

Osvětlení jako environmentální faktor životního prostředí

Jaroslav Podolák

Bakalářská práce
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav fyziky a mater. inženýrství

akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jaroslav PODOLÁK**
Studijní program: **B 2808 Chemie a technologie materiálů**
Studijní obor: **Chemie a technologie materiálů**

Téma práce: **Osvětlení jako environmentální faktor životního prostředí**

Zásady pro vypracování:

1. Na základě doporučené literatury vypracujte literární rešerši týkající se problematiky osvětlení.
2. Pro vybrané místnosti změřte osvětlenosti a porovnejte je s normovanými hodnotami osvětlení pro konkrétní místnosti.
3. Změřte vybrané světelné veličiny.
4. Zhodnoťte naměřené výsledky a proveďte konkrétní doporučení.
5. Citujte použitou literaturu.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

1. Fojtek A., Foukal J.: Tabulky vybraných fyzikálních a technických veličin, Ostrava, 1992.
2. Bystřický V., Kaňka J.: Osvětlení, Praha, 1994.
3. Baxant P.: Elektrické teplo a světlo, Brno, 2004.
4. Netušil J.: Světlo v teorii a praxi, Praha, 1960.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Martin Vašina, Ph.D.

Ústav fyziky a mater. inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

15. února 2010

Termín odevzdání bakalářské práce:

2. června 2010

Ve Zlíně dne 15. února 2010



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



Mgr. Aleš Mráček, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně 26. 5. 2010



.....

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Cieľom tejto práce je poukázať na význam osvetlenia v živote človeka, či už ide o denné, umelé alebo združené. Teoretická časť popisuje svetlo z environmentálneho hľadiska a pojednáva o jeho vplyve na organizmus. Rovnako približuje vlastnosti svetelného žiarenia z fyzikálneho pohľadu a predstavuje niekoľko základných návrhov umelého osvetlenia. Praktická časť skúma osvetlenosť vybraných miestností a porovnáva ju s ich normovanými hodnotami. Ďalej skúma a vyhodnocuje priestup svetla danými materiálmi ako aj odrazivosť elektromagnetického žiarenia od jednotlivých povrchov.

Kľúčové slová: osvetlenie, svietidlo, činiteľ odrazu, činiteľ priestupu, činiteľ pohltienia

ABSTRACT

The aim of this work is to highlight the importance of lighting in people's life, whether it is daily natural, artificial or combined lighting. The theoretical part describes the light from an environmental perspective and discusses its impact on a human body. It describes also characteristics of light radiation from the physical point of view and presents some basic proposals for artificial lighting. The practical section examines selected illumination measurements of selected premises and compares them with their standardized values. Next, it examines and evaluates the transfer of light radiation by specific materials as well as reflectivity of electromagnetic radiation from those surfaces.

Keywords: lighting, lamp, reflection coefficient, transmission coefficient, absorption coefficient

POĎAKOVANIE

Chcel by som poďakovať vedúcemu práce Ing. Martinovi Vašinovi, PhD. za odborné rady a návrhy, ako aj za cenné pripomienky, ktoré mi poskytoval behom vypracovania bakalárskej práce. Moje poďakovanie patrí tak isto bratrancovi Ing. Petrovi Baranovi, ktorý mi pomohol s drobnými korekciami. Ďakujem tiež spolužiačke Markéte Navrátilovej, ktorá mi podala pomocnú ruku pri hľadaní potrebnej literatúry.

Motto

„Často nás až tma naučí vážiť si svetlo“

Valeriu Butulescu (*9.2.1953)

Prehlasujem, že som na bakalárskej práci pracoval samostatne a použitú literatúru som citoval. V prípade publikácie výsledkov, ak je to uvedené na základe licenčnej zmluvy, budem uvedený ako spoluautor.

V Zlíne



.....
Podpis študenta

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| ÚVOD | 10 |
| I TEORETICKÁ ČASŤ | 12 |
| 1 SLNKO A JEHO ŽIARENIE | 13 |
| 1.1 ELEKTROMAGNETICKÉ ŽIARENIE..... | 13 |
| 1.1.1 Elektromagnetické vlnenie..... | 13 |
| 1.1.2 Elektromagnetické spektrum..... | 13 |
| 2 ZÁKLADNÉ VELIČINY A JEDNOTKY | 16 |
| 2.1 RÁDIOMETRICKÉ VELIČINY | 16 |
| 2.2 FOTOMETRICKÉ VELIČINY | 17 |
| 3 ČLOVEK A DENNÉ SVETLO | 19 |
| 3.1 ZRAK, VIDENIE A ZRAKOVÝ ORGÁN | 19 |
| 3.1.1 Stavba očnej gule | 19 |
| 3.1.2 Vlastnosti zraku..... | 21 |
| 3.1.3 Videnie | 21 |
| 3.2 VÝZNAM DENNÉHO SVETLA | 22 |
| 3.2.1 Svetlo a jeho účinky na človeka..... | 23 |
| 3.2.2 Kritéria svetelného stavu..... | 25 |
| 3.3 OSVETĽOVACIE SYSTÉMY..... | 26 |
| 3.3.1 Svetelné straty pri priechode svetla cez osvetľovací otvor | 27 |
| 4 UMELE OSVETLENIE | 29 |
| 4.1 ROZDELENIE SVETELNÝCH ZDROJOV | 29 |
| 4.2 CHARAKTERISTIKA UMELEHO OSVETLENIA..... | 30 |
| 4.3 ROZDELENIE UMELEHO OSVETLENIA | 30 |
| 4.4 SVIETIDLO..... | 31 |
| 4.4.1 Krivky svietivosti | 32 |
| 5 ZDRUŽENÉ OSVETLENIE | 35 |
| 5.1 ZÁSADY RIEŠENIA ZDRUŽENÉHO OSVETLENIA..... | 36 |
| 6 INTERAKCIA SVETELNÉHO ŽIARENIA S TELESOM ALEBO PROSTREDÍM | 38 |
| 6.1 ENERGETICKÁ BILANCIA ŠÍRENIA SVETLA | 38 |
| 6.2 SVETLOTECHNICKÉ VLASTNOSTI MATERIÁLOV | 39 |
| 6.2.1 Činiteľ odrazu..... | 39 |
| 6.2.2 Činiteľ priestupu..... | 41 |
| 6.2.3 Činiteľ pohltienia..... | 42 |
| 7 SVETLOTECHNICKÝ PROJEKT | 43 |
| 7.1 SVETLOTECHNICKÉ VÝPOČTY..... | 43 |
| 7.1.1 Metóda pomerných príkonov | 43 |
| 7.1.2 Toková metóda..... | 44 |
| 7.1.3 Bodová metóda..... | 44 |
| II PRAKTICKÁ ČASŤ | 47 |
| 8 MERACIE PRÍSTROJE OSVETLENIA | 48 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 8.1 | LUXMETER | 48 |
| 9 | PRAKTICKÉ MERANIE OSVETLENIA | 50 |
| 9.1 | PRAKTICKÉ MERANIE OSVETLENIA INTERIÉRU ŠKOLY | 51 |
| 9.1.1 | Cieľ a postup práce..... | 51 |
| 9.1.2 | Vypracovanie | 52 |
| 9.1.3 | Výpočty | 56 |
| 9.1.4 | Zhrnutie a záver..... | 56 |
| 9.2 | PRAKTICKÉ MERANIE ČINITEĽA ODRAZU SVETLA OD POVRCHOV..... | 57 |
| 9.2.1 | Cieľ a postup práce..... | 57 |
| 9.2.2 | Vypracovanie | 58 |
| 9.2.3 | Výpočty | 61 |
| 9.2.4 | Zhrnutie a záver..... | 61 |
| 9.3 | PRAKTICKÉ MERANIE ČINITEĽA PRIESTUPU SVETLA CEZ MATERIÁLY | 62 |
| 9.3.1 | Cieľ a postup práce..... | 62 |
| 9.3.2 | Vypracovanie | 64 |
| 9.3.3 | Výpočty | 69 |
| 9.3.4 | Zhrnutie a záver..... | 70 |
| | ZÁVER | 71 |
| | ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY | 72 |
| | ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK..... | 74 |
| | ZOZNAM VELIČÍN | 75 |
| | ZOZNAM OBRÁZKOV | 77 |
| | ZOZNAM TABULIEK | 78 |

ÚVOD

Dnešná spoločnosť sa snaží o vytvorenie vyspelej a prosperujúcej civilizácie za pomoci vedecko-technického pokroku. Popri tomto prirodzenom vývoji, ľudstvo kladie v posledných rokoch veľký dôraz na životné prostredie, ktoré je spojené s týmto pokrokom. Rovnako ako voda, pôda, vzduch, organizmy, tak aj svetlo patrí medzi významné faktory životného prostredia. Ak chceme, aby toto prostredie bolo pre nás prínosom a uspokojovalo naše psychické i fyziologické potreby, mali by sme mať dostatočný prísun slnečného žiarenia počas celého roka.

Žiaľbohu, človek dnes trávi podstatnú časť svojho života v uzavretých miestnostiach často s nedostatočným prísunom denného svetla. Ako náhrada sa využíva prevažne umelé osvetlenie. Takýto „moderný“ druh osvetlenia je dôležitou zložkou drvivej väčšiny ľudskej činnosti vo večerných hodinách, prípadne po západe Slnka. Ba čo viac, môže byť dokonca kvantitatívne zrovnateľné s časom, ktorý strávime na dennom svetle.

Postupom času sa človek vďaka novým objavom vymanil zo závislosti na slnečnom žiarení aj keď jeho úplná náhrada nie je možná, pretože Slnko má podstatný význam na správnosť fungovania organizmu. S vynálezom električky a následne elektrického osvetlenia sa ľudstvu otvorili brány, ktoré boli pre neho doposiaľ nedosiahnuteľné. Mohol sa tak začať venovať činnostiam, ktoré boli späté s nutnou potrebou svetla, aj mimo dňa. Dá sa jednoducho povedať, že rozvoj umelého osvetlenia je obrazom hospodárskej, ekonomickej, kultúrnej a energetickej vyspelosti daného štátu.

Aj keď si to človek neuvedomuje v dnešnej dobe svetlotechnika zasahuje do všetkých odvetví národného hospodárstva. Či už ide o osvetlenie ulíc, domácností, fabrík, nemocníc, štadiónov, ciest, komunikácií, budov a architektúr, parkov, námestí a v neposlednom rade i dopravných prostriedkov.

Vo výrobnom sektore sa kladie čoraz väčší dôraz na získavanie zrkovných informácií za pomoci umelého osvetlenia. Deje sa to najmä kvôli stúpajúcej kvalite výrobkov, s čím súvisí aj ich kontrola. Stúpajú tiež nároky na presnosť a kvalitu práce celého pracoviska. S tým je samozrejme spojené aj výborne zvládnuté a technicky dobre vyriešené osvetlenie prostredia v ktorom sú tieto činnosti vykonávané. Malo by sa zamedziť prílišnému oslneniu ako aj nedostatočnému množstvu svetla, ktoré vyvoláva únavu pracovníkov a nepresnosti vo výrobe. O bezpečnosti na pracovisku, ktorá s tým bezprostredne súvisí ani

nehovoriac. Dôležité sú pritom normy, ktoré by mali garantovať bezpečnosť, zvýšenú pracovnosť a zníženú únavu ľudí pri akejkoľvek činnosti.

Okrem spomínaného využitia, má svetlo význam aj ako relaxačná metóda alebo nachádza uplatnenie v zdravotníctve. Preto je veľmi dôležité zaoberať sa jeho štúdiom. Časom sa preto vytvorili rôzne meracie postupy a teórie, na základe ktorých sa vyvinuli meracie zariadenia. Zisťovalo sa chovanie žiarenia v rôznych prostrediach, skúmali sa, okrem iného, i jeho odraz, priestup a pohltenie. Skúmali sa teda rôzne fyzikálne vlastnosti. Dôležité je pritom poznamenať, že časom bude množstvo obyvateľov na planéte pribúdať a bude rásť i rozloha obydľí a miest a preto bude potreba prehĺbenia poznatkov o svetle. Dôjde k ekonomicky výhodnejšej výrobe a prevádzke a k dokonalejšiemu osvetleniu.

Jednoducho povedané, svetlo je pre život na našej planéte, tak ako aj pre človeka, nenahraditeľným pomocníkom a zdrojom energie, pričom bez slnečného, umelého či združeného žiarenia by náš svet neexistoval tak ako ho poznáme dnes.

I. TEORETICKÁ ČASŤ

1 SLNKO A JEHO ŽIARENIE

Pre existenciu života na Zemi je nevyhnuté Slnčné žiarenie, ktoré je uvoľňované pri termonukleárných reakciách prebiehajúcich na povrchu Slnka. Toto žiarenie svojou energiou a zložením priamo ovplyvňuje prírodné zákony prebiehajúce na našej planéte. Slnko je vzdialené od Zeme v priemere asi 150 miliónov km a svetlo vyžiarené z jeho povrchu dopadne na Zem približne za 8 minút. Má priemer 1 392 000 km. Je teda 109 krát väčšie, ako naša modrá planéta.[1], [5], [10] a [11]

1.1 Elektromagnetické žiarenie

1.1.1 Elektromagnetické vlnenie

Žiarenie je vo svojej podstate vysielanie, príp. prenos energie vo forme elektromagnetických vln alebo hmotných častíc, pričom elektrické E a magnetické vlnenie B sú navzájom na seba kolmé. Elektromagnetické vlny, resp. zväzky fotónov, sú podľa Einsteina určené dvoma fyzikálnymi veličinami a to vlnovou dĺžkou λ a frekvenciou f . Ich vzájomný vzťah je daný:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

kde c je rýchlosť svetla vo vzduchoprázdne, teda elektromagnetické žiarenie vo vákuu, pričom $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Elementárne množstvo elektromagnetického žiarenia poznáme pod pojmom fotón. Fotón je prúd častíc a jeho energiu spočítame ako:

$$E = h \cdot f \quad (2)$$

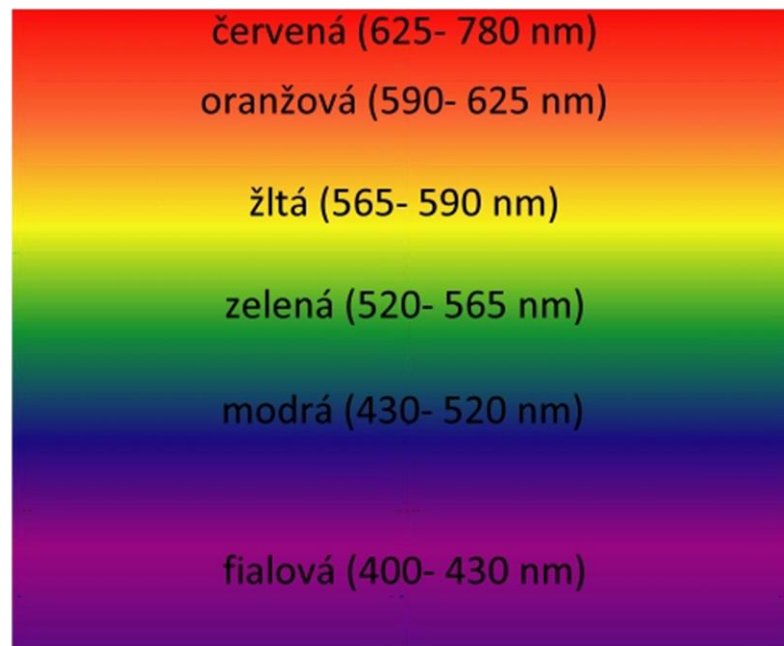
kde h Planckova konštanta, ktorej hodnota $h = 6,65 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$.

[3], [5], [13]

1.1.2 Elektromagnetické spektrum

Elektromagnetické spektrum, inak povedané „farba“ svetla, obsahuje žiarenie všetkých vlnových dĺžok.

- a) *Rádiové vlny*- ich vlnová dĺžka je v kilometroch až milimetroch. Vyžívajú sa na bežný prenos dát. Vysielače rádiových vln nazývame antény. Prijímačmi môžu byť rádio, televízia, mobil a pod.
- b) *Mikrovlny*- vlnová dĺžka mikrovln je v milimetroch. Využívajú sa na ohrev alebo prenos dát (mikrovlnná rúra, Wi-Fi a pod.)
- c) *Infračervené žiarenie*- jeho vlnenie je v mikrometroch. Toto žiarenie vyžarujú teplé telesá. Označenie IR (InfraRed). Čiastočne ho pohlcujú a odrážajú skleníkové plyny. Používa sa v prístrojoch pre nočné videnie, automatické spínače a pod.
- d) *Viditeľné svetlo*- obsahuje vlnové dĺžky v rozmedzí od 400 do 780 nm. Tento rozsah však nemôžeme presne definovať. Môže sa meniť v závislosti od pozorovateľa. Zaujímavosťou je, že v tejto oblasti Slnko vyžaruje maximum energie. Pre viditeľné svetlo sú špecifické spektrálne farby v závislosti od jednotlivých vlnových dĺžok.

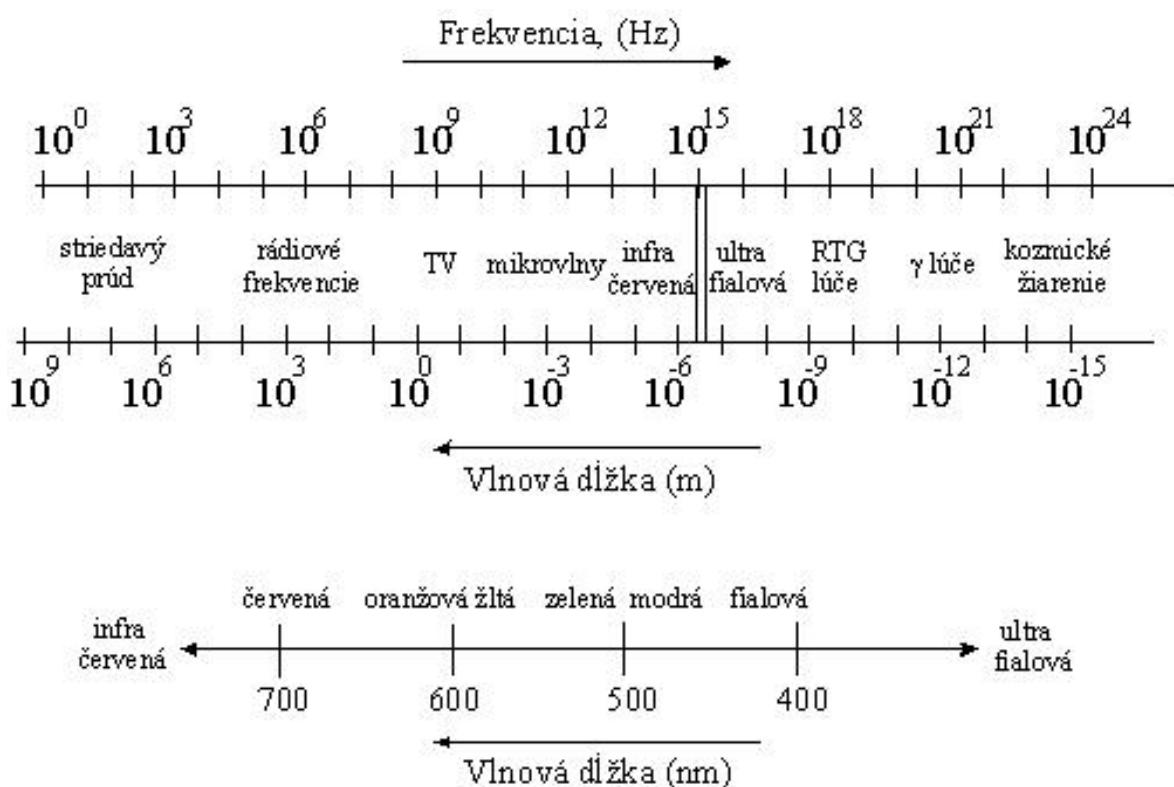


Obr. 1. Spektrum viditeľného žiarenia [13]

- e) *Ultrafialové žiarenie*- jeho vlnové dĺžky sú v desiatkach až stovkách nanometrov. Vyžarujú ho elektróny v atóme pri prechode medzi vnútornými hladinami, prípadne veľmi horúce telesá. Označenie UV (UltraViolet). Drvivá väčšina tohto žiarenia je pohlcovaná ozónovou vrstvou.

