

## 8. NEJDŮLEŽITĚJŠÍ ZÁSADY OSVĚTLOVÁNÍ

Cílem osvětlení určitého prostoru je vytvořit v něm v souladu s jeho určením co nejpříznivější podmínky pro požadovanou činnost lidí a pro vznik jejich zrakové pohody. Dobré osvětlení v průmyslových podnicích je jedním z důležitých činitelů racionalizace výroby, umožňujících zvyšování produktivity práce i kvality výroby. Kvalitní osvětlení komunikací přináší výrazné zvýšení bezpečnosti provozu a obvykle vede ke snížení počtu dopravních nehod po setmění asi o 30%. Správně vyřešené osvětlení nejen že vytváří co nejlepší podmínky pro jakoukoliv činnost lidí, ale značně ovlivňuje i estetický dojem o prostředí, a to jak na nejrůznějších pracovištích, tak v prostorech odpočinkových a kulturně společenských.

Kvalita osvětlení se hodnotí podle toho, jak daná osvětlovací soustava splňuje kvantitativní a kvalitativní požadavky kladené na osvětlení uvažovaného prostoru. Požadavky na osvětlení vnitřních pracovních prostorů jsou shrnuty v nové české technické normě **ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 1 : Vnitřní pracovní prostory**, která je českou verzí evropské normy EN 12464-1 z r.2002. Touto normou byly nahrazeny naše dřívější normy: ČSN 360450 Umělé osvětlení vnitřních prostorů z října 1986, ČSN 360451 Umělé osvětlení průmyslových prostorů z října 1986, ČSN 360008 Oslnění, jeho hodnocení a zábrana z prosince 1961. Při návrhu osvětlení se tvoří **světelné prostředí**, jehož cílem je uspokojit tři základní lidské potřeby :

- **zrakovou pohodu**, to je stav, kdy pracovníci nejen dobře vidí a rozlišují potřebné detaily, ale také se v daném prostředí cítí příjemně; což nepřímo přispívá k vysoké úrovni produktivity; jde tedy o tvorbu zrakově příjemného prostředí podporujícího psychologickou pohodu lidí.
- **zrakový výkon**, kdy i v relativně špatných podmínkách jsou pracovníci po dlouhou dobu schopni přijímat a zpracovávat stejné množství informací za jednotku času, tzn. vykonávat požadované zrakové úkoly; jde tedy o vytvoření předpokladů zejména pro potřebnou ostrost vidění, správné rozlišování tvaru a barev předmětů a jejich detailů i pro dostatečnou rychlost vnímání, aby fyziologická námaha a únava spojená s prací zraku byla co nejnižší a aby se v pracovních místnostech dosáhlo vysoké produktivity práce při minimální únavě.
- **bezpečnost**, především zábranou vzniku oslnění, vyloučením stroboskopického jevu, eliminací nevhodných stínů či kontrastů ze zorného pole pozorovatelů atd.

Pozn. Požadavky na osvětlení venkovních pracovních prostorů jsou analogické a jsou shrnuty v normě ČSN EN 12464-2 Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 2 : Venkovní pracovní prostory

Splnění zmíněných požadavků je pochopitelně třeba docílit při vynaložení minimálních pořizovacích a provozních nákladů na světelné zdroje, svítidla, předřadníky a další elektrická zařízení, včetně elektrické instalace.

Vlastnímu návrhu osvětlovací soustavy musí předcházet podrobný rozbor zorného pole pozorovatelů a podmínek vidění, druhu kritického detailu a potřebného jeho kontrastu vůči bezprostřednímu okolí i kontrastu pozorovaného předmětu s pozadím.

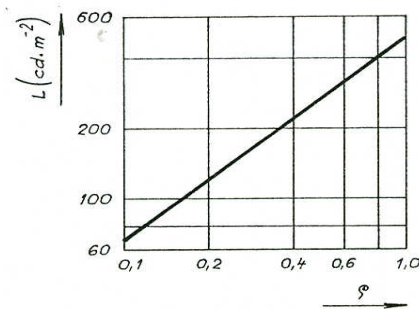
K **nejdůležitějším zásadám**, kterých je třeba dbát při **návrhu osvětlení** proto patří zejména:

|   | Zásada  | Ověřovaný parametr světelného prostředí                      |
|---|---|--|
| 1 | zajistit potřebné jasy $L$ a osvětlenosti $E$   | průměrný udržovaný jas $\bar{L}_m$ a osvětlenost $\bar{E}_m$ |
| 2 | prostorové rozložení jasů a osvětleností        | rovnoměrnost jasů a osvětleností                             |
| 3 | zábrana vzniku oslnění                          | obv. činitel (index) oslnění UGR                             |
| 4 | podání barev; soulad $T_c$ zdrojů s $\bar{E}_m$ | index podání barev $R_a$ ; $T_c$ zdrojů, $\bar{E}_m$         |
| 5 | podání tvaru; směrovost a stínivost osvětlení   | sv. vektor, $E_{4\pi}$ , činitel podání tvaru $P$            |
| 6 | stálost osvětlení                               | index míhání $f$ ; zábrana stroboskop. jevu                  |
| 7 | denní osvětlení                                 | činitel denní osvětlenosti                                   |
| 8 | nalézt tech. i ekon. optimální variantu         | rozbor nákladů, citlivostní analýza                          |

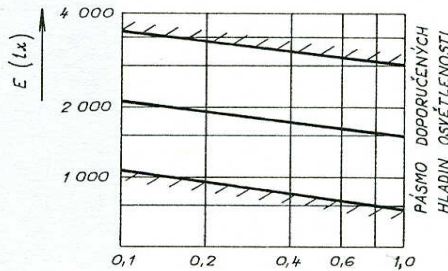
## 8.1 Hladiny jasů a osvětlenosti

Hladiny jasů a osvětlenosti mají být v souladu s řešením světelného prostředí v celém uvažovaném prostoru přiměřené předpokládané zrakové činnosti, neboť při nedostatečných úrovních jasů a osvětlenosti se zrak neúměrně namáhá a unavuje, nerozeznávají se dobře podrobnosti a jemné kontrasty jasů a barev, vznikají chyby a omyly, které mohou vést i k úrazům.

Z hlubšího rozboru jasových poměrů v zorném poli pracovníka [Fischer D.: Optimale Beleuchtungsniveaus in Arbeitsräumen I-II, Lichttechnik 1970, č.2 a 3, Fischer D.: Beleuchtungsstärken, Leuchtdichten und Farben in Arbeitsräumen, Lichttechnik 1972, č.8] vyplývá, že vyhovující jas pracovní plochy stoupá s činitelem odrazu této plochy (viz obr. 8-1). Uvedené závislosti odpovídají hladiny osvětlenosti podle obr.8-2.



Obr.8 - 1



Obr.8 - 2

Při zjišťování podmínek osvětlení vertikálních ploch v zorném poli pracovníka vycházel Fischer z rozborů rozlišitelnosti rysů obličeje. Tyto výzkumy ukázaly, že určitou hranicí k rozlišení obličeje je jas asi  $1 \text{ cd.m}^{-2}$ , kterému odpovídá osvětlenost vodorovné roviny cca  $20 \text{ lx}$ . Tuto hodnotu osvětlenosti považuje Fischer za minimální hladinu osvětlenosti v každém vnitřním prostoru (třeba jen průchozím). Uspokojivého rozlišení rysů obličeje lze však docílit při jasech  $10$  až  $20 \text{ cd.m}^{-2}$ , což vyžaduje osvětlenost vodorovné roviny nejméně  $200 \text{ lx}$ . Tato hladina osvětlenosti se považuje za minimální hodnotu osvětlenosti v pracovních prostorech. Proto se také hladiny osvětlenosti pod  $200 \text{ lx}$  uvažují jen v případech s krátkodobým pobytem pracovníků vykonávajících zrakově nenáročnou práci.

Výsledky výzkumů prováděných v různých zemích při stanovování optimálních hladin osvětlení pracovišť se většinou shodují na hodnotách osvětlenosti i  $1000$  až  $2000 \text{ lx}$  podle druhu, zrakové obtížnosti a náročnosti vykonávané práce a rovněž podle vybavení sledovaného prostoru. Velmi jemné a vysoce náročné práce vyžadují hladiny osvětlenosti  $2000$  až  $20.000 \text{ lx}$ . Horní hranice vychází přibližně pro činitele odrazu pracovní plochy  $0,15$  a její jas  $1000 \text{ cd.m}^{-2}$ , při němž lze dosáhnout maximální hodnoty činitele rozlišitelnosti jasu. Při výzkumu optimálních hladin osvětlenosti se ukázalo, že v jednotlivých konkrétních případech existuje určitý stupeň nasycení, kdy již další nárůst osvětlenosti nepřináší odpovídající zlepšení podmínek zrakové práce, zvýšení výkonnosti ani bezpečnosti práce.

Při stanovování technicky a ekonomicky přijatelných a pro určitý druh vykonávané činnosti potřebných hladin osvětlenosti umožňují dobrou orientaci výsledky výzkumných prací Westona. Podle nich se osvětlenost zajišťující devadesátiprocentní spolehlivost rozlišení kritického detailu stanovuje v závislosti na činiteli odrazu nejsvětlejší části kritického detailu a jeho zrakové velikosti  $K_d$  z výrazu

$$E = \frac{1935,72}{\rho \cdot K_d^{1,5}} \quad (\text{lx}; -; -; \text{min}) \quad (8-1)$$

Zraková velikost  $K_d$  kritického detailu o velikosti  $d$  pozorovaného ze vzdálenosti  $D$  se přitom určuje ze vztahu

$$K_d = 3435 \frac{d}{D} \quad (\text{min}; \text{m}, \text{m}) \quad (8-2)$$

Z Westonových a Blackwellových prací dále vyplývá, že v případech, kdy se požaduje zvýšení spolehlivosti rozlišení kritického detailu z 90% na 95%, je nutno hladiny osvětlenosti stanovené podle vzorce (8-1) zvýšit na dvojnásobek. Další zdvojnásobení osvětleností by představovalo dosažení 98% spolehlivosti rozlišení kritického detailu.

Rovnice (8-1) byla odvozena z hlediska minimální zrakové náročnosti pracovníků průměrného věku 38 let. Zrak starších osob vyžaduje však pro vykonávání těžké práce a zachování stejné spolehlivosti rozlišování vyšší hladiny osvětlenosti. Rozdíly se poněkud zmenšují až při poměrně vysokých hladinách osvětlenosti, jak informativně ukazuje tab.8-1.

Tab.8-1 Vyšší věk pracovníků vyžaduje vyšší hladiny osvětlenosti

| Stáří (let) | Potřebná hladina osvětlenosti |     |      |     |      |     |
|-------------|-------------------------------|-----|------|-----|------|-----|
|             | (lx)                          | (%) | (lx) | (%) | (lx) | (%) |
| 20          | 100                           | 100 | 300  | 100 | 900  | 100 |
| 60          | 210                           | 209 | 550  | 183 | 1100 | 122 |

Abychom v daném prostoru vytvořili co nejlepší světelné prostředí, ať již pro určitou pracovní činnost nebo pro odpočinek, zábavu, či jinou zájmovou, popřípadě společenskou činnost, musíme navrhnout osvětlovací soustavu, která podle účelu prostoru zajistí podmínky nejen pro dosažení potřebného zrakového výkonu, ale i pro vytvoření nezbytné zrakové pohody.

V dříve platné normě ČSN 360450 "Umělé osvětlení vnitřních prostorů" se podle druhu zrakové činnosti rozlišovaly čtyři kategorie osvětlení označené písmeny A,B,C a D (viz tab.8-2).

Tab.8 - 2 Základní kritéria návrhu osvětlení podle ČSN 36 0450 platné do r. 2005

| Prostory               | Kategorie osvětlení | Činnost   | Pořadí důležitosti rozhodujících kritérií                 |
|------------------------|---------------------|---|---|
| pracovní               | A                   | s velkými požadavky na zrakový výkon                        | 1. zrakový výkon<br>2. ostatní kritéria zrakové pohody *) |
|                        | B                   | s průměrnými požadavky na zrakový výkon                     |   |
|                        | C                   | s malými požadavky na zrakový výkon                         |   |
| kulturní a společenské | D                   | s přednostními požadavky na vnímání prostoru, tvaru a barev | 1. ostatní kritéria zrakové pohody *)<br>2. zrakový výkon |

\*) Ostatní kritéria zrakové pohody jsou parametry vystihující především dostatečnost prosvětlení prostoru, směrovost a stínivost osvětlení, plastičnost vjemu trojrozměrných předmětů a kvalitu vjemu barev.

Základní kvantitativní charakteristikou zůstává i v nové normě ČSN EN 12464-1 osvětlenost roviny zrakového úkolu, která musí odpovídat požadovanému zrakovému výkonu, to znamená množství informací zpracovávaných zrakem za jednotku času.

Požadavky na zrakový výkon se obecně stanovují na základě zrakové obtížnosti úkolu, která se může určovat jednak podle poměrné pozorovací vzdálenosti (tj. podle poměru pozorovací vzdálenosti  $D$  k velikosti  $d$  kritického detailu), respektive, nelze-li poměr  $D/d$  přesně stanovit, podle charakteristiky předpokládané činnosti a jednak podle kontrastu  $C$  (dříve se užívalo označení  $K$ ) jasu nebo barev.

Objektivně se kontrast určí z výrazu

$$C = \frac{|L_a - L_b|}{L_b} \quad (-; \text{cd.m}^{-2}, \text{cd.m}^{-2}) \quad (8-3)$$

kde  $L_a$  je jas pozorovaného kritického detailu,  
 $L_b$  je jas bezprostředního okolí detailu.

Není-li možno určit jasy kritického detailu a jeho bezprostředního okolí, lze kontrast stanovit na základě subjektivního hodnocení, např. s využitím údajů v tab. 8-3.

Tab.8 - 3 Objektivní a subjektivní hodnocení kontrastu

| Kontrast C | Hodnoty kontrastu C | Rozlišitelnost kritického detailu | Příklad                         |
|------------|---------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| velký      | $C \geq 0,8$        | velmi dobrá                       | černý tisk na bílém papíře      |
| střední    | $0,5 \leq C < 0,8$  | dobrá                             | černý tisk na šedém papíře      |
| malý       | $C < 0,5$           | špatná                            | šedý tisk na světlešedém papíře |

Hodnoty osvětleností, s nimiž se pracuje ve světelně technických projektech a výpočtech, mají vždy dvojí charakter, a to místní (charakterizují tuto veličinu v určitém místě či bodě srovnávací roviny) a časový (charakterizují tuto veličinu z hlediska jejích časových změn v průběhu provozu osvětlovací soustavy). K rychlejší orientaci o hladině osvětlenosti lze použít dvou indexů u značky osvětlenosti  $E_{mt}$ , kdy první index  $m$  vystihuje hodnoty místní a druhý index  $t$  hodnoty časové.

Z místních hodnot osvětlenosti jsou významné **místně maximální**  $E_{max t}$  a **minimální**  $E_{min t}$  hodnoty, potřebné k výpočtu rovnoměrnosti osvětlení a dále hodnota **místně průměrná**  $E_{pt}$  (aritmetický průměr z dostatečně reprezentativního počtu hodnot osvětleností v různých bodech srovnávací roviny). Rovněž z hlediska časové závislosti jsou důležité hodnoty, a to: **časově maximální**  $E_{mo}$  (na počátku provozu soustavy, s novými zdroji, s čistými svítidly a všemi povrchy v prostoru), dále hodnoty **časově minimální**  $E_{mk}$  (na konci uvažovaného ekonomického intervalu údržby, kdy světelný tok zdrojů klesne na dohodnutou hodnotu a kdy svítidla a ostatní povrchy v prostoru vykazují v předpisech ještě dovolené znečištění). V dřívější naší normě ČSN 360450 se pracovalo s hladinami osvětlenosti místně průměrnými a časově minimálními, tj. s hodnotami osvětlenosti označenými  $E_{pk}$ .

V nové normě ČSN EN 12464-1 se uvádějí hladiny **udržované osvětlenosti**  $\bar{E}_m$  v místech zrakového úkolu na srovnávací rovině [příklad viz tab. 8-4]. Pod tyto hladiny nesmí průměrná osvětlenost v každém místě zrakového úkolu v průběhu provozu soustavy nikdy poklesnout.

Tab.8-4 Parametry osvětlení ve vybraných pracovních prostorech [ČSN EN 12464-1]

| Typ prostoru, úkolu nebo činnosti                 | $\bar{E}_m$ (lx)  | $UGR_L$ *)       | $R_a$            |
|---|-------------------|------------------|------------------|
| <b>Cirkulační prostory a chodby</b>               | 100 <sup>1)</sup> | 28 <sup>2)</sup> | 40 <sup>2)</sup> |
| Schodiště, eskalátory, pohyblivé chodníky         | 150               | 25 <sup>2)</sup> | 40 <sup>2)</sup> |
| Nakládací rampy a místa                           | 150               | 25               | 40               |
| <b>Kanceláře - kopírování, kompletace atd.</b>    | 300               | 19               | 80               |
| psaní, čtení, zpracování dat                      | 500 <sup>3)</sup> | 19               | 80               |
| Technické kreslení                                | 750               | 16               | 80               |
| Pracovní stanice CAD                              | 500 <sup>3)</sup> | 19               | 80               |
| <b>Konferenční a shromažďovací místnosti</b>      | 500               | 19               | 80               |
| Recepční stůl                                     | 300               | 22               | 80               |
| Archiv  | 200               | 25               | 80               |
| <b>Učebny a konzultační místnosti</b>             | 300 <sup>4)</sup> | 19               | 80               |
| Učebny pro večerní studium a vzdělávání dospělých | 500 <sup>4)</sup> | 19               | 80               |
| Přednáškové sály                                  | 500 <sup>4)</sup> | 19               | 80               |
| Tabule  | 500 <sup>5)</sup> | 19               | 80               |
| Místnosti pro výtvarnou výchovu                   | 500               | 19               | 80               |
| dtto na výtvarných školách                        | 750 <sup>6)</sup> | 19               | 90               |

\*) Index oslnění podle metody „Jednotného systému hodnocení oslnění UGR“

<sup>1)</sup> Osvětlenost na podlaze (150 lx, jsou-li na cestě vozidla). Zabránit oslnění řidičů a chodců.

