

Měření a hodnocení světelně technických veličin

Autor: Ing. Vít Klein a kol., MARTIA a. s., Mezní 2854/4, 400 11 Ústí nad Labem

Anotace: Publikace obsahuje základní zásady pro měření a hodnocení světelně technických veličin

Publikace je určena pro poradenskou činnost a je zpracována v rámci Státního programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie pro rok 2004 - část A.

Publikace je určena uživatelům osvětlovacích soustav, pracovníkům v energetice a energetickým konzultantům.

Rok vydání: 2004

Obsah:

- 1. Úvod**
- 2. Legislativa**
- 3. Měření umělého osvětlení**
- 4. Hospodárnost provozu osvětlovacích soustav**
- 5. Základní světelně technické pojmy a veličiny**
- 6. Světelné zdroje**
- 7. Teplotní zdroje**
- 8. Zářivky**
- 9. Vysokotlaké výbojky**
- 10. Svítidla**
- 11. Požadavky na osvětlovací soustavy**
- 12. Osvětlování vnitřních prostorů**
- 13. Osvětlování venkovních prostorů**
- 14. Přehled typů světelných zdrojů**
- 15. Doporučené postupy energetického auditora při hodnocení osvětlovacích soustav**
- 16. Závěr**

1. Úvod

V novele vyhlášky č. 213/2001 Sb. o podrobnostech náležitostí energetického auditu, která byla publikována ve Sbírce zákonů pod číslem 425/2004 Sb. byl doplněn v § 4 odstavec 15 v tomto znění:

„U osvětlovacích soustav se skutečný stav světelně technických parametrů, zejména intenzita osvětlení, rovnoměrnost osvětlení, jasové poměry zjišťuje převážně na hodnocení provozu osvětlovací soustavy z hlediska hygienických požadavků, navrhnou se opatření k úspornému nakládání s energií pro osvětlování a posoudí se energetická náročnost osvětlovací soustavy.“

Tento požadavek vyvolává potřebu objasnit energetickým auditorům širěji problematiku osvětlení a osvětlovacích soustav tak, aby byli při zpracování energetických auditů schopni správně aplikovat legislativní požadavek ve vztahu k identifikaci stavů ne hospodárnosti. Cílem předkládaného produktu tedy je popis základních principů uplatňovaných při realizaci osvětlovacích soustav.

2. Legislativa

Legislativa v oblasti osvětlování je odvozena zejména z díky zákona č. 258 ze dne 14. července 2000 o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů a jemu podřazených předpisů, zejména:

- Vyhlášky Ministerstva zdravotnictví č. 107/2001 Sb. o hygienických požadavcích na stravovací služby a o zásadách osobní a provozní hygieny při činnostech epidemiologicky závažných (§ 7),
- Vyhlášky Ministerstva zdravotnictví č. 108/2001 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na prostory a provoz škol, předškolních zařízení a některých školských zařízení (příloha č. 3 k vyhlášce).

V oblasti **technické normalizace** je osvětlování upraveno zejména normami:

IEC 600500 (845)	Mezinárodní elektrotechnický slovník
EN 60064	Žárovky pro domácnosti a obdobné osvětlovací účely
EN 60081	Zářivky pro všeobecné osvětlování
EN 600901	Jednopaticové zářivky
EN 60969	Zdroje světla s integrovanými předřadníky určené pro všeobecné osvětlování
CIE 84	Měření světelného toku
ČSN EN 50285 (36 0510)	Energetická účinnost elektrických světelných zdrojů pro domácnost – metody měření
ČSN 38 0450	Umělé osvětlení vnitřních prostorů
ČSN 36 0020-1	Sdružené osvětlení
ČSN 73 0580-1	Denní osvětlení budov. Část 1: Základní požadavky
ČSN 73 0580-4	Denní osvětlení budov. Část 4: Denní osvětlení průmyslových budov
ČSN 36 0020	Sdružené osvětlení
ČSN 36 0410	Osvětlení místních komunikací

ČSN 36 0400	Veřejné osvětlení
ČSN 36 0011	Měření osvětlení vnitřních prostorů
ČSN EN 12464-1	Umělé osvětlení vnitřních prostorů
ČSN EN 60598	Svítlidla
ČSN EN 60598	Světlo a osvětlení
Vyhláška č.108 Sb.	Hygienické požadavky na prostory a provoz škol, předškolních zařízení a některých školských zařízení a jiné hygienické předpisy

3. Metodika měření umělého osvětlení

Metodika vychází ze dvou základních norem:

ČSN 36 0011-1 *Měření osvětlení. Část 1: Základní ustanovení*,
ČSN 36 0011 -3 *Část 3: Měření osvětlení*.

Metodika v podstatě obsahuje několik základních částí, které je nutné zpracovat jako podklad pro vypracování protokolu z měření:

I. Úvod do měření:

- důvod měření,
- definice jednotlivých částí osvětlovací soustavy,
- výchozí předpisy a normy.

II. Všeobecné údaje:

- místo a měřený prostor,
- jméno organizace, která měření provedla,
- datum provedení měření,
- čas provedení měření,
- teplota měřeného prostoru
- vlhkostní poměry.

III. Měřicí přístroje:

- typ a výrobce měřícího přístroje,
- údaje o korekci fotočlánku,
- údaje o kosinovém nástavci,
- datum posledního cejchování akreditovanou laboratoří,
- ostatní měřicí přístroje a jejich specifikace.

IV. Charakteristika měřeného prostoru:

- zatřídění prostoru dle ČSN 36 0450,
- druh a způsob práce,
- předepsané hladiny osvětlení,
- přípustná rovnost+ranost osvětlení,
- základní parametry měřeného prostoru.

V. Elektrotechnické údaje:

- proudová soustava,
- napětí osvětlovacích soustav,
- proudová sazba odběratele,
- členění obvodů,
- ovládání obvodů, regulace

VI. Charakteristika prostoru:

- barva stěn, stropu a podlahy,
- činitel odraznosti, stav povrchu, typ konstrukce stěn, stropu a podlahy.

VII. Světelné zdroje:

- typ světelných zdrojů,
- teplota chromatičnosti zdrojů,
- počet a příkon světelných zdrojů ve svítidlech,
- jmenovité napětí světelných zdrojů.

VIII. Naměřené údaje.

IX. Vyhodnocení naměřených údajů.

Měření umělého osvětlení, které prokazuje splnění požadovaných parametrů je oprávněna provádět dle platné legislativy pouze autorizovaná osoba dle požadavků zákona č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví nebo akreditovaná osoba dle zákona č. 22/1997 Sb.

K vlastnímu měření je samozřejmě možné používat pouze měřicí techniku, která splňuje příslušné legislativní požadavky.

Pro vlastní měření umělého osvětlení dle ČSN 36 0011 je třeba splnit zejména tyto základní podmínky:

- měření provádět až po vyloučení denní složky osvětlení
- osvětlovací soustava musí být provozně ustálená s minimálním provozem v délce 100 hodin
- měřený prostor musí být vybaven zařízením (nábytek, stroje apod.)
- měření se provádí na tzv. pracovní ploše, na které podává pracovník zrakový výkon a jeho okolí
- naměřené hodnoty se vyhodnocují podle ukazatelů uvedených v ČSN 12464-1, v případě školních a předškolních zařízení podle vyhl. č. 108/2001 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na prostory a provoz škol, předškolních zařízení a některých školských zařízení.

4. Hospodárnost provozu osvětlovacích soustav

Hospodárnost provozu osvětlovacích soustav dosáhneme tím, že s minimem spotřebované energie zajistíme potřebnou úroveň a zrakovou pohodu.

Zásady hospodárného provozu osvětlovacích soustav:

- minimalizace spotřeby energie,
- dosažení přiměřené úrovně osvětlenosti na pracovní ploše,
- neosvětlování prostor, které to nevyžadují,
- zajištění přiměřené intenzity osvětlení,
- správná volba zdroje,
- udržování osvětlovacích soustav v čistotě, minimalizace nákladů na vyprodukované světlené množství,
- důsledné využívání denního osvětlení,
- využívání zdrojů světla s vysokým měrným výkonem,
- fungující regulace osvětlovacích soustav,
- přizpůsobení osvětlení potřebám uživatele.

Z uvedených aspektů je patrné, že zajištění hospodárnosti při provozu osvětlovacích soustav vyžaduje aplikaci systémových manažerských postupů.

Velmi důležitá je samozřejmě technická stránka, tj. použití ekonomicky shodných zdrojů osvětlení a správná aplikace regulačních prvků osvětlovacích soustav, stejně jako využívání principu místního osvětlování.

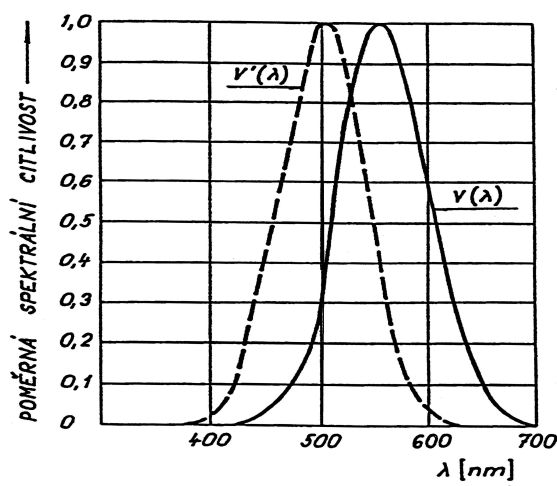
Při řízení provozu osvětlovacích soustav je velmi důležitá i organizační složka řízení, neboť bez správného působení lidského faktoru vesměs nelze předpokládat hospodárny provoz soustavy.

Pravidelné vyhodnocování nákladů na provoz osvětlovací soustavy samozřejmě patří rovněž k základním zásadám hospodárnosti.

5. Základní světelně technické pojmy a veličiny

Pro vidění není důležitá celková energie dopadající do oka pozorovatele za určitou dobu, ale rozhodující je energie přenesená zářením za jednotku času, tedy výkon přenášený zářením, tj. **zářivý tok** $\Phi_e(\lambda)$ [W].

Část spektra elektromagnetického záření v oblasti vlnových délek 380 - 770 nm, která je schopna vyvolat zrakový vjem, se nazývá viditelné záření. **Světlem** se ovšem viditelné záření stává až po zhodnocení zrakem pozorovatele v závislosti na jeho rozdílné citlivosti k záření různých vlnových délek. A právě na principu zhodnocení záření podle spektrální citlivosti oka jsou založeny veličiny, s nimiž se pracuje ve světelné technice. Spektrální citlivost jednotlivých pozorovatelů se ovšem liší. Proto bylo v rámci Mezinárodní komise pro osvětlování dohodnuto při výpočtech a měřeních využívat spektrální citlivosti tzv. **normálního fotometrického pozorovatele**. Průběhy poměrné spektrální citlivosti tohoto pozorovatele při fotopickém [křivka $V(\lambda)$] a skotopickém [křivka $V'(\lambda)$] vidění jsou nakresleny na obr.1-1.



Obr.1-1

Poměrná spektrální citlivost normálního fotometrického pozorovatele $V(\lambda)$ při denním vidění $V'(\lambda)$ při nočním vidění.

Zářivý tok Φ_e zhodnocený zrakem normálního fotometrického pozorovatele se nazývá **světelný tok** Φ . Jednotkou světelného toku je 1 lumen [lm].

Při fotopickém vidění platí pro záření jediné vlnové délky λ mezi zářivým a světelným tokem vztah

$$\Phi(\lambda) = K_m \cdot V(\lambda) \cdot \Phi_e(\lambda) \quad (lm; lm \cdot W^{-1}, -, W) \quad (1-1)$$

kde K_m je maximum světelné účinnosti záření. Při denním vidění a základní vlnové délce $\lambda_m = 555$ nm je $K_m = 683 \text{ lm} \cdot W^{-1}$,

$V(\lambda)$ je poměrná hodnota světelné účinnosti záření vlnové délky λ rovná poměrné spektrální citlivosti normálního fotometrického pozorovatele při denním vidění.

Zářivému toku $\Phi_e(\lambda) = 1 \text{ W}$ o vlnové délce 555 nm odpovídá tedy světelný tok **683 lm**, neboť $V(\lambda) = 1$. Ovšem stejnému zářivému toku, ale o vlnové délce 650 nm, kdy $V(\lambda) = 0,107$, odpovídá již pouze světelný tok $\Phi(\lambda) = 683 \cdot 0,107 \cdot 1 = \mathbf{73 \text{ lm}}$.

Rozložení světelného toku zdroje, či svítidla v prostoru vystihuje **svítivost**, která je rovna prostorové hustotě světelného toku. Jednotkou svítivosti je 1 kandela [cd]. Svítivost je definována pouze pro svítidla bodového typu, tj. pro tzv. **bodové zdroje**, což jsou svítidla, u nichž největší rozměr jejich svíticí plochy je menší než asi jedna pětina vzdálenosti tohoto svítidla od nejbližšího kontrolního bodu. Chyba výpočtů pak nepřekračuje cca 5 %.

Požaduje-li se vyšší přesnost výpočtů se svítidly bodového typu (např. chyba menší než 1 %), je třeba, aby zmíněná vzdálenost svítidla od kontrolního bodu byla alespoň desetinásobkem největšího rozměru vyzařovací plochy uvažovaného svítidla.

Svítivost I_γ svítidla bodového typu ve směru pod úhlem γ od zvoleného vztažného směru je obecně určena vztahem

$$I_\gamma = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (\text{cd; lm, sr}) \quad (1-2)$$

kde $d\Phi$ je světelný tok vyzařovaný bodovým zdrojem do prostorového úhlu $d\Omega$, jehož osa leží ve směru pod úhlem γ od zvoleného vztažného směru.

Prostorový úhel Ω , pod nímž je z daného bodu P vidět určitý předmět se stanoví ze vztahu

$$\Omega = \frac{A_r}{r^2} \quad (\text{sr; m}^2, \text{ m}) \quad (1-3)$$

kde A_r je velikost plochy, kterou na povrchu koule (o poloměru r a se středem v bodě S) vytne kuželová plocha, jejíž vrchol je v bodě S a která obepíná sledovaný předmět.

Jednotkou prostorového úhlu je 1 steradián (sr) rovný ploše 1 m^2 vytčené na povrchu jednotkové koule, tj. koule o poloměru $r = 1 \text{ m}$. Maximální velikost prostorového úhlu je 4π .

Nanesou-li se svítivosti zdrojů světla do všech směrů prostoru jako radiusvektory, vznikne spojením jejich koncových bodů fotometrická plocha svítivosti. V rovinách řezů touto plochou, obsahujících zdroj, se dostanou křivky svítivosti v polárních souřadnicích. Za vztažný směr ($\gamma=0$ a svítivost I_0) se obvykle volí směr normály k hlavní vyzařovací ploše zdroje či svítidla. Křivky svítivosti svítidel se (při zachování podmínek platných pro bodové zdroje) ve vybraných rovinách měří na zařízeních nazývaných goniofotometry a uvádějí se v katalogích, neboť jsou nezbytným podkladem pro světelné technické výpočty.

Aby se umožnilo použití stejných křivek svítivosti pro svítidla se zdroji stejného typu, ale rozdílného světelného toku, většinou se čáry svítivosti přepočítávají na světelný tok 1000 lm . Skutečná svítivost zdroje či svítidla, jehož světelný tok je Φ , se pak zjistí tak, že se hodnota svítivosti pro 1000 lm násobí poměrem $\Phi/1000$.

Návrhy osvětlovacích soustav se již dnes většinou zpracovávají s využitím počítačů a čáry svítivosti jsou pak v databázi svítidel zadávány v celé řadě rovin poměrně podrobně ve formě tabulek s hodnotami svítivosti např. po 5° .

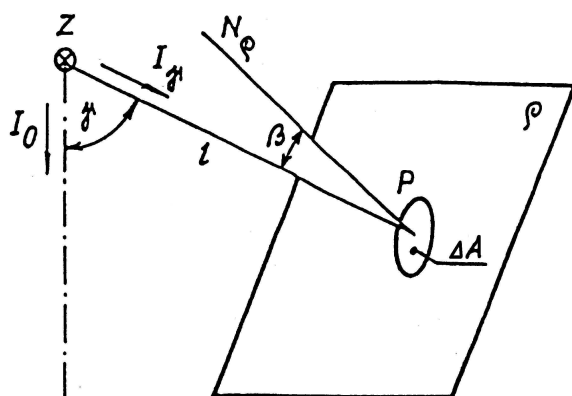
Poměr světelného toku $d\Phi$, dopadajícího na určitou plošku, a velikosti dA této plošky, to znamená plošná hustota dopadlého světelného toku, je rovna **osvětlenosti** (intenzitě osvětlení) E plošky dA , popř. osvětlenosti v bodě, jehož elementární okolí tvoří ploška dA .

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad (lx; lm, m^2) \quad (1-4)$$

Jednotka osvětlenosti je 1 lux [lx]; $1 lx = lm \cdot m^{-2}$

Není-li světelný tok Φ dopadající na plochu A po této ploše rovnoměrně rozložen, pak je poměr Φ/A roven střední hodnotě osvětlenosti $E_{stř.}$ plochy A ,

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (lx; lm, m) \quad (1-5)$$



Osvětluje-li se svítidlem Z bodového typu ploška dA , která tvoří okolí bodu P v obecně umístěné rovině ρ (jejíž normála N_ρ svírá se spojnici zdroje Z a bodu P úhel β , viz obr. 1-2), určuje se osvětlenost $E_{P\rho}$ v bodě P roviny ρ z výrazu

$$E_{P\rho} = \frac{I_\gamma}{l^2} \cos \beta \quad (lx; cd, m, -) \quad (1-6)$$

kde I_γ je svítivost svítidla Z přičtená pod úhlem γ z čáry svítivosti naměřené v rovině určené spojnici zdroje Z s bodem P a zvoleným směrem ($\gamma=0$) vztahné svítivosti I_0 .

Obr. 1-2 K výpočtu osvětlenosti v bodě P roviny ρ bodovým zdrojem Z

Nejčastěji osvětlovanou rovinou je rovina vodorovná. Předpokládejme, že směr vztahné svítivosti I_0 je svislý. Vodorovná rovina ρ_0 je pak ke směru I_0 kolmá. Má-li bodový zdroj Z ve směru ke kontrolnímu bodu P , např. pod úhlem $\gamma = 20^\circ$ od zvoleného vztahného směru (I_0), svítivost $I_\gamma = 1000$ cd a leží-li bod P od zdroje Z ve vzdálenosti $l = 2$ m, pak normála roviny ρ_0 svírá s paprskem l úhel $\beta = \gamma$ [$\cos \beta = 0,9397$] a zdroj Z v bodě P vodorovné roviny ρ_0 zajistí podle rovnice (1-6) osvětlenost $E_{P\rho_0}$

$$E_{P\rho_0} = \frac{I_\gamma}{l^2} \cos \beta = \frac{1000}{2^2} \cos(20^\circ) = 250 \cdot 0,9397 = 235 lx$$

Často nás zajímají i osvětlenosti na vertikálních rovinách, např. v místě obrazu zavěšeného na stěně. Natočme proto v obr.1-2 osvětlované okolí dA bodu P do polohy vertikální roviny $\rho_{v\perp}$, která je rovnoběžná se směrem I_0 a současně kolmá k rovině určené paprskem l a směrem I_0 . Normála osvětlované roviny $\rho_{v\perp}$ pak svírá s paprskem l úhel $\beta = 90 - \gamma$. Navážeme-li na předcházející příklad ($I_\gamma = 1000$ cd, $l = 2$ m), bude $\beta = 90 - \gamma = 90 - 20 = 70^\circ$ [$\cos \beta = 0,342$]

a osvětlenost $E_{P_{\rho_{v\perp}}}$ v bodě P vertikální roviny $\rho_{v\perp}$ uvažovaným bodovým zdrojem Z se podle rovnice (1-6) spočítá ze vztahu

$$E_{P_{\rho_{v\perp}}} = \frac{I_{\gamma}}{l^2} \cos \beta = \frac{1000}{2^2} \cos(70^\circ) = 250 \cdot 0,342 = 85,5 \text{ lx}$$

Výsledky předchozích příkladů dokumentují skutečnost, že osvětlenosti vertikálních rovin jsou, při běžném umístění svítidel na stropě osvětlovaného prostoru, podstatně nižší než osvětlenosti v bodech vodorovné roviny.