- f) *Röntgenove žiarenie*- je oblasť vlnových dĺžok v jednotkách až desatinách nanometrov. Preniká vrstvami rôznych materiálov. Využíva sa v lekárstve a pri dezinfekcií. Je zachytávané atmosférou.
- g) *Gama žiarenie*- obsahuje vlnové dĺžky kratšie ako 1 nanometer. Je silne prenikavé a má vysokú energiu. Zachytáva ho atmosféra Zeme. [3], [5], [13]

Bez atmosféry Zeme, by nebol možný život na jej povrchu. Chráni totiž planétu pred dopadajúcim kozmickým žiarením z vesmíru. Príroda to našťastie zariadila tak, aby prepúšťala rádiové vlny o vlnových dĺžkach v rozmedzí len od 1cm do 20 m. Tiež, aby prepúšťala čiastočne IR o vlnových dĺžkach kratších ako 10 μm . Viditeľné žiarenie, ktoré je potrebné na vznik života atmosféra nezachytí. Blízke UV s vlnovou dĺžkou väčšou ako 300 nm je schopná prepustiť. Kratšie vlnové dĺžky ostávajú zachytené v atmosfére, čo má za následok možný vznik života na Zemi. [3], [5], [13]



Obr. 2. Elektromagnetické spektrum [14]

2 ZÁKLADNÉ VELIČINY A JEDNOTKY

Tak ako je v technickej praxi známe, sú aj v prípade svetelnej techniky definované základné pojmy a veličiny, ktoré sú zavedené na základe medzinárodnej dohody. [5]

2.1 Rádiometrické veličiny

Popisom prenosu energie zo zdroja na detektor sa zaoberá Rádiometria. K základným rádiometrickým veličinám patrí:

- a) *Žiarivý tok*- vyjadruje výkon prenášaný žiarením. Inými slovami je to množstvo žiarivej energie, prenesenej tokom fotónov za jednotku času. Jednotka [W] = 1 watt.

$$\phi_e = \frac{dQ_e}{dt} \quad (3)$$

- b) *Množstvo žiarenia*- súčin žiarivého toku a času. Jej jednotkou je [J] = 1 joule.

$$Q_e = \int \phi_e dt \quad (4)$$

- c) *Žiarivosť*- podiel žiarivého toku vyžiareného zdrojom v smere elementárneho priestorového uhla a veľkosti tohto priestorového uhla. Jednotkou je [W.sr⁻¹] = watt na steradián.

$$I_e = \frac{d\phi_e}{d\Omega} \quad (5)$$

(Pozn: 1 steradián je plocha 1 m² na povrchu gule s polomerom r = 1 m.)

- d) *Priestorový uhol*- uhol pri vrchole svetelného kužeľa, vymedzujúci plochu A z plochy gule s polomerom r. Jednotka [sr] = steradián.

$$d\Omega = \frac{dA}{r^2} \quad (6)$$

- e) *Žiara*- podiel žiarivého toku, ktorý vychádza, dopadá alebo tiež prechádza elementárnou plochou v danom bode a šíri sa elementárnym priestorovým uhlom v danom smere a súčinu tohto priestorového uhla a priemetu tejto plochy na rovinu kolmú na daný smer. Jednotkou je [W.sr⁻¹.m⁻²] = watt na steradián a meter štvorcový.

$$L_e = \frac{dI_e}{dA \cos\theta} \quad (7)$$

f) *Intenzita vyžarovania*- podiel žiarivého toku a plochy z ktorej je tento žiarivý tok vyžarovaný. Jednotka je $[\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$ = watt na meter štvorcový.

$$M_e = \frac{d\phi_e}{dA} = \int L_e \cos\theta d\Omega \quad (8)$$

g) *Intenzita ožiarenia*- žiarivý tok vzťahnutý na jednotku plochy, ktorá je ožarovaná, teda žiarivý tok na ňu dopadajúci. Jednotkou je $[\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$ = watt na meter štvorcový.

$$E_e = \frac{d\phi_e}{dA} \quad (9)$$

h) *Dávka žiarenia*- podiel množstva žiarenia a veľkosti ožiarenej plochy alebo tiež súčin intenzity ožiarenia a času. Jej jednotkou je $[\text{J} \cdot \text{m}^{-2}]$ = joule na meter štvorcový.

$$H_e = \frac{dQ_e}{dA} = \int E_e dt \quad (10)$$

[3], [5], [9], [11] a [15]

2.2 Fotometrické veličiny

Náuka o meraní svetla sa nazýva Fotometria. Popisuje spektrálnu citlivosť ľudského oka, kde k popisu vnemov rádiometrické veličiny nie je možné použiť. K základným fotometrickým veličinám patrí:

a) *Svetelný tok*- schopnosť žiarivého toku vzbudiť zrakový vnem. Jednotka je $[\text{lm}]$ = lúmen. Pre prepočet rádiových (žiarivých) veličín na fotometrické slúži nasledovný prepočet.

$$1 \text{ lm} = 147 \cdot 10^{-5} \text{ W} \text{ a teda } 1 \text{ W} = 680 \text{ lm} \quad (11)$$

$$\phi = 680 \text{ lm}$$

b) *Svetelné množstvo*- súčin svetelného toku a času. Jednotka $[\text{lm} \cdot \text{s}]$ = lúmenssekunda.

$$Q = \int \phi dt \quad (12)$$

c) *Svietivosť*- podiel svetelného toku vyžiareného zdrojom v niektorom smere do elementárneho priestorového uhlu a veľkosti tohto uhla. Jednotkou je $[\text{cd}]$ = kandela.

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

- d) *Jas*- podiel svetelného toku, ktorý vychádza, dopadá alebo tiež prechádza elementárnou plochou v danom bode a šíri sa elementárnym priestorovým uhlom v danom smere a súčinu tohto priestorového uhla a priemetu tejto plochy na rovinu kolmú na daný smer. Jednotkou jasu je $[\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}]$ = kandela na meter štvorcový.

$$L = \frac{d^2\phi}{d\Omega dA \cos\theta} = \frac{dI}{dA \cos\theta} \quad (14)$$

- e) *Svetlenie*- podiel svetelného toku vyžarovaného plochou a veľkosti tejto plochy. Jednotka $[\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}]$ = lúmen na meter štvorcový.

$$M = \frac{d\phi}{dA} = \int L \cos\theta d\Omega \quad (15)$$

- f) *Intenzita osvetlenia (osvetlenosť)*- podiel svetelného toku, ktorý dopadá na osvetľovanú plochu, inak povedané vyjadruje plošnú hustotu dopadajúceho svetelného toku. Jednotka $[\text{lx}]$ = lux.

$$E = \frac{d\phi}{dA} \quad (16)$$

- g) *Osvit*- podiel svetelného množstva a veľkosti osvetľovacej plochy, alebo aj súčin intenzity osvetlenia a času. Jednotka je $[\text{lx} \cdot \text{s}]$ = luxsekunda.

$$H = \frac{dQ}{dA} = E dt \quad (17)$$

[3], [5], [9], [11]

3 ČLOVEK A DENNÉ SVETLO

Drvivá väčšina ľudských aktivít je spojená prevažne s vykonávaním zrakovej činnosti alebo práce, pri ktorej je potrebné svetlo. Rovnako je spojená s potrebou získavania zrakových informácií z okolia. Dá sa jednoducho povedať, že svetlo je nositeľom všetkých zrakových podnetov. O zrakovej pohode človeka rozhoduje predovšetkým množstvo svetla, ktoré sa nachádza v interiéri budovy, ako aj jeho priestorové rozdelenie. Tak isto je dôležité jeho spektrálne zloženie a svetelné pomery v zornom poli pozorovateľa. Osvetlenie v interiéri je preto neodmysliteľnou súčasťou životného a pracovného prostredia v budovách, kde sa vykonáva zrková činnosť. Čo sa týka pracovnej činnosti vonku, tá je prevažne závislá na dennom svetle, pričom potreba umelého osvetlenia v rámci exteriéru neustále narastá. [8]

3.1 Zrak, videnie a zrakový orgán

Zrak slúži predovšetkým k orientácii človeka v prostredí. Zrakový orgán analyzuje svetelné podnety z okolia a premieňa ich na zrakový vnem. Je to pomerne zložitý proces, ktorý sa skladá z celého radu zložitých dejov. Tieto deje vznikajú v oku a prenášajú sa prostredníctvom nervovej sústavy do zrakového centra, ktoré sa nachádza v mozgovej kôre. Funkciu zraku možno rozdeliť na tieto základné zložky:

- *Vytvorenie obrazu pozorovaného predmetu na sietnici*
- *Základná analýza a syntéza na sietnici*
- *Prenos nervových vzruchov do zrakového centra v mozgovej kôre*
- *Vznik zrakových reflexov*

Zrakový orgán človeka je súbor zložený z očnej gule, optických nervových dráh a z časti mozgovej kôry, ktorý reaguje na svetelné podnety tým, že ich mení na komplex nervových podráždení. Prejavom toho všetkého je zrakový vnem. [1], [3], [7], [9]

3.1.1 Stavba očnej gule

Oko, ako je zrejmé, je čidlo zrakového orgánu a má približne guľovitý tvar. Stenu očnej gule tvoria tri vrstvy- očné bielko, ciefovka a sietnica.

- a) *Očné bielko*- tvorí vonkajší väzivový obal oka. V prednej časti sa nachádza vyklenutá priehľadná *rohovka*. Priestor za rohovkou, ktorý sa nazýva očná komora, vyplňa očná komorová voda.
- b) *Cievovka*- tvorí strednú vrstvu, ktorá je bohato popretkávaná cievami. Tu sa nachádza aj hnedé farbivo, ktoré zabraňuje rozptylu svetla. Z cievovky vystupuje vpredu *dúhovka*, ktorá je pigmentovaná. Dúhovka má v strede otvor nazývaný *zrenica*, ktorej veľkosť sa mení v závislosti od intenzity svetla. Za dúhovkou vystupuje z cievovky sval, v ktorom je uložená šošovka. Tento sval mení zakrivenie šošovky, čím mení jej ohniskovú vzdialenosť. Šošovka je tvorená tuhou, rôsolovitou, priehľadnou a pružnou hmotou, ktorá je schopná akomodácie (schopnosť meniť ohniskovú vzdialenosť).
- c) *Sietnica*- nachádza sa vo vnútornej vrstve očnej gule. Je pokrytá epitelovým tkanivom s dvojakými zmyslovými bunkami:
- *Tyčinky*- sú citlivejšie na svetlo, spôsobujú videnie za šera.
 - *Čapíky*- umožňujú farebné vnímanie. Je ich 20 krát menej ako tyčiniek!

Najviac receptorov sa nachádza v tzv. *žltej škvrne*, kde sa nachádzajú len čapíky. Žltá škvrna je miesto najostrejšieho videnia. Ďalšou dôležitou časťou sietnice je *slepá škvrna*. V nej stupuje do oka zrakový nerv. Tu však zmyslové bunky chýbajú a preto obraz dopadajúci na toto miesto nevnímame. Vnútornú dutinu oka vyplňa rôsolovitá hmota, ktorá je priehľadná a nazýva sa *sklovec*. [1], [3], [9], [12]

Na očnú guľu sa upínajú okohybné svaly, ktoré otáčajú okom. Súčasťou oka je tiež slzná žľaza, ktorá sa nachádza na vonkajšom hornom okraji očnice. Funkcia slz je zvlhčovanie rohovky resp. oka. Oko je chránené pred vonkajšími nečistotami mihalnicami, z ktorých vyrastajú riasy. [1], [3], [9]



Obr. 3. Stavba oka [16]

3.1.2 Vlastnosti zraku

Zorné pole

Je množina všetkých bodov, ktoré môžeme postrehnúť upreným vodorovným pohľadom bez pohybu očí a hlavy. Rozlišujeme dve monokulárne polia (pre ľavé a pravé oko) a časť, kde sa obe polia prekrývajú nazývame binokulárne pole. [3], [8]

Akomodácia

Prispôsobenie oka vzdialenosti pozorovaného predmetu pomocou zakrivenia šošovky nazývame akomodácia. Zakrivenie šošovky prebieha za pomoci akomodačných svalov. Akomodačná schopnosť sa znižuje s narastajúcim vekom. [3], [8]

Adaptácia

Je prispôsobenie citlivosti zraku jasú a farbe okolia, ktoré pozorujeme. Deje sa za pomoci súčasnej adaptácie sietnice a zmeny priemeru zornice. Rozlišujeme pritom adaptáciu na tmú a adaptáciu na svetlo. [2], [3], [8]

Zraková ostrosť

Schopnosť oka zreteľne rozlišovať predmety vo veľmi malej vzájomnej vzdialenosti nazývame zraková ostrosť. Narastá s pribúdajúcim jasom a znižuje sa s narastajúcim vekom človeka. [3], [8]

3.1.3 Videnie

Videnie je jednoducho povedané poznávanie okolitého prostredia zmyslovými svetelnými vnemami, vzbudzovanými svetlom, ktoré vniká do oka pozorovateľa. Rozoznávame tri druhy videnia:

- a) *Denné (fotopické)*- v činnosti sú prevažne čapíky, videnie je farebné a ostré.
- b) *Nočné (skotopické)*- v činnosti sú hlavne tyčinky, videnie je nefarebné a neostré.
- c) *Súmracne (mezopické)*- v činnosti sú súčasne čapíky aj tyčinky, videnie je čiastočne farebné, ale neostré. [3], [8]

Kontrast

Je schopnosť zraku rozlišovať rozdiel jasú a závisí predovšetkým od druhu a činiteľa odrazu kritického detailu a bezprostredného okolia. Tak isto závisí od intenzity osvetlenia. [3]

Oslnenie

Nepriaznivý stav zraku, ktorý narušuje zrakovú pohodu, prípadne zhoršuje až znemožňuje videnie voláme oslnenie. Príčinou môže byť príliš veľký jas alebo nevhodné rozloženie jasu v zornom poli pozorovateľa. Dochádza teda k prekročeniu adaptácie zraku, ktoré je spôsobené priamym alebo odrazeným svetlom. Oslnenie rozdeľujeme podľa stupňa pôsobenia na:

- a) *Rušivé (psychologické)*- vyvoláva nepríjemný pocit, teda zrakovú nepohodu bez zníženia zrakových schopností. Oslňujúci zdroj upútava na seba pozornosť na úkor miesta, na ktoré by mal byť zameraný zrak.
- b) *Obmedzujúce (fyziologické)*- zhoršuje podstatne činnosť zraku, rozlíšiteľnosť a ostrosť videnia. Môže nastať únava pozorovateľa.
- c) *Oslepujúce (absolútne)*- je tak intenzívne, že znemožňuje videnie aj po zániku jeho príčiny. Môže byť pre človeka nebezpečné. [3], [8], [12]

Kolísanie svetla (stroboskopický jav)

Pomalé alebo nepravidelné zmeny svetelných hodnôt, ktoré zhoršujú činnosť zraku nazývame stroboskopický jav. Nastáva pri napájaní výbojových zdrojov svetla striedavým prúdom. Môže byť i nebezpečné. [3], [8]

3.2 Význam denného svetla

Ako bolo spomenuté, svetlo je elektromagnetické žiarenie, ktoré má duálny charakter, resp. vlnovo- časticový. Viditeľné svetlo má rozsah vlnových dĺžok 400 až 780 nm. Je to vlnenie, ktoré zachytí ľudské oko. Pre zaujímavosť, človek vidí najlepšie zelenú časť spektra a to pri $\lambda_{\max} = 555$ nm. Na dennom svetle je založené fungovanie živej a z časti aj neživej prírody. Sú dva hlavné dôvody, prečo dávame prednosť dennému osvetleniu pred umelým. [5], [8]

Dôvod hygienický

Denné svetlo je dôležité pre správne fyziologické a psychologické fungovanie organizmu a je preto pre človeka nenahraditeľné. I keď technologický pokrok umelého osvetlenia neustále narastá, denné osvetlenie je pre človeka priaznivejšie a rozdiely v účinkoch sú

mnohostranné. V novopostavených budovách musí byť takýto druh vyhovujúceho osvetlenia v priestoroch ako:

- a) *Obytné miestnosti bytov*
- b) *Spálne a izbové zariadenia pre dlhodobé ubytovanie a dlhodobú rekreáciu*
- c) *Denné miestnosti zariadení pre predškolskú výchovu*
- d) *Učebne škôl*
- e) *Vyšetrovne a lôžkové miestnosti zdravotných zariadení*
- f) *Miestnosti pre oddych a jedálne určené pre užívateľov vnútorných priestorov bez prístupu denného svetla*

Ostatné vnútorné priestory, ktoré sú určené k trvalému pobytu ľudí, musia byť navrhnuté tak, aby čo najviac využívali denné svetlo, a ktoré musia byť osvetľované takýmto druhom svetla v súlade s ich funkciou. [8]

Dôvod ekonomický

Denné osvetlenie predstavuje taktiež priame využitie slnečnej energie bez potreby využívania eklektickej energie, ktorá sa premieňa na svetelné žiarenie. Tým pádom klesajú náklady na prevádzku budov. Technicky optimálne navrhnutou a stavebne dobre vyriešenou stavbou s priamym využitím slnečného žiarenia obmedzujeme dobu používania umelého osvetlenia, čo je aj hlavnou príčinou navrhovania takéhoto druhu osvetlenia na pracoviskách. V priestoroch, kde sa nepočíta s trvalým pobytom ľudí, navrhujeme denné osvetlenie, tak aby bolo účelné, hospodárne a ekonomicky výhodné. [8]

3.2.1 Svetlo a jeho účinky na človeka

Človek je z hľadiska vývoja pochopiteľne prispôsobený na vnímanie denného svetla. V nedávnych dobách sa ľudstvo spoliehalo len na prísun takéhoto osvetlenia. Zvykol si na pomerne vysokú intenzitu žiarenia, premenlivý jas oblohy, prispôobil sa dynamickým zmenám svetelného toku a množstvu denného svetla. S civilizačným pokrokom sa však jeho návyky zmenili. Obmedzil sa pohyb v exteriéry a vo voľnej prírode. V pracovnej dobe je z hľadiska času množstvo takéhoto žiarenia extrémne znížené a dá sa povedať, že v zimných mesiacoch úplne chýba. Preto rapídne stúpol význam denného svetla vo vnútorných priestoroch. Na druhej strane, neustále narastá zraková náročnosť na pracovisku. Pri-

tom denné svetlo má oproti umelému osvetlenie značné výhody a dá sa dokonca povedať, že denné osvetlenie je pre človeka nenahraditeľné. [5], [7]

Fyziologické účinky svetla

Ľuďom sa v rozvinutých krajinách neustále zhoršuje zrak. Situácia je čoraz hrozivejšia u dospievajúcej populácie a zdá sa, že tento fenomén bude len narastať. Dlhé hodiny učenia, časté sledovanie televízie a práce pri počítači vedú k tomu, že čoraz viac mládeže potrebuje okuliare vplyvom umelo získanej krátkozrakosti. Príčinou môže byť tiež zhoršujúce sa životné prostredie, zlá životospráva a nedostatok pohybu, ktoré môžu viesť k ochabovaniu očných svalov. Pritom tieto poruchy v rannom štádiu možno ľahko eliminovať. Oči, ako aj iné časti organizmu, treba „trénovať“ tým, že budú striedať pohľady na blízke a vzdialené predmety. Dnes, ako je spomenuté, väčšinu podnetov zrakový orgán príma z blízka. Taktiež nevhodné a zle navrhnuté osvetlenie, či už umelé, združené alebo denné, môže spôsobovať zhoršovanie zraku. Ďalšou podstatnou vecou je fakt, že denné svetlo má aj inú funkciu ako len vizuálnu. Nevizuálnou funkciou je funkcia biologická. [5]

