

# **Vliv světelných vlastností materiálů na kvalitu denního osvětlení**

Petr Dohnálek

---

Bakalářská práce  
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2010/2011

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr DOHNÁLEK**  
Osobní číslo: **T07328**  
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Vliv světelných vlastností materiálů na kvalitu denního osvětlení**

Zásady pro vypracování:

## I. Teoretická část:

- 1) Úvod
- 2) Historie osvětlení
- 3) Druhy osvětlení
- 4) Světelné zdroje
- 5) Vliv denního osvětlení na člověka
- 6) Veličiny popisující denní osvětlení
- 7) Normy pro osvětlení
- 8) Počítačové simulace osvětlení

## II. Praktická část:

- 9) Měření vybraných světelných vlastností materiálů
- 10) Aplikace programu Wdls

## III. Závěr

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**Dle doporučení vedoucího práce**

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Martin Vašina, Ph.D.**

Ústav fyziky a mater. inženýrství

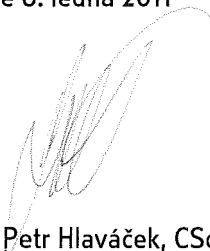
Datum zadání bakalářské práce:

**14. února 2011**

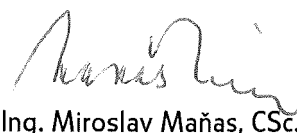
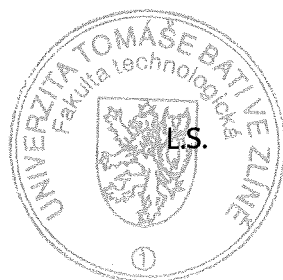
Termín odevzdání bakalářské práce:

**3. června 2011**

Ve Zlíně dne 6. ledna 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.  
*děkan*



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.  
*ředitel ústavu*

Příjmení a jméno: DOHNALEK PETR

Obor: KI-TZ

## 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 <sup>1)</sup>;
- 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 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> 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 <sup>3)</sup> 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 25.5.2011

Dohnalek

<sup>1)</sup> 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 nevdělečně 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.*

<sup>2)</sup> *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).*

<sup>3)</sup> *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**

Hlavním cílem práce je ukázat význam denního osvětlení na člověka i obecně na společnost. V teoretické části se nachází obecný popis světla a jeho rozdělení. Dále pak veličiny, které popisují světlo. V praktické části jsem měřil činitele odrazu a prostupu materiálem.

Klíčová slova: denní osvětlení, program WDLS, činitel odrazu, činitel prostupu, činitel pohlcení.

## **ABSTRACT**

Main point of my bachelor work is to show importance of the day light on human and generally on society. In teoretic part is situated widespread description of light and its separation. Further on are quantities, which are describing the light. In practical part I'm measuring factors of reflexion and transmission on material.

Keywords: day light , program WDLS, reflection coefficient, transmission coefficient, absorption coef-ficien.

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat mému vedoucímu Ing. Vašinovy, Ph.D. za odborné rady a trpělivost, které mi poskytoval během vypracování bakalářské práce. Moje poděkování patří i mojí sestře Zuzaně Dohnálkové Bc. za návrhy a kritiku k mojí práci.

## **Motto**

„Na nic není člověk tak hrdý, jako na to, co se člověk naučil,  
i kdyby to byl čirý nesmysl, jakmile to jednou pochopil, už s tím nikdo nehne.“

Kurt Tucholsky

Prohlašuji, že jsem na bakalářské/diplomové práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem citoval(a). V případě publikace výsledků, je-li to uvedeno na základě licenční smlouvy, budu uveden(a) jako spoluautor(ka).

Ve Zlíně



.....  
Podpis studenta

## OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 ZÁKLADY DENNÍHO OSVĚTLENÍ</b> .....	<b>12</b>
1.1 HISTORIE DENNÍHO OSVĚTLENÍ.....	12
<b>2 VŠEOBECNÉ POJMY</b> .....	<b>13</b>
<b>3 SVĚTELNÉ ZDROJE</b> .....	<b>17</b>
3.1 DENNÍ OSVĚTLENÍ .....	17
3.2 DENNÍ OSVĚTLENÍ VS. UMĚLÉ OSVĚTLENÍ.....	17
<b>4 OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY</b> .....	<b>19</b>
4.1 OSVĚTLOVACÍ SYSTÉMY .....	19
<b>5 VLIV DENNÍHO OSVĚTLENÍ NA ČLOVĚKA</b> .....	<b>22</b>
<b>6 VELIČINY POPISUJÍCÍ DENNÍ OSVĚTLENÍ</b> .....	<b>24</b>
<b>7 HODNOCENÍ KVALITY DENNÍHO OSVĚTLENÍ:</b> .....	<b>32</b>
7.1 NORMY PRO DENNÍ OSVĚTLENÍ.....	32
7.2 KVANTITATIVNÍ KRITÉRIUM DENNÍHO OSVĚTLENÍ .....	32
7.3 KVALITATIVNÍ KRITÉRIA DENNÍHO OSVĚTLENÍ .....	36
<b>8 SVĚTELNĚTECHNICKÁ MĚŘENÍ</b> .....	<b>37</b>
8.1 SVĚTLOTECHNICKÉ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ: .....	38
<b>9 POČÍTAČOVÉ SIMULACE DENNÍHO OSVĚTLENÍ</b> .....	<b>44</b>
9.1 WDLS.....	44
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>47</b>
<b>10 MĚŘENÍ ČINITELE ODRAZU RŮZNÝCH POVRCHŮ</b> .....	<b>48</b>
10.1 POSTUP PRÁCE.....	48
10.2 POSTUP PRO STANOVENÍ HODNOTY A CHYBY MĚŘENÝCH VELIČIN.....	48
10.3 NAMĚŘENÉ VELIČINY .....	49
10.4 POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ A ZHODNOCENÍ.....	57
<b>11 MĚŘENÍ ČINITELE PROSTUPU SVĚTLA</b> .....	<b>58</b>
11.1 POSTUP PRÁCE.....	58
11.2 NAMĚŘENÉ VELIČINY .....	59
11.3 ZHODNOCENÍ.....	66
<b>12 POČÍTAČOVÉ SIMULACE V PROGRAMU WDLS</b> .....	<b>67</b>



12.1	NASTAVENÍ SIMULACE .....	67
12.2	VLASTNÍ SIMULACE .....	69
12.3	ZHODNOCENÍ.....	76
<b>ZÁVĚR</b>	.....	<b>77</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b>	.....	<b>78</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b>	.....	<b>79</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b>	.....	<b>81</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b>	.....	<b>82</b>

## ÚVOD

Člověk a slunce. Odedávna bylo symbolem života a lidé ho uctívali. V minulosti bylo slunce a světlo znakem pro čas a lidé podle světla řídili svůj denní program. V dnešní době se lidstvo od něho a jeho vlivu na svět a život obrací zády. Lidé přestávají vnímat jeho důležitost na lidskou činnost. Sluneční světlo nám pomáhá při vykonávání různých prací. Správné osvětlení místnosti nebo pracovního prostředí má za následek zvýšení produktivity práce, člověk je méně unavený a více se soustředí na daný problém.

Environmentální fyzika, je to obor, který se zabývá daným tématem a také vším, co souvisí se životním prostředím. Vědci z tohoto oboru se snaží vliv denního světla napodobit. V dnešní době se lidé více zaměřují na umělé osvětlení, na které je kladen větší důraz. V tisku se objevuje více informací o umělém osvětlení, lidé jsou více tímto tématem seznámeni a stále více jej využívají ve svých životech.

Ale v budoucnu se předpokládá větší návrat k přírodě, takže se začnou využívat stavební prvky, které významně budou využívat vliv denního světla. Různá střešní okna. Prosklené zdi nebo otáčející se budovy za sluncem, jako květiny.

Tato problematika se začíná čím dál více rozvíjet nejen u nás, ale i ve světě. Vznikají odborné knihy, pořady, které se snaží pozornost zaměřit na tento problém. Dnešní době se to docela daří díky internetu, avšak pozornost se této době plně velkého množství informací se získává špatně.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 ZÁKLADY DENNÍHO OSVĚTLENÍ

## 1.1 Historie denního osvětlení

Denní osvětlení existuje už od vzniku naší planety. Do 30.let 20.století se zájem o denní osvětlení byl velmi malý. Pak vyšly první publikace, které se začali tímto tématem zabývat. Tyto publikace převážně radily, jak se mají místnosti vypadat, aby byly dostatečně nasvíceny (např. umístění oken vzhledem ke světovým stranám). Později se souvislostí vynálezů přístrojů na měření osvětlení se upřesnily a zdokonalili metody správného určení denního osvětlení (např. viz normy). [1]



*Obr. 1 - Dveře často bývaly hlavním osvětlovacím otvorem starších příbytků, Encyklopedie Diderot, 18. století[1]*

## 2 VŠEOBECNÉ POJMY

Definice veličin a jednotek včetně jejich označování jsou obsaženy v normě ČSN IEC 50 (845) – Mezinárodní elektronický slovník. [2]

### Elektromagnetické záření

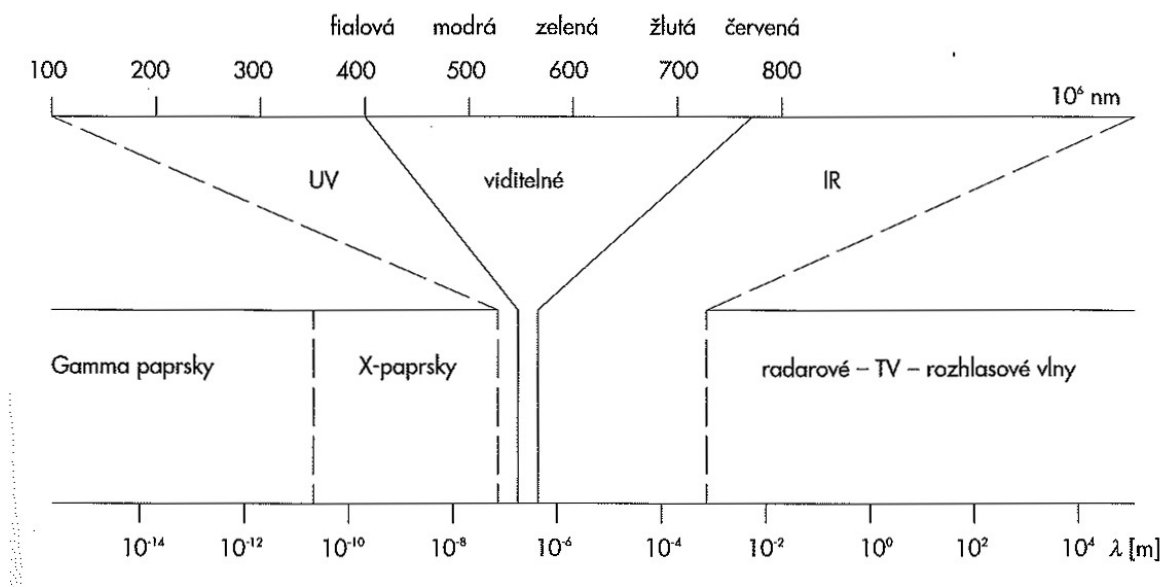
Elektromagnetické záření je:

- vysílání nebo přenos energie ve formě elektromagnetických vln nebo fotonů;
- tyto elektromagnetické vlny nebo fotony. [2]

### Optické záření

Optické záření je elektromagnetické záření s vlnovou délkou ležící mezi oblastí přechodu k rentgenovému záření ( $\lambda = 1 \text{ nm}$ ) a oblastí přechodu k radiovým vlnám ( $\lambda = 1 \text{ mm}$ ).

Optické záření se dále dělí na infračervené záření, viditelné záření a ultrafialové záření. [2]



Obr. 2 - Rozdělení elektromagnetického záření v závislosti na jeho vlnové délce.

[2]

**Infračervené záření (IR – z angl. infra red)**

Infračervené záření je optické záření, jehož vlnová délka je delší než vlnová délka viditelného spektra. Infračervené záření se v oblasti vlnových délek od 780 nm do 1 mm obvykle dělí do pásma:

IR-A	780 nm – 1400 nm	krátkovlnné
IR-B	1,4 $\mu\text{m}$ - 3 $\mu\text{m}$	středovlnné
IR-C	3 $\mu\text{m}$ - 1 mm	dlohovlnné

**Viditelné záření**

Viditelné záření je optické záření schopné vyvolat vizuální počitek přímo.

Přesné meze spektrálního rozsahu pro viditelné záření nelze stanovit, protože jsou závislé jak na množství zářivého toku, který dopadá na sítnici oka, tak na citlivost oka pozorovatele. Obvykle se považuje za dolní mez vlnová délka mezi 360 a 400 nm a za horní mez vlnová délka mezi 760 a 830 nm.

V závislosti na barevném vjemu světla monochromatického záření lze spektrum viditelného záření rozdělit na pásma, která mohou být popsána odstínem barvy:

380 – 435 nm	fialová	565 – 600 nm	žlutá
435 – 500 nm	modrá	600 – 630 nm	oranžová
500 – 566 nm	zelená	630 – 780 nm	červená

Poznámka: CIE – Mezinárodní komise pro osvětlování

**Ultrafialové světlo (UV – z angl. ultra violet)**

Ultrafialové záření je optické záření, jehož vlnová délka je kratší než vlnová délka viditelného světla. Ultrafialové záření se v oblasti vlnových délek od 100 nm do 400 nm dále dělí na pásma:

UV-A	315 nm – 400 nm	dlohovlnné
UV-B	280 nm – 314 nm	středovlnné
UV-C	100 nm – 280 nm	krátkovlnné

## **Světlo**

Světlo jako základní pojem v oboru optického záření lze interpretovat jako:

- vnímané světlo
- viditelné záření

## **Světlo vnímané**

Světlo je všeobecný a podstatný vnější podnět pro všechny vjemy a počitky, které jsou vlastní zrakovému orgánu.

Za všeobecný a podstatný vnější podnět se především považuje viditelné záření dopadající na sítnici lidského oka. [2]

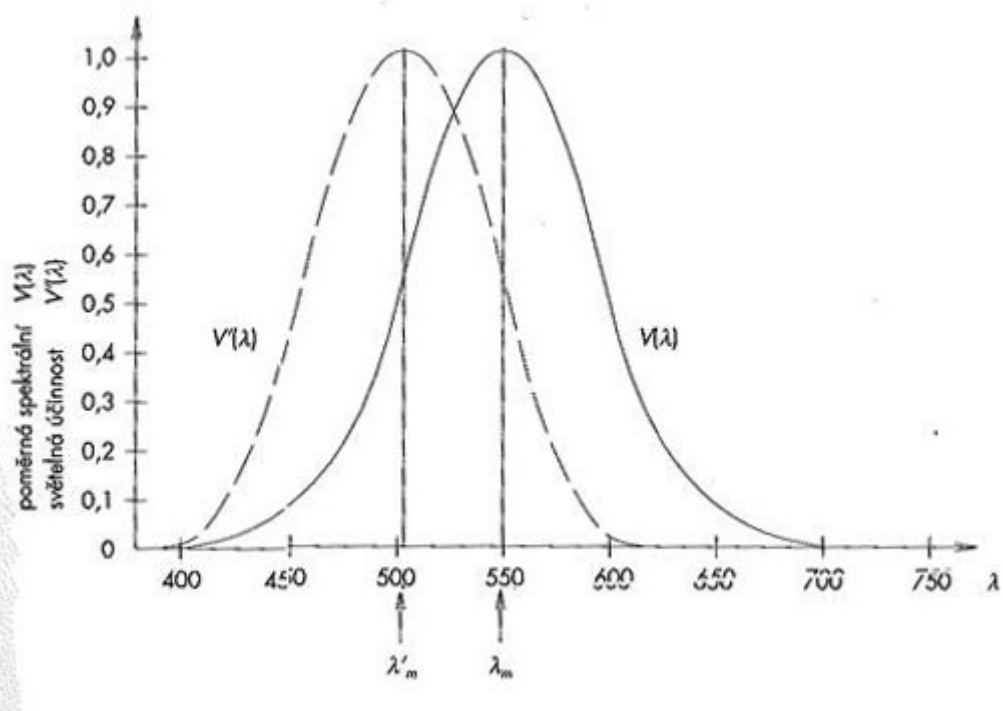
## **Standardní fotometrický pozorovatel CIE**

Standardní fotometrický pozorovatel je ideální pozorovatel, jehož poměrná spektrální citlivost odpovídá uvedeným křivkám  $V(\lambda)$  pro skotopické vidění a navíc vyhovuje sumačnímu zákonu, který je implicitně obsažen v definici pojmu světelný tok.