Osvětlení východů a vchodů bez náhlých změn hladin osvětlenosti.

<sup>2)</sup>  $R_a$  a  $UGR_L$  podobné jako u přilehlých prostorů.

<sup>3)</sup> Při používání displejů respektovat i další požadavky.

<sup>4)</sup> Regulovatelné osvětlení.

<sup>5)</sup> Zamezit zrcadlovým odrazům.

<sup>6)</sup>  $T_{cn} > 5\,000\text{ K}$ .

Pracuje-li světelný technik při výpočtech se jmenovitými hodnotami světelných toků a svítivosti světelných zdrojů a svítidel (podle katalogů) a s hodnotami činitelů odrazu předpokládanými pro nové a čisté povrchy, jsou výsledkem řešení hodnoty osvětlenosti časově maximální.

Podíl udržované osvětlenosti  $\bar{E}_m$  a časově maximálních hladin osvětlenosti  $E_{po}$  je roven hodnotě **udržovacího činitele**  $z$  :  $z = \bar{E}_m / E_{po}$  [popříp. v dřívějším pojetí  $z = E_{pk} / E_{po}$ ].

Požadovaná udržovaná osvětlenost má být zvýšena nejméně o jeden stupeň řady osvětleností (...150, 200, 300, 500, 750, 1000, 1500, ...) tehdy, když : je při práci rozhodující zraková činnost, opravy vzniklých chyb jsou velmi nákladné, je velmi důležitá přesnost a vysoká produktivita práce, při snížených zrakových schopnostech pracovníků, při neobvykle malých a málo kontrastních zrakových úkolech a jsou-li zrakové úkoly vykonávány neobvykle dlouho (v prostorech s nedostatečným denním osvětlením po dobu delší než 4 h , popříp. několik kratších období s celkovou dobou delší než 4 h ).

Udržované osvětlenosti lze naopak snížit při neobvykle velkých kritických detailech nebo velkých kontrastech, popřípadě je-li zrakový úkol vykonáván po neobvykle krátkou dobu (nejde však např. o obvyklý pobyt na chodbách).

V prostorech s trvalým pobytem osob nesmí být udržovaná osvětlenost nižší než **200 lx** (tzv. **hygienické minimum**). [Pozn. Pod pojmem **trvalý pobyt** se rozumí pobyt v místnosti během jednoho dne či jedné pracovní směny po celkovou dobu delší než 4 hodiny].

Příznivý vliv rostoucí hladiny osvětlenosti na růst produktivity práce a na snižování počtu pracovních úrazů je znám již dávno a proto je dobré osvětlení všeobecně považováno za významný prostředek racionalizace výroby. Ovšem vysoká hladina osvětlenosti nemá sama o sobě rozhodující vliv na pracovní výkon ani na bezpečnost, nejsou-li současně splněny i ostatní podmínky dobrého osvětlení.

## 8.2 Rozložení jasů a rovnoměrnost osvětlenosti v zorném poli

K zajištění dobré rozlišitelnosti kritického detailu je třeba vytvořit dostatečný kontrast jasu mezi detailem a jeho bezprostředním okolím. Jiným příliš velkým kontrastům jasu v zorném a pokud možno i v obhledovém poli je nutno bránit. Rozdělení jasu v osvětlovaném prostoru závisí jak na volbě typu a rozmístění zdrojů světla a svítidel, tak na druhu a velikosti odrazu světla na stěnách, stropu, i na veškerém zařízení a vybavení prostoru.

Jsou-li v zorném poli plochy s velmi rozdílným jasnem, zrak se namáhá a unavuje, popřípadě vzniká až oslnění. Je-li pracoviště vydatně osvětleno a pozadí je tmavé, unavují se oči častou adaptací ze světla na tmou a naopak. Ukázkou nesprávně osvětleného pracoviště je případ, kdy z úsporných důvodů je osvětlení pracovního místa mnohem intenzivnější než celkové osvětlení, nebo, kdy je pozadí pracovního prostoru tmavé. Stává se často, že např. mechanik na soustruhu má na poměrně malé ploše osvětlenost 500 lx, ale hladina celkového osvětlení je pouze 10 lx.

Taková nerovnoměrnost je již velmi škodlivá, i když si ji pracovník neuvědomuje a nedovede sám udat příčinu, proč je jeho zraková pohoda narušena a jeho pracovní výkon poměrně nízký. Jiným případem je pracoviště retušéra v grafickém závodě, který pracuje na bílé předloze intenzivně osvětlené před tmavým pozadím. Současným vnímáním tak rozdílných jasů v zorném poli se zrak unavuje a výkonnost ovšem klesá. Pouhé místní osvětlení je proto nevhodné.

Pozorovaný předmět má být jasnější než jeho pozadí a vzdálené okolí. Vzhledem k tomu, že osvětlenost místa úkolu a jeho okolí bývá většinou prakticky shodná, je nutno potřebného kontrastu jasů docílit volbou rozdílných činitelů odrazu, popřípadě i vhodnou barevnou úpravou. Povrchy pracovních ploch mají být matné, z materiálů rozptylně odražejících, aby se předem bránilo vzniku neúměrných jasů v nežádoucích směrech a tedy vzniku oslnění odrazem.

Pro soustředění při práci je nejučelnější střední rozdíl jasu mezi pracovním místem a pozadím a malý rozdíl jasu mezi středem pracovní plochy a jejím okrajem. Při menších hladinách osvětlenosti je zapotřebí větší rovnoměrnosti jasů.

Pokud jde o **rovnoměrnost osvětlení**  $r = E_{\min} / E_p$  (tj. poměr minimální  $E_{\min}$  a průměrné  $E_p$  osvětlenosti na uvažovaném povrchu) pak podle ČSN EN 12464-1 musí být :

- v místě **zrakového úkolu**  $r \geq 0,7$  ,
- na ploše **bezprostředního okolí úkolu** (tj. na ploše pásu o šířce alespoň 0,5 m okolo místa úkolu)  
 $r \geq 0,5$  .

Pokud jde o hladinu osvětlenosti bezprostředního okolí zrakového úkolu nesmí být menší než hodnoty v tab.8-5.

Tab.8-5 Doporučené souvislosti osvětleností zrakového úkolu a jeho bezprostředního okolí

|   |            |     |     |                    |
|---|------------|-----|-----|--------------------|
| Osvětlenost zrakového úkolu (lx)                | $\geq 750$ | 500 | 300 | $\leq 200$         |
| Osvětlenost bezprostředního okolí úkolu *) (lx) | 500        | 300 | 200 | $E_{\text{úkolu}}$ |

\*) Bezprostřední okolí úkolu je pás o šířce alespoň 0,5 m okolo místa úkolu uvnitř zorného pole pozorovatele.

Z výsledků výzkumů Fischera D. (Lichttechnik 1970, č.2, 3; 1972, č.8) vyplynulo, že pokud je jas stěn v rozmezí 40 až 250 cd.m<sup>-2</sup>, nezávisí již tato hodnota prakticky na jasu pracovní plochy ani na průměrné osvětlenosti místnosti. Při průměrné osvětlenosti vodorovné roviny v oblasti 500 až 2000 lx se jako optimum doporučuje hodnota jasu stěn 100 cd.m<sup>-2</sup>. Činitele odrazu stěn by pak měly být při hladinách osvětlenosti okolo 1000 lx asi 0,4 až 0,6 a při nižších hladinách osvětlenosti do 500 lx cca 0,5 až 0,8.

Při řešení rozložení jasů v interiéru je nutno věnovat též pozornost poměru jasu svítidla a světlého stropu, a to zvláště při menších výškách místností. Často zlepší situaci použití svítidel, která do horního poloprostoru vyzařují 10 až 20% světelného toku. Obtížněji se docílí zvýšení jasu stropu v osvětlovacích soustavách se svítidly zcela zapuštěnými do konstrukce stropu, a to i při vysokém činiteli odrazu stropu, např. 0,7. Pokud jde o poměr jasu stropu k jasu stěn, ukazují někteří odborníci, že by měl být s ohledem na vytvoření dobrých podmínek pro vjem trojrozměrných předmětů větší než 3,5 , ale neměl by překročit hodnotu 10, aby nedocházelo k oslnění.

Pracovní prostředí vyžaduje vysoké adaptační jasy, vysoké kontrasty jasu, resp. barev kritického detailu a jeho bezprostředního okolí, ale malé kontrasty jasu velkých ploch v pozadí a okolí. Optimální poměr jasu místa úkolu k jasu bezprostředního okolí a k jasu pozadí je 10 : 4 : 3.

V prostorech určených k aktivnímu odpočinku jsou zapotřebí přibližně poloviční adaptační jasy než v prostorech pracovních. Značná nerovnoměrnost jasů v těchto případech nevádí, neboť přílišná rovnoměrnost jasů vyvolává v takovém prostředí útlum.

V reprezentačních prostorech, které mají vyvolat slavnostní náladu, se vyžadují vyšší adaptační jasy než v pracovním a odpočinkovém prostředí, a to při značné nerovnoměrnosti jasů. V prostorech tohoto typu se přípouští oslnění úzkými svazky paprsků v celém rozsahu rušivého oslnění.

Intimní prostředí a tomu odpovídající náladu vyžaduje relativně nejnižší adaptační jasy a střední jasové kontrasty, které lze zdůraznit i chromatičností světla a barvou povrchů.

Na schodištích se doporučuje rovnoměrnost nejméně 1 : 3 a na ostatních komunikacích pak 1 : 5 . Poměr průměrných osvětlenosti mezi sousedními propojenými místnostmi nemá překročit 1 : 5 .

Aby se zamezilo vytváření velkých kontrastů jasu, doporučuje se dodržet rovnoměrnost osvětlení v celém prostoru  $\geq 0,3$  .

### 8.3 Oslnění a jeho hodnocení

Příčinou oslnění je přílišný jas (v porovnání s adaptačním jasem) nebo nevhodné rozložení jasů v zorném poli, popřípadě velký prostorový nebo časový kontrast jasů. Oslnění je takový nepříznivý stav zraku, při kterém je narušena zraková pohoda, je zhoršeno nebo i znemožněno vidění (viz též kap.1.). Podle stupně působení může být oslnění rušivé (psychologické), omezující (fyziologické) a oslepující (absolutní).

**Rušivé oslnění** narušuje zrakovou pohodu a při tom zdánlivě není zhoršeno nebo omezeno vidění. Je to způsobeno tím, že oslňující zdroj poutá pozornost na úkor místa, na které by se měl zrak soustředit. Důsledkem je rozptýlení pozornosti, pocit nepříjemného stavu apod. Vyšším stupněm oslnění je **omezující oslnění**, při němž jsou již měřitelně narušeny některé funkce zraku, je ztíženo rozeznávání, vidění se stává namáhavé, vzniká pocit nejistoty, únavy a produktivita práce klesá. **Oslepující oslnění** je tak intenzivní, že znemožňuje vidění a trvá někdy i určitou dobu po zániku příčiny oslnění. V mnoha případech a zvláště v dopravě je takový stav velmi nebezpečný. Jas, který vyvolává absolutní oslnění se nazývá kritický jas. Tomuto jasu není již zrak schopen se adaptací přizpůsobit. Kritický jas závisí na předchozím stavu adaptace. Tak například v podmínkách přírodního osvětlení může být kritický jas roven i hodnotě  $200.000 \text{ cd.m}^{-2}$  (což přibližně odpovídá jasu mdlené žárovky 200 W), zatímco při umělém osvětlení může být pozorovatel absolutně oslněn i jasnem  $3000 \text{ cd.m}^{-2}$ , popřípadě ve velmi tmavém prostředí též pouze jasnem  $1000 \text{ cd.m}^{-2}$ .

Podle příčiny oslnění se kromě absolutního oslnění rozlišují oslnění přechodové, oslnění kontrastem a závoje oslnění. **Přechodové oslnění** nastává při náhlé změně jasu zorného pole, poněvadž adaptace zraku nemůže proběhnout současně se změnou jasu, ale s určitým zpožděním. K takovému stavu dochází například při náhlém přechodu z tmavého prostředí do světlého nebo při rozsvícení. Zraková pohoda může být narušena již při poměru jasu 1:10; oslnění nastává, překročí-li poměr jasů v zorném poli hodnotu asi 1:100. Přechodové oslnění pozvolna mizí s postupnou adaptací oka. **Oslnění kontrastem** vzniká, jsou-li v zorném poli současně plochy s velmi různým jasnem. Zdrojem tohoto oslnění mohou být dvě různě světlé plochy, necloněné světelné zdroje nebo svítidla kontrastující s tmavým pozadím. K narušení zrakové pohody, popřípadě ke vzniku oslnění kontrastem dochází asi při stejných poměrech jasů jako u přechodového oslnění. Oslnění kontrastem je v osvětlovacích soustavách nejčastější a oko se mu nemůže přizpůsobit adaptací. Oslnění kontrastem proto působí nejvíce obtíží. Možnosti vzniku oslnění kontrastem se snižují při vyšších průměrných hladinách osvětlenosti.

**Závoje oslnění** vzniká, vyskytuje-li se mezi okem a pozorovaným předmětem jasnější prostředí, kalné nebo s poměrně jemnou strukturou jako záclona, znečištěné sklo, déšť, mlha. Větší jas závoje nutí zrak k adaptaci na vyšší úroveň jasu, než jaká odpovídá jasu pozadí, a tím se zmenšuje rozeznatelnost tvaru i kontrastu. Závoje oslnění vzniká například při pohledu do mlhy před automobilovými světly, při pohledu zvenku do místnosti oknem, v němž se zrcadlí obloha nebo za nímž je záclona.

Oslnění může být způsobeno světlem přímým i odraženým. **Přímé oslnění** je způsobeno přílišným jasnem nebo světelným kontrastem zdroje v zorném poli, jaký dávají např. světelné zdroje bez svítidel nebo povrchové plochy svítidel s přílišným jasnem. Aby se zamezilo oslnění při umělém osvětlení, je třeba, aby přímé světlo zdroje nepřicházelo k oku pod úhlem menším než  $30^\circ$  nad vodorovnou rovinou, popřípadě nad obvyklým směrem pohledu. Proto se svítidla zavěšují dostatečně vysoko nebo se používá vhodně upravených svítidel. Je nutno zamezit oslnění i svítidly místního přisvětlení a v soustavách sdruženého osvětlení též možnému oslnění od oken.

Oslnění **odraženým světlem** vzniká odrazy od stropů, stěn, od desek stolů nebo jiných povrchů v zorném poli. Velký jas může vzniknout zejména, jsou-li plochy hladké nebo zrcadlově lesklé, jako např. vysoce leštěné součásti strojů, jemně opracované plochy, lakované povrchy apod. Jas způsobený odrazem světla unavuje často více než jas přímý, zvláště je-li přímo v pohledu a oko se mu nemůže vyhnout. Nápravy lze dosáhnout vhodným umístěním a směřováním svítidel.



Dosavadní poznatky dokumentují, že zábrana oslnění je důležitou zásadou osvětlování a významným ukazatelem kvality osvětlení.

**Oslepující a omezující oslnění by se nemělo v osvětlovacích soustavách vyskytovat. Bránit je však nutno již vzniku rušivého oslnění, zejména v pracovních prostorech.**

Hodnocení oslnění v interiérech a jeho výzkum se proto zaměřuje **na přímé rušivé oslnění**. Rušivé oslnění se vyšetřuje statistickým zpracováním výsledků pozorování a hodnocení situace při nejrůznějších činnostech většího počtu pozorovatelů v četných modelových laboratorních prostorech. V evropských zemích se do roku 2005 k hodnocení přímého rušivého oslnění v zásadě využívalo dvou způsobů.