Reakci zrakového orgánu pozorovatele na světlo určuje **jas**, který je roven plošné a prostorové hustotě světelného toku dopadajícího do oka pozorovatele. V nepohlcujícím a nerozptylujícím prostředí se jas L_{γ} svítící plochy A_1 zdroje (ve směru pod úhlem γ od normály k vyzařovací ploše) stanoví jako podíl svítivosti I_{γ} zdroje v daném směru a průmětu svítící plochy A_1 do roviny kolmé k uvažovanému směru, tj. z výrazu

$$L_{\gamma} = \frac{I_{\gamma}}{A_1 \cdot \cos \gamma} \quad (\text{cd.m}^{-2}; \text{cd.m}^2) \quad (1-7)$$

Jednotkou jasu je 1 cd.m^{-2} [dříve označovaná názvem nit (nt)].

Vyazuje-li svítící plocha o velikosti $A_1 = 0,6 \times 0,6 = 0,36 \text{ m}^2$ (např. vyzařovací plocha zářivkového svítidla $4 \times 18 \text{ W}$ s difúzním krytem) pod úhlem $\gamma = 60^\circ$ [$\cos \gamma = 0,5$] od normály svítivost $I_{\gamma} = 450 \text{ cd}$, pak podle vztahu (1-7) jas této plochy ve zmíněném směru je

$$L_{\gamma} = \frac{450}{0,36 \cdot 0,5} = 2500 \text{ cd.m}^{-2}$$

Plošná hustota světelného toku vyzařovaného zdrojem se hodnotí veličinou nazývanou **světlení**. Vyzařuje-li svítící plocha A světelný tok Φ_v , pak se střední hodnota světlení **M** této svítící plochy stanoví ze vztahu

$$M = \frac{\Phi_v}{A} \quad (\text{lm.m}^{-2}; \text{lm, m}^2) \quad (1-8)$$

Jednotkou světlení je 1 lm.m^{-2} .

Je-li vyzařovaný tok $\Phi_v = 3000 \text{ lm}$ rovnoměrně rozložen po svítící ploše $A = 0,36 \text{ m}^2$, pak je v souladu s výrazem (10) průměrná hodnota světlení M této svítící plochy $M = 3000 / 0,36 = 8330 \text{ lm.m}^{-2}$.

Světelný tok Φ , dopadající na určitou látku, se obecně rozdělí na tři části, a to na tok:

- 1) Φ_p , který se odrazí,
- 2) Φ_t , který materiálem projde,
- 3) Φ_a , který látka pohltí.

To znamená, že platí

$$\Phi = \Phi_{\rho} + \Phi_{\tau} + \Phi_{\alpha} \quad (lm; lm, lm, lm) \quad (1-9)$$

Světelně technické vlastnosti látek charakterizují tři činitele, vyplývající z uvedeného rozdělení toku. Jsou to:

- 1) činitel odrazu $\rho = \Phi_{\rho} / \Phi$,
- 2) činitel prostupu $\tau = \Phi_{\tau} / \Phi$,
- 3) činitel pohltivosti $\alpha = \Phi_{\alpha} / \Phi$.

Mezi těmito činiteli platí známá vzájemná souvislost

$$\rho + \tau + \alpha = 1 \quad (1-10)$$

Je třeba upozornit na to, že činitele ρ , τ , α nezávisí jen na vlastnostech samotné sledované látky a na úhlu dopadu světla, ale také na vlnové délce dopadajícího světla.

Rozložení světelného toku, odraženého od povrchu určité látky, může být rozličné. Nejjednodušším případem je tzv. zrcadlový odraz, kdy se světelné paprsky od daného povrchu odrážejí pod stejným úhlem, pod kterým na povrch dopadly.

Rozdělí-li se světelný tok odražený od určitého elementu povrchu tak, že jas tohoto elementu uvažované plochy je ve všech směrech stejný ($L_{\gamma} = L = \text{konst.}$), jde o rovnoměrně rozptýlný, či **difúzní odraz**. Svítivost takového ideálního rozptylovače je maximální (I_0) v kolmém směru. V ostatních směrech je svítivost I_{γ} určena kosinovým zákonem a stanoví se z výrazu

$$I_{\gamma} = I_0 \cdot \cos \gamma \quad (cd; cd, -) \quad (1-11)$$

Důležitá je u difúzních povrchů souvislost mezi jejich světlením M a konstantní hodnotou jasu L určená rovnicí

$$M = \pi \cdot L \quad (lm.m^{-2}; cd.m^{-2}) \quad (1-12)$$

Ideální rozptylovač o velikosti $A [m^2]$ vyzařuje tedy světelný tok Φ_v , který se stanoví ze vztahu

$$\Phi_v = M \cdot A = \pi \cdot L \cdot A = \pi \cdot I_0 \quad (lm; lm.m^{-2}, m^2; cd.m^{-2}, m^2; cd) \quad (1-13)$$

Vyazuje-li rovnoměrně rozptýlně odrážející povrch (např. stěna osvětlovaného prostoru) o velikosti $A = 6 m^2$ ve směru normály svítivost $I_0 = 210 cd$, pak v souladu se vztahem (1-13) vyzařuje světelný tok Φ_v

$$\Phi_v = \pi \cdot I_0 = \pi \cdot 210 = 660 lm.$$

Jas L takového povrchu je ve všech směrech stejný a z rovnice (1-13) vyplývá, že je roven

$$L = \frac{I_0}{A} = \frac{210}{6} = 35 cd.m^{-2}.$$

Dopadá-li na rovnoměrně rozptýlně odrazující povrch o velikosti $A [m^2]$ světelný tok Φ a je-li ρ činitel odrazu tohoto povrchu, pak se od povrchu odráží tok

$$\Phi_p = \rho \cdot \Phi \quad (lm; - ,lm) \quad (1-14)$$

Vydělíme-li předchozí rovnici velikostí A uvažovaného povrchu, dostaneme na levé straně poměr Φ_p/A , což je střední hodnota světlení M plochy A a na pravé straně pak bude poměr Φ/A rovný střední hodnotě osvětlenosti E plochy A , tzn., že mezi světlením a osvětleností platí v uvažovaném případě vztah

$$M = \rho \cdot E \quad (lm.m^{-2}; - ,lx) \quad (1-15)$$

Z výrazů (1-15) a (1-12) vyplývá pro praxi velmi důležitá souvislost mezi osvětleností E a jasnem L rovnoměrně rozptýlně odrazující plochy

$$\pi L = \rho \cdot E \quad (cd.m^{-2}; - ,lx) \quad (1-16)$$

Pro ilustraci, je-li jas difúzně odrazujícího povrchu (např. části stěny) $L = 30 \text{ cd.m}^{-2}$ a naměří-li se v daném místě osvětlenost $E = 200 \text{ lx}$, potom je možno s využitím vztahu (1-16) vypočítat hodnotu činitele odrazu ρ uvažovaného povrchu

$$\rho = \frac{\pi \cdot L}{E} = \frac{\pi \cdot 30}{200} = 0,47$$

Zkoumáme-li prostup světla určitým materiálem, zjišťujeme, že u některých látek čirých nebo dokonale průhledných (např. optická skla, tenké vrstvy vody apod.) dochází k přímému prostupu, kdy látkou prošlé paprsky vycházejí v původním, i když rovnoběžně posunutém směru. Mnohé látky však jimi prošlý světelný tok částečně nebo úplně rozptylují. V případě ideálního rovnoměrně rozptýlného prostupu světelných paprsků se rozložení svítivosti řídí kosinovým zákonem a světelně technické vlastnosti takového povrchu jsou pak stejné jako povrchu difúzně odrazujícího.

Prakticky ovšem neexistují ani ideální zrcadla ani ideální rozptylovače. Zrcadla v různém stupni také světlo poněkud rozptylují a naopak matné, mdlené či drsné povrchy používané k rozptýlení světla vykazují určitý zrcadlový účinek. Pro charakteristiku materiálů s takovým smíšeným odrazem či prostupem světla se odrazné (prostupové) vlastnosti charakterizují činitelem jasu definovaným jako podíl skutečné hodnoty jasu k jasu dokonalého rozptylovače (za předpokladu, že jsou oba povrchy ozářeny a pozorovány stejným způsobem).

Literatura

- [1] Publikace IES: Lighting handbook. Ill. Eng. Society, Ninth Edition. New York 2000. ISBN 0-87995-150-8.
- [2] Hentschel, H. J.: Licht und Beleuchtung. Heidelberg, Hüthig Verlag 1982.
- [3] Habel, J. a kol.: Světelná technika a osvětlování. FCC Public, Praha 1995.
- [4] ČSN IEC 50(845) Mezinárodní elektrotechnický slovník. Kap. 845, Osvětlení. 1995.
- [5] ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - Část 1: Vnitřní pracovní prostory 2002.
- [6] Publikace CIE č.117 - 1995: Discomfort glare in interior lighting. ISBN 3 900 734 70 4.
- [7] EN 13201-2 Road lighting. Part 2: Performance requirements. 2003

6. Světelné zdroje

Světelné zdroje jsou zařízení produkující viditelné záření, jež se po zhodnocení zrakovým systémem pozorovatele přeměňuje na světlo. Světelné zdroje jsou základem osvětlovacích soustav a mohou být buď přírodní (slunce) nebo umělé (např. svíčka, plynová lampa, žárovka, výbojka). Z umělých zdrojů světla se pro všeobecné osvětlování především využívá zařízení napájených elektrickým proudem, tedy elektrických světelných zdrojů. Podle principu výroby viditelného záření se zdroje v zásadě dělí na teplotní (např. žárovky) a na zdroje výbojové, které pak mohou být buď nízkotlaké (např. zářivky, nízkotlaké výbojky sodíkové) nebo vysokotlaké (např. vysokotlaké výbojky rtuťové, sodíkové, halogenidové).

Vznik viditelného záření je podmíněn vybuzením, popřípadě až ionizací elementárních částic. U **teplotních zdrojů** dochází průchodem elektrického proudu k zahřátí vodivé pevné látky (kovu) na teplotu, při které potřebnou budící energii vytváří tepelný pohyb. Tato energie se předává částicím, které jsou schopny vybuzení či ionizace a které se pak stávají elementárními zdroji záření. Z vnějšího pohledu se vše jeví tak, že rozžhavená látka, např. wolframové vlákno žárovky, vysílá optické záření. Spektrum záření teplotních zdrojů je spojitě stejné jako je tomu u přírodních teplotních zdrojů (např. u slunce).

Výbojové zdroje světla (výbojky) jsou založeny na principu elektrických výbojů v plynech a parách různých kovů a využívají přeměny elektrické energie na kinetickou energii elektronů, pohybujících se velkou rychlostí mezi elektrodami. Při srážkách elektronů s atomy plynů kovových par se jejich energie mění na optické záření. Spektrum záření výbojových zdrojů je čárové. Rozložení spektrálních čar závisí na druhu výboje i na složení a tlaku plynné náplně.

U řady výbojových zdrojů (např. u zářivek) se využívá luminiscence pevných látek, a proto bývají tyto zdroje označovány jako luminiscenční. **Luminiscence** pevných látek je jev, při němž se z atomů, molekul či krystalů látky ve formě fotonů vyzařuje energie uvolněná při samovolném návratu elektronů do základní polohy z nestabilního vybuzeného stavu, kam se dostaly určitým vnějším vlivem. Pokud je vybuzení způsobeno dopadajícím zářením, jako je tomu např. u zářivek, jde o **fotoluminiscenci**. U zářivek se převážně ultrafialové záření nízkotlakého výboje, probíhajícího uvnitř trubice ve rtuťových parách, transformuje v luminiscenční vrstvě nanesené na vnitřní stěně trubice na viditelné záření. Vzhledem k tomu, že elektrony mohou obíhat jen ve zcela určitých drahách, kterým odpovídá určitá energetická hladina, může mít foton vyzářený při luminiscenci též jen určité hodnoty energie. Luminiscenční záření obsahuje proto záření jen některých vlnových délek. Spektrum luminiscenčního záření je tedy čárové.

Při výběru typu světelných zdrojů pro určitou osvětlovací soustavu je v zásadě třeba brát v úvahu tři kritéria, a to kritérium:

- 1) energetické náročnosti a hospodárnosti provozu zdroje,
- 2) kvality vjemu barev ve světle daného zdroje,
- 3) tvorby prostředí, včetně jeho barevné úpravy, vycházející z psychologického působení světla použitých zdrojů.

Energetická náročnost světelného zdroje je určena světelným tokem připadajícím na 1 W jeho elektrického příkonu, tj. tzv. měrným výkonem η_z (lm/W) světelného zdroje, který je roven podílu světelného toku Φ zdroje v lumenech (lm) a jeho elektrického příkonu P (W).

$$\eta_z = \Phi / P \quad (\text{lm/W})$$

Teoreticky nedosažitelným limitem měrného výkonu zdrojů je maximum světelné účinnosti monochromatického záření při základní vlnové délce 555 nm rovné hodnotě **683 lm/W**. Odborníci odhadují, že se v budoucnu vlivem aplikace nových materiálů, moderních technologií a pravděpodobně i nových principů výroby světla podaří u některých zdrojů dosáhnout hodnot měrného výkonu až **250 lm/W**, tedy téměř dvacetinásobku měrných výkonů běžných žárovek.

Celková hospodárnost provozu zdrojů je však podmíněna i dobou života zdrojů udávanou v hodinách. Doba života zdrojů souvisí jednak s poklesem světelného toku během provozu zdrojů a jednak s poklesem podílu provozuschopných zdrojů z celkového počtu instalovaných zdrojů v průběhu využívání osvětlovací soustavy. Obecně se pod pojmem **život světelného zdroje** rozumí celková doba svícení zdroje do okamžiku, kdy je už zdroj nepoužitelný nebo se za takový podle stanovených kritérií považuje.

V terminologii Mezinárodní komise pro osvětlování se zavedl pojem **život zdroje do X %** (většinou 50%) **výpadku**, což je doba, při které dosáhne konce života X % (obvykle tedy polovina) ze souboru zkoušených zdrojů, při čemž konec života se posuzuje podle stanovených kritérií.

V praxi se pak běžně používají pojmy užitečný, střední a fyzický život. **Užitečný život** je doba funkce zdroje, během níž se jeho světelně technické a elektrické parametry udržují ve stanovených mezích. Např. u zářivek je užitečný život roven době, během které jejich světelný tok neklesne pod 70 % toku jmenovitého, tj. toku po prvních 100 h jejich provozu. Za **střední život** se považuje doba, po jejímž uplynutí zůstává z celkového počtu v soustavě instalovaných světelných zdrojů ještě polovina schopných provozu. **Fyzický život** pak je celková doba svícení do okamžiku úplné ztráty provozuschopnosti (např. u žárovek do přerušení vlákna, u výbojek do ztráty schopnosti zapálit výboj).

Kvalita či věrnost vjemu barev předmětů ve světle určitého zdroje se v porovnání s vjemem barvy těchto předmětů v přírodním světle, resp. ve světle smluvního teplotního zdroje, hodnotí všeobecným indexem podání barev označovaným **R_a**. Index **R_a** je číslo v rozmezí od **0** do **100**. V přírodním světle a ve světle teplotních zdrojů se barvy předmětů vnímají nejvěrněji a proto je těmto případům přiřazena hodnota indexu podání barev **R_a = 100**. Opačným krajním případem je stav, kdy v monochromatickém světle (např. nízkotlakých sodíkových výbojek) se barvy předmětů nerozlišují vůbec, což se vystihuje hodnotou indexu podání barev **R_a = 0**. Požaduje-li se tedy např. v osvětlovací soustavě vysoká kvalita vjemu barev pozorovaných předmětů (velmi dobré podání barev), je třeba použít zdrojů, jejichž světlo je charakterizováno indexem **R_a ≥ 80**. Velmi vysoké nároky na rozlišování barev (věrné podání barev) jsou pak splnitelné jen se zdroji, u nichž **R_a ≥ 90**.

Dalším důležitým parametrem světelných zdrojů je **barevný tón** světla, které zdroje vyzařují. Ten je určen konkrétním bodem v diagramu chromatičnosti, např. v trichromatické soustavě XYZ. Nejčastěji se setkáváme např. s barevným tónem teple bílý, bílý a denním. Běžně se k vystižení chromatičnosti světla zdrojů, tedy i barevného tónu jejich světla, využívá **teploty chromatičnosti T_c** udávané v kelvinech (K). U teplotních zdrojů se hodnoty teploty chromatičnosti odečítají v diagramu chromatičnosti přímo na čáře teplotních zářičů. U výbojových světelných zdrojů se pak pracuje s tzv. náhradní teplotou chromatičnosti, která

se nalezne v diagramu chromatičnosti se zobrazenými čarami konstantní teploty chromatičnosti, a to na křivce $T_c = \text{konst.}$ ležící nejbližší k bodu odpovídajícímu danému záření.

Pro účely osvětlování se světelné zdroje člení podle teploty chromatičnosti světla zdrojů a podle barevného tónu jejich světla do tří skupin, jak je uvedeno v tab. 2-1.

Tab.2-1 Třídění světelných zdrojů podle chromatičnosti světla

Teplota chromatičnosti T_c (K)	barevný tón světla	Příklad světelného zdroje
< 3300	teple bílý	žárovky, halogenové žárovky, zářivky (teple bílé), vysokotlaké výbojky sodíkové
3300 až 5300	bílý	zářivky (bílé), vysokotl.výbojky rtuťové s luminoforem vysokotlaké výbojky halogenidové
> 5300	denní	zářivky (denní), vysokotlaké výbojky rtuťové čiré, vysokotlaké výbojky halogenidové

Chromatičnost světla zdrojů a jakost podání barev pozorovaných předmětů zásadně ovlivňují zrakovou pohodu člověka a tudíž i jeho zrakový výkon. Proto nedílnou součástí světelně technického návrhu je i barevná úprava prostředí podmíněná vhodnou volbou barevné jakosti světelných zdrojů a vhodným barevným sladěním povrchů pozorovaných předmětů.

Porovnání nejdůležitějších technických parametrů základních typů světelných zdrojů používaných pro všeobecné osvětlování poskytuje tab. 2-2.

Při výběru světelného zdroje však nestačí přihlížet pouze k již zmíněným základním parametrům a k pořizovacím a provozním nákladům, ale je třeba brát v úvahu také tvar, hmotnost a geometrické rozměry zdrojů, dovolenou pracovní polohu, způsob zapalování a rychlost ustálení jmenovitých parametrů po zapálení oblouku u výbojových zdrojů a řadu dalších provozních vlastností, zejména stabilitu světelného toku, závislost toku na napájecím napětí a v některých případech i na teplotě okolí apod.