Fotopické vidění (za světla- denní vidění) nastává při adaptaci oka na jas několika  $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ . Skotopické vidění (za tmy – noční vidění) nastává při adaptaci oka na jas několika setin  $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ .

Pro izotopické vidění (soumračné – přechod mezi nočním a denním viděním) nebyly křivky  $V''(\lambda)$  standardizovány.

Křivky  $V(\lambda)$  přijala CIE v roce 1924 a  $V'(\lambda)$  v roce 1951 a jsou mezinárodně respektovány. Uvedené křivky  $V(\lambda)$  a  $V'(\lambda)$  byly také včleněny do technické normy ČSN 01 1710 – Poměrná světelná účinnost jednobarevného vidění. [2]



Obr. 3 - Křivky poměrné spektrální účinnosti  $V(\lambda)$ ,  $V'(\lambda)$  podle CIE [2]



### 3 SVĚTELNÉ ZDROJE

Zařízení, která vysílají optické, zpravidla viditelné záření, resp. Světlo se nazývají světelné zdroje. Mohou být buď přírodní (slunce, blesk apod.), nebo umělé (např. svíčka, plynová lampa, žárovka, výbojka atd.). Předmět, či jeho povrch vyzařující světlo, jež vzniklo v něm samém přeměnou energie, je primární (prvotní) světelný zdroj. Sekundární (druhotný) světelný zdroj je pak předmět nebo povrch, který světlo vysílá s tím, že světelné paprsky alespoň z části odráží nebo propouští. [3]

#### 3.1 Denní osvětlení

Denním osvětlením vnitřních prostorů se chápe osvětlení přírodním světlem slunečním i oblohovým pronikajícím do místností osvětlovacími otvory přímo, tak i osvětlením přírodním světlem odraženým od vnějších a vnitřních překážek. Přes určité nedoceňování významu denního osvětlení na počátku druhé poloviny tohoto století je dnes znovu považováno za nenahraditelné ve všech prostorech s trvalým pobytem lidí, kde tomu nebrání klimatické, technologické a jiné provozní a stavební podmínky. [3]

#### 3.2 Denní osvětlení vs. umělé osvětlení

Byl proveden větší počet výzkumů zaměřených na zjištění, zda je lepší denní či umělé osvětlení, a v čem se to projevuje. Část výzkumů jednoznačně doložila, že při určitých druzích práce při stejných hladinách osvětlení byly výkony dosažené při denním osvětlením stabilně o několik procent vyšší než při umělém světle. Zaznamenané byly i jiné účinky, například nižší únava. Byla rozpracována teorie vycházející z názoru, že denní osvětlení je kvalitou svého přírodního původu lepší než umělé světlo, přičemž význam byl přikládán k jeho stálé proměnlivosti jako mobilizujícímu činiteli. [4]

Neméně důkladně zpracovaná část výzkumů prováděných sledováním jiných druhů prací doložila stejně přesvědčivě pravý opak. U zrakově přesných činností, například v hodinářství, lze umělým světlem vytvořit hladiny a podmínky, jaké v přírodě existují jen krátkodobě a občas. Nižší zraková únava a větší spokojenost zaměstnanců byly zaznamenány také. [4]

Naskýtá se otázka, zda tento druh srovnání je vhodný, když obojí, denní i umělé osvětlení, má své přednosti a nevýhody, takže záleží vždy na konkrétním případě. Odborníci se při-

klonili k závěru, že denní osvětlení je ve vnitřních prostorech vhodnější k celkovému osvětlení místnosti a běžným úkonům, umělé osvětlení je lepší k místnímu osvětlení a přesnější dlouhodobé činnosti. [4]

## 4 OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY

Osvětlovací soustava je funkčně ucelený soubor osvětlovacích prostředků (tj. světelných zdrojů a jejich příslušenství, včetně napájení a ovládaní), které vytváří v osvětlovacím prostoru světelné prostředí (světelné pole) v závislosti na vlastnostech, stavu a rozmístění těchto prostředků a rovněž na světelných vlastnostech osvětlovaného prostoru a v něm umístěného zařízení.

Účelem osvětlovací soustavy je zajistit požadovanou úroveň zrakového výkonu a zrakové pohody pro určitou činnost s přijatelnou spolehlivostí, bezpečností osob a majetku a při přiměřených nákladech. Kromě toho přistupují zpravidla další požadavky realizační, provozní, technologické, estetické aj., které je nutné při řešení osvětlení vzít v úvahu.

Podle použitých primárních zdrojů světla a funkčního rozsahu lze osvětlovací soustavy dělit na:

- soustavy denního osvětlení,
- soustavy umělého osvětlení,
- soustavy sdruženého osvětlení,
- soustavy integrované, které jsou součástí klimatizačního systému a eventuálně zahrnují i další funkce. [2]

### 4.1 Osvětlovací systémy

Do osvětlovacích systému daného prostoru v užším slova smyslu patří osvětlovací otvory a prvky, které regulují, přeměňují nebo upravují světlo procházející osvětlovacími otvory. V širším slova smyslu sem patří i součásti prostoru, které se podílejí na odrazu a redistribuci světla (stěny, strop, podlaha, větší části zařízení). [2]

Systém denního osvětlení má zajistit následující požadavky:

- dostatek denního světla pro předpokládané zrakové činnosti,
- dostatek jasných ploch pro vytvoření takové jasné situace hlavních ploch v prostoru, která bude mít dostatečně fyziologicky účinný vliv na endokrinní systém a regulaci cirkadiánních rytmů uživatelů,
- přiměřená doba oslnění v těch prostorech, kde je to vhodné nebo předepsané,
- dostatečný vizuální kontakt s exteriérem (výhled),

- možnost regulovat záření procházejícího osvětlovacími otvory v případě, že by toto záření mohlo nepřiměřeně narušovat mikroklimatické podmínky a způsobit osvětlení,
- ekonomické využití denního světla v provozním systému budovy. [2]

Základní vlastnosti:

V osvětlovaném prostoru nebo v jeho části může být osvětlení navrženo buď jako boční, horní nebo kombinované.

### **Boční osvětlení:**

Boční osvětlení se vyznačuje tím, že:

- osvětlovací otvory jsou osazeny v obvodové stěně osvětlovaného prostoru,
- při přibližně vodorovném směru pohledu jsou osvětlovací otvory v některém směru dominantním svítícím prvkem,
- světlo dopadá na většinu vodorovné srovnávací roviny převážně z boku – pod úhlem menším než  $45^\circ$ ,
- osvětlenost vodorovné srovnávací roviny klesá se vzdáleností od osvětlovacích otvorů,
- vertikální složka osvětlenosti je relativně vysoká, ve větší vzdálenosti od osvětlovacích otvorů může být vyšší než složka horizontální,
- osvětlovací otvory umožňují výhled do exteriéru při přibližně vodorovném směru pohledu. [2]

Některé z uvedených vlastností se nemusí vyskytovat v každém případě, eventuálně se mohou projevit jen částečně nebo na omezené části plochy.

Boční osvětlení může být:

- jednostranné (unilaterální)
- vícestranné
- dvojstranné (bilaterální) – okna jsou v protilehlých stěnách nebo ve stěnách dotýkajících se v rozích prostoru,
- mnohostranné (multilaterální) – trojstranné, čtyřstranné
- sekundární – světlo prostupuje vnitřními osvětlovacími otvory ze sousední místnosti.

**Horní osvětlení:**

Horní osvětlení se obvykle vyznačuje následujícími vlastnostmi:

- osvětlovací otvory jsou umístěny ve stropu osvětlovaného prostoru,
- při pohledu vodorovným směrem zasahují osvětlovacími otvory jen částečně do zorného pole, a to převážně shora,
- světlo dopadá na většinu vodorovné srovnávací roviny převážně shora,
- rovnoměrnost osvětlení srovnávací roviny je závislá na velikosti a vzájemné vzdálenosti světlíků a může kolísat ve značném rozsahu,
- vertikální složka osvětlenosti je většinou nízká,
- výhled do exteriéru je značně omezený. [2]

**Kombinované osvětlení:**

Za kombinovaného osvětlení se označuje takový systém osvětlení, který má současně některé vlastnosti bočního i horního osvětlení. Je možné sem zařadit i takové způsoby osvětlení, které se nedají jednoznačně označit jako boční nebo horní osvětlení, např.:

- osvětlení prostoru nebo jeho části současně okny i světlíky,
- osvětlení prostoru s relativně malou světlou výškou asymetricky umístěným světlíkem, takže oblohové světlo na většinu osvětlované plochy dopadá z boku,
- prostor s velkou světlou výškou osvětlený bočními osvětlovacími otvory (okny) s vysokým parapetem, takže světlo dopadá na srovnávací rovinu převážně shora,
- osvětlení podkrovních místností oknem v šikmé části střechy atd. [2]

## 5 VLIV DENNÍHO OSVĚTLENÍ NA ČLOVĚKA

Vizuální pocity si uvědomujeme s vjemy světlosti a tmavosti, šedosti a barevnosti, stability či pohybu pozorovaných objektů. Působí na člověka pocity pohody a klidu, nebo nepohody a napětí. Vjem je ovlivňován řadou subjektivních, zdravotních a psychologických vlivů. V časovém horizontu se adaptační velikost výsledného vjemu a pocitu může měnit. Mezi lidmi existuje velká individuální různorodost a citlivost subjektivního hodnocení osvětlení.

Zásadní nedostatek světla byl vždy považován za degradaci životních podmínek. Lidé žijící v zeměpisných oblastech, v nichž se střídá polární noc a den, ctí světlo jako jednu ze svých nejvyšších hodnot. Člověk zbavený světla je vystaven jednomu z nejtěžších tělesných a duševních trestů. Psychiku člověka významně ovlivňují typické vlastnosti denního osvětlení. Jeho dynamičnost, trvalé nepravidelné změny během dne co do množství i kvality jsou stimulatorem mechanismů pozornosti. Přímé sluneční záření má psychicky jednoznačně aktivní vliv. Umělé světlo svou monotonií vede ke snížení bdělosti, pocitům ospalosti, únavy, kolísání a poklesu výkonu, snížená reakční pohotovosti. Nižší hladiny světla často s citově zabarvenou atmosférou jsou spojovány s tvorbou intimního prostředí pro odpočinek, relaxaci, i soustředění k tvůrčí práci.

Mezi krátkodobé psychické stavy lze řadit únavu a diskomfort. Mohou být zapříčiněny nevhodnými světelnými podmínkami. Významná je rovnoměrnost jasů, jejich kontrasty a gradace. V zorném poli má rozložená jasů odpovídat situaci ve volné přírodě. Horní část zorného pole má být nejjasnější, dolní tmavší. Při soustředěném pozorování je vhodné, aby jas uprostřed zorného pole byl o něco vyšší a směrem ke krajům zvolna klesal. Psychologické účinky osvětlení vykazují velké individuální rozdíly. Oslňující zdroj, který jeden pozorovatel nevnímá, je pro psychicky labilního nebo unaveného příčinou oslnění. Do souvislosti s osvětlením bývá dáván v závislost na oslnění a tepelný diskomfort.

Annoyance se dá v češtině vystihnout slovem „rozlada“. Označuje pocity obtěžování, rušení, nepříjemnosti, diskomfortu z vnějších zdrojů. Rozlada obsahuje pouze jednu dimenzi rušivosti, kterou může být často i světlo. Je na něj vázána a trvá výhradně po dobu jeho působení. Uvedené pocity však mohou být zdrojem dlouhodobé nespokojenosti. Příčinu rozlady zpravidla člověk nemůže nijak ovlivnit, lze se jí pouze pasivně přizpůsobit. Člověk je omezen ve způsobu zvládnání situace, často se s ní vyrovnává stížnostmi institucím,

v jejichž kompetenci je odstranění rušivého zdroje. Příkladem je veřejné osvětlení vnikající do obytných místností či často blikající informační a reklamní tabule.

Psychologie barev je rozvíjejícím se disciplínou několika vědních oborů. Střetávání člověka s barvami je od dávného data. Historicky se uplatňovala nejprve přírodní barviva (chlorofyl a hemachromy). Význam barev se odrážel v lidské psychice a psychologické interpretaci barvy. Člověk sžití s přírodou spojoval barva s přírodními jevy. Zrakový vjem má psychický obsah svázaný s předchozími vjemy, zážitky, vzpomínkami i představami. V průběhu vývoje velkých sociálních skupin byly barvy přiřazovány představám a zvyklostem etnickým, profesním, zájmovým, církevním atd. barevné vjemy mají bohaté, často i protichůdné emocionální obsahy psychické významy. Vjem např. červené barvy asociuje představu nehody, krve, bolesti, anebo naopak příjemné zážitky jako teplo ohně, červeň vličího máku atd. Některé asociace mají obecnou platnost, zelená – tráva, jiné jsou zcela subjektivní, spojování dnů nebo not s barvami. U barev významně spolupůsobí psychické reakce lidských individuí podle typu nervové činnosti a složení osobnosti. Subjektivní faktor vnímání barev je mimořádně významný. Vztah k barvám se mění věkem, pohlavím, módou. Velký praktický dopad má signalizační a informační význam barev. V interiérech budov barevná úprava povrchů může významně ovlivnit psychiku uživatelů i změnou chromatičnosti světla. Velké plochy výrazných barev mohou interreflexí změnit chromatičnost světla interiéru a barevné podání. Je uznáván i vliv barev na pracovní výkon člověka.

[2]

## 6 VELIČINY POPISUJÍCÍ DENNÍ OSVĚTLENÍ

Světelné veličiny jsou odvozeny od zářivých veličin v závislosti na spektrální citlivosti monochromatických složek záření standardního fotometrického pozorovatele CIE.

Pro zářivé a světelné veličiny platí z fyzikálního hlediska stejné zákonitosti. Základní označení sobě odpovídajících veličin je proto shodné. Odlišení se provádí indexem „e“ pro zářivé veličiny, indexem „v“ pro světelné veličiny a indexem „p“ pro fotonové veličiny ( $X_e, X_v, X_p$ ). Pokud je ze souvislosti patrné, o kterou veličinu se jedná, není nutno tyto indexy uvádět. [2]

### Zářivý tok ( $\Phi_e, \Phi$ )

Zářivý tok je výkon vyslaný, přenášený nebo přijímaný zářením.

Jednotka: W(watt)

Zářivý tok, pokud není monochromatický, může mít různé rozložení záření ve spektru. Spektrem rozumíme znázornění nebo specifikace jednotlivých monochromatických složek uvažovaného záření. Existují spektra čárová, spojitá a spektra vykazující obě tyto charakteristiky.

U spojitého spektra se známým rozložením hustoty zářivého toku ve spektru  $\Phi_{e,\lambda}(\lambda)$  stanovíme výsledný zářivý tok podle vztahu:

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

kde

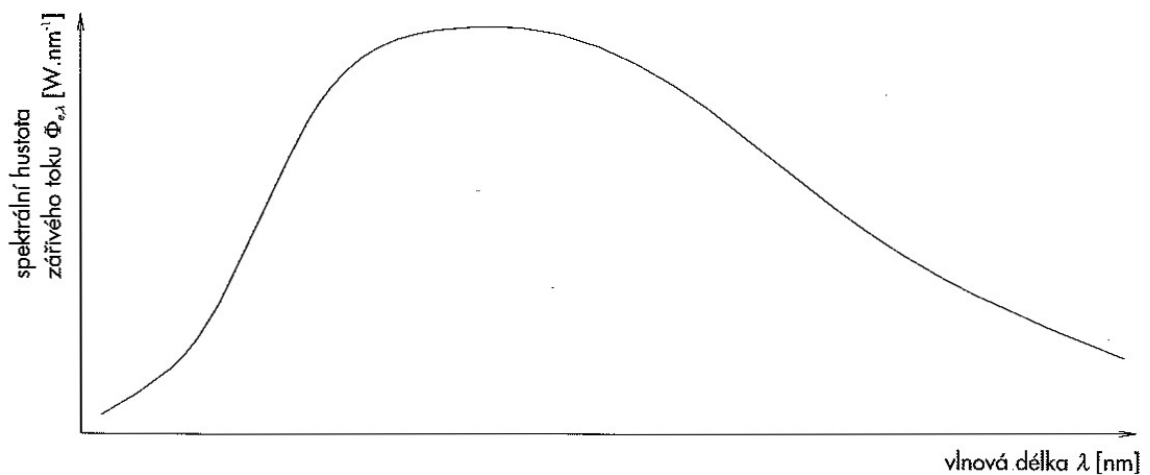
$$\Phi_{e\lambda} = \frac{\Delta\Phi_e(\lambda)}{\Delta\lambda}$$

je spektrální hustota zářivého toku o vlnové délce  $\lambda$  ve  $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}$ ,

$$(\Phi_{e\lambda})_i = \left( \frac{\Delta\Phi_e(\lambda)}{\Delta\lambda} \right)_i$$

je střední hustota zářivého toku v pásmu spektra  $\Delta\lambda_i$ .





