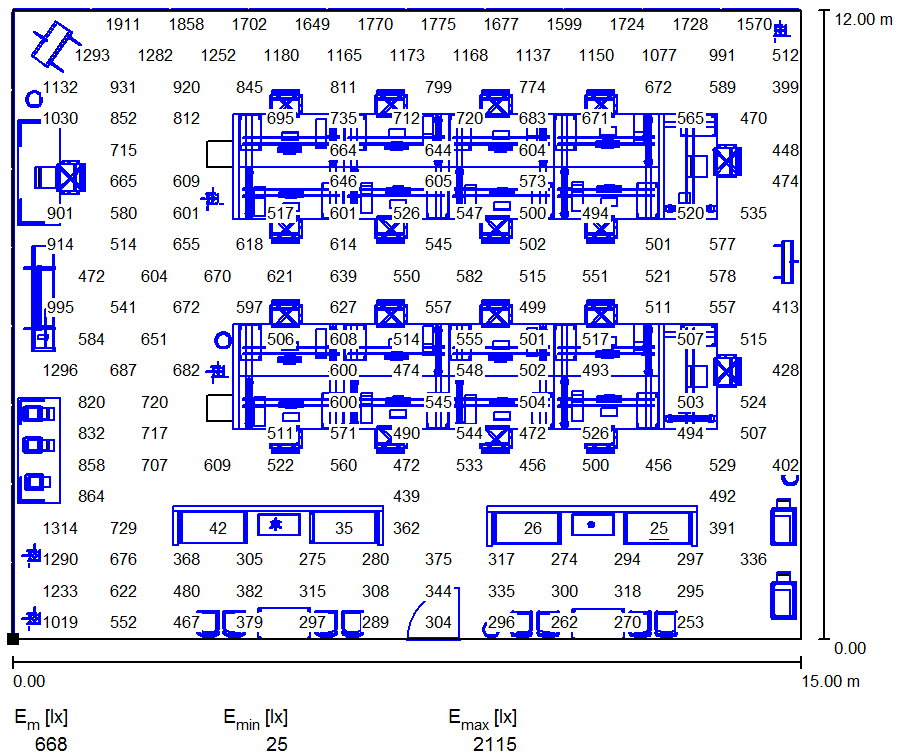
4.2.3 Sdružené osvětlení

Zde je znázorněna kombinace denního a umělého světla ve variantách, které představují reálný provoz v kanceláři. Zobrazení vlivu regulace je provedeno třemi simulacemi pro různé stavy denního světla. Každý z těchto stavů je dán zvoleným časem měření. 11:00 kdy přímý sluneční svit na východní stranu budovy může způsobovat rušivé až omezující oslnění. 14:00 kdy je ještě slunečního svitu dostatek, ale už nesvítí zpříma do prostoru kanceláře a 17:00 kdy slunce začíná zapadat. Požadavek na intenzitu osvětlení srovnávací roviny v místech pracovních ploch je zde stanoven na již zmíněných 500 lx a v ostatních méně důležitých částech postačují hodnoty kolem 300 lx. Protože program DIALux nepodporuje simulaci žaluzií, bude jejich přítomnost při výpočtech nahrazena snížením průhlednosti materiálu skleněné plochy ve vlastnostech okna z defaultní hodnoty 90% na hodnotu vyhovující pro konkrétní situaci.

- 11:00



Obr. 57 Půdorys s nastavením výkonů svítidel a průhlednosti oken



Obr. 58 Půdorys s hodnotami intenzit sdruženého osvětlení na srovnávací rovině

V 11:00 je potřeba kvůli vysoké intenzitě slunečního záření omezit průhlednost oken s čímž je spojeno i řízení světelné soustavy. Hodnoty, na které jsou regulované prvky nastaveny, jsou znázorněny na obr. 57.

U všech deseti oken na východní straně a také prvních tří oken sousedících ze strany severní je omezena průhlednost na 40%. Zbývajícím pěti okenním tabulím není snižována průhlednost, protože jimi pronikající denní světlo nemá negativní vliv na osvětlení pracoviště. Regulace výkonu svítidel se pohybuje od 40% do 80%, přičemž první řady nacházející se nejbliže k oknům jsou zcela vypnuté.

Z obr. 58 lze vyčíst, že na pracovních plochách je dosaženo požadované intenzity osvětlení 500 lx a v zadní nejméně osvětlené části místnosti se intenzita osvětlení pohybuje kolem hodnoty 300 lx.

Celkový výkon svítidel je 2260 W se specifickým příklonem $12,56 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Na vytvoření osvětlení o intenzitě 100 lx je v přepočtu potřeba $1,88 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

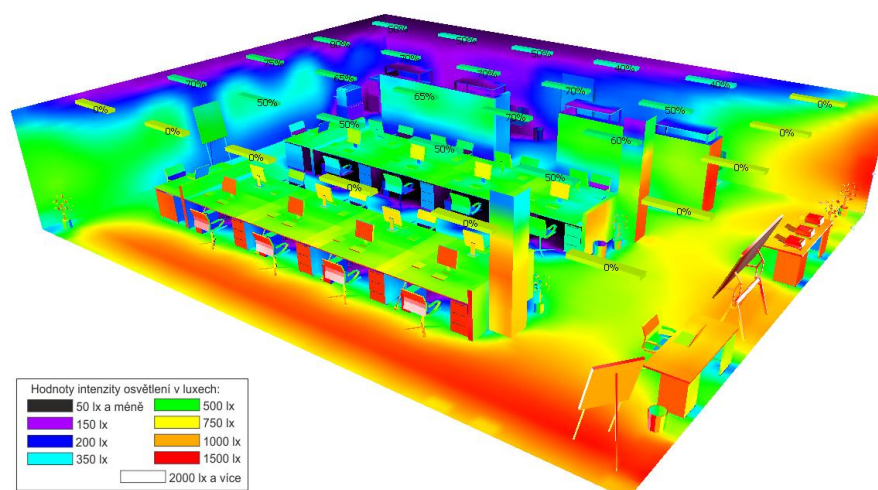
Vizualizace osvětlení prostoru v 11:00 je na obrázcích 59 a 60, na obrázcích 61 a 62 se nachází znázornění místnosti v 11:00 s rozložením intenzity sdruženého světla na površích v nepravých barvách.



