

8. NEJDŮLEŽITĚJŠÍ ZÁSADY OSVĚTLOVÁNÍ

Cílem osvětlení určitého prostoru je vytvořit v něm v souladu s jeho určením co nejpríznivější 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.

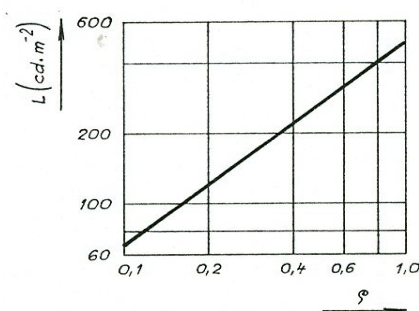
K **nejdůležitějším zásadám**, kterých je třeba dbát při **návrhu osvětlení** proto patří zejména:

	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

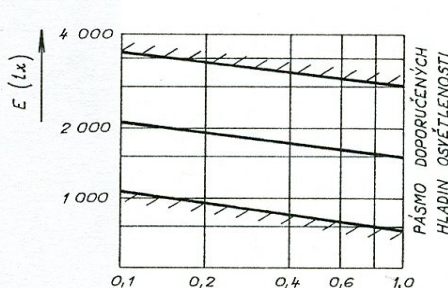
8.1 Hladiny jasů a osvětleností

Hladiny jasů a osvětleností mají být v souladu s řešením světelného prostředí v celém uvažovaném prostoru přiměřené předpokládané zrakové činnosti, neboť při nedostatečných úrovních jasů a osvětleností 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 cd.m⁻², kterému odpovídá osvětlenost vodorovné roviny cca 20 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 cd.m⁻², což vyžaduje osvětlenost vodorovné roviny nejméně 200 lx. Tato hladina osvětlenosti se považuje za minimální hodnotu osvětlenosti v pracovních prostorech. Proto se také hladiny osvětlenosti pod 200 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 osvětleností i 1000 až 2000 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 lx. Horní hranice vychází přibližně pro činitele odrazu pracovní plochy 0,15 a její jas 1000 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 vztahu

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

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

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

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 téže 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 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 *) 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 úhlu na srovnávací rovině [příklad viz tab. 8-4]. Pod tyto hladiny nesmí průměrná osvětlenost v každém místě zrakového úhlu v průběhu provozu soustavy nikdy poklesnout.

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

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

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

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

Osvětlení východů a vchodů bez náhlých změn hladin osvětlenosti.

²⁾ R_a a UGR_L podobné jako u přilehlých prostorů.

³⁾ Při používání displejů respektovat i další požadavky.

⁴⁾ Regulovatelné osvětlení.

⁵⁾ Zamezit zrcadlovým odrazům.

⁶⁾ $T_{cn} > 5\,000\text{ K}$.

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 retušera 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 rozptýlně odražejících, aby se předem bránilo vzniku neúměrných jasů v nežádoucích směrech a tedy vzniku oslnění odrazem.

Pro soustředění při práci je nejúčelnější 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)	≥ 750	500	300	≤ 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⁻², nezávisí již tato hodnota prakticky na jasů pracovní plochy ani na průměrné osvětlenosti místnosti. Při průměrné osvětlenosti vodorovné roviny v oblasti 500 až 2000 lx se jako optimum doporučuje hodnota jasů stěn 100 cd.m⁻². 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 jasů svítidla a světlého stropu, a to zvláště při menších výškách místností. Často zlepši situaci použití svítidel, která do horního poloprostoru vyzařují 10 až 20% světelného toku. Obtížněji se docílí zvýšení jasů 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 jasů stropu k jasů 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 jasů, resp. barev kritického detailu a jeho bezprostředního okolí, ale malé kontrasty jasů velkých ploch v pozadí a okolí. Optimální poměr jasů místa úkolu k jasů bezprostředního okolí a k jasů 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 připouští 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 jasů, 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 jasnem) 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 jasnému 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 jasnému mdlené žárovky 200 W), zatímco při umělém osvětlení může být pozorovatel absolutně oslněn i jasnem 3000 cd.m^{-2} , popřípadě ve velmi tmavém prostředí též pouze jasnem 1000 cd.m^{-2} .