Biologické účinky svetla

Svetlo ovplyvňuje celý rad biologický procesov na základe jeho vlnovej dĺžky. Ak budeme uvažovať aj vlnové dĺžky, ktoré ľudské oko nezachytí, napr. UV žiarenie, prideme na to, že tento druh žiarenia pomáha pri tvorbe vitamínu D. „Modré“ svetlo o $\lambda = 420$ nm vyvoláva na povrchu kože fotochemické procesy, čo má za následok ničenie rôznych choroboplodných zárodkov. Zápalové procesy alebo popáleniny sa lepšie liečia, ak na ne posvietime svetlom o vlnových dĺžkach okolo 555 nm, čo je „zelené svetlo“. Taktiež ďalšia časť spektra pomáha v zdravotníctve pri rôznych chorobách. Známe sú biolampy a pod. [5], [7]

Z biologického hľadiska sú veľmi významné i *Cirkadiánne rytmy*. Nazývajú sa aj denné časové rytmy. Každý živý organizmus je nastavený na striedanie dňa a noci, ako aj na ubúdanie, či pribúdanie svetla v rámci ročných období. Týmto spôsobom svetlo určuje organizmu obdobie párenia, obdobie zimného spánku a pod. U človeka, rovnako ako u zvierat, s množstvom svetla narastá a klesá aktivita celej rady hormónov v krvi. Problémom dnešnej doby je fakt, že človek si tieto rytmy „dobrovoľne“ narušuje. Ľudia odchádzajú do práce skoro ráno, pracujú často krát v podmienkach, kde je nedostatočné denné aj umelé osvetlenie a vracajú sa domov v odpoľudňajších, alebo večerných hodinách, kedy je svetlo znova nedostatočné. To má za následok nie len biologické, ale aj psychické problémy. Dlhodobý nedostatok svetla môže taktiež viesť k zníženiu imunity organizmu. [5]

Psychologické účinky svetla

Najznámejší problém, ktorý sa týka nedostatku svetla je syndróm sezónnej depresie. Nastáva u všetkých vekových kategórií, pohlaví a profesií. Vyskytuje sa na konci jesene a v zimnom období. Na začiatku jari a v letných mesiacoch ustupuje až úplne vymizne. Tento stav vyvoláva okrem psychickej nepohody, aj zvýšené množstvo nemocí a zdravotných problémov, pretože psychika je úzko spätá so zdravým človeka. Tento syndróm je označovaný dokonca ako duševná porucha, ktorá sa dá odstrániť aj tým, že človeka vystavíme prirodzenému alebo umelému svetlu, ktoré sa blíži svojim spektrom dennému. Pokiaľ je poskytnutá intenzívna svetelná terapia, môže sa uzdraviť do niekoľkých dní. Choroba je považovaná za civilizáciu, pretože dnešný spôsob života sa úplne odtrhol od prirodzeného prostredia, ktorému sa ľudský organizmus prispôboval po tisícročia. [5]

Ďalšou vecou, ktorá vplýva na psychiku človeka je (okrem oslnenia, ktoré bráni svojou intenzitou v rôznych činnostiach človeka), farba. Farby u nás vzbudzujú duševné emócie a pocity. Okrem citového pôsobenia majú za následok priestorové vnímanie miestností a nabudzujú dojem:

- *Vzdialenosti*- pocit vnímania dĺžky a hĺbky priestoru.
- *Teploty*- pocit vnímania rozdielneho teplotného pôsobenia.
- *Priestoru*- vplyv prevládajúcej farby na celkové priestorové vnímanie. [2], [5]

3.2.2 Kritéria svetelného stavu

Návrh denného osvetlenia vnútorných častí budovy by mal byť volený tak, aby zabezpečoval zrakovú pohodu pre jej užívateľov. To znamená umožnenie prístupu svetla v dostatočnej kvalite a množstve, pričom tento návrh by mal spomínané kritéria pri zatiahnutej, jasnej i polojasnej oblohe, ako aj pri priamom slnečnom svetle zachovávať. [8]

Kvantitatívne kritérium

Kvantitatívnym kritériom svetelného stavu vnútorného prostredia, ktoré charakterizuje úroveň denného osvetlenia, je činiteľ dennej osvetlenosti e , ktorý sa udáva v percentách. Je definovaný ako pomer osvetlenosti E_m danej roviny interiéru k súčasnej osvetlenosti E_H nezatienenej vodorovnej roviny. Obe veličiny majú jednotku [lx]. Obyčajne postačuje stanovenie jeho hodnoty pri zatiahnutej oblohe v zimných mesiacoch, čo je najmenej priaznivý stav osvetlenia.

$$e = \frac{E_m}{E_H} 100 \% \quad (18)$$

[8], [19]

Kvalitatívne kritérium

K tomu, aby sme zaistili zrakovú pohodu nestačí len dostatočný prístup množstva svetla, ale aj svetelný stav, ktorý musí spĺňať určitú kvalitu. Jedným z najdôležitejších kvalitatívnych kritérií je rovnomernosť denného osvetlenia r , ktorá nemá jednotku a je určená pomerom minimálnej e_{min} a maximálnej e_{max} hodnoty činiteľa dennej osvetlenosti zmeranej na pracovnej rovine interiéru.

$$r = \frac{e_{min}}{e_{max}} \quad (19)$$

Ďalšími dôležitými kritériami sú rozloženie svetelného toku, rozloženie jasů plôch a ich farebné riešenie. Za zmienku stojí i možný výskyt oslnenia. Kvalitatívne kritériá sa obyčajne stanovujú aj pri iných stavoch vonkajšieho osvetlenia, než pri zatiahnutej oblohe v zime, pretože pri jasnej oblohe a priamom slnečnom žiarení v ostaných mesiacoch roka, hrozí riziko práve výskytu oslnenia. [8], [19]

3.3 Osvetľovacie systémy

Zdrojom denného svetla v interiery je slnečné žiarenie, ktoré je privádzané do budovy prostredníctvom osvetľovacích otvorov. Problémom ich správneho umiestnenia je nerovnomerná distribúcia svetla v miestnosti, čo znamená výskyt miest a priestorov s rôznou úrovňou denného osvetlenia. To má vplyv na aktivity človeka a tým aj chod budovy. Z hľadiska umiestnenia osvetľovacích otvorov, t.j. okien a svetlíkov, delíme osvetlenie na:

- a) *Bočné*- osvetľovacie otvory sú umiestnené vo zvislom obvodovom plášti budovy.
- b) *Horné*- tieto otvory sú umiestnené v strope osvetľovaného priestoru.
- c) *Kombinované*- sú kombináciou horného a bočného osvetlenia.
- d) *Druhotné*- je systém, pri ktorom je svetlo privádzané sprostredkovane cez iný osvetľovaný vnútorný priestor.
- e) *Združené*- prisvetlenie priestoru umelým svetlom, ktorý nie je možné v dostatočnej miere osvetliť svetlom denným. [8]

Osvetľovacie otvory plnia viaceré funkcie:

- *Tepelná funkcia*- umožňuje prechod infračerveného žiarenia. Nevýhoda počas leta.
- *Hygienická funkcia*- dezinfekcia prostredníctvom UV žiarenia.
- *Energetická resp. svetelná*- presvetlenie interiéru šetrí náklady na energie.
- *Psychologická*- sprostredkúva kontakt človeka s vonkajším prostredím.
- *Vetracia*- zaisťuje hygienickú výmenu vzduchu.
- *Ochranná*- chráni pred nepriaznivými vonkajšími vplyvmi ako je hluk, vietor, dážď, vniknutie cudzích osôb a pod.
- *Architektonická*- stvárnenie budovy. [8]

3.3.1 Svetelné straty pri priechode svetla cez osvetľovací otvor

Veľkosť svetelného toku sa pri priechode svetla cez osvetľovací otvor znižuje v závislosti od materiálu, z ktorého je vyrobené zasklenie, či vplyvom jeho znečistenia. Dôležitý vplyv majú i nepriesvitné časti konštrukcie okna. K ďalším svetelným stratám dochádza pri tienení konštrukcie budovy, alebo zariadení, ktoré sú trvalo inštalované v interiery. Zmenšenie svetelného toku charakterizuje činiteľ priestupu svetla τ , ktorý má bezrozmernú jednotku (*bližšie v kapitole 6.2.2*). Dôležité je poznamenať, že pre viacvrstvé okná sa výsledný činiteľ stanoví ako súčin čiastkových činiteľov. Prieupustnosť závisí aj na smere v akom svetlo prechádza cez osvetľovací otvor. [8], [19]

Činiteľ priestupu svetla teda závisí na uhle dopadu svetla na daný osvetľovací otvor. Pre jednoduché číre sklo je veľkosť činiteľa priestupu svetla daný:

$$\tau_{s,\psi} = \tau_{s,nor} \cdot \cos \psi (1 + \sin^3 \psi) + e^{\frac{-\psi}{27}} - e^{\frac{-\psi}{26}} \quad (20)$$

kde ψ je uhol medzi smerom priestupu svetla a normálou zasklenia $\tau_{s,\psi}$

Najčastejší prípad zasklenia je zasklenie dvojitým sklom. V tomto prípade činiteľ priestupu svetla vypočítame podľa vzťahu:

$$\tau_{s,\psi} = \tau_{s,nor} \cdot \cos \psi \left(1 + \frac{1}{2} \sin^2 \psi \right) \quad (21)$$

kde ψ je rovnako uhol medzi smerom priestupu svetla a normálou zasklenia $\tau_{s,\psi}$

Vplyv nepriesvitných častí konštrukcie okna (okenné rámy, žalúzie a pod.) popisujeme pomocou τ_k činiteľa priestupu svetla pri tienení konštrukcie osvetľovacieho otvoru, ktorý

neprepúšťa svetlo. Tento činiteľ je vyjadrený ako podiel priesvitnej plochy A_S a skladobnej plochy A_C osvetľovacieho otvoru, kde obe plochy sú vyjadrené v m^2 .

$$\tau_k = \frac{A_S}{A_C} \quad (22)$$

Ďalším faktorom, ktorý ovplyvňuje množstvo prepusteného svetla je znečistenie. Znečistenie môže nastať z vonkajšej alebo aj z vnútornej strany okna. Výsledný činiteľ znečistenia potom vypočítame ako súčin oboch činiteľov znečistenia.

$$\tau_Z = \tau_{z,e} \cdot \tau_{z,i} \quad (23)$$

kde $\tau_{z,e}$ je činiteľ znečistenia na vonkajšej strane otvoru a $\tau_{z,i}$ je činiteľ znečistenia na jeho vnútornej strane. [8] a [19]

Malé znečistenie vonkajšieho vzduchu je pri ročnom spáde prachu do 50 Mg/km^2 . Takéto znečistenie je typické pre voľnú krajinu a pre sídliská s množstvom obyvateľov do 2 tisíc. Stredné znečistenie vonkajšieho vzduchu pozorujeme v bežných sídliskách, pričom množstvo prachu, ktoré za rok spadne na plochu 1 km^2 , sa pohybuje od 50 do 200 Mg. Spád nad 200 Mg prachu na 1 km^2 za rok znamená veľké znečistenie vzduchu. Vyskytuje sa v priemyselných oblastiach. Okrem znečistenia vonkajšieho vzduchu, pozorujeme tiež znečistenie vnútorného vzduchu. Malé znečistenie vnútorného vzduchu existuje v priestoroch bez zdroja znečistenia, ako napr. byty, školy, zdravotné zariadenia, kancelárie a pod. Stredné znečistenie pozorujeme v okolí bežných zdrojov znečistenia, napr. skladisko, „čisté“ dielne a pod. Veľké znečistenie vnútorného vzduchu sa vyskytuje v priestoroch s významnými zdrojmi prachu. Napr. prašné dielne, priemyslové haly a pod. [8], [19]

Súhrnný činiteľ svetelnej priepustnosti je určený tromi činiteľmi. A to, činiteľom priestupu svetla pri danom uhle dopadu svetla, činiteľom priestupu svetla tienením konštrukcie osvetľovacieho otvoru a činiteľom znečistenia.

Súhrnný činiteľ svetelnej priepustnosti $\tau_{0,\psi}$ pri uhle dopadu ψ na osvetľovací otvor vypočítame:

$$\tau_{0,\psi} = \tau_{s,\psi} \cdot \tau_k \cdot \tau_Z \quad (24)$$

Súhrnný činiteľ svetelnej priepustnosti pre kolmý priebeh svetla cez okno vypočítame:

$$\tau_{0,n} = \tau_{s,nor} \cdot \tau_k \cdot \tau_Z \quad (25)$$

[8], [19]

4 UMELE OSVETLENIE

História umelého osvetlenia je asi rovnako stará ako ľudstvo samo. Už v dávnych dobách predchodcovia dnešného človeka používali oheň, mimo iné, aj ako zdroj svetla. Takýmto spôsobom sa v podstate svietilo až do vynájdenia prvej žiarovky. Vynálezcom bol Heinrich Göbel, avšak technologickú výrobu zvládol ako prvý na svete Thomas Alva Edison, ktorý mimochodom vyhral právny spor s Göbelom a preto je pripisované vynájdenie žiarovky práve jemu. Kvôli tomu za rok vynájdenia pokladáme rok 1879. [7], [17]

Umelé osvetlenie je z hľadiska významnosti totožné s denným. Môže denné osvetlenie vhodne dopĺňovať príp. nahradiť. Samozrejme nie úplne. Jeho cieľom je vytvoriť priaznivé podmienky videnia, inými slovami, vytvoriť zrakovú pohodu. Stretávame sa s ním v každodennom živote. Zasahuje do súkromnej sféry, spoločenskej i pracovnej. Využíva sa v doprave, architektúre, verejnom živote, v technike a pod. To všetko so sebou prináša obrovské náklady na prevádzku a údržbu svietidiel. Preto sa spoločnosť snaží čo najviac zdokonaľovať technológiu ich výroby, ako aj technológiu samotných osvetľovacích zariadení, s minimálnymi požiadavkami na odber elektrickej energie pri ich výrobe a prevádzke. Dôležité je, aby tieto opatrenia nešli na úkor kvality osvetlenia a bezpečnosti prostredia, v ktorom sa nachádzajú. Z architektonického hľadiska sa v tejto oblasti preto navrhujú budovy tak, aby spĺňali ekonomickú šetrnosť. [3], [8]

4.1 Rozdelenie svetelných zdrojov

Svetelný zdroj je predmet prípadne jeho povrch, ktorý vyžaruje svetlo. Svetelné zdroje delíme podľa určitých kritérií.

Z hľadiska pôvodu svetelného žiarenia:

- a) *Prírodný*- zdroj, ktorý vznikol bez ľudského zásahu (slnko, mesiac, blesk, polárna žiara atď.)
- b) *Umelý*- zdroj, ktorý mení určitý druh energie na svetelnú (sviečka, plynová lampa, žiarovka, dióda a pod.)

Z hľadiska spôsobu vzniku optického žiarenia:

- a) *Teplotný zdroj*- optické žiarenie vzniká pri zahrievaní pevnej látky na vysokú teplotu

- b) *Výbojový zdroj*- optické žiarenie vzniká atómovým vybudením plynov alebo párov kovov v elektrickom výboji
- c) *Luminiscenčný zdroj*- optické žiarenie vzniká luminiscenciou pevných látok
- d) *Kvantový generátor*- laser [8], [12]

4.2 Charakteristika umelého osvetlenia

Kvantitatívnu charakteristikou svetelných zdrojov je merný výkon.

$$\eta_v = \frac{\phi}{P} \quad (26)$$

Merný výkon je podiel vyžarovaného svetelného toku a príkonu. Jednotkou je [$\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$] = lúmen na watt.

Kvalitatívnu charakteristikou je dĺžka života zdroja, stálosť a priestorové rozloženie svetelného toku behom jeho starnutia, chromatičnosť svetla a index podania farieb. [8]

4.3 Rozdelenie umelého osvetlenia

Umelé osvetlenie sa delí pomocou rôznych hľadísk a kritérií. A to:

Z hľadiska napájacieho zdroja:

- a) *Normálne osvetlenie*- napájanie z hlavného zdroja
 - *hlavné osvetlenie*- slúži na prácu pri obyčajných prevádzkových podmienkach
 - *pomocné osvetlenie*- pri pomocných prácach mimo hlavnej prevádzky
 - *bezpečnostné osvetlenie*- pri poruchách technologických zariadení
- b) *Poruchové osvetlenie*- napájané z náhradného zdroja
 - *náhradné osvetlenie*- umožňuje pokračovať v práci pri poruchách hlavného osvetlenia
 - *núdzové osvetlenie*- umožňuje bezpečný odchod osôb z daného priestoru po zlyhaní hlavného osvetlenia

Z hľadiska povahy osvetľovacích priestorov

- a) *Vnútorne osvetlenie*- v interiéry
- b) *Vonkajšie osvetlenie*- v exteriéry

Osvetľovacie priestory sa ďalej delia podľa činností, ktoré sa v nich vykonávajú na:

- a) *Pracovné priestory*- v nich sú zrakové požiadavky určované vykonávanou prácou
- b) *Spoločenské priestory*- slúžia na odpočinok, relax a zábavu
- c) *Ostatné priestory*- menej významné alebo pomocné priestory

Z hľadiska sústreďenia svetla:

- a) *Celkové osvetlenie*- predstavuje osvetlenie určitého priestoru bez zreteľa na osobitné požiadavky v jeho jednotlivých častiach
- b) *Odstupňované osvetlenie*- priemerná intenzita osvetlenia v jednotlivých častiach daného priestoru závisí od zrakovej náročnosti vykonávanej činnosti
- c) *Miestne osvetlenie*- dopĺňa celkové osvetlenie
- d) *Kombinované osvetlenie*- kombinácia celkového a miestneho osvetlenia

Z hľadiska rozloženia svetelného toku použitých svetiel:

- a) *Priame osvetlenie*
- b) *Prevažne priame osvetlenie*
- c) *Zmiešané osvetlenie*
- d) *Prevažne nepriame osvetlenie*
- e) *Nepriame osvetlenie* [3]

4.4 Svietidlo

Svietidlo je zariadenie zložené zo svetelného zdroja a ostatných častí. Tieto časti sú určené k zmene svetelného toku, k pripevneniu a ochrane zdroja, k jeho pripojeniu na rozvod elektrického prúdu, k úprave spektrálneho zloženia vyžarovaného svetla a v neposlednej rade slúžia ako zábrana priamemu pohľadu na zdroj. [3], [6], [8]

Priamemu pohľadu na zdroj zabraňuje tienidlo (clona). Rozloženie svetelného toku menia reflektory, refraktory a difúzory. Filtre svietidla upravujú spektrálne zloženie svetla. [3], [6]

Základnú funkciu svietidla popisuje rozloženie svetelného toku. Priestorové rozloženie tohto toku určuje fotometrická veličina svietivosť (vid'. 2.2), kde sa v praxi na jej popis používajú rovinné rezy, ktoré sú charakterizované krivkami svietivosti. Hodnoty svietivosti sa uvádzajú pre rôzne roviny v grafickej alebo tabuľkovej podobe. Dôležité je tiež uvedomiť si, že toto vyjadrenie charakteristík svietidla je zaťažené určitou chybou a preto možno svietivosť definovať len pre bodové zdroje svetla. [12]