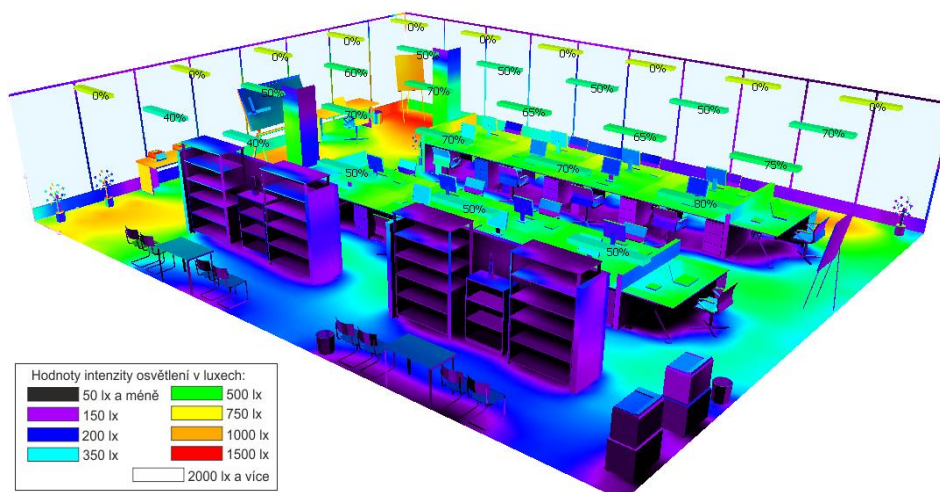
Obr. 59 Vizualizace sdruženého osvětlení směrem od prosklené části



Obr. 60 Vizualizace sruženého osvětlení směrem k prosklené části

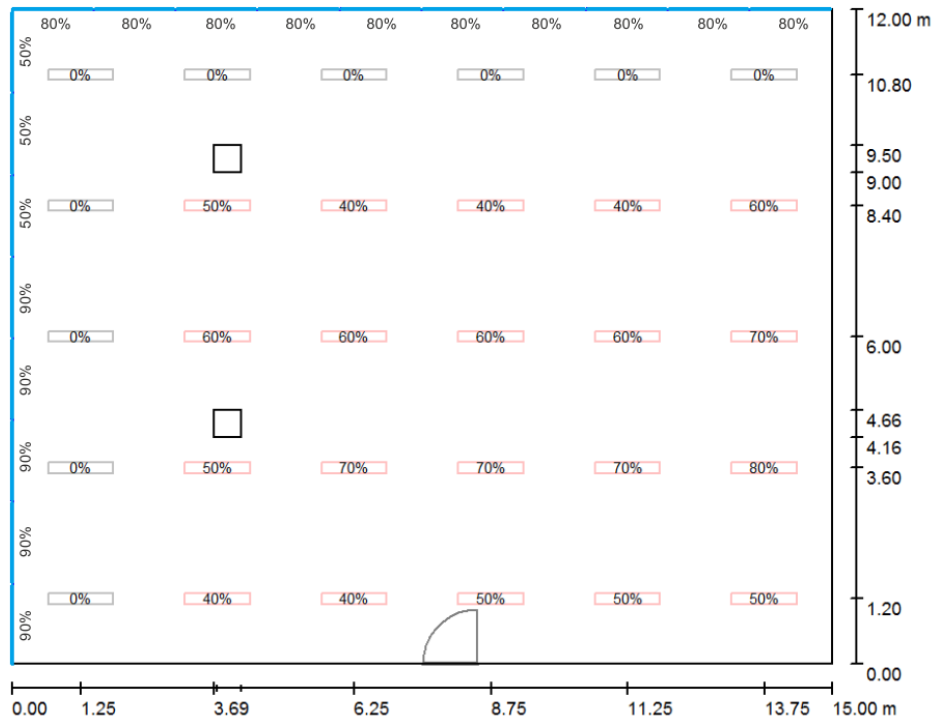


Obr. 61 Rozložení intenzity sruženého světla na površích v nepravých barvnách

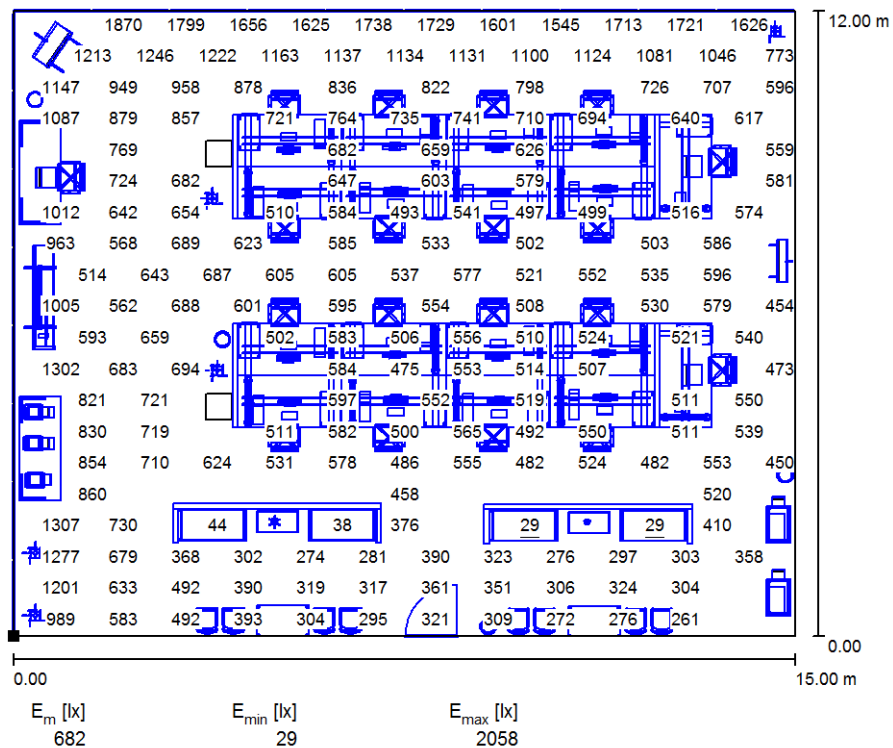


Obr. 62 Rozložení intenzity sruženého světla na površích v nepravých barvnách

- 14:00



Obr. 63 Půdorys s nastavením výkonů svítidel a průhledností oken



Obr. 64 Půdorys s hodnotami intenzit sdruženého osvětlení na srovnávací rovině

V 14:00 stačí oproti předchozímu případu jen mírně omezit průhlednost oken, ale i tak zůstaly výkony svítidel téměř stejné, kvůli nižší intenzitě denního světla vstupujícího do interiéru místnosti. Hodnoty, na které jsou regulované prvky nastaveny, jsou znázorněny na obr. 63.