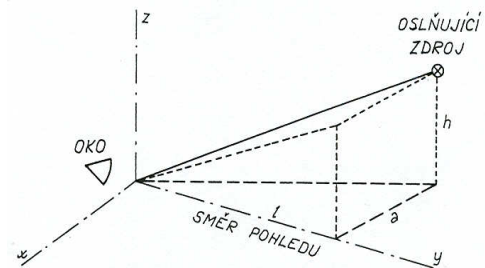
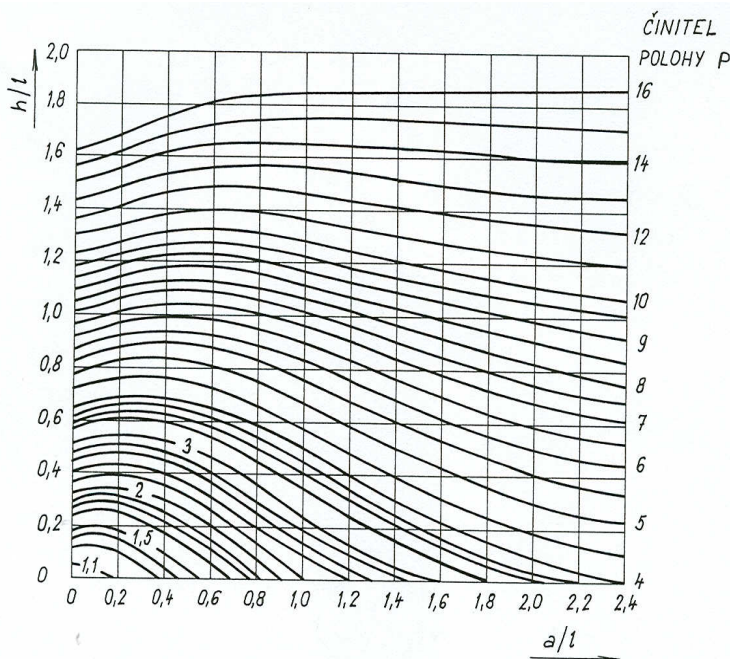
Prvý způsob hodnocení oslnění byl založen na **výpočtu činitele oslnění  $G$**  (popřípadě **indexu oslnění**) na základě různě modifikovaného empirického vzorce vycházejícího z úvahy, že stupeň oslnění je tím vyšší, čím je vyšší jas  $L_z$  oslňujícího zdroje (ve směru ke kontrolnímu místu) a čím větší je prostorový úhel  $\Omega$ , pod nímž je z kontrolního místa vidět oslňující zdroj a naopak, že stupeň oslnění klesá s rostoucím průměrným jasnem  $L_p$  pozadí (adaptačním jasnem).

Pro jeden oslňující zdroj, resp. svítidlo je možno popsaný vztah pro činitele oslnění  $G$  zapsat ve tvaru

$$G = \frac{(L_z)^a \cdot \Omega^b}{(L_p)^c \cdot P^d} \quad (-; \text{cd.m}^{-2}, \text{sr}, \text{cd.m}^{-2}) \quad (8-4)$$

kde  $a, b, c, d$  jsou exponenty empiricky stanovené na podkladě výsledků experimentů jednotlivých autorů,

$P$  je číselník polohy charakterizující vliv umístění oslňujícího zdroje vůči ose pohledu, který se nejčastěji určuje z diagramu Luckieshe a Gutha (obr. 8-6).



Obr.8-6a Geometrické uspořádání pro stanovení činitele polohy  $P$  z diagramu na obr.8-6

Pozn. Číselník polohy  $P$  není definován pro případy, kdy by se oslňující svítidla nacházela pod směrem pohledu pozorovatele, tzn. kdy by světelné paprsky z oslňujícího zdroje do oka pozorovatele dopadaly z dolního poloпростoru. V těchto případech nelze metodu UGR použít.

Obr. 8-6 Diagram Luckieshe a Gutha ke stanovení činitele polohy  $P$

Pozn. V našich dřívějších předpisech [ČSN 360008 a ČSN 360450] se využívalo vzorce podle p. Netušila, v němž se nepracuje s činitelem polohy  $P$ , ale s činitelem polohy označeným písmenem  $K$ , který je ve vzorci (8-4) umístěn v čitateli výrazu a určuje se z jiných grafů uvedených ve zmíněné normě ČSN 360008.



Příklady hodnot exponentů  $a, b, c, d$  veličin ve vzorci (8-4) jsou podle některých autorů uvedeny v tab.8-6.

Tab.8-6

| ↓ Autor \ Exponent → | $a$ | $b$  | $c$  | $d$ |
|----------------------|-----|------|------|-----|
| Netušil              | 1   | 0,4  | 0,5  | 1   |
| Harrison             | 2   | 1    | 0,6  | 1   |
| Arndt, Bodman, Muck  | 1   | 0,33 | 0,66 | 1   |
| Hopkinson            | 1,6 | 0,8  | 1    | 1,6 |
| Sørensen             | 2   | 1    | 1    | 2   |

Při existenci více oslňujících zdrojů se dílčí hodnoty činitelů oslnění vypočtené pro jednotlivé zdroje buď prostě sčítaly nebo autoři metod na podkladě statistického zpracování výsledků experimentů předepisovali složitější postupy. Podle našich dřívějších předpisů [ČSN 360008] se výsledný činitel oslnění stanovoval jako odmocnina ze součtu čtverců dílčích hodnot.

Někteří autoři k hodnocení oslnění využívají osmi nebo desetinásobku logaritmického vyjádření činitele oslnění, neboť takto získané číselné hodnoty, označované často jako **index oslnění** (glare index GI), dovolují objektivně lépe vystihnout subjektivní změny pocitu pozorovatelů o stupni oslnění. Již pouhá změna o jednotku hodnoty indexu oslnění v takto vzniklé nové stupnici odpovídá totiž u průměrného pozorovatele citelné změně pocitu stupně oslnění. Je pochopitelné, že dovolené hodnoty činitele, či indexu oslnění jsou u každého autora jiné.

Od roku 2004 se v souladu s přijatou normou ČSN EN 12464-1 „Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory“ (ČNI 2004) a publikací „Discomfort glare in interior lighting“ (Technical report CIE 117 – 1995, ISBN 3 900 734 70 4) v rámci tzv. „Jednotného systému hodnocení oslnění“ (UGR) k hodnocení úrovně rušivého oslnění ve vnitřních prostorech užívá **činitel oslnění UGR** (známý též jako index oslnění  $GI_S$ ), který se stanovuje ze Sørensonova vzorce, který může být také zapsán ve tvaru

$$GI_S = UGR = 8 \cdot \log_{10} \left[ \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{L_p} \sum_{i=1}^n \frac{(L_{zi})^2 \cdot \Omega_i}{P_i^2} \right] \quad (-; \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}, \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}, \text{sr}, -) \quad (8-5)$$

kde  $L_p$  je adaptační jas oka pozorovatele či jas pozadí ( $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ ),

$L_{zi}$  jas svítících částí  $i$ -tého oslňujícího svítidla ve směru k oku pozorovatele ( $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ ),

$\Omega_i$  prostorový úhel, pod nímž pozorovatel vidí svítící část  $i$ -tého oslňujícího svítidla (sr),

$P_i$  činitel podle Luckieshe a Guha charakterizující vliv polohy  $i$ -tého oslňujícího svítidla vůči ose pohledu pozorovatele (obr.8-6),

$n$  počet svítidel, která pozorovatele v dané pozici oslňují.

V porovnání se vztahy jiných autorů se Sørensonův vzorec vyznačuje celočíselnými exponenty jednotlivých veličin, zvláště jedničkou v exponentu prostorového úhlu  $\Omega$  (což usnadňuje výpočty činitele oslnění od velkých oslňujících ploch při jejich rozdělení na několik menších zdrojů). Podstatná změna je i ve stanovování adaptačního jasu či jasu pozadí  $L_p$ , který je definován jako rovnoměrný jas celého okolí, který v místě oka pozorovatele ve svislé rovině zajistí stejnou osvětlenost jako skutečné zorné pole **bez oslňujících zdrojů**.

Běžně se jas  $L_p$  počítá z nepřímé složky vertikální osvětlenosti  $E_{nv}$  z výrazu

$$L_p = E_{nv} / \pi \quad (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}; \text{lx}, -) \quad (8-6)$$

Při obecném řešení nepřímé osvětlenosti  $E_{nv}$  v interiéru se světelně činné povrchy rozdělí na dílčí části, stanoví se počáteční rozdělení toků svítidel, vyřeší se proces mnohonásobných odrazů mezi všemi uvažovanými dílčími povrchy, stanoví se výsledné rozdělení toků a posléze i jasy jednotlivých dílčích povrchů. Předpokládá se, že zjištěné jasy jsou po povrchu těchto dílčích sekundárních zdrojů rovnoměrně rozděleny. Poté se již hledaná nepřímá složka osvětlenosti  $E_{nv}$  stanoví jako součet osvětleností vypočtených ve světelném poli jednotlivých dílčích povrchů (tzn. sekundárních zdrojů s daným jasem) ve svislé rovině proložené okem pozorovatele v kontrolním bodě umístěném do oka pozorovatele.

Podrobnější výpočty prokázaly, že hodnoty činitele oslnění UGR zjištěné z rovnice (8-5) jsou **málo citlivé** na odchylky ve stanovení **jasu pozadí**. Např. hodnoty jasu pozadí lišící se o 33% způsobí změnu činitele UGR pouze o jednotku. Proto se stále vychází z předpokladu o rovnoměrném osvětlení povrchů v dané místnosti a v některých případech se připouští i zjednodušené určení nepřímé vertikální osvětlenosti  $E_{nv}$  oka pozorovatele jako osvětlenosti zajištěné světlem odraženým od stěn uvažované místnosti.

Prostorový úhel  $\Omega$ , pod kterým pozorovatel vidí oslňující svítící plochu svítidla nebo její část, se vypočte ze vztahu

$$\Omega = A_{psv} / r^2 \quad (\text{sr; m}^2, \text{ m}) \quad (8-7)$$

kde  $A_{psv}$  je průmět svítící plochy svítidla (nebo její části) do roviny kolmé ke směru spojnice středu oslňující plochy s okem pozorovatele,  
 $r$  vzdálenost oslňující plochy svítidla od oka pozorovatele.

Jasy  $L_z$  oslňujících svítidel či částí jejich svítících ploch se běžně počítají ze svítivosti  $I_\gamma$  svítidla ve směru k pozorovateli a plochy průmětu  $A_{psv}$ , tj. z výrazu

$$L_z = I_\gamma / A_{psv} \quad (\text{cd.m}^{-2}; \text{ cd, m}^2) \quad (8-8)$$

Činitel oslnění se počítá v bodech, v nichž uživatelé prostoru vykonávají požadovanou činnost, a to v průměrné výši očí buď sedící (1,2 m) nebo stojící (1,5 m) osoby a v převážně se vyskytujících směrech jejího pohledu. V každém kontrolním bodě se pak z hodnot činitele oslnění stanovených pro různé směry pohledu uvažuje **nejvyšší** hodnota a ta **musí být nižší** než **maximální** dovolená hodnota uvedená v tabulkách v normě ČSN EN 12464-1 .

Mezní hodnoty činitele oslnění jsou vybrány z řady 16, 19, 22, 25, 28. Nejnižší hodnota 16 se požaduje pro prostory s nejpřísnějšími požadavky na zábranu rušivého oslnění, např. pro pracovny s monitory, a naopak hodnota 28 se uvažuje pro prostory s nejnižšími nároky na omezení oslnění.

Mezní hodnoty indexu oslnění  $GI_S$  se shodují s hodnotami používanými v britském systému hodnocení oslnění. Příklady hraničních hodnot  $GI_S$  pro některé prostory jsou uvedeny v tab. 8-7.

Tab. 8-7 Příпустné hodnoty indexu oslnění podle metody UGR (ČSN EN 12464-1) ve vybraných vnitřních pracovních prostorech

| Pracoviště            | UGR <sub>L</sub> ( $GI_{S \max}$ ) |    |
|-----------------------|------------------------------------|----|
| pracoviště s počítači | 16                                 |    |
| kanceláře, dozorny    | 19                                 |    |
| průmyslová pracoviště | jemná výroba                       | 22 |
|                       | běžná výroba                       | 25 |
|                       | hrubá výroba                       | 28 |

Druhý systém hodnocení oslnění, dříve používaný v zemích střední Evropy a v Japonsku, je německý systém omezení oslnění [DIN 5035]. Tento způsob byl původně převzat i do mezinárodního doporučení CIE pro osvětlování vnitřních prostorů [CIE 29/2] a byl v zásadě aplikován i v dřívější naší kmenové normě ČSN 360450 pod názvem „**Metoda hodnocení oslnění podle jasu svítidel**“.

Německý systém omezení oslnění umožňuje hodnotit globálně celou osvětlovací soustavu a platnost této metody je omezena na hodnocení celkového osvětlení :

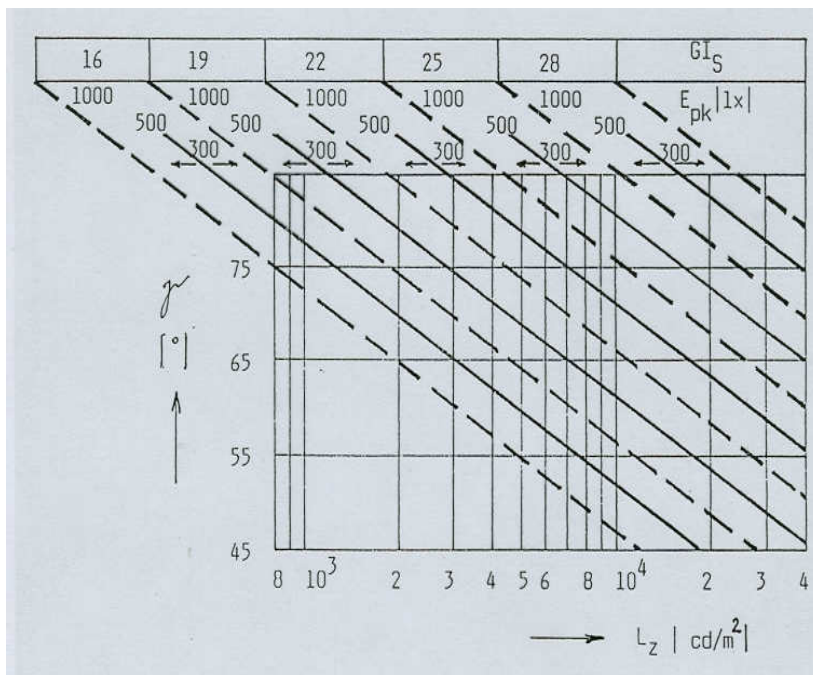
- s jedním typem svítidel v pravidelném uspořádání
- při převážně vodorovném směru pohledu
- v prostorech s činitelem odrazu stropu min. 0,5 a stěn, resp. zařízení místnosti alespoň 0,25.

Hodnocená osvětlovací soustava se podle požadavků na kvalitu osvětlení zařadí do určité třídy omezení oslnění a podle jmenovité hodnoty průměrné hladiny osvětlenosti srovnávací roviny se pak s využitím připravených diagramů ověřuje, zda jasy použitých svítidel nepřekračují statisticky stanovené maximální hodnoty jasů. V takovém případě je pak zajištěno, že alespoň polovina respondentů hodnotila osvětlovací soustavu z hlediska oslnění jako vyhovující.

Vzhledem k tomu, že metoda hodnocení oslnění podle jasů svítidel byla v projekční praxi poměrně oblíbená, jsou již i v systému UGR zkonstruovány diagramy mezních jasů alespoň pro svítidla, jejichž vyzařování je popsáno typovými čarami svítivosti (tzv. BZ charakteristikami, které zahrnují křivky svítivosti popsané funkcemi  $\cos^n \gamma$  [kde  $n = 0, 1$  až  $4$ ],  $\sin \gamma$ ,  $1 + \cos \gamma$ ,  $2 + \cos \gamma$ ).

I v tomto případě je diagram mezních jasů zkonstruován pro pravouhlý prostor, činitele odrazu stěn v rozmezí 0,5 až 0,2, stropu 0,7 až 0,3 a podlahy 0,3 až 0,1.

Dále se předpokládá rovnoměrné rozmístění svítidel stejného typu, umístění pozorovatele vždy ve středu některé ze stran a vodorovný směr přímého pohledu. Za těchto předpokladů zkonstruovaný diagram mezních jasů pro metodu UGR je na obr. 8-7. Vyzařování svítidel je zmíněnými charakteristikami BZ omezeno pouze do dolního poloprostoru a proto diagram nelze použít pro svítidla s velkým podílem toku do horního poloprostoru.



Vzhledem k tomu, že křivky mezních jasů v systému UGR vykazují i v oblasti úhlu  $\gamma > 75^\circ$  lineární průběh, postačuje na rozdíl od Söllnerovy metody pracovat pouze s jedním diagramem. Oblast mezních jasů svítidel je v metodě UGR detailněji vystižena a proto je možno posuzovanou osvětlovací soustavu z hlediska zábran oslnění kritičtěji zhodnotit.

Diagram **nelze** použít pro hodnocení oslnění **odrazem** ani při vidění **za šera**.

Obr.8-7 Diagram s čarami mezních jasů v systému UGR pro pravouhlé prostory s rovnoměrně rozmístěnými svítidly, jejichž vyzařování popisují typové charakteristiky BZ

Pro **kontrolu oslnění odrazem** není zatím k dispozici vhodná praktická metoda.

Aby se zabránilo oslnění odrazem doporučuje se zejména:

- svítidla rozmísťovat a směřovat na pracovní místa tak, aby světlo odražené od pozorovaných předmětů nesměřovalo do oka pozorovatele (alespoň při obvyklém směru pohledu). Nejlepších výsledků se dosáhne, když převažující směr toku světelné energie, tj. orientovaný směr světelného vektoru, přibližně souhlasí se směrem pohledu. Toto nelze aplikovat u předmětů s tzv. vratným odrazem. Chybné je umísťovat řady svítidel ve svislých rovinách proložených obvyklými směry pohledu,
- používat rozměrných svítidel s malým jasem,
- všude, kde je to možné využívat rozptylné, matné povrchové úpravy, a to i u povrchů pozorovaných předmětů hlavní zrakové činnosti,
- využívat svítidla s vhodným rozložením svítivosti, např. s křivkami svítivosti motýlovitého typu s maximem svítivosti v oblasti úhlů  $40^\circ$  až  $50^\circ$  od svislice.