Obr. 4 - Rozložení zářivého toku ve spojitém spektru složeného záření[2]

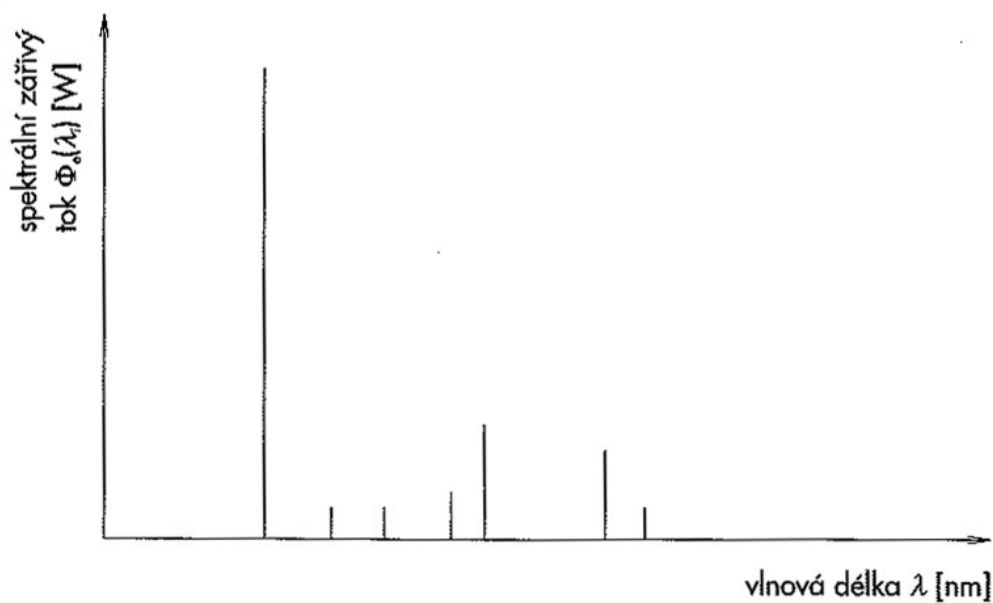
U čárového spektra se známým rozložením monochromatických zářivých toků se výsledek stanoví součet dílčích monochromatických toků:

$$\Phi_e = \sum_{i=1}^n \Phi_{e,i}(\lambda_i),$$

kde

$$\Phi_{e,i}(\lambda_i)$$

je spektrální (monochromatický) zářivý tok pro vlnovou délku  $\lambda_i$ . [2]



Obr. 5 - Rozložení zářivého toku v čárovém spektru složeného záření[2]

**Světelný tok ( $\Phi_v, \Phi$ )**

Světelný tok je veličina odvozená z hodnoty zářivého toku  $\Phi_e$  v závislosti na funkci  $V(\lambda)$  (respektive  $V'(\lambda)$ ).

Jednotka: lm(lumen)

Určení světelného toku za podmínek fotopického vidění

Světelný tok monochromatického vlnění o vlnové délce  $\lambda_i$ .

$$\Phi_v = \Phi_e(\lambda_i) \cdot K(\lambda_i) = K_m \cdot \Phi_e(\lambda_i) \cdot V(\lambda_i)$$

Světelný tok při spojitém spektru záření:

$$\Phi_v = \int_0^{\infty} \Phi_{e,\lambda}(\lambda) \cdot K(\lambda) \cdot d\lambda = K_m \int_0^{\infty} \Phi_{e,\lambda}(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda$$

kde

$K(\lambda)$  - je spektrální světelná účinnost záření o vlnové délce  $\lambda$

$$K(\lambda) = K_m \cdot V(\lambda) \quad [lm \cdot W]$$

$K_m$  - je maximální hodnota spektrální světelné účinnosti záření o vlnové délce  $\lambda_m = 555 \text{ nm}$

$K_m = 683 \text{ lm} \cdot \text{W}$ ,

$V(\lambda)$  - je poměrná spektrální světelná účinnost záření o vlnové délce  $\lambda$

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

Při výpočtu světelného toku může být spojitá funkce spektrální hustoty záření  $\Phi_{e,\lambda}(\lambda)$  rozdělena na spektrální pásma, např. po deseti nm, a řešení integrálu nahrazeno sumací dílčích světelných toků.

Určení světelného toku za podmínek skotopického vidění

Světelný tok při spojitém spektru záření:

$$\Phi_v = \int_0^{\infty} \Phi_{e,\lambda}(\lambda) \cdot K'(\lambda) \cdot d\lambda = K'_m \int_0^{\infty} \Phi_{e,\lambda}(\lambda) \cdot V'(\lambda) \cdot d\lambda$$

kde

$K'(\lambda)$  - je spektrální světelná účinnost záření o vlnové délce  $\lambda$

$$K'(\lambda) = K'_m \cdot V'(\lambda) \quad [lm \cdot W]$$

$K'_m$  - je maximální hodnota spektrální světelné účinnosti záření o vlnové délce  $\lambda'_m = 507 \text{ nm}$

$K'_m = 1700 \text{ lm} \cdot \text{W}$ ,

$V'(\lambda)$  - je poměrná spektrální světelná účinnost záření o vlnové délce  $\lambda$

$$V'(\lambda) = \frac{K'(\lambda)}{K'_m}$$

Vyšší hodnota  $K'_m$  při  $\lambda'_m = 507 \text{ nm}$  oproti  $K_m$  při  $\lambda_m = 555 \text{ nm}$  odpovídá prokázané zvýšené spektrální citlivosti lidského zraku v oblasti kratších vlnových délek při skotopickém vidění (Purkyňův jev). [2]

Lumen [lm]

Lumen je jednotka světelného toku v soustavě SI. Je to světelný tok emitovaný rovnoměrným bodovým zdrojem o svítivosti 1 kandely (cd) do jednotkového prostorového úhlu (1 steradián).

$$\Phi_v = I_v \cdot \Omega$$

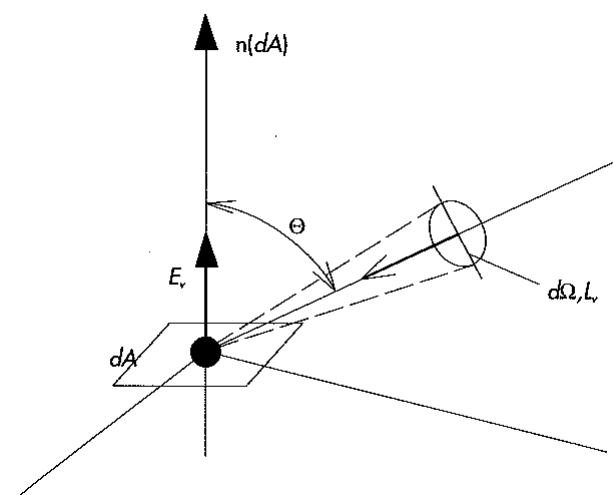
$$lm = cd \cdot sr$$

**Svítivost zdroje v daném směru ( $I_v, I$ )**

Svítivost je podíl světelného toku  $d\Phi_v$ , který zdroj vyzařuje ve směru elementárního prostorového úhlu  $d\Omega$  a velikosti tohoto prostorového úhlu

$$I_{v,\gamma} = \frac{d\Phi_v(\lambda)}{d\omega}$$

Jednotka: cd (kandela)

Obr. 6 - Ke vztahu  $I_v[2]$ 

Tato veličina umožňuje popsat distribuci světelného toku bodového zdroje do prostoru. Směr vyzařování se zapisuje v některém zavedeném systému fotometrických souřadnic. Aby zdroj mohl být považován za bodový, nesmí kterýkoli jeho rozměr  $a$  být větší, než v odpovídajícím poměru  $r/a$ , kde  $r$  je vzdálenost místa hodnocení od zdroje. Poměr  $r/a$  se volí v závislosti na požadované přesnosti výpočtu. Při náhradě reálného zdroje zdrojem bodovým nemá být tento poměr menší než 5.

Spojením koncových bodů  $I_{v,y}$ , vyhodnocených do všech směrů vyzařování a vymezených jako radiusvektory, vznikne plocha citlivosti. Pro technické účely obvykle postačuje znát jen některé řezy touto plochou.

Kandela [cd]

Kandela je základní jednotka svítivosti v soustavě SI. Je to svítivost zdroje, který vyzařuje v určitém směru monochromatické záření o kmitočtu 540.1012 Hz a jehož intenzita záření je v tomto směru 1/683 wattů na steradián. [2]

$$cd = lm \cdot sr^{-1}$$

**Prostorový úhel  $\omega$** 

Úhel při vrcholu světelného kuželu, vymezející plochu  $A[\text{m}^2]$  z plochy koule o poloměru  $r$ .

$$\omega = \frac{A}{r^2},$$

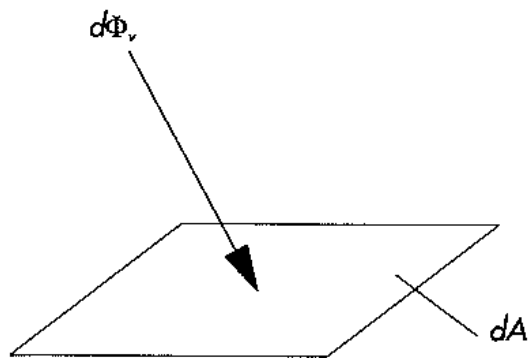
Jednotka: sr (steradián) [4]

**Osvětlenost ( $E_v, E$ )**

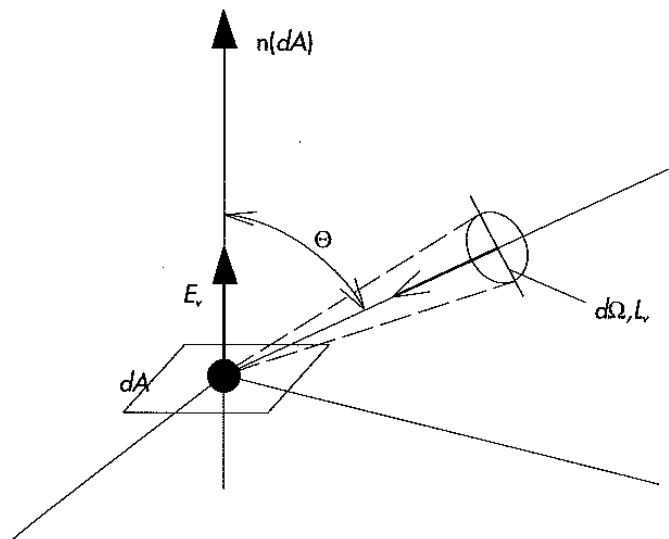
Je podíl světelného toku  $d\Phi_v$  dopadajícího na elementární plochu  $dA$  obsahujícího daný bod a velikosti  $dA$  této plochy.

$$E_v = \frac{d\Phi_v}{dA}$$

Jednotka: lx(lux)=lm.m<sup>-2</sup> [2]



Obr. 7 - Vstupní veličiny pro výpočet  
osvětlenosti [2]



Obr. 8 - Osvětlenost bodu dané roviny v závislosti na prostorovém úhlu a na jasů svítící plochy a úhlu  $\omega$  [2]

Lux [lx]

Lux je jednotka osvětlenosti v soustavě SI. Je to osvětlenost, která odpovídá světelnému toku 1 lumen rovnoměrně rozloženému na ploše 1 čtverečního metru.

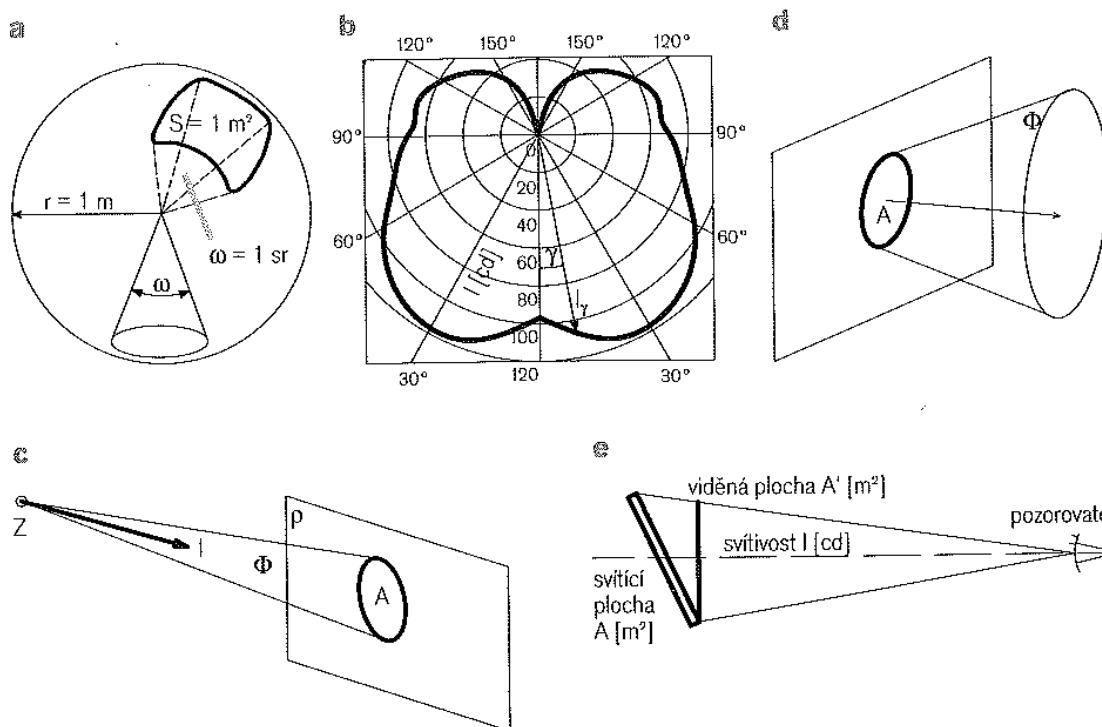
$$lx = lm \cdot m^{-2}$$

**Jas** ( $L_v, L$ )

Jas v určitém směru, na daném místě reálného nebo fiktivního povrchu, je světelná veličina, která nejlépe koreluje s popisem světelného podmětu v místě čidla nebo oka pozorovatele. Vyjadřuje intenzitu světelného záření elementární plochy do určitého směru nebo místa. [2]

$$L_v = \frac{dI}{dA_p}$$

Jednotka:  $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}=\text{lm}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}$  [4]



Obr. 9 - Fotometrické veličiny: a) prostorový úhel, b) křivka svítivosti bodového zdroje, c) osvětlenost, d) světlení e) jas [4]

## 7 HODNOCENÍ KVALITY DENNÍHO OSVĚTLENÍ:

### 7.1 Normy pro denní osvětlení

Pro denní osvětlení platí normy:

ČSN 73 05 80-1: 1987 Denní osvětlení budov. (Část 1: Základní požadavky)

ČSN 73 05 80-2: 1992 Denní osvětlení budov. (Část 2: Denní osvětlení obytných prostor)

ČSN 73 05 80-3: 1994 Denní osvětlení budov. (Část 3: Denní osvětlení škol)

ČSN 73 05 80-4: 1987 Denní osvětlení budov. (Část 4: Denní osvětlení průmyslových budov) [3]

### 7.2 Kvantitativní kritérium denního osvětlení

Aby byla zajištěna zraková pohoda, je třeba umožnit přístup denního světla v dostatečném množství. Jako kvantitativní kritérium denního osvětlení je definován činitel denní osvětlenosti  $D$  [%]:

$$D = \frac{E}{E_h} \cdot 100,$$

kde  $E$  [lx] je naměřená osvětlenost v kontrolním bodě dané roviny v interiéru,  $E_h$  [lx] – osvětlenost nezastíněné venkovní vodorovné roviny.