Na východní straně je jen lehce omezená průhlednost všech deseti oken na 80%. Na straně severní je ještě sluneční svit silnější, proto je zde u tří oken nejvíce ovlivňujících osvětlení pracoviště snížena průhlednost na 50%, u zbylých pěti je ponechána na původních 90%. Regulace výkonu soustavy se zde pohybuje také od 40% do 80%, ale s mírnými rozdíly u jednotlivých svítidel. První řady svítidel nacházející se nejbliže k oknům zůstaly opět vypnuté.

Z obr. 64 znázorňujícím intenzity osvětlení na srovnávací rovině lze vyčíst, že osvětlení pracovních ploch splňuje určenou hodnotu 500 lx a v zadní části kanceláře je intenzita osvětlení kolem 300 lx.

Celkový výkon svítidel je 2260 W se specifickým příklonem $12,56 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Na vytvoření osvětlení o intenzitě 100 lx je v přepočtu potřeba $1,84 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

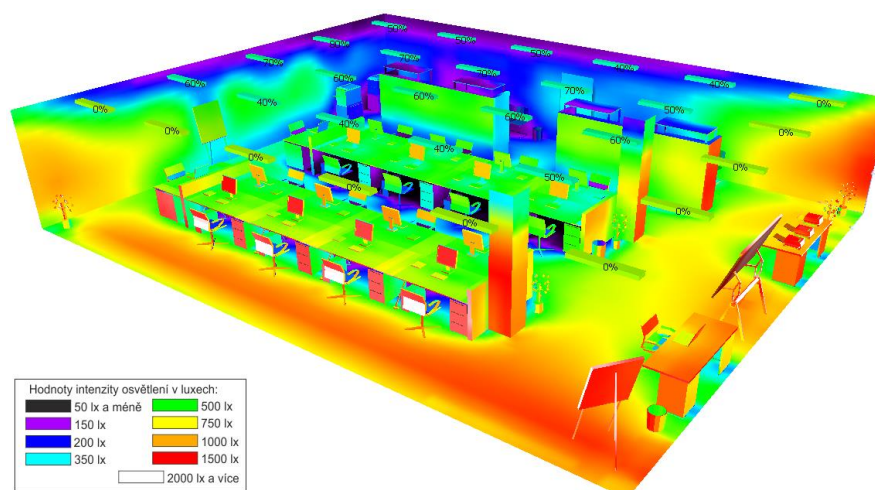
Vizualizace osvětlení prostoru v 14:00 je na obrázcích 65 a 66, na obrázcích 67 a 68 se nachází znázornění místnosti v 14:00 s rozložením intenzity sruženého světla na površích v nepravých barvách.



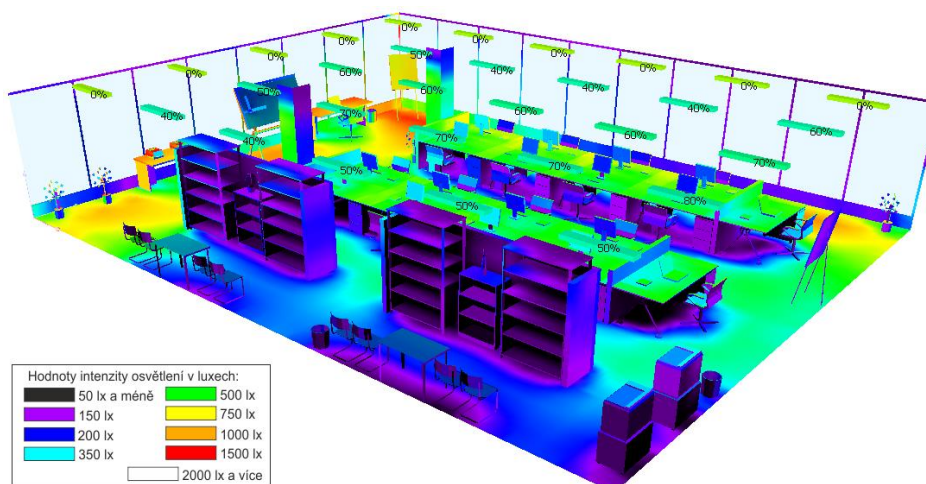
Obr. 65 Vizualizace sruženého osvětlení směrem od prosklené části