Periodické kolísání (zvl. o frekvenci 2 až 13 Hz) světelného toku zdrojů napájených střídavým proudem o síťové frekvenci působí rušivě, snižuje zrakový výkon a v určitých situacích může vyvolat nežádoucí stroboskopický jev. Při různých tvarech časového průběhu vlny světelného toku $\Phi(t)$ během jedné periody T střídavého proudu (při 50 Hz $T = 20$ ms) se kolísání toku vystihuje **indexem mihání** f (flicker index), který je definován vztahem

$$f = \frac{A_1}{A_1 + A_2} = \frac{A_1}{T \cdot \Phi_{stř}} \quad (2-1)$$

Tab.2-2 Orientační přehled parametrů základních typů některých vybraných světelných zdrojů určených pro všeobecné osvětlování

Světelný zdroj			Příkon P (W)	Světelný tok Φ (lm)	Měrný výkon η=Φ/P (W)	Život zdroje (h)	Index podání barev R _a	Teplota chroma- tičnosti T _c (K)	
žárovka klasická		na síťové napětí		40	430	10,8	1000	100	2500 až 3000
				60	730	12,2			
				100	1380	13,8			
				200	3150	15,8			
žárovka halogenová		na síťové napětí	s vnější baňkou a paticí E27	60	840	14	2000 až 4000	100	2900
				100	1600	16			
				150	2550	17			
			dvou- paticová	100	1650	16,5	2000	100	3000
				200	3200	16			
				1000	22000	22			
zářivka dvou- paticová	lineární	luminofor třípásmový, nižší obsah Hg	Ø26 mm	18	1350	75	10000 ¹⁾ až 16000 ²⁾	>80	2700 až 6500
				36	3350	93			
				58	5200	89,7			
			Ø16 mm	21	2100	100	16000 ²⁾	>80	
				28	2900	103,6			
				35	3650	104,3			
zářivka jedno- paticová	kompaktní	vestavěný elektronický předřadník	patice E27	7	400	57,1 ³⁾	10000	>80	2700
				11	600	54,5 ³⁾			
				15	900	60 ³⁾			
				20	1200	60 ³⁾			
				23	1500	60 ³⁾			
výbojka rtuťová		vysokotlaká	s lumino- forem	125	6300	50,4	6000 až 12000	50	3150
				250	13000	52			
				400	22000	55			
výbojka halogenidová				250	20000	80	1000 až 8000	60 až 89	4500
				400	42000	105			
				2000	240000	120			
				3500	320000	91,4			
výbojka sodíková		vysokotlaká		70	6500	92,9	6000 až 20000	20	2050
				150	17000	113,3			
				250	33000	132			
				400	55500	138,8			
		nízkotlaká		35	5750	164,3	8000	0	—
				65	10700	164,6			
				90	17000	188,9			
				127	25000	196,9			

¹⁾ s indukčním předřadníkem²⁾ s elektronickým předřadníkem³⁾ měrný výkon, včetně ztrát v elektronickém předřadníku

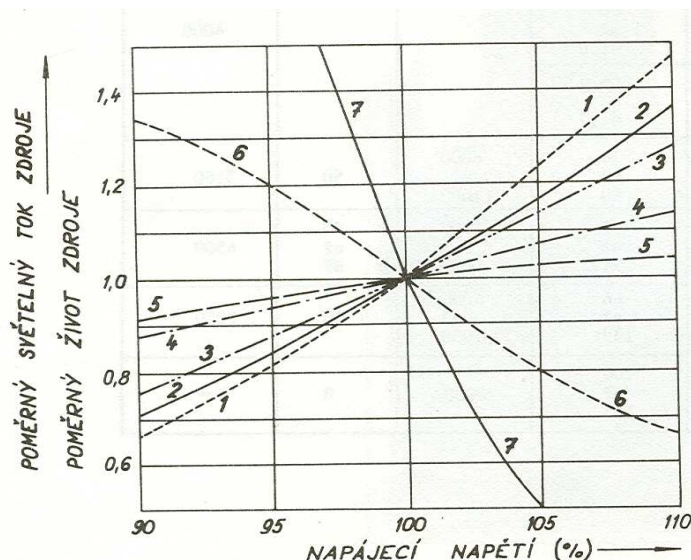
kde $\Phi_{stř}$ je střední hodnota časové změny toku, která se vypočítá z rovnice

$$\Phi_{stř} = \frac{1}{T} \int_0^T \Phi(t) dt \quad (2-2)$$

$A_1 + A_2$ je plocha pod křivkou $\Phi(t)$ v diagramu Φ v závislosti na čase t v periodě T ,
 A_1 je plocha pod křivkou $\Phi(t)$ v oblasti nad hodnotou $\Phi_{stř}$ v témž diagramu.

V souladu s mezinárodním doporučením nemá index míhání přesáhnout hodnotu 0,1. Pro ilustraci při tom např. jen samotná bílá žárovka provozovaná s indukčním předřadníkem vykazuje $f = 0,117$ a vysokotlaká sodíková výbojka 0,29.

Porovnání poměrných změn světelného toku a života běžných skupin zdrojů v závislosti na odchylkách napájecího napětí od jmenovité hodnoty 230 V umožňují průběhy na obr. 2-1.



Obr. 2-1

Informativní průběhy změn poměrného světelného toku a života některých zdrojů v závislosti na napájecím napětí.

- 1 - poměrný světelný tok klasických žárovek;
- 2-3 oblast změn poměrného toku vysokotlakých výbojek a halogenových žárovek;
- 4 - poměrný tok zářivek;
- 5 - poměrný tok nízkotlakých sodíkových výbojek;
- 6 - poměrný život zářivek;
- 7 - poměrný život klasických žárovek.

Vlivem stárnutí světelných zdrojů klesá světelný tok zdrojů i během jejich života. U žárovek se po 1000 h svícení sníží tok asi na 90 % počáteční hodnoty. U starších typů výbojových zdrojů se většinou připouštělo, aby po uplynutí 70 % života poklesl tok na 70 % jmenovité hodnoty, tj. toku po 100 h hoření. U moderních výbojek, zejména provozovaných s elektronickými předřadníky, je pokles světelného toku během života podstatně příznivější a u některých typů výbojek neklesne ani po 12 000 h provozu na 85 % či dokonce 90 % jmenovité hodnoty po 100 h hoření.

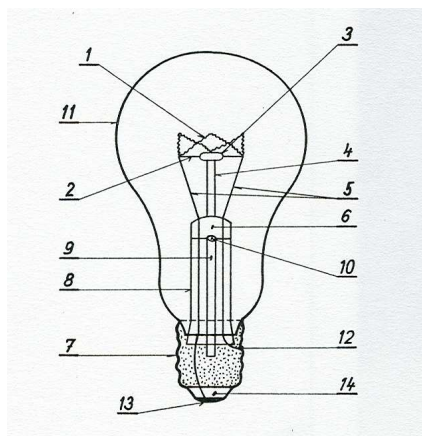
Připomeňme ještě, že s ohledem na zápornou voltampérovou charakteristiku elektrického výboje je u výbojových zdrojů nezbytné omezit nárůst proudu stabilizačním prvkem, nejčastěji tlumivkou, zapojenou do série s výbojkou. K zapálení výboje musí být některé výbojky vybaveny startérem či zapalovačem.

7. Teplotní zdroje

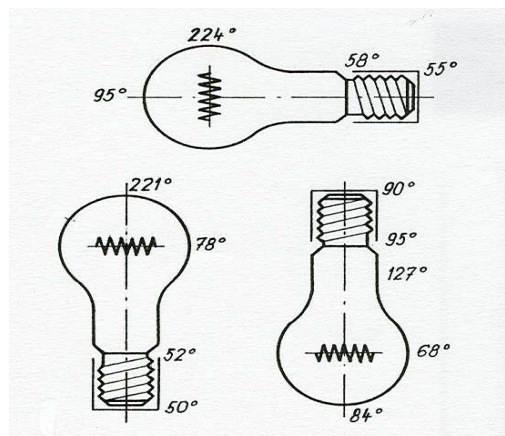
Nejběžnějšími představiteli teplotních zdrojů jsou žárovky, a to jak klasické, tak i halogenové. Klasické žárovky jsou pro svůj široký sortiment, nepatrné nároky na instalaci a údržbu i dnes stále nejrozšířenějšími umělými elektrickými zdroji světla. Obvyklé konstrukční provedení žárovky je znázorněno na obr. 3-1.

Hlavní části žárovky jsou: vlákno, nosný systém vlákna, baňka a patice. Vlákno 1 je nejčastěji provedeno z tvrdého těžkovytaveného wolframu a má tvar jednoduché nebo dvojité šroubovice. Nosný systém vlákna se skládá z držáků 2 a skleněné nožky, vytvořené ze skleněné tyčinky 4, přívodních drátků 5, skleněné trubičky většího průměru nazývané talířek 8 a z čerpací trubičky 9. Skleněné části nožky jsou navzájem spojeny (stisknuty za horka) v horní části talířku nazývané stisk 6.

Talířek 8 je na spodním konci kuželovitě rozšířen a přitaven ke krčku baňky 11. Čerpací trubička 9 ústí do baňky otvorem 10, kterým se z baňky vyčerpá vzduch a baňka se plní plynem. Tyčinka 4 je na horním konci zploštělá do tvaru čočky 3, do které jsou zataveny držáky 2. Držáky jsou z molybdenového drátku a na volných koncích jsou stočeny a do vzniklých smyček (oček) je zavěšeno vlákno. Konce vlákna jsou obvykle bodovým svarem připojeny k přívodním drátkům. Přívodní drátky jsou v místě stisku zataveny do skla. Vzduchotěsnost zátavu se zajišťuje buď přizpůsobením tepelné roztažnosti materiálu přívodů v místě stisku (např. slitina železa a niklu s přivařeným měděným pláštěm) roztažnosti skla nebo se pnutí rozkládá po větším povrchu při použití tenkých (0,03 mm) molybdenových folií jako proudových průchodek, popř. se přes řadu přechodových skel zvětšuje roztažnost skla apod.



Obr. 3-1



Obr. 3-2

Po vyčerpání baňky 11 a zatavení čerpací trubičky 9 se k baňce přitmelí patice a konce přívodních drátků 5 se v místech 12 a 13 připájí. Kontakt 12 je na plechovém plášti patice 7 a kontakt 13 je na spodku patice a je oddělen izolantem 14 z vitritu.

Jako materiál vlákna zatím nejlépe výrobně a technologicky vyhovuje wolfram, i když se u žárovek s tímto vláknem dosahuje měrného výkonu jen 8 až 20 l.m.W^{-1} a jejich spínací proud je více než desetkrát větší než proud provozní.

Teplota vlákna obyčejných žárovek se podle příkonu žárovky (40 až 200 W) pohybuje v rozmezí 2 000 až 2 640 °C. Teplota na povrchu baňky a teplota patice jsou velmi závislé na poloze žárovky a dosahují přibližně hodnot uvedených v obr. 3-2.

Baňky žárovek mohou být nejrůznějšího tvaru a jsou buď čiré, uvnitř mdlené, mléčné (opálová baňka je z homogenního nebo vrstveného skla opálového), opalizované (čirá baňka s vnitřním bílým minerálním povlakem) apod. V některých případech se využívá i žárovek se zrcadlenou baňkou.

Určitého snížení vypařování wolframu z vlákna se docílí plněním baněk žárovek směsí inertního plynu (obvykle argonu, popřípadě kryptonu či xenonu) s dusíkem. U žárovek s kryptonem se dosahuje až o 25% vyšších měrných výkonů než při užití náplně s argonem. Vakuové žárovky se vyrábějí jen s příkony do 25 W.

Světelný tok Φ , příkon P , proud I , život T i měrný výkon $\eta = \Phi/P_p$ jsou u žárovek značně závislé na změnách napájecího napětí U . Označí-li se jmenovité hodnoty uvedených veličin indexem n , lze zmíněné závislosti vyjádřit vztahy

$$\Phi = \Phi_n \left(\frac{U}{U_n} \right)^{m_3} ; T = T_n \left(\frac{U}{U_n} \right)^{m_4} ; I = I_n \left(\frac{U}{U_n} \right)^{m_1} ; P_p = P_{pn} \left(\frac{U}{U_n} \right)^{m_2} ; \eta_z = \eta_{zn} \left(\frac{U}{U_n} \right)^{m_5}$$

Exponenty m_1 , m_2 , m_3 , m_4 a m_5 jsou závislé jak na druhu žárovky, tak na teplotě chromatičnosti. Průměrné hodnoty exponentů jsou přibližně tyto :

$$m_1 = 0,55; m_2 = 1,55; m_3 = 3,5; m_4 = -14; m_5 = 2 .$$

Graficky jsou popsány změny světelného toku a života žárovek znázorněny v obr. 2-1. Z uvedeného plyne, že při 5 % přepětí stoupá sice světelný tok přibližně o 20 %, ale jejich život klesá asi na 50 %, tj. např. život žárovky na 220 V provozované při síťovém napětí 230V je pouze poloviční a naopak při 210 V se život této žárovky zvýší na 240 %, ovšem při poklesu toku o 20 %.

Základní technické parametry a rozměry nejběžnějších klasických žárovek pro všeobecné osvětlování s čirou nebo matovanou baňkou a s patičí E27 jsou shrnuty v tabulce 3-1.

Tab. 3 – 1 Přehled základních parametrů obyčejných žárovek pro všeobecné osvětlování

Příkon žárovky (W)	Jmenovité napětí (V)			maximální průměr (mm)	max. délka (mm)
	125	230	240		
	Světelný tok (ℓm)				
25	260	230	225	60	105
40	490	430	410		
60	820	730	700		
75	1070	960	930		
100	1560	1380	1330		
150	2460	2200	2160	65	124
200	3360	3150	2980	80	162
300	3360	3010	2980	81	169

Průměrný život série žárovek nemá klesnout pod 1 000 h. Se sníženými světelnými toky se vyrábějí též žárovky 40 W až 100 W s dobou života 2 500 h, resp. 5 000 h. Někteří zahraniční výrobci produkují obyčejné žárovky i o příkonech 500 W (8400 ℓm) a 2 000 W (40 000 ℓm) s patičí E40.

Kromě žárovek pro všeobecné osvětlování, k nimž patří např. žárovky iluminační, svíčkové, trubkové, hruškové, tvarované a další, se vyrábí i řada žárovek speciálních pro různé účely např. lékařské, telefonní, důlní, letištní, automobilové atd.

I když je měrný výkon žárovek ve srovnání s ostatními druhy zdrojů nejnižší, budou se žárovky v určitých aplikačních oblastech (např. ve společenských a obytných prostorech) používat i v budoucnu, a to právě pro jejich velkou přizpůsobivost co do výkonu a rozměrů i proto, že nepotřebují žádných pomocných zařízení, mohou svítit v každé poloze a také díky tomu, že jejich světelný tok není závislý na okolní teplotě a je plynule regulovatelný změnou napájecího napětí.

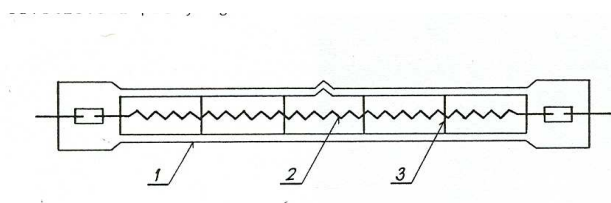
Dobu života žárovek nepříznivě ovlivňuje proudový náraz při zapnutí žárovky, k němuž dochází vlivem poměrně malého odporu studeného vlákna. V prvním okamžiku po zapnutí dosahuje proud mnohonásobně větší hodnoty (např. dvanáctinásobné) než v ustáleném stavu. Proto využití elektronických regulačních systémů, zajišťujících po zapnutí žárovky plynulé zvyšování proudu na provozní hodnotu, přináší i několikanásobné zvýšení doby života žárovky. Zatím však jsou taková zařízení poměrně drahá.

Výzkumy směřující ke zvýšení měrného výkonu žárovek jsou založeny na snaze využít velké ztrátové tepelné energie např. použitím anti-Stokesových luminoforů nebo reflexivních vrstev na baňce, propouštějících světlo, ale odrážejících teplo zpět na vlákno. Výraznějším technologicky zvládnutým pokrokem v teplotních zdrojích jsou halogenové žárovky.

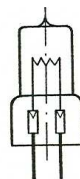
Halogenové žárovky představují významný vývojový stupeň teplotních zdrojů. V plynné náplni halogenové žárovky je příměs halogenů (obvykle jod, brom, chlor a jejich sloučeniny). Při určité teplotě a vhodném konstrukčním uspořádání probíhá v takové žárovce vratná chemická reakce mezi odpařeným wolframem a halogenem (halogenový regenerační cyklus). Molekuly odpařeného wolframu putující ke stěně baňky se v její blízkosti slučují na halogenid wolframu, který difunduje směrem k vláknu. Poblíž vlákna, v místě dosažení disociační teploty, se molekula halogenidu wolframu štěpí na wolfram a halogen. Halogen se vrací zpět ke stěně baňky. Wolfram přispívá ke zvýšení koncentrace jeho par poblíž vlákna, a tím snižuje rychlost vypařování wolframu z vlákna. Je-li rychlost rozkladu halogenidu stejná jako rychlost odpařování wolframu z vlákna, nemělo by vlákno ubývat. To však platí jen v radiálním směru u vlákna se stejnou teplotou po celé délce. Protože tato podmínka není splněna, přemísťuje se u cyklu s jodem, bromem či chlorem wolfram z relativně teplejších míst na místa chladnější a po určité době dojde pochopitelně k přerušení vlákna. Pouze cyklus s fluorem by teoreticky měl zajistit návrat molekul wolframu tam, odkud byly odpařeny a tím zajišťovat téměř nekonečnou dobu života. Fluor je však velmi chemicky aktivní. Jeho využití vyvolává proto značné, zejména technologické, problémy. Stejně jako klasické žárovky plní se i žárovky halogenové inertním plynem, čímž se podstatně snižuje rychlost vypařování wolframu. Halogenový regenerační cyklus je zajištěn při teplotě baňky vyšší než 2 500 °C a při vodorovné poloze žárovky ($\pm 4^\circ$). Při dodržení správné polohy žárovky je v halogenovém cyklu odpařený wolfram vázán, baňka takové žárovky nečerná a její průměr je možno volit malý. Musí být ovšem vyrobena z tepelně odolnějších materiálů, např. z křemenného skla nebo z tvrdého skla s velkým obsahem SiO_2 . Malý objem halogenové

žárovky dovoluje zvýšit tlak inertního plynu v žárovce, a tím buď prodloužit život zdroje nebo zvýšit jeho měrný výkon. Malý objem halogenové žárovky umožňuje hospodárné využití kryptonové náplně a tedy další zvýšení měrného výkonu.

Halogenové žárovky se vyrábějí buď dvoupatkové (lineární) nebo jednopaticové. Lineární žárovka (viz obr. 3–3) má baňku 1 ve tvaru válečku, v jehož ose je několika podpěrkami 3 uchyceno vlákno 2. U jednopaticového zdroje jsou přívody na jednom konci (viz obr. 7–11). Tyto žárovky mají kompaktnější vlákno a v optických soustavách mohou být využity jako bodové zdroje (např. projekční žárovky).



Obr. 3 - 3



Obr. 3 - 4

Rozšířeny jsou halogenové žárovky pro automobily, pro fotografické účely i pro osvětlování letištních přistávacích ploch. Ze širokého sortimentu halogenových žárovek pro všeobecné osvětlování je třeba jmenovat žárovky na síťové napětí zejména lineární dvoupatkové (přehled parametrů viz tab. 3 - 2), ale i jednopaticové s paticí E27 (příkony 50 a 78 W, život 2 000 h) a jednopaticové žárovky na malé napětí (příkony 5 až 75 W, život 2 000 až 3 000 h, měrný výkon 11 až 17 $\ell\text{m}\cdot\text{W}^{-1}$). Velké oblibě se těší jednopaticové halogenové žárovky s tzv. studeným světlem (20, 35 a 50 W; 12 V; 3 000 až 4 000 h; úhel vyzařování 10°, 24°, 38°, 60° apod.) opatřené dichroickým zrcadlem, které usměrňuje viditelné záření na osvětlovaný předmět a propouští infračervené záření směrem k objímce žárovky. Osvětlovaný předmět pak není vystaven tak velké tepelné zátěži. Reflektor tvoří se žárovkou kompaktní jednotku opatřenou paticí (např. dvoukolíkovou typu GU 5,3).

Tab.3 - 2

Parametry vybraných typů lineárních halogenových žárovek pro všeobecné osvětlování na síťové napětí ¹⁾

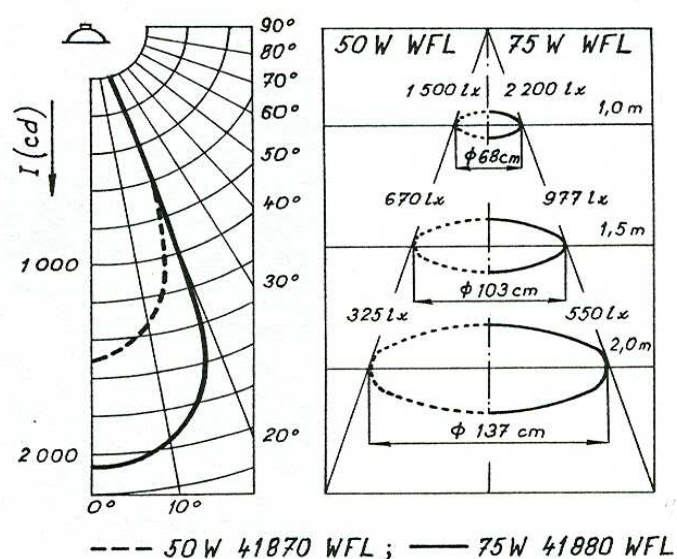
Příkon žárovky (W)	Světelný tok (klm)	Měrný výkon ($\ell\text{m}\cdot\text{W}^{-1}$)	Celková délka ²⁾ (mm)	Jmenovitý proud rychlé pojistky (A)
100	1,65	16,5	74,9	2
150	2,6	17,3	74,9	2
200	3,2	16	114,2	2
300	5,0	16,7	114,2	2
500	9,5	19	114,2	4
750	16,5	22	185,7	6,3
1000	22,0	22	185,7	6,3
1500	33,0	22	250,7	10
2000	44,0	22	327,4	10

Pozn.