Velikost činitele denní osvětlenosti v daném kontrolním bodě se všeobecně mění v závislosti na daném ročním období, na množství oblačnosti a mezi východem a západem Slunce. Obvykle stačí stanovit velikost stanovit hodnotu činitele denní osvětlenosti při nejméně příznivém venkovním osvětlení, tzn. v zimě při zatažené obloze. [8]

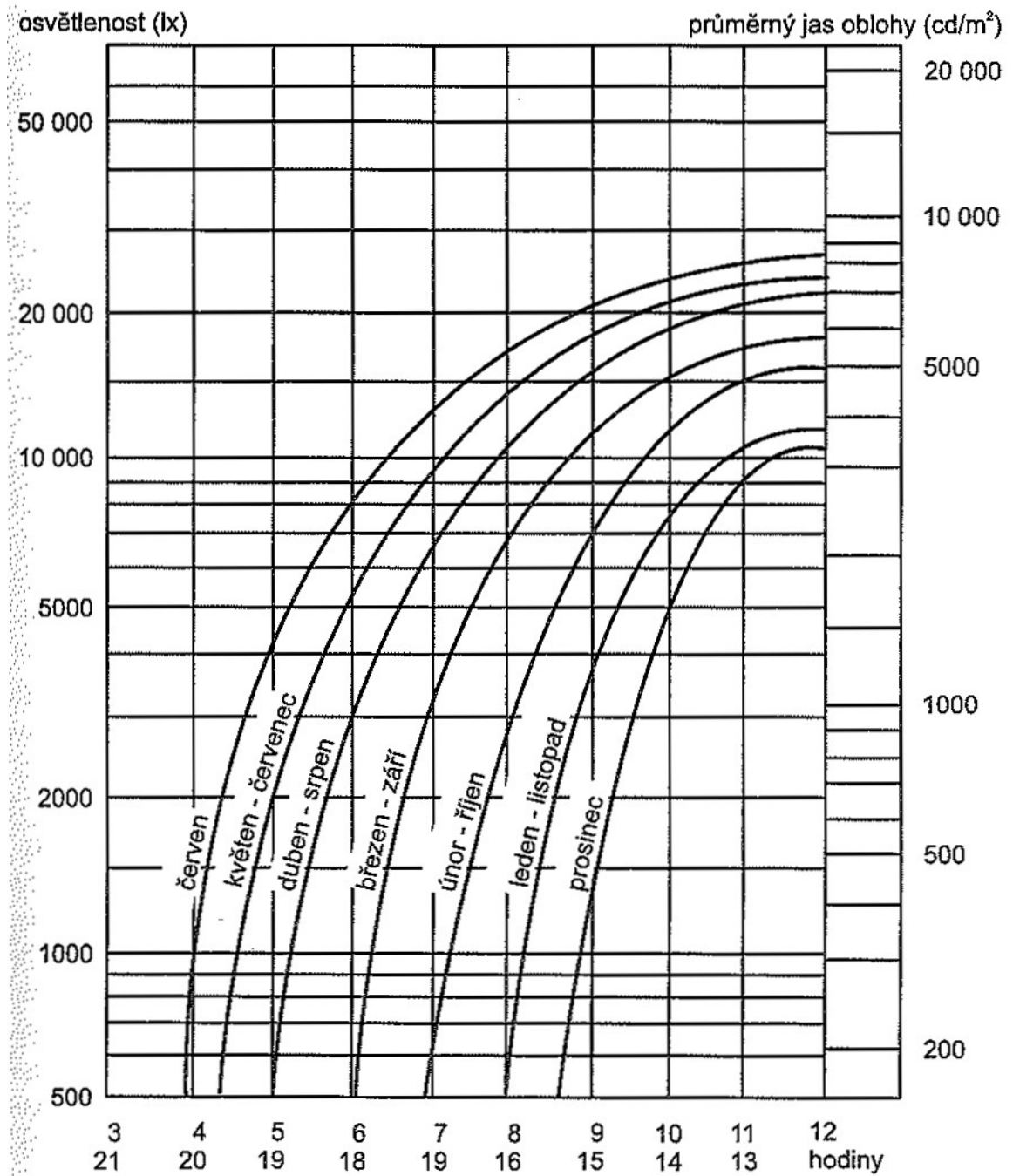


Tab. 1 - Doporučené hodnoty činitelů denního osvětlení pro různé činnosti, podle CSN 730580 –  
Denní osvětlení budov[1]

Třída zrakové činnosti	Charakteristika zrakové činnosti	Poměrná pozorovací vzdálenost	Příklady zrakových možností	Hodnota činitele denní osvětlenosti (%)	
				minimální D <sub>min</sub>	průměrná D <sub>prum</sub>
I	mimořádně přesná	3300 a větší	Nejpřesnější zraková činnost s omezenou možností použít zvětšení, s požadavkem na vyloučení chyb v rozlišená, nejobtížnější kontrola	3,5	10
II	velmi přesná	1670 až 3300	Velmi přesné činnosti při výrobě a kontrole, velmi přesné rýsování, ruční rytí s velmi malými detaily, velmi jemné umělecké práce	2,5	7
III	přesná	100 až 1670	Přesná výroba a kontrola, rýsování, technické kreslení, obtížné laboratorní práce, náročné vyšetření, jemné šití, vyšívání	2	6
IV	středně přesná	500 až 1000	Středně přesná kontrola a výroba, čtení, psaní, (rukou i strojem), běžné laboratorní práce, vyšetření, ošetření, obsluha strojů, hrubší šití, pletení, žehlení, příprava jídel	1,5	5
V	hrubší	100 až 500	Hrubší práce, manipulace s předměty a materiálem, konzumace jídla a obsluha, oddechové činnosti, základní a rekreační tělovýchova, čekání	1	3
VI	velmi hrubá	menší než 100	Udržování čistoty, sprchování a mytí, převlékání, chůze po komuni-	0,5	2

			kacích přístupných veřejnosti		
VII	celková orientace	-	Chůze, doprava materiálu, skladování hrubého materiálu, celkový dohled	0,25	1

Pro výpočty denního osvětlení byla přijata zásada, že den začíná při hodnotě 5000 lx měřené na venkovní rovině, kde žádná část oblohy není zastíněná. To odpovídá například místu na střeše výškové budovy. Pokud bychom každou hodinu zaznamenávali hodnotu osvětlení během dne a roku, přibližný celoroční průměr u nás by činil 22000 lx. Pro výpočty a hodnocení denního osvětlení byl tento údaj upraven a zaokrouhlen na 20000 lx. Průměrné hodnoty osvětlení při rovnoměrně zatažené obloze u nás jsou v grafu na *Obr.10.* Hodnoty jsou pro nezacloněnou rovinu, takže v kdekoli v normálním terénu kromě stepi budou nižší. V běžné městské ulici s vyššími domy to bývá 40 až 60% hodnoty na nezacloněném místě, v ateliéru s velkým stropním oknem 15 až 20%, blízko většího nezacloněného okna asi 10%. Pokud při výpočtu výjde například uprostřed obytného prostoru činitel 2% a roční průměr hodnot nezacloněné roviny je 20000 lx, pak roční průměr v místě činitele 2% je 400 lx. [1]



Obr. 10 - Průběhy průměrných osvětleností venkovní nezacloněné roviny při rovnoměrně zatažené obloze (lx) a průměrný jas oblohy (cd/m<sup>2</sup>) [1]

### 7.3 Kvalitativní kritéria denního osvětlení

Přístup světla na dané místo je třeba zajistit nejen v dostatečném množství, ale i v určité kvalitě. Jedním z nejdůležitějších kvalitativních kritérií je rovnoměrnost denního osvětlení  $r$  [-], která je dána poměrem minimální a maximální hodnoty činitele denní osvětlenosti změřené na určité pracovní rovině v interiéru:

$$r = \frac{D_{\min}}{D_{\max}},$$

Mezi další kvalitativní kritéria patří:

- rozložení světelného toku – ve většině případů se dává přednost osvětlení zleva nebo zleva a zepředu,
- rozložení jasu ploch v zorném poli – snaha odstranit rušivé jasy a kontrasty v zorném poli pozorovatele za účelem soustředění se na předmět zrakové práce,
- zábrana oslnění – jak při zatažené obloze, tak i při přímém slunečním světle. Osvětlovací otvory by neměly být umístěny v zorném poli pozorovatele. Pro zábranu oslnění je tedy nutné vhodně umístit osvětlovací otvory, resp. použít pevné nebo pohyblivé zařízení pro omezení přímého slunečního záření (např. žaluzie, závěsy, slunolamy a sezónní nátěry oken),
- barevné podání ploch v interiéru – barva povrchu má vliv na odrazivost (a tím i na množství) světla v uzavřené místnosti. Kromě toho barvy povrchu místnosti mají vliv na chování a prožitky člověka a mohou vyvolat různé pocity (chlad, teplo, smutek, uklidnění, vzrušení apod.). [8www]

## 8 SVĚTELNĚTECHNICKÁ MĚŘENÍ

Měření je činnost, jejímž cílem je objektivní určení velikosti fyzikálních veličin. Výsledkem měření je číselné porovnání měřené veličiny se stanovenou mírou (jednotkou). Kromě velikosti měřené veličiny se určuje nejistota jejího stanovení.

Světelnětechnická měření související s denním osvětlením lze rozdělit na:

- laboratorní měření, kam patří kalibrace fotometrických přístrojů, měření vlastností materiálu-činitel odrazu a činitele prostupu světla,
- měření denního osvětlení v realizovaných stavbách, měří se činitel denní osvětlenosti, případně se orientačně určují činitele odrazu nebo prostupu světla nebo se určuje jas ploch v interiéru a exteriéru,
- měření na modelech budov nebo místností.

### **Zásady měření:**

Při měření je nutno dodržovat správné zásady měření. Rozhodující jsou:

- správně vyškolení měřící (pracovníci provádějící měření), kteří znají vlastnosti používaných měřících přístrojů a ovládají metodiku měření stanovenou normativními předpisy. Před měřením v terénu se mají seznámit s místem měření a určit postup (strategii) měření,
- měřící přístroje, které musí být kalibrované a udržované,
- záznam při měření, musí se provést co nejpodrobnější, protože dodatečně je často obtížné získat údaje např. o podmínkách při měření. Ze záznamu o měření se vyhotoví protokol, který v přehledném vyhotovení obsahuje všechny důležité údaje.

### **Měřidla, zařízení a pomůcky:**

Na kvantitativní určování (měření) fotoelektrických veličin se používají fotometry sestávající obvykle z fotometrické hlavice a vyhodnocovacího systému s digitálním nebo analogovým indikačním (odečítacím) zařízením. Podle velikosti snímacího úhlu se fotometry používané pro měření osvětlení dělí na luxmetry (snímací úhel 180° a více) a jasoměry (snímací úhel je obvykle menší než 20°). Fotometrická hlavice je buďto pevnou částí fotometru

nebo oddělitelnou částí (se sňurovým spojem). Sestává se z fotometrického snímače a součástí, které dopadající světlo korigují (barevná filtr, clona, rozptylná destička apod.). Fotoelektrický snímač (fotodetektor, fotočlánek, fotonka) je převodník elektromagnetického záření v oblasti viditelného záření (světla) na elektrický signál, využívající venkovní nebo vnitřní fotoelektrický jev, při kterém se vytváří elektrický potenciál nebo elektrický proud nebo dochází ke změně elektrického odporu. Jako fotoelektrický snímač se používá emisní fotonka, hradlová fotonka, fotodioda, fototranzistor nebo fotoodpor. V současných fotometrech se nejčastěji používá křemíková nebo selená hradlová fotonka nebo fotodioda.

[2]

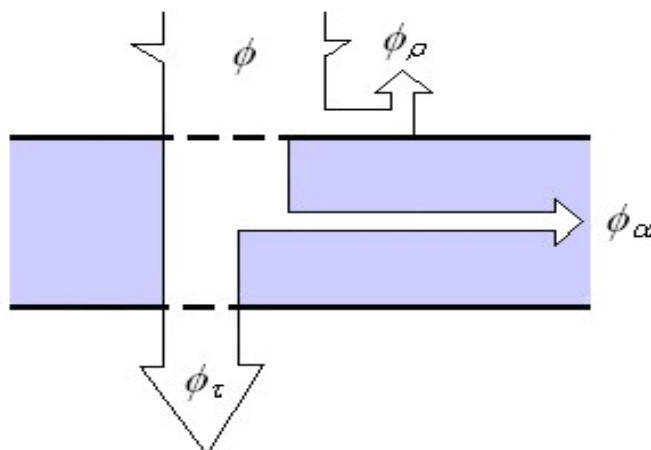
### 8.1 Světloteknické vlastnosti materiálů:

Předpokládejme světelný tok dopadající na světelně činnou látku. Tento tok se může od dané látky odrazit, pohltit v látce (dojde k zahřátí látky na vyšší teplotu) nebo prostoupit touto látkou. Dopadající světelný tok  $\Phi$  je tedy součtem dílčích světelných toků:

$$\Phi = \Phi_{\rho} + \Phi_{\tau} + \Phi_{\alpha}$$

kde  $\Phi_{\rho}$  - je světelný tok, který se odrazí,  $\Phi_{\tau}$  - světelný tok, který prostoupí přes látku a  $\Phi_{\alpha}$  - světelný tok, který látka pohltí.

Energetická bilance šíření světelného toku přes světelně činnou látku je znázorněna na obr.11. Na základě této energetické bilance jsou definovány světelné činitele.



Obr. 11 – Energetická bilance šíření světelného toku přes látku[8]

Při posuzování materiálů, které se používají při návrhu a výrobě osvětlení, jsou směřodátne jejich světloteknické vlastnosti. Na popis těchto vlastností slouží činitele odrazu, přestupu a pohlcení. Jsou bezrozměrné a jejich vzájemná závislost je:

$$\rho + \tau + \alpha = 1$$

### Činitel odrazu:

Odrážení světla je jev, při kterém se světlo vrací od hraniční plochy zpět do prostředí odkud přichází. Odrážení může být:

- Zrcadlový – odraz světla bez rozptýlení ve shodě se zákonem odrazu. Takový povrch nazýváme zrcadlový.
- Rozptylový – odraz světla o různých směrech, při kterém nevzniká zrcadlový odraz. Takový povrch nazýváme matný.
- Smíšený – odraz současně rozptylového a zrcadlového typu. Povrch se nazývá polomatný.

Podle toho, jak se odráží světlo, popisuje činitel odrazu  $\rho$ . Je charakterizovaný jako podíl odraženého světelného toku od povrchu látky a dopadajícího světelného toku na tuto látku.

$$\rho = \frac{\phi_{\rho}}{\phi}$$

Tab. 2- Činitele odrazu světla běžných povrchů a materiálů

Druh povrchu, materiálu	Činitel odrazu světla $\rho$	
povrch stěny, omítky	bílá	0,75 až 0,89
	krémová, béžová	0,60 až 0,70
	světle žlutá	0,60 až 0,70
	tmavě žlutá	0,50 až 0,60
	světlo červená	0,40 až 0,50
	tmavě červená	0,15 až 0,30
	světle zelená	0,45 až 0,65
	tmavě zelená	0,05 až 0,30
	světle modrá	0,40 až 0,60
	tmavě modrá	0,05 až 0,20
	hnědá	0,12 až 0,25
	světle šedá	0,40 až 0,60
	tmavě šedá	0,15 až 0,20
	černá	0,01 až 0,03
cihla červená	0,25	
písek světlý	0,50	
sádra bílá	0,80 až 0,92	
mramor bílý	0,55 až 0,80	
žula	0,40 až 0,50	
dřevo světlé	0,30 až 0,50	
dřevo tmavé	0,10 až 0,25	
tráva, zelen	0,03 až 0,10	
zemina	0,08 až 0,20	
smalt bílý	0,60 až 0,75	
beton světlý	0,20 až 0,50	
beton tmavý	0,10 až 0,25	
nerez ocel	0,55 až 0,65	
hliník leštěný	0,80 až 0,85	
chrom leštěný	0,60 až 0,70	
mědění plech s měděnkou	0,15 až 0,45	
sklo hladké hloubka 1 až 4mm	0,06 až 0,08	
sklo s drátěnou vložkou (hloubka 5mm)	0,15 až 0,27	
plexisklo kalné (hloubka 1 až 2mm)	0,20 až 0,40	
skleněné zrcadlo	0,80 až 0,90	
okno s čirým sklem	0,10	
sníh	0,75 až 0,80	



**Činitel prostupu:**

Přestup je schopnost látky přepustit světlo. Může být:

- a) přímý – přístup světla bez rozptylu. Tento materiál je průhledný.
- b) rozptylový - přestup světla, při kterém vzniká rozptyl, který se neřídí optickým zákonem lomu. Tento materiál je průsvitný.
- c) smíšený - přestup světla přímého a rozptylového typu. Materiály jsou poloprůsvitné.

