

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky



ZÁKLADY ZÁKLADŮ SVĚTELNÉ TECHNIKY

Karel Sokanský a kolektiv

OSTRAVA 2007

Pod vedením Prof. Ing. Karla Sokanského, CSc. z VŠB-TU Ostrava, Fakulty elektrotechniky a informatiky vypracoval tým autorů:

Ing. Tomáš Novák, Ph.D.

Ing. František Dostál

Ing. Alena Muchová

Jiří Voráček

Ing. Luděk Hladký

Ing. Zdislav Žwak

1. ÚVOD

Světlo patří k důležitým faktorům, které významně podmiňují úroveň životního prostředí. Vyvolává v člověku fyziologické a psychologické reakce, které jsou ovlivňovány množstvím světelné energie, jejím časovým a prostorovým rozložením, druhem světla a jeho barevnou jakostí. Pomocí zraku člověk získává až 90% informací o prostředí, které ho obklopuje.

V současnosti je umělé osvětlení v budovách zajišťováno pomocí elektřiny. Podíl spotřeby elektrické energie (dodané spotřebitelům) pro umělé osvětlení je v evropských zemích mezi 10 až 14 % a je předpoklad, že s rozšiřováním sortimentu kvalitnějších a efektivnějších zdrojů světla a svítidel se bude v dlouhodobém výhledu mírně snižovat. V ČR je podíl spotřeby elektrické energie (dodané spotřebitelům) pro umělé osvětlení cca 11 %.

Průměrná roční spotřeba elektrické energie v ČR za rok 2006 byla 59,4 TWh. **To znamená, že roční spotřeba elektrické energie v ČR pro osvětlování je více než 6,5 TWh.**

Význam umělého osvětlení vyplývá i ze skutečnosti, že tento druh spotřeby elektřiny velmi výrazně ovlivňuje celkovou spotřebu elektrické energie v době energetických špiček a to zejména v zimním období. Potvrzují to i výsledky odborných šetření a průzkumu Státní energetické inspekce, podle níž **se umělé osvětlení může na maximum odběru výkonu elektrizační soustavy ČR podílet i více než 20-ti %.**

I z tohoto důvodu je nezbytné neustále narůstající kvantitativní a kvalitativní požadavky na umělé osvětlení řešit s maximální hospodárností při respektování hlediska minimalizace energetické náročnosti.

Cílem této příručky je seznámit odbornou i laickou veřejnost s možnostmi snižování energetické náročnosti osvětlovacích soustav. Osvětlovací soustavy nás v běžném životě doprovázejí na každém kroku, tudíž je nutné v rámci publikace rozebrat jak osvětlovací soustavy pro vnitřní osvětlování, tak soustavy pro venkovní prostředí. V obou případech se především jedná o možnostech svítidel a světelných zdrojů a možnostech jejich řízení a údržby.

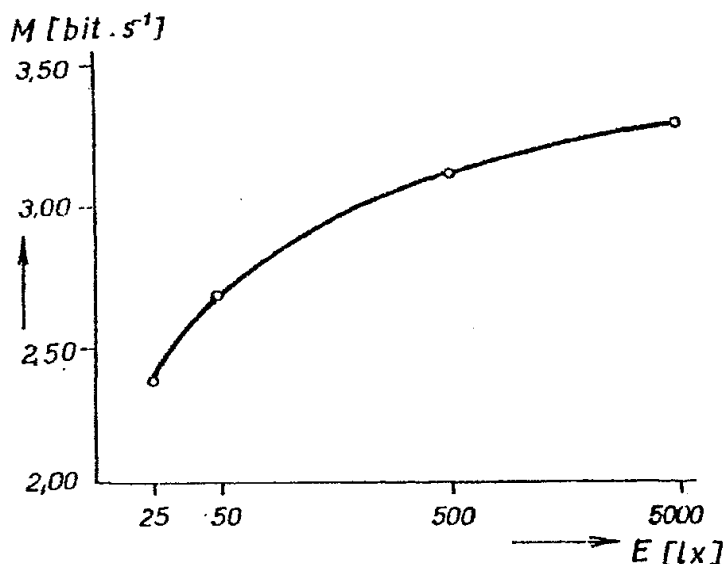
Příručka se věnuje i novým možnostem v oblasti osvětlování, které se v poslední době prosazují díky rozmachu nových technologií (zejména informačních a polovodičových).