4.4.1 Krivky svietivosti

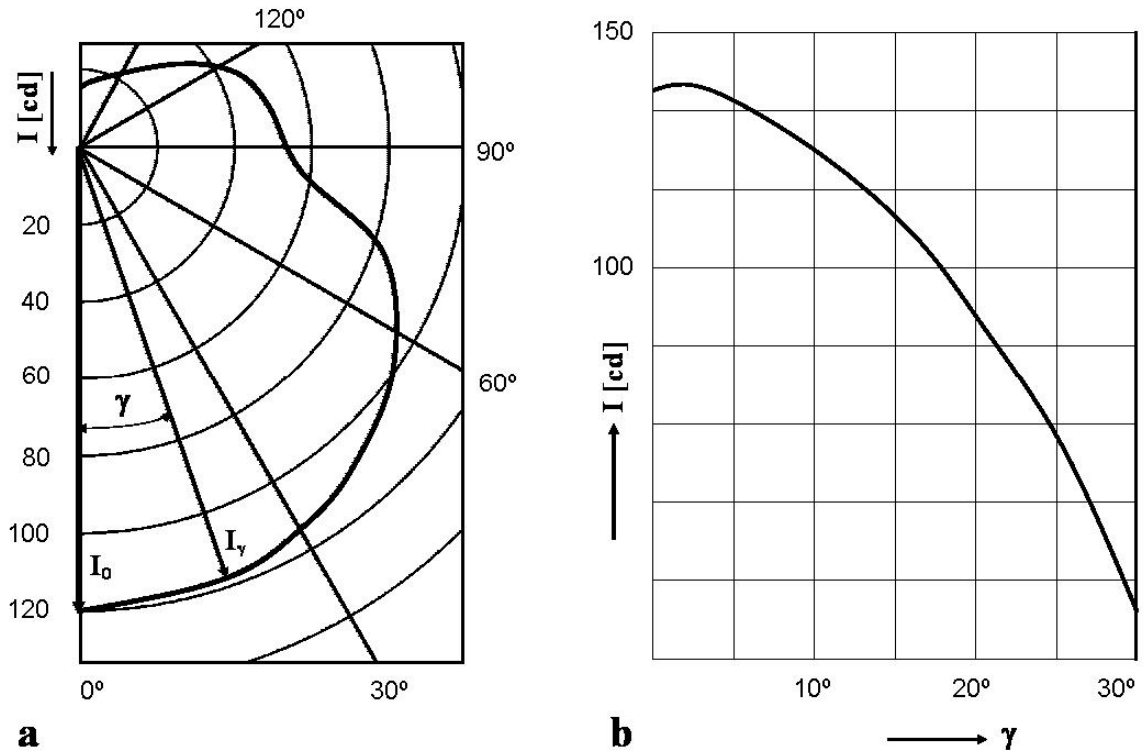
Ako bolo spomenuté, svietivosť vyjadruje rozloženie svetelného toku zdroja alebo svietidla v priestore. Krivky svietivosti sú zase jej grafickým vyjadrením. Prechádzajú svetelným stredom svietidla, pričom plocha svietivosti je určená koncovými bodmi všetkých vektorov svietivosti, ktoré vychádzajú zo svetelného stredu svietidla. V prípade bodového zdroja svetla možno z krivky svietivosti odčítať aj rozloženie svetelného toku. Podľa tvaru plochy svietivosti delíme svietidlá na:

- a) *Súmerné*
- b) *Nesúmerné*

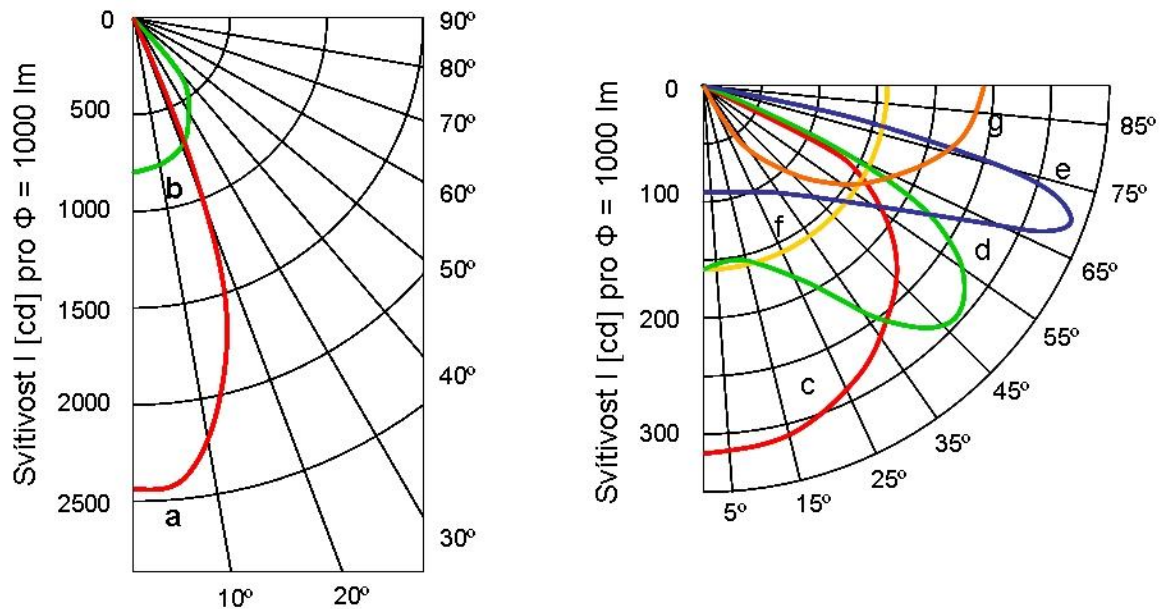
Svietivosť zdroja je v každom smere rôzna (vzhľadom na uhol γ). Krivky svietivosti sa zakresľujú do katalógových listov väčšinou v polárnych súradniciach pre zdroje svetla so svetelným tokom 1000 lm. Okrem polárnych (*Obr. 4. a*) existujú aj pravouhlé (*Obr. 4. b*). Krivky svietivosti sa môžu rozdeľovať aj podľa tvaru:

- a) *Koncentrovaná*
- b) *Hlboká*
- c) *Kosínusová*
- d) *Pološiroká*
- e) *Široká*
- f) *Rovnomerná*
- g) *Sínusová*

[18], [20]



Obr. 4. Krivky svietivosti v polárnych (a) a pravouhlých (b) súradniciach [18]



Obr. 5. Tvary kriviek svietivosti- koncentrovaná (a), hlboká (b), kosínusová (c), pološiroká (d), široká (e), rovnomerná (f), sínusová (g) [18]

5 ZDRUŽENÉ OSVETLENIE

Združené osvetlenie je kombinácia denného a umelého osvetlenia. Takýto druh osvetlenia sa využíva všade tam, kde slnečné žiarenie, ktoré osvetľuje požadovaný priestor v budove, nestačí. Tým pádom je umelé osvetlenie vhodná voľba na doplnenie chýbajúceho svetla. Kombinácia oboch žiarení je využívaná najmä:

- v priemyslových halách a budovách, kde tento druh osvetlenia vyžadujú technologické podmienky a kde je jasne preukázaný nedostatok denného svetla.
- v priemyslových prevádzkach, ktoré nevyžadujú stálu prítomnosť pracovníkov, čo je asi 50 % pracovnej doby
- v interiéroch ako sú napr. šatne, komory, siene, predajne, jedálne, reštaurácie, kaviarne atď.
- v obytných budovách v miestnostiach ako kuchyňa, predsieň, kúpeľňa, toaleta a pod. [8]

Združené osvetlenie možno na základe doby používania rozdeliť na:

- Trvalé*- s využitím umelého osvetlenia vo vnútorných častiach budovy po celý deň. Uplatňuje sa všade tam, kde nie je možné zo závažných dôvodov, či už funkčných alebo ekonomických, docieľiť vyhovujúce denné osvetlenie pri trvalom pobyte ľudí.
- Prechodné*- s využitím umelého svetla v interiéri len po určitú dobu s inak vyhovujúcim denným osvetlením. Táto doba je závislá predovšetkým na zmene vonkajšieho osvetlenia, ktoré je zapríčinené napr. atmosférickými podmienkami, svitaním, súmrakom a pod. Prисvetlenie umelým svetlom sa tiež využíva pri zrakovo náročnejších činnostiach. [7], [8]

Podľa rozsahu tento typ osvetlenia delíme na:

- Celkové*- prisvetlenie celej plochy interiéru alebo jej podstatnej časti pomocou umelého žiarenia
- Miestne*- vo vybraných miestach vnútorného priestoru s vyhovujúcim denným osvetlením, kde je obmedzený prístup denného svetla, alebo kde sa vyžaduje zvýšená intenzita osvetlenia pri určitých činnostiach. Príkladom môžu byť miestnosti, kde technické zariadenia vrhajú tieň na pracovnú plochu, prípadne je tvar predmetov rôzne diferencovaný (vnútro dutých predmetov a pod.). [7], [8]

5.1 Zásady riešenia združeného osvetlenia

V združenom osvetľovacom systéme je dôležité používanie svietidiel s rovnakým, prípadne podobným spektrálnym zložením, ako je zloženie denného svetla. V súčasnosti sú pre takýto druh osvetlenia najvyhovujúcejšie biele žiarivky. Nároky na združené osvetlenie sú rovnako vysoké, ako u predchádzajúcich typoch osvetlenia. Preto musia byť splnené kvalitatívne i kvantitatívne. [8]

Pri tomto druhu osvetlenia sa sčítavajú hodnoty osvetlenosti denným aj umelým žiarením. Je preto nevyhnutné zaviesť spoločné veličiny a jednotky. Na prevod činiteľa dennej osvetlenosti pri zatiahnutej oblohe používame hodnotu vonkajšej horizontálnej osvetlenosti v zimnom a letnom období. V zime má hodnotu 5000 lx a v lete 20 000 lx. Rovnako tu platí, ako pri dennom osvetlení, že kvalitatívne kritéria svetelného stavu vnútorného prostredia musia byť splnené v letom aj zimnom období, zatiaľ čo kvantitatívne len v zimnom. Z týchto požiadaviek však môžu vznikať neúmerne vysoké nároky na umelé osvetlenie a to práve v letných mesiacoch. Preto je nutné obmedziť jas osvetľovacích otvorov žalúziami, pevnými clonami alebo špeciálnymi sklami. [8]

Dôležitou vecou je aj úroveň doplňujúceho umelého osvetlenia. Pri prevádzkach, ktoré sú prísvetľované menej ako 50 % pracovnej doby, by mala byť vyššia ako 300 lx. Prevádzky s trvalým prísvetľovaním by mali mať túto úroveň nad hranicou 400 lx. [8]

Doplňujúcu osvetlenosť umelým svetlom E_{di} pri bočnom dennom osvetlení možno stanoviť rôznymi spôsobmi:

- a) Z podmienky dosiahnutia potrebnej úrovne osvetlenia v zimných mesiacoch podľa vzťahu:

$$E_{di} = E_p - 50 e \quad (27)$$

kde E_p je požadovaná osvetlenosť pri umelom osvetlení pre danú činnosť, e je hodnota činiteľa dennej osvetlenosti dosiahnutá v danom mieste.

- b) Z podmienky zachovania rovnomernosti v letných mesiacoch odpovedajúca požiadavku na bočné osvetlenie denným svetlom

$$E_{d2} = 200(e_{max} r - e_{min}) \quad (28)$$

kde e_{min} (e_{max}) je najmenšia (najväčšia) dosiahnutá hodnota činiteľa dennej osvetlenosti na pracovnej rovine v miestnosti alebo jeho funkčne vymedzenej časti a r je požadovaná rovnomernosť osvetlenia.

- c) Z podmienky zachovania primeraného kontrastu jasov v zornom poli, kde rozhoduje jas oblohy sledovaný z interiéru okenným otvorom. Priaznivo sa tu uplatňuje zatienenie okna vonkajšími prekážkami.

$$E_{d3} = 500 e_p (1 - 0,8 \sin Z) \quad (29)$$

kde e_p je normou požadovaná hodnota činiteľa dennej osvetlenosti a Z [°] je priemerný uhol zatienenia interiéru od ťažiska okenného otvoru.

[8]

6 INTERAKCIA SVETELNÉHO ŽIARENIA S TELESOM ALEBO PROSTREDÍM

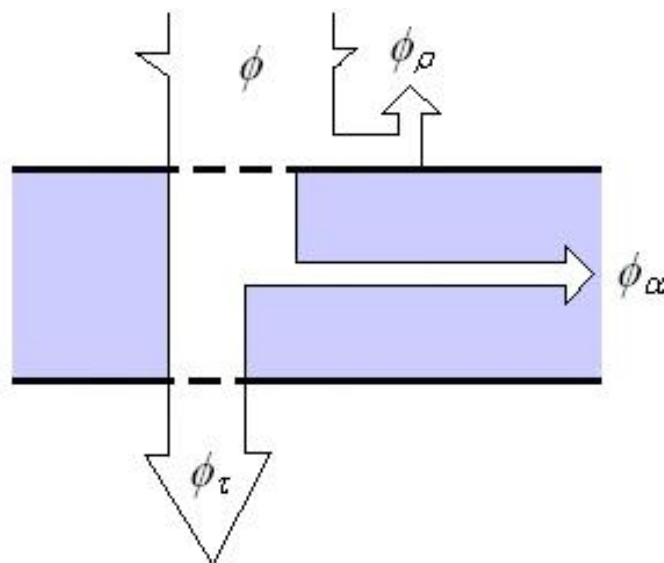
Pri vzájomnej interakcii medzi svetlom a telesom resp. prostredím možno pozorovať zmeny číselných hodnôt fotometrických veličín (*bližšie sú popísané v bode 2.2*). Pri niektorých optických javoch sa mení aj spektrálne zloženie žiarenia. Tak isto sa pri dopade svetla na rozhranie dvoch prostredí, alebo pri vníkaní do iného prostredia, mení smer svetelných lúčov. V rôznych optických prostrediach môže dochádzať i k rozkladu svetla, prípadne môže z prirodzeného svetla vznikáť polarizované. Pri všetkých týchto javoch platí zákon zachovania energie, čo znamená, že energia nevzniká ani nezaniká. [9]

6.1 Energetická bilancia šírenia svetla

Jednou z najdôležitejších fotometrických veličín, ktorou môžeme vyjadriť energetickú bilanciu žiarenia je svetelný tok ϕ [lm] (*vid'. 2.2*). Svetelný tok sa od danej látky môže odraziť, alebo môže danou látkou prejsť. Rovnako ho môže táto látka pohltiť, čím zvýši svoju teplotu. Dopadajúce žiarenie resp. svetelný tok je súčtom všetkých týchto javov (tokov).

$$\phi = \phi_{\rho} + \phi_{\tau} + \phi_{\alpha} \quad (30)$$

kde ϕ_{ρ} je svetelný tok po odraze, ϕ_{τ} je svetelný tok, ktorý danou látkou prejde a ϕ_{α} je pohltitý svetelný tok. [8], [18]



Obr. 7. Energetická bilancia šírenia svetla [18]

6.2 Svetlotechnické vlastnosti materiálov

Pri posudzovaní materiálov, ktoré sa používajú pri výrobe a návrhu osvetlenia, sú smerodajné ich svetlotechnické vlastnosti. Na opis týchto vlastností slúžia činitele odrazu ρ , priestupu τ a pohltienia α . Sú bezrozmerné a ich vzájomnú závislosť popisuje:

$$\rho + \tau + \alpha = 1 \quad (31)$$

[4], [7], [8], [18]

6.2.1 Činiteľ odrazu

Odraz svetla je jav, pri ktorom sa svetlo vracia od hraničnej plochy naspäť do prostredia, z ktorého prichádza. Odraz môže byť:

- a) *Zrkadlový*- odraz svetla bez rozptylu v zhode s optickým zákonom odrazu. Takýto povrch sa nazýva zrkadlový.
- b) *Rozptylový*- odraz svetla do rôznych smerov, pri ktorom nevzniká zrkadlový odraz. Tento povrch je matný.
- c) *Zmiešaný*- odraz zrkadlového a súčasne rozptylového typu. Povrch sa nazýva polomatný.

To, ako sa toto svetlo odrazí popisuje činiteľ odrazu ρ . Je charakterizovaný ako podiel odrazeného svetelného toku od povrchu látky a dopadajúceho svetelného toku na túto látku.

$$\rho = \frac{\Phi_{\rho}}{\Phi} \quad (32)$$

[4], [7], [8], [18]

Tab. 1. Činitele odrazu světla běžných povrchů a materiálů [7], [8]

| <i>Druh povrchu, materiálu</i> | <i>Číselný odrazu světla ρ</i> | |
|--|--|--------------|
| povrch steny, omietka | biela | 0,75 až 0,89 |
| | krémová, béžová | 0,60 až 0,70 |
| | svetlo žltá | 0,60 až 0,70 |
| | tmavo žltá | 0,50 až 0,60 |
| | svetlo červená | 0,40 až 0,50 |
| | tmavo červená | 0,15 až 0,30 |
| | svetlo zelená | 0,45 až 0,65 |
| | tmavo zelená | 0,05 až 0,30 |
| | svetlo modrá | 0,40 až 0,60 |
| | tmavo modrá | 0,05 až 0,20 |
| | hnedá | 0,12 až 0,25 |
| | svetlo šedá | 0,40 až 0,60 |
| | tmavo šedá | 0,15 až 0,20 |
| | čierna | 0,01 až 0,03 |
| tehla (červená, pálená hlina) | 0,25 | |
| piesok svetlý | 0,50 | |
| sadra biela | 0,80 až 0,92 | |
| mramor biely | 0,55 až 0,80 | |
| žula | 0,40 až 0,50 | |
| drevo svetlé | 0,30 až 0,50 | |
| drevo tmavé | 0,10 až 0,25 | |
| tráva, zeleň | 0,03 až 0,10 | |
| zemina | 0,08 až 0,20 | |
| smalt biely | 0,60 až 0,75 | |
| betón svetlý | 0,20 až 0,50 | |
| betón tmavý | 0,10 až 0,25 | |
| ocel nerezová (leštená) | 0,55 až 0,65 | |
| hliník leštený | 0,80 až 0,85 | |
| medený plech (s medenkou) | 0,15 až 0,45 | |
| chróm leštený | 0,60 až 0,70 | |
| sklo s drôtenou vložkou (hrúbka 5 mm) | 0,15 až 0,27 | |
| sklo hladké (hrúbka 1 až 4 mm) | 0,06 až 0,08 | |
| plexisklo kalné biele (hrúbka 1 až 2 mm) | 0,20 až 0,40 | |
| zrkadlo sklenené | 0,80 až 0,90 | |
| okno s čírim sklom | 0,10 | |
| okno s čírim sklom a bielou záclonou | 0,30 až 0,40 | |
| sneh | 0,75 až 0,80 | |

6.2.2 Činitel' priestupu

Priestup je schopnosť látky prepúšťať svetlo. Môže byť:

- Priamy*- priestup svetla bez rozptylu. Takýto materiál je priehľadný.
- Rozptylový*- priestup svetla, pri ktorom vzniká rozptyl, ktorý sa neriadi optickým zákonom lomu. Materiály sú priesvitné.
- Zmiešaný*- priestup svetla priameho a súčasne rozptylového typu. Materiály sú polopriesvitné.