Přestup světla popisuje činitel přestupu  $\tau$ . Je charakterizovaný jako podíl propuštěného světelného toku danou látkou a dopadajícího světelného toku na vzpomínanou látku.

$$\tau = \frac{\phi_{\tau}}{\phi}$$

Tab. 3 – Činitele prostupu světla běžných materiálů

Druh materiálu	Činitel přestupu světla $\tau$
čiré tabulkové sklo (hloubka 3 až 4mm)	0,92
surové sklo nevzorové	0,88
vzorované sklo (hloubka 3 až 4mm)	0,85 až 0,90
drátěné sklo (hloubka 6 až 7mm)	0,60 až 0,86
vrstevnaté sklo zelené hloubka (3 až 6mm)	0,02 až 0,09
vrstevnaté sklo modré hloubka (3 až 6mm)	0,01 až 0,05
sklolaminát	0,35 až 0,85
plexisklo kalné (hloubka 1 až 2mm)	0,40 až 0,75
akrylát čirý	0,85 až 0,92
reflexní sklo	0,55 až 0,65
sklenění tvárnice plná jednovrstvá	0,85 až 0,89
sklenění tvárnice dutá dvojevrstvá	0,55 až 0,62
tkanina světlo zelená	0,33
tkanina žlutá	0,54
záclona	0,55 až 0,75

[6] [7]

**Činitel pohlcení:**

Pohlcení světla je schopnost látky pohltit světelné záření, přičemž získanou světelnou energii mění na energii tepelnou, vyzařuje teplo. Tento jev popisuje činitel pohlcení  $\alpha$ . Je charakterizovaný jako podíl pohlceného světelného toku v látce a dopadajícího světelného toku na tuto látku.

$$\alpha = \frac{\phi_{\alpha}}{\phi}$$

Tab. 4 – Činitele pohlcení světla běžných materiálů

Druh materiálu		Činitel pohlcení světla $\alpha$
sklo čiré vzorované (hloubka 3 až 6mm)		0,03 až 0,20
drátěné sklo (hloubka 3 až 6mm)		0,15 až 0,20
vrstevnaté sklo zelené hloubka 3 až 6mm		0,32
vrstevnaté sklo modré (hloubka 3 až 6mm)		0,30
plexisklo kalné (hloubka 1 až 2mm)		0,10 až 0,20
tkanina	oranžové	0,37
	bílá	0,05
	sytě zelená	0,67
	fialová	0,75
	sytě červená	0,63

[6] [7]

## Luxmetr

Fotometr na měření osvětlenosti (rovinné, kulové, válcové, polokulové, poloválcové aj.). Pokud není uvedeno jinak, myslí se pod pojmem luxmetr přístroj na měření rovinné osvětlenosti. Snímací úhel luxmetru na měřené rovinné osvětlenosti má být ve všech rovinách kolmých v rovině, ve které se určuje osvětlenost, stejný (180°). Fotometrická hlavice je obvykle vybavena filtrem na přizpůsobení spektrální citlivosti a difúzním nástavcem pro korekci směrové chyby fotodetektoru. Pomocí jasového nastavce upravujícího snímací úhel fotometrické hlavice lze luxmetr změnit na jasoměr. [2]

Používal jsem školní luxmetr (obr.). Jeho měřicí rozsah je od 0 luxů do 50000 luxů. Podle přepnutí může měřit:

- od 0 do 1999 lx s citlivostí 1 lx,
- od 2000 do 19990 lx s citlivostí 10 lx,
- od 20000 do 50000 s citlivostí 100 lx.



Obr. 12 - Luxmetr

## 9 POČÍTAČOVÉ SIMULACE DENNÍHO OSVĚTLENÍ

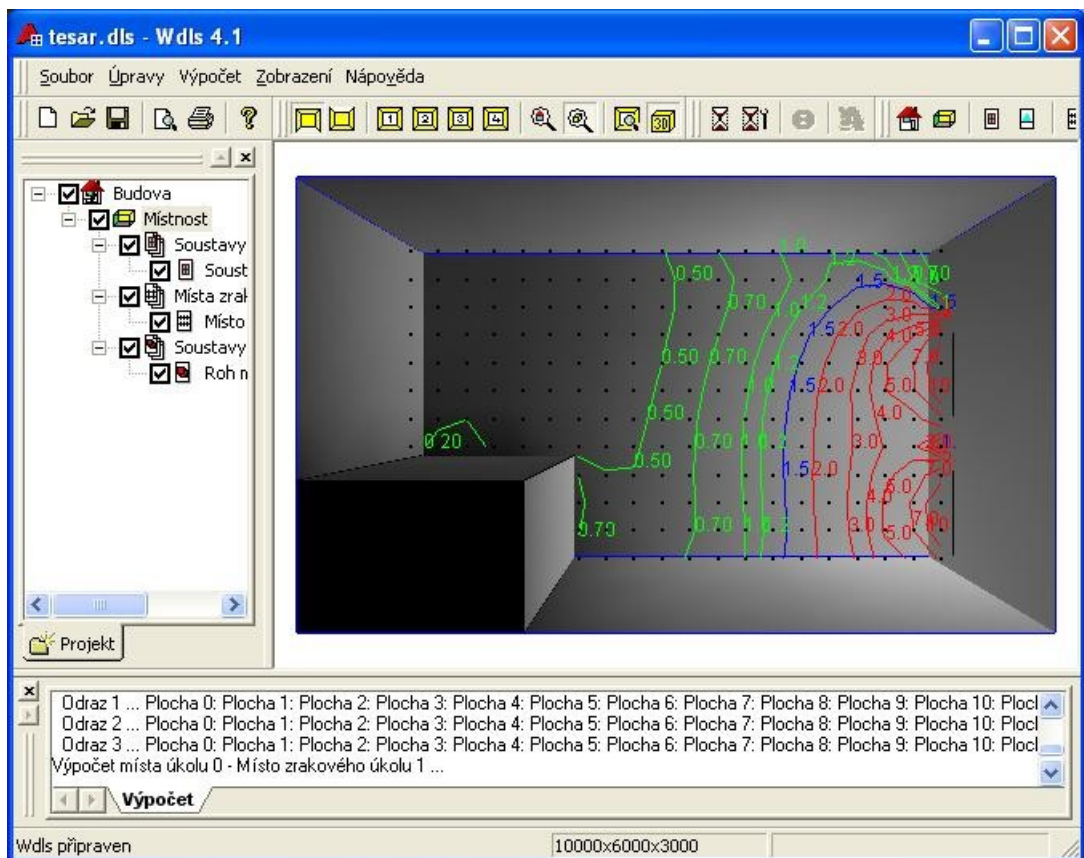
Pro hodnocení osvětlení se začali obecně používat počítačové programy. Dnešní době více než 90% všech výpočtů vykonávají počítače. Hlavní výhody jsou zřetelné: větší rychlost výpočtu a tím ušetřený čas, menší pravděpodobnost vytvořený chyb atd.

### 9.1 WDLS

System je výkonným prostředkem ke stanovení parametrů denního osvětlení, jejichž hodnoty je třeba znát ke správnému návrhu osvětlení tak, aby bylo dosaženo požadovaného zřakového výkonu i zřakové pohody. Výsledky získané tímto systémem odpovídají požadavkům norem:

- ČSN (STN) 73 0580 (denní osvětlení)
- ČSN 36 0020 (sdružené osvětlení)

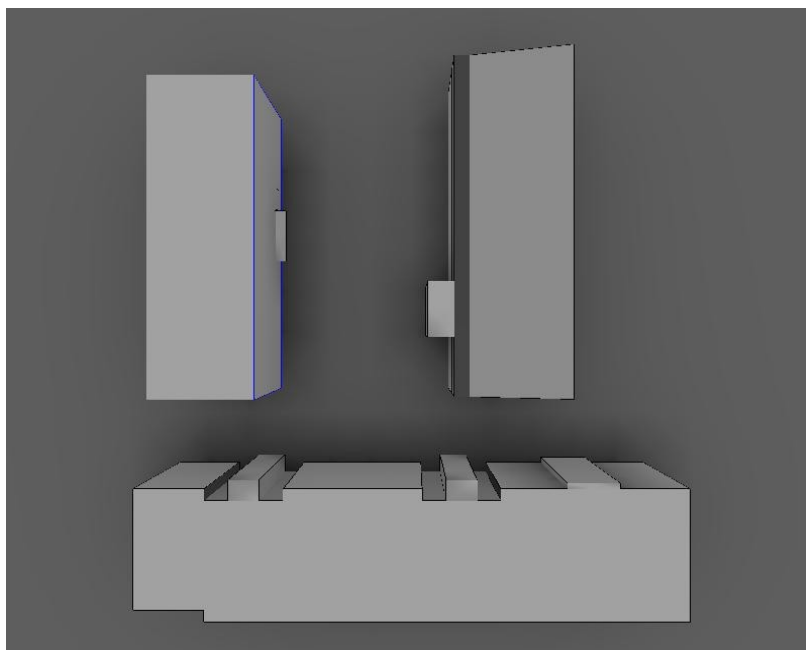
Výpočet denního osvětlení je jedním ze základních předpokladů návrhu umělého osvětlení.



Obr. 13 - Ukázka prostředí programu[9]

Systém obsahuje:

- výpočet činitele denní osvětlenosti (č.d.o.) v zadané síti výpočetních bodů
- výpočet oblohové, vnější i vnitřní odražené složky č.d.o.
- univerzální vektorové zadávání osvětlovacích otvorů s podporou snadnějšího zadávání jednoduchých bočních soustav; samozřejmostí je možnost zadávání střešních oken a světlíků
- možnost zadání soustav vnějších i vnitřních překážek modelujících skutečné tvary prostoru a stínící objekty - budovy
- integrovaný výpočet ztrát světla dle ČSN 73 0580
- výsledky výpočtů je možno použít jako vstupní data programu Wils k řešení spolupráce denního a umělého osvětlení
- pohodlný způsob zadávání vstupních dat pomocí dialogových panelů Windows se současným grafickým zobrazením těchto dat
- možnost přímé spolupráce s AutoCADem verze 2000 nebo LT 2000 a vyšší a IntelliCADem: odečítání souřadnic z výkresu, export izolinií
- nastavitelné 3D nebo 2D zobrazování
- podrobnou nápovědu, která Vám usnadní práci s programem



Obr. 14 - Ukázka grafických možností programu [9]

Vlastnosti systému:

- použitelný pro Windows Xp, Vista, 7
- úplná česká diakritika
- export grafických výsledků do AutoCADu nebo [IntelliCADu](#) [5]

## II. PRAKTICKÁ ČÁST

## 10 MĚŘENÍ ČINITELE ODRAZU RŮZNÝCH POVRCHŮ

### 10.1 Postup práce

Použil jsem školní luxmetr. Nejdříve jsem luxmetr přepnul na požadovanou citlivost (rozsah měření). Pak jsem vybral povrch na měření a citlivý kontakt luxmetru jsem obrátil směrem na povrch v dané vzdálenosti zhruba 30cm. Po chvíli jsem odečetl hodnotu. Toto měření jsem provedl u každého povrchu 10-krát. Měření by mělo probíhat za neměnných světelných podmínkách (zamračená nebo modrá obloha bez mraků, měření pouze ve stínu).

### 10.2 Postup pro stanovení hodnoty a chyby měřených veličin

1. Hodnoty  $x_1, x_2, \dots, x_n$  získané n-krát opakovaným měřením téže fyzikální veličiny za stejných podmínek sestavíme do tabulky
2. Vypočteme aritmetický průměr  $\bar{x}$  všech naměřených hodnot  $x_i$ .
3. Vypočteme odchylky  $\Delta_i$  naměřených hodnot  $x_i$  od aritmetického průměru  $\bar{x}$ .
4. Sečteme hodnoty odchylek  $\Delta_i$  s příslušnými znaménky, abychom zkontrolovali správnost výpočtu aritmetického průměru  $\bar{x}$  a odchylek  $\Delta_i$ . Vypočtený součet by měl být roven nule.
5. Sečteme absolutní hodnoty odchylek  $|\Delta_i|$ .
6. Sečteme čtverce odchylek  $\Delta_i^2$ .
7. Vypočteme směrodatnou odchylku aritmetického průměru  $\bar{s}$ .
8. Zvolíme riziko, pro  $\alpha = 5\%$  podle tabulky kritických hodnot Studentova rozdělení platí Studentův součinitel  $t_{\alpha,n} = 2,26$ .
9. Vypočteme krajní chybu  $\chi_{\alpha,n} = t_{\alpha,n} \bar{s}$  nejvýše na tři platná místa.
10. Výsledek měření zapíšeme ve tvaru  $x = \bar{x} \pm \chi_{\alpha,n}$ . S pravděpodobností 95 % podle zákona rizika leží skutečná hodnota naměřené fyzikální veličiny v intervalu



$(\bar{x} - \chi_{\alpha, n}, \bar{x} + \chi_{\alpha, n})$ . Krajiní chybu zaokrouhlujeme na dvě platné místa a aritmetický průměr tak zaokrouhlíme na stejný počet míst, kolik jich má chyba.

### 10.3 Naměřené veličiny

Povrch 1 – Tmavě červený



Tab. 5 – Tabulka naměřených hodnot pro povrch 1

č.měř.	$E_d$ [lx]	$E_o$ [lx]	$\rho$	$\Delta_i = \rho_i - \bar{\rho}$
1	411	94	0,229	0,0035
2	439	120	0,273	0,0481
3	417	112	0,269	0,0434
4	399	87	0,218	-0,0072
5	407	91	0,224	-0,0016
6	425	103	0,242	0,0172
7	419	77	0,184	-0,0414
8	436	105	0,241	0,0156
9	414	82	0,198	-0,0271
10	418	73	0,175	-0,0506
		$\bar{x}$	<b>0,2252</b>	

Příklad výpočtu:

ČINITEL ODRAZU

$$\rho = \frac{E_o}{E_d}$$

ARITMETICKÝ PRŮMĚR

$$\bar{\rho} = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i}{n}$$

ODCHYLKA

$$\Delta_i = \rho_i - \bar{\rho}$$

VÝBĚROVÁ SMĚRODATNÁ ODCHYLKA

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,00981379}{10-1}} = 0,0331$$

SMĚRODATNÁ ODCHYLKA ARITMETICKÉHO PRŮMĚRU

$$\bar{s} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum (\rho_i - \bar{\rho})^2}{n(n-1)}} = \frac{0,033}{\sqrt{10}} = 0,0104$$

INTERVAL SPOLEHLIVOSTI VYJÁDŘEN POMOCÍ KRAJNÍ CHYBY

$$\chi_{a,n} = t_{a,n} \frac{s}{\sqrt{n}} = t_{a,n} \cdot \bar{s} = 2,26 \cdot 0,0104 = 0,0235$$

**SOUČINTEL ODRAZU**  $\rho = 0,225 \pm 0,024$

## Povrch 2 – Světle modrý



Tab. 6 - Tabulka naměřených hodnot pro povrch 2

č.měř.	Ed [lx]	Eo [lx]	$\Delta_i = \rho\rho_i - \bar{\rho}$	
1	878	372	0,424	-0,0453
2	901	425	0,472	0,0027
3	877	460	0,525	0,0555
4	944	484	0,513	0,0437
5	885	393	0,444	-0,0249
6	896	416	0,464	-0,0047
7	915	367	0,401	-0,0679
8	882	409	0,464	-0,0053
9	895	498	0,556	0,0874
10	862	369	0,428	-0,0409
		$\bar{\rho}$	<b>0,4690</b>	
			Hodnota	
		Výběrový rozptyl $s$	0,0363	
		Směrodatná odchylka $\bar{s}$	0,0115	
		Krajní chyba $\chi_{a,n}$	0,0352	

SOUČINITEL ODRAZU  $\rho = 0,469 \pm 0,035$

## Povrch 3 – Tmavě oranžový

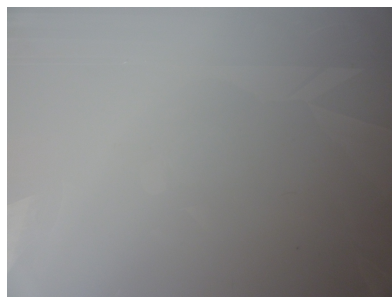


Tab. 7 - Tabulka naměřených hodnot pro povrch 3

č.měř.	$E_d$ [lx]	$E_o$ [lx]	$\Delta_i = \rho_i - \bar{\rho}$	
1	1848	819	0,443	-0,0103
2	1977	939	0,475	0,0215
3	1805	890	0,493	0,0396
4	1947	836	0,429	-0,0241
5	1863	927	0,498	0,0441
6	1821	791	0,434	-0,0191
7	1839	897	0,488	0,0343
8	1910	835	0,437	-0,0163
9	1886	769	0,408	-0,0458
10	1871	804	0,430	-0,0238
		$\bar{\rho}$	<b>0,4535</b>	
			Hodnota	
		Výběrový rozptyl $s$	0,0332	
		Směrodatná odchylka $\bar{s}$	0,0105	
		Krajní chyba $\chi_{a,n}$	0,0263	