- 1) Halogenové dvoupatkové žárovky (např. typu HALOLINE firmy Osram) s baňkou ve tvaru válečku o průměru 12 mm jsou opatřeny paticemi R7s. Provozní teplota Baňky je až 800 °C. Max, teplota vakuového zátavu 350 °C. Střední život těchto žárovek je 2000 h. Poloha svícení halogenových lineárních žárovek o příkonu do 500 W je libovolná, o vyšších příkonech vodorovná ($\pm 15^\circ$).
- 2) Uvažuje se vzdálenost mezi kontakty na paticích.

Usazené mastné látky na baňce halogenové žárovky mohou při vysokých teplotách způsobit porušení struktury křemenné baňky. Proto se musí zabránit znečištění povrchu baňky mastnotou, k čemuž může dojít i při dotyku žárovky holýma rukama.

V posledních letech se zejména pro osvětlování různých společenských prostorů často využívá halogenových žárovek 12 V (popř. 6, či 24 V) o příkonech 10, 20, 35, 50, 75 i 100 W opatřených speciálními reflektory s vyzařovacími úhly obvykle v rozmezí 10° až 30° při výstupních otvorech o průměru 35, 48, 51 resp. 70 mm. Vyrábějí se též v provedení s tzv. studenými reflektory zajišťujícími omezení tepelné složky ve vyzařovaném záření asi na 66 %, což je velmi žádoucí pro osvětlování předmětů citlivých na infračervené záření. Pro ilustraci je na obr. 3-5 příklad rozložení svítivosti a hladin osvětlenosti u halogenových žárovek 50 a 75 W s tzv. studeným reflektorem o průměru 51 mm typu HALO STAR 41870 WFL a 41880 WFL firmy Osram. Doba života zmíněných tzv. nízkovoltových halogenových žárovek je většinou 2 000 h a při příkonech od 50 W výše dokonce 3 000 h.



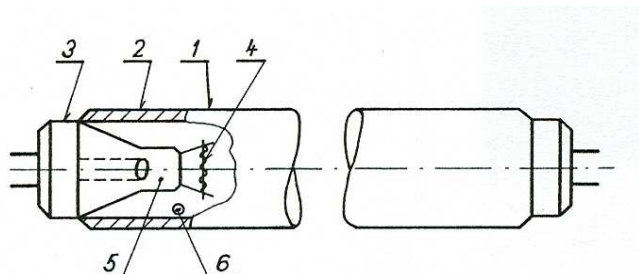
Obr. 3 - 5

Čáry svítivosti a rozložení osvětlenosti pro halogenové žárovky 50 W a 75 W (12 V) s tzv. studeným reflektorem o průměru 51 mm typu HALO STAR 50 W 41870 WFL a 75 W 41880 WFL firmy Osram

Náplň baňky halogenové žárovky dosahuje při provozu tlaku několika desetin MPa. Při přerušení vlákna může dojít k výboji, rychlému nárůstu proudu a zvýšení tlaku par v baňce. Ojedinele dochází dokonce k roztržení baňky. Doporučuje se proto jednotlivé žárovky jistit pojistkou.

8. Zářivky

Zářivky jsou nízkotlaké rtuťové výbojky se žhavenými elektrodami. Nízkotlaký výboj v parách rtuti vyzařuje jen asi 2% přivedené energie v oblasti viditelného záření a více než 60 % v oblasti ultrafialového záření. část ultrafialového záření odpovídající asi 19 % příkonu tohoto výboje se v zářivce (viz obr .4-1) transformuje ve viditelné záření luminoforem 2, který je v tenké vrstvě nanesen na vnitřním povrchu skleněné trubice 1, který je v tenké vrstvě nanesen na vnitřním povrchu skleněné trubice 1.



Obr. 4 - 1

Trubice je na obou koncích opatřena elektrodou 4, nosným systémem 5 a kolíčkovou patičí 3. Trubice je naplněna rtuť 6 a vzácným plynem (např. argon, popříp. směs argonu 5 neónem). Tlak vzácného plynu v zářivce je přibližně $4 \cdot 10^2$ Pa, přičemž optimální tlak par rtuti je asi 0,6 Pa. Vzácný plyn snižuje zápalné napětí, zabraňuje rozprašování materiálu elektrod a zvyšuje intenzitu vyzařování v okolí rezonančních čar rtuti (253,7 nm a 185 nm). S rostoucím tlakem vzácného plynu roste výrazně život zářivky (emisní hmota elektrod ubývá pomaleji), ovšem zapalování je obtížnější a v důsledku vyššího gradientu na trubici klesá měrný výkon. Při nižším tlaku plynu zapalují zářivky snáze (i při nižších teplotách), jejich život je ovšem kratší.

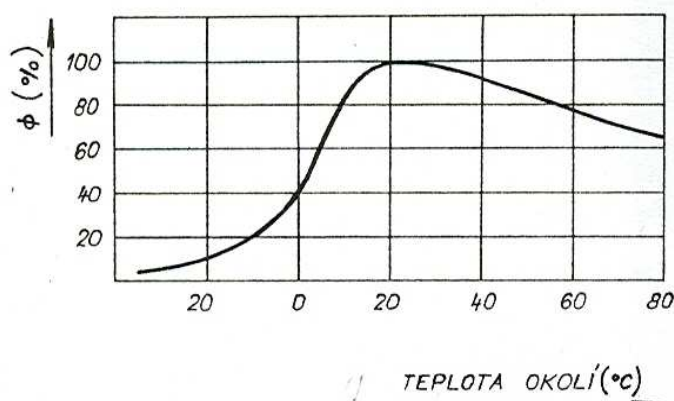
Elektrody zářivek jsou z dvojité vinutého wolframového drátku a pokrývají se vrstvou kysličníků (např. barya, stroncia, vápníku), čímž se dosahuje velké emisní schopnosti při malém výstupním potenciálu elektronů a usnadňuje se tak zapalování.

Světelný tok zářivek během prvních 100 h provozu poklesne asi o 10 %, potom již klesá pomaleji. Proto se jmenovitý světelný tok Φ_n zářivek udává právě po 100 h hoření. Po zažehnutí vyzařuje zářivka jen asi 90 % toku. Plné hodnoty se dosahuje asi po 3 minutách provozu. Podle předpisů Mezinárodní komise pro osvětlování nesmí světelný tok kterékoliv zářivky po 2 000 h provozu klesnout pod 75 % jmenovité hodnoty toku Φ_n (u bílých zářivek dokonce pod 85 % Φ_n). Během 70 % života zářivek nemá tok klesnout pod 70 % Φ_n .

Příčinou poklesu světelného toku během života zářivek (tj. stárnutí zářivek) je postupná ztráta účinnosti luminoforu, zčernání vnitřního povrchu trubice rozprášeným materiálem elektrod (tmavý prstenec v prostoru elektrod), popřípadě i usazováním jemných částí rtuti a rovněž absorpce plynné náplně materiálem elektrod a rtuti. Mnohem rychleji než při svícení zářivky se materiál elektrod rozprašuje při zažehování (zvláště v zapojení s běžně využívaným doutnavkovým zapalovačem). Proto má na celkovou dobu života zářivky rozhodující vliv doba svícení připadající na jedno zažehnutí (obvykle se za srovnávací hodnotu považují 3 h provozu na jedno zažehnutí). Každým zažehnutím se život zářivky provozované s indukčním předřadníkem a doutnavkovým zapalovačem zkracuje asi o 1,5 h. Proto se takto zapojené zářivky nehodí tam, kde se osvětlení často vypíná a zapíná. Při tříhodinovém cyklu dosahuje život zářivek i 16 000 h. Elektrody se rychleji opotřebovávají, zažehuje-li zářivka s nedostatečně nažhavenými elektrodami (asi 700 °C). Proto zářivka, která snadno zapaluje, má

pravděpodobně kratší život. Je-li v předřadném obvodu zářivky kromě tlumivky ještě kondenzátor, je život této zářivky kratší, než zářivky, napájené pouze přes tlumivku.

Život zářivky končí rozprášením aktivní emisní vrstvy elektrod, protože zářivky s dezaktivovanými katodami již nezapálí, takže nastává období opakovaného "blikání", tedy pokusů nastartovat zářivku. To trvá tak dlouho, dokud se nepoškodí zapalovač. Jedinou možností, jak odstranit tuto závadu, je vyměnit zářivku. Žhaví-li však elektrody na obou koncích zářivky a zářivka nezapaluje, pak postačí vyměnit zapalovač. Při provozu zářivek s elektronickými předřadníky ke zmíněným jevům již nedochází.



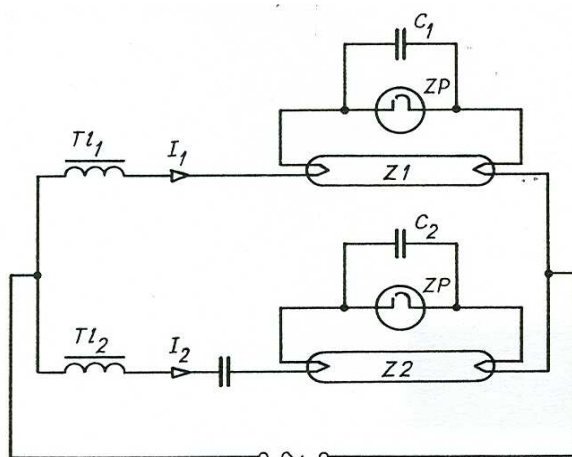
Obr. 4-2

Nevýhodou zářivek je, že jejich světelný tok závisí na teplotě trubice, resp. na teplotě jejího okolí (viz obr. 4-2). Standardní zářivky vyzařují maximum světelného toku při teplotě okolo 40 °C na povrchu trubice, tj. při teplotě okolí okolo 25 °C. Při nižších teplotách je světelný tok nižší vlivem nedostatečného tlaku rtuťových par a při vyšších teplotách je snížení toku způsobeno menší účinností luminoforu.

Proto standardní zářivky nejsou v našich klimatických podmínkách vhodné pro osvětlování venkovních prostorů. Pro provoz při vyšších teplotách se vyvíjejí zářivky, u nichž je zajištěno účinnější odvádění tepla, např. zářivky s tvarovaným nekruhovým průřezem, zářivky s kovovou tyčí přitlačenou pružinou na trubici nebo zářivky amalgamové (místo rtuti je použito amalgamu india). Maximum toku amalgamových zářivek je při teplotě trubice okolo 65 °C. Zářivky pro nízké teploty okolí (až do -20 °C) se plní s ohledem na snazší zapalování na nižší tlak argonu ($2,66 \cdot 10^2$ Pa) a pro udržení dobrého měrného výkonu se opatřují dvojím pláštěm (např. trubice o průměru 38 mm má plášť o průměru 45 mm).

Spektrální složení záření a tedy i chromatičnost světla zářivek jsou určovány druhem použitého luminoforu. V praxi jsou dosud nejrozšířenější zářivky bílé. U různých typů zářivek napájených střídavým proudem nekolísá světelný tok v průběhu jedné periody stejně a proto není stejně výrazný ani případně vzniklý stroboskopický jev. Světlo denních zářivek míhá mnohem zřetelněji než zářivek bílých a růžových. Nejlepší ochranou proti vzniku stroboskopického jevu je rozdělení zářivek do různých fází instalace tak, aby každý pohybující se předmět byl osvětlen alespoň dvěma zářivkami napájenými z různých fází.

U svítidel se dvěma zářivkami se vzniku stroboskopického jevu brání fázovým posunutím proudů v obvodu obou zářivek, a to zařazením kondenzátoru C do série k jedné zářivce (viz obr.4-3).

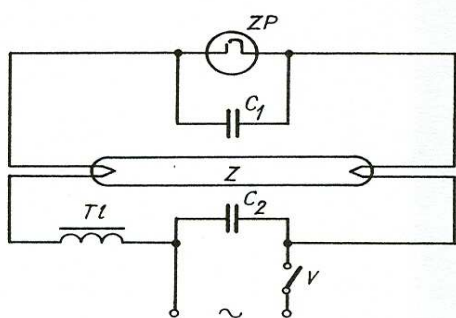


Obr. 4-3

Schéma zapojení svítidla se dvěma zářivkami Z1 a Z2

$Tl\ 1$ a $Tl\ 2$ - stabilizační tlumivky;
 ZP - zapalovač;
 C_1, C_2 - odrušovací kondenzátor;
 C - kondenzátor zajišťující fázový posuv mezi proudy I_1 a I_2 i kompenzaci účinníku svítidla

Zapálení výboje v zářivce při studených elektrodách je nesnadné. Proto se většinou před zapálením výboje zajišťuje vhodným elektrickým zapojením nažhavení elektrod. Nejčastěji se využívá doutnavkového zapalovače (viz obr.4-4), který je proveden jako doutnavka s bimetalovou elektrodou. Doutnavkový zapalovač musí mít zapalovací napětí nižší než zářivka s nenažhavenými elektrodami, ale současně vyšší než je pracovní napětí zářivky. Po připojení zářivky Z na síťové napětí se zapálí mezi elektrodami zapalovače ZP doutnavý výboj.



Obr.4 – 4

Obvyklé schéma zapojení zářivkového svítidla s jednou zářivkou a inдукtívním předradníkem
 Z - zářivka; Tl - tlumivka;
 ZP - doutnavkový zapalovač;
 C_1 - odrušovací kondenzátor;
 C_2 - kompenzační kondenzátor;
 V - vypínač

Tím se ohřívá elektroda z dvojkovu a postupně se ohne tak, že se spojí s druhou elektrodou doutnavky. Tím se připojí elektrody zářivky přes tlumivku Tl na síťové napětí a začnou se žhavit. Současně však spojením elektrod v zapalovači ZP uhasne mezi nimi výboj a elektroda z dvojkovu se ochlazuje až se po určité době odkloní od druhé elektrody a tak přeruší okruh žhavení elektrod zářivky. Přerušením tohoto obvodu se mezi elektrodami zářivky objeví napětí zvýšené vlivem přechodného děje na tlumivce Tl a dojde k zapálení výboje. Protože pracovní napětí na výboji v zářivce je nižší než je zápalné napětí zapalovače, výboj v zapalovači už nezapálí. Pokud zářivka při prvním pokusu nezapálí, celý postup se opakuje. Pro snadnější rozpínání kontaktů na elektrodách zapalovače ZP a pro odrušení se zapalovač překlenuje kondenzátorem C_1 . Kondenzátor C_2 slouží ke kompenzaci účinníku. U zářivek pro rychlý zápal (Rapid start) se elektrody žhaví z malého transformátoru a podél zářivky je umístěn uzemněný zemnicí pásek. Zářivky pro okamžitý zápal mají na vnitřní straně trubice vodivý pásek spojený s jednou hlavní elektrodou a využívají ke startu doutnavého výboje.

Sortiment zářivek vyráběných v současné době je velmi široký, a to jak z hlediska příkonů, tak z hlediska barevného tónu vyzařovaného světla. Pro vybranou skupinu lineárních zářivek jsou hlavní technické parametry sestaveny v tab. 4 – 1.

Tab.4 - 1 Přehled technických dat vybraných typů lineárních zářivek

Průměr zářivky (mm)	Jmen. příkon zářivky (W)	Světelný tok (lm)	Barevný tón ¹⁾	Délka zářivky (mm)
7 [T2] ⁴⁾	6	310	d	218,5
		330	b,tb	
	8	500	d	320
		540	b,tb	
	11	680	d	471,6
		750	b,tb	
	13	860	d	523
		930	b,tb	
	4	140	b	136
	6	280	b,tb	212
	8	450	b,tb	288
16	13	1000	b,tb	517
[T5] ⁴⁾	14 ²⁾	1350	b,tb	549
	21 ²⁾	2100	b,tb	849
	28 ²⁾	2900	b,tb	1149
	35 ²⁾	3650	b,tb	1449
26 [T8] ⁴⁾	15	950	b,tb	438
	16	1250	b	720
	18 (24,5) ³⁾	1300	d	590
		1350	b,tb	
	36 (42) ³⁾	3250	d	1200
		3350	b,tb	
	58 (66) ³⁾	5000	d	1500
		5200	b,tb	

Pozn.:

- ¹⁾ označení barevného tónu vyzařovaného světla:
d - denní (teplota chromatičnosti cca 6 000 K)
b - bílý (teplota chromatičnosti cca 4 000 K)
tb - teple bílý (teplota chromatičnosti cca 3 000 K)
- ²⁾ zářivky o průměru 16 mm s příkony 14, 21, 28 a 35 W jsou určeny jen pro provoz s elektronickými předřadníky
- ³⁾ v závorce je uveden příkon zářivky včetně indukčního předřadníku se sníženými ztrátami
- ⁴⁾ v hranatých závorkách za písmenem T je uvedeno označení průměru zářivky v osminách palce.

Nahradí-li se indukční předřadníky zářivek předřadníky elektronickými, je provoz svítidel bezhlučný, není nutné instalovat zapalovače a kompenzační kondenzátory, zářivky zapalují bez blikání, vlivem napájení zářivek proudem vysoké frekvence (30 až 40 kHz) je zabráněno možnosti vzniku stroboskopického jevu, prakticky je odstraněno rušivé kolísání světelného toku, v porovnání s provozem s indukčními předřadníky se docílí až 25 % úspory energie, výrazně se zpomaluje pokles světelného toku během života zářivky (např. u některých typů lineárních zářivek po 12 000 h provozu klesne světelný tok na 90 % jmenovité hodnoty,

zatímco při provozu s indukčními předřadníky za stejnou dobu asi na 80 % jmenovité hodnoty), křivka úmrtnosti zářivek klesá na 50 % po odhoření 13 000 až 15 000 h (u indukčních předřadníků po 8 000 až 11 000 h), takže doba života zářivek vzrůstá až o 30 -50 %, čímž se prodlužují intervaly výměny zářivek, je zajištěno automatické odpojení vadné zářivky od napájecí sítě, stabilita provozních parametrů zářivek je zabezpečena i při poměrně velkém kolísání napájecího napětí (např. v široké oblasti 198 až 254 V při $U_n = 230$ V) a kromě toho se asi o třetinu snižuje tepelné zatížení prostoru.

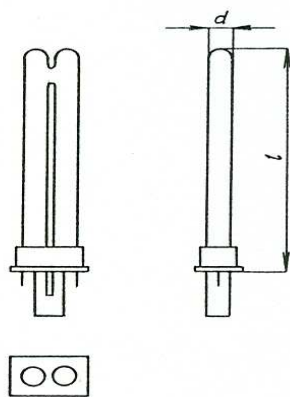
Jedním z činitelů zásadně podmiňujících kvalitu zářivek je jakost luminoforu. Např. u tzv. úzkopásmových (obvykle třípásmových nebo pětípásmových) zářivek se využívá speciálních luminoforů, které obsahují určité vzácné zeminy a které zajišťují transformaci UV záření do vhodně vybraných úzkých pásem spektra viditelného záření. Využití zmíněných speciálních luminoforů umožňuje u některých typů zářivek dosahovat měrných výkonů převyšujících $95 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ i při vysokém indexu podání barev $R_a > 80$.