Priestup svetla popisuje činitel' priestupu τ . Je charakterizovaný ako podiel prepusteného svetelného toku danou látkou a dopadajúceho svetelného toku na spomínanú látku.

$$\tau = \frac{\phi_{\tau}}{\phi} \quad (33)$$

[4], [7], [8], [18]

Tab. 2. Činitele priestupu svetla bežných materiálov [7], [8]

| <i>Druh materiálu</i> | <i>Činitel' priestupu svetla τ</i> |
|---|--|
| číre tabuľové sklo (hrúbka 3 až 4 mm) | 0,92 |
| surové sklo (nevzorované) | 0,88 |
| vzorované sklo (hrúbka 3 až 4 mm) | 0,85 až 0,90 |
| drôtené sklo (hrúbka 6 až 7 mm) | 0,60 až 0,86 |
| vrstevnaté sklo zelené (hrúbka 3 až 6 mm) | 0,02 až 0,09 |
| vrstevnaté sklo modré (hrúbka 3 až 6 mm) | 0,01 až 0,05 |
| sklolaminát | 0,35 až 0,85 |
| plexisklo kalné biele (hrúbka 1 až 2 mm) | 0,40 až 0,70 |
| akrylát číry | 0,85 až 0,92 |
| determálne sklo | 0,35 až 0,70 |
| reflexné sklo | 0,55 až 0,65 |
| sklenená tvárnica plná jednovrstvová | 0,85 až 0,89 |
| sklenená tvárnica dutá dvojvrstvová | 0,55 až 0,62 |
| tkanina svetlo zelená | 0,33 |
| tkanina žltá | 0,54 |
| záclona | 0,50 až 0,75 |

6.2.3 Činiteľ pohltienia

Pohltenie svetla je schopnosť látky pohltiť svetelné žiarenie, pričom získanú svetelnú energiu mení na energiu tepelnú, vyžaruje teplo. Tento jav popisuje činiteľ pohltienia α . Je charakterizovaný ako podiel pohlteneho svetelného toku v látke a dopadajúceho svetelného toku na túto látku.

$$\alpha = \frac{\phi_{\alpha}}{\phi} \quad (34)$$

[4], [7], [8], [18]

Tab. 3. Činitele pohltienia svetla daných materiálov [7]

| <i>Druh materiálu</i> | <i>Činiteľ pohltienia svetla α</i> | |
|---|--|------|
| determálne sklo (hrúbka 5 až 8 mm) | 0,16 až 0,26 | |
| sklo číre vzorované (hrúbka 3 až 6 mm) | 0,03 až 0,20 | |
| drôtené sklo (hrúbka 3 až 6 mm) | 0,15 až 0,20 | |
| sklo vrstevnaté modré (hrúbka 3 až 6 mm) | 0,30 | |
| sklo vrstevnaté zelené (hrúbka 3 až 6 mm) | 0,32 | |
| plexisklo kalné biele (hrúbka 1 až 2 mm) | 0,10 až 0,20 | |
| tkanina | oranžová | 0,37 |
| | biela | 0,05 |
| | sýto zelená | 0,67 |
| | fialová | 0,75 |
| | sýto červená | 0,63 |

7 SVETLOTECHNICKÝ PROJEKT

Svetlotechnický projekt resp. návrh umelého osvetlenia, musí spĺňať všetky požiadavky, predpisy a normy osvetľovacích sústav. Ide najmä o ich konštrukciu, ochranu voči okoliťmu prostrediu, ako aj o montáž a prevádzku. Na projekte pracuje z pravidla viacero odborníkov, ako napr. svetelný technik, technológ, architekt, projektant elektrického rozvodu a iný. Pri vypracovávaní takéhoto návrhu platia určité východiskové podklady, ktorými by sa mali riadiť:

- a) *Rozmerové údaje priestoru*
- b) *Druh a doba pracovnej činnosti a jej zrková náročnosť*
- c) *Rozmery a umiestnenie výrobného a technického zariadenia v danom priestore*
- d) *Popis hlavných povrchov, ich svetelné a farebné vlastnosti*
- e) *Charakteristika a vyhodnotenie denného osvetlenia*
- f) *Spôsob upevnenia svietidiel a vodičov*
- g) *Napájanie osvetľovacej sústavy elektrickou energiou*
- h) *Údaje o objekte vzhľadom na bezpečnosť a spoľahlivosť prevádzky osvetlenia*

[3], [4], [12]

7.1 Svetlotechnické výpočty

Svetlotechnické výpočty sa riadia určitými metódami a to metódou pomerných príkonov, tokovou a bodovou metódou. [18]

7.1.1 Metóda pomerných príkonov

Používa sa len pre predbežný návrh osvetľovacej sústavy za pomoci tabuliek pomerných príkonov. Udávajú hodnoty týchto príkonov, ktoré sú potrebné pre stanovenie osvetlenosti E (z pravidla 100 lx) na jednotkovej osvetľovanej ploche pre určitý typ umelého osvetlenia. Celkový príkon všetkých svetelných zdrojov stanovujeme na základe pomerného príkonu, požadovanej osvetlenosti (pre konkrétnu zrkovú úlohu) a veľkosti pracovnej plochy (na ktorej je daná úloha prevádzaná). Jednotkou pomerného príkonu je $[W \cdot m^{-2}]$. [18]

Tab. 4. Hodnoty pomerných príkonov pre $E = 100 \text{ lx}$ [18]

| Osvetlenie | Žiarovkami | | | Žiarivkami | | |
|-------------------|------------|--------|-------|------------|--------|-------|
| | Steny | | | Steny | | |
| | Svetlé | Tmavé | Tmavé | Svetlé | Tmavé | Tmavé |
| | Strop | | | Strop | | |
| | Svetlý | Svetlý | Tmavý | Svetlý | Svetlý | Tmavý |
| Priame | 14 | 16 | 18 | 4 | 5 | 6 |
| Prevažne priame | 18 | 22 | 25 | 5 | 6 | 6,5 |
| Zmiešané | 22 | 27 | 34 | 6 | 7 | 9 |
| Prevažne nepriame | 25 | 34 | 44 | 6,5 | 9 | 10 |
| Nepriame | 29 | 42 | 57 | 7 | 10 | 15 |

(Pozn: Hodnoty v tabuľke pre žiarovku platia od 100 W a vyššie)

7.1.2 Toková metóda

Touto metódou možno stanoviť priemernú osvetlenosť interiéru, priemerný jas stien a stropov, priemernú osvetlenosť komunikácií a priemerný jas povrchu vozovky. Takto navrhnutý svetlotecnický projekt vychádza zo základného vzťahu:

$$\phi_c = \frac{E_{pk} \cdot A}{\eta \cdot z} \quad (35)$$

kde ϕ_c je celkový svetelný tok všetkých zdrojov, E_{pk} je miestne priemerná a časovo minimálna osvetlenosť v bodoch zrovnávanej roviny, A je plocha pôdorysu interiéru, η je činiteľ využitia osvetľovacej sústavy pri rešpektovaní mnohonásobných odrazov svetla a z je udržiavací činiteľ.

Cieľom tejto metódy je stanovenie celkového príkonu osvetľovacej sústavy. [18]

7.1.3 Bodová metóda

Bodová metóda slúži na zistenie osvetlenosti, príp. jasu v danom kontrolnom bode. Kontrola sa prevádza vo vodorovných a zvislých bodoch, ako aj u naklonených rovín. Nevýhodou tejto metódy je to, že vo výsledkoch, ktoré takto získame, nie sú zahrnuté odrazené svetelné toky a navyše platí len pre bodový zdroj svetla, ktorého rozmery sa približujú nule. Skutočný zdroj svetla však nie je bezrozmerný, čo spôsobuje určitú chybu výpočtu. Na korekciu tejto chyby musíme zdroje svetla rozdeliť.

Predpokladajme bodový zdroj svetla, ktorý má maximálny rozmer menší než tretina vzdialenosti svietidla od najbližšieho kontrolného miesta. V tomto prípade je chyba výpočtu menšia ako 10 %. Princípom tejto metódy je stanovenie osvetlenosti v bode P pri šírení svetla z bodového zdroja Z. Najskôr teda predpokladajme riešenie osvetlenosti v bode P, ktorý je súčasťou obecnej roviny ρ a kde platí rovnica:

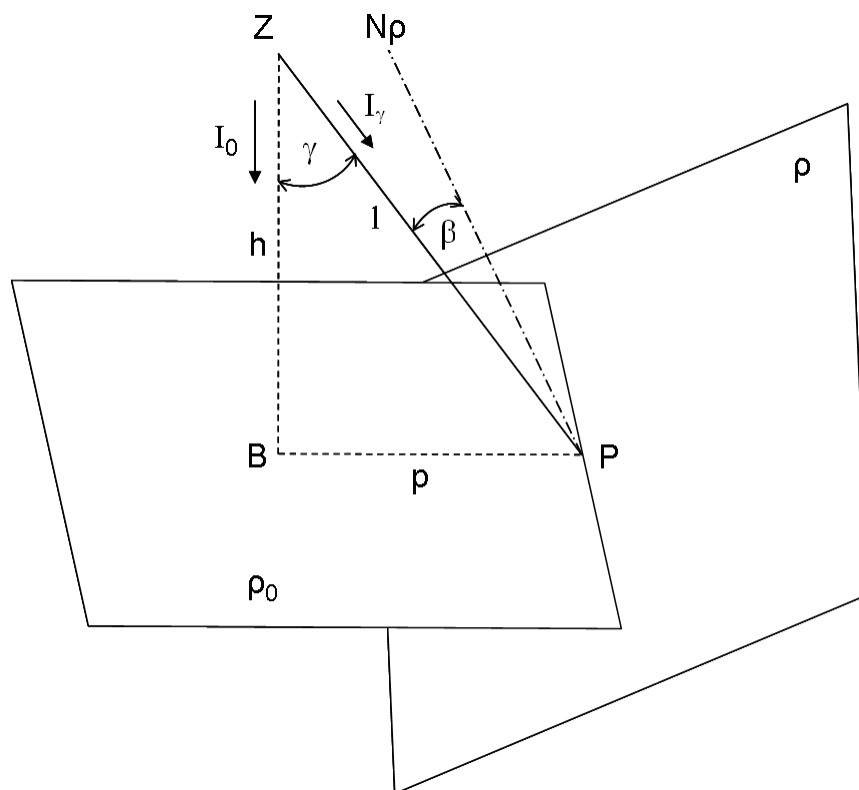
$$E_{p\rho} = \frac{I_\gamma \cdot \cos \beta}{l^2} = \frac{I_\gamma \cdot \cos \beta}{h^2 + p^2} \quad (36)$$

kde I_γ je svietivosť zdroja pri uhle γ , určená z krivky svietivosti svetelného zdroja, β je uhol dopadu svetla na kontrolnú rovinu ρ a písmená l , h , p označujú vzdialenosti.

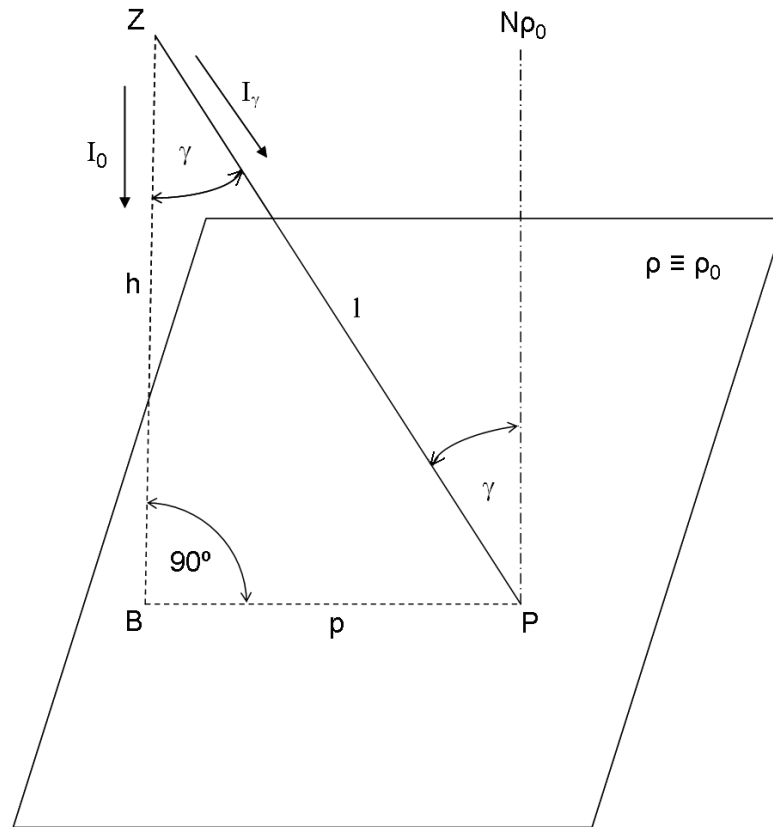
Krivky svietivosti sú zvyčajne uvedené pre referenčný svetelný tok $\phi = 1000$ lm, ktorý sa však líši od svetelného toku všetkých zdrojov svetla ϕ_z nainštalovaných vo svietidle. Preto je nutné svietivosť I_γ , ktorá je stanovená z krivky svietivosti, prepočítať na skutočný svetelný tok svietidla ϕ_z .

$$I_\gamma = I'_\gamma \frac{\phi_z}{\phi} = I'_\gamma \frac{\phi_z}{1000} \quad (37)$$

Všetky uvedené skutočnosti vyjadrujú nasledovné obrázky. [18]



Obr. 8. Stanovenie osvetlenosti v bode obecnej roviny ρ [18]



Obr. 9. Stanovenie osvetlenosti v bode obecnej roviny ρ_0 ,
kolmej na smer I_0 [18]

Druhou možnosťou, ako určiť osvetlenie v bode P je preložiť tento bod rovinou ρ_0 , ktorá je kolmá na smer svietivosti I_0 a kde platí:

$$E_{p\rho_0} = \frac{I_\gamma \cdot \cos \gamma}{l^2} = \frac{I_\gamma \cdot \cos^3 \gamma}{h^2} = I_\gamma \frac{h}{l^3} = I_\gamma \frac{h}{(\sqrt{h^2 + p^2})^3} \quad (38)$$

[18]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

8 MERACIE PRÍSTROJE OSVETLENIA

Meracie prístroje slúžia na meranie svetlotechnických vlastností svetelných zdrojov. Najčastejšie meracie zariadenia, ktoré sa využíva práve na takéto merania sú *fotónky*. Na fotónku dopadá monochromatické žiarenie o známej vlnovej dĺžke, pričom meria veľkosť elektrického prúdu, ktorý ňou prechádza pri dopade svetla. Ďalšími meracími zariadeniami sú *luxmetre*, ktoré fungujú na podobnom princípe, teda merajú fotoprúd. Pri meraní luxmetrom, nie je dôležité, aby svetlo bolo monochromatické. Využíva sa teda na meranie polychromatického žiarenia. *Fotometrická lavica* slúži predovšetkým na porovnávanie svietivosti svetelných zdrojov, prípadne overovanie fotónok. *Aberometerom* meriame priebeh stredových svetelných lúčov v meridiánovej rovine od rotačne súmerného reflektora. *Goniofotometre* sú špeciálne meracie zariadenia, väčšinou vyrábané ako prototypy, na meranie rozloženia svietivosti svietidiel. *Fotometrické integrátory* merajú svetelný tok svetelných zdrojov a svietidiel. *Jasomery* spolu s luxmetrami radíme medzi najpoužívanejšie meracie prístroje. Jasomery slúžia na meranie jasov svetločinných častí svietidiel pre uhly a smery, ktoré určujú normy pre svietidlá. *Kolorimetre* merajú chromatickosť svetiel a koloritu materiálov používaných na výrobu svetločinných častí špeciálnych svietidiel. Všetky uvedené zariadenia musia spĺňať normy ČSN. [4]

8.1 Luxmeter

V mojom prípade som použil na meranie svetelných vlastností daných materiálov, povrchov a svietidiel digitálny luxmeter LX-101 (*Obr. 10.*). Osvetlenosť sníma selénové čidlo, pričom namerané hodnoty sa priamo zobrazujú na displeji prístroja. Zariadenie meria osvetlenosť v troch rozsahoch od nula do 50 tis. luxov. V spodnej časti prístroja sa nachádza prepínač na prepnutie požadovaného rozsahu, na pravo od neho vypínač na vypnutie luxmetra.

- 0 až 1999 lx s rozlišovacou schopnosťou 1 lx
- 2000 až 19990 lx s rozlišovacou schopnosťou 10 lx
- 20000 až 50000 lx s rozlíšením 100 lx

[20]



Obr. 10. Digitální luxmeter LX-101 [20]

9 PRAKTICKÉ MERANIE OSVETLENIA

Cieľom práce bolo zmerať hodnoty osvetlenosti E [lx] vo vybraných miestnostiach budovy U5 UTB v Zlíne, zaznamenať ich a spracovať do tabuľky. Tieto hodnoty potom spriemerovať \bar{E} [lx], porovnať s normovanými hodnotami udržiavanej osvetlenosti \bar{E}_m [lx] a vyhodnotiť, či spĺňajú alebo nespĺňajú dané normy (*bližšie v bode 9.1*).

V ďalšej časti som zisťoval činiteľ odrazu svetla od jednotlivých povrchov fasád $\bar{\rho}_f$ [-]. Rovnako, ako v prípade merania umelého osvetlenia v interiéri univerzity, som zistené hodnoty zaznamenal a vypracoval do tabuliek a porovnal ich s hodnotami, ktoré sú uvádzané v normách ρ [-] (*bližšie v bode 9.2*).

V poslednej časti bol princípom mojej práce činiteľ priepustnosti svetla τ_d [-] cez dané materiály. Znova som namerané hodnoty spriemeroval $\bar{\tau}_d$ [-], spracoval a porovnal ich s tabuľkami nachádzajúcich sa v normách τ [-]. Neskôr som zmeral hrúbky jednotlivých materiálov d [mm] a spriemeroval \bar{d} [mm]. (*bližšie v bode 9.3*).

Pri výpočtoch a úpravách hodnôt bolo nutné použiť dve základné štatistické rovnice.

Aritmetický priemer \bar{x}

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n x_i \quad (39)$$

Smerodajná odchýlka aritmetického priemeru $\bar{\sigma}$ (chyba merania)

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum x_i)^2}{n(n-1)}} \quad (40)$$

kde: n – počet prvkov

x_i – hodnoty merania

[20], [21]

9.1 Praktické meranie osvetlenia interiéru školy

9.1.1 Cieľ a postup práce

Po zoznámení sa s princípom činnosti digitálneho luxmetra LX-101 som vybral pár vhodných vnútorných priestorov budovy U5 UTB v Zlíne (5 miestností, v ktorých prebieha vyučovanie, 2 tabule, kopírovaciu miestnosť, šatňu, sklad horľavín a jedov, toaletu, schodiško a chodbu) a zmeral som hodnoty osvetlenosti E [lx]. Tieto hodnoty som starostlivo zapísal do tabuľky. V každej miestnosti som meral osvetlenie v dvadsiatich rôznych bodoch (miestach), v závislosti na druhu miestnosti (každá miestnosť slúži na iný účel). Meranie horizontálnej osvetlenosti prebiehalo v miestach, kde sa nachádzajú hlavné predmety zrakovej činnosti, ako napr. na rovine pracovného stolu. V ostatných prípadoch som meral horizontálnu osvetlenosť vo výške 85 cm nad povrchom dlážky, napr. chodba, toaleta, sklad horľavín a jedov apod. V niektorých prípadoch bolo potrebné zmerať vertikálnu osvetlenosť, napr. u tabule. Dôležité je tiež poznamenať, že meranie prebiehalo v marci vo večerných hodinách pri zatiahnutých žalúziách, aby sa zamedzilo rušivému osvetleniu z vonka. Tak isto boli vypnuté všetky stolné lampy a pomocné osvetlenia. Meral som teda hlavné umelé osvetlenie, pričom som počkal cca. dve minúty na dokonalé rozžhavenie svietidiel. Luxmeter bol prepnutý na najnižší rozsah (0 až 1999 lx), teda na najväčšiu presnosť. Z nameraných hodnôt som vypočítal priemernú osvetlenosť \bar{E} [lx], zahrnul do tabuľky a porovnal ju s normovanými hodnotami udržiavanej osvetlenosti. Udržovaná osvetlenosť \bar{E}_m [lx] je hodnota priemernej osvetlenosti, pod ktorú by nemala osvetlenosť klesnúť. Zároveň je to aj osvetlenie v okamžiku, kedy má prebehnúť údržba osvetlenia. [20], [22]

9.1.2 Vypracovanie

Tab. 5. Vybrané normované požiadavky na osvetlenie v interiéri školy [22]

| <i>Druh priestoru, úlohy alebo činnosti</i> | \bar{E}_m [lx] |
|--|------------------|
| Prednáškové haly | 500 |
| Miestnosti pre praktickú výuku a laboratória | 500 |
| Učebne, konzultačné miestnosti | 300 |
| Zakladanie dokumentov, kopírovanie | 300 |
| Konferenčné a zasadacie miestnosti | 500 |
| Učebne technického kreslenia | 750 |
| Tabuľa | 500 |
| Knižnice- miesta pre čítanie | 500 |
| Pracovná stanica CAD | 500 |
| Školská jedáleň | 200 |
| Chodby, vstupné haly | 200 |
| Schodisko | 150 |
| Šatne, toalety | 200 |
| Skladisko a zásobárne | 100 |

Pre zjednodušenie a lepší prehľad v tabuľkách som vybrané miestnosti, v ktorých bolo meranie uskutočnené, zoradil podľa rímskych číslíc;

- I. Laboratórium technickej analýzy, IČ spektroskopia, fluorescenčná spektroskopia (U54/204)
- II. Laboratórium užitých vlastností materiálov a výrobkov kontrolných a skúšobných metód (U54/205)
- III. Laboratórium fyzika I (U54/208)
- IV. Poslucháreň A (U51/107)
- V. Tabuľa (U51/107)
- VI. Učebňa (U51/120)
- VII. Tabuľa (U51/120)
- VIII. Kopírovacia miestnosť (U51/325)
- IX. Sklad horľavín a jedov (U54/202)
- X. Chodba (UTVAS)
- XI. Schodisko (tretie poschodie)
- XII. Šatňa muži (U55/005)
- XIII. WC (U54/220)