**SOUČINITEL ODRAZU**  $\rho = 0,454 \pm 0,026$

## Povrch 4 – Bílý

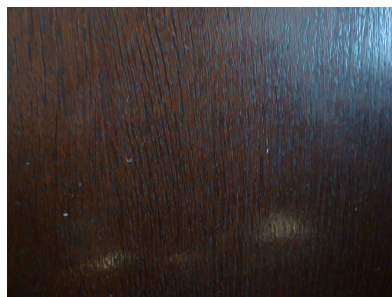


Tab. 8 - Tabulka naměřených hodnot pro povrch 4

č.měř.	$E_d$ [lx]	$E_o$ [lx]	$\Delta_i = \rho \rho_i - \bar{\rho}$	
1	363	296	0,815	0,0369
2	405	309	0,763	-0,0155
3	390	316	0,810	0,0318
4	332	270	0,813	0,0348
5	374	295	0,789	0,0103
6	379	288	0,760	-0,0186
7	358	262	0,732	-0,0467
8	366	283	0,773	-0,0053
9	401	303	0,756	-0,0229
10	362	280	0,773	-0,0050
		$\bar{\rho}$	<b>0,7785</b>	
			Hodnota	
		Výběrový rozptyl $s$	0,0352	
		Směrodatná odchylka $\bar{s}$	0,0111	
		Krajní chyba $\chi_{a,n}$	0,0214	

SOUČINITEL ODRAZU  $\rho = 0,779 \pm 0,021$

## Povrch 5 – Hnědý



Tab. 9 - Tabulka naměřených hodnot pro povrch 5

č.měř.	$E_d$ [lx]	$E_o$ [lx]	$\rho$	$\Delta_i = \rho_i - \bar{\rho}$
1	1066	208	0,195	0,0089
2	959	194	0,202	0,0161
3	993	171	0,172	-0,0140
4	1012	192	0,190	0,0035
5	1006	168	0,167	-0,0192
6	987	170	0,172	-0,0140
7	1022	188	0,184	-0,0022
8	1015	205	0,202	0,0158
9	975	174	0,178	-0,0077
10	1051	209	0,199	0,0127
		$\bar{\rho}$	<b>0,1862</b>	
				Hodnota
		Výběrový rozptyl $s$	0,0133	
		Směrodatná odchylka $\bar{s}$	0,0420	
		Krajní chyba $\chi_{a,n}$	0,0108	

**SOUČINTEL ODRAZU**  $\rho = 0,1862 \pm 0,0108$

## Povrch 6 – Světlo žlutý

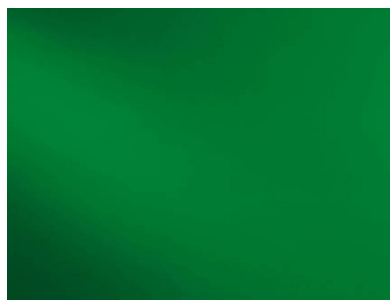


Tab. 10 - Tabulka naměřených hodnot pro povrch 6

č.měř.	$E_d$ [lx]	$E_o$ [lx]	$\rho$	$\Delta_i = \rho_i - \bar{\rho}$	
1	1690	778	0,460	-0,0069	
2	1786	845	0,473	0,0058	
3	1612	804	0,499	0,0315	
4	1594	720	0,452	-0,0156	
5	1678	755	0,450	-0,0174	
6	1649	721	0,437	-0,0301	
7	1622	733	0,452	-0,0154	
8	1670	816	0,489	0,0213	
9	1745	839	0,481	0,0135	
10	1643	789	0,480	0,0129	
		$\bar{\rho}$	<b>0,4673</b>		
				Hodnota	
				Výběrový rozptyl $s$	0,0199
				Směrodatná odchylka $\bar{s}$	0,0071
				Krajní chyba $\chi_{a,n}$	0,0161

SOUČINTEL ODRAZU  $\rho = 0,467 \pm 0,016$

## Povrch 7 – Tmavě zelený



Tab. 11 - Tabulka naměřených hodnot pro povrch 7

č.měř.	$E_d$ [lx]	$E_o$ [lx]	$\rho$	$\Delta_i = \rho_i - \bar{\rho}$	
1	912	136	0,149	0,0016	
2	901	127	0,141	-0,0065	
3	1009	151	0,150	0,0022	
4	854	132	0,155	0,0071	
5	935	150	0,160	0,0129	
6	982	137	0,140	-0,0080	
7	996	129	0,130	-0,0180	
8	1023	121	0,118	-0,0292	
9	890	139	0,156	0,0087	
10	951	168	0,177	0,0292	
		$\bar{\rho}$	<b>0,1475</b>		
				Hodnota	
				Výběrový rozptyl $s$	0,0164
				Směrodatná odchylka $\bar{s}$	0,0052
				Krajní chyba $\chi_{a,n}$	0,0116

**SOUČINITEL ODRAZU**  $\rho = 0,148 \pm 0,012$



## 10.4 Porovnání výsledků a zhodnocení

Tab. 12 – Porovnání naměřených a průměrných činitelů

Číslo povrchu	Barva povrchu	Průměrný činitel	Naměřený činitel
1	tmavě červená	0,15 až 0,30	$0,225 \pm 0,024$
2	světle modrá	0,40 až 0,60	$0,469 \pm 0,035$
3	oranžová	0,25 až 0,50	$0,454 \pm 0,026$
4	bílá	0,75 až 0,89	$0,779 \pm 0,021$
5	hnědá	0,12 až 0,25	$0,1862 \pm 0,0108$
6	tmavě žlutá	0,50 až 0,60	$0,467 \pm 0,016$
7	tmavě zelená	0,05 až 0,30	$0,148 \pm 0,012$

Z naměřených hodnot vyplývá, že většina hodnot činitelů odrazu světla od povrchu materiálu odpovídá předpokládaným průměrným hodnotám. Jedině činitel povrchu 6 této předpokládané průměrné hodnotě neodpovídá. Hlavním důvodem této nepřesnosti je znečištění povrchu a vyšší drsnost tohoto povrchu.

## 11 MĚŘENÍ ČINITELE PROSTUPU SVĚTLA

### 11.1 Postup práce

Hlavním cílem práce bylo určit činitele prostupu světla. Použil jsem znovu luxmetr, na kterém jsem před měřením nastavil požadovanou citlivost. Nejprve jsem citlivý kontakt luxmetru položil na vrchní stranu skla a měřil hodnotu dopadajícího světla. Pak jsem kontakt přiložil na dolní stranu skla a učil množství dopadajícího světla. Poměrem těchto hodnot jsem určil činitele prostupu světla daného materiálu.

## 11.2 Naměřené veličiny

### Sklo 1 - Tabulkové



Tab. 13 – Tabulka naměřených hodnot pro tabulkové sklo

č.měř.	$E_d$ [lx]	$E_p$ [lx]	$\tau$	$\Delta_i = \tau_i - \bar{\tau}$
1	235	195	0,830	0,0219
2	389	301	0,774	-0,0341
3	307	235	0,765	-0,0424
4	201	165	0,821	0,0130
5	298	250	0,839	0,0310
6	317	273	0,861	0,0533
7	298	233	0,782	-0,0260
8	344	266	0,773	-0,0346
9	241	192	0,797	-0,0112
10	209	175	0,837	0,0294
		$\bar{\tau}$	<b>0,8079</b>	

Příklad výpočtu:

ČINITEL ODRAZU

$$\tau = \frac{E_p}{E_d}$$

ARITMETICKÝ PRŮMĚR

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i}{n}$$

ODCHYLKA

$$\Delta_i = \tau_i - \bar{\tau}$$

## VÝBĚROVÁ SMĚRODATNÁ ODCHYLKA

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,010284}{10-1}} = 0,0338$$

## SMĚRODATNÁ ODCHYLKA ARITMETICKÉHO PRŮMĚRU

$$\bar{s} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum (\tau_i - \bar{\tau})^2}{n(n-1)}} = 0,0112$$

## INTERVAL SPOLEHLIVOSTI VYJÁDŘEN POMOCÍ KRAJNÍ CHYBY

$$\chi_{a,n} = t_{a,n} \frac{s}{\sqrt{n}} = t_{a,n} \cdot \bar{s} = 2,26 \cdot 0,0112 = 0,0253$$

**SOUČINTEL PROSTUPU**  $\tau = 0,808 \pm 0,025$

## Sklo 2 - Okrasné

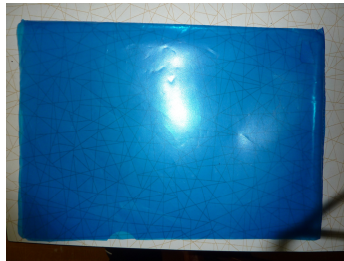


Tab. 14 - Tabulka naměřených hodnot pro okrasné sklo

č.měř.	$E_d$ [lx]	$E_p$ [lx]	$\tau$	$\Delta_i = \tau_i - \bar{\tau}$
1	330	217	0,658	0,0071
2	309	197	0,638	-0,0130
3	351	227	0,647	-0,0038
4	377	254	0,674	0,0232
5	346	234	0,676	0,0258
6	333	207	0,622	-0,0289
7	390	249	0,638	-0,0120
8	311	199	0,640	-0,0106
9	352	236	0,670	0,0200
10	358	230	0,642	-0,0080
		$\bar{\tau}$	<b>0,6505</b>	
			Hodnota	
Výběrový rozptyl $s$				0,0182
Směrodatná odchylka $\bar{s}$				0,0063
Krajní chyba $\chi_{a,n}$				0,0144

**SOUČINITEL PROSTUPU**  $\tau = 0,651 \pm 0,014$

## PP – Modrý

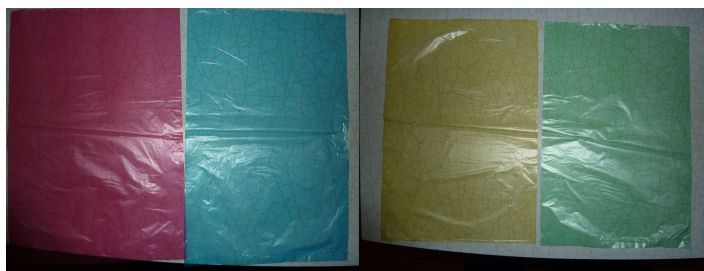


Tab. 15 - Tabulka naměřených hodnot pro PP složku

č.měř.	$E_d$ [lx]	$E_p$ [lx]	$\tau$	$\Delta_i = \tau_i - \bar{\tau}$
1	67	9	0,134	-0,0252
2	71	13	0,183	0,0236
3	68	12	0,176	0,0170
4	62	8	0,129	-0,0305
5	74	14	0,189	0,0297
6	69	12	0,174	0,0144
7	64	9	0,141	-0,0189
8	62	10	0,161	0,0018
9	66	11	0,167	0,0072
10	64	9	0,141	-0,0189
		$\bar{\tau}$	<b>0,1595</b>	
				Hodnota
				Výběrový rozptyl $s$
				0,0218
				Směrodatná odchylka $\bar{s}$
				0,0078
				Krajní chyba $\chi_{\alpha,n}$
				0,0176

**SOUČINTEL PROSTUPU**  $\tau = 0,160 \pm 0,018$

## PE sáčky



## PE – Červený

Tab. 16 - Tabulka naměřených hodnot pro červený PE

č.měř.	$E_d$ [lx]	$E_p$ [lx]	$\tau$	$\Delta_i = \tau_i - \bar{\tau}$
1	68	32	0,471	0,0040
2	61	30	0,492	0,0252
3	57	28	0,491	0,0246
4	60	29	0,483	0,0167
5	56	26	0,464	-0,0023
6	59	25	0,424	-0,0429
7	62	28	0,452	-0,0150
8	63	30	0,476	0,0096
9	64	28	0,438	-0,0291
10	63	30	0,476	0,0096
		$\bar{\tau}$	<b>0,4666</b>	
			Hodnota	
Výběrový rozptyl $s$				0,0227
Směrodatná odchylka $\bar{s}$				0,0075
Krajní chyba $\chi_{a,n}$				0,0169

SOUČINITEL PROSTUPU  $\tau = 0,467 \pm 0,017$

## PE – Modrý

Tab. 17 - Tabulka naměřených hodnot pro modrý PE

č.měř.	$E_d$ [lx]	$E_p$ [lx]	$\tau$	$\Delta_i = \tau_i - \bar{\tau}$
1	89	48	0,539	0,0150
2	95	40	0,421	-0,1032
3	97	50	0,515	-0,0088
4	81	40	0,494	-0,0305
5	86	43	0,500	-0,0243
6	97	47	0,485	-0,0398
7	90	53	0,589	0,0646
8	87	50	0,575	0,0504
9	82	45	0,549	0,0245
10	85	49	0,576	0,0522
		$\bar{\tau}$	<b>0,5243</b>	
			Hodnota	
		Výběrový rozptyl $s$	0,0517	
		Směrodatná odchylka $\bar{s}$	0,0112	
		Krajní chyba $\chi_{a,n}$	0,0253	

**SOUČINTEL PROSTUPU**  $\tau = 0,524 \pm 0,025$



## PE – Žlutý

Tab. 18 - Tabulka naměřených hodnot pro žlutý PE

č.měř.	$E_d$ [lx]	$E_p$ [lx]	$\tau$	$\Delta_i = \tau_i - \bar{\tau}$
1	78	32	0,410	-0,0209
2	71	28	0,394	-0,0368
3	83	35	0,422	-0,0095
4	80	36	0,450	0,0188
5	76	36	0,474	0,0425
6	75	34	0,453	0,0221
7	72	30	0,417	-0,0145
8	79	34	0,430	-0,0008
9	79	35	0,443	0,0118
10	74	31	0,419	-0,0123
		$\bar{\tau}$	<b>0,4312</b>	
			Hodnota	
		Výběrový rozptyl $s$	0,0238	
		Směrodatná odchylka $\bar{s}$	0,0079	
		Krajní chyba $\chi_{a,n}$	0,0179	

**SOUČINTEL PROSTUPU**  $\tau = 0,431 \pm 0,018$

## PE – Zelený

Tab. 19 - Tabulka naměřených hodnot pro zelený PE

č.měř.	$E_d$ [lx]	$E_p$ [lx]	$\tau$	$\Delta_i = \tau_i - \bar{\tau}$
1	78	48	0,615	0,0299
2	77	40	0,519	-0,0660
3	84	50	0,595	0,0097
4	75	40	0,533	-0,0522
5	76	43	0,566	-0,0197
6	79	47	0,595	0,0094
7	84	53	0,631	0,0455
8	81	50	0,617	0,0318
9	79	45	0,570	-0,0159
10	80	49	0,613	0,0270
		$\bar{\tau}$	<b>0,5855</b>	
				Hodnota
				Výběrový rozptyl $s$
				0,0374
				Směrodatná odchylka $\bar{s}$
				0,0128
				Krajní chyba $\chi_{a,n}$
				0,0289

**SOUČINITEL PROSTUPU**  $\tau = 0,586 \pm 0,029$

### 11.3 Zhodnocení

Příslušné hodnoty odpovídají předpokládaným činitelům prostupu světla. Případné nesrovnalosti mohli být způsobeny nedostatečným očištěním materiálů (sklo) nebo špatné narovnání materiálů (sáčky).