Významným pokrokem ve vývoji zářivek byl přechod na výrobu zářivek o průměru 26 mm (tj. v osminách palce T8) a posléze též zavedení výroby zářivek o průměru 16 mm (T5) a 7 mm (T2). Zmenšování průměru zářivek z původní hodnoty 38 mm přináší úspory skla i luminoforu, zvyšuje využití luminoforu a umožňuje snížit příkon zářivek při zachování, popřípadě i zvýšení světelně technických parametrů, zvláště světelného toku a indexu podání barev (např. zářivce 38 mm s příkonem 40 W odpovídá zářivka 26 mm s příkonem o 10 % nižším, tj. 36 W).

Všeobecnou snahou je, aby zářivky v co nejširší aplikační oblasti, např. také v domácnostech, postupně nahradily žárovky. Toho zdaleka nelze dosáhnout pouze rozměrnými lineárními zářivkami se dvěma dvoukolíkovými patičkami. Nejprve bylo proto nutno vyvinout jednopaticové zářivky malých rozměrů a nízkých příkonů se světelnými toky odpovídajícími světelným tokům nejběžněji užívaných žárovek o příkonech 25 až 100 W. Dnes je k dispozici několik typů jednopaticových zářivek. Mohou být v provedení bez předřadníku a bez zapalovače s patičkou se čtyřmi kontaktními kolíky. Např. v provedení se dvěma paralelními a vzájemně spojenými výbojovými trubicemi (tzv. provedení „dvoutrubíčkové“) o příkonech 5, 7, 9 a 11 W s průměrem výbojové trubice 12 mm o délkách 85, 114, 144 a 214 mm se světelnými toky 250, 400, 600 a 900 lm nebo s příkony 18, 24, 36, 40 a 55 W o délkách do 225, 320, 415, 535, 535 mm při průměru trubice 17,5 mm se světelnými toky 1 200, 1 800, 2 900, 3 500 a 4 800 lm , popřípadě v plošném provedení (dvě dvoutrubičky vedle sebe) o příkonech 18, 24, 36 W o délkách do 122, 165 a 217 mm se světelnými toky 1 100, 1 700 a 2 800 lm . Jiné konstrukční řešení představují zářivky se zapalovačem vestavěným do pouzdra patice se dvěma kontaktními kolíky. Tento typ zářivek se vyrábí např. v tzv. „dvoutrubíčkovém“ provedení (náčrt tohoto konstrukčního uspořádání je nakreslen na obr. 4-5) o příkonech 5, 7, 9 a 11 W s průměrem výbojové trubice 12 mm o délkách 85, 114, 144 a 214 mm se světelnými toky 250, 400, 600 a 900 lm (které přibližně odpovídají světelným tokům 230, 430, 730 a 960 lm obvyklých žárovek o příkonech 25, 40, 60 a 75 W).

Běžný je však zmíněný typ zářivek i v tzv. „čtyřtrubičkovém“ provedení, jehož konstrukce je naznačena na obr. 4-6. Např. jde o zářivky s vyššími příkony, a to 10, 13, 18, 26 W o délkách $\ell = 87, 115, 130$ a 149 mm se světelnými toky 600, 900, 1200 a 1800 lm .

Doba života popsaných jednopaticových zářivek je dnes již běžně 8 000, ale i 10 000 h v závislosti na kvalitě použitých materiálů, zejména luminoforu, a na typu předřadníku.

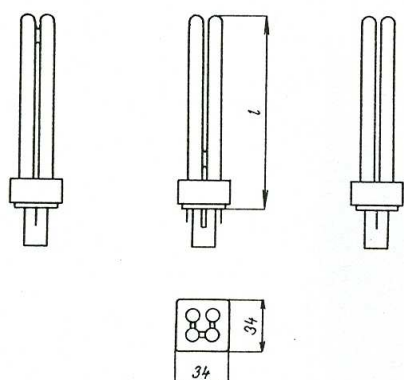


Obr.4 – 5

Náčrt konstrukce jednopaticové zářivky se zapalovačem vestavěným do pouzdra patice se dvěma kontaktními kolíky. Délka zářivky 9 W (11 W) je maximálně $\ell = 145$ mm (215 mm) při průměru výbojové trubice $d = 12$ mm

Jednopaticové zářivky se zapalovačem vestavěným do patice již někteří autoři zařazují do skupiny tzv. **kompaktních zářivek**. K nim však patří především zářivky s paticí E27, popříp. E14, se zabudovaným indukčním či elektronickým předřadníkem, kterými lze v řadě svítidel bezprostředně nahradit žárovky.

Kompaktní zářivky je možno opatřit také vnější skleněnou, např. opalizovanou, či tvarovanou baňkou. Vnější baňka může být buď válcová o průměru např. 64 mm, popřípadě kulová o průměru např. 100 mm. Při praktické aplikaci je nicméně zapotřebí vzít v úvahu, že vnější baňka, obdobně jako indukční předřadník, podstatně zvětšuje váhu světelného zdroje. Např. kompaktní zářivka o příkonu 18 W s konvenčním indukčním předřadníkem opatřená zmíněnou vnější baňkou váží 420 g. V porovnání s tím kompaktní zářivka s elektronickým předřadníkem bez vnější baňky o příkonu 20 W váží jen 110 g. Kvalitní luminofory využívané u kompaktních zářivek zajišťují při obvykle teple bílém barevném tónu světla vysoký měrný výkon těchto světelných zdrojů a také velmi dobré podání barev předmětů pozorovaných v jejich světle, charakterizované indexem podání barev $R_a > 80$.



Obr.4 - 6

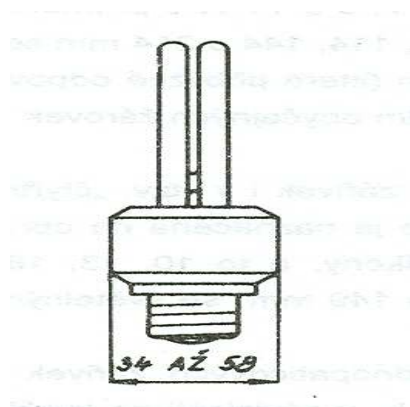
Prudký rozvoj poznatků a nových technologií v oblasti elektroniky a polovodičové techniky umožnil, že byly pro kompaktní zářivky vyvinuty speciální miniaturní elektronické předřadníky. Využití elektronických předřadníků příznivě ovlivňuje provozní parametry kompaktních zářivek. Zvyšuje se jejich měrný výkon, prodlužuje se jejich život a výrazně se z hospodárňuje jejich provoz. Vzhledem k tomu, že cena elektronických předřadníků je zatím poměrně vysoká, je vysoká i pořizovací cena kompaktních zářivek vybavených elektronickými předřadníky.

Nicméně podrobnější rozbor ukazuje, že při ceně elektrické energie vyšší než 3 Kčs/kWh (což je už běžné i u podnikatelů v kategorii maloodběratelů C2) se zvýšené investice v některých případech vrátí vlivem nižších výdajů za spotřebovanou elektrickou energii již po 3 000 h provozu, to znamená přibližně po roce provozu.

Na trhu jsou k dispozici také elektronické předřadníky bez pevně vestavěných zářivek. Horní část pouzder s takovými předřadníky je konstrukčně upravena a opatřena objímkou s kontaktními prvky umožňujícími snadnou výměnu samotných jednopaticových zářivek (v některých případech jde i o několik typů).

Kompaktní zářivky v provedení s několika paralelními a vzájemně propojenými výbojovými trubicemi s elektronickými předřadníky bez vnější baňky (příklad možného konstrukčního uspořádání je nakreslen na obr. 4-7) se běžně vyrábějí o příkonech 5, 7, 11, 15, 20 a 23 W se světelnými toky 200, 400, 600, 900, 1 200 a 1 500 ℓ m. Včetně patice E27 jsou délky uvedených zářivek, např. firmy Osram $\ell = 121, 130, 139, 143, 156$ a 176 mm.

Produkují se i zářivky s paticí E14, a to o příkonech 5, 7 a 11 W s toky 200, 400 a 600 ℓ m. Vnější rozměr pouzdra předřadníku se obvykle pohybuje v rozmezí 34 až 58 mm. Pro porovnání připomeňme, že baňka obyčejné žárovky do příkonu 100 W má průměr 60 mm a její délka (včetně patice) je 105 mm.



Obr.4 - 7

Náčrt konstrukčního uspořádání kompaktní čtyřtrubičkové“ zářivky bez vnější baňky. Elektronický předřadník je zabudován v pouzdře, které je zakončeno paticí se závitem E 27 .

Snaha po zkrácení délky kompaktních zářivek 15, 20 a 23 W vedla k zajímavé konstrukci výbojových trubic ve tvaru tří obrácených písmen U. Firma Philips tak zkrátila délku kompaktních zářivek uvedených příkonů na 124, 143 a 158 mm.

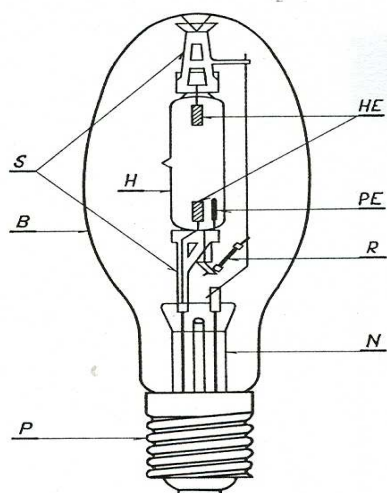
Doba života kompaktních zářivek s elektronickými předřadníky je v současnosti již desetinásobkem doby života klasických žárovek.

V porovnání s osvětlovacími soustavami se žárovkami je možno při dosažení stejného světelného toku v soustavách s kompaktními zářivkami s elektronickými předřadníky uspořít až 80 % elektrické energie. Kompaktní zářivky vybavené elektronickými předřadníky spolehlivě zapalují i při teplotách do -30°C (u zářivek o příkonu 23 W do -20°C) a poloha jejich provozu je libovolná. Tyto zářivky lze zapínat jako žárovky (pokud nebudou pravidelně spínány v intervalech kratších než 1 minuta), aniž by se tím snižovala doba jejich života. Výrobci je testují na více než 500 000 zapínacích cyklů (60 s zapnuto, 150 s vypnuto). Kompaktních zářivek s elektronickými předřadníky je výhodné použít pro bezprostřední náhradu za žárovky všude tam, kde tomu nebrání jejich větší geometrické rozměry, odlišné rozložení svítivosti či konstrukční řešení svítidel.

9. Vysokotlaké výbojky

Do této skupiny výbojek patří jednak vysokotlaké rtuťové výbojky, dále pak zejména halogenidové výbojky a konečně též vysokotlaké výbojky sodíkové.

U **vysokotlakých výbojek rtuťových** vzniká viditelné záření zářením výboje v parách rtuti o tlak obvykle vyšším než 0,1 MPa. Konstrukce rtuťové vysokotlaké výbojky je schematicky načrtnuta na obr.5-1. Výbojová trubice (hořák) **H** provedená z křemenného skla je nosným systémem **S** upevněna na nožce **N**. Hlavní elektrody **HE** jsou ze svinutého wolframového drátu a pokrývají se emisní vrstvou kyslíčnicků barya, stroncia nebo vápníku. Zapalovací molybdenová elektroda **PE** je zapojena přes rezistor **R** (10 až 25 k Ω) k protilehlé hlavní elektrodě. Vnější baňka **B** má většinou eliptický (izotermický) tvar, je z tvrdého borosilikátového skla (u výbojek nad 250 W) a opatřuje se paticí **P** buď typu E27 (do 125 W) nebo E40 (od 250 W výše). Vnější baňka **B** se plní směsí argonu a dusíku na tlak 45 až 52 kPa a chrání nosný systém před oksyločením, nepropouští ultrafialové záření a tvoří dobrou tepelnou izolaci pro udržení tlakových podmínek v hořáku. Hořák se plní rtutí (provozní tlak 0,2 až 0,9 MPa) a pro usnadnění zápalu ještě argonem (na tlak 2 až 3 kPa).



Obr. 5-1

Konstrukční uspořádání rtuťové vysokotlaké výbojky s elipsovitou vnější baňkou

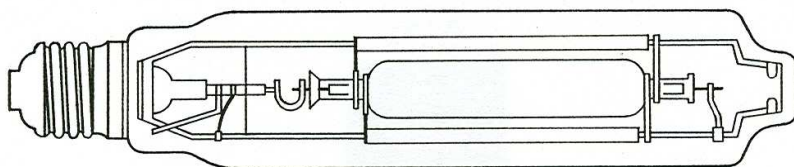
Teplota v ose výboje bývá asi 5 500 K a teplota stěny hořáku asi 600 až 800 °C. Rtuťové vysokotlaké výbojky vyzařují do viditelné části spektra téměř 15 % přivedené energie. Jejich světlo je modrozelené až modrobílé. Chybí v něm červená složka (zvláště v oblasti nad 600 nm). To je z hlediska osvětlování nevhodné, neboť vnímání barev je velmi zkresleno. Proto se na vnitřní stěnu baňky nanáší luminofor, který část UV záření transformuje do červené oblasti spektra, čímž se podíl červené složky zvýší na 6 až 12 %. Tak vznikne rtuťová vysokotlaká výbojka s luminoforem, pro níž se u nás užívá označení RVL. K ustálení výboje ve rtuťových parách dochází u rtuťových vysokotlakých výbojek asi po 5 minutách provozu. Vysokotlaké rtuťové výbojky jsou v různých aplikacích postupně nahrazovány kvalitnějšími a efektivnějšími výbojkami halogenidovými.

Halogenidové výbojky jsou vysokotlaké rtuťové výbojky, u nichž viditelné záření vzniká nejen zářením par rtuti, ale převážně zářením produktů štěpení halogenidů, tj. sloučenin halových prvků např. s galiem, thaliem, sodíkem apod. Získá se tím podstatně vyšší měrný výkon při dobrém podání barev a zůstává zachována výhoda vysokotlakých rtuťových výbojek, tzn. malé rozměry a velký výkon v jednom světelném zdroji. Minimální provozní

teplota hořáku výbojky je 700 až 750 °C, která je nezbytná pro vypařování příměsí, Provozní tlak rtuťových par bývá asi 0,5 MPa a tlak příměsí vyšší než $1,33 \cdot 10^2$ Pa. Zapálení výboje usnadňuje náplň argonu, ale spolehlivě se ho dosahuje jen vnějším zapalovačem (doutnavkovým, tyristorovým, vysokonapěťovým či impulsovým). Výbojky pracují při teplotě okolí v rozmezí od -25 °C až do +60 °C.

Halogenidové výbojky vyzařují dostatek energie i v červené oblasti spektra a mají tudíž poměrně vysoký index barevného podání ($R_a = 65$ až 90). Vyšších hodnot indexu podání barev a tedy i věrnějšího vjemu barev se dosahuje u halogenidových výbojek, které v hořáku obsahují kromě obvyklých složek ještě dysprosium. Světelné spektrum a chromatičnost světla těchto výbojek vyhovuje i nejnáročnějším požadavkům v osvětlovacích soustavách pro snímání barevného televizního obrazu.

Konstrukce halogenidových výbojek je až na určité úpravy v zásadě podobná konstrukci obyčejných vysokotlakých rtuťových výbojek. Vnější čirá baňka výbojky je z tvrdého borosilikátového skla a má buď obvyklý elipsoidový tvar, nebo se provádí ve tvaru trubice (viz obr. 5-2). Pro speciální účely je možno výbojky provést v tzv. lineárním tvaru, kdy vnější křemenná trubice je na obou koncích opatřena zvláštní patičí.



Obr. 5 – 2
Náčrt konstrukčního
uspořádání
vysokotlaké
halogenidové
výbojky s čirou
válcovou baňkou

Orientační přehled o základních elektrických a světelně technických parametrech několika vybraných typů vysokotlakých halogenidových výbojek poskytují údaje v tab. 5-1.

Tab. 5-1 Základní parametry vybraných typů vysokotlakých halogenidových výbojek ¹⁾

Jmenovitý příkon (W)	Příkon vč. předřadníku (W)	Světelný tok ³⁾ (klm)	Měrný výkon (lm.W ⁻¹)	Délka max. (mm)	Průměr baňky (mm)	Jmenovitý proud ²⁾ (A)	Kompen. kondenz. (μF)
75	91	5,5	73	114,2	20	1,0	12
150	170	12	80	132	23	1,8	20
250	275	20	80	225	46	3,0	32
420	460	42	100	340	46	4,0	45
1000	1065	80	80	430	76	9,5	85
2000	2080	200	100	430	100	10,3	60
3500	3650	320	91	430	100	18,0	100

Pozn.

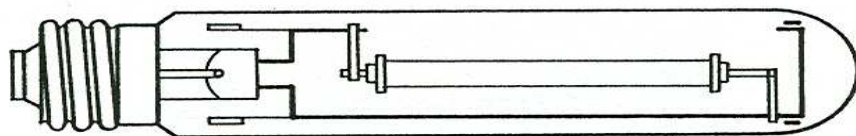
- 1) Halogenidové výbojky s čirou válcovou baňkou (např. typu HQIT firmy Osram) s vnějším zapalovačem. Halogenidové výbojky o příkonu 75 a 150 W jsou opatřeny paticí G12, výbojky vyšších příkonů paticí E40.
- 2) Náběhový proud je podle typu halogenidové výbojky a předřadníku asi o 40 až 90 % vyšší než proud jmenovitý.
- 3) Po zapálení dosahují vysokotlaké halogenidové výbojky plného světelného toku asi za 2 až 4 minuty provozu.

Důležité je, uvědomit si, že po zhasnutí výbojky je možné nové její zapálení až po dostatečném snížení tlaku rtuťových par v hořáku. Bývá to asi po 15 minutách chladnutí.

Halogenidové výbojky nalézají široké uplatnění nejen ve veřejném a průmyslovém osvětlení, ale i při osvětlování sportovišť a osvěcování různých objektů. Využívá se jich i v prostorech s vysokými nároky na barevné podání, např. v technice barevného televizního záznamu apod. V lékařství se úspěšně používá modrého světla halogenidové výbojky k léčení kojenecké žloutenky. V polygrafickém průmyslu se k fotografickému kopírování využívá speciálních výbojek vyzařujících v modré části spektra a v oblasti blízké ultrafialovému záření.

Podobně jako výboje v parách rtuti mohou být i výboje v parách sodíku zdroji viditelného záření. Nízkotlaké sodíkové výbojky (tlak sodíkových par v hořáku asi 0,5 Pa) vyzařují prakticky monochromatické záření ve žluté oblasti spektra v blízkosti maxima spektrální citlivosti oka. To na jedné straně podmiňuje jejich vysoký měrný výkon (i 200 l.m.W^{-1}), ale na druhé straně to znamená, že ve světle nízkotlakých sodíkových výbojek nelze rozlišovat barvy ($R_a = 0$).

Zvýšením tlaku par sodíku (asi na 26,6 kPa) v hořáku **vysokotlaké sodíkové výbojky** se dosahuje zlepšení chromatičnosti vyzařovaného světla ($R_a \approx 20$), ovšem i nižšího měrného výkonu (cca 120 l.m.W^{-1}) než u nízkotlaké výbojky. S ohledem na velkou chemickou aktivitu sodíku a vysoké provozní teploty (800 °C) musí být hořák vysokotlaké sodíkové výbojky proveden z polykrystalického či monokrystalického kysličníku hlinitého (korundu).



Obr. 5-3

Náčrt konstrukce vysokotlaké sodíkové výbojky s čirou válcovou baňkou

Hořák se plní netečným plynem (Ar nebo Xe) a amalgamem sodíku. Náplň xenonu zvyšuje měrný výkon zdroje asi o 5%, ale zvyšuje zápalné napětí. Přítomnost rtuti přispívá ke zlepšení chromatičnosti světla zdroje a zejména zvyšuje napětí na výboji asi na 100 V (bez rtuti činí asi 42 V) a tudíž snižuje přibližně na polovinu proud výbojkou, což usnadňuje konstrukci předřadné tlumivky. Konstrukční uspořádání vysokotlaké sodíkové výbojky je patrné z obr. 5-3. Vnější baňka se provádí většinou čirá válcovitá a čerpá se na vysoké vakuum, které se v průběhu života udržuje baryovým getrem. Baňka může mít i kapkovitý tvar s rozptylnou

vrstvou nanesenou na vnitřní stěně, čímž se docílí optických vlastností podobných vysokotlakým rtuťovými výbojkám.