Taková svítidla se umístí bočně vedle pracovních míst a ne tedy nad pracovními místy a světlo odražené od pozorovaných ploch je pak nasměřováno zcela mimo zrak pozorovatele.

## 8.4 Jakost podání barev

Rovněž jakost podání barev, chromatičnost světla a kolorita povrchů ovlivňují zrakový výkon a zrakovou pohodu. I tyto údaje je proto třeba přiřadit k významným ukazatelům celkové kvality osvětlení. Proto je nedílnou součástí světelně technického projektu i barevná úprava prostředí, která spočívá ve vhodném barevném sladění povrchů pozorovaných předmětů i barevné jakosti použitých zdrojů světla. Přitom je nutno vycházet z charakteru činnosti v uvažovaném prostředí a zvláště pak z potřebné zrakové orientace. Přihlížet je třeba i ke zkreslení barev ve světle různých světelných zdrojů ve srovnání s vjemem barvy v přírodním světle. Je důležité, aby barvy předmětů a lidské pokožky v daném prostředí byly podány přirozeně a věrně tak, aby lidé vypadali přitažlivě a zdravě.

Na citový stav člověka mají vliv jak jednotlivé barvy, tak i kombinace barev. I když posouzení harmonických kombinací barev je individuální, lze říci, že harmonické barvy působí příjemné pocity, zatím co disharmonické kombinace vyvolávají nelibost. Barevnost prostředí ovlivňuje i prostorový dojem prostředí. Méně jasné, méně syté barvy a studené tóny barev zvětšují celkový prostorový vjem, kdežto jasné, syté barvy a teplé tóny celkový prostorový vjem zmenšují.

Psychologické působení světla zdrojů, barevných ploch či předmětů a jakost jejich barevného vjemu závisí na teplotě chromatičnosti  $T_c$  světla zdrojů a na indexu barevného podání  $R_a$  a je podmíněno i výší hladiny osvětlenosti, což dokumentují údaje v tab. 8-8.

Tab.8-8 Psychologické působení světla v závislosti na osvětlenosti

| Hladina osvětlenosti<br>(lx) | Tón barvy světla zdroje          |                                    |                                       |
|------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
|                              | teple bílý                       | neutrálně bílý                     | chladně bílý (denní)                  |
|                              | osvětlení působí                 |                                    |                                       |
| do 700                       | příjemně                         | nevýrazně<br>dojem<br>monotónnosti | studeně<br>dojem nedostatku<br>světla |
| 700 až 3000                  | příjemně                         | příjemně                           | neutrálně                             |
| nad 3000                     | nepřirozeně<br>dojem přesvětlení | příjemně<br>živě                   | příjemně                              |

Pro účely osvětlování lze světelné zdroje členit jednak podle tónu barvy jejich světla a podle teploty chromatičnosti (resp. náhradní teploty chromatičnosti výbojových zdrojů), do tří skupin (tab.8-9) a jednak podle jakosti podání barev předmětů a lidské pokožky v jejich světle charakterizované indexem podání barev  $R_a$  do pěti skupin (tab.8-10).

Tab.8 - 9 Třídění světelných zdrojů podle chromatičnosti světla

| Náhradní teplota chromatičnosti (K) | Tón barvy světla zdroje | Příklad světelného zdroje   |
|-------------------------------------|-------------------------|---|
| < 3300                              | teple bílý              | žárovky, halogenové žárovky, zářivky (teple bílé), výbojky vysokotlaké sodíkové, halogenidové výbojky |
| 3300 až 5300                        | neutrálně bílý          | zářivky (bílé), výbojky rtuťové s luminoforem<br>výbojky halogenidové                                 |
| > 5300                              | chladně bílý (denní)    | zářivky (denní), výbojky rtuťové čiré<br>halogenidové výbojky   |

Z tab.8-9 vyplývá, že výbojové zdroje, zejména zářivky, mohou podle jejich provedení a druhu použitého luminoforu patřit do kterékoliv z uvedených skupin, čímž je umožněno, pro ten který osvětlovaný prostor volit vhodný světelný zdroj.

Tab.8 - 10 Třídění světelných zdrojů podle indexu podání barev a tónu barvy jejich světla

| Stupeň jakosti podání barev <sup>*)</sup> |           | Všeobecný index podání barev $R_a$ | Tón barvy světla zdroje                              | Požadavky na kvalitu vjemu barev | příklady použití   |
|---|-----------|------------------------------------|--|----------------------------------|--|
| podle ČSN                                 | podle DIN |                                    |  |                                  |  |
| 1   | 1A        | $R_a \geq 90$                      | teple bílý<br>chladně bílý (denní)                   | velmi vysoké                     | klinická diagnostika,<br>obrazové galerie, polygrafie        |
| 2   | 1B        | $80 \leq R_a < 90$                 | teple bílý<br>neutrálně bílý                         | vysoké                           | byty, hotely, restaurace,<br>obchody, nemocnice              |
|   |           |                                    | neutrálně bílý<br>chladně bílý (denní)               |                                  | tiskárny, textilní průmysl,<br>kanceláře, školy, sportoviště |
| 3   | 2         | $60 \leq R_a < 80$                 | teple bílý<br>neutrálně bílý<br>chladně bílý (denní) | střední                          | některé průmyslové provozy                                   |
| 4   | 3         | $40 \leq R_a < 60$                 |  | malé                             |  |
| 5   | 4         | $20 \leq R_a < 40$                 | teple bílý   | velmi nízké                      | komunikace   |

<sup>\*)</sup> Stupně jakosti podání barev uvedeny pro porovnání podle dřívějších norem ČSN a DIN

K údajům v tab.8-9 a 8-10 je třeba poznamenat, že vyšší požadavky na kvalitu vjemu barev pravidla vyžadují i zajištění vyšších hladin osvětlenosti. Pro přesné porovnávání a reprodukci barev je nutno použít zdrojů, jejichž světlo je charakterizováno (náhradní) teplotou chromatičnosti  $T_n \geq 6500$  K a indexem barevného podání  $R_a \geq 90$  a přitom se požaduje místně průměrná hladina osvětlenosti  $\geq 1000$  lx.

Z hlediska zrakové pohody mají být v jedné místnosti používány světelné zdroje stejného barevného tónu světla, přičemž teplota **chromatičnosti světla zdrojů musí být v určitém souladu s hladinou osvětlenosti** v dané místnosti. Tato důležitá souvislost je zřejmá z údajů v tab.8-11.

Tab.8-11 Závislost teploty chromatičnosti světla zdrojů na hladině osvětlenosti

| Teplota chromatičnosti [Náhradní teplota chromatičnosti] (K) | Hladiny osvětlenosti (lx) v prostorech |                            |
|--|--|----------------------------|
|  | pracovních                             | kulturních a společenských |
| < 3300   | ≤ 500                                  | ≤ 200                      |
| 3300 až 5300   | 300 až 1500                            | 150 až 500                 |
| > 5300   | > 500                                  | > 200                      |

Z tab.8-8, 8-9, 8-10 a 8-11 vyplývá, že se v současné době v pracovních prostorech doporučuje teple bílý tón barvy světla zdrojů při osvětlenostech do 500 lx, neutrálně bílý tón v oblasti osvětleností 300 až 1500 lx a chladně bílý (denní) tón barvy světla při hladinách nad 500 lx. V kulturních a společenských prostorech se pak doporučuje teple bílý tón barvy světla zdrojů při osvětlenostech do 200 lx, neutrálně bílý tón v rozmezí 150 až 500 lx a chladně bílý (denní) tón při hladinách osvětleností vyšších než 200 lx. Z uvedeného je zřejmé, že ve většině běžných případů osvětlení vnitřních prostorů lze použít zdroje prakticky s libovolnou teplotou chromatičnosti, pokud nejsou na osvětlení kladeny zvláštní požadavky, např. estetické. Z hlediska zrakového výkonu lze tedy při kombinovaném osvětlení používat světelné zdroje sousedních barevných tónů světla podle tab.8-9, zvláště při osvětlenostech 500 lx a vyšších.

Kolorita předmětů v zorném poli má být z psychologického hlediska volena tak, aby jasnější pozorovaný předmět byl obklopen teplejšími odstíny barev a vzdálené okolí aby bylo řešeno v chladnějších barevných tónech.

Praxe potvrdila, že volba nevhodné teploty chromatičnosti světla zdrojů odporuje požadavkům vyplývajícím z hlediska dosažení potřebného zrakového výkonu a zrakové pohody, ale je právě tak nevhodná, jako nesprávně stanovená hladina osvětlenosti, protože působí na pozorovatele a pracující depresivně a následně vede k poklesu jejich výkonnosti.

## 8.5 Směrnost a stínivost osvětlení

**Směrnost** je vlastnost osvětlení, která charakterizuje převažující směr světla v daném místě prostoru. Směrnost je určena světelným vektorem. S ohledem na geometrické a fotometrické parametry pozorovaných předmětů je nutné směrnost světla řešit individuálně pro jednotlivé zrakové úkoly. Většinou se směr osvětlení volí tak, aby světlo do místa úkolu dopadalo převážně zleva a shora, pokud možno zezadu přes levé rameno.

**Stínivost** je schopnost osvětlení vytvářet na předmětech stíny. Rozvržení stínů, jak na pracovním místě, tak v zorném poli pracovníka je velmi důležitým činitelem prostorové rozlišitelnosti detailů. Při vysoké stínivosti vznikají tmavé a vržené stíny, jež znesnadňují rozeznávání. Rychlé přechody ze světla do stínu při existenci ostrých stínů jsou také na závadu, poněvadž se oko nemůže přizpůsobit značným rozdílům jasů, unavuje se a vidění se zhoršuje. Při malé stínivosti je zhoršeno prostorové vidění, nesnadno se rozeznává tvar předmětů a ztěžuje se odhad vzdáleností. Přednost se tedy dává stínům měkkým. Z tohoto hlediska jsou výhodné velkoplošné zdroje, velká rozptýlná stínidla u svítidel a světelné zdroje rozdělené do prostoru. Ze stejného důvodu je nevhodné pouhé místní osvětlení se světlem usměrněným na malou pracovní plochu a musí se doplnit rozptýleným celkovým osvětlením.

Úplně rozptýleného osvětlení se užívá zřídka. Častější je případ, kdy jsou při práci zapotřebí zřetelné stíny, ovšem bez přílišného kontrastu, např. při rytí na leštěných plochách, při kontrole textilií apod. Vhodného osvětlení se pak dosáhne směrovým místním osvětlením kombinovaným a rozptýlným celkovým osvětlením, dostatečně intenzivním. Zabránit je třeba vzniku rušivých stínů, zvláště od pohybujících se předmětů. Nelze-li jinak, musí se pracoviště zasažené rušivými stíny dostatečně osvětlit přídatným zdrojem. Určitá stínivost je tedy potřebná pro dosažení dobré plastičnosti vidění a pro jasné zobrazení tvaru pozorovaných předmětů a dociluje se jí nalezením správného převažujícího směru osvětlení.

Přímý výpočet hloubky a ostrosti stínů, které bezprostředně určují stínivost v osvětlovací soustavě, je obtížný. Odborníci se snaží hodnotit zmíněné vlastnosti alespoň zjednodušeně, a to jedinou hodnotou určitého činitele. Již Norden se pokusil o přibližné charakterizování stínivosti tím, že navrhl hodnotit stupeň stínivosti činitelem  $S_N$

$$S_N = \frac{E_p}{E_p + E_o} = \frac{E - E_o}{E} \quad (8-9)$$

kde  $E_p$  je střední hodnota osvětlenosti odpovídající světelnému toku dopadajícímu přímo ze zdroje na uvažovanou plochu; zkráceně lze hovořit o přímé složce osvětlenosti,

$E_o$  je střední hodnota osvětlenosti odpovídající světelnému toku dopadajícímu na uvažovanou plochu až po odrazu od stěn, stropu, předmětů apod.; zkráceně se veličina  $E_o$  nazývá odražená či difúzní složka osvětlenosti,

$E$  je výsledná osvětlenost v daném bodě osvětlované, např. vodorovné, roviny  $E = E_p + E_o$ .  
Stupeň stínivosti  $S_N$  definovaný vztahem (8-9) charakterizuje hloubku stínu a lze jej zjistit výpočtem i měřením. Při měření se postupuje tak, že se nejprve v uvažovaném místě změří celková osvětlenost  $E$ , tj. osvětlenost při nezastíněném zdroji světla (svítidla) a potom se zacloní světelný tok přímo dopadající ze zdrojů na uvažované místo a změří se odražená (rozptýlná) složka osvětlení  $E_o$ .



Pro praktické návrhy osvětlení se doporučuje, aby činitel  $S_N$  byl v mezích 0,2 až 0,8. Je-li v prostoru několik zdrojů či svítidel, určí se výsledný Nordenův stupeň stínivosti součtem dílčích činitelů odpovídajících jednotlivým zdrojům. Pokud je ovšem prostor osvětlen velkými plošnými zdroji, není již popsání zjištění činitele  $S_N$  měřením toku možné.

Lepší možnosti pro hodnocení plastického vzhledu předmětů, stínivosti a směrovosti osvětlení poskytuje využití poznatků z rozboru prostorových vlastností osvětlení a z teorie světelného pole. Přitom je zapotřebí využít prostorových charakteristik světelného pole určujících směr přenosu energie i objemovou hustotu energie ve zkoumaném bodě pole. Směr a velikost přenosu světelné energie, tedy směrovost osvětlení, popisuje světelný vektor  $\boldsymbol{\varepsilon}$ . Objemovou hustotu energie, celkové nasycení prostoru světlem pak vyjadřují skalární funkce světelného pole, a to střední kulová osvětlenost  $E_{4\pi}$ , popřípadě střední válcová osvětlenost  $E_c$ .

Geršun, Meškov, Cuttle, Jay a další odborníci proto zavádějí pro charakterizování plastičnosti vidění a stínivosti osvětlení v daném bodě veličinu

$$\vec{P} = \frac{\vec{\varepsilon}}{E_{4\pi}} \quad (8-10)$$

nazývanou **činitel podání tvaru**. V zahraničí se pro tuto veličinu používá i dalších názvů, např. činitel plastického vzhledu předmětů nebo činitel plastičnosti vidění a pod.

Orientovaný směr veličiny  $P$  je určen orientovaným směrem světelného vektoru  $\boldsymbol{\varepsilon}$ . Ten lze popsat např. úhly  $\psi$  a  $\vartheta$ , přičemž úhel  $\psi$  svírá vektor  $\boldsymbol{\varepsilon}$  s vodorovnou rovinou proloženou osou pohledu pozorovatele a úhel  $\vartheta$  svírají svislé roviny proložené osou pohledu a vektorem  $\boldsymbol{\varepsilon}$ .

Např. tedy pro úhel  $\vartheta = 0$  je zdroj směrového osvětlení umístěn přímo za pozorovatelem a plastický vzhled předmětů je téměř nepostřehnutelný. Vjem plasticity je znemožněn přímým oslněním pozorovatele při úhlu  $\vartheta = 180^\circ$ .

Na základě výsledků řady výzkumů je činitel podání tvaru v některých státech zaveden do norem umělého osvětlení (u nás již v dříve platné normě ČSN 360450 a nyní v informativní národní příloze Změna Z1 k normě ČSN EN 12464-1).

Pro zjednodušení se s veličinou  $P$  nepracuje většinou jako s vektorem, ale hodnotí se pouze velikost tohoto činitele. Teoreticky může velikost činitele  $P$  nabývat hodnot od 0 do 4. V případě ideálně rozptýleného osvětlení, např. v kulovém integrátoru, je  $P = 0$ . Při osvětlení úzkým svazkem paprsků, tzn. v poli bodového zdroje světla v černém prostoru je  $P = 4$ . Cuttle [Lighting patterns and the flow of light. Lighting Research and Technology 1971, č.3] doporučil, aby pro vytvoření potřebné stínivosti a dobré plastičnosti vidění lidského obličeje byla velikost činitele  $P$  v mezích 1,2 až 1,8 při směru světelného vektoru  $\boldsymbol{\varepsilon}$  určeném úhly  $\psi$  a  $\vartheta$  v mezích  $\psi = 15^\circ$  až  $45^\circ$  a  $\vartheta = 30^\circ$  až  $120^\circ$ . Fischer D. (Lichttechnik 1970, č.2, 3; 1972, č.8) ukázal, že pro kvalitní plastický vzhled tvarově komplikovanějších předmětů, než je lidský obličej, je zapotřebí vyšších hodnot činitele  $P$ , cca 1,6 až 4 a dále potvrdil, že při osvětlení bodovými zdroji světla (žárovky) se ve srovnání s plošnými zdroji vytvořenými zářivkovými svítidly dosáhne stejně kvalitního vjemu trojrozměrných předmětů i při nižších hodnotách činitele  $P$  (např. pro lidský obličej 0,24 až 1).

Dobré prosvětlení místnosti a přirozený plastický vzhled pozorovaných trojrozměrných předmětů vytváří nezbytné podmínky pro dosažení zrakové pohody. Tyto kvalitativní parametry osvětlení se charakterizují hodnotami střední kulové osvětlenosti  $E_{4\pi}$  (popřípadě v prostorech s převažujícími vodorovnými směry pozorování hodnotami střední válcové osvětlenosti  $E_c$ ) a činitelem podání tvaru  $P$ .

S ohledem na pracnost výpočtu se veličiny  $E_{4\pi}$  a  $P$  uplatňují především v kulturních a společenských prostorech, např. v galeriích, v divadlech, v sálech atd. Doporučené hodnoty těchto parametrů jsou podle informativní národní přílohy Změna Z1 normy ČSN EN 12464-1 shrnuty v tab.8-12.