1.1. Zrakový systém z pohledu množství přenášené informace

Vidění neboli zrakové vnímání je proces poznávání okolního prostředí. Jedná se o proces příjmu zrakové informace rozlišením rozdílů jasů (kontrastu) barev a tvarů. Na základě rozlišení dochází k identifikaci a analýze, což je poznávání předmětů a vztahů mezi nimi a zařazení do našeho vědomí, buď k okamžitému použití pro danou činnost, nebo k uložení do paměti. **Cílem vidění je tedy rozpoznávání.**

Množství informace získané zrakem a přenášené do mozku člověka je možno charakterizovat **informačním výkonem**. Jeho velikost stoupá se zvyšujícími se osvětlenostmi a tudíž i jasy pozorovaných objektů.

Informační výkon stoupá se zvyšující se osvětleností, ale jeho nárůst je limitován maximální přenosovou kapacitou informačního kanálu. Na nárůst informačního, resp. zrakového výkonu má proto podstatně větší vliv zvýšení osvětlenosti v oblasti relativně nízkých hladin okolo 50 lx, než zvyšování poměrně vysokých osvětleností v oblasti nad 500 lx. Tyto skutečnosti je třeba mít na zřeteli při navrhování osvětlovacích soustav umělého osvětlení z pohledu maximální efektivity využití spotřebované energie. To znamená, že je nutné mít na zřeteli transformování elektrické energie na množství přenášené informace, nikoliv přímo transformaci elektrické energie na světlo. Křivka závislosti množství přenášeného výkonu totiž ukazuje, že navrhování osvětlovacích soustav na osvětlenosti vyšší než 5 000 lx má smysl pouze v odůvodněných případech (např. operační sály, atd.).



Obr. 1. 1. Závislost množství přenášené informace na osvětlenosti

1.2. Základní světelně-technické veličiny a pojmy z pohledu jejich vlivu na spotřebu elektrické energie

Ø Měrný světelný výkon $[h_v] = \text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$ (lumen na watt)

Udává, s jakou účinností je ve zdroji světla elektřina přeměňována na světlo, tj. kolik lm světelného toku se získá z 1 W elektrického příkonu.

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad [\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}; \text{lm}, \text{W}], \quad (1.1)$$

kde

Φ je světelný tok

P je elektrický příkon

U zdrojů bez předřadníků, to znamená žárovek, je výkon zdroje totožný s příkonem svítidla, u zdrojů s předřadníkem, jako jsou zářivky anebo výbojky, je nutno k příkonu světelného zdroje přičíst příkon předřadníku. Např. svítidlo osazené jednou trubící o výkonu 36 W má při provozu s klasickým předřadníkem příkon cca o 5 W vyšší. Navýšení příkonu pokrývá ztráty v předřadníku (tlumivce). Měrný výkon má zásadní vliv na velikost spotřebované energie.

Ø **Teplota chromatičnosti** (náhradní teplota chromatičnosti u výbojových zdrojů)
 $[T_c] = K$ (Kelvin)

Teplotou chromatičnosti zdroje je označována ekvivalentní teplota tzv. černého zářiče (Planckova), při které je spektrální složení záření těchto dvou zdrojů blízké. Zvýší-li se teplota absolutně černého tělesa, zvýší se podíl modré části vyzařovaného spektra a sníží se jeho červený podíl. Například žárovka se spojitým spektrem světla má teplotu chromatičnosti 2700 K, zatímco zářivka se světlem podobným dennímu má teplotu chromatičnosti 6000 K.