Obr. 11. Vybrané druhy priestorov, činností alebo úloh UTB v Zlíne, v ktorých bolo meranie osvetlenia uskutočnené

Tab. 6. Namerané hodnoty osvetlenia v interiéri školy

| | <i>Miestnosť</i> | | | | | | |
|-------------------------------|------------------|------------|-------------|------------|-----------|------------|-------------|
| | <i>I.</i> | <i>II.</i> | <i>III.</i> | <i>IV.</i> | <i>V.</i> | <i>VI.</i> | <i>VII.</i> |
| <i>i</i> | <i>E [lx]</i> | | | | | | |
| 1 | 365 | 295 | 442 | 316 | 145 | 468 | 89 |
| 2 | 454 | 434 | 463 | 315 | 135 | 452 | 180 |
| 3 | 472 | 475 | 463 | 338 | 120 | 430 | 170 |
| 4 | 485 | 355 | 476 | 327 | 148 | 437 | 175 |
| 5 | 498 | 494 | 486 | 345 | 148 | 452 | 122 |
| 6 | 509 | 336 | 477 | 352 | 142 | 472 | 203 |
| 7 | 471 | 494 | 462 | 351 | 152 | 470 | 168 |
| 8 | 422 | 326 | 476 | 352 | 153 | 451 | 204 |
| 9 | 372 | 433 | 459 | 356 | 141 | 442 | 198 |
| 10 | 359 | 487 | 445 | 344 | 138 | 464 | 223 |
| 11 | 261 | 303 | 430 | 358 | 150 | 472 | 195 |
| 12 | 282 | 418 | 433 | 356 | 153 | 453 | 200 |
| 13 | 477 | 433 | 424 | 366 | 149 | 443 | 98 |
| 14 | 464 | 252 | 403 | 364 | 148 | 436 | 202 |
| 15 | 443 | 358 | 416 | 370 | 153 | 411 | 220 |
| 16 | 458 | 406 | 435 | 366 | 139 | 421 | 228 |
| 17 | 372 | 488 | 442 | 371 | 121 | 447 | 205 |
| 18 | 305 | 362 | 413 | 368 | 118 | 466 | 201 |
| 19 | 496 | 498 | 475 | 375 | 135 | 455 | 219 |
| 20 | 480 | 423 | 470 | 343 | 138 | 448 | 190 |
| $(\bar{E} \pm \sigma_E) [lx]$ | 422 ± 17 | 404 ± 17 | 450 ± 5 | 352 ± 4 | 141 ± 2 | 450 ± 4 | 185 ± 9 |
| $\bar{E}_m [lx]$ | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 300 | 500 |

Tab. 7. Namerané hodnoty osvetlenia v interiery školy

| | <i>Miestnosť</i> | | | | | |
|-------------------------------|------------------|------------|-----------|------------|-------------|--------------|
| | <i>VIII.</i> | <i>IX.</i> | <i>X.</i> | <i>XI.</i> | <i>XII.</i> | <i>XIII.</i> |
| <i>i</i> | <i>E [lx]</i> | | | | | |
| 1 | 211 | 146 | 237 | 30 | 166 | 148 |
| 2 | 210 | 203 | 213 | 38 | 208 | 152 |
| 3 | 213 | 280 | 190 | 66 | 234 | 157 |
| 4 | 211 | 285 | 189 | 96 | 198 | 208 |
| 5 | 208 | 217 | 211 | 65 | 260 | 147 |
| 6 | 216 | 215 | 208 | 98 | 173 | 135 |
| 7 | 225 | 280 | 226 | 63 | 152 | 128 |
| 8 | 238 | 300 | 240 | 64 | 138 | 168 |
| 9 | 244 | 192 | 211 | 88 | 111 | 138 |
| 10 | 242 | 245 | 202 | 62 | 188 | 176 |
| 11 | 247 | 290 | 181 | 61 | 226 | 162 |
| 12 | 251 | 202 | 198 | 47 | 303 | 161 |
| 13 | 233 | 132 | 189 | 63 | 248 | 101 |
| 14 | 249 | 192 | 210 | 68 | 262 | 102 |
| 15 | 238 | 285 | 216 | 61 | 220 | 161 |
| 16 | 241 | 272 | 235 | 62 | 258 | 129 |
| 17 | 250 | 280 | 152 | 63 | 274 | 136 |
| 18 | 249 | 112 | 158 | 33 | 261 | 145 |
| 19 | 261 | 164 | 214 | 33 | 210 | 153 |
| 20 | 258 | 172 | 203 | 63 | 316 | 151 |
| $(\bar{E} \pm \sigma_E) [lx]$ | 235 ± 4 | 223 ± 13 | 204 ± 5 | 61 ± 4 | 220 ± 12 | 148 ± 5 |
| $\bar{E}_m [lx]$ | 300 | 100 | 200 | 150 | 200 | 200 |

kde: *I. až XIII.* – vybrané miestnosti v ktorých bolo meranie osvetlenosti uskutočnené

i – číslo merania

E [lx] – aktuálna osvetlenosť v luxoch

$\bar{E} [lx]$ – aritmetický priemer nameraných hodnôt osvetlenosti v luxoch

$\sigma_E [lx]$ - smerodajná odchýlka aritmetického priemeru nameraných hodnôt osvetlenosti v luxoch

$\bar{E}_m [lx]$ - udržiavaná osvetlenosť podľa normy v luxoch

9.1.3 Výpočty

Príklad výpočtu aritmetického priemeru osvetlenosti \bar{E} pre miestnosť IX. (podľa rovnice 39)

$$\bar{E} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n E_i = \frac{146+203+280+\dots+172}{20} = \frac{4464}{20} \doteq 223 \text{ lx}$$

Príklad výpočtu smerodajnej odchýlky aritmetického priemeru (chyby merania) osvetlenosti $\bar{\sigma}_E$ pre miestnosť IX. (podľa rovnice 40)

$$\bar{\sigma}_E = \sqrt{\frac{\sum E_i^2 - \frac{1}{n}(\sum E_i)^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{1062578 - \frac{1}{20} \cdot 4464^2}{20 \cdot (20-1)}} \doteq 13 \text{ lx}$$

9.1.4 Zhrnutie a záver

Z tabuliek 6 a 7 je zrejmé, že niektoré miestnosti nespĺňajú normované požiadavky osvetlenia. Všetky tri laboratória (miestnosti I. až III.) majú hodnoty osvetlenia o niečo nižšie, ako povoľuje norma. Môže to byť spôsobené zlou údržbou svietidiel, starnutím svietidiel, alebo prachom, ktorý sa nachádza na ich krytoch. Doporučoval by som častejšiu údržbu, prípadne zavedenie doplnkového osvetlenia pri pracovných stoloch. Poslucháreň A (miestnosť IV.) bola rovnako pod hodnotou noriem. Tu by som doporučoval neodkladnú výmenu hlavného osvetlenia. Kopírovacia miestnosť (VIII.) by tak isto potrebovala včasnú údržbu hlavného osvetlenia. Toaleta (XIII.), v tomto prípade, potrebuje podobne ako miestnosť VIII. údržbu svietidiel, ale nie neodkladne, pretože doba po ktorú je človek na WC, je vzhľadom na jeho dennú činnosť zanedbateľná. Čo je ale najviac znepokojujúce je osvetlenie oboch tabúľ (V. a VII.) a schodiska (XI.). U tabúľ je to hlboko pod normu (o viac ako 63%). Doporučoval by som prídavné osvetlenie nad obe tabule, pričom však treba dať pri jeho inštalovaní pozor, na nežiaduce oslnenie študentov, ktorý budú sedieť v laviciach. Čo sa týka schodiska, doporučujem výmenu hlavného osvetlenia za silnejšie, pretože namerané hodnoty boli menšie oproti normám o viac ako 50%. Učebňa (miestnosť VI) mala hodnoty osvetlenia vyššie, preto by som vymenil svietidlá za slabšie. Môže tu dochádzať k nežiadúcemu oslneniu. Sklad horľavín a jedov (IX) mal rovnako zbytočne silné osvetlenie. Výmena však nie je potrebná, pretože človek v týchto priestoroch trávi podstatne menej času, ako pri iných činnostiach. Na druhej strane sú možno, v tomto prípade, výhodné zvýšené hodnoty osvetlenia, pretože na fľaškách s chemikáliami nachádzame rôzne štítky,

ktoré popisujú danú látku a preto je silnejšie osvetlenie prijateľné. Ostatné miestnosti približne spĺňali normy a preto je výmena alebo zavádzanie doplnkového osvetlenia zbytočné. Zo zistených skutočností teda vyplýva, že najhoršie dopadli obe tabule a schodisko, čo môže viesť k zvýšenej únave študentov pri štúdiu v posluchárni alebo učebni, prípadne k úrazu na schodoch. Najväčšie hodnoty osvetlenia vykazovali Laboratórium fyziky (III) a učebňa (VI). Najlepšie osvetlené priestory v porovnaní s ostatnými miestnosťami, boli však chodba (X.) a šatňa mužov (XII.).

9.2 Praktické meranie činiteľa odrazu svetla od povrchov

9.2.1 Cieľ a postup práce

Princíp činnosti digitálneho luxmetra LX-101 som poznal z predchádzajúceho merania. Pri meraní činiteľa odrazu svetla ρ_f [-] od jednotlivých povrchov som postupoval tak, že som si zvolil 10 náhodných fasád v okolí bydliska, ktoré sa líšili farebným odtieňom omietky, v druhom rade i štruktúrou a zrnitosťou. Zisťovanie činiteľa prebiehalo pomocou merania osvetlenia, pričom som namerané hodnoty zapisoval do prehľadnej tabuľky. Obyčajne takéto merania prebiehajú za pomoci jasomeru, ale nebol k dispozícii. Preto som meral len pomocou luxmetra. Najskôr som zistil hodnoty dopadajúceho osvetlenia na povrch fasády E_p [lx] a potom za rovnakých podmienok osvetlenosť s čidlom luxmetra obráteným k danému povrchu E_o [lx] tak, aby bolo čidlo rovnobežné s týmto povrchom, netienilo ho (vo vzdialenosti najmenej 5 násobku priemeru meracej hlavice) a aby naň nedopadalo svetlo z iných zdrojov. Vybral som si desať rôznych bodov (miest) fasády, aby bolo meranie presnejšie a komplexnejšie. Hneď po zmeraní dopadajúceho svetla v určitom bode, som zmeral v rovnakom bode svetlo odrazené. Za zmienku stojí i fakt, že v dobe merania (marec) bola zatiahnutá obloha. Tým som predišiel nežiadúcemu vysokému osvetleniu, ktoré by mohlo skresľovať hodnoty. Hodnotu činiteľa odrazu svetla ρ_f [-] som vypočítal ako podiel oboch zmeraných hodnôt osvetlenia. Výsledkom merania bol teda spriemerovaný činiteľ odrazu svetla $\bar{\rho}_f$ [-] pre jednotlivé fasády. Výsledné prepočty a hodnoty som spracoval v tabuľkách a porovnal ich s normovanými hodnotami ρ [-], ktoré som spomenul v teoretickej časti v odseku 6.2.1 Činiteľ odrazu (Tab. 1.) [23]

9.2.2 Vypracovanie



Obr. 12. Vybrané fasády

Tab. 8. Namerané hodnoty činitele odrazu světla od povrchov

| | <i>Fasáda</i> | | | | | | | | |
|--|---------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|---|---------------------------|--------------------------|
| | <i>Biela</i> | | | <i>Svetlo šedá</i> | | | <i>Tmavo žltá</i> | | |
| <i>i</i> | <i>E_P [lx]</i> | <i>E_O [lx]</i> | <i>ρ_f [-]</i> | <i>E_P [lx]</i> | <i>E_O [lx]</i> | <i>ρ_f [-]</i> | <i>E_P [lx]</i> | <i>E_O [lx]</i> | <i>ρ_f [-]</i> |
| 1 | 800 | 751 | 0,94 | 584 | 249 | 0,43 | 2810 | 1450 | 0,52 |
| 2 | 872 | 718 | 0,82 | 527 | 229 | 0,43 | 2490 | 1490 | 0,60 |
| 3 | 887 | 707 | 0,80 | 534 | 221 | 0,41 | 2340 | 1320 | 0,56 |
| 4 | 783 | 689 | 0,88 | 559 | 229 | 0,41 | 2670 | 1340 | 0,50 |
| 5 | 843 | 699 | 0,83 | 524 | 211 | 0,40 | 2500 | 1360 | 0,54 |
| 6 | 825 | 727 | 0,88 | 557 | 228 | 0,41 | 2450 | 1420 | 0,58 |
| 7 | 691 | 570 | 0,82 | 594 | 257 | 0,43 | 2610 | 1300 | 0,50 |
| 8 | 759 | 664 | 0,87 | 582 | 243 | 0,42 | 2420 | 1410 | 0,58 |
| 9 | 702 | 645 | 0,92 | 545 | 219 | 0,40 | 2340 | 1320 | 0,56 |
| 10 | 716 | 654 | 0,91 | 558 | 223 | 0,40 | 2760 | 1500 | 0,54 |
| $(\bar{\rho}_f \pm \bar{\sigma}_{\rho_f}) [-]$ | 0,87 ± 0,02 | | | 0,415 ± 0,004 | | | 0,55 ± 0,01 | | |
| $\rho [-]$ | 0,75 až 0,89 | | | 0,40 až 0,60 | | | 0,50 až 0,60 | | |
| | <i>Fasáda</i> | | | | | | | | |
| | <i>Krémová</i> | | | <i>Ružová</i> | | | <i>Zelená</i> | | |
| <i>i</i> | <i>E_P [lx]</i> | <i>E_O [lx]</i> | <i>ρ_f [-]</i> | <i>E_P [lx]</i> | <i>E_O [lx]</i> | <i>ρ_f [-]</i> | <i>E_P [lx]</i> | <i>E_O [lx]</i> | <i>ρ_f [-]</i> |
| 1 | 2090 | 1030 | 0,49 | 1910 | 705 | 0,37 | 3550 | 1390 | 0,39 |
| 2 | 2160 | 1060 | 0,49 | 2020 | 671 | 0,33 | 3630 | 1310 | 0,36 |
| 3 | 2140 | 1020 | 0,48 | 2110 | 709 | 0,34 | 3530 | 1280 | 0,36 |
| 4 | 2000 | 1010 | 0,51 | 2120 | 694 | 0,33 | 3430 | 1350 | 0,39 |
| 5 | 1940 | 1020 | 0,53 | 1900 | 673 | 0,35 | 3320 | 1030 | 0,31 |
| 6 | 2000 | 1010 | 0,51 | 1940 | 664 | 0,34 | 3440 | 1150 | 0,33 |
| 7 | 1840 | 981 | 0,53 | 1800 | 652 | 0,36 | 3030 | 1450 | 0,48 |
| 8 | 1710 | 970 | 0,57 | 1980 | 645 | 0,33 | 3020 | 1420 | 0,47 |
| 9 | 1880 | 944 | 0,50 | 1830 | 638 | 0,35 | 3070 | 1120 | 0,36 |
| 10 | 1810 | 955 | 0,53 | 1810 | 625 | 0,35 | 2680 | 916 | 0,34 |
| $(\bar{\rho}_f \pm \bar{\sigma}_{\rho_f}) [-]$ | 0,51 ± 0,01 | | | 0,344 ± 0,005 | | | 0,38 ± 0,02 | | |
| $\rho [-]$ | 0,60 až 0,70 | | | neuvedené | | | Tmavo z. 0,05 až 0,30 Svetlo z. 0,45 až 0,65 | | |

Tab. 9. Namerané hodnoty činiteľu odrazu svetla od povrchov

| <i>i</i> | <i>Fasáda</i> | | | | | |
|--|---------------------------|---------------------------|--------------------------|---|---------------------------|--------------------------|
| | <i>Svetlo modrá</i> | | | <i>Modrá</i> | | |
| | <i>E_P [lx]</i> | <i>E_O [lx]</i> | <i>ρ_f [-]</i> | <i>E_P [lx]</i> | <i>E_O [lx]</i> | <i>ρ_f [-]</i> |
| 1 | 491 | 337 | 0,69 | 3290 | 1840 | 0,56 |
| 2 | 520 | 334 | 0,64 | 3230 | 1850 | 0,57 |
| 3 | 526 | 321 | 0,61 | 3300 | 1790 | 0,54 |
| 4 | 507 | 293 | 0,58 | 2820 | 1720 | 0,61 |
| 5 | 447 | 314 | 0,70 | 3340 | 1910 | 0,57 |
| 6 | 455 | 300 | 0,66 | 3550 | 2010 | 0,57 |
| 7 | 444 | 287 | 0,65 | 3590 | 1930 | 0,54 |
| 8 | 404 | 268 | 0,66 | 2630 | 1620 | 0,62 |
| 9 | 392 | 267 | 0,68 | 2710 | 1740 | 0,64 |
| 10 | 389 | 251 | 0,65 | 2900 | 1870 | 0,64 |
| $(\bar{\rho}_f \pm \bar{\sigma}_{\rho_f}) [-]$ | 0,65 ± 0,01 | | | 0,59 ± 0,01 | | |
| <i>ρ [-]</i> | 0,40 až 0,60 | | | Tmavo m. 0,05 až 0,20 Svetlo m. 0,40 až 0,60 | | |
| <i>i</i> | <i>Fasáda</i> | | | | | |
| | <i>Pieskovcová</i> | | | <i>Tehla</i> | | |
| | <i>E_P [lx]</i> | <i>E_O [lx]</i> | <i>ρ_f [-]</i> | <i>E_P [lx]</i> | <i>E_O [lx]</i> | <i>ρ_f [-]</i> |
| 1 | 1060 | 562 | 0,53 | 651 | 190 | 0,29 |
| 2 | 1050 | 571 | 0,54 | 639 | 194 | 0,30 |
| 3 | 942 | 531 | 0,56 | 628 | 188 | 0,30 |
| 4 | 918 | 514 | 0,56 | 645 | 191 | 0,30 |
| 5 | 872 | 492 | 0,56 | 618 | 183 | 0,30 |
| 6 | 879 | 456 | 0,52 | 599 | 173 | 0,29 |
| 7 | 933 | 460 | 0,49 | 580 | 175 | 0,30 |
| 8 | 857 | 452 | 0,53 | 578 | 188 | 0,33 |
| 9 | 929 | 467 | 0,50 | 601 | 169 | 0,28 |
| 10 | 947 | 405 | 0,43 | 553 | 187 | 0,34 |
| $(\bar{\rho}_f \pm \bar{\sigma}_{\rho_f}) [-]$ | 0,52 ± 0,01 | | | 0,30 ± 0,01 | | |
| <i>ρ [-]</i> | Piesok svetlý 0,50 | | | 0,25 | | |

kde: *i* – číslo merania

E_P [lx] – aktuálne osvetlenie priameho dopadajúceho svetla na povrch fasády v luxoch

E_O [lx] - aktuálne osvetlenie odrazeného svetla od povrchu fasády v luxoch

$\rho_f [-]$ – aktuálne hodnoty činiteľa odrazu svetla od povrchu fasády, bez jednotky

$\bar{\rho}_f [-]$ – aritmetický priemer nameraných hodnôt činiteľa odrazu svetla od povrchu fasády, bez jednotky

$\bar{\sigma}_{\rho_f} [-]$ - smerodajná odchýlka aritmetického priemeru nameraných hodnôt činiteľa odrazu svetla od povrchu fasády, bez jednotky

$\rho [-]$ – normovaný činiteľ odrazu svetla od povrchu, bez jednotky

9.2.3 Výpočty

Príklad výpočtu činiteľa odrazu svetla ρ_f od povrchu bielej fasády pre prvé meranie

$$\rho_{f_i} = \frac{E_{0_i}}{E_{p_i}} \quad (41)$$

$$\rho_{f_1} = \frac{E_{0_1}}{E_{p_1}} = \frac{751}{800} \doteq 0,94$$

Príklad výpočtu aritmetického priemeru činiteľa odrazu svetla $\bar{\rho}_f$ od bielej fasády (podľa rovnice 39)

$$\bar{\rho}_f = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \rho_{f_i} = \frac{0,94+0,82+0,80+ \dots +0,91}{10} = \frac{8,68}{10} \doteq 0,87$$

Príklad výpočtu smerodajnej odchýlky aritmetického priemeru (chyby merania) činiteľa odrazu $\bar{\sigma}_{\rho_f}$ od bielej fasády (podľa rovnice 40)

$$\bar{\sigma}_{\rho_f} = \sqrt{\frac{\sum \rho_{f_i}^2 - \frac{1}{n} (\sum \rho_{f_i})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{7,56 - \frac{1}{10} \cdot 8,68^2}{10 \cdot (10-1)}} \doteq 0,02$$

9.2.4 Zhrnutie a záver

Z merania vyplynul fakt (Tab. 8. a 9.), že krémová omietka odrazila o niečo menej žiarenia, ako uvádzajú normy, čo mohlo byť spôsobené jej štruktúrou. Zelená omietka vykazovala hodnoty odrazu niekde medzi tmavou a svetlou omietkou. Mohlo to byť spôsobené jej zafarbením, prípadne jej zrnitosťou. Ostané fasády vykazovali približne rovnaký činiteľ odrazu ako činitele odrazu v normách. Malé výkyvy hodnôt môžu byť spôsobené už spo-

mínanými záležitosťami (farba, štruktúra, zrnitosť, starnutie omietky, poveternostné vplyvy a pod).