Velmi dlouhý život (běžně přesahující 14 000 h) vysokotlakých sodíkových výbojek a minimální pokles světelného toku v průběhu jejich provozu řadí tyto zdroje k nejhospodárnějším vysokotlakým výbojovým světelným zdrojům. Orientační přehled o základních elektrických a světelně technických parametrech několika vybraných typu vysokotlakých sodíkových výbojek poskytují údaje v tab.5-2.

Tab. 5-2 Základní parametry vybraných typů vysokotlakých sodíkových výbojek ¹⁾

Jmenovitý příkon (W)	Příkon vč. předřad. (W)	Světelný tok ³⁾ (lm)	Měrný výkon (lm.W ⁻¹)	Délka max. (mm)	Průměr baňky (mm)	Jmenovitý proud ²⁾ (A)	Kompen. kondenz. (μF)
50	62	4,0	80	156	37	0,77	10
70	83	6,5	93	156	37	1,0	12
100	115	10	100	211	46	1,2	12
150	170	17	113	211	46	1,8	20
250	270	33	132	257	46	3,0	32
400	440	55,5	139	285	46	4,4	45
600	645	90	150	285	52	6,2	65
1000	1075	130	130	390	65	10,3	100

Pozn.

¹⁾ Vysokotlaké sodíkové výbojky s čirou válcovou baňkou (např. typu VIALOX NA V T SUPER firmy Osram) s vnějším zapalovačem. Výbojky o příkonu 50 a 70 W jsou opatřeny patičkou E27, výbojky vyšších příkonů patičkou E40. Výbojka o příkonu 1 000 W je typu NAVT Standard a má vnější válcovou baňku pokrytou rozptylnou vrstvou.

²⁾ Náběhový proud výbojky je asi o 25 % vyšší než proud jmenovitý.

³⁾ Po zapálení dosahují vysokotlaké sodíkové výbojky (podle typu výbojky a předřadníku) plného světelného toku asi za 6 až 10 minut provozu.

Vysokotlaké sodíkové výbojky se napájejí přes tlumivku a zapalovací zařízení, které pro zapálení výboje zajišťuje napěťové impulzy až 3, resp. 4,5 kV. Provoz výbojek je možný při teplotě okolí od -40° do +65 °C. I při krátkodobém přerušení elektrického proudu výbojka zhasne. Zapalovač začne pracovat a po celou dobu chladnutí výbojky (cca 1 minutu) dává vysokonapěťové impulzy.

10. Svítidla

Je pochopitelné, že světelné zdroje samy o sobě většinou nevyhovují pro osvětlovací účely, neboť obvykle mají nevhodné rozdělení světelného toku, příliš vysoký jas a ani nejsou odolné proti různým vlivům prostředí. Proto se světelné zdroje umísťují do svítidel.

Svítidla jsou světelné přístroje (zařízení), které slouží jednak k úpravě prostorového rozložení světelného toku zdrojů, k rozptýlení jejich světla, popřípadě i ke změně spektrálního složení záření a jednak k napájení zdrojů elektrickou energií, k jejich upevnění a k ochraně světelných zdrojů před nepříznivými vlivy obklopujícího prostředí. Vhodná konstrukce svítidel a jejich správné umístění jsou hlavními prostředky ke snížení jasu světelných zdrojů v určitých směrech a k odstranění nebezpečí oslnění. Kromě zmíněných světelně technických požadavků musí svítidla umožňovat jednoduchou montáž a údržbu, musí být dostatečně trvanlivá a funkčně spolehlivá, musí vyhovovat i z hlediska ochrany před nebezpečným dotykovým napětím, ochrany před dotykem živých částí, vniknutím cizích předmětů či vody, popřípadě ochrany před nebezpečím výbuchu a podle potřeby musí odolávat i dalším namáháním a nepříznivým vlivům prostředí. Při konstrukci svítidel je však nutno respektovat i estetická hlediska a požadavek maximální hospodárnosti.

Rozdělení světelného toku svítidla do prostoru charakterizuje fotometrická plocha svítivosti, popřípadě jas. V praxi se však běžně udává pouze několik rovinných řezů plochou svítivosti, či jasu, tj. čar svítivosti nebo čar jasu, ve vhodně zvolených rovinách.

Kromě svítidel pro běžné osvětlovací účely se v praxi často využívá též světlometů. **Světlometry** jsou světelné přístroje, které vyzařují směrově soustředěný svazek světelných paprsků. Používá se jich převážně pro osvětlování z velkých vzdáleností. Ke světelným přístrojům patří také **návěstidla**, používaná ke světelnému značení a signalizaci, zejména v dopravě.

Svým použitím i konstrukcí se ke svítidlům řadí také **ozařovače** pro oblast optického záření. Jde o zařízení, která mění rozložení optického záření zdrojů, rozptylují je, popř. mění jeho spektrální složení. Konstrukce ozařovačů je obdobná konstrukci svítidel a často jsou v nich použity světelné zdroje pro všeobecné osvětlování. Optické záření světelných zdrojů zde slouží k účelům technologickým. Podle použití se ozařovače rozdělují na fotosyntetické, fotochemické, apod.

Svítidla se skládají z částí světelně činných a z částí konstrukčních. Světelně činné části slouží ke změně rozložení světelného toku, popřípadě i ke změně spektrálního složení světla.

Konstrukční části slouží k upevnění samotných světelných zdrojů a světelně činných částí, dále k jejich ochraně a k napájení zdrojů světla.

Podle charakteru potřebné úpravy prostorového rozdělení světelného toku se svítidla vybavují různými světelně činnými částmi, a to stínidly, reflektory, refraktory, čočkami, difuzory či filtry.

Stínidla jsou clony z neprůsvitné nebo rozptýlné látky, jejichž účelem je bránit přímému pohledu na světelný zdroj. Stínidla mohou mít i tvar mřížky složené z pásků. Míra zaclonění světelného zdroje stínidly se určuje tzv. **úhlem clonění**. Úhel clonění δ je nejmenší ostrý úhel mezi vodorovnou rovinou a přímkou spojující okraj stínidla s primárním světelným zdrojem, tj. s vláknem čirých žárovek, povrchem baňky žárovek s opálovou a matovanou baňkou a výbojek s baňkou opatřenou vrstvou luminoforu, s povrchem trubice zářivek, popřípadě

obecně s okrajem plochy zdroje s vysokým jasnem. U zářivkových svítidel se udává úhel clonění v podélném δ_1 a v příčném δ_2 směru.

Reflektory jsou části svítidel, které mění prostorové rozložení světelného toku odrazem světla, zatím co **refraktory** a čočky mění rozdělení toku prostupem a lomem světelných paprsků a **difuzory** (rozptylovače) pak prostupem a rozptylem světla. **Filtry** jsou světelně činné části svítidel, které mění spektrální složení jimi procházejícího světelného záření nebo zmenšují světelný tok tohoto záření.

Pokud jde o reflektory, mohou být zrcadlové (tj. reflektory se zrcadlovým odrazem, difúzní či rozptylové (tj. reflektory s difúzním odrazem) a matované (tj. reflektory se smíšeným, tzn. částečně zrcadlovým a částečně difúzním odrazem).

Rozptylovače mohou pak být difúzní (s difúzním prostupem), matné (se smíšeným prostupem; světlo se rozptyluje v materiálu difúzí) a matované (se smíšeným prostupem; světlo se rozptyluje na jejich povrchu).

Svítidla se zrcadlovými reflektory se ve světelně technické praxi stále více prosazují, neboť se vyznačují vysokou účinností a velkými možnostmi úpravy rozložení světelného toku. Na rozdíl od difúzních reflektorů jsou zrcadlové reflektory navrhovány tak, aby na odrazové ploše docházelo pouze k jednomu odrazu paprsků směrem do výstupního otvoru svítidla, a to podle požadavku na tvar křivky svítivosti. Reflektory se nejčastěji vakuově pokovují hliníkem nebo se vyrábějí z hliníkového plechu plátovaného čistým hliníkem, který se chemicky leští.

Předpokladem úspěšného provozu svítidla se zrcadlovým reflektorem je možnost nastavení světelného středu zdroje do světelného středu optického systému svítidla, souosost zdroje s optickou osou systému a dlouhodobé zachování odrazných vlastností reflektoru. Svítidla se zrcadlovými reflektory umožňují vytvořit speciální rozložení svítivosti a současně snížit jas svítidel ve směrech, které jsou kritické z hlediska oslnění. Řada výrobců aplikuje u celé řady, zejména zářivkových svítidel, zrcadlové parabolické clony, čímž zajišťují odraz paprsků do vhodně vybraného směru. Využití takových svítidel umožňuje dobře zabránit oslnění na mnoha pracovištích, včetně pracovišť s obrazovkami.

Ke konstrukčním částem svítidla patří především těleso (nosná část) svítidla, objímka pro instalaci, mechanické uchycení a elektrické připojení světelného zdroje, dále držák objímky (přípevňující objímku k tělesu svítidla), elektrické příslušenství (předřadníky, zapalovací zařízení, kompenzační kondenzátory), elektroinstalační součásti (např. svorkovnice, vývodky, vodiče apod.), ochranné kryty zdrojů a světelně činných částí (včetně upevňování příruby a těsnění) a konečně také upevňovací prvky pro připevnění svítidla k nosné konstrukci (např. závěsná oka, výložníky, šňůry, trubky, řetízky, dotykové spojky, čepy, montážní lišty apod.).

Svítidla se rozdělují podle druhu použitého světelného zdroje, podle rozložení světelného toku, podle stupně clonění, podle ochrany před nebezpečným dotykovým napětím, podle druhu krytí svítidel, podle upevnění a podle účelu použití svítidel.

Podle světelného zdroje, pro který jsou svítidla určena, se rozeznávají zejména svítidla žárovková, zářivková a výbojková.

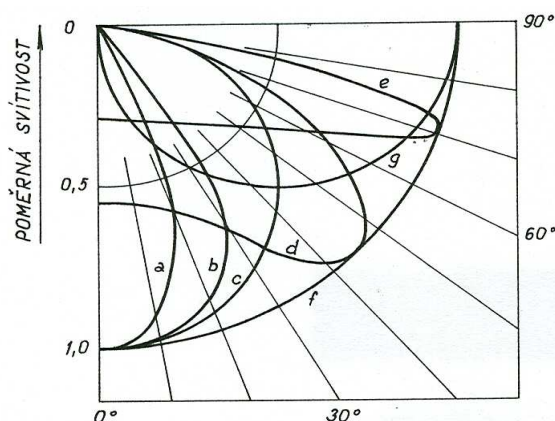
Třídění svítidel podle rozdělení světelného toku do dolního a horního poloprostoru je patrné z tab.6-1.

Tab. 6–1 Třídění svítidel podle rozdělení světelného toku

Třída rozložení sv. toku	Svítidlo	Rozdělení světelného toku v % toku svítidla do poloprostoru	
		dolního	horního
I	přímé	nad 80	do 20
II	převážně přímé	60 až 80	40 až 20
III	smíšené	40 až 60	60 až 40
IV	převážně nepřímé	20 až 40	80 až 60
V	nepřímé	do 20	nad 80

Důležitou světelně technickou charakteristikou svítidel je rozložení svítivosti. Nejčastěji se čáry (křivky) svítivosti udávají v polárních souřadnicích buď v grafech, či spíše, s ohledem na jednodušší zadávání dat do počítače, v tabulkách. K vystižení tvaru čáry (křivky) svítivosti se využívá činitele K_F tvaru křivky svítivosti a úhlového pásma maximální svítivosti. Činitel K_F je roven poměru maximální I_{\max} ke střední $I_{\text{stř}}$ hodnotě svítivosti v dolním či horním poloprostoru.

Třídění svítidel podle tvaru čáry svítivosti, úhlového pásma maximální svítivosti a činitele K_F tvaru čáry svítivosti je zřejmé v tab.6-2. Charakteristické tvary čar svítivosti jsou nakresleny na obr. 6-1.



Obr. 6-1
Typové čáry svítivosti
(označení čar podle tab.6-2)

Tab.6–2 Rozdělení svítidel podle tvaru křivky svítivosti

Tvar křivky svítivosti (viz obr. 6-1)		Úhlové pásmo maximální svítivosti ($^{\circ}$)	Činitel K_F tvaru křivky svítivosti (-)
označení	název		
a	koncentrovaná	0 až 15	$K_F \geq 3$
b	hluboká	0 až 30, 150 až 180	$2,0 \leq K_F < 3$
c	kosinusová	0 až 35, 145 až 180	$1,3 \leq K_F < 2$
d	pološiroká	35 až 55, 125 až 14	$1,3 \leq K_F$
e	široká	55 až 85, 95 až 125	$1,3 \leq K_F$
f	rovnoměrná	0 až 180	$1,3 \leq K_F$, přičemž $I_{\min} < 0,7 \cdot I_{\max}$
g	sinusová	70 až 90, 90 až 100	$1,3 < K_F$, přičemž $I_0 < 0,7 \cdot I_{\max}$

Ozn.: I_0 je svítivost v optické ose svítidla, I_{\min} minimální a I_{\max} maximální hodnota svítivosti

Podle všeobecných předpisů pro ochranu před nebezpečným dotykovým napětím neživých částí se svítidla dělí do tříd 0, I, II a III. Svítidla třídy 0 jsou vybavena pouze pracovní izolací bez možnosti připojení ochranného vodiče a vyrábějí se jen pro vestavění do určitých zařízení, takže po zabudování mají ochranu třídy I nebo II. Svítidla třídy I mají všude alespoň pracovní izolaci a jsou vybavena ochrannou svorkou či kontaktem pro připojení ochranného vodiče. Mají-li tato svítidla pohyblivý přívod, má tento přívod ochranný vodič a připojují se vidlicí s ochranným kontaktem. Svítidla třídy II mají všude dvojitou nebo zesílenou izolaci a nejsou zařízení k připojení ochranného vodiče. Tato svítidla mohou být provedena jako izolačně krytá, kovově krytá nebo kombinací těchto dvou způsobů krytí. Svítidla třídy III jsou určena pro připojení na zdroj malého napětí, např. 12 V, či 24 V a nemají žádné vnitřní ani vnější obvody s napětím vyšším.

Členění svítidel podle druhu krytí před vniknutím cizích předmětů, před nebezpečným dotykem a před vniknutím vody je charakterizováno značkou složenou z písmen **IP** a dvojčíslí v rozmezí 00 až 68. První číslice (od 0 do 6) charakterizuje ochranu před nebezpečným dotykem živých nebo pohybujících se částí a před vniknutím cizích předmětů. Druhá číslice (od 0 do 8) označuje stupeň ochrany před vniknutím vody. Druh krytí svítidla musí odpovídat charakteru prostředí, v němž má být svítidlo provozováno.

Uveďme alespoň několik v praxi se často vyskytujících krytí svítidel: IP 00 (svítidla nekrytá; jsou povolena pouze pro malé napětí), IP 20 (svítidla chráněná; nejnižší dovolené krytí svítidel pro nízké napětí), IP 21, popříp. IP 41 (svítidla chráněná před kapající vodou), IP 23 a IP 43 (svítidla chráněná před deštěm), IP 54 a IP 55 (částečně prachotěsná), IP 55 a IP 65 (chráněná před tryskající vodou), IP 65 a IP 66 (prachotěsná), IP 67 a IP 68 (ponorná) a další. Zvláštní skupinu tvoří svítidla nevýbušná, konstruovaná tak, aby za určitých provozních podmínek nemohla vznítit výbušnou směs.

Podle upevnění se svítidla dělí na pevná a pohyblivá. Pevná svítidla jsou stropní, nástěnná, vestavná, závěsná a stojanová. Pohyblivá svítidla mohou být stojanová, přenosná (ruční) a převozná (na kolečkách, na vozíku).

Podle účelu použití svítidel je možno svítidla dále členit např. na svítidla pro byty a společenské prostory, na svítidla pro průmyslové prostory, pro venkovní prostory apod.

Světelný tok Φ_{sv} vycházející ze svítidla je vždy vlivem ztrát v optickém systému svítidla menší než světelný tok zdrojů instalovaných ve svítidle. Hospodárnost svítidla ze světelně technického hlediska charakterizuje světelná účinnost η_{sv} svítidla definovaná poměrem světelného toku Φ_{sv} svítidla ke světelnému toku Φ_z zdrojů $\eta_{sv} = \Phi_{sv} / \Phi_z$. Hodnoty účinnosti svítidel se pohybují v širokých mezích přibližně od 0,3 do 0,9.

Účinnost svítidla je závislá jak na druhu zdroje a jeho fotometrické ploše svítivosti, tak i na jeho poloze ve svítidle. Na účinnost svítidla má vliv tvar a konstrukce svítidla, světelně technické vlastnosti materiálů částí svítidla, které odrážejí či propouštějí světlo. U otevřených svítidel vychází sice část světelného toku zdrojů ze svítidel přímo a tedy beze ztrát, ovšem zbylá část světelného toku, dopadající na světelně činné části svítidel, vychází ze svítidel otevřených zmenšena o tok pohlcený v optickém systému svítidel. Účinnost svítidla je tedy tím vyšší, čím větší část světelného toku zdrojů vychází ze svítidel přímo, aniž by byla podrobena odrazům, lomům či prostupu jakoukoliv vrstvou. Podíl toku přímo vycházejícího ze svítidel je též závislý na úhlu clonění.

Je-li světelný tok použitého světelného zdroje závislý na teplotě okolí (jako je tomu např. u zářivkových svítidel), udává se jednak optická účinnost svítidla a jednak účinnost provozní. Optická účinnost se stanovuje z hodnot světelných toků svítidla a zdrojů určených za stejných podmínek a pracovní teploty jako při provozu svítidla. Provozní účinnost svítidla je pak určena poměrem toku vyzařovaného svítidlem při provozní teplotě k toku zdrojů, který se stanoví ze předepsaných podmínek (s normalizovaným předřadníkem za normalizované zkušební teploty).

Snahou konstruktéra svítidel musí být dosažení co nejvyšší provozní účinnosti svítidel, aby byl co nejvíce využit elektrický příkon. Např. u většiny svítidel určených pro osvětlování ulic a průmyslových provozů se požaduje minimální účinnost svítidel 60 %, u některých dokonce 65 %.

Účinnost svítidla se většinou určuje na základě měření světelného toku zdrojů instalovaných ve svítidle a toku svítidla. V některých jednodušších případech je možno účinnost svítidla stanovit i výpočtem.

11. Požadavky na osvětlovací soustavy

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. Osvětlení se zajišťuje různými **osvětlovacími soustavami**, tj. soubory světelně technických (světelné zdroje a svítidla) a elektrických zařízení (např. předřadníky nebo řídicí a regulační systémy), včetně potřebné elektrické instalace.

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. Pokud jde o interiéry, zůstává stále nejrozšířenějším kvantitativním ukazatelem osvětlenost rovinné plochy, neboť řešení jasových poměrů je komplikované s ohledem na velkou různorodost odrazných vlastností povrchů v interiérech. Na významných komunikacích se však již s jasem povrchu vozovky v současnosti běžně pracuje. V oblasti kvalitativních ukazatelů se pozornost, kromě kontroly rovnoměrnosti rozložení osvětlenosti a jasů v zorném poli pozorovatele, soustřeďuje především na zábranu oslnění (ověřuje se index oslnění podle Jednotného systému zábrany oslnění UGR), dále věrnost vjemu barev (kontroluje se index podání barev R_a), popřípadě i na chromatičnost (barevný tón) světla, stínivost osvětlení, plastičnost vidění a časové změny osvětlení (odstraňování nežádoucích změn i vhodné využití dynamičnosti osvětlení).

Předepisované hodnoty ukazatelů vycházejí z požadavků ergonomických, zrakové pohody, estetických a ekonomických a pochopitelně závisí na dosaženém stupni poznání a hospodářského rozvoje společnosti i na dané energetické situaci. Je třeba si uvědomit, že

požadavky na kvalitu osvětlení stále stoupají a že současně s tím rostou také nároky na účelné a hospodárné navrhování i na provoz a údržbu osvětlovacích zařízení.

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.