Tato veličina má výrazný vliv na vhodnost použití světelného zdroje pro konkrétní zrakové činnosti. Se zvyšující se teplotou chromatičnosti určitého typu světelného zdroje klesá díky křivce spektrální citlivosti lidského oka jeho světelný tok, tedy i měrný světelný výkon a naopak.

Ø **Index podání barev $[R_a]$** = - (bezrozměrná veličina)

Každý světelný zdroj by měl podávat svým světelným tokem barvy okolí věrohodně, jak je známe u přirozeného světla nebo od světla žárovek.

Měřítkem pro tuto vlastnost se stává všeobecný index podání barev R_a daný rozsahem $100 \div 0$. Index podání barev 100 mají takové světelné zdroje, které zobrazují barvy věrně, to znamená stejně jako světlo denní. Index podání barev 0 mají naopak světelné zdroje, které vyzařují veškerý světelný tok na jedné vlnové délce, tudíž nemůže docházet k rozeznání barev, protože tyto barvy nejsou ve spektru obsaženy. Například pro pracoviště ve vnitřních prostorách s trvalým pobytem osob je předepsán index podání barev vyšší než 80. Obecně platí že u konkrétních typů světelných zdrojů má zvyšující se index podání barev vliv na snížení světelného toku a tedy měrného světelného výkonu.

Ø **Život světelného zdroje $[T] = h$** (hodina)

Život světelného zdroje je doba funkce zdroje do okamžiku, kdy přestal splňovat stanovené požadavky. Obvykle se vyjadřuje v hodinách. V průběhu činnosti probíhají ve světelném zdroji různé procesy, které způsobují postupné změny jeho parametrů, a určují tak dobu jeho funkce. V této souvislosti se používá pojem užitečný a fyzický život. Ukazatelem je křivka úmrtnosti, která udává, kolik zdrojů z daného souboru svítí v časovém průběhu až do 50% výpadků.

Užitečný život je doba funkce zdroje, během níž si jeho parametry zachovávají hodnoty ležící v určitých stanovených mezích. Např. u zářivek je užitečný život definován jako doba, během níž neklesne jejich světelný tok pod 70% počáteční hodnoty.

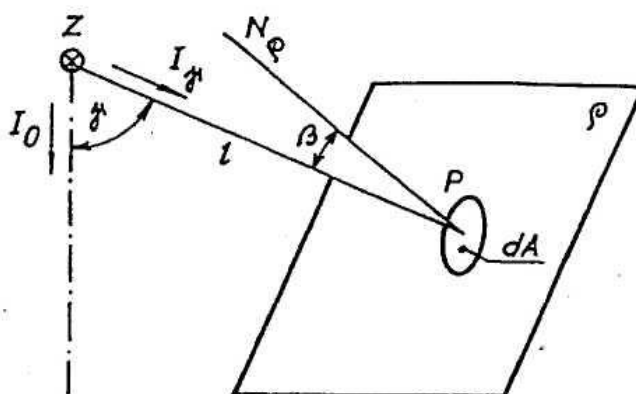
Fyzický život je celková doba svícení do okamžiku úplné ztráty provozuschopnosti (např. u žárovek do přerušování vlákna, u výbojek do ztráty schopnosti zapálit výboj).

Je zřejmé, že čím větší je doba života světelného zdroje, tím jsou menší i náklady na údržbu osvětlovacích soustav.