Záverom teda najviac svetla odrazí biela fasáda, najmenej murovaná fasáda, čo nevylučuje známe fyzikálne zákony. Tehla pohltí viacej svetla, ktoré neskôr vyžaruje vo forme tepla, čo sa využíva v interiéri budov (napr. ekologické budovy a pod.). Biela omietka naopak dopadajúce žiarenie podstatne viac odráža do okolia. Čo sa týka interiéru, môže sa táto farba použiť aj na „presvetlenie“ tmavších priestorov.

9.3 Praktické meranie činiteľa priestupu svetla cez materiály

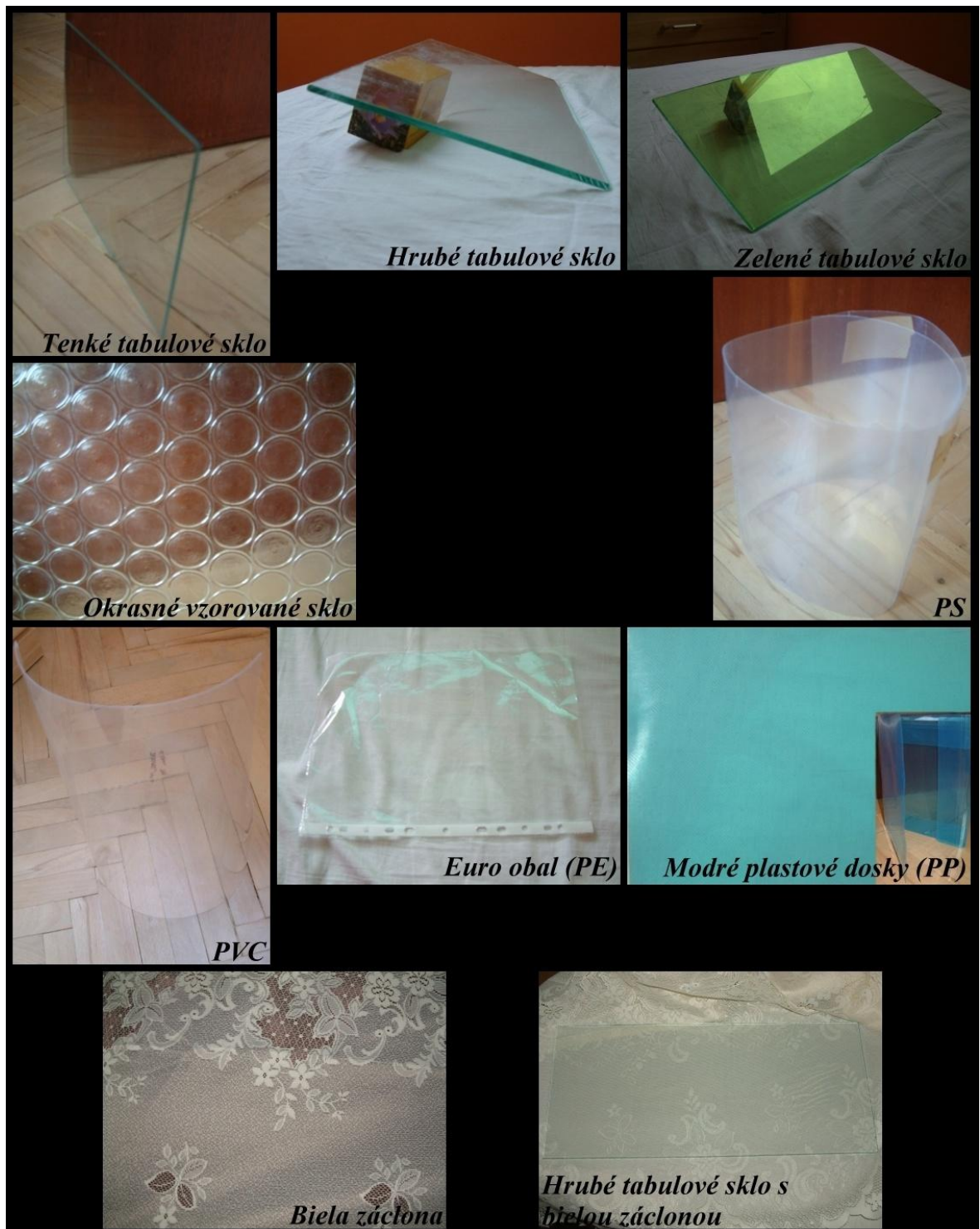
9.3.1 Cieľ a postup práce

Tak ako v ostatných prípadoch, bol potrebný na prácu luxmeter. Na zisťovanie hrúbky som použil digitálny mikrometer. Meranie priepustnosti svetla som začal tým, že som zvolil niekoľko druhov materiálov, ktoré budem merať. Materiály som zháňal v sklárni v blízkosti bydliska, na univerzite, ako aj doma. Zisťoval som činiteľ priestupu difúzneho svetla τ_d [-] a namerané hodnoty som zapisoval do jednoduchšej tabuľky. Pri jeho zisťovaní som postupoval tak, že pomocou digitálneho luxmetru s čidlom priloženým rovnobežne s povrchom meraného materiálu smerom von, som meral hodnoty osvetlenia E_M [lx]. Hneď po tomto úkone som zisťoval hodnoty osvetlenia s čidlom v rovnakej polohe, ale už bez materiálu, cez ktoré prestupovalo svetlo E_P [lx]. Čo sa týka plochy materiálu, meral som v 15 rôznych bodoch (miestach). Meranie prebiehalo v interiéri, pretože v deň merania bolo polojasno a hodnoty osvetlenia v exteriéri každou sekundou extrémne „skákali“. Na elimináciu týchto nežiadúcich javov som volil práve prácu vo vnútri budovy. Dôležité je tiež zmieniť sa, že materiály boli obojstranne dôkladne očistené, aby sa zabránilo skresleniu výsledkov. Pri zisťovaní hodnôt činiteľa τ_d [-] pre euro obal (PE) bolo potrebné tento obal dokonale vyrovnať a natiahnuť, aby sa zabránilo vzniku vzduchovej medzery medzi obojma vrstvami. Meral som ho teda v celku, tak ako je na *obr. 13*. Čo sa týka PS a PVC, boli pružné a ohybné a bolo potrebné tieto materiály dokonale vyrovnať, pretože by mohlo dôjsť pri meraní k rozptylu a lámaniu svetla pod rôznymi uhlami. Na *obr. 13* sú oba plasty v nezaťaženej polohe. Modré plastové dosky (PP) mali vrúbkovanú štruktúru a v tomto prípade som meral len jednu vrstvu (na rozdiel od euro obalu), boli teda otvorené. Záclona bola samozrejme vyrovnaná a natiahnutá. Z poznatkov spomínaných vyššie (E_M , E_P) vy-

plýva fakt, že hodnotu činiteľa priestupu difúzneho svetla τ_d [-] som spočítal ako podiel zmeraných osvetlení so „zakrytým“ čidlom a bez materiálu na čidle. Výsledkom merania bol teda spriemerovaný činiteľ priestupu difúzneho svetla $\bar{\tau}_d$ [-] pre jednotlivé materiály. Hodnoty činiteľov $\bar{\tau}_d$ [-] som neskôr spracoval v tabuľkách a porovnal s hodnotami, ktoré sa nachádzajú v normách τ [-] (vid'. 6.2.2, Tab. 2). Ku koncu práce som zisťoval hrúbky d [mm] jednotlivých materiálov v 15 rôznych bodoch (miestach) pomocou digitálneho mikrometra. Hodnoty hrúbok som tak isto zaznamenal do tabuliek a spriemeroval \bar{d} [mm].

[24]

9.3.2 Vypracovanie



Obr. 13. Vybrané druhy materiálov

Tab. 10. Namerané hodnoty činiteľa priestupu svetla materiálov

| <i>i</i> | <i>Materiál</i> | <i>Tenké tabuľové sklo</i> | | | <i>Hrubé tabuľové sklo</i> | | |
|--|-----------------|-----------------------------|------------|--------------|-------------------------------|------------|--------------|
| | | E_P [lx] | E_M [lx] | τ_d [-] | E_P [lx] | E_M [lx] | τ_d [-] |
| 1 | | 251 | 222 | 0,88 | 244 | 217 | 0,89 |
| 2 | | 250 | 221 | 0,88 | 244 | 214 | 0,88 |
| 3 | | 250 | 219 | 0,88 | 242 | 212 | 0,88 |
| 4 | | 249 | 217 | 0,87 | 242 | 214 | 0,88 |
| 5 | | 246 | 217 | 0,88 | 242 | 211 | 0,87 |
| 6 | | 248 | 220 | 0,89 | 241 | 212 | 0,88 |
| 7 | | 247 | 228 | 0,92 | 243 | 215 | 0,88 |
| 8 | | 250 | 225 | 0,90 | 245 | 214 | 0,87 |
| 9 | | 245 | 222 | 0,91 | 247 | 217 | 0,88 |
| 10 | | 247 | 216 | 0,87 | 249 | 219 | 0,88 |
| 11 | | 249 | 222 | 0,89 | 249 | 215 | 0,86 |
| 12 | | 250 | 221 | 0,88 | 250 | 222 | 0,89 |
| 13 | | 245 | 220 | 0,90 | 248 | 216 | 0,87 |
| 14 | | 246 | 224 | 0,91 | 247 | 215 | 0,87 |
| 15 | | 246 | 219 | 0,89 | 242 | 211 | 0,87 |
| $(\bar{\tau}_d \pm \bar{\sigma}_{\tau_d})$ [-] | | 0,891 ± 0,004 | | | 0,877 ± 0,002 | | |
| τ [-] | | 0,92 | | | 0,92 | | |
| <i>i</i> | <i>Materiál</i> | <i>Zelené tabuľové sklo</i> | | | <i>Okrasné vzorované sklo</i> | | |
| | | E_P [lx] | E_M [lx] | τ_d [-] | E_P [lx] | E_M [lx] | τ_d [-] |
| 1 | | 283 | 213 | 0,75 | 217 | 177 | 0,82 |
| 2 | | 283 | 213 | 0,75 | 218 | 175 | 0,80 |
| 3 | | 285 | 216 | 0,76 | 216 | 181 | 0,84 |
| 4 | | 286 | 219 | 0,77 | 219 | 159 | 0,73 |
| 5 | | 288 | 211 | 0,73 | 222 | 196 | 0,88 |
| 6 | | 288 | 221 | 0,77 | 220 | 197 | 0,90 |
| 7 | | 290 | 218 | 0,75 | 223 | 191 | 0,86 |
| 8 | | 291 | 221 | 0,76 | 221 | 173 | 0,78 |
| 9 | | 293 | 223 | 0,76 | 221 | 170 | 0,77 |
| 10 | | 294 | 218 | 0,74 | 220 | 194 | 0,88 |
| 11 | | 295 | 221 | 0,75 | 219 | 160 | 0,73 |
| 12 | | 297 | 220 | 0,74 | 219 | 163 | 0,74 |
| 13 | | 298 | 229 | 0,77 | 219 | 193 | 0,88 |
| 14 | | 299 | 225 | 0,75 | 217 | 153 | 0,71 |
| 15 | | 302 | 231 | 0,76 | 219 | 157 | 0,72 |
| $(\bar{\tau}_d \pm \bar{\sigma}_{\tau_d})$ [-] | | 0,755 ± 0,003 | | | 0,80 ± 0,02 | | |
| τ [-] | | neuvedené | | | 0,85 až 0,90 | | |

Tab. 11. Namerané hodnoty činiteľa priestupu svetla materiálov

| <i>i</i> | <i>Materiál</i> | <i>PS</i> | | | <i>PVC</i> | | |
|--|-----------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| | | <i>E_P [lx]</i> | <i>E_M [lx]</i> | <i>τ_d [-]</i> | <i>E_P [lx]</i> | <i>E_M [lx]</i> | <i>τ_d [-]</i> |
| 1 | | 303 | 267 | 0,88 | 280 | 235 | 0,84 |
| 2 | | 303 | 265 | 0,87 | 277 | 232 | 0,84 |
| 3 | | 303 | 264 | 0,87 | 269 | 228 | 0,85 |
| 4 | | 299 | 263 | 0,88 | 295 | 261 | 0,88 |
| 5 | | 300 | 268 | 0,89 | 291 | 247 | 0,85 |
| 6 | | 300 | 264 | 0,88 | 294 | 250 | 0,85 |
| 7 | | 296 | 260 | 0,88 | 295 | 251 | 0,85 |
| 8 | | 294 | 259 | 0,88 | 295 | 255 | 0,86 |
| 9 | | 291 | 264 | 0,91 | 302 | 262 | 0,87 |
| 10 | | 288 | 258 | 0,90 | 303 | 251 | 0,83 |
| 11 | | 285 | 257 | 0,90 | 303 | 256 | 0,84 |
| 12 | | 284 | 256 | 0,90 | 303 | 258 | 0,85 |
| 13 | | 288 | 257 | 0,89 | 304 | 256 | 0,84 |
| 14 | | 290 | 266 | 0,92 | 304 | 257 | 0,85 |
| 15 | | 293 | 260 | 0,89 | 305 | 260 | 0,85 |
| $(\bar{\tau}_d \pm \bar{\sigma}_{\tau_d}) [-]$ | | 0,889 ± 0,003 | | | 0,850 ± 0,004 | | |
| $\tau [-]$ | | neuvadené | | | neuvadené | | |
| <i>i</i> | <i>Materiál</i> | <i>Euro obal (PE)</i> | | | <i>Modré plastové dosky (PP)</i> | | |
| | | <i>E_P [lx]</i> | <i>E_M [lx]</i> | <i>τ_d [-]</i> | <i>E_P [lx]</i> | <i>E_M [lx]</i> | <i>τ_d [-]</i> |
| 1 | | 208 | 180 | 0,87 | 357 | 244 | 0,68 |
| 2 | | 212 | 180 | 0,85 | 358 | 245 | 0,68 |
| 3 | | 212 | 179 | 0,84 | 356 | 241 | 0,68 |
| 4 | | 213 | 176 | 0,83 | 355 | 248 | 0,70 |
| 5 | | 214 | 181 | 0,85 | 356 | 245 | 0,69 |
| 6 | | 210 | 179 | 0,85 | 356 | 242 | 0,68 |
| 7 | | 208 | 180 | 0,87 | 355 | 240 | 0,68 |
| 8 | | 210 | 180 | 0,86 | 356 | 241 | 0,68 |
| 9 | | 209 | 179 | 0,86 | 356 | 240 | 0,67 |
| 10 | | 209 | 178 | 0,85 | 356 | 242 | 0,68 |
| 11 | | 208 | 181 | 0,87 | 356 | 242 | 0,68 |
| 12 | | 211 | 179 | 0,85 | 356 | 242 | 0,68 |
| 13 | | 212 | 178 | 0,84 | 355 | 244 | 0,69 |
| 14 | | 214 | 182 | 0,85 | 355 | 241 | 0,68 |
| 15 | | 210 | 177 | 0,84 | 354 | 239 | 0,68 |
| $(\bar{\tau}_d \pm \bar{\sigma}_{\tau_d}) [-]$ | | 0,851 ± 0,003 | | | 0,681 ± 0,002 | | |
| $\tau [-]$ | | neuvadené | | | neuvadené | | |

Tab. 12. Namerané hodnoty činiteľa priestupu svetla materiálov

| <i>i</i> | Materiál | Biela záclona | | | Hrubé tabuľové sklo s bielou záclonou | | |
|--|----------|-----------------|------------|--------------|---------------------------------------|------------|--------------|
| | | E_P [lx] | E_M [lx] | τ_d [-] | E_P [lx] | E_M [lx] | τ_d [-] |
| 1 | | 321 | 184 | 0,57 | 255 | 148 | 0,58 |
| 2 | | 319 | 203 | 0,64 | 255 | 143 | 0,56 |
| 3 | | 316 | 188 | 0,59 | 256 | 150 | 0,59 |
| 4 | | 308 | 197 | 0,64 | 257 | 152 | 0,59 |
| 5 | | 304 | 189 | 0,62 | 258 | 150 | 0,58 |
| 6 | | 294 | 193 | 0,66 | 257 | 150 | 0,58 |
| 7 | | 288 | 191 | 0,66 | 258 | 157 | 0,61 |
| 8 | | 285 | 233 | 0,82 | 259 | 152 | 0,59 |
| 9 | | 278 | 153 | 0,55 | 253 | 148 | 0,58 |
| 10 | | 276 | 150 | 0,54 | 256 | 132 | 0,52 |
| 11 | | 273 | 195 | 0,71 | 256 | 150 | 0,59 |
| 12 | | 275 | 197 | 0,72 | 255 | 150 | 0,59 |
| 13 | | 280 | 160 | 0,57 | 257 | 151 | 0,59 |
| 14 | | 281 | 189 | 0,67 | 258 | 155 | 0,60 |
| 15 | | 288 | 192 | 0,67 | 256 | 146 | 0,57 |
| $(\bar{\tau}_d \pm \bar{\sigma}_{\tau_d})$ [-] | | 0,64 \pm 0,02 | | | 0,581 \pm 0,005 | | |
| τ [-] | | 0,50 až 0,75 | | | neuvedené | | |

kde: i – číslo merania

E_P [lx] – aktuálne osvetlenie priameho dopadajúceho svetla na čidlo luxmetru v luxoch

E_M [lx] – aktuálne osvetlenie difúzneho svetla prechádzajúceho materiálom v luxoch

τ_d [-] – namerané hodnoty činiteľa priestupu difúzneho svetla materiálom, bez jednotky

$\bar{\tau}_d$ – aritmetický priemer nameraných hodnôt činiteľa priestupu difúzneho svetla materiálu, bez jednotky

$\bar{\sigma}_{\tau_d}$ - smerodajná odchýlka aritmetického priemeru nameraných hodnôt činiteľa priestupu difúzneho svetla materiálu, bez jednotky