Obr. 66 Vizualizace sruženého osvětlení směrem k prosklené části

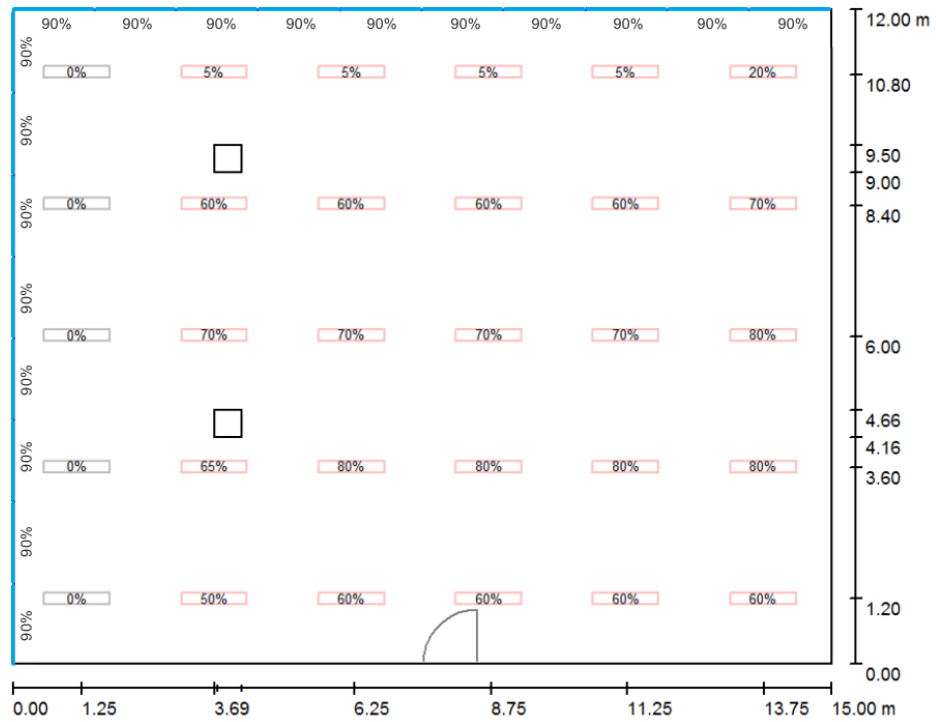


Obr. 67 Rozložení intenzity sruženého světla na površích v nepravých barvnách

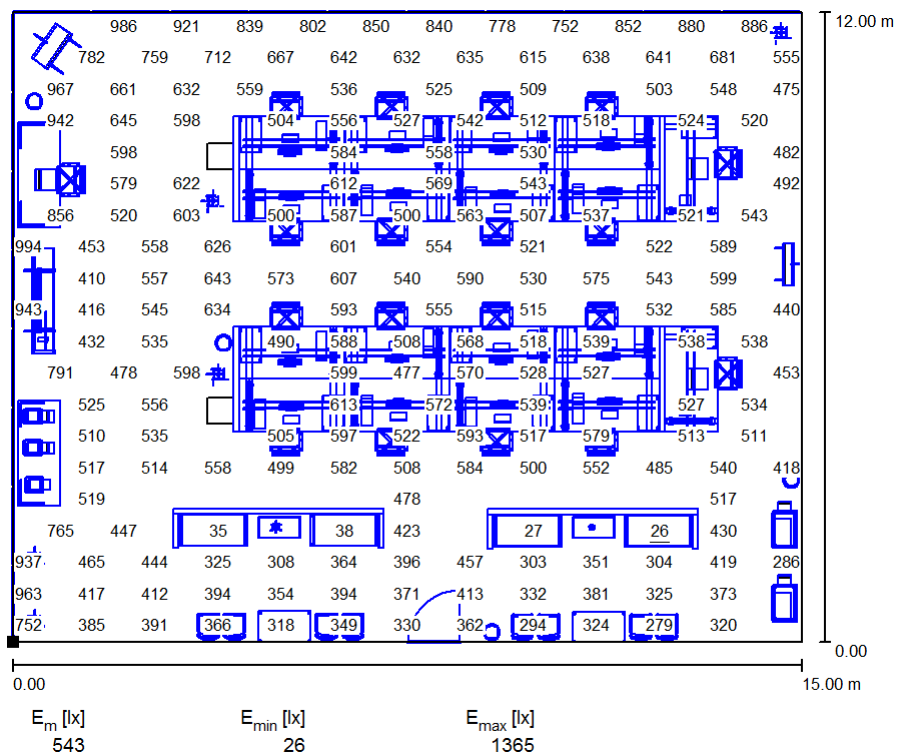


Obr. 68 Rozložení intenzity sruženého světla na površích v nepravých barvnách

- 17:00



Obr. 69 Půdorys s nastavením výkonů svítidel a průhledností oken



Obr. 70 Půdorys s hodnotami intenzit sdruženého osvětlení na srovnávací rovině

V 17:00 začíná zapadat slunce a intenzita denního osvětlení klesá, všechny okenní tabule jsou nezastíněné s původní průhledností nastavenou na 90%. Pro udržení požadované intenzity se musí zvedat výkony svítidel více než v předchozích dvou případech. Hodnoty, na které jsou regulované prvky nastaveny, jsou znázorněny na obr. 69.

Regulace výkonu svítidel se zde pohybuje od 5% do 80%, přičemž řada svítidel u prosklené severní strany je stále vypnutá.

Na obr. 70 jsou znázorněny intenzity osvětlení na srovnávací rovině, které opět splňují určené požadavky 500 lx a 300 lx.

Celkový výkon svítidel je 2825 W se specifickým příklonem $15,69 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Na vytvoření osvětlení o intenzitě 100 lx je v přepočtu potřeba $2,89 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

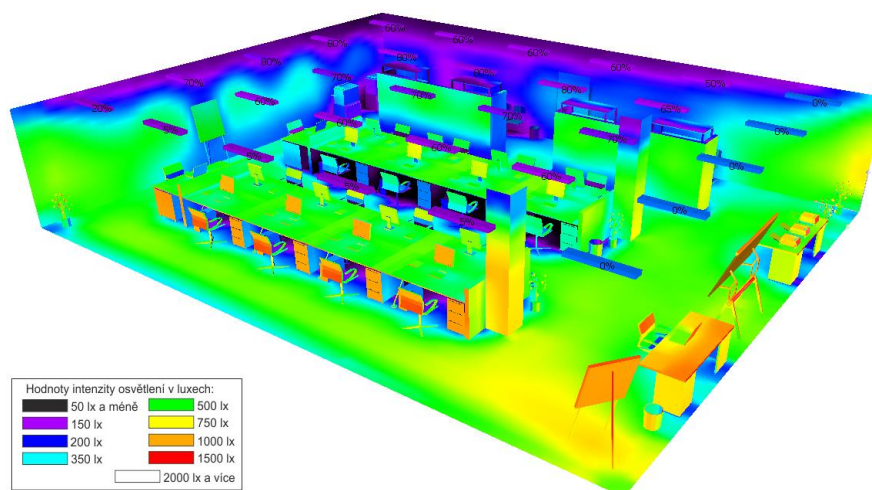
Vizualizace osvětlení prostoru v 17:00 je na obrázcích 71 a 72, na obrázcích 73 a 74 se nachází znázornění místnosti v 17:00 s rozložením intenzity sdruženého světla na površích v nepravých barvách.