Podle příčiny oslnění se kromě absolutního oslnění rozlišují oslnění přechodové, oslnění kontrastem a závoje oslnění. **Přechodové oslnění** nastává při náhlé změně jasného pole, poněvadž adaptace zraku nemůže proběhnout současně se změnou jasného, 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 jasného 1:10; oslnění nastává, překročí-li poměr jasného 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 jasného 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, dešť, mlha. Větší jas závoje nutí zrak k adaptaci na vyšší úroveň jasného, než jaká odpovídá jasnému 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° 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 zpracováváním 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.

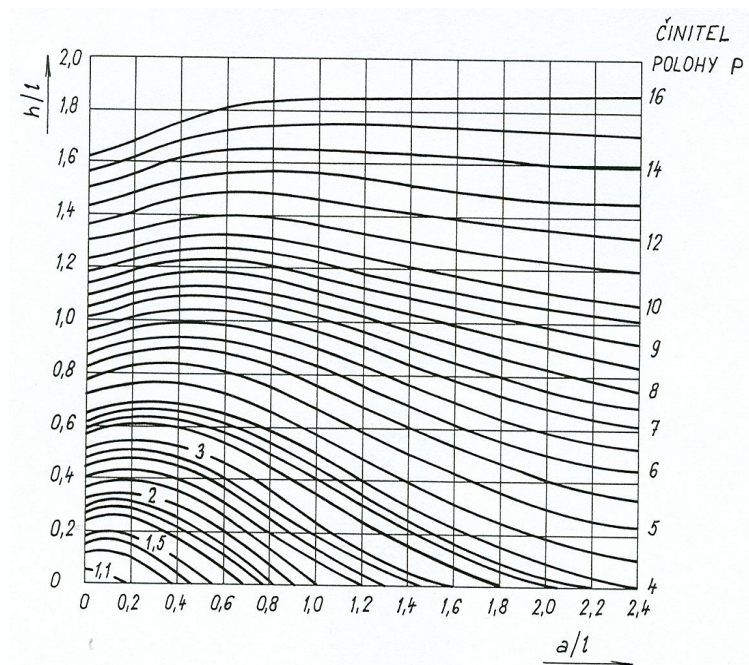
První způsob hodnocení oslnění byl založen na **výpočtu činitele oslnění G** (popřípadě **indexu oslnění**) na základě různě modifikovaného empirického vzorce vycházejícího z úvahy, že stupeň oslnění je tím vyšší, čím je vyšší jas L_z oslňujícího zdroje (ve směru ke kontrolnímu místu) a čím větší je prostorový úhel Ω , 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

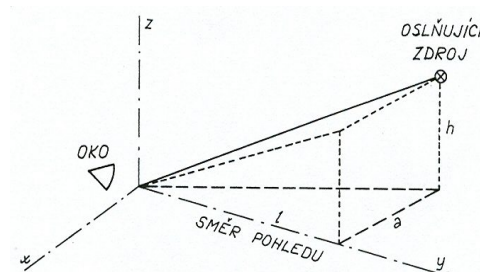
$$G = \frac{(L_z)^a \cdot \Omega^b}{(L_p)^c \cdot P^d} \quad (-; \text{cd.m}^{-2}, \text{sr}, \text{cd.m}^{-2}) \quad (8-4)$$

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

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



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



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

Pozn. Činitel 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 poloprostoru. V těchto případech nelze metodu UGR použít.

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

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

kde L_p je adaptační jas oka pozorovatele či jas pozadí (cd.m^{-2}),

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

Ω_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.9-6),

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 Ω (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

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

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 (9-9) 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 Ω , pod kterým pozorovatel vidí oslňující svíticí plochu svítidla nebo její část, se vypočte ze vztahu

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

kde A_{psv} je průmět svíticí 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 svíticích ploch se běžně počítají ze svítivosti I_γ 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 nej přísnějšími 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 _L ($GI_{s \max}$)
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 :