Tab.8-12 Doporučené hodnoty střední kulové osvětlenosti ( $E_{4\pi}$ ) a činitele podání tvaru  $P$

| Charakteristika prostoru  | Požadavky na prosvětlení prostoru | $E_{4\pi}$ (lx) | Požadavky na podání tvaru | $P$        |
|---|-----------------------------------|-----------------|---------------------------|------------|
| kongresové sály<br>reprezentační prostory                                 | vysoké                            | 130 až 150      | vysoké                    | 1,3 až 1,5 |
| hlediště divadel, sály kulturních středisek, koncertní a společenské sály | střední                           | 90 až 120       | střední                   | 1,6 až 2,0 |
| hlediště klubů, obrazové galerie, kryté tržnice, vstupní haly             | nízké                             | 50 až 70        | nízké                     | 2,1 až 2,5 |

V prostorech s převážně vodorovnými pracovními plochami se doporučuje, aby střední kulová osvětlenost byla rovna nejméně 45% osvětlenosti vodorovné roviny.

V prostorech, kde převažují směry pozorování blízké k vodorovnému směru, což je zejména ve veřejných a společenských prostorech, se postupně místo charakteristiky  $E_{4\pi}$  začíná využívat střední válcové osvětlenosti  $E_c$ . V některých zemích jsou v normách pro osvětlování společenských prostorů již předepsány určité hladiny  $E_c$ ; např. se požaduje dodržení minimálních hladin  $E_c$  ve výši 1,5 m nad podlahou (při svislé orientaci osy válcového přijímače), a to

při vysokých požadavcích na jakost soustavy ve výši  $E_{cmin} = 150$  až  $200$  lx,  
 při požadavcích zvýšených  $E_{cmin} = 100$  až  $150$  lx  
 a při normálních požadavcích  $E_{cmin} = 75$  až  $100$  lx.

Výsledky ověřovacích výpočtů a měření některých realizací prokázaly, že ve společenských prostorech je možno ve vztahu pro činitele podání tvaru zjednodušeně nahradit světelný vektor hodnotami osvětlenosti vodorovné roviny  $E_h$  a pracovat pak s činitelem podání tvaru rovným poměru ( $E_h / E_c$ ), přičemž pro dosažení potřebné úrovně plastického vzhledu předmětů je třeba zajistit, aby  $(E_h / E_c) \geq 2$ . To ovšem vyžaduje, aby poměr jasu stropu k jasu stěn byl větší než 3,5; nesmí však překročit hodnotu 10, aby nedocházelo k oslnění.

## 8.6 Stálost osvětlení

Další důležitý požadavek, kterému má dobré umělé osvětlení vyhovovat, je stálost hladiny osvětlenosti. Při práci se nesmí světelný tok zdrojů znatelně měnit. Rychlé časové změny parametrů osvětlení, způsobované elektrickými nebo mechanickými příčinami (kolísáním napětí sítě, kýváním nevhodně upevněných svítidel apod.), které zrak rozezná, negativně ovlivňují zrakovou činnost, ztěžují vidění a unavují zrakový systém. Je-li kolísání pravidelné (odpovídající kmitočtu sítě), může vzniknout na pohybujiících se předmětech **stroboskopický jev**, který může mít nebezpečné následky. U točivých strojů se např. jeho vlivem zdá, že se rotor buď nepohybuje, popřípadě, že se otáčí pomalu vpřed či zpět.

Kolísání hladiny osvětlenosti může vzniknout také vrhaným stínem pohybujiících se předmětů. Pravidelně však vzniká kolísáním napětí sítě a pochopitelně vlivem kmitočtu střídavé sítě. Poměrně malé kolísání světelného toku způsobuje střídavý proud u žárovek (vlivem tepelné setrvačnosti vlákna), větší pak u zářivek a u vysokotlakých výbojek.

Ke zlepšení časové stálosti osvětlení je třeba využít všech prostředků, které jsou k dispozici, a to zejména v místnostech, kde se vykonávají práce s vysokou zrakovou obtížností a v prostorách s vysokými požadavky na zrakovou pohodu.

Osvětlují-li se zářivkami, resp. výbojkami předměty, které se pohybují, je třeba zamezit vzniku stroboskopického jevu připojením sousedních svítidel na různé fáze trojfázové soustavy, popřípadě jsou-li v jednom svítidle dvě zářivky či výbojky, je výhodné zajistit, aby oba zdroje byly napájeny

proudy s vhodným vzájemným fázovým posunem. Osvědčuje se rovněž napájení výbojových zdrojů proudem vyšší frekvence. Správným provedením a dimenzováním všech součástí elektrického rozvodu napájejícího sledovanou osvětlovací soustavu je třeba zabránit vzniku nedovolených úbytků napětí a jeho kolísání. V některých případech zlepši situaci i postupné zapínání spotřebičů nebo vhodné rozdělení spotřebičů do několika skupin se samostatným napájecím vedením apod.

K omezení kmitání světla z mechanických příčin se doporučuje jednak vhodné upevnění svítidel, aby se zabránilo jejich chvění a kývání a jednak správná volba rozložení svítivosti použitých svítidel, včetně úpravy jejich rozmístění tak, aby nemohly vznikat rušivé stíny způsobené pohybujícími se předměty.

Stálost hladin osvětlenosti v určité osvětlovací soustavě je ovlivňována zejména stabilitou světelného toku zdrojů. Z dlouhodobého hlediska jde o pokles toku v průběhu života světelných zdrojů. Významnější však je kolísání světelného toku zdrojů v průběhu jedné periody při napájení zdrojů střídavým proudem. Měřítkem velikosti periodického kolísání toku byl dříve **činitel vlnivosti světla**  $k_f$ , který se jako poměrná amplituda periodického kolísání toku určuje ze vztahu

$$k_f = \frac{\Phi_{\max} - \Phi_{\min}}{\Phi_{\max} + \Phi_{\min}} \quad (8-11)$$

Při různých tvarech vlny světelného toku kolísání toku však lépe vystihuje **index míhání**  $f$  (flicker index) a proto se této veličině v současnosti dává přednost. Index míhání je definován rovnicí

$$f = \frac{A_1}{A_1 + A_2} = \frac{A_1}{T \cdot \Phi_{stř}} \quad (8-12)$$

kde  $\Phi_{stř}$  je střední hodnota časové změny toku  $\Phi(t)$ , která se vypočítá z výrazu

$$\Phi_{stř} = \frac{1}{T} \int_0^T \Phi(t) dt \quad (8-13)$$

$A_1$  ( $A_2$ ) je plocha omezená křivkou průběhu  $\Phi(t)$  nad (pod) stř. hodnotou  $\Phi_{stř}$ .

V mezinárodních doporučeních se požaduje, aby **index míhání** obecně **nepřesáhl** hodnotu **0,1**. Orientační údaje o činiteli  $k_f$  a indexu  $f$  jsou pro některé světelné zdroje shrnuty v tab.8-13.

Tab.8-13 **Hodnoty činitele vlnivosti  $k_f$  a indexu míhání  $f$  světla vybraných světelných zdrojů při jejich jednofázovém napájení**

| Světelný zdroj      |                       | $k_f$   | $f$           |
|---------------------|-----------------------|---------|---------------|
| žárovka             | 40 W                  | 12      | 0,047         |
|                     | 60 W                  | 7       | 0,027         |
|                     | 100 W                 | 5       | 0,009         |
| zářivka             | denní                 | 58 / 24 | 0,152 / 0,080 |
|                     | chladně bílá          | 44 / 16 | 0,117 / 0,046 |
|                     | teple bílá            | 27 / 10 | 0,077 / 0,027 |
| Vysokotlaká výbojka | rtuťová s luminoforem | 73      | 0,25          |
|                     | halogenidová          | 38      | 0,11          |
|                     | sodíková              | 95      | 0,29          |

Pozn.: 1) pro zářivky a vysokotlaké výbojky platí údaje pro klasické zapojení s tlumivkou,  
2) druhý údaj u zářivek je pro svítidla se dvěma zářivkami v tzv. duo zapojení.

## 8.7 Hospodárnost osvětlení

Požadavky na hospodárnost osvětlení se při splnění uvedených světelně technických zásad zpravidla kryjí s požadavky správného hospodaření s elektrickou energií. Osvětlovací soustava má být navržena tak, aby umožňovala dosáhnout při co nejsnazší, přesné a bezpečné práci co nejlepších pracovních výsledků při poměrně nízké spotřebě energie. Na dobré a hospodárné osvětlení je třeba pamatovat již při projektování objektů, protože pozdější úpravy bývají velmi nákladné.

Důležitou okolností ovlivňující hospodárnost osvětlovací soustavy je správná volba zdrojů a svítidel, využívání moderních efektivních světelných zdrojů a systematická údržba jak zdrojů a světelně činných částí svítidel, tak i stropu, stěn a dalších ploch i oken v uvažovaném prostoru. Proto každý projekt osvětlovací soustavy musí obsahovat i plán údržby, a to nejen čištění svítidel, ale i výměny zdrojů, aby se nehospodárně neprovozovaly zdroje, jejichž světelný tok poklesl pod hospodárnou míru.

S návrhem, realizací a provozem osvětlovací soustavy souvisí plnění řady požadavků nejen světelně technických, ale též stavebních, konstrukčních, estetických, hygienických, energetických a ekonomických. Vzájemná souvislost a často protichůdná podmíněnost zmíněných okolností nutí světelného technika hledat s využitím ekonomického hodnocení optimální kompromisní řešení, které ovšem musí vycházet z dodržení světelně technických potřeb.

## 9. OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY

Osvětlovací soustavy se rozdělují podle zdroje proudu a provozního účelu, dále podle soustředění světla a konečně podle rozložení světelného toku.

Podle zdroje proudu a provozního účelu se rozeznává osvětlení:

- 1) **normální** (napájené z rozvodné soustavy), v jejím bezporuchovém stavu, které dále může být
  - a) **hlavní**, které slouží pro normální provoz
  - b) **pomocné**, určené pro úklid a jiné pomocné práce
  - c) **bezpečnostní**, využívané při poruchách technologického zařízení a vzniku nebezpečných stavů (např. při vzniku nebezpečí výbuchu se rozsvítí nebo zůstanou v provozu pouze svítidla s vhodným krytím nebo v nevýbušném provedení)
- 2) **poruchové** (napájení z rezervního zdroje), které se člení (ČSN EN 1838 „Poruchové osvětlení“) na
  - a) **náhradní**, využívané při poruše hlavního osvětlení k dokončení nezbytných prací, aby nedošlo k úrazům a nevznikly škody,
  - b) **nouzové**, k vyznačení únikových cest. Zdrojem nouzového osvětlení je obvykle akumulátorová baterie nebo dieselelektrické soustrojí. V místnostech, v nichž je zajištěno náhradní osvětlení, není třeba instalovat nouzové osvětlení.

Náhradní osvětlení se zřizuje v místnostech, v nichž při poruše hlavního osvětlení může nastat nebezpečí požáru, výbuchu, poškození technologického zařízení, ohrožení technologického procesu nebo zásobování velkého počtu spotřebitelů (elektrárny, vodárny, teplárny apod.). Musí být uvedeno v činnost nejpozději do 15 sekund po zhasnutí hlavního osvětlení. V místnostech, v nichž je zajištěno náhradní osvětlení, není obvykle třeba instalovat nouzové osvětlení.

Nouzové osvětlení se pak dále rozděluje na **osvětlení únikových cest**, na **protipanické osvětlení** a na osvětlení **protiúrazové**.

Cílem osvětlení únikových cest je umožnit přítomným bezpečný odchod z daného prostoru (osvětlenost na podlaze v ose únikové cesty do šíře 2 m nesmí být menší než 1 lx; po zapnutí únikového osvětlení musí dosáhnout 50% požadované osvětlenosti do 5 s a plné hodnoty osvětlenosti do 60 s; min. doba svícení musí být 1 h) a současně zajištění podmínek pro snadné dosažení a použití protipožárních a bezpečnostních zařízení.

Účelem protipanického osvětlení veřejných prostorů je zmenšit pravděpodobnost paniky a umožnit přítomným bezpečný pohyb směrem k únikovým cestám (směr světla na únikových cestách a v otevřených prostorech má být dolů na pracovní plochu, osvětleny však mají být i překážky do výšky 2 m nad podlahou).

Účelem protiúrazového osvětlení je přispět k bezpečnosti lidí při potenciálně nebezpečných procesech nebo situacích a umožnit řádné ukončení činností bez nebezpečí pro ostatní uživatele v daném místě. Zdrojem nouzového osvětlení je obvykle akumulátorová baterie nebo dieselelektrické soustrojí.

Podle soustředění světla se rozlišují osvětlovací soustavy celkového, odstupňovaného a kombinovaného osvětlení. V případě, že soustava umělého osvětlení doplňuje v určité části prostoru přírodní osvětlení, vzniká tzv. osvětlení sdružené.

Soustava **celkového** osvětlení je základní osvětlovací soustavou, zajišťující v celém osvětlovaném prostoru potřebnou hladinu osvětlení i bezpečnost s ohledem na požadovaný zrakový výkon. Vhodná je zejména tam, kde se vykonávají přibližně stejně náročné práce. Většinou jsou při ní svítidla rovnoměrně rozmístěna po osvětlovaném půdorysu. Jednotlivá pracovní místa je pak možno v prostoru snadno přemísťovat.

Soustava **odstupňovaného** osvětlení je obdobná celkové soustavě osvětlení, ale podle zrakové náročnosti vykonávané práce zajišťuje v některých částech vyšší hladiny osvětlenosti, a to buď

větším počtem svítidel, nebo svítidly se zdroji větších výkonů. Přechody mezi různě osvětlenými částmi prostoru mají být pozvolné. Je třeba dbát na to, aby podmínky vidění v intenzivněji osvětleném úseku nebyly nepříznivě ovlivněny tmavým pozadím vytvořeným méně osvětlenými vertikálními plochami z části prostoru s nižší hladinou osvětlenosti.

Soustava **kombinovaného** osvětlení vzniká ze soustavy celkového nebo odstupňovaného osvětlení přidáním místního osvětlení, tj. svítidel k místnímu přisvětlení jednotlivých pracovišť, odpočinkových koutů apod. Celkové osvětlení zajišťuje v daném prostoru potřebnou rovnoměrnost osvětlení a doporučuje se proto, aby hladina osvětlenosti odpovídající celkovému osvětlení byla alespoň 30%, resp. minimálně 10% výsledné osvětlenosti zajištěné kombinovaným osvětlením. Místní osvětlení pak zabezpečuje požadovanou vyšší osvětlenost na pracovní rovině, vhodný převažující směr dopadu světla, popřípadě umožňuje vytvořit podmínky pro lepší prostorové vnímání apod. Svítidla místního osvětlení nesmí způsobit nedovolené kontrasty jasů v zorném poli pracovníků a nesmí přímo oslňovat jiná pracoviště. Použití samotného místního osvětlení (bez celkového osvětlení) je nesprávné. Při pouhém místním osvětlení vznikají totiž velké kontrasty jasů, které i při malých pohybech očí a hlavy způsobují časté adaptační procesy, což zvyšuje únavu zraku.

Kombinované osvětlení se využívá i pro docílení vysokých hladin osvětlenosti na pracovním místě, které nelze hospodárným využitím technických prostředků docílit soustavou celkového osvětlení. Obvykle se volí už při hladinách osvětlenosti 1000 lx a vyšších. Kombinované osvětlení je nutné též v případech, kdy celkovým osvětlením nelze některá pracovní místa dostatečně osvětlit, např. při jejich zastínění jiným zařízením, při obrábění dutin apod., a dále tehdy, kdy je třeba docílit zvýšení jasu tmavých součástí opracovávaných na světlejším pozadí a v obdobných zvláštních případech.

Kombinované, popřípadě odstupňované osvětlení umožňuje zajistit zvýšení hladin osvětlenosti osobám vyššího věku i lidem se sníženou zrakovou schopností. V průmyslových závodech se zpravidla nejprve navrhuje celkové osvětlení a místní osvětlení se zřizuje dodatečně až po dodání a rozmístění strojů a zařízení. Rovněž z hlediska úspor elektrické energie se v posledních letech zdůrazňuje využívání kombinovaného a odstupňovaného osvětlení a upouští se od požadavku vysoce rovnoměrného celkového osvětlení.

Celkové osvětlení se volí přednostně v místnostech, kde je většina činností charakterizována stejnou zrakovou obtížností a náročností, dále tam, kde není možné s ohledem na technologické, stavební a jiné požadavky zachovat stejnou orientaci zrakových úkolů (pracovních míst), rovněž v prostorech, kde není možné fixovat zrakové úkoly do pevných poloh nebo kde se druh činnosti často mění a konečně v prostorech s činností nevyžadující speciální techniku osvětlování. Při návrhu osvětlovací soustavy celkového osvětlení je nutno vždy dbát na to, aby byly splněny všechny požadavky kladené na osvětlení na všech místech zrakového úkolu (např. při zastínění zařízením nebo stavebními konstrukcemi).