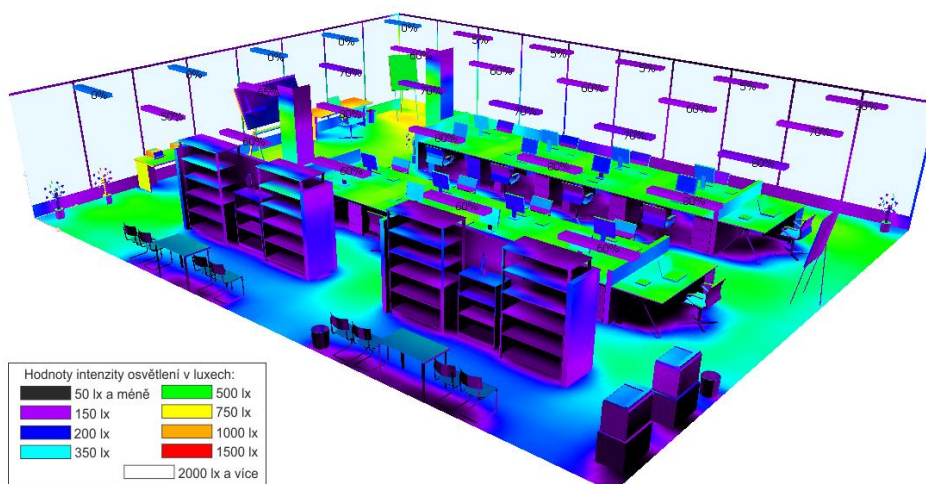
Obr. 71 Vizualizace sdruženého osvětlení směrem od prosklené části



Obr. 72 Vizualizace sruženého osvětlení směrem k prosklené části



Obr. 73 Rozložení intenzity sruženého světla na površích v nepravých barvnách



Obr. 74 Rozložení intenzity sruženého světla na površích v nepravých barvnách

4.3 Zhodnocení ekonomických efektů

Pro zhodnocení ekonomických efektů byl použit také program DIALux, který čerpá hodnoty pro tyto výpočty z vlastností navržené místnosti a typu použitých svítidel. Výpočty energetického vyhodnocení jsou prováděny podle normy EN 15193 a mezi zahrnuté faktory patří rozloha plochy s dostatečným a nedostatečným denním osvětlením, výkon světelné soustavy, počet hodin využití kanceláře za a bez denního světla, regulovatelnost světelné soustavy, kontrolovatelnost přítomnosti osob, faktor nepřítomnosti osob podle druhu místnosti a typ kontrolního systému. Konkrétní rozdělení místnosti na plochy a výkony svítidel nacházejících se v těchto plochách jsou znázorněna na obr. 75.



Obr. 75 Rozdělení místnosti na plochy podle osvětlení

Výpočty jsou rozděleny do tří variant. První zahrnuje automatický řídicí systém, druhá má pouze manuální řízení a třetí je jen rozdělení na světelné oblasti bez řízení. Každá varianta počítá se stejnými základními hodnotami určenými pro kancelářské prostory. Je to využití 2250 hodin ročně za denního světla, 250 hodin ročně bez denního světla a faktor nepřítomnosti velkoprostorové kanceláře pro 7 a více osob.

4.3.1 Automatický řídicí systém

U tohoto systému se předpokládá plně automatické řízení bez nutnosti jakéhokoliv zásahu do regulace světelné soustavy. Na základně množství denního světla je regulována intenzita osvětlení místnosti na konstantní hodnotě. Detekce přítomnosti osob je s automatickým zapínáním světla a jeho vypínáním nejpozději do 5 minut od odchodu poslední osoby.

V takovém případě dosahuje roční spotřeba elektrické energie 4199,07 kWh. Na obr. 76 jsou vyhodnoceny spotřeby pro jednotlivé měsíce.

Měsíční výsledky

Měsíc	[kWh]	Osvětlení [kWh/m ²]
Leden	434.34	2.42
Únor	385.47	2.15
Březen	334.38	1.86
Duben	303.28	1.69
Květen	289.95	1.62
Červen	287.73	1.60
Červenec	287.73	1.60
Srpen	294.39	1.64
Září	323.27	1.80
Říjen	369.92	2.06
Listopad	429.90	2.39
Prosinec	458.78	2.56

Obr. 76 Měsíční spotřeba elektrické energie automatického řídicího systému

4.3.2 Manuální řídicí systém

V tomto systému již není regulace intenzity závislá na denním světle, ale je regulována manuálně osobami pobývajícími v kanceláři. Zapínání a vypínání světel je zde řešeno pomocí klasických spínačů pro každou oblast (viz obr. 75), s tím že dodatečný automatický signál minimálně jednou za den světla vypne, obvykle večer po pracovní době.

Takové řešení zvýší roční spotřebu elektrické energie o 41% oproti plně automatickému systému na hodnotu 5922,00 kWh. Na obr. 77 jsou vyhodnoceny spotřeby pro jednotlivé měsíce.

Měsíční výsledky

Měsíc	Osvětlení	
	[kWh]	[kWh/m ²]
Leden	535.43	2.98
Únor	511.15	2.85
Březen	485.78	2.71
Duben	470.33	2.62
Květen	463.71	2.58
Červen	462.61	2.58
Červenec	462.61	2.58
Srpen	465.91	2.60
Září	480.26	2.68
Říjen	503.44	2.80
Listopad	533.23	2.97
Prosinec	547.57	3.05

Obr. 77 Měsíční spotřeba elektrické energie manuálního řídicího systému

4.3.3 Bez řízení osvětlení

Tento způsob řešení obsahuje pouze manuální zapínání a vypínání světel bez jakýchkoliv zásahů nebo regulace, každá oblast (viz obr. 75) je spínána vlastním spínačem.

Toto řešení je značně nevhodné a je zde jen pro porovnání spotřeby elektrické energie, která oproti automatickému systému vzrostla o 65% na hodnotu 6926,31 kWh. Na obr. 78 jsou vyhodnoceny spotřeby pro jednotlivé měsíce.