τ [-] – normovaný činiteľ priestupu difúzneho svetla materiálu, bez jednotky

Tab. 13. Namerané hodnoty hrúbky jednotlivých materiálov

| <i>i</i> | <i>Materiál</i> | <i>Tenké tabuľové sklo</i> | <i>Hrubé tabuľové sklo</i> | <i>Zelené tabuľové sklo</i> | <i>Okrasné vzorované sklo</i> |
|-------------------------------------|-----------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--|
| 1 | <i>d [mm]</i> | 1,952 | 4,944 | 4,902 | 3,767 |
| 2 | | 1,951 | 4,933 | 4,782 | 4,065 |
| 3 | | 1,950 | 4,933 | 4,820 | 5,006 |
| 4 | | 1,950 | 4,951 | 4,809 | 4,425 |
| 5 | | 1,952 | 4,925 | 4,762 | 4,201 |
| 6 | | 1,954 | 4,905 | 4,754 | 4,182 |
| 7 | | 1,951 | 4,901 | 4,777 | 5,036 |
| 8 | | 1,955 | 4,898 | 4,825 | 5,144 |
| 9 | | 1,952 | 4,895 | 4,887 | 3,608 |
| 10 | | 1,946 | 4,887 | 4,908 | 3,365 |
| 11 | | 1,950 | 4,901 | 4,781 | 5,092 |
| 12 | | 1,952 | 4,899 | 4,890 | 5,020 |
| 13 | | 1,951 | 4,889 | 4,772 | 4,243 |
| 14 | | 1,949 | 4,936 | 4,801 | 3,795 |
| 15 | | 1,952 | 4,902 | 4,799 | 5,095 |
| $(\bar{d} \pm \bar{\sigma}_d) [mm]$ | | 1,951 ± 0,001 | 4,913 ± 0,005 | 4,818 ± 0,014 | 4,40 ± 0,16 |
| <i>i</i> | <i>Materiál</i> | <i>PS</i> | <i>PVC</i> | <i>Euro obal (PE)</i> | <i>Modré plastové dosky (PP)</i> |
| 1 | <i>d [mm]</i> | 0,360 | 0,422 | 0,085 | 0,420 |
| 2 | | 0,357 | 0,429 | 0,083 | 0,442 |
| 3 | | 0,358 | 0,421 | 0,090 | 0,447 |
| 4 | | 0,359 | 0,423 | 0,088 | 0,451 |
| 5 | | 0,356 | 0,420 | 0,088 | 0,460 |
| 6 | | 0,351 | 0,416 | 0,082 | 0,469 |
| 7 | | 0,355 | 0,401 | 0,089 | 0,468 |
| 8 | | 0,351 | 0,422 | 0,092 | 0,453 |
| 9 | | 0,357 | 0,426 | 0,086 | 0,441 |
| 10 | | 0,359 | 0,423 | 0,089 | 0,432 |
| 11 | | 0,357 | 0,419 | 0,088 | 0,443 |
| 12 | | 0,359 | 0,421 | 0,089 | 0,428 |
| 13 | | 0,355 | 0,415 | 0,086 | 0,439 |
| 14 | | 0,354 | 0,420 | 0,083 | 0,452 |
| 15 | | 0,355 | 0,424 | 0,084 | 0,462 |
| $(\bar{d} \pm \bar{\sigma}_d) [mm]$ | | 0,356 ± 0,001 | 0,420 ± 0,002 | 0,087 ± 0,001 | 0,447 ± 0,004 |

Tab. 14. Namerané hodnoty hrúbky jednotlivých materiálov

| <i>i</i> | <i>Materiál</i> | <i>Biela záclona</i> | <i>Hrubé tabuľové sklo s bielou záclonou</i> |
|-------------------------------------|-----------------|----------------------|--|
| 1 | <i>d [mm]</i> | 0,397 | 5,404 |
| 2 | | 0,270 | 5,378 |
| 3 | | 0,281 | 5,191 |
| 4 | | 0,266 | 5,219 |
| 5 | | 0,268 | 5,159 |
| 6 | | 0,279 | 5,185 |
| 7 | | 0,276 | 5,234 |
| 8 | | 0,273 | 5,267 |
| 9 | | 0,352 | 5,141 |
| 10 | | 0,267 | 5,143 |
| 11 | | 0,274 | 5,298 |
| 12 | | 0,273 | 5,302 |
| 13 | | 0,361 | 5,182 |
| 14 | | 0,282 | 5,209 |
| 15 | | 0,275 | 5,339 |
| $(\bar{d} \pm \bar{\sigma}_d) [mm]$ | | $0,293 \pm 0,011$ | $5,24 \pm 0,02$ |

kde: *i* – číslo merania

d [mm] – hrúbka materiálu v milimetroch

$\bar{d} [mm]$ – aritmetický priemer nameraných hodnôt hrúbky materiálu v milimetroch

$\bar{\sigma}_d [mm]$ – smerodajná odchýlka aritmetického priemeru nameraných hodnôt hrúbky materiálu v milimetroch

9.3.3 Výpočty

Príklad výpočtu činiteľa priestupu difúzneho svetla τ_d tenkého tabuľového skla pre prvé meranie

$$\tau_{d_i} = \frac{E_{M_i}}{E_{P_i}} \quad (42)$$

$$\tau_{d_1} = \frac{E_{M_1}}{E_{P_1}} = \frac{222}{251} \doteq 0,88$$

Příklad výpočtu aritmetického priemeru činiteľa priestupu svetla $\bar{\tau}_d$ pre tenké tabuľové sklo (podľa rovnice 39)

$$\bar{\tau}_d = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \tau_{d_i} = \frac{0,88+0,88+0,88+ \dots +0,89}{15} = \frac{13,36}{15} \doteq 0,891$$

Příklad výpočtu smerodajnej odchýlky aritmetického priemeru (chyby merania) činiteľa priestupu svetla $\bar{\sigma}_{\tau_d}$ pre tenké tabuľové sklo (podľa rovnice 40)

$$\bar{\sigma}_{\tau_d} = \sqrt{\frac{\sum \tau_{d_i}^2 - \frac{1}{n}(\sum \tau_{d_i})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{11,91 - \frac{1}{15} \cdot 13,36^2}{15 \cdot (15-1)}} \doteq 0,004$$

Příklad výpočtu aritmetického priemeru hrúbky \bar{d} tenkého tabuľového skla (podľa rovnice 39)

$$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n d_i = \frac{1,952+1,951+1,950+ \dots +1,952}{15} = \frac{29,267}{15} \doteq 1,951 \text{ mm}$$

Příklad výpočtu smerodajnej odchýlky aritmetického priemeru (chyby merania) hrúbky $\bar{\sigma}_d$ tenkého tabuľového skla (podľa rovnice 40)

$$\bar{\sigma}_d = \sqrt{\frac{\sum d_i^2 - \frac{1}{n}(\sum d_i)^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{57,139 - \frac{1}{15} \cdot 29,267^2}{15 \cdot (15-1)}} \doteq 0,001 \text{ mm}$$

9.3.4 Zhrnutie a záver

Zo zistených skutočností vyplýva (Tab. 10. až 12.), že cez tenké a hrubé tabuľové sklo prešlo o čosi menej svetla ako uvádzajú normy. Mohlo to byť spôsobené opotrebovaním skla (rôzne trhlinky a škrabance na jeho povrchu), prípadne iným zložením skiel pri výrobe. Okrasné vzorované sklo prepúšťalo rovnako o čosi menej žiarenia. Na príčine mohlo byť rozdielne vzorkovanie normovaného a meraného skla. Biela záclona normy spĺňala. Ostatné normované hodnoty pre uvedené druhy materiálov sa mi nepodarilo nájsť.

Z pomedzi meraných materiálov najviac svetla prepustilo tenké tabuľové sklo spolu s PS. Najmenej žiarenia prešlo cez hrubé tabuľové sklo s bielou záclonou, čo je pochopiteľné z hľadiska toho, že ich spoločná hrúbka a clonenie bola najväčšia. To zároveň nevylučuje známe fyzikálne poznatky a preto sa dá povedať, že meranie bolo správne.

ZÁVER

Svetlo, ako elektromagnetické žiarenie, má pre rozvoj spoločnosti neuveriteľný význam. Preto je dôležité poznať jeho fyzikálne vlastnosti a vedieť si odvodiť, na základe zavedených veličín, jeho „chovanie“, ktoré môže byť pre človeka prínosom.

Tak, ako všetky vonkajšie vplyvy, má svetlo na správny biologický, psychologický alebo fyziologický vývoj človeka vplyv. Je dobré mať na pamäti, ako naše oko spolu s celým organizmom reaguje na jednotlivú intenzitu a kvalitu svetelného žiarenia. Preto by sme mali vedieť správne umiestniť osvetľovacie otvory a svietidlá v interiéri, v ktorom trávime podstatnú časť dňa. S tým samozrejme súvisí aj ekonomická výhoda kvalitne riešeného denného, umelého príp. združeného osvetlenia. Vhodné poznatky z oblasti svietidiel môžu pre ekonomiku domácností, firiem alebo štátov priniesť nemalé úspory. Je preto dobré, ak sa tejto problematike spolu s prirodzeným denným osvetlením venuje patričná pozornosť. Na základe toho vznikli rôzne matematické modely a prepočty. Vyvinuli sa tiež, okrem významného technického pokroku svietidiel, svetlotechnické meracie zariadenia a merania.

Napr. UTB je mladá a dynamicky sa rozvíjajúca univerzita. Ak spomeniem konkrétne budovu U5, patrí medzi najnovšie. Pri projektovaní sa kládol dôraz aj na kvalitu osvetlenia. Je však zrejmé, že časom sa jeho kvalita znižuje. Preto by sa mal klásť rovnaký dôraz aj na jeho údržbu. Z analýzy totiž vyplynulo, že niekde bola údržba umelého osvetlenia mierne zanedbaná, prípadne mohli vzniknúť chyby už pri zostavovaní jeho návrhu.

O tom, ako pôsobí budova U5 na svoje vonkajšie okolie, rozhoduje aj farba jej fasády. S farbou omietky, ako aj s jej zrnitosťou a vlastnosťami, súvisí aj odraz vonkajšieho svetla od budovy. Zo zistených skutočností vyplynulo, že tmavšie a zrnitejšie omietky vykazujú menší odraz svetla, zatiaľ čo lesklé a svetlejšie odrážajú podstatne viac svetla. Okrem farby závisí odraz aj na materiály z ktorého sú zložené.

So zložením materiálu súvisí aj prechod svetla cez objekt. Okrem zloženia má vplyv na priepustnosť žiarenia aj hrúbka daného materiálu. Pochopiteľne cez tmavší a hrubší prechádza svetlo horšie, zatiaľ čo cez transparentný a tenší ľahšie.

Zo spomínaných skutočností je zrejmé, že svetlo má na globálny kolobeh života na Zemi značný vplyv. V budúcnosti je predpoklad, že štúdiom elektromagnetického žiarenia zo Slnka, ako aj umelých svietidiel, sa bude prikladať čoraz väčšia dôležitosť, čo môže posunúť hranice ľudstva. Nakoniec, bez svetla by nebol možný vznik samotného života.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] KRIŽAN, Ján. Maturita z biológie : Opakovanie stredoškolského učiva. 1. vydanie. Bratislava : Príroda, 2004. 280 s. ISBN 80-07-01145-5.
- [2] MONZER, Ladislav. Venkovní osvětlení architektur. 1. vydanie. Praha : SNTL, 1980. 172 s. ISBN neuvedené, DT 628.874.6.064:725.1. DT 628.971.
- [3] HORŇÁK, Pavol. Umelé osvetlenie. 1. vydanie. Bratislava : ALFA, 1979. 184 s. ISBN neuvedené, MDT 628.92:725.
- [4] HORŇÁK, Pavol; TREMBAČ, Vladimír Viktorovič; AJZENBERG, Julián Borišovič. Svietidlá a svetelné zdroje. 1. vydanie. Bratislava : ALFA, 1983. 408 s. ISBN neuvedeno, MDT 621.3.032.3. MDT 628.94.
- [5] PLCH, Jiří; MOHELNÍKOVÁ, Jitka; SUCHÁNEK, Petr. Osvětlení neosvětelných prostor. 1. vydanie. Brno : ERA, 2004. 129 s. ISBN 80-86517-82-9.
- [6] CHALUPSKÝ, Ladislav. Světlo a svítidla. 1. vydanie. Praha : SNTL, 1981. 168 s. ISBN neuvedené, DT 628.94.
- [7] KRTOLOVÁ, Alena; MATOUŠEK, Jiří; MONZER, Ladislav. Světlo a osvětlování. 1. vydanie. Praha : AVICENUM, 1981. 272 s. ISBN neuvedené.
- [8] BYSTRICKÝ, Václav; KAŇKA, Jan. Osvětlení. 1. vydanie. Praha : ČVUT, 1994. 76 s. ISBN 80-01-00832-0.
- [9] HORŇÁK, Pavol. Svetelná technika. 1. vydanie. Bratislava : ALFA, 1989. 248 s. ISBN 80-05-00122-3.
- [10] KAPIŠINSKÝ, Igor. Vesmír. 1. vydanie. Bratislava : Slovart, 1999. 128 s. ISBN 80-7145-391-9.
- [11] LAPČÍK, Lubomír; PELIKÁN, Petr; ČEPPAN, Michal. Fotochemické procesy. 1. vydanie. Bratislava : ALFA, 1989. 424 s. ISBN 80-05-00049-9.
- [12] BAXANT, Petr. Elektircké teplo a světlo. 1. vydanie. Brno : VUT, 2004. 190 s. ISBN 80-214-2761-2.
- [13] PONÍŽIL, Petr. Elektromagnetické vlny [online]. [cit. 2010-03-24]. Dostupné z WWW: <http://ufmi.ft.utb.cz/texty/fyzika_2/F2_05.pdf>.
- [14] BUDKAJ, Andy. Spektrum elektromagnetického žiarenia [online]. [cit. 2010-03-25]. Dostupné z WWW: <http://www.butkaj.com/fyzika2?id_menu=573&id_sub=80&id_left=252>.

- [15] VAŠINA, Martin. Měření osvětlení [online]. [cit. 2010-03-29]. Dostupné z WWW: <http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_lab_04.pdf>.
- [16] ANONYM. Zmyslové orgány člověka [online]. [cit. 2010-03-31]. Dostupné z WWW: <<http://www.bioweb.genezis.eu/print.php?cat=6&file=zmyslova>>.
- [17] ANONYM. The Case [online]. [cit. 2010-04-13]. Dostupné z WWW: <http://www.heinrich-goebel-realschule.de/e_prozess.htm>.
- [18] VAŠINA, Martin. Umělé osvětlení [online]. [cit. 2010-04-13]. Dostupné z WWW: <http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_09.pdf>.
- [19] VAŠINA, Martin. Denní a sdružené osvětlení [online]. [cit. 2010-04-13]. Dostupné z WWW: <http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_08.pdf>.
- [20] VAŠINA, Martin. Měření osvětlení [online]. [cit. 2010-05-03]. Dostupné z WWW: <http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_lab_04.pdf>.
- [21] Úvod do zpracování měření [online]. [cit. 2010-05-04]. Dostupné z WWW: <<http://fyzika.ft.utb.cz/ucebni/fyzika2/lab/stat.pdf>>.
- [22] ČSN EN 12464-1. Světlo a osvětlování- Osvětlování pracovních prostorů- Část 1: Vnitřní pracovní prostory. Český normalizační institut, 2004.
- [23] ČSN 36 0011-1. Měření osvětlení vnitřních prostorů- Část 1: Základní ustanovení. Český normalizační institut, 2006.
- [24] ČSN 36 0011-2. Měření osvětlení vnitřních prostorů- Část 2: Měření denního osvětlení. Český normalizační institut, 2006.

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

| | |
|----------|---|
| m | meter |
| s | sekunda |
| J | joule |
| Wi-Fi | Wireless Fidelity, bezdrôtová technológia prenosu dát |
| IR | InfraRed, infračervené žiarenie |
| UV | UltraViolet, ultrafialové žiarenie |
| W | watt |
| sr | steradián |
| lm | lúmen |
| cd | kandela |
| lx | lux |
| g | gram |
| ° | stupeň |
| PE | polyetylén |
| PS | polystyrén |
| PVC | polyvinylchlorid |
| PP | polypropylén |
| ψ | uhol |
| γ | uhol |
| Z | uhol |
| β | uhol |
| ρ | kontrolná rovina |

ZOZNAM VELIČÍN

| | |
|-----------|---|
| E | elektrické vlnenie |
| B | magnetické vlnenie |
| λ | vlnová dĺžka |
| f | frekvencia |
| c | rýchlosť svetla vo vákuu; $3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ |
| E | energia fotónu |
| h | Planckova konštanta; $6,65 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$ |
| ϕ_e | žiarivý tok |
| Q_e | množstvo žiarenia |
| t | čas |
| I_e | žiarivosť |
| Ω | priestorový uhol |
| A | plocha |
| r | polomer |
| L_e | žiara |
| θ | priestorový uhol v danom smere |
| M_e | intenzita vyžarovania |
| E_e | intenzita ožiarenia |
| H_e | dávka žiarenia |
| ϕ | svetelný tok |
| Q | svetelné množstvo |
| I | svietivosť |
| L | jas |
| M | svetlenie |

| | |
|----------|---------------------------------------|
| E | intenzita osvetlenia (osvetlenosť) |
| H | osvit |
| e | činiteľ dennej osvetlenosti |
| r | rovnomeranosť denného osvetlenia |
| η_v | merný výkon |
| P | príkonnosť |
| τ | činiteľ priestupu svetla |
| ρ | činiteľ odrazu svetla |
| α | činiteľ pohltienia svetla |
| η | činiteľ využitia osvetľovacej sústavy |
| z | udržiavací činiteľ |
| ρ | kontrolná rovina |
| l | vzdialenosť |
| h | vzdialenosť |
| p | vzdialenosť |

ZOZNAM OBRÁZKOV

| | |
|--|----|
| <i>Obr. 1. Spektrum viditeľného žiarenia [13]</i> | 14 |
| <i>Obr. 2. Elektromagnetické spektrum [14]</i> | 15 |
| <i>Obr. 3. Stavba oka [16]</i> | 20 |
| <i>Obr. 4. Krivky svietivosti v polárnych (a) a pravouhlých (b) súradniciach [18]</i> | 33 |
| <i>Obr. 5. Tvary kriviek svietivosti- koncentrovaná (a), hlboká (b), kosínusová (c),</i> | 33 |
| <i>Obr. 6. Rozdelenie umelých svetelných zdrojov [4], [18]</i> | 34 |
| <i>Obr. 7. Energetická bilancia šírenia svetla [18]</i> | 38 |
| <i>Obr. 8. Stanovenie osvetlenosti v bode obecnej roviny ρ [18]</i> | 45 |
| <i>Obr. 9. Stanovenie osvetlenosti v bode obecnej roviny ρ_0,</i> | 46 |
| <i>Obr. 10. Digitálny luxmeter LX-101 [20]</i> | 49 |
| <i>Obr. 11. Vybrané druhy priestorov, činností alebo úloh UTB v Zlíne, v ktorých bolo meranie osvetlenia uskutočnené</i> | 53 |
| <i>Obr. 12. Vybrané fasády</i> | 58 |
| <i>Obr. 13. Vybrané druhy materiálov</i> | 64 |

ZOZNAM TABULIEK

| | |
|--|-----------|
| <i>Tab. 1. Činitele odrazu svetla bežných povrchov a materiálov [7], [8]</i> | <i>40</i> |
| <i>Tab. 2. Činitele priestupu svetla bežných materiálov [7], [8]</i> | <i>41</i> |
| <i>Tab. 3. Činitele pohltienia svetla daných materiálov [7]</i> | <i>42</i> |
| <i>Tab. 4. Hodnoty pomerných prikonov pre $E = 100 \text{ lx}$ [18]</i> | <i>44</i> |
| <i>Tab. 5. Vybrané normované požiadavky na osvetlenie v interiéry školy [22]</i> | <i>52</i> |
| <i>Tab. 6. Namerané hodnoty osvetlenia v interiéry školy</i> | <i>54</i> |
| <i>Tab. 7. Namerané hodnoty osvetlenia v interiéry školy</i> | <i>55</i> |
| <i>Tab. 8. Namerané hodnoty činiteľu odrazu svetla od povrchov</i> | <i>59</i> |
| <i>Tab. 9. Namerané hodnoty činiteľu odrazu svetla od povrchov</i> | <i>60</i> |
| <i>Tab. 10. Namerané hodnoty činiteľa priestupu svetla materiálov</i> | <i>65</i> |
| <i>Tab. 11. Namerané hodnoty činiteľa priestupu svetla materiálov</i> | <i>66</i> |
| <i>Tab. 12. Namerané hodnoty činiteľa priestupu svetla materiálov</i> | <i>67</i> |
| <i>Tab. 13. Namerané hodnoty hrúbky jednotlivých materiálov</i> | <i>68</i> |
| <i>Tab. 14. Namerané hodnoty hrúbky jednotlivých materiálov</i> | <i>69</i> |