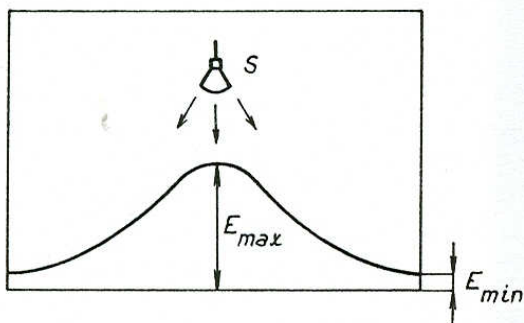
Odstupňované osvětlení se volí přednostně v místnostech, kde v určitých vymezených prostorech jsou prováděny činnosti s různou zrakovou obtížností a náročností (obrábění, mezisklad, komunikace apod.) a v prostorech, kde jsou prováděny různé činnosti splňující podmínky pro použití kombinovaného osvětlení, kde však z technologického nebo bezpečnostního hlediska nelze použít místního přisvětlení.

Kombinované osvětlení se volí přednostně v místnostech s různými zrakovými úkoly v jednotlivých místech při vysokých požadavcích na osvětlení, dále tam, kde zrakové úkoly vyžadují speciální techniku osvětlování (směrové světlo, osvětlení dutin apod.), všude, kde by celkové či odstupňované osvětlení bylo neefektivní, např. pro značné zastínění jiným zařízením, rovněž tam, kde je třeba omezit kmitání světla vlivem pohybujících se předmětů nebo vlivem napájení ze střídavé sítě a konečně též v případě činností, u nichž se kladou vysoké nároky na jakost podání barev.

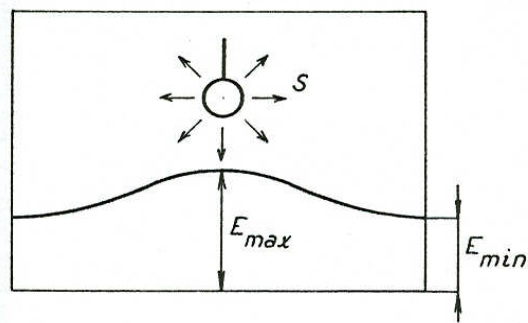


Podle rozložení světelného toku svítidel do horního a dolního poloprostoru se rozlišuje osvětlení přímé, převážně přímé, smíšené, převážně nepřímé a nepřímé. Jde tedy o stejné členění jako u svítidel.

V soustavě **přímého osvětlení** dopadá světelný tok na osvětlované plochy téměř beze ztrát, takže pro danou hladinu osvětlení vychází u této soustavy nejmenší příkon zdrojů. Uvažují-li se pouze jednotlivá svítidla žárovková nebo výbojková, vytváří se v prostoru ostré tmavé stíny a velké kontrasty jasů v zorném poli. Možnost oslnění je při přímém osvětlení největší. Na obr.9-1 je znázorněn průběh osvětlenosti v bodech srovnávací roviny, ležících na stopě svislé roviny proložené svítidlem (při osvětlení prostoru jedním svítidlem).



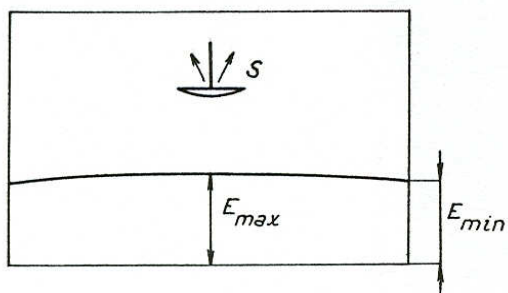
Obr. 9 - 1



Obr. 9 - 2

Je patrné, že nerovnoměrnost osvětlení jedním svítidlem je velká. Vyhovující rovnoměrnosti se dosáhne jen velkým počtem svítidel nebo přímými svítidly s velkou vyzařovací plochou.

V soustavách převážně přímého, smíšeného a převážně nepřímého osvětlení roste množství světelného toku, dopadajícího ze svítidel na strop a stěny osvětlovaného prostoru. Hospodárnost osvětlení tedy postupně klesá, dosahuje se však lepší rovnoměrnosti osvětlení (viz např. pro smíšené osvětlení obr. 9-2), vržené stíny se stávají měkčími a snižuje se možnost oslnění.



Obr.9-3

V soustavě **nepřímého osvětlení**, kdy na osvětlovanou plochu dopadá jen světelný tok odražený od stropu a stěn osvětlovaného prostoru je jas stropu a stěn vyšší než jas pracovní plochy. Nepřímé osvětlení zajišťuje téměř rovnoměrnou hladinu osvětlení jak je patrné z obr.9-3. Stíny se v této soustavě prakticky nevyskytují. Tím je ztíženo rozlišování, zhoršena orientace v prostoru i odhad vzdáleností. Činitel podání tvaru je velmi nízký. Zrak se při akomodaci více namáhá a zvyšuje se tedy jeho únava.

Provoz soustav nepřímého osvětlení je v porovnání s ostatními soustavami nepoměrně dražší, vykazují vyšší spotřebu elektrické energie a vyšší jsou i nároky na údržbu. V těchto soustavách je nutné používat svítidla s vysokou účinností, zdroje s vysokým měrným výkonem a je třeba zajistit i co nejvyšší hodnoty činitelů odrazu stropu a stěn. V těchto soustavách se nečistoty usazují přímo na hlavních vyzařovacích plochách a proto je nutné častěji svítidla čistit. Častěji je třeba obnovovat nátěry stropu a stěn. Výhodou nepřímého osvětlení je, že je v této soustavě vyloučeno přímé oslnění světelnými zdroji a prakticky je zamezeno i oslnění odrazem.

V místnostech, kde se vyžaduje dobré rozeznávání tvaru předmětů, tj. tam, kde je třeba zajistit dobré kontrasty a stíny, se volí osvětlení přímé, převážně přímé, popřípadě smíšené. Naproti tomu v místnostech určených k odpočinku, k zábavě a k různým kulturním účelům je vhodnější osvětlení nepřímé nebo převážně nepřímé.

Přímé osvětlení se používá zejména jako celkové osvětlení všude tam, kde se nemá nebo nemůže uplatnit nepřímá, tj. odražená složka světelného toku. Jsou to především všechny venkovní prostory, velké a vysoké vnitřní prostory, jako sportovní haly, průmyslové haly se skleněným nebo tmavým stropem apod. Přímého osvětlení se též užívá k místnímu osvětlení pracovišť. Převážně přímé osvětlení se používá k celkovému osvětlení místností, např. učeben i hal, pokud nemají skleněný nebo tmavý strop.

Smíšené osvětlení se používá k celkovému osvětlení všech místností se světlými stěnami a stropem, je vhodné pro učebny, kreslírny, rýsovný, k osvětlení obytných místností, chodeb; v průmyslu je možno smíšené osvětlení užít k osvětlení rozlehlejších pracovišť, kde se provádí méně jemná práce, jako třídění a překládání kusového zboží apod.

Převážně nepřímé a nepřímé osvětlení se užívá k celkovému osvětlení místností, kde nejsou nežádoucí stíny, k osvětlení laboratoří, obytných místností, jako např. ložnice, a dále také k osvětlení reprezentačních místností. Převážně nepřímé osvětlení se užívá též k osvětlení kreslírny, konstrukčních kanceláří a z obytných místností ještě k osvětlení dětských pokojů a hotelových pokojů. Při osvětlování obývacích pokojů se dává přednost soustavě nepřímého osvětlení s vhodně rozmístěným místním osvětlením.

Využití samotné nepřímé soustavy osvětlení v restauračních provozovnách je nesprávné, neboť při nepřímém osvětlení jsou nejvyšší jas v horní části zorného pole, tedy na stropě. Zrak se podvědomě stáčí právě do míst s vyšším jasnem a tak je pozornost stolujících odváděna od plochy stolu a zejména od jídla.

S ohledem na již zmíněnou zhoršenou orientaci a ztížený odhad vzdáleností je zcela nevhodné používat nepřímé osvětlení k osvětlování tělocvičen. Výjimkou by měly být případy, kdy jiný způsob osvětlení není technologicky možný (k tomu poznamenejme, že při osvětlování sportovišť je třeba vycházet z požadavků normy ČSN EN 12193 Světlo a osvětlení – Osvětlování sportovišť).

Provoz soustav nepřímého osvětlení je v porovnání s ostatními soustavami nepoměrně dražší, vykazují vyšší spotřebu elektrické energie a vyšší jsou i nároky na údržbu. V těchto soustavách je nutné používat svítidla s vysokou účinností, zdroje s vysokým měrným výkonem a je třeba zajistit i co nejvyšší hodnoty činitelů odrazu stropu a stěn. V soustavách nepřímého osvětlení se nečistoty usazují přímo na hlavních vyzařovacích plochách a proto je nutné častěji svítidla čistit. Častěji je třeba obnovovat také nátěry stropu a stěn. Výhodou nepřímého osvětlení je, že je v této soustavě vyloučeno přímé oslnění světelnými zdroji a prakticky je zamezeno i oslnění odrazem.

V místnostech, kde se vyžaduje dobré rozeznávání tvaru předmětů, tj. tam, kde je třeba zajistit dobré kontrasty a stíny, se volí osvětlení přímé, převážně přímé, popřípadě smíšené. Naproti tomu v místnostech určených k odpočinku, k zábavě a k různým kulturním účelům je vhodnější osvětlení nepřímé nebo převážně nepřímé.

#### **9.4 Výběr světelných zdrojů. volba svítidel a jejich rozmístění**

Různorodost vnitřních prostorů, ať již z hlediska jejich účelu, rozměrů, či vybavení a požadavků na osvětlování je velmi velká a nelze proto uvést jednoduchá pravidla pro aplikaci jednotlivých typů zdrojů světla a svítidel. Volba světelných zdrojů a odpovídajících svítidel musí vycházet z konkrétního posouzení výchozích podkladů pro návrh osvětlení, požadavků na osvětlení, druhu osvětlovací soustavy atd., tedy ze zhodnocení světelně technických, architektonických, estetických a dalších okolností, ale také z rozboru technicko-ekonomických parametrů. Obecnou snahou vyplývající z potřebného zvyšování jakosti osvětlení při co nejhospodárnějším využití elektrické energie a vynaložených investičních prostředků, je maximálně využívat zdroje s vysokým měrným výkonem, s dlouhým životem, s velkou spolehlivostí a s malými nároky na obsluhu či údržbu. To ovšem znamená zvýšit investiční

náklady, které se však zaplatí levnějším provozem, zvláště úsporami elektrické energie. V praxi to znamená nahrazovat, pokud možno, žárovky zářivkami, popřípadě výbojkami, ale také starší typy zářivek, resp. výbojek modernějšími, efektivnějšími typy těchto zdrojů a dále při zachování všech zásad osvětlování a ostatních technických, architektonických a dalších požadavků také, je-li to možné, nahrazovat zdroje s menšími jednotkovými výkony zdroji větších výkonů.

V úzké souvislosti s volbou světelného zdroje a druhu osvětlovací soustavy se podle účelu a charakteru osvětlovaného prostoru a podle požadavků kladených na osvětlení se provádí výběr svítidla. Svítidla se volí podle:

- 1) světelně technických vlastností určených zejména fotometrickou plochou svítivosti, účinností svítidla a provedením svítidla z hlediska zábrany oslnění,
- 2) konstrukčního provedení svítidla, které určuje podmínky jeho použití s ohledem na prostředí, způsob upevnění apod.

Posuzuje se přitom elektrický příkon, světelný tok zdrojů instalovaných ve svítidle, prostorové rozložení svítivosti a jasů svítidla (z hlediska navrhovaného rozmístění svítidel, požadavků na osvětlení a oslnivosti soustavy), dále provozní účinnost svítidla a její časová stálost (z hlediska dosažení maximálního činitele využití při požadovaném rozmístění svítidel), konstrukční provedení svítidla podle prostředí a montážních podmínek. Značnou roli hraje i tvarové řešení svítidla, jeho hmotnost, rozměry, snadnost montáže, čištění a výměny zdrojů, ale také otázka kompenzace účinníku u výbojkových a zářivkových svítidel, problém náběhového proudu, mihání světla, popřípadě i možnost regulace světelného výkonu.

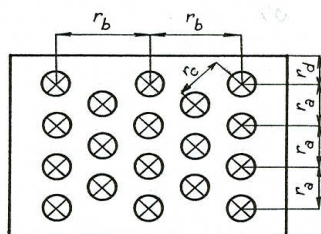
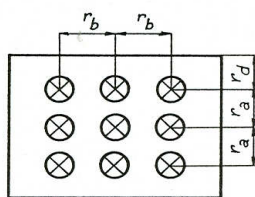
Výrobci svítidel vyvíjí a konstruují svítidlo vždy k určitému účelu. Sortiment svítidel by měl proto pokrývat všechny v praxi potřebné oblasti použití.

Svítidla celkového osvětlení lze po půdorysu osvětlovaného prostoru rozmístit buď rovnoměrně nebo lokálně s ohledem na rozmístění pracovišť. Rovnoměrné rozmístění svítidel se volí tam, kde se předpokládá stejně zřetelně náročná práce na různých místech půdorysu (např. montážní haly, slévárny apod.), dále tam, kde jsou stroje a zařízení rovnoměrně rozmístěny po půdorysu a také je-li prostor osvětlen soustavou kombinovaného osvětlení, tj. když se soustava celkového osvětlení doplňuje místním přisvětlením.

Volbu výšky zavěšení svítidel nad srovnávací rovinou a jejich rozmístění po osvětlovaném půdorysu podmiňuje potřeba zajistit požadovanou hladinu osvětlenosti, její vhodnou rovnoměrnost při omezení možnosti oslnění a při co nejmenším měrném elektrickém příkonu ( $W \cdot m^{-2}$ ). V řadě případů je výška svítidel dána stavebními či výrobními podmínkami; např. v halách s mostovými jeřáby se svítidla musí umístit tak, aby nebyl rušen provoz jeřábu apod. Poměr vzdáleností mezi svítidly k výšce jejich zavěšení či poměr šířky k výšce osvětlovaného prostoru ovlivňuje i volbu typu svítidel. Je-li poměr šířky k výšce prostoru větší než 2, používají se obvykle svítidla přímého až smíšeného osvětlení, světelné pásy, svítidla s rozptylnými reflektory, svítidla s lamelami nebo rozptylnými mřížkami apod. Pro vysoké prostory s poměrem šířky k výšce menším než 2 se volí s ohledem na dosažení dobré hospodárnosti osvětlení svítidly se zrcadlovými reflektory.

V praxi se daří výšku zavěšení svítidel měnit jen málokdy. Ve většině případů je výška svítidel nad podlahou určena požadavky omezení oslnění a málo se liší od skutečně možné závěsné výšky určené rozměry místnosti.

Zářivková svítidla se všeobecně doporučuje používat až do výše zavěšení 4 m, za vhodných podmínek (čisté prostory, jednoduchá údržba) až do výše 10 m. Pokud jde o vysokotlaké rtuťové výbojky, doporučuje se jejich použití ve svítidlech s rozptylným reflektorem při jejich zavěšení od 5 do 8 m. Ve výškách nad 8 m je lépe využít halových zrcadlových hlubokozářivých svítidel. Výhodou těchto svítidel je mimo jiné, že jimi lze dosáhnout vysokých hladin osvětlenosti relativně malým počtem svítidel vzhledem k poměrně vysokým jednotkovým výkonům zdrojů v jednom svítidle.



Obr. 9 - 4

Obvyklé rozmístění žárovkových, popřípadě výbojkových svítidel po půdorysu je buď ve vrcholech obdélníku nebo kosočtverce (šachovnicové uspořádání) podle obr.9-4. Nejohospodárnější řešení (tj. minimální hodnoty elektrického příkonu na 1 m<sup>2</sup> osvětlované plochy) se dosahuje, když se při obdélníkovém uspořádání rovnají vzdálenosti  $r_a = r_b$  (čtvercové uspořádání) a když při šachovnicovém uspořádání platí

$$r_a = r_c \quad \text{a} \quad r_b = \sqrt{3} \cdot r_a$$

(uspořádání ve vrcholech rovnostranného trojúhelníka).

Uváží-li se **čtvercové uspořádání** svítidel zavěšených ve výšce  $h$  a předpokládá-li se **rotačně souměrné** rozložení svítivosti svítidel určené rovnicí

$$I = I_0 \cdot \cos^n \gamma$$

a exponenciální závislost světelného toku  $\Phi_z$  zdrojů na elektrickém příkonu  $P$  svítidel podle vztahu

$$\Phi_z = c \cdot (P_z)^m,$$

pak lze **pro hospodárnou** (min. měrný příkon W.m<sup>-2</sup>) **poměrnou vzdálenost**  $r/h$  svítidel odvodit vztah

$$\left(\frac{r}{h}\right)_o = \sqrt{\frac{4m}{n+3-2m}} \quad (9-1)$$

Pro obvyklou hodnotu exponentu  $m = 1,2$  a pro kosinusové rozdělení svítivosti ( $n = 1$ ) vychází z rovnice (9-1) poměrná vzdálenost svítidel  $(r/h)_o = \sqrt{3} \doteq 1,7$ .

Výraz (9-1) umožňuje vyšetřit i nevhodnější poměrnou vzdálenost svítidel  $(r/h)_E$  z hlediska minimálního světelného toku zdrojů světla připadajícího na 1 m<sup>2</sup> osvětlované plochy, a to dosažením  $m = 1$ . Platí tedy

$$\left(\frac{r}{h}\right)_E = \sqrt{\frac{4}{n+1}} \quad (9-2)$$

odkud pro kosinusové rozdělení svítivosti ( $n = 1$ ) vychází  $(r/h)_E = \sqrt{2} \doteq 1,4$ .

Rozdíl v hodnotách poměrných roztečí  $(r/h)_o$  a  $(r/h)_E$  zjištěných podle minima příkonu a nejmenšího měrného toku lze vysvětlit tím, že vzrůst měrného výkonu žárovek při zvětšování příkonu činí účelným přechod k výkonnějším zdrojům, tj. k určitému zvětšení vzdálenosti mezi svítily oproti výsledku z kriteria minima světelného toku.