Měsíční výsledky

Měsíc	Osvětlení	
	[kWh]	[kWh/m ²]
Leden	626.24	3.49
Únor	597.84	3.33
Březen	568.16	3.17
Duben	550.09	3.06
Květen	542.35	3.02
Červen	541.06	3.01
Červenec	541.06	3.01
Srpen	544.93	3.04
Září	561.71	3.13
Říjen	588.81	3.28
Listopad	623.66	3.47
Prosinec	640.43	3.57

Obr. 78 Měsíční spotřeba elektrické energie automatického řídicího systému

ZÁVĚR

Práce byla zaměřena na problematiku osvětlení interiérů, na kterou se klade velký důraz při návrhu budov.

V teoretické části jsou nejprve popsány fyzikální veličiny týkající se světla a jeho vlastností, dále jsou zde vysvětleny jevy, kterými jsou lom, odraz a prostup světelného záření. Tato kapitola je zde pro získání základních informací o chování světelného toku, které jsou zapotřebí k porozumění řešené problematice osvětlení.

Další kapitola teoretické části se zabývá vlivy světla na lidský organismus ovlivňujících psychiku i fyziologické funkce člověka. Sluneční světlo kladně působí na náladu a pracovní výkony, umělé světlo svojí monotónností vede spíše ke snížení bdělosti a poklesu výkonů. Při nedostatku světla vzniká nadměrná námaha očí vedoucí k únavě a diskomfortu, naopak při jeho nadbytku může docházet k oslnění rušivému, omezujícím nebo až oslepujícím. Poté jsou v kapitole popsány jednotlivé typy řešení osvětlení a jejich požadavky podle norem. Patří sem denní osvětlení, které se dělí podle umístění osvětlovacích otvorů na boční, horní, kombinované a sekundární. Umělé osvětlení, které je rozmístěním světelných zdrojů možné rozlišit na celkové, odstupňované, místní a kombinované. Jako poslední je zde osvětlení sdružené, které zahrnuje kombinaci umělého i denního osvětlení. Dále jsou zde rozebrány druhy umělých světelných zdrojů, jejich třídění, vlastnosti a vhodnost jejich použití. Závěr této kapitoly je věnován regulačním systémům řídicích osvětlení, jejich složení, zapojení a popis vybraných typů. Regulační systémy se skládají ze snímačů neboli vstupů, aktorů provádějících požadované operace, přístrojů a komponentů tvořících infrastrukturu systému. Uspořádání zapojení může být ve formě centralizovaného systému, kde komunikují zařízení pouze s řídicí jednotkou, decentralizovaného systému, kde komunikují zařízení pouze mezi sebou a není zde řídicí jednotka nebo hybridního systému, kde komunikují zařízení s centrální jednotkou i mezi sebou. Vybranými typy řídicích popsaných systémů jsou Signál 0-10V, DSI, KNX/EIB, LonWorks, Modbus a DALI.

Třetí a zároveň poslední kapitola teoretické části popisuje jednotlivé matematické modely sloužící k výpočtům denního a umělého osvětlení.

Praktická část obsahuje návrh modelového interiéru, kterým je kancelářský prostor ve výškové administrativní budově. Návrh se skládá z vymodelování místnosti, rozmístění

světelné soustavy a vybavení prázdné místnosti kancelářským nábytkem. Na modelu je provedeno 5 simulací. První simulace znázorňuje, jak by prostor vypadal pouze při denním osvětlení. Vyplývá z ní, že hloubková část prostoru si pouze s denním osvětlením nevystačí a že by bylo vhodné na okna nainstalovat na okna stínící prvky. Druhá simulace se zaměřuje pouze na umělé osvětlení, které má dostatečný účinek a vyhovuje potřebám kancelářského prostoru. Zbývající simulace představují řízení regulace osvětlení za reálných podmínek během dne v 11:00, 14:00 a 17:00 hodin. Jsou zde znázorněny změny hodnot výkonů svítidel a zastínění okenních ploch pro udržení požadované intenzity osvětlení. Na závěr jsou porovnány ekonomické aspekty při využití automatického, manuálního nebo žádného systému řízení.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The thesis was focused on the issues of interior lighting on which are put a lot of emphasis in building design.

In the theoretical part there are described physical quantities related to light and its properties, explained phenomena which are refraction, reflection and transmission of light. This chapter is here to obtain basic information about the behavior of flux that is needed to understand the issues addressed lighting.

Another chapter of theoretical part deals with the effects of light on the human body that affect mental and physiological functions of man. Sunlight has positive effects on mood and work performance, artificial light by its monotony leads to a decrease in alertness and performance degradation. Low light level creates excessive eye strain leading to tiredness and discomfort, while excess light level can cause troublesome, restrictive or blinding glare. Then the chapter describes the different types of lighting solutions and their requirements by the standards. This includes daylighting, which is divided according to the position of illuminative gap on side, top, combined and secondary. Artificial lighting is by placing of light sources possible to distinguish on overall, graded, local and combined. The last is united lighting which includes a combination of artificial and day lighting. Further there are types of artificial light sources, their classification, properties and their suitability. The end of this chapter is devoted to regulation systems controlling illumination, their structure, connections and description of selected types. The control systems consist of sensors or inputs, actuators performing the requested operation, devices and components forming the system infrastructure. Arrangement of connection may be in the form of a centralized system, where the devices communicate only with the control unit, decentralized system in which devices communicate only with each other and there is no control unit or hybrid system in which devices communicates with the central unit and each other. Selected described types of control systems are 0-10V signal, DSI, KNX / EIB, LonWorks, Modbus DALI.

The third and final chapter of theoretical part describes individual mathematical models for daylight and artificial light calculations.