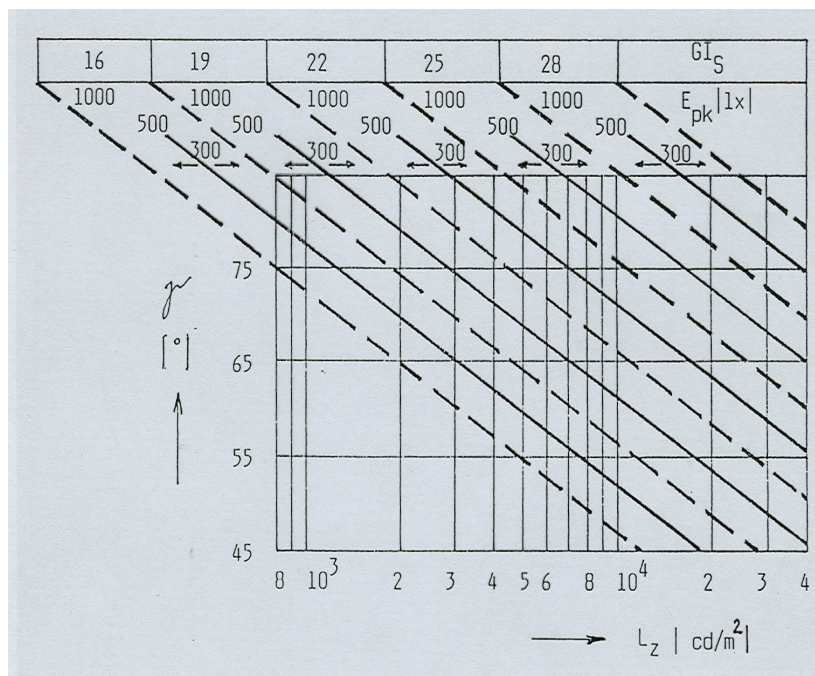
- s jedním typem svítidel v pravidelném uspořádání
- při převážně vodorovném směru pohledu
- v prostorech s činitelem odrazu stropu min. 0,5 a stěn, resp. zařízení místnosti alespoň 0,25.

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 pravoúhlý 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 Söllerovy 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 pravoúhlé 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 jasnem,
- všude, kde je to možné využívat rozptýlné, 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° až 50° 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 (lx)	Tón barvy světla zdroje		
	teple bílý	neutrálně bílý	chladně bílý (denní)
	osvětlení působí		
do 700	příjemně	nevýrazně dojem monotónnosti	studeně dojem nedostatku světla
700 až 3000	příjemně	příjemně	neutrálně
nad 3000	nepřirozeně dojem přesvětlení	příjemně 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 výbojky halogenidové
> 5300	chladně bílý (denní)	zářivky (denní), výbojky rtuťové čiré 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 ^{*)}		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 chladně bílý (denní)	velmi vysoké	klinická diagnostika, obrazové galerie, polygrafie
2	1B	$80 \leq R_a < 90$	teple bílý neutrálně bílý	vysoké	byty, hotely, restaurace, obchody, nemocnice
			neutrálně bílý chladně bílý (denní)		tiskárny, textilní průmysl, kanceláře, školy, sportoviště
3	2	$60 \leq R_a < 80$	teple bílý neutrálně bílý 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

^{*)} 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 zpravidla vyžadují i zajištění vyšších hladin osvětlenosti. Pro přesné porovnávání a reprodukci barev je nutno použít zdrojů, jejichž světlo je charakterizováno (náhradní) teplotou chromatičnosti $T_n \geq 6500 \text{ K}$ a indexem barevného podání $R_a \geq 90$ a přitom se požaduje místně průměrná hladina osvětlenosti $\geq 1000 \text{ lx}$.

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 $300 \text{ až } 1500 \text{ lx}$ 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 $150 \text{ až } 500 \text{ lx}$ 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 Směrovost a stínivost osvětlení

Směrovost je vlastnost osvětlení, která charakterizuje převažující směr světla v daném místě prostoru. Směrovost je určena světelným vektorem. S ohledem na geometrické a fotometrické parametry pozorovaných předmětů je nutné směrovost 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 závalu, 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 docílí 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 $\vec{e}$. 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

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

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 $\vec{P}$ je určen orientovaným směrem světelného vektoru $\vec{e}$. Ten lze popsat např. úhly ψ a ϑ , přičemž úhel ψ svírá vektor $\vec{e}$ s vodorovnou rovinou proloženou osou pohledu pozorovatele a úhel ϑ svírají svislé roviny proložené osou pohledu a vektorem $\vec{e}$.

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 $\vec{P}$ 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 $\vec{e}$ určeném úhly ψ a ϑ v mezích $\psi = 15^\circ$ až 45° a $\vartheta = 30^\circ$ až 120° . 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 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 $(E_h / E_c)^3 \geq 2$. 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.