Aby byla dodržena rovnoměrnost hladiny osvětlenosti, je třeba, aby krajní řada svítidel celkového osvětlení nebyla příliš vzdálena od stěn. Ve výrobních provozech a v místech veřejných budov, v nichž se vykonává ruční práce určité zrakové náročnosti a v nichž jsou pracoviště umístěna těsně u stěn, by tato vzdálenost neměla být větší než 1/4 až 1/3 vzdálenosti mezi řadami svítidel. V ostatních případech lze vzdálenost svítidel od stěn zvětšit na 2/5 až na 1/2 vzdálenosti mezi řadami svítidel.

Při rozmísťování svítidel vysílajících část světelného toku na strop, je zapotřebí zvolit i jejich vzdálenost od stropu vzhledem ke vzdálenosti mezi svítily, aby na stropě nevznikaly světlé skvrny.

Zářivková svítidla se, obvykle rozmísťují do plynulých nebo přerušovaných řad rovnoběžných se stěnami, resp. s okny. K zajištění rovnoměrnosti osvětlenosti podél řady svítidel nesmí vzdálenost mezi jednotlivými svítily přesáhnout 1/2 výšky zavěšení svítidel nad srovnávací rovinou. Optimální poměrnou vzdálenost  $r/h$  mezi řadami zářivkových svítidel lze s určitou přibližností stanovit z výrazu (9-2).

U zářivkových svítidel s kosinusovým rozdělením svítivosti v podélné i příčné rovině ( $n = 1$ ) je tedy  $(r/h)_o \doteq 1,4$ . V některých případech je nutné ke zlepšení rovnoměrnosti osvětlenosti umístit u krajů řad zářivkových svítidel přídatná svítidla.

S růstem doporučených hladin osvětlenosti se ve vnitřních prostorech instalují jednak větší počty svítidel a jednak vzrůstá i výkon zdrojů světla. Takto narůstá množství tepla vyvinutého v osvětlovacích zařízeních, s nímž je třeba počítat při rozboru vytápění a větrání prostoru. Tuto problematiku řeší tzv. **integrované osvětlovací soustavy**, v nichž jsou svítidla přímou součástí klimatizační soustavy daného prostoru. Výroba je zejména propracována v oblasti zářivkových svítidel, kde se současně přihlíží k udržení optimálního pracovního bodu zářivky.

## 9.5 Návrh osvětlovací soustavy a světelně technický projekt

Postup návrhu osvětlovací soustavy lze v zásadě rozdělit do pěti etap:

1. Shromáždění a studium výchozích podkladů o osvětlovaném prostoru, o jeho účelu, vybavení, provozu, o zrakové obtížnosti úkolů atd.
2. Stanovení požadavků na osvětlení a parametrů osvětlovací soustavy podle předpisů a norem
3. Vlastní návrh osvětlovací soustavy, volba zdrojů světla a svítidel, stanovení potřebného počtu svítidel a jejich rozmístění
4. Provedení kontrolních světelně technických výpočtů, zpřesnění rozmístění svítidel, kontrola rovnoměrnosti osvětlení, hodnocení oslnění, popřípadě úprava, resp. změna původního návrhu soustavy a zpracování nových ověřovacích výpočtů, až se podaří všechny sledované ukazatele splnit v předepsaných tolerancích. Vypočtené hodnoty se považují za vyhovující, neliší-li se od předepsaných hodnot o více než  $\pm 5\%$ . V této fázi může být vypracováno i několik variant návrhů osvětlovací soustavy
5. Výpočet technicko ekonomických ukazatelů a výběr optimální varianty řešení, včetně zhodnocení vedlejších účinků osvětlovací soustavy, např. zvětšení tepelné zátěže prostoru, ovlivnění akustických poměrů atd.

Osvětlovací soustava musí být vždy navržena tak, aby ji bylo možno co nejehospodárněji realizovat a poté co nejsnáze provozovat a udržovat.

Pro vypracování návrhu osvětlení jsou zapotřebí zejména tyto údaje a podklady:

- 1) půdorys a nárys stavby nebo zařízení s důležitými stavebními údaji (vchody, okna, světlíky, schody apod.)
- 2) světelně technické vlastnosti stěn a stropů osvětlovaných prostorů (provedení, povrch, barva, činitel odrazu)
- 3) vnitřní zařízení s ohledem na účel prostoru; velikost a rozmístění nábytku nebo zařízení, velikost pracovních strojů a stolů, odrazné vlastnosti povrchů vnitřních zařízení, postup a směr případného pravidelného přemísťování velkých předmětů, které by mohly vrhat stíny na osvětlované pracovní plochy, požadavky na potřebu přenosných svítidel apod.
- 4) druh práce vykonávané v jednotlivých osvětlovaných prostorech; postavení pracujících, obvyklá pracoviště, potřebná rozlišovací schopnost na jednotlivých pracovištích, tj. minimální rozměry předmětů, které je třeba rozlišovat z určité vzdálenosti
- 5) podmínky čištění a údržby svítidel; druh prostředí (nebezpečí zaprášení, znečištění, vlhka, otřesů, ohně, výbuchu)
- 6) instalace v budově (potrubí vodovodního, tepelného nebo vzduchového rozvodu, výtahy, jeřáby, větráky, komíny apod.)
- 7) upozornění na zvláštní nebezpečí (schody, stupně, otvory, prahy, příkopy, nebezpečné části strojů a zařízení atd.)
- 8) určení elektrické napájecí sítě (proudová soustava, napětí, kmitočet atd.)

- 9) požadavky na spolehlivost dodávky el. energie a rizika přerušení dodávky proudu; potřeba nouzového aj. osvětlení
- 10) údaje o nákladech na el. instalaci (kalkulační podklady, popřípadě i další potřebné technicko hospodářské ukazatele).

Součástí projektové dokumentace určitého objektu je také světelně technický projekt, který se skládá z technické zprávy a výkresové dokumentace.

V dokumentaci musí být uvedeny zejména údaje o :

- 1) výchozích podkladech
- 2) použitých světelných zdrojích a svítidlech
- 3) udržovacích činitelích a o způsobu a plánu údržby osvětlení
- 4) požadavcích na povrchovou úpravu prostoru a návrh na jeho barevné řešení
- 5) požadavcích na elektrický rozvod, zvl. členění světelných okruhů, zapojení svítidel a zdrojů do jednotlivých fází elektrického rozvodu, ovládání osvětlení, řízení provozu osvětlovacích soustav, ale také údaje o způsobu instalace svítidel
- 6) řešení pomocného, náhradního či nouzového osvětlení, pokud je požadováno.

Vzhledem k tomu, že kontrolní orgán je oprávněn požadovat doložení navržených parametrů osvětlení, je třeba mít k dispozici popis použité výpočtové metody, postup výpočtu ukazatelů, včetně výchozích údajů a výsledků a rovněž zdůvodnění a charakteristiku osvětlovací soustavy.

Výkresová dokumentace obsahuje zejména půdorysné plány osvětlovaných prostorů se zakresleným rozmístěním všech svítidel. Ve složitějších případech se kreslí i podélné a příčné řezy s vyznačením umístění, popřípadě upevnění svítidel, doplněné podle potřeby výkresem návrhu úpravy upevňovacích konstrukcí, či údaji o směřování svítidel apod. V jednoduchých případech postačuje uvést závěsnou výšku svítidel.

Do výkresové dokumentace se zakreslují i vybraná místa úkolu a směr pohledu pro hodnocení oslnění. Vyznačují se také části místnosti s odlišnými navrhovanými hodnotami osvětlenosti.

## 9.6 Údržba osvětlovacích soustav - udržovací činitel

Údržba osvětlovací soustavy podstatně ovlivňuje hospodárnost využívání navrženého osvětlovacího zařízení. V průběhu využívání osvětlovací soustavy se mění její parametry. Zejména klesá světelný tok dopadající na jednotlivá místa zrakových úkolů. Dochází však nejen ke snižování kvantitativních parametrů osvětlení, ale mění se též ukazatele kvalitativní, zvláště rovnoměrnost osvětlení, prostorové rozložení světelného toku i oslnivost soustavy. Údržba osvětlovací soustavy zahrnuje nejen čištění osvětlovacích zařízení, obnovu světelně aktivních povrchů místnosti a výměnu světelných zdrojů, předřadníků a dalších částí i svítidel, ale také udržování konstrukčních částí, těsnosti zařízení a rovněž údržbu elektrické části soustavy. Údržba osvětlení musí být řešena již ve stadiu projektu v návaznosti na údržbu a provoz celého objektu a pro údržbu musí být vytvořeny veškeré potřebné předpoklady, včetně obslužného zařízení a pomůcek. Již při návrhu osvětlení je třeba předpoklady údržby zařízení mít na zřeteli, a to také při volbě materiálu a konstrukce svítidla podle druhu a vlastností prostředí. Např. v prašném prostředí textilních provozů je třeba dát přednost svítidlům z materiálů, na nichž se nevytvářejí elektrostatické náboje, jejichž povrch je hladký a které jsou provedeny a větrány tak, aby se omezilo usedání prachu vně i uvnitř svítidla. Z hlediska údržby není výhodné zvyšovat neodůvodněně krytí svítidel, neboť vyšší stupeň krytí představuje obvykle i komplikovanější demontáž jednotlivých částí svítidel. Při rozmísťování svítidel se přihlíží k tomu, aby funkční selhání jednotlivých zdrojů nevyvolalo příliš velkou nerovnoměrnost osvětlení, která by vyžadovala rychlou individuální výměnu zdrojů.



V průmyslových provozech je výhodné připojovat svítidla buď individuálně nebo alespoň skupinově přes zásuvku, aby při individuální údržbě zůstala převážná část osvětlení v provozu. Aby se omezila pravděpodobnost výskytu poruch v obtížně přístupných místech, je výhodné např. předřadníky umístit do snadno přístupných míst.

V návrhu plánu údržby je třeba stanovit základní pravidla pro hromadné činnosti, např. pro čištění svítidel, nebo výměnu zdrojů, a sladit hospodárny interval čištění svítidel a ostatních světelně činných ploch s hospodárnou dobou života zdrojů, a to na základě technicko ekonomických propočtů.

Míru stárnutí a znečištění hlavních součástí osvětlovacího zařízení a světelně činných ploch v daném prostoru charakterizuje **udržovací činitel** označovaný písmenem  $z$ . Udržovací činitel se stanoví jako součin čtyř dílčích činitelů, a to činitele  $z_z$  stárnutí světelných zdrojů, činitele  $z_s$  stárnutí svítidel, činitele  $z_p$  znečištění ploch osvětlovaného prostoru a činitele  $z_f$  funkční spolehlivosti světelných zdrojů, tj.

$$z = z_z \cdot z_s \cdot z_p \cdot z_f \quad (9 - 3)$$

Pro činitel  $z$  platí přitom podmínka, že nesmí být menší než 0,5. Takto je v souladu s normou ČSN EN 12464-1, Změna Z1 alespoň částečně omezena energetická náročnost osvětlení.

Činitel  $z_z$  **stárnutí světelných zdrojů** se stanovuje na základě údajů výrobce nebo norem. S ohledem na krátkou dobu života bývá činitel  $z_z$  u žárovek asi 0,9, zatím co u výbojových zdrojů bývá i 0,7.

Časovou změnu činitele  $z_z$  lze popsat vztahem

$$z_z(t) = \gamma_z + (1 - \gamma_z) e^{-\frac{t}{\tau_z}} \quad (9 - 4)$$

kde  $\gamma_z$  je konstanta charakterizující průběh činitele  $z_z$

$\tau_z$  je časová konstanta průběhu stárnutí zdroje (h)

$t$  je čas (h)

Při individuální výměně zdrojů se po určité době činitel stárnutí ustálí na střední hodnotě označované  $z_{pz}$ , která se zjistí z rovnice

$$z_{pz} = \gamma_z + \frac{1}{2 t_z} (1 - \gamma_z) \cdot \tau_z \left[ 1 - e^{-\frac{2t_z}{\tau_z}} \right] \quad (9 - 5)$$

kde  $t_z$  je doba života uvažovaného zdroje (h)

Příklady orientačních hodnot veličin  $\gamma_z$  a  $\tau_z$  pro některé typy světelných zdrojů jsou hodnoty uvedeny v tab.9-2.

**Tab. 9-2** Příklady konstant charakterizujících stárnutí některých zdrojů

| Typ zdroje                   | Příkon (W) | Život (h) | $\gamma_z$ | $\tau_z$ (h) |
|------------------------------|------------|-----------|------------|--------------|
| Zářivka                      | 20         | 6000      | 0,69       | 1200         |
|                              | až         | 8000      | 0,70       | 1140         |
|                              | 65         | 12000     | 0,70       | 1120         |
| Vysokotlaká sodíková výbojka | 70         | 6000      | 0,62       | 2650         |
|                              | 150        | 8000      | 0,68       | 2050         |
|                              | 250        | 10000     | 0,69       | 1910         |
|                              | 400        | 12000     | 0,70       | 1840         |

Pro stanovení činitele  $z_s$  znečištění svítidel se dané svítidlo zařadí do určité kategorie I až VI podle tab 9 – 26 a pak se pro konkrétní míru znečištění prostoru stanoví  $z_s$  z grafů uvedených v normě ČSN EN 12464-1, Změna Z1, nebo se činitel  $z_s$  vypočte z rovnice vystihující časovou závislost této veličiny

$$z_s(t) = e^{-\tau_s \cdot t^{\gamma_s}} \quad (9-6)$$

kde  $t$  je čas v měsících  
 $\tau_s, \gamma_s$  jsou konstanty, které se zjistí z tab. 9 – 27.

Tab. 9 – 26 Kategorie svítidel pro stanovení činitele  $z_s$

| Kategorie svítidel |               | I | II                                    | III                                    | IV                        | V                         | VI            |
|--------------------|---------------|---|---------------------------------------|--|---------------------------|---------------------------|---------------|
| Kryt svítidel      | v horní části | ž | ž $\eta_{sH} \geq 15\%$<br>p o<br>s o | p o $\eta_{sH} < 15\%$<br>s o<br>n s o | p b o<br>s b o<br>n s b o | p b o<br>s b o<br>n s b o | ž<br>h<br>n s |
|                    | v dolní části | ž | ž<br>m, l                             | ž<br>m, l                              | ž<br>m                    | p b o<br>s b o            | h<br>s<br>n s |

Označení: ž - žádný    p - průhledný    n p - neprůhledný    m - mřížky  
s - průsvitný    n s - neprůsvitný    l - lamely  
h - průhledný    n h - neprůhledný    o - otvory  
b o - bez otvorů

$\eta_{sH}$  - účinnost svítidla do horního poloprostoru, tj. podíl toku vyzařovaného svítidlem do horního poloprostoru k toku všech zdrojů ve svítidle

Tab. 9 – 27 Konstanty charakterizující znečištění svítidel

| Kategorie svítidel | $\gamma_s$ | $\tau_s$ pro prostředí <sup>x)</sup> |        |          |         |               |
|--------------------|------------|--------------------------------------|--------|----------|---------|---------------|
|                    |            | velmi čisté                          | čisté  | průměrné | špinavé | velmi špinavé |
| I                  | 0,69       | 0,0068                               | 0,0128 | 0,0200   | 0,0292  | 0,0542        |
| II                 | 0,62       | 0,0710                               | 0,0146 | 0,0219   | 0,0315  | 0,0403        |
| III                | 0,70       | 0,0139                               | 0,0186 | 0,0251   | 0,0323  | 0,0414        |
| IV                 | 0,72       | 0,0117                               | 0,0219 | 0,0361   | 0,0525  | 0,0755        |
| V                  | 0,53       | 0,0209                               | 0,0343 | 0,0509   | 0,0667  | 0,0860        |
| VI                 | 0,88       | 0,0085                               | 0,0173 | 0,0245   | 0,0319  | 0,0445        |

<sup>x)</sup> Podrobněji ČSN EN 12464-1, Změna Z1

**Činitel  $z_p$  znečištění ploch** se určuje jako poměr činitelů využití osvětlovací soustavy  $\eta_k$  a  $\eta_o$  (viz odst. 13.4.2) zjištěných pro konečné ( $\rho_{ik}$ ) a počáteční ( $\rho_{io}$ ) hodnoty činitelů odrazu stropní dutiny (index  $i = 1$ ), stěn (index  $i = 2$ ) a podlahové dutiny (index  $i = 3$ ).

Konečné hodnoty  $\rho_{ik}$  uvedených činitelů se zjistí ze vztahu

$$\rho_{ik} = r_p \cdot \rho_{io} \quad (9-7)$$

kde  $r_p$  je činitel zmenšení odraznosti povrchu, pro který platí vztah

$$r_{\rho}(t) = \gamma_p + (1 - \gamma_p) \cdot e^{-\frac{t}{\tau_p}} \quad (9-8)$$

při čemž čas  $t$  je v měsících a konstanty  $\gamma_p$  a  $\tau_p$  se určí z tab. 9 – 28.  
Pro stanovení  $r_{\rho}$  jsou zpracovány [131, 108, 117] i diagramy.