Ve zmíněné normě vycházejí požadavky na osvětlení ze tří základních lidských potřeb podmiňujících vytvoření daným potřebám a dané situaci odpovídajícího světelného prostředí, tj. ze zajištění:

- **zrakové pohody**, to je stavu, kdy pracovníci nejen dobře vidí a rozlišují potřebné detaily, ale cítí se v daném prostředí příjemně; což nepřímě přispívá k vysoké úrovni produktivity,
- **zrakového výkonu**, 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,
- **bezpečnosti**.

Při hodnocení jakosti osvětlení vnitřního prostoru se proto posuzuje, zda osvětlovací soustava vytváří předpoklady 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 pracovníků. Osvětlení musí dále přispět k zajištění bezpečnosti práce především zábranou vzniku oslnění, vyloučením stroboskopického jevu, nevhodných stínů či kontrastů ze zorného pole pozorovatelů a musí vytvářet zrakově příjemné prostředí podporující psychologickou pohodu lidí. Splnění zmíněných požadavků je pochopitelně třeba docílit při vynaložení minimálních pořizovacích a provozních nákladů.

Vlastnímu návrhu osvětlovací soustavy musí předcházet podrobný rozbor zorného pole pozorovatelů a podmínek vidění, druhu rozlišovaných detailů a jejich potřebného kontrastu vůči bezprostřednímu okolí i kontrastu pozorovaného předmětu s pozadím. Proto k nejdůležitějším zásadám, kterých je třeba dbát při návrhu osvětlení patří zejména:

- 1) zajištění potřebné hladiny jasů či osvětleností při respektování osvětlení zajištěného denním světlem,
- 2) vytvoření vhodného rozložení jasů a dodržení určitého stupně rovnoměrnosti hladin osvětlenosti v zorném poli,
- 3) zabránění vzniku oslnění,
- 4) volba vhodné chromatičnosti světla zdrojů v souladu s hladinou osvětlenosti i s tvarovým a barevným řešením prostředí a zabezpečení přirozeného a věrného podání barev,
- 5) vytvoření potřebného stupně stínivosti a volba správného převažujícího směru osvětlení,
- 6) zabezpečení stálosti osvětlení a zabránění jak nežádoucího kolísání světelného toku, tak vzniku stroboskopického jevu,
- 7) nalezení nejhospodárnějšího řešení ze všech technicky vyhovujících variant.

Doporučené hladiny osvětlenosti v místě zrakového úkolu uvedené pro různá pracoviště v normě ČSN EN 12464-1 jsou tzv. **udržované osvětlenosti** \bar{E}_m , tzn. místně průměrné hodnoty osvětleností na sledované ploše (obvykle na srovnávací rovině), pod které nesmí osvětlenost klesnout. Udržovaná osvětlenost je tedy osvětlenost v době, kdy musí být provedena údržba osvětlovací soustavy. Požadovaná udržovaná osvětlenost musí být v některých případech (např. jsou-li nižší zrakové schopnosti pracovníků nebo jde-li o kritické zrakové úkoly apod.) zvýšena nebo je ji možno výjimečně též (např. při neobvykle velkých kritických detailech úkolu apod.) snížit. V prostorech s **trvalým** pobytem osob nesmí být udržovaná osvětlenost menší než 200 lx.

Projekt osvětlení musí být vypracován s uvažováním celkového udržovacího činitele z vypočteného pro zvolené osvětlovací zařízení, prostředí a plán údržby. Udržovací činitel z je číslo menší než 1 a závisí na provozních charakteristikách světelných zdrojů (zejména poklesu světelného toku během života zdrojů) a předřadníků, svítidel (zvl. znečištění světelně činných ploch), prostředí (znečištění povrchů) i na plánu údržby. Snahou projektantů je, aby pokud možno bylo $z > 0,7$.

Místně průměrná osvětlenost \bar{E}_0 , kterou navržená osvětlovací soustava zajistí na počátku (tedy s novými zdroji a svítidly i v novém prostředí) se tedy určí ze vztahu $\bar{E}_0 = \bar{E}_m / z$ a jí odpovídají světelné toky zdrojů, resp. svítidel, které se k osvětlení daného prostoru instalují.

Rozložení jasu v zorném poli určuje úroveň adaptace zraku, která ovlivňuje viditelnost úkolu. Velmi dobře vyvážený adaptační jas je potřebný ke zvětšení ostrosti vidění i kontrastní citlivosti i k usnadnění dalších funkcí zraku, např. akomodace, změn velikosti otvoru zornice aj.

Rozložení jasu v zorném poli ovlivňuje také zrakovou pohodu. Proto je nutno vyloučit jak příliš velké jasy (mohou zhoršit oslnění), tak příliš velké kontrasty jasů (mohou zvyšovat únavu v důsledku nepřetržité readaptace), ale nevhodné jsou též příliš malé jasy a kontrasty jasů, jež vedou k monotónnímu nestimulujícímu pracovnímu prostředí. Z těchto důvodů se doporučuje volit činitele odrazu hlavních povrchů místnosti takto: pro strop 0,6 až 0,9; pro stěny 0,3 až 0,8; pro pracovní roviny 0,2 až 0,6 a pro podlahu 0,1 až 0,5.

Osvětlenost místa zrakového úkolu musí být co nejrovnoměrnější. Osvětlenost bezprostředního okolí zrakového úkolu (tj. v pásu o šířce alespoň 0,5 m okolo místa zrakového úkolu uvnitř zorného pole) může být menší než osvětlení úkolu, avšak nesmí být nižší než hodnoty uvedené v tab. 7-1.

Tab. 7-1 Rovnoměrnost osvětlení a poměr osvětleností bezprostředního okolí a úkolu

Osvětlenost úkolu (lx)	Osvětlenost bezprostředního okolí úkolu (lx)
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	$E_{\text{úkolu}}$
rovnoměrnost osvětlení: ≥ 0,7	rovnoměrnost osvětlení: ≥ 0,5

Další důležitou zásadou dobrého osvětlení je omezení či zábrana oslnění. **Oslnění** je nepříznivý stav vyvolaný tím, že stínice nebo její část je vystavena jasů vyššímu, než na který je zrak adaptován. Jde tedy o zrakový počitek způsobený povrchy v zorném poli, které vyzařují s jasnem vyšším než je jas adaptační, např. svítidla, okna aj.. Oslnění zvyšuje únavu, může být příčinou chyb i úrazů. Oslnění může být pocíťováno buď jako **rušivé** (projevuje se obvykle po delší době zvýšenou únavou) nebo **omezující** (měřitelně jsou ovlivněny funkce zraku, např. ostrost vidění, rozlišovací schopnost atd.). Oslnění způsobené odrazy v zrcadlových površích je běžně chápáno jako závojové oslnění nebo oslnění odrazem. Tomuto typu oslnění se lze bránit zejména vhodným uspořádáním svítidel a pracovních míst, omezením jasu svítidel, zvětšením svíticí plochy svítidla, matnými povrchy předmětů i světlym stropem a stěnami prostoru. Rušivé oslnění okna je ještě předmětem výzkumu a v současné době není k dispozici vyhovující metoda pro hodnocení tohoto typu oslnění. Nicméně oslňování zdroji s vysokým jasnem je třeba bránit například vhodným cloněním (minimální úhly clonění jsou v ČSN EN 12464-1 předepsány) nebo zastíněním oken žaluziemi.

Pokud jde o rušivé oslnění svítidel ověřuje se stanovením **činitele oslnění UGR** (dřívější označení index oslnění GI_s). Činitel oslnění přímo od svítidel osvětlovací soustavy vnitřního prostoru musí být stanoven metodou CIE označovanou jako **Jednotný systém hodnocení oslnění (UGR)**, tj. podle vzorce

$$UGR = 8 \log_{10} \left(\frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right)$$

kde L_b je jas pozadí v $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ vypočtený jako $\pi \cdot E_{\text{ind}}$, kde E_{ind} je nepřímá osvětlenost svislé roviny proložené očima pozorovatele,
 L jas svíticí části každého svítidla ve směru očí pozorovatele v $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$,
 ω prostorový úhel (ve steradiánech), pod kterým vidí pozorovatel svíticí část uvažovaného svítidla,
 p činitel polohy podle Gutha pro každé svítidlo podle jeho odklonu spojnice svítidlo-oko od směru pohledu.

Vypočtená hodnota činitele UGR nesmí přesáhnout hodnoty uvedené pro to které pracoviště v normě ČSN EN 12464-1.

Je třeba vzít v úvahu, že doposud se návrhy osvětlovacích soustav interiérů zpracovávaly podle normy ČSN 360450 Umělé osvětlení vnitřních prostorů. V ní byla pro hodnocení rušivého oslnění upřednostňována metoda hodnocení oslnění podle jasu svítidel, která vycházela ze statistického zpracování výsledků experimentálních prací Söllnera a umožňovala pro určité geometrické uspořádání a průměrnou osvětlenost stanovit mezní jasy svítidel, a to tak, aby nejméně 50 % pozorovatelů v uvažovaném prostoru nepocíťovalo rušivé oslnění. Zmíněná metoda využívá grafů mezních jasů, do nichž se zakreslí čáry jasů použitých svítidel a tak se snadno ověřuje, kterým mezním křivkám svítidla z hlediska zábrany oslnění vyhovují. Pro svou jednoduchost se tato metoda často používala. Nicméně je třeba říci, že i pro metodu UGR lze zkonstruovat obdobné diagramy mezních jasů jako pro zmíněnou metodu Söllnerovu, čímž se využívání nově zaváděné metody podstatně usnadní.

Barevný tón světla zdrojů je určen chromatičností vyzařovaného světla a charakterizuje se náhradní teplotou chromatičnosti (T_{cp}). Nejčastěji se rozlišuje teple bílý barevný tón, jemuž odpovídá teplota chromatičnosti do 3 300 K, bílý tón s teplotami chromatičnosti od 3 300 do

5 300 K, a denní barevný tón s teplotami chromatičnosti nad 5 300 K. Volba barevného tónu světla světelných zdrojů je záležitostí psychologickou, estetickou a odvíjí se i od požadavků pracovníků. Závisí na hladině osvětlenosti, na typu interiéru, na barevné úpravě prostoru a nábytku i na klimatickém pásmu. V horkých oblastech se dává přednost barevnému tónu s vyšší teplotou chromatičnosti, zatímco v chladnějším prostředí se preferuje teplejší barevný tón světla s nižší teplotou chromatičnosti.

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.

V současné době se doporučuje pro volit teple bílý barevný tón při osvětlenostech do 500 lx, bílý barevný tón v oblasti 300 až 1 500 lx a denní barevný tón světla při hladinách nad 500 lx. Není-li třeba splnit nějaké zvláštní, např. estetické, požadavky, lze ve většině běžných případů k osvětlení vnitřních prostorů použít zdroje prakticky s libovolnou teplotou chromatičnosti. Z hlediska zrakového výkonu je při kombinovaném osvětlení možno používat světelné zdroje sousedních barevných tónů světla, zejména při osvětlenostech 500 lx a vyšších.

Pro zrakový výkon, i pro pocit celkové a duševní pohody je důležité, aby v daném prostředí byly barvy předmětů a lidské pokožky podány přirozeně, věrně a aby lidé vypadali přitažlivě a zdravě. Pro objektivní charakteristiku vlastností světelných zdrojů z hlediska podání barev byl zaveden index podání barev R_a . Světelné zdroje, jejichž světlo je charakterizováno indexem podání barev menším než 80 nesmějí být použity ve vnitřních prostorech, v nichž osoby pracují nebo pobývají dlouhodobě. Výjimky lze připustit v některých místech či činnostech (např. při osvětlení vysokých hal), avšak musí se udělat vhodná opatření k zajištění lepšího podání barev v určených pracovních místech se stálou přítomností osob a tam, kde musí být rozlišovány bezpečnostní barvy.

Zajištění určité směrovosti a stínivosti osvětlení je důležitou okolností podstatně ovlivňující viditelnost zrakového úkolu a zvláště rozlišitelnost detailů. Příliš ostré stíny nejsou vhodné. Osvětlení však nesmí být ani příliš difúzní, neboť to vede k velmi monotónnímu prostředí a navíc se zhoršuje rozlišování detailů. Vyváženost mezi difúzním a směrovaným světlem se nazývá **modelace** a je důležitým kritériem jakosti osvětlení vnitřních prostorů. Pokud jsou osoby a předměty osvětleny tak, že se pozorovateli jeví jasně a příjemně, zlepšuje se i celkový dojem o osvětlovaném prostoru.

V normě ČSN EN 12464-1 je uveden poměrně rozsáhlý výčet nejružnějších pracovišť vyskytujících se ve vnitřních prostorech a k nim jsou přiřazeny požadované parametry, t.j. udržovaná osvětlenost, index podání barev a činitel oslnění UGR. Příklady předepisovaných parametrů jsou pro několik vybraných pracovišť uvedeny v tab. 7-2.

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 pohybujících 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 pohybujících 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.

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. 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.

Tab. 7-2 **Parametry osvětlení ve vybraných pracovních prostorech** podle normy ČSN EN 12464-1

Typ prostoru, úkolu nebo činnosti	E_{pk} (lx)	GI_s ^{*)}	R_a
Dopravní zóny			
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 večerního studia a vzdělávání dospělých	500 ⁴⁾	19	80
Přednáškové haly	500 ⁴⁾	19	80
Tabule	500 ⁵⁾	19	80
Místnosti pro výtvarnou výchovu	500	19	80
dtto na výtvarných školách	750 ⁶⁾	19	90

Pozn.: *) Index oslnění podle UGR

- 1) Osvětlenost na podlaze (150 lx , jsou-li na cestě vozidla). Je třeba zabránit oslnění řidičů a chodců. Osvětlení východů a vchodů řešit bez náhlých změn hladin osvětlenosti.
- 2) R_a a GI_s podobné jako u přilehlých prostorů
- 3) Při používání displejů respektovat i další požadavky
- 4) Regulovatelné osvětlení
- 5) Zamezit zrcadlovým odrazům
- 6) $T_{cn} > 5\,000\text{ K}$

12. Osvětlování vnitřních prostorů

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, světelně technickým řešením prostředí, parametry osvětlovacích soustav i dalšími okolnostmi. Z těchto hledisek je například možno hovořit o osvětlování průmyslových prostorů, administrativních budov, obytných budov, škol, zdravotnických zařízení, společenských prostorů, muzeí, galerií a výstavních prostorů, veřejných prostorů v obchodech a ve službách, ale také o osvětlování ubytovacích a stravovacích prostorů, vnitřních prostorů v dopravě, zemědělských prostorů v živočišné a rostlinné výrobě, vnitřních sportovišť a dalších objektů.

Všeobecné zásady osvětlování vnitřních prostorů jsou shrnuty v kap. 7 „Požadavky na osvětlovací soustavy“. Základní ukazatele (udržovaná osvětlenost \bar{E}_m , index podání barev R_a a index oslnění UGR), které má splnit osvětlovací soustava v daném interiéru se určí podle typu prostorů (místností), podle druhu úkolů a činností z tabulek v normě ČSN EN 12464-1 (příklad tabulky uveden v kap.7 v tab. 7-2). Nejsou-li některé činnosti nebo prostory ve zmíněné normě v tabulkách uvedeny, aplikují se ukazatele pro podobné, resp. srovnatelné situace. Při dodržení hodnot základních ukazatelů a obecných zásad lze v konkrétních interiérech zajistit dobré umělé osvětlení a kvalitní světelné prostředí. V některých případech je třeba respektovat i určité zvláštní požadavky, např. ve zdravotnických zařízeních, v hlubinných dolech apod. Většinou bývají pro takové prostory zpracovány zvláštní směrnice, k nimž je nutno přihlížet jak při zpracovávání návrhu osvětlení, tak i při posuzování realizovaných osvětlovacích soustav.

Osvětlovací soustavy, jimiž se realizuje osvětlení interiérů, 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 rozlišuje osvětlení **normální** (napájené z rozvodné soustavy v jejím bezporuchovém stavu) a **poruchové** (napájené z rezervního zdroje). Normální osvětlení se většinou ještě člení na **hlavní** (určené pro normální běžný provoz) a **pomocné** (pro úklid a pomocné práce). Poruchové osvětlení se pak v souladu s normou ČSN EN 1838 „Osvětlení – Poruchové osvětlení“ rozlišuje na **náhradní** (využívané při poruše hlavního osvětlení k dokončení nezbytných prací, aby nedošlo k úrazům a nevznikly velké škody) a **nouzové**.

Nouzové osvětlení se pak dále člení 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 proti úrazového 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.

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.

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 temným 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. Použít 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. Kombinovaného 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 jasů 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.

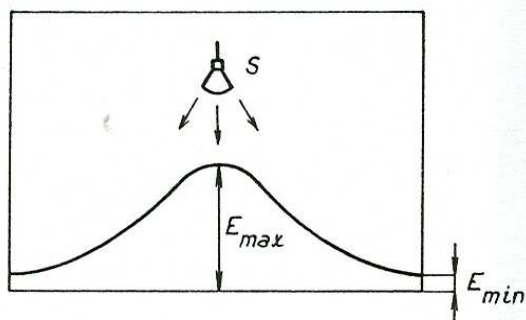
Celkové osvětlení se volí přednostně v místnostech, kde je většina činností charakterizována stejnou zrakovou obtížností a náročností, dále tam, kde není možné s ohledem na technologické, stavební a jiné požadavky zachovat stejnou orientaci zrakových úkolů (pracovních míst), rovněž v prostorech, kde 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 zařízení 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.

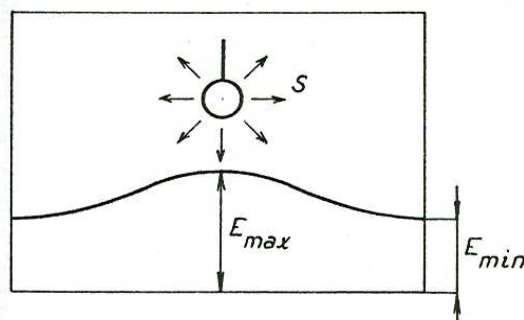
Kombinované osvětlení se volí přednostně v místnostech s různými zrakovými úkoly v jednotlivých místech při vysokých požadavcích na osvětlení, dále tam, kde zrakové úkoly vyžadují speciální techniku osvětlování (směrové světlo, osvětlení dutin apod.), všude, kde by celkové či odstupňované osvětlení bylo 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 případech 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 (viz kap. 6, tab. 6-1).

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.8-1 je znázorněn průběh osvětlenosti v bodech srovnávací roviny, ležících na stopě svislé roviny proložené svítidlem (při osvětlení prostoru jedním svítidlem).



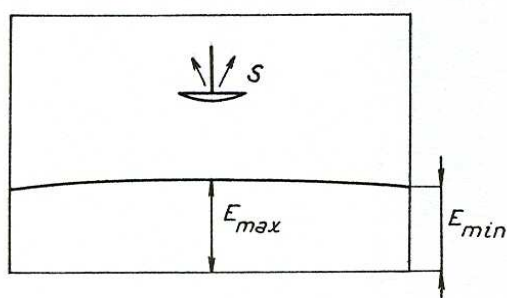
Obr.8 - 1



Obr. 8 - 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. 8-2), vržené stíny se stávají měkčími a snižuje se možnost oslnění.



Obr.8 - 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.8-3. 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. Pevážně 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.

Pevážně 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. Pevážně 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).

13. Osvětlování venkovních prostorů

Úkolem venkovního osvětlení je umožnit uživatelům venkovních prostorů pracovat a pohybovat se na venkovních komunikacích a prostranstvích se stejnou bezpečností a pohodlím jako ve dne. Značně vysoká hladina denního osvětlení dosahující 10 000 i 100 000 lx zajišťuje sice dobré osvětlení všech venkovních prostorů, ale trvá jen asi 4 400 hodin v roce. Při nedostatečném přírodním osvětlení, ve večerních a nočních hodinách (tj. asi 4.300 hodin za rok) je třeba zabezpečit dostatečnou viditelnost v těchto prostorech umělým osvětlením.

K venkovním prostorům, které je třeba osvětlovat umělým světlem, řadíme nejčastěji nejrozumnější komunikace, ulice, silnice, dálnice, pěší zóny, společenská centra a prostranství, ale patří k nim však i venkovní pracoviště (ať již běžného typu nebo specifická, jako např. v hutním průmyslu a na povrchových dolech), dále železniční prostranství, letištní plochy, různá sportoviště a konečně též kulturní a architektonické objekty.