Ø Čtvercový a kosinův zákon

Osvětlenost od bodového zdroje v daném bodě lze vypočítat pomocí čtvercového a kosinova zákona (viz Obr.1.2) dle následujícího vztahu (1.2). Tento vztah je nutno chápat tak, že osvětlenosti ubývá s kvadrátem vzdálenosti. Při navrhování osvětlovacích soustav je tedy vždy nutné vycházet z minimální možné závěsné výšky svítidel tak, aby nedocházelo k oslňování a byly také dodrženy požadavky na rovnoměrnost osvětlení. Vztah (1.2) také vypovídá o tom, že osvětlenosti ubývá podle goniometrické funkce kosinus pokud se bude zvyšovat úhel β dle Obr.1.2.

$$E_{p\rho} = \frac{I_{\gamma} \cdot \cos \beta}{l^2} \quad [\text{lx; cd, m}] \quad (1.2)$$



Obr. 1.2 Osvětlenost od bodového zdroje

Osvětlenost lze považovat při navrhování osvětlovacích soustav za nejdůležitější veličinu, protože pro jednotlivé pracovní činnosti a prostory je její velikost předepsána v normách a pro projektanty jsou tyto hladiny osvětlenosti závazné.

Ø Světelně technické vlastnosti látek

Světelný tok Φ , který dopadá na povrch nějakého tělesa se od tohoto povrchu částečně odrazí Φ_{ρ} , částečně projde Φ_{τ} a část tohoto toku je tělesem pohlcena Φ_{α} . Činitelé odrazu ρ , propustnosti τ a pohlcení α jsou dáni vztahy:

$$\rho = \frac{\Phi_{\rho}}{\Phi} \quad [-; \text{lm, lm}] \quad (1.3)$$

$$\tau = \frac{\Phi_{\tau}}{\Phi} \quad [-; \text{lm, lm}] \quad (1.4)$$

$$\alpha = \frac{\Phi_{\alpha}}{\Phi} \quad [-; \text{lm, lm}] \quad (1.5)$$

Mezi těmito činiteli platí vzájemná souvislost, kterou lze chápat jako zákon o zachování energie.

$$\rho + \tau + \alpha = 1 \quad (1.6)$$

Rozložení světelného toku, odraženého od povrchu určité látky, může mít různý charakter. Nejjednodušším případem je tzv. **zrcadlový odraz**, kdy se světelné paprsky od daného

povrchu odrážejí pod stejným úhlem, pod kterým na povrch dopadly. Další jednoduchý případ je, když se rozdělí světelný tok odražený od určitého elementu povrchu tak, že jas tohoto elementu uvažované plochy je ve všech směrech stejný. Jde o rovnoměrně rozptylný, neboli **difuzní odraz**. Svítivost takového ideálního rozptylovače je maximální v kolmém směru. V ostatních směrech je svítivost I_γ určena kosinovým zákonem viz. vztah (1.2).

U difuzních povrchů je důležitá souvislost mezi jejich osvětleností E , jasnem L a odrazností povrchu ρ .

$$\pi \cdot L = \rho \cdot E \quad [\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}; -, \text{lx}] \quad (1.7)$$

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 rozptylného prostupu světelných paprsků se rozložení svítivosti řídí také kosinovým zákonem. To znamená, že světelně-technické vlastnosti takového povrchu jsou pak stejné, jako vlastnosti povrchu difúzně odrážejícího.

Prakticky ovšem neexistují ani ideální zrcadla, ani ideální rozptylovače. Zrcadla v různém stupni také světlo poněkud rozptylují a naopak matné, mdlé či drsné povrchy používané k rozptýlení světla vykazují určitý zrcadlový účinek.

Odravné a propustné vlastnosti látek mají výrazný vliv na celkový příkon osvětlovacích soustav a to zejména u malých vnitřních prostor, kde vlivem odraznosti povrchů, dochází na základě mnohonásobných odrazů ke zvýšení osvětlenosti na srovnávací rovině.