Tab. 9 – 28 **Konstanty charakterizující znečištění povrchů**

| Prostředí         | velmi čisté | čisté | průměrné | špinavé | velmi špinavé |
|-------------------|-------------|-------|----------|---------|---------------|
| $\gamma_p$        | 0,848       | 0,767 | 0,701    | 0,635   | 0,571         |
| $\tau_p$ (měsíců) | 16,68       | 15,48 | 14,05    | 13,33   | 11,39         |

**Činitel  $z_{fz}$  funkční spolehlivosti zdrojů** se určuje podle údajů výrobce nebo přibližně linearizací skutečného průběhu ve dvou úsecích, a to tak, že do  $2/3$  doby života zdroje se předpokládá  $z_{fz} = 1$  a poté se uvažuje lineární snižování hodnoty  $z_{fz}$  podle vztahu

$$z_{fz} = 2 - 1,5 \frac{t}{t_z} \quad (9-9)$$

kde čas  $t$  se mění od  $(2/3) \cdot t_z$  až do  $(4/3) \cdot t_z$ . Pro  $t = t_z$  je  $z_{fz} = 0,5$  a pro  $t \geq (4/3) \cdot t_z$  je už  $z_{fz} = 0$ .

Uvažuje se tedy, že při dovršení doby života  $t_z$  zdrojů je ještě polovina zdrojů v provozu.

Je výhodné volí-li se jednotlivé intervaly údržby tak, aby se buď shodovaly nebo, aby delší interval byl násobkem intervalu kratšího. Ideálně by měla být hodnota udržovacího činitele a dílčí intervaly údržby stanoveny na základě technicko ekonomické optimalizace.

Ve větších objektech nestačí, aby předpisy pro provoz a údržbu osvětlovacích zařízení obsahovaly jen pravidla pro obsluhu osvětlení, pracovní postupy jeho údržby a způsoby zajištění bezpečnosti, ale musí zahrnovat i způsob likvidace odpadu (zejména vyřazených světelných zdrojů a další součástí osvětlovacího zařízení) a rovněž termíny revizí a kontrolních měření a též způsob evidence stavu osvětlovacích soustav.

Velmi důležitou okolností pro uskutečnění pravidelné údržby osvětlovacího zařízení je, aby byl k jednotlivým součástem osvětlovací soustavy, zejména pak ke svítidlům snadný přístup. Jen výjimečně lze provádět údržbu osvětlení ze země. Většinou musí být předem připravena a v rámci výstavby objektu zajištěna vhodná obslužná zařízení (pracovní plošiny, lávky, různé konstrukce, popřípadě žebříky atd.), která by v daném prostoru co nejméně ovlivňovala technologický proces, ať již jakýkoliv.

Pracovníci, kteří provádějí údržbu osvětlení, provádějí práce na elektrickém zařízení a musí tudíž splňovat potřebný stupeň odborné způsobilosti. Většinou jde též o práce ve výškách, pro něž platí rovněž zvláštní předpisy. Snahou by mělo být práce ve výškách omezovat, zejména ve velkých objektech a podnicích. Proto například se čištění spojuje s opravami a provádí se výměnným způsobem, tj. demontované zařízení se nahradí čistým a předem připraveným a vyzkoušeným. Čištění a opravy se provádí v dílně, resp. na vhodném umývacím zařízení. V takovém případě je výhodné připojení svítidel na zásuvky a jejich připevnění na lehce odpojitelných závěsech. Vždy však musí být k dispozici dostatek náhradních světelných zdrojů, svítidel a dalších potřebných náhradních dílů.

Při výměně světelných zdrojů je možno aplikovat skupinovou nebo individuální výměnu. Skupinová výměna zdrojů dovoluje dosáhnout vyšší produktivity práce pracovníků údržby, neboť se po uplynutí hospodárné doby života vymění všechny zdroje. Většinou je však nutno provádět i individuální výměnu, neboť výpadkem určitých zdrojů bývá většinou narušena rovnoměrnost osvětlení i podmínky pro dosažení potřebného zrakového výkonu a zrakové pohody. Skupinová výměna zdrojů je nevýhodná zejména u zdrojů velkého příkonu, které jsou instalovány v soustavách s velkou roztečí a jsou drahé. Při skupinové výměně, které v těchto případech nutně musí předcházet výměna individuální, by došlo k tomu, že by se vyměňovaly i některé zdroje po relativně krátké době provozu a to by bylo velmi nákladné.

Pro kontrolu zdrojů, svítidel, předřadných přístrojů, zapalovacích systémů, je účelné mít k dispozici vhodné přenosné diagnostické měřicí přístroje, které bez komplikovaných zásahů do svítidla, či zařízení umožní snadno prověřit jeho parametry. Jde například i o takové pomůcky, které umožní zjistit proud nakrátko předřadných tlumivek. Tato pomůcka je zkonstruována tak, že se našroubuje do svítidla místo výbojky, přičemž izolovaná smyčka, uzavírající dokrátka obvod s tlumivkou, umožňuje nasazení klešťového ampérmetru a tak lze jednoduše ověřit správnou funkci tlumivky a ušetří se případně světelný zdroj, k jehož zničení by došlo, kdyby byla tlumivka vadná.

## 9.7 K osvětlování některých typů interiérů

Vnitřní prostory představují pro osvětlovací techniku velmi rozsáhlou aplikační oblast. Rozličnost interiérů je dána jejich stavebním provedením a rozměry, účelem, vybavením a využitím, ale také rozdílnými požadavky na zrakový výkon a zrakovou pohodu, světelné technickým řešením prostředí, parametry osvětlovacích soustav i dalšími okolnostmi. Z těchto hledisek je například možné hovořit o osvětlování průmyslových prostorů, administrativních budov, obytných budov, škol, objektů ve zdravotnictví, společenských prostorů, muzeí, galerií a výstavních prostorů, veřejných prostorů v obchodu a ve službách, ubytovacích a stravovacích prostorů, vnitřních prostorů v dopravě, zemědělských prostorů v živočišné a rostlinné výrobě, vnitřních sportovišť, ale také hlubinných dolů a dalších objektů.

V rámci omezeného rozsahu předkládané učební pomůcky není možné věnovat pozornost jednotlivým zmíněným oblastem podrobněji. Proto byly probrány všeobecné zásady osvětlování interiérů, při jejichž správné aplikaci a dodržení předepsaných parametrů lze zajistit kvalitní osvětlení i v dané konkrétní situaci. V některých případech je třeba respektovat určité zvláštní požadavky. Jde např. o zdravotnická zařízení, některé zemědělské provozy, hlubinné doly a další. Většinou jsou pro tyto prostory vypracovány buď přidružené normy, či speciální směrnice, k nimž je nutno při zpracování návrhu osvětlení těchto prostorů přihlížet.

Na závěr této kapitoly uvedme ještě jen několik poznámek k problematice osvětlování některých konkrétních interiérů:

Daleko větší pozornost než dosud bude třeba věnovat osvětlování bytů, a to jak z hlediska zlepšení jakosti osvětlení obytných prostorů, zvláště v oblasti využití světla a vhodných svítidel při tvorbě příjemného, esteticky působícího prostředí, tak také z hlediska reálných úspor elektrické energie na osvětlování. Uvědomíme-li si, že člověk v bytě stráví až asi 60% času, zatím co v pracovním prostředí asi 25%, zřejmě si bytové prostory zaslouží, aby nebyly na okraji našeho zájmu. Pro vykonávání zrakově náročnějších prací (např. příprava jídel, školní příprava, studium, čtení) je třeba zajistit hladiny osvětlenosti  $E_{pk} = 300 \text{ lx}$  a pro zrakově velmi náročné práce (např. vyšívání, rýsování, ale i u běžnějších prací, které vykonávají starší osoby) hladiny ještě vyšší, např.  $500 \text{ lx}$ . Takových osvětleností většinou dosahujeme kombinovaným osvětlením při využití zářivkových svítidel, ať již s lineárními nebo kompaktními zářivkami.

V doporučení Světové zdravotnické organizace se pro celkové osvětlení obytných místností sice uvádějí hodnoty pouze  $50 \text{ lx}$ , stejně jako u ložnic, ale předpokládá se podle potřeby jeho

doplnění vhodným variabilním místním přisvětlením, např. v ložnicích v čele postelí alespoň na 150 lx atd. Pro koupelny se ve zmíněném doporučení uvažuje s hladinou 100 lx (při možnosti přisvětlení zrcadla) a pro před síně, haly a schodiště se uvádí průměrná osvětlenost 150 lx.

Na osvětlení bytových prostorů se však kladou i poměrně velké estetické požadavky, jejichž splnění je podmínkou vytvoření celkové příjemné pohody. Osvětlovací soustava musí být dostatečně proměnlivá a přizpůsobivá okamžitým činnostem či potřebám. Nutná zvýšení hladiny osvětlenosti, popřípadě úpravu či zvýraznění převažujícího směru dopadu světla je třeba zajistit bez narušení kontrastů a bez oslnění místním osvětlením. Je třeba mít na zřeteli, že pokud jde o osvětlení, souvisí estetický vzhled prostoru s barevnou úpravou prostředí (světlé barvy - bílá, světle žlutá, světle modrá, světle zelená, odráží více než 70% dopadlého světla a tudíž místnosti zesvětluje; žlutá a zelená barva zlepšují vidění a snižují zrakovou únavu atd.), ale také s rozložením jasů, s jejich kontrasty, s tvorbou stínů i s místní a časovou proměnlivostí osvětlení. Abychom si lépe uvědomili, jak významně může světlo přispět k vytvoření atmosféry vhodné pro určitou (oddychovou či pracovní) činnost postačí, představíme-li si jak rozdílně na nás působí obývací pokoj osvětlený centrálním lustrem v porovnání s tím, když takový prostor osvětlíme nepřímým osvětlením (k vytvoření oddechového prostředí), nebo když při stolování zvýšíme vhodně umístěným svítidlem osvětlení jídelního stolu a podávaných pokrmů. Je vždy jen třeba co nejlépe sladit praktické potřeby s estetickými hledisky, přičemž ovšem nelze opominout ani požadavky energetické a ekonomické.

Při osvětlování ve školách s celodenním provozem je třeba věnovat největší pozornost učebnám, kde jsou z hlediska zrakové zátěže významná dvě místa, a to tabule (která bývá od očí žáka zpravidla vzdálena minimálně 2,2 m) a pracovní plocha lavic či stolků (vzdálená od očí žáka asi 30 až 40 cm). Výzkumy zrakové zátěže ukázaly, že nejnáročnější je dynamické namáhání adaptačního zrakového systému vlivem vyrovnávání jasových kontrastů na zmíněných plochách pozorování. Proto je snahou přisvětlováním tabule docílit buď rovnováhy, či mírného kontrastu (1:3) jasů tabule a pracovní plochy (např. bílého linkovaného papíru) na lavici. Přípustný je, ještě tento kontrast 1:5, ale kritický je již poměr 1:10. Nátěr tabule musí být matný, aby se odstranilo zrcadlení oken a svítidel.

Je-li činitel odrazu černé čisté tabule asi  $\rho = 0,04$  a bílého linkovaného papíru asi  $\rho = 0,9$  a předpokládá-li se na obou plochách stejný charakter odrazu (např. difúzní), pak k docílení poměru jasů tabule ( $L_1$ ) k papíru ( $L_2$ )  $L_1 : L_2 = 1 : 3$  je zapotřebí zvětšit osvětlenost vertikální plochy tabule ( $E_1$ ) oproti osvětlenosti přibližně horizontální plochy papíru ( $E_2$ ) 7,5 krát, neboť

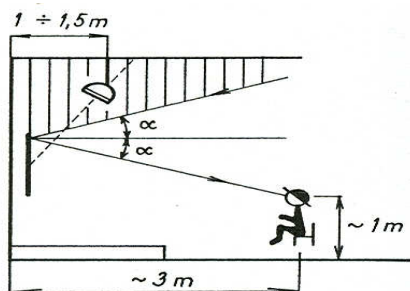
$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1} \frac{L_1}{L_2} = \frac{0,9}{0,04} \frac{1}{3} = 0,75$$

U zelené čisté tabule s činitelem odrazu  $\rho = 0,18$  by stačilo zvýšit její osvětlenost k dosažení kontrastu 1:3 pouze 1,6 krát. Při stejné osvětlenosti zelené tabule a papíru na lavici se docílí ještě přípustného kontrastu  $L_1 : L_2 = 1 : 5$ . Kontrast jasů stěny v okolí tabule a jasů tabule může být asi 10:1. Za zelenou tabulí může tedy být stěna mnohem světlejší. I z tohoto hlediska se jeví zelená tabule příznivěji. Mezi povrchem lavice (stolu) a papíru (či sešitu) mohou být poměry jasů asi 1 : 4 až 1 : 2.

Osvětlení v učebnách musí být zásadně řešeno celkovou soustavou osvětlení. Jen v některých zvláštních případech se ještě doplňuje místním osvětlením. Místně průměrná a časově minimální osvětlenost na lavicích v běžných učebnách má být [131]  $E_{pk} = 300 \text{ lx}$ , v kreslárnách, rýsovnách, většinou postačuje  $500 \text{ lx}$ , i když v řadě zemí se požadují hladiny i  $1000 \text{ lx}$ . Při promítání diapozitivů či filmů se hladina osvětlenosti může pochopitelně podstatně snížit; je však třeba přihlídnout k tomu, budou-li si žáci při promítání psát poznámky.

Kromě tabule je ve specializovaných učebnách světelně též třeba zdůraznit vertikální plochy předváděcích a demonstračních stolů, popříp. samotného učitele vyššími hladinami osvětlenosti než je průměrná osvětlenost v učebně, a to přisvětlením vhodnými, např. stropními, svítidly.

Svítlidla k přisvětlení tabule musí být umístěna tak, aby byla tabule co nejrovnoměrněji osvětlena, aby svítidla žáky neoslňovala a aby se tabule při pohledu z kterékoliv místa v učebně neleskla. Tomu vyhovuje umístění svítidel ve vyšrafované části prostoru v obr.9-16, neboť tehdy ani nejbližší sedící žák nevidí odlesky míst při horní hraně tabule.



Obr.9 – 16

Nejčastěji se učebny osvětlují souvislými nebo přerušovanými řadami zářivkových (v určité výši zavěšených nebo stropních) svítidel, která mají rozptylný kryt, popřípadě příčné clonky, parabolické mřížky apod. a jsou umístěna rovnoběžně s okenní stěnou, a to nad levou hranou lavic či stolů, aby se svítidla nemohla viditelně zrcadlit v pracovní rovině. Je důležité, aby jednotlivé pásy byly samostatně ovladatelné, aby se mohl postupně eliminovat úbytek denního světla na lavicích, které jsou umístěny dále od oken.

V učebnách, v nichž se předpokládá široké využití netradičních metod výuky, kde žáci budou pracovat v často se měnících a různě umístěných skupinkách, ztrácí výrazné směřování světla svůj význam. V takových učebnách se zajišťuje poměrně rovnoměrné osvětlení po celé ploše půdorysu, např. svítícími stropy. V některých případech se aplikuje i kombinované osvětlení.

Ve zdravotnických zařízeních musí osvětlení vytvářet dokonalou zrakovou pohodu současně pro nemocné i pro ošetřující a přitom pro lékaře a zdravotnický personál musí zajistit optimální podmínky i z hlediska často velmi náročných zrakových úkolů.

Svým způsobem je obdobná i situace v obchodních, stravovacích, kulturních a společenských zařízeních, kde se osvětlení řeší jako pracovní pro zaměstnance, kteří v těchto prostorech setrvávají po celou pracovní dobu, a jako užité, architektonicky a esteticky určitým způsobem laděné pro návštěvníky, kteří v těchto místech pobývají relativně krátce. Světlo by mělo v těchto případech skutečně přispět k tvorbě prostředí, odpovídající atmosféry a k dosažení zrakové pohody, přičemž by současně mělo vhodně usměřňovat pozornost návštěvníka.

V obchodech by mělo světlo napomáhat prodeji, nabízet zboží, ulehčovat jeho výběr, např. zvýrazněním některých prvků směrovým osvětlením, a potlačení jiných částí jejich osvětlením difúzním světlem atp. Je zřejmé, že osvětlovací soustava se v těchto případech musí navrhovat pro zcela určité rozmístění vybavení a umístění určitého prodávaného zboží.

Ve výstavních sálech, v galeriích a v muzeích je třeba soustředit pozornost návštěvníků na vystavované exponáty a dosáhnout toho, aby co nejlépe vynikla plastičnost a kolorita vystavovaných prací a uměleckých děl. Často značné hodnoty exponátů umístěných ve výstavních prostorech však také vyžadují zajistit, aby exponáty, zvláště pak malby, nebyly nevhodným denním, či umělým osvětlením poškozeny. Světlo, ale i infračervené a zejména ultrafialové záření vyvolávají v malbách různé fyzikální a chemické procesy, které mohou postupně vést až k jejich trvalému poškození. Proto se většinou požaduje omezit jak dobu, po kterou jsou exponáty osvětlovány, tak také hladinu osvětlenosti na jejich povrchu. Doporučuje se, aby hladiny osvětlenosti dosahovaly u velmi citlivých látek a maleb (např. akvarely, tisky, perokresby, některé textilie apod.) jen 50 lx, u citlivých materiálů (gobeliny, textilie, nástěnné malby aj.) 100 lx, u středně citlivých látek (např. olejomalby, tempery, přírodní kůže, rohoviny) 200 lx a u málo citlivých maleb (keramika, mosaika, skla, smalty, kovy apod.) 300 lx. Z uvedeného je zřejmé, že návrh osvětlení výstavních prostorů musí být určitým kompromisem mezi snahou o dosažení co nejlepšího zrakového vjemu vystavovaných exponátů a požadavky na jejich bezpečnost.