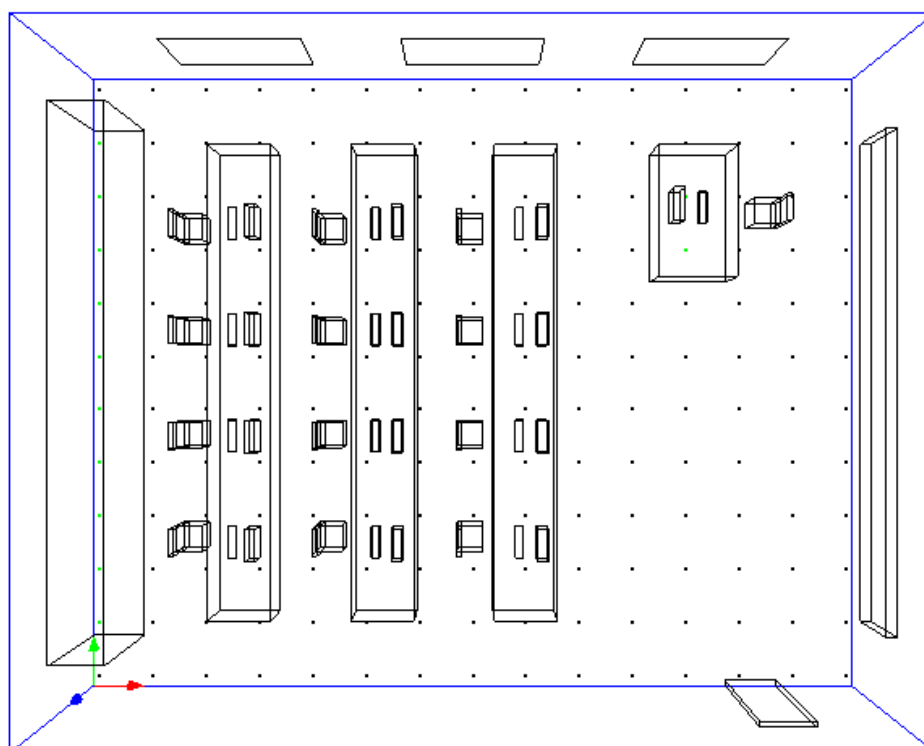
## 12 POČÍTAČOVÉ SIMULACE V PROGRAMU WDLS

### 12.1 Nastavení simulace

Nejdříve jsem navrhl místnost podobnou svými rozměry a některými vlastnostmi učebnám fakulty technologické na budově U5.

Základní nastavení hlavních parametrů simulace 1:

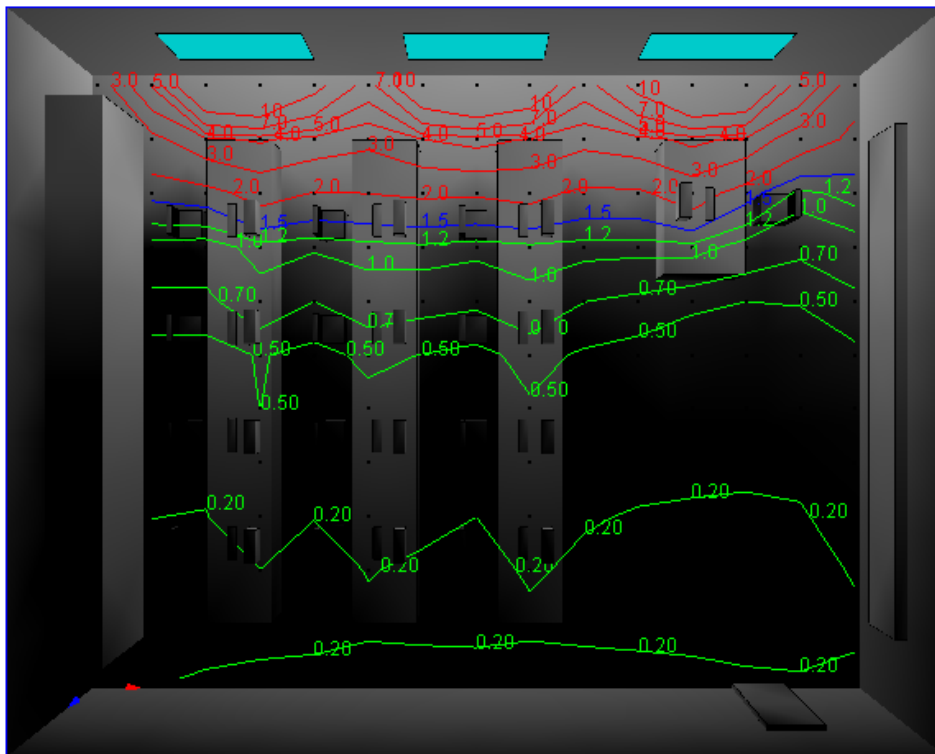
- 1) Místnost
  - a. Rozměry: délka 15000mm, šířka 12000mm a výška 3000mm.
  - b. Odrazy povrchů: strop - 0,75 - bílý, všechny stěny - 0,5 – zelené, podlaha - 0,25 – hnědá, terén 0,2.
  - c. Údaje o prostředí a údržbě: činitel znečištění – počítat, čistota terénu - průměr, druh terénu – tmavý, čistota exteriéru – průměrná.
- 2) Soustava bočních otvorů
  - a. Počet skel – 2, koeficient prostupu skla – 0,92, druh skla - čiré, umístění – stěna 3.
  - b. Začátek souřadnic 2000 – 0 – 800, rozměry oken – 2500x1200mm, počet oken – 3, rozteč – 4250mm.
- 3) Místo zřakového úkonu
  - a. Souřadnice 500 – 500 – 850, rozteč 1 – 1000, počet – 15, rozteč 2 – 1000, počet – 12, soustava bodů – horizontální,
- 4) Soustava překážek – přibližné hodnoty rozměrů vybavení učebny.



*Obr. 15 – Namodelovaná místnost pro simulaci 1*

## 12.2 Vlastní simulace

Dále program Wdls provedl výpočet činitele denní osvětlenosti místnosti.



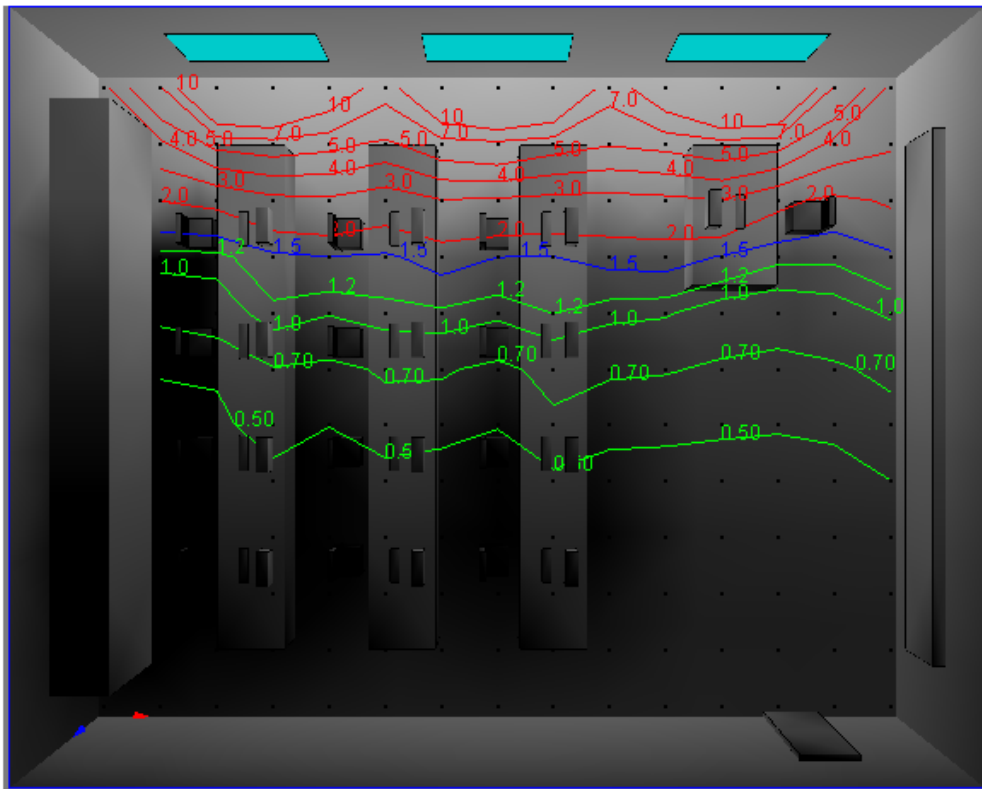
Obr. 16 – Schéma výpočtu činitele denní osvětlenosti pro simulaci 1.

Z výsledku simulace vyplývá, že pro běžně přesné činnosti (viz. Tab.1) jako je čtení, psaní a běžné laboratorní práce je minimální činitel denní osvětlenosti 1,5(modrá línie). To znamená, že velikost denního světla dopadajícího do místnosti je dostatečná pouze pro první řadu míst u okna.

V dalších simulacích dochází ke změnám, které by měly tuto situaci zlepšit.

## Simulace 2

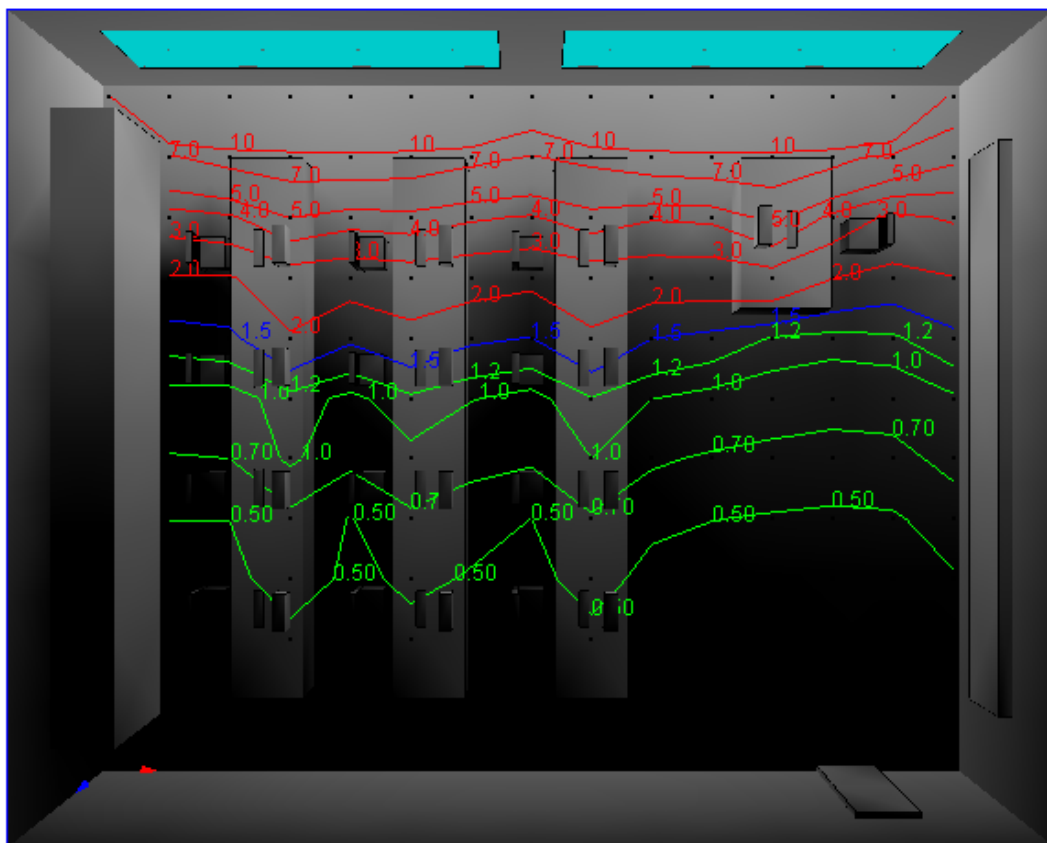
V druhé simulaci došlo ke změně odraznosti povrchů jak místnosti, tak i na vybavení. Dominantní vliv má především odraz světla od stěn místnosti. Strop zůstal bílý (0,75) ale ostatní stěny byly změněny ze zelené (0,50) na bílou a podlaha z hnědé (0,25) na šedou (0,6). Tímto dojde k nepatrnému zlepšení rozložení činitele osvětlenosti, především v zadní části místnosti.



Obr. 17 - Schéma výpočtu činitele denní osvětlenosti pro simulaci 2

### Simulace 3

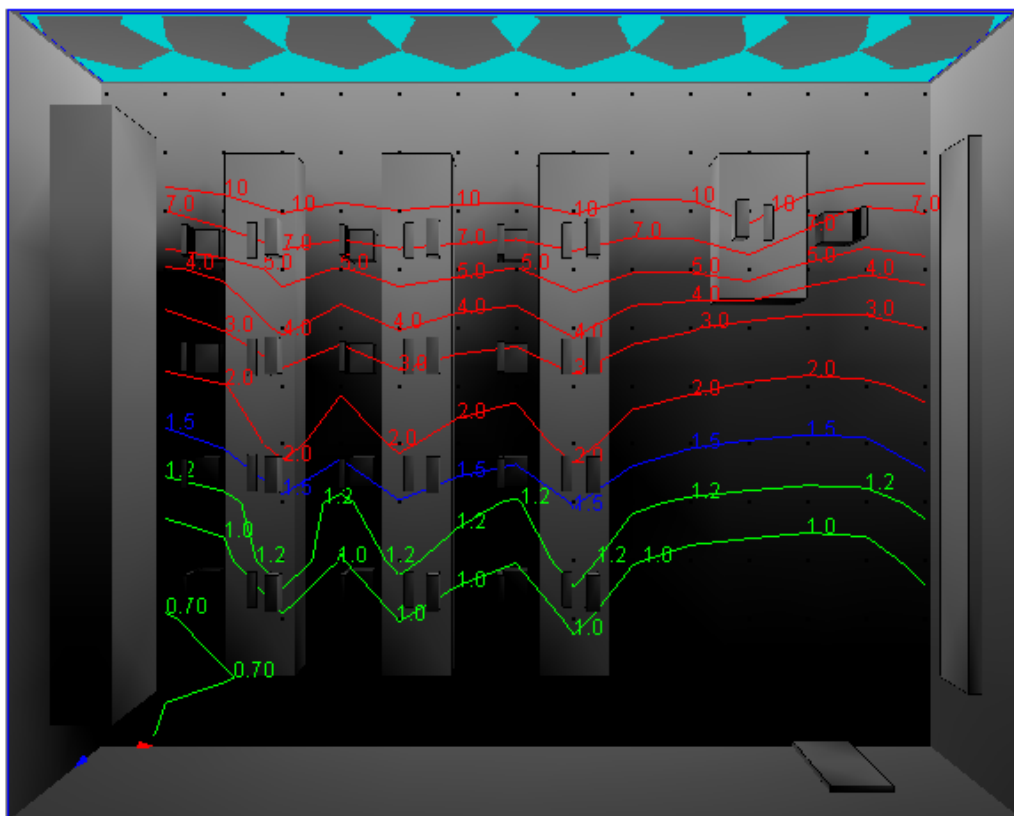
U třetí simulace jsem vzhledem k původní (simulace 1) změnil počet oken ze tří menších na dvě větší okna o velikosti 6000x1500mm. Tímto došlo k patrnému posunu modré hranice pro přesné činnosti zhruba o 2 metry a zlepšení osvětlenosti je velké.



Obr. 18 - Schéma výpočtu činitele denní osvětlenosti pro simulaci 3

### Simulace 4

Ve čtvrté simulaci došlo ke změně (od simulace 1) ze tří oken na prosklenou stěnu o velikosti 14800x2800mm ze dvojitvrstvého skla. Tak došlo k prosvětlení větší části místnosti. Řada míst na sezení u dveří mají hraniční hodnotu činitele osvětlenosti 1,2, což je možná hranice na některé přesné činnosti.