The practical part contains design of interior model which is office space in high-rise office building. The design consists of room modeling, lighting system placement and empty

room equipment with office furniture. There are 5 simulations performed on the model. The first simulation illustrates how the area looks only at daylight. It shows that the deep part of the space does not have enough with daylight and it would be appropriate to install shading elements on the windows. The second simulation is focused only on artificial lighting which has sufficient effect and meets the needs of office space. The remaining simulations represent regulation control of illumination in real terms during the day at 11:00, 14:00 and 17:00. There are depicted changes in values of lamps power and shading of window areas to maintain the required light intensity. Finally there are compared economic aspects of the use of automatic, manual or none management system.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] RYBÁR, Peter, František ŠESTÁK, JUKLOVÁ, Jozef HRAŠKA a Jiří VAVERKA. *Denní osvětlení a oslunění budov*. 1. vyd. Brno: ERA, 2002, vi, 271 s. ISBN 80-865-1733-0.
- [2] Encyklopedie fyziky. *Radiometrické veličiny* [online]. [cit. 2013-04-26]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/536-radiometricke-veliciny>
- [3] Jan Obermann - světelná technika. *Nejdůležitější základní pojmy světelné techniky* [online]. [cit. 2013-04-26]. Dostupné z: http://www.obermann.cz/web/tech_info/tech_info.pdf
- [4] SOKANSKÝ, Karel. Česká společnost pro osvětlování. *Inteligentní řízení osvětlovacích soustav vnitřního osvětlení* [online]. 2003, s. 122 [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/3102.pdf>
- [5] TZB-info. *Umělé osvětlení vnitřního prostředí* [online]. [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1303-umele-osvetleni-vnitriho-prostredi>
- [6] SOKANSKÝ, Karel. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky. *Základy základů světelné techniky* [online]. 2007, s. 41 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: http://fei1.vsb.cz/kat410/studium/studijni_materialy/vuee/VUEE_Zaklady_svetelne_techniky.pdf
- [7] Wikipedia, the free encyclopedia. *0-10 V lighting control* [online]. [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/0-10_V_lighting_control
- [8] Schneider Electric CZ, s. r. o. KNX: Inteligentní elektroinstalace pro moderní a šetrné domy [online]. 2011, s. 112 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: [http://www.global-download.schneider-electric.com/8525768900007EE/all/75D24FA644F43E068525783F006244B0/\\$File/s998.pdf](http://www.global-download.schneider-electric.com/8525768900007EE/all/75D24FA644F43E068525783F006244B0/$File/s998.pdf)
- [9] Automatizace.hw.cz. VOJÁČEK, Antonín. Sběrnice KNX pro řízení budov - 2.část - kabely, propojení a EIB [online]. 2006 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/clanek/2006082701>

- [10] Automatizace.hw.cz. VOJÁČEK, Antonín. *Sběrnice LonWorks - 1.část - Úvod* [online]. 2005 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/clanek/2005040501>
- [11] Automatizace.hw.cz. VOJÁČEK, Antonín. *Sběrnice LonWorks - 2.část - LonTalk protokol* [online]. 2005 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/clanek/2005041101>
- [12] RONEŠOVÁ, Andrea. *Přehled protokolu MODBUS* [online]. 2005, s. 20 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~ronesova/bastl/files/modbus.pdf>
- [13] KAŇKA, Jan. SVĚTLO. *Význam činitelů při výpočtech ve stavební světelné technice* [online]. 2008, s. 3 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/37411.pdf>
- [14] KAŇKA, Jan. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební. *Požadavky na denní osvětlení interiérů a způsoby jejich prokazování* [online]. s. 19 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://www.cvut.cz/pracoviste/odbor-rozvoje/dokumenty/hab_inaug/hp/hp2007/hp2007-7-kanka.pdf
- [15] KOUDELKA, Ctirad. VŠB - TU Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky. *Světlo a osvětlování* [online]. 2005, s. 20 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske/prednasky/svetlo%20a%20osvetlovani.pdf>
- [16] *Modul_200_300_600* [online]. [cit. 2013-05-27]. Dostupné z: http://glamox.com/upload/2011/04/19/_modul_200_300_600-549x366.jpg

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CIE	Commission Internationale de L'Eclairage
BRS	Building Research Station
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance
DALI	Digital Addressable Lighting Interface
DIAL	Deutsches Institut für Angewandte Lichttechnik
DSI	Digital Signal Interface
EIB	European Installation Bus
ETS	Engineering Tool Software
KNX	Konnex bus
LED	Light Emitting Diode
LON	Local Operating Network
PC	Personal Computer
SELV	Safety Extra Low Voltage
USB	Universal Serial Bus
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Svítivost bodového zdroje záření</i>	12
<i>Obr. 2 Osvětlenost elementární plošky</i>	12
<i>Obr. 3 Jas</i>	13
<i>Obr. 4 Lom záření na rozhraní prostředí n_1 a n_2</i>	14
<i>Obr. 5 Zrcadlový odraz</i>	16
<i>Obr. 6 Rozptylný odraz</i>	16
<i>Obr. 7 Smíšený odraz</i>	16
<i>Obr. 8 Rovnoměrně rozptylný odraz</i>	17
<i>Obr. 9 Směrově rozptylný odraz</i>	17
<i>Obr. 10 Přímý prostup</i>	18
<i>Obr. 11 Rozptylný prostup</i>	18
<i>Obr. 12 Smíšený prostup</i>	19
<i>Obr. 13 Rovnoměrně rozptylný prostup</i>	19
<i>Obr. 14 Směrově rozptylný prostup</i>	20
<i>Obr. 15 Rozdělení světelných zdrojů podle rozložení světelného jasu [6]</i>	29
<i>Obr. 16 Ukázka řízení regulace osvětlení</i>	33
<i>Obr. 17 Funkční struktura řídicích systémů</i>	34
<i>Obr. 18 Centralizovaný systém</i>	35
<i>Obr. 19 Hybridní systém</i>	35
<i>Obr. 20 Decentralizovaný systém</i>	36
<i>Obr. 21 Příklad systému KNX/EIB [8]</i>	37
<i>Obr. 22 Příklad struktury systému KNX/EIB[8]</i>	38
<i>Obr. 23 Příklad struktury systému LonWorks [11]</i>	40
<i>Obr. 24 Příklad struktury systému Modbus</i>	41
<i>Obr. 25 Příklad struktury systému DALI [4]</i>	41
<i>Obr. 26 DALI jako samostatný systém [4]</i>	42
<i>Obr. 27 DALI jako samostatný podsystém [4]</i>	43
<i>Obr. 28 DALI jako závislý podsystém [4]</i>	43
<i>Obr. 29 Činitel zastínění terénu [1]</i>	48
<i>Obr. 30 Činitel denní osvětlenosti a jeho složky [14]</i>	49
<i>Obr. 31 Analytické metody výpočtu činitele denní osvětlenosti [14]</i>	50