Osvětlovací soustavy venkovních prostorů nezajišťují tedy pouze osvětlení v dopravě pěší,

motorové, kolejové, lodní, či letecké, ale plní i další funkce. Přispívají výraznou měrou k ochraně osob a majetku na veřejných místech (plní tudíž funkci bezpečnostní), umožňují zvýraznit vzhled a zrakový vjem architektonických objektů, budov, soch, zeleně, ale i osob (funkce společenská a architektonická), dovolují také po setmění pracovat, či sportovat, přičemž umožňují uskutečňovat i televizní přenosy, např. ze sportovních utkání konaných v období nedostatku denního světla. Konkrétní osvětlovací soustava plní obvykle několik ze zmíněných funkcí, např. dopravní, bezpečnostní a společenskou.

Je snahou vytvořit umělým osvětlením i ve venkovních prostorech zrakově příjemné prostředí, zajišťující co nejlepší podmínky pro práci zrakového orgánu a pro rozlišování sledovaných podrobností a překážek, přispívající ke zvýšení všeobecné bezpečnosti a současně podporující celkovou duševní pohodu člověka. Vzhledem k tomu, že při osvětlování venkovních prostorů jde jak o osvětlování venkovních pracovišť a komunikačních prostorů, tak i o osvětlování architektur, tedy o širokou škálu oblastí a účelů, vyplývají z toho mnohdy velmi různorodé požadavky na osvětlení těchto prostorů.

Návrh osvětlovací soustavy musí proto vycházet z konkrétní situace, z daného osvětlovaného prostoru, z jeho využití, rozměrů a rozmístění objektů, zařízení a je-li třeba i ze světelně technických vlastností povrchů (např. u komunikací). Musí brát v úvahu i klimatické podmínky, výskyt mlhy, prašnost a další okolnosti, např. působení osvětlovací soustavy na okolní objekty a prostory, nebo požadavky na plastický vjem pozorovaných předmětů, popřípadě na jakost barevného podání, či požadavky na barevný televizní přenos ze sportovišť apod.

Obecně lze říci, že zásady osvětlování venkovních prostorů jsou zcela analogické zásadám osvětlování interiérů. Kvantitativní a kvalitativní požadavky na osvětlení vycházejí i v těchto případech z výsledků základních výzkumů obtížnosti a náročnosti té které zrakové činnosti. Ve většině případů venkovních prostorů jsou v předpisech kvantitativní požadavky určovány požadovanou hladinou místně průměrné a časově minimální osvětlenosti srovnávací roviny, která je nejčastěji vodorovná a umístěná v úrovni terénu. Jsou však případy, kdy např. na některých sportovištích se srovnávací rovina umísťuje až do výše 1,5 m nad povrch, v jiných situacích (např. na pěších zónách) rozhodují hladiny osvětlenosti na vertikálních rovinách. Při návrhu osvětlení komunikací s motorovou dopravou se jako kvantitativní charakteristika úrovně osvětlení používá hladina jasů na povrchu komunikace. Na rozdíl od ostatních případů venkovního osvětlení je totiž na komunikacích možno určit převažující směr pohledu řidiče motorového vozidla a k tomuto směru stanovit odrazné charakteristiky povrchu vozovek. Popsat světelně technické vlastnosti povrchů komunikací je prakticky proveditelné, neboť se běžně užívá jen omezený počet typů úprav povrchové vrstvy vozovek. Využití jasů k hodnocení úrovně osvětlení je nesporně objektivnější, neboť jasy vystihují skutečnou situaci z hlediska zrakového vnímání věrněji než pouhé hladiny osvětlenosti. Přesněji lze určovat kontrasty jasů pozorovaných objektů a jejich pozadí a tudíž lépe charakterizovat rozlišitelnost předmětů, tzn. v daném případě zejména překážek na komunikaci.

Ke kvalitativním parametrům osvětlení venkovních prostorů patří ve všech případech rovnoměrnost, ať již hladin osvětlenosti nebo jasů. Rovnoměrnost je přitom definována jako poměr minimální hladiny sledované veličiny k jejímu maximu (např. u komunikací podélná rovnoměrnost v podélné ose jízdního pruhu) nebo k její průměrné hodnotě (např. u komunikací celková rovnoměrnost).

Velmi důležitým ukazatelem kvality osvětlení je omezení oslnění. Základním prostředkem zůstává i ve venkovním osvětlení vhodná clonění svítidel a jejich správné geometrické uspořádání v dané soustavě. Hodnocení fyziologického oslnění se obvykle provádí s využitím výpočtu ekvivalentního závoje jasů posouzením relativního zvýšení prahu rozlišitelnosti. Hodnocení psychologického oslnění je vesměs založeno na statistickém zpracování výsledků experimentů, při nichž poměrně velké skupiny pozorovatelů subjektivně podle zadané stupnice hodnotí úroveň oslnění v různých situacích. V zásadě tento přístup vycházející ze subjektivního hodnocení zřejmě nejlépe vystihuje skutečné procesy probíhající při oslnění, neboť jejich podstata není ještě dostatečně probádána. Proto jsou i v praxi používané nejrozličnější empirické vzorce stále nedokonalé a mají omezenou platnost.

V některých venkovních prostorech je nutno věnovat pozornost směrovosti a stínivosti osvětlení, obdobně jako v interiérech. Jde nejenom o výstavní plochy, o pěší zóny, některá sportoviště, ale tyto otázky hrají svou roli i na komunikacích (např. při osvětlování přechodů pro chodce) a rovněž na různých venkovních pracovištích.

Nároky na barevné podání jsou ve venkovních osvětlovacích soustavách zpravidla malé. Například při osvětlování komunikací běžně postačuje využívat vysokotlaké sodíkové výbojky s relativně nízkým indexem podání barev. Mají-li však být z určitých prostorů, např. sportovišť, uskutečněny barevné televizní přenosy, musí se k osvětlení takových ploch volit zdroje s vysokým indexem podání barev $R_a \geq 80$. Například lze k tomu účelu použít halogenidových výbojek.

Ani při osvětlování venkovních prostorů nelze opomíjet otázky hospodárnosti. Vždy je třeba při splnění všech světelně technických požadavků hledat takové řešení, které by optimálně vyhovovalo i z hlediska nároků na investiční prostředky nutné k vybudování osvětlovacího zařízení a rovněž z hlediska energetické náročnosti osvětlení a nákladů, které bude třeba věnovat na provoz a údržbu dané osvětlovací soustavy.

Z hlediska typu použitého světelného přístroje se osvětlovací soustavy pro venkovní osvětlení dělí na soustavy se svítidly a na soustavy se světlomety. Podle soustředění světelných přístrojů rozeznáváme pak soustavy decentralizované a centralizované.

Decentralizované osvětlovací soustavy bývají obvykle realizovány se svítidly a jsou charakterizovány tím, že mají větší počet světelných míst rozmístěných po osvětlované ploše. Každé světelné místo je osazeno jedním nebo více svítidly a má svůj nosný systém (např. stožár). Svítidla jsou většinou jednotně orientována, např. tak, že jejich optická osa je svislá.

Decentralizované **mnohamístné** osvětlovací soustavy mohou být buď plošně nebo lineárně rozvržené. U plošně rozvržených soustav se světelná místa na prostranství vhodně rozmístí ují tak, aby se dosáhlo co nejhospodárnějšího využití světelného toku svítidel. Svítidla v takové soustavě mohou mít i prostorově souměrné rozložení světelného toku. K osvětlení venkovních ploch ve tvaru pruhu nebo pásu se užívá lineárně rozvržených mnohamístných osvětlovacích soustav se svítidly, která mají nesouměrné rozložení světelného toku, které by mělo být vhodně přizpůsobeno daným geometrickým podmínkám. Příkladem decentralizované mnohamístné plošně rozvržené soustavy může být soustava osvětlující náměstí. S decentralizovanou mnohamístně lineárně rozvrženou soustavou se běžně setkáme při osvětlování komunikací.

Centralizované soustavy jsou tvořeny malým počtem plošně rozvržených světelných míst, ve kterých je soustředěno několik různě směřovaných světelných přístrojů, nejčastěji světlometů. Nosné systémy těchto soustav tvoří buď vysoké stožáry nebo věže, které jsou často pro obsluhu a údržbu zařízení vybaveny lávkami. Příkladem centralizované soustavy může být osvětlení sportovního areálu ze čtyř věží. V některých případech, zejména při osvětlování rozsáhlých venkovních pracovišť, je možno osvětlení realizovat oběma zmíněnými způsoby a optimální variantu je třeba vybírat na základě technicko ekonomického rozboru.

Výhodou decentralizovaných soustav se svítidly je, že se u nich dosahuje lepšího využití světelného toku svítidla, snáze se omezuje jak oslnění, tak nepříznivé působení osvětlovací soustavy na okolí, jednodušší je rovněž zajistit vytváření potřebných stínů a konečně také investiční náklady na soustavy se svítidly jsou obvykle nižší.

Na druhé straně k výhodám centralizovaných soustav se světlomety patří obvykle nižší energetická náročnost, snáze se těmito soustavami zajišťuje rovnoměrnost, předností je i malý počet stožárů nebo věží, které neomezuji osvětlovanou plochu a další nezanedbatelnou skutečností je i snadnější údržba centralizovaného osvětlovacího zařízení.

Kromě uvedených osvětlovacích soustav existují i speciální druhy soustav, jejichž uspořádání a fotometrické vlastnosti se plně podřizují specifickým požadavkům vyplývajícím z konkrétní situace, potřeb a účelu, např. při osvětlování architektur.

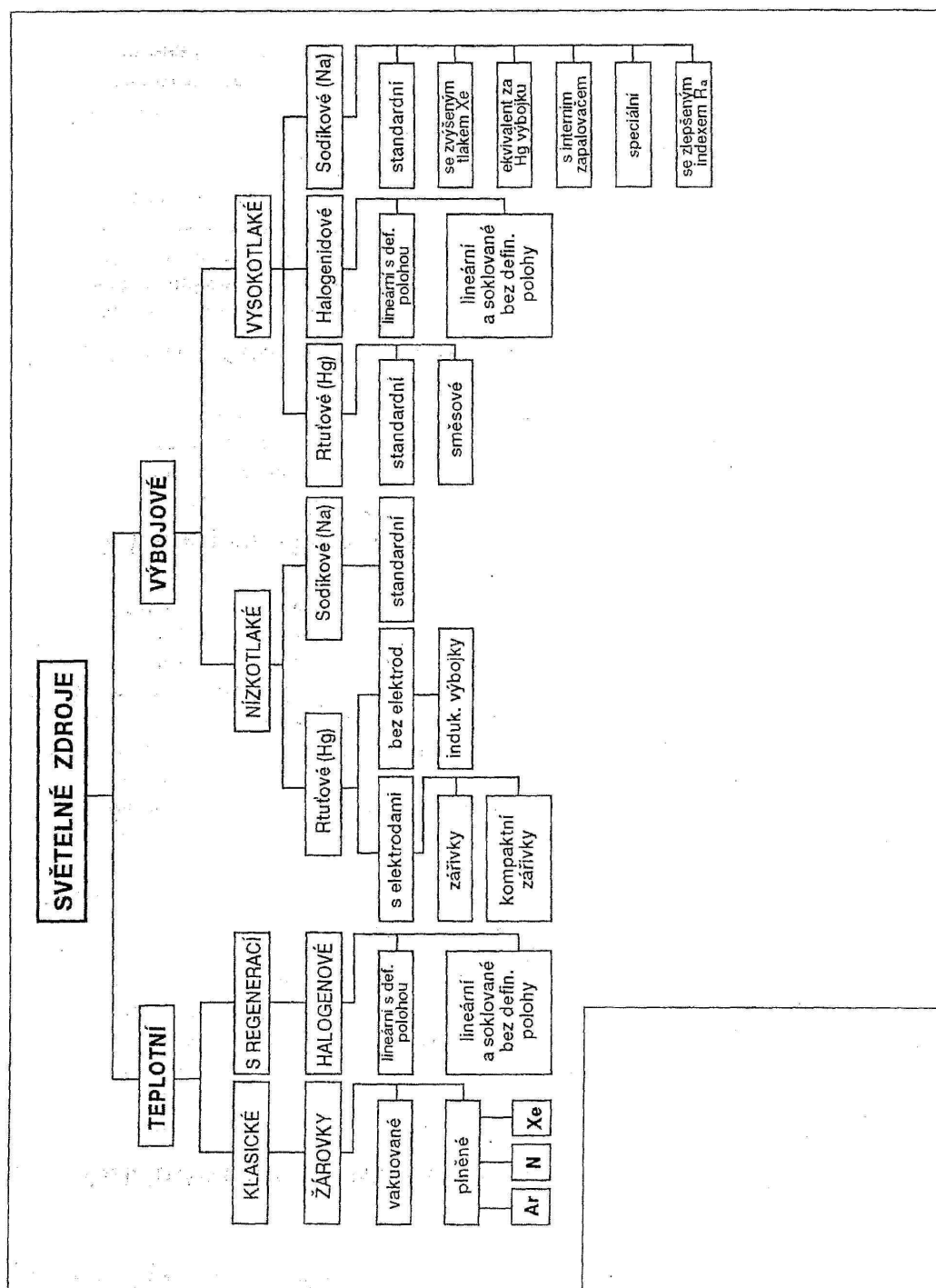
Poznamenejme ještě, že i pro jednotlivé oblasti venkovního osvětlení se postupně zavádějí nové evropské normy. Například je již v platnosti nejen norma pro sportoviště ČSN EN 12193 Světlo a osvětlení – Osvětlování sportovišť, ale zejména normy pro osvětlování komunikací EN 13201- 2, 3, 4 Road lighting, jejichž české verze, tj. ČSN EN 13201- 2 Osvětlení pozemních komunikací – část 2 Požadavky; ČSN EN 13201- 3 Osvětlení pozemních komunikací – část 3 Výpočet a konečně ČSN EN 13201- 4 Osvětlení pozemních komunikací – část 4 Metody měření osvětlení jsou již též ve fázi schvalování a budou v krátké době rovněž k dispozici.

Zcela specifickou oblastí venkovního osvětlení je osvětlování letišť, které se řídí zvláštními mezinárodními předpisy ICAO (International civil Aviation Organization).

Literatura

- [1] Publikace IES: Lighting handbook. Ill. Eng. Society, Ninth Edition. New York 2000. ISBN 0-87995-150-8.
- [2] Hentschel, H. J.: Licht und Beleuchtung. Heidelberg, Hüthig Verlag 1982.
- [3] Habel, J. a kol.: Světelná technika a osvětlování. FCC Public, Praha 1995.
- [4] ČSN IEC 50(845) Mezinárodní elektrotechnický slovník. Kap. 845, Osvětlení. 1995.
- [5] ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - Část 1: Vnitřní pracovní prostory. 2002
- [6] Publikace CIE č.117 - 1995: Discomfort glare in interior lighting. ISBN 3 900 734 70 4.
- [7] EN 13201-2 Road lighting. Part 2: Performance requirements. 2003
- [8] ČSN EN 12193 Světlo a osvětlení – Osvětlování sportovišť

14. Přehled typů světelných zdrojů



15. Doporučené postupy energetického auditora při hodnocení osvětlovacích soustav

Z předchozího textu je zřejmé, jak složitá je problematika osvětlení a že její správné pochopení vyžaduje úzkou odbornou specializaci.

Energetický auditor má za úkol posoudit hospodárnost užití energie v osvětlovacích soustavách. Od této skutečnosti je proto nezbytné odvodit i postup při zpracování energetického auditu v této části je nutné, aby si při řešení kladl následující otázky a samozřejmě hledal na ně odpovědi.

- Jaké se vyskytují v řešené budově okruhy prostorů a jaké jsou požadavky na osvětlení?
- Existuje platná projektová dokumentace osvětlovací soustavy?
- Vyhovuje osvětlovací soustava požadavkům normy, podle které byla navržena?
- Existuje protokol o měření osvětlovací soustavy?
- Vyhovují použité zdroje osvětlení kritériím hospodárnosti užití energie?
- Je měřena spotřeba elektřiny osvětlovací soustavy?
- Je pravidelně prováděna údržba osvětlovací soustavy?
- Je pravidelně prováděno čištění průsvitných ploch v osvětlovaných prostorách?
- Je provozovatelem ustanovena odpovědná osoba za provozování osvětlovací soustavy?
- Jaké je stáří osvětlovací soustavy?
- Odpovídají v současné době realizované pracovní činnosti projektovaným? Pokud ne, v kterých prostorách došlo ke změnám a jaké jsou požadavky na osvětlení?
- Připravujete v některých prostorách (a v jakých?) rekonstrukci osvětlovací soustavy?

Odpovědi na výše uvedené otázky musí být zohledněny do následujících postupových kroků energetického auditora:

1) Analýza stávajícího stavu, tj. vyhodnocení:

- disponibility projektové dokumentace,
- požadavků na osvětlení v jednotlivých prostorách,
- instalovaného příkonu a roční spotřeby osvětlovací soustavy,
- měrné spotřeby elektřiny na jednotku plochy prostoru, ve kterých je instalována osvětlovací soustava za rok,
- hospodárnosti užití energie osvětlovacích soustavách,
- souladu osvětlovací soustavy s požadavky příslušné normy,
- kvality prováděné údržby osvětlovací soustavy,
- potenciálu technicky dosažitelného potenciálu úspor energie.

2) Řešení v oblasti hospodárnosti užití energie v osvětlovacích soustavách, tj.

- formulace variant zvýšení efektivnosti užití energie (výměna zdrojů osvětlení, rekonstrukce osvětlovací soustavy, instalace regulačních prvků, změny řízení apod.)
- kvantifikace nároků a účinků variant (roční spotřeba elektřiny, průměrné roční provozní náklady, investiční náklady apod.)
- ekonomické hodnocení variant.

3) Doporučená varianta zvýšení efektivnosti užití energie v osvětlovacích soustavách, tj.

- kvantifikace předpokládaných úspor
- investičních a provozních nákladů
- doby realizace navržených opatření.

Pro energetického auditora je dále doporučitelné specifikovat požadavky na prověřené osvětlení z hlediska požadavku na zrakový výkon a energetické hospodárnosti osvětlovací soustavy v případě změny využití prostorů nebo kdykoliv se vyskytnou pochybnosti o parametrech osvětlení z hlediska hygienických požadavků.

Závěrem lze konstatovat, že není účelné a ani vhodné, aby energetický auditor prováděl měření osvětlovací soustavy, pokud není autorizovanou osobou podle zákona č. 258/2000 Sb., resp. zák. č. 22/1997 Sb.

Pokud je měření nezbytné provést, potom je třeba jej zajistit, v součinnosti se zadavatelem, u oprávněné osoby.

Rovněž není účelné provádět jakékoliv orientační měření např. intenzity osvětlení, pokud není zcela vyloučena denní složka osvětlení. Naměřené údaje potom totiž nedisponují potřebnou vypovídací hodnotou.

Pokud energetický auditor při své práci identifikuje potřebu zásadního řešení v oblasti osvětlovací soustavy, je nezbytné aby se na řešení podílela oprávněná osoba (tj. autorizovaný inženýr, nebo autorizovaný technik), a to pravděpodobně mimo rámec energetického auditu.

Všechny návrhy provedené energetickým auditorem musí bezesbýtku odpovídat zákonu o ochraně veřejného zdraví. Je proto nutné si uvědomit, že případné návrhy na redukci počtu zdrojů osvětlení, změnu umístění zdrojů či návrhy na redukci provozní doby osvětlovací soustavy bez ohledu na aktuální světelné podmínky ve vztahu k požadavkům na osvětlení pracovišť.

Proto je nezbytné vždy při realizaci návrhů tohoto typu provést kvalifikovaný návrh osvětlovací soustavy oprávněnou osobou.

16. Závěr

Výše uvedený produkt si nekladl za cíl vyčerpávajícím způsobem popsat problematiku osvětlení. Naopak cílem tohoto materiálu je objasnit základní principy a sdělit energetickým auditorům či zadavatelům energetických auditů co je důležité při provádění hodnocení hospodárnosti užití energie v osvětlovacích soustavách v rámci realizace energetického auditu.