2. ÚČINNOST SVÍTIDEL A MOŽNOSTI JEJÍHO ZVYŠOVÁNÍ

Svítidla jsou elektrické přístroje, které tvoří základní prvky osvětlovacích soustav. Skládají se z částí světelně činných, částí konstrukčních a částí elektrických. Světelně činné části slouží ke změně rozložení světelného toku, k rozptylu světelného toku, k zábraně oslnění, snížení jasu, popřípadě ke změně spektrálního rozložení světla. Konstrukční části svítidla slouží k upevnění světelného zdroje, k upevnění světelně činných částí, k instalaci elektrických částí, ke krytí světelných zdrojů, světelně-činných a elektrických částí, před vniknutím cizích předmětů a vody a k ochraně před nebezpečným dotykovým napětím. Svítidla musí splňovat podmínky jednoduché a snadné montáže, jednoduché údržby, dlouhého života a spolehlivosti.

2.1. Světelné technické parametry svítidel

2.1.1. Světelný tok svítidla

Světelný tok svítidla Φ_{SV} , který je svítidlem opticky upravena, je dán rozdílem světelného toku všech zdrojů Φ_Z umístěných ve svítidle a světelného toku ztraceného Φ_{ZTR} , který se ztratil při optickém zpracování.

2.1.2. Účinnost svítidla

Účinnost svítidla charakterizuje hospodárnost svítidla a její hodnota je dána poměrem světelného toku svítidla ke světelnému toku zdrojů dle vztahu:

$$\eta_{sv} = \frac{\Phi_{sv}}{\Phi_z}, \quad [-; \text{lm}, \text{lm}] \quad (2.1)$$

kde

Φ_{sv} ... světelný tok svítidla

Φ_z ... světelný tok všech zdrojů světla ve svítidle

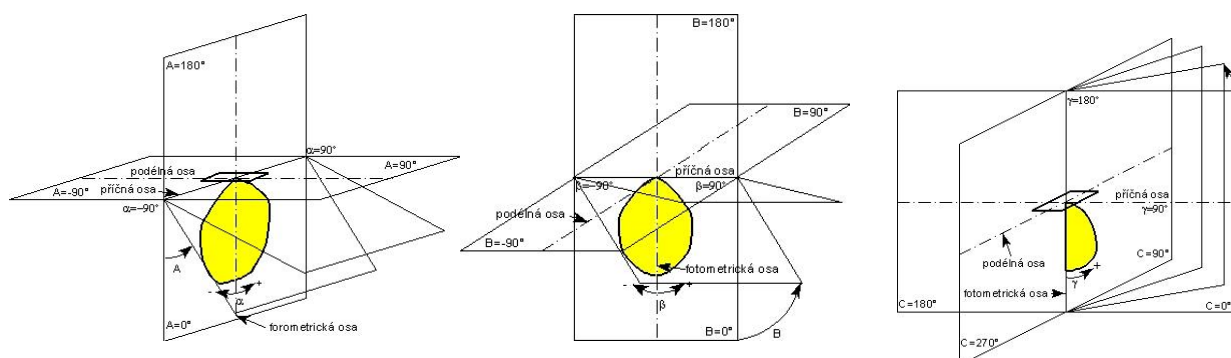
Maximální účinnost by měl z tohoto hlediska holý světelný zdroj v objímce. Ten však není možné použít s ohledem na oslnění, nevhodné směřování vyzařovaného světelného toku a nedostatečnou ochranu před povětrnostními vlivy a mechanickým poškozením. Z hlediska maximálního využití dodávané elektrické energie je třeba dosahovat vysokých hodnot této veličiny. **U běžných svítidel se v současnosti pohybuje účinnost v rozmezí od 0,3 do 0,9.**

Upozornění - zářivky mají světelný tok závislý na teplotě a dle CIE se pro zářivková svítidla definuje optická a provozní účinnost. Optická účinnost se stanovuje z hodnot světelného toku svítidla a zdrojů při provozních teplotách. Provozní účinnost je určena světelným tokem svítidla při provozní teplotě a tokem zdroje při jmenovité teplotě, která se uvažuje pro zářivky 25 °C.

2.1.3. Svítivost svítidel

Prostorové rozložení svítivosti svítidla je souměrné anebo nesouměrné. Souměrné rozložení může být