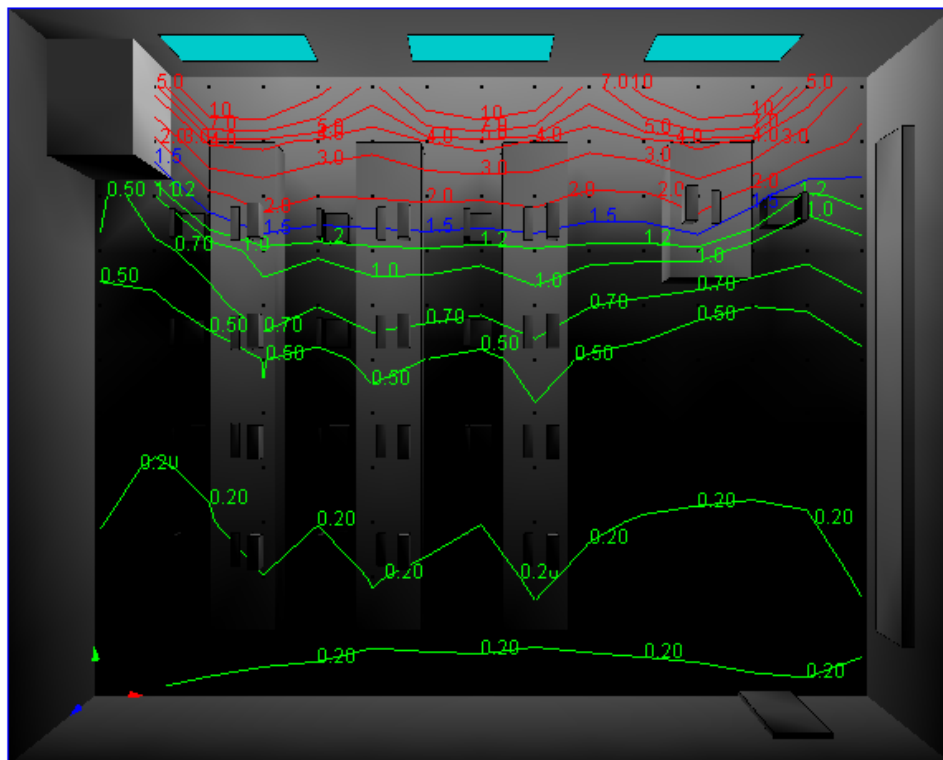


Obr. 19 - Schéma výpočtu činitele denní osvětlenosti pro simulaci 4



### Simulace 5

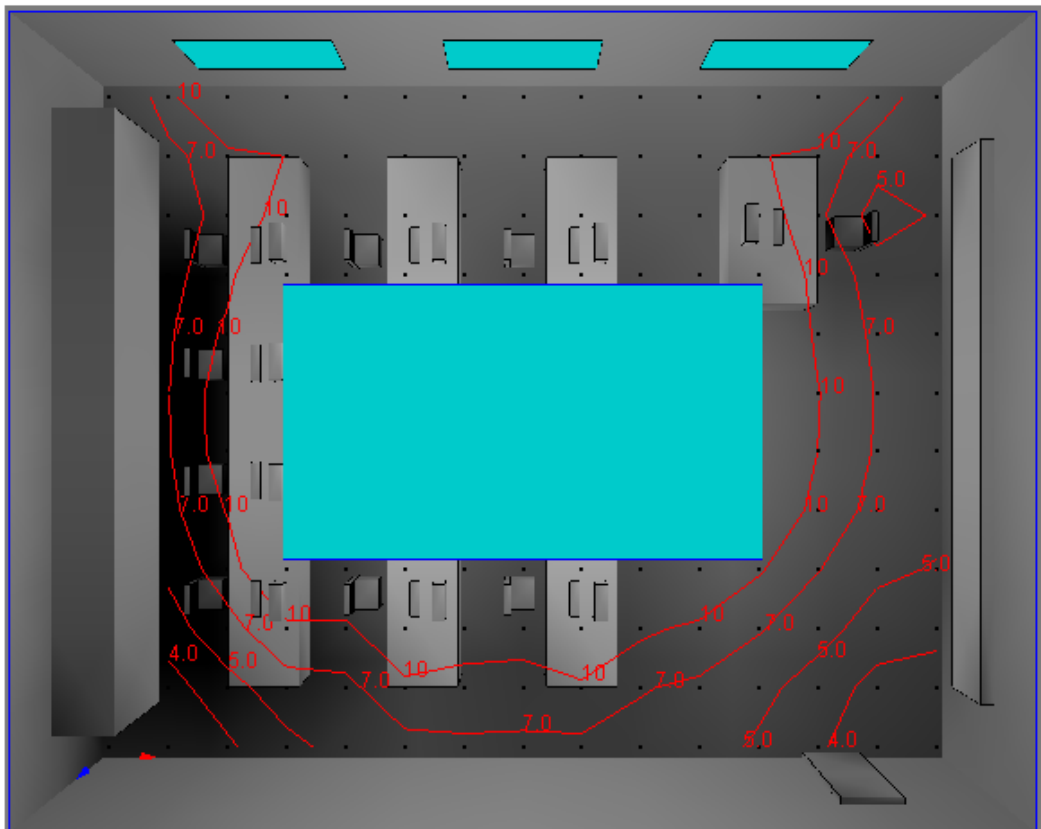
Oproti simulaci 1 došlo ke změně polohy a rozměrů skříně. To mělo za následek zlepšení osvětlovosti pouze v oblasti za skříní, což je nedostatečné.



Obr. 20 - Schéma výpočtu činitele denní osvětlenosti pro simulaci 5

### Simulace 6

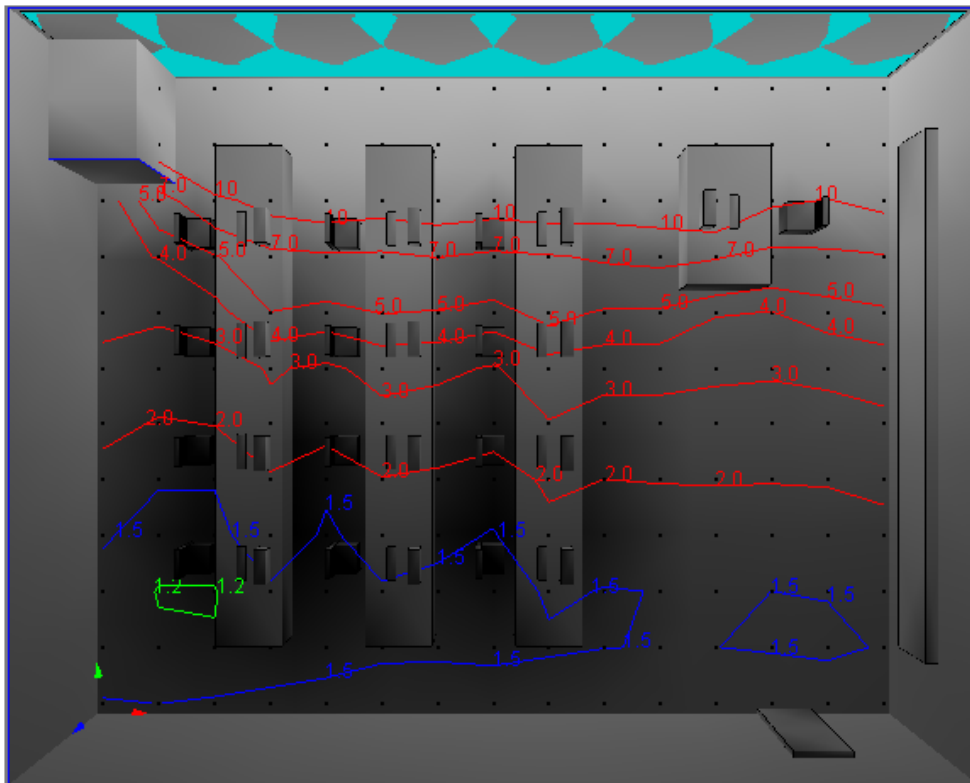
V šesté simulaci jsem přidal střešní okno o rozměrech 7x4m ze dvojitvrstvého skla. Vlivem okna ve stropu došlo k obrovskému nárůstu činitele denní osvětlenosti. Tyto hodnoty osvětlenosti jsou vhodné pro mimořádně přesné činnosti (obtížné měření apod.). Nevýhodou je, že velké množství světla může mít nějaké negativní účinky (např. Horší dataprojekce atd.).



Obr. 21 - Schéma výpočtu činitele denní osvětlenosti pro simulaci 6

### Simulace 7

V této simulaci jsem se pokusil o použití takových změn oproti simulaci 1, aby výsledné rozložení hodnoty činitele denní osvětlenosti bylo vhodné pro přesné činnosti. Z předchozích simulací jsem odvodil příslušné prvky, které jsem v této použil. Byly to: změna polohy a velikosti skříně (simulace 5), změna odraznosti povrchů (simulace 2) a boční prosklená stěna (simulace 4). Výsledná simulace většinou splňuje kritérium pro přesnou činnost.



Obr. 22 - Schéma výpočtu činitele denní osvětlenosti pro simulaci 7

### 12.3 Zhodnocení

V simulaci 7 jsem dokázal vytvořit vhodnou místnost pro výuku například technického kreslení, která by splňovala vhodné rozložení a množství denního světla potřebné pro tuto činnost. Rozložená činitele závisí převážně na barvš interiéru a částečně na rozložení vybavení místnosti. V současné době jen málo učeben má prosklenou stěnu nebo stropní okno, takže je nezbytné políbat i umělé osvětlení.

## ZÁVĚR

Denní světlo patří mezi nejdůležitější prvky pro vznik života na Zemi. Jak vyplývá z této práce, světlo má hospodárný vliv nejen na člověka, ale i na veškeré rostlinstvo i živočišstvo na naší planetě.

V praktické části jsem se zaměřil na měření činitele odrazu světla a činitele prostupu světla přes materiál. Při zpracování činitele odrazu světla jsem dokázal, jak je důležité zvolit vhodnou barvu fasády, omítky pokojů nebo nábytku k vzhledem k dostatečnému dennímu světlu (i umělému) v dané místnosti. Při špatně zvolené barvě například omítky pokoje dítěte dojde tomu, že v pokoji je málo denní světla a dítě musí po většinu dne svítit umělým světlem. Kromě toho tento nedostatek denního světla způsobuje i únavu a jiné negativní účinky.

Pro činitele prostupu světla platí je to podobné, také záleží na barvě materiálu, ale i na druhu. Čiré tabulkové sklo je v současné době nejvhodnějším druhem skla pro příjem denního světla.

Dále jsem vytvořil simulaci místnosti podobné svými rozměry a některými vlastnosti učebním místnostem na UTB. Po první simulaci jsem začal dělat změny příslušných parametrů s cílem dosáhnou lepšího činitele denní osvětlenosti. V poslední simulaci jsem vytvořil vhodné světelné podmínky pro výuku. Největší vliv na rozložení činitele denní osvětlenosti má barva interiéru místnosti. Avšak používání pouze denní světla by si vyžádalo velké stavebné úpravy (stropní okno, prosklení stěna), které jsou jednoduše nahrazeny umělým světlením.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

[1] Monzer L., Osvětlení a svítidla v bytech, Grada Publishing, 1.vydání Praha, 136 stran, ISBN 80-7169-620-X.

[2] Rybár P., Šesták F., Juklová M., Hraška J., Vaverka J., Denní osvětlení a oslunění budov, ERA, 1.vydání Brno, 2001, 276 stran, ISBN 80-86517-33-0.

[3] Habel J. a Kolektiv, Světelná technika a osvětlování, FCC PUBLIC, 2.vydání Praha, 1995, 448 stran, ISBN 80-901-985-0-3.

[4] Plch J., Mohelníková J., Suchánek P., Osvětlení neosvětlitelných prostor, ERA, 1.vydání Brno, 2004, 130 stran, ISBN 80-86517-82-9.

[5] Mádr V., Knejzlík J., Kopečný J., Novotný I., Fyzikální měření, SNTL, 1.vydání Praha, 1991, 304 stran,

[6] Krtilová A., Matoušek J., Monzer L., Světlo a osvětlování, Avicenum 1.vydání Praha, 1981, 272 stran, ISBN neuvedené.

[7] Bystřický V., Kaňka J., Osvětlení, ČVUT, 1.vydání Praha, 1994, 76 stran, ISBN 80-01-00832-0

[8] [www.fyzika.ft.utb.cz](http://www.fyzika.ft.utb.cz)

[9] Program WDLS příručka

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

$\rho$	Činitel odrazu
$\tau$	Činitel přestupu
$\alpha$	Činitel pohlcení
$\lambda$	Vlnová délka
$\Phi_e$	Zářivý tok
$\Phi_v$	Světelný tok
Cd	Candela
Sr	Staradián
Iv	Svítivost zdroje v daném směru
A	Plocha
r	Poloměr
m	Metr
m <sup>2</sup>	Metr čtverečný
E	Osvětlenost
lx	Lux
Lv	Jas
D	Činitel denní osvětlenosti
E <sub>k</sub>	Osvětlenost venkovní nezastíněné vodorovné roviny
r	Rovnoměrnost denního osvětlení
D <sub>min</sub>	Činitel denní osvětlenosti minimální hodnota
D <sub>prum</sub>	Činitel denní osvětlenosti průměrná hodnota
$\Phi_\alpha$	Světelný tok, který pohltí látka
$\Phi_\rho$	Světelný tok, který se odrazí
$\Phi_\tau$	Světelný tok, který prostoupí přes látku

mm Milimetr

nm Nanometr

$\mu\text{m}$  Mikrometr

Hz Hertz

PE Polyetylen

PP Polypropylen



## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 - Dveře často bývaly hlavním osvětlovacím otvorem starších příbytků, Encyklopedie Diderot, 18. století[1].....</i>	12
<i>Obr. 2 - Rozdělení elektromagnetického záření v závislosti na jeho vlnové délce. [2].....</i>	13
<i>Obr. 3 - Křivky poměrné spektrální účinnosti <math>V(\lambda)</math>, <math>V'(\lambda)</math> podle CIE [2].....</i>	16
<i>Obr. 4 - Rozložení zářivého toku ve spojitém spektru složeného záření[2] .....</i>	25
<i>Obr. 5 - Rozložení zářivého toku v čárovém spektru složeného záření[2].....</i>	25
<i>Obr. 6 - Ke vztahu <math>I_v</math>[2].....</i>	28
<i>Obr. 7 - Vstupní veličiny pro výpočet osvětlenosti [2].....</i>	29
<i>Obr. 8 - Osvětlenost bodu dané roviny v závislosti na prostorovém úhlu a na jas svítící plochy a úhlu <math>\omega</math> [2] .....</i>	30
<i>Obr. 9 - Fotometrické veličiny: a) prostorový úhel, b) křivka svítivosti bodového zdroje, c) osvětlenost, d) světlení e) jas[4] .....</i>	31
<i>Obr. 10 - Průběhy průměrných osvětleností venkovní nezacloněné roviny při rovnoměrně zatažené obloze (<math>lx</math>) a průměrný jas oblohy (<math>cd/m^2</math>) [1].....</i>	35
<i>Obr. 11 – Energetická bilance šíření světelného toku přes látku[8].....</i>	39
<i>Obr. 12 - Luxmetr .....</i>	43
<i>Obr. 13 - Ukázka prostředí programu[9] .....</i>	44
<i>Obr. 14 - Ukázka grafických možností programu [9].....</i>	45
<i>Obr. 15 – Namodelovaná místnost pro simulaci 1 .....</i>	68
<i>Obr. 16 – Schéma výpočtu činitele denní osvětlenosti pro simulaci 1.....</i>	69
<i>Obr. 17 - Schéma výpočtu činitele denní osvětlenosti pro simulaci 2 .....</i>	70
<i>Obr. 18 - Schéma výpočtu činitele denní osvětlenosti pro simulaci 3 .....</i>	71
<i>Obr. 19 - Schéma výpočtu činitele denní osvětlenosti pro simulaci 4 .....</i>	72
<i>Obr. 20 - Schéma výpočtu činitele denní osvětlenosti pro simulaci 5 .....</i>	73
<i>Obr. 21 - Schéma výpočtu činitele denní osvětlenosti pro simulaci 6 .....</i>	74
<i>Obr. 22 - Schéma výpočtu činitele denní osvětlenosti pro simulaci 7 .....</i>	75

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1 - Doporučené hodnoty činitelů denního osvětlenosti pro různé činnosti, podle CSN 730580 – Denní osvětlení budov[1]</i> .....	33
<i>Tab. 2- Činitele odrazu světla běžných povrchů a materiálů</i> .....	40
<i>Tab. 3 – Činitele prostupu světla běžných materiálů</i> .....	41
<i>Tab. 4 – Činitele pohlcení světla běžných materiálů</i> .....	42
<i>Tab. 5 – Tabulka naměřených hodnot pro povrch 1</i> .....	49
<i>Tab. 6 - Tabulka naměřených hodnot pro povrch 2</i> .....	51
<i>Tab. 7 - Tabulka naměřených hodnot pro povrch 3</i> .....	52
<i>Tab. 8 - Tabulka naměřených hodnot pro povrch 4</i> .....	53
<i>Tab. 9 - Tabulka naměřených hodnot pro povrch 5</i> .....	54
<i>Tab. 10 - Tabulka naměřených hodnot pro povrch 6</i> .....	55
<i>Tab. 11 - Tabulka naměřených hodnot pro povrch 7</i> .....	56
<i>Tab. 12 – Porovnání naměřených a průměrných činitelů</i> .....	57
<i>Tab. 13 – Tabulka naměřených hodnot pro tabulkové sklo</i> .....	59
<i>Tab. 14 - Tabulka naměřených hodnot pro okrasné sklo</i> .....	61
<i>Tab. 15 - Tabulka naměřených hodnot pro PP složku</i> .....	62
<i>Tab. 16 - Tabulka naměřených hodnot pro červený PE</i> .....	63
<i>Tab. 17 - Tabulka naměřených hodnot pro modrý PE</i> .....	64
<i>Tab. 18 - Tabulka naměřených hodnot pro žlutý PE</i> .....	65
<i>Tab. 19 - Tabulka naměřených hodnot pro zelený PE</i> .....	66