<i>Obr. 32 Daniljukův diagram pro řez [14]</i>	51
<i>Obr. 33 Daniljukův diagram pro půdorys [14]</i>	51
<i>Obr. 34 Protraktor pro osvětlovací otvor se sklonem 90° [1]</i>	52
<i>Obr. 35 Waldramův diagram [14]</i>	53
<i>Obr. 36 Arndtův vztah pro výpočet činitele denní osvětlenosti [14]</i>	53
<i>Obr. 37 Půdorys kanceláře</i>	59
<i>Obr. 38 Vizualizace prázdné místnosti ve směru k prosklené části</i>	60
<i>Obr. 39 Vizualizace prázdné místnosti ve směru od prosklené části</i>	60
<i>Obr. 40 Rozměry použitého svítidla v mm [16]</i>	61
<i>Obr. 41 Půdorys s rozmístěním svítidel</i>	61
<i>Obr. 42 Vizualizace rozmístění svítidel v místnosti</i>	61
<i>Obr. 43 Půdorys s rozmístěním vybavení</i>	62
<i>Obr. 44 Vizualizace vybavené kanceláře - celkový pohled</i>	62
<i>Obr. 45 Vizualizace vybavené kanceláře - pohled na zadní část</i>	63
<i>Obr. 46 Orientace místnosti na světové strany</i>	63
<i>Obr. 47 Půdorys s hodnotami intenzit denního osvětlení na srovnávací rovině</i>	64
<i>Obr. 48 Vizualizace denního osvětlení směrem od prosklené části</i>	64
<i>Obr. 49 Vizualizace denního osvětlení směrem k prosklené části</i>	65
<i>Obr. 50 Rozložení intenzity denního světla na površích v nepravých barvnách</i>	65
<i>Obr. 51 Rozložení intenzity denního světla na površích v nepravých barvnách</i>	65
<i>Obr. 52 Půdorys s hodnotami intenzit umělého osvětlení na srovnávací rovině</i>	66
<i>Obr. 53 Vizualizace umělého osvětlení směrem od prosklené části</i>	67
<i>Obr. 54 Vizualizace umělého osvětlení směrem k prosklené části</i>	67
<i>Obr. 55 Rozložení intenzity umělého světla na površích v nepravých barvnách</i>	67
<i>Obr. 56 Rozložení intenzity umělého světla na površích v nepravých barvnách</i>	68
<i>Obr. 57 Půdorys s nastavením výkonů svítidel a průhledností oken</i>	69
<i>Obr. 58 Půdorys s hodnotami intenzit sdruženého osvětlení na srovnávací rovině</i>	69
<i>Obr. 59 Vizualizace sdruženého osvětlení směrem od prosklené části</i>	70
<i>Obr. 60 Vizualizace sdruženého osvětlení směrem k prosklené části</i>	71
<i>Obr. 61 Rozložení intenzity sdruženého světla na površích v nepravých barvnách</i>	71
<i>Obr. 62 Rozložení intenzity sdruženého světla na površích v nepravých barvnách</i>	71
<i>Obr. 63 Půdorys s nastavením výkonů svítidel a průhledností oken</i>	72
<i>Obr. 64 Půdorys s hodnotami intenzit sdruženého osvětlení na srovnávací rovině</i>	72

<i>Obr. 65 Vizualizace sdruženého osvětlení směrem od prosklené části.....</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 66 Vizualizace sdruženého osvětlení směrem k prosklené části.....</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 67 Rozložení intenzity sdruženého světla na površích v nepravých barvnách</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 68 Rozložení intenzity sdruženého světla na površích v nepravých barvnách</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 69 Půdorys s nastavením výkonů svítidel a průhledností oken</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 70 Půdorys s hodnotami intenzit sdruženého osvětlení na srovnávací rovině</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 71 Vizualizace sdruženého osvětlení směrem od prosklené části.....</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 72 Vizualizace sdruženého osvětlení směrem k prosklené části.....</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 73 Rozložení intenzity sdruženého světla na površích v nepravých barvnách</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 74 Rozložení intenzity sdruženého světla na površích v nepravých barvnách</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 75 Rozdělení místnosti na plochy podle osvětlení</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 76 Měsíční spotřeba elektrické energie automatického řídicího systému</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 77 Měsíční spotřeba elektrické energie manuálního řídicího systému</i>	<i>80</i>
<i>Obr. 78 Měsíční spotřeba elektrické energie automatického řídicího systému</i>	<i>80</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1</i> Hodnoty indexů lomu ve vybraných prostředích	15
<i>Tab. 2</i> Třídění zrakových činností a hodnoty činitele denní osvětlenosti [1]	25
<i>Tab. 3</i> Doporučené hodnoty intenzity umělého osvětlení podle CIE [4]	26
<i>Tab. 4</i> Rozdělení světelných zdrojů podle rozložení světelného jasu [6]	29
<i>Tab. 5</i> Obecný přehled vlastností jednotlivých typů umělých světelných zdrojů	32
<i>Tab. 6</i> Činitelé odrazu světla běžných povrchů (ČSN 73 0580-1) [1]	45
<i>Tab. 7</i> Činitelé prostupu světla vybraných materiálů (ČSN 73 0580-1) [1]	46
<i>Tab. 8</i> Činitelé ztrát světla znečištěním zasklení (ČSN 73 0580-1) [1]	47
<i>Tab. 9</i> Opravný činitel znečištění (ČSN 73 0580-1) [1]	47
<i>Tab. 10</i> Činitelé ztrát světla stínícími konstrukcemi budovy (ČSN 73 0580-1) [1]	47
<i>Tab. 11</i> Hodnoty poměrných příkonů pro různé typy svítidel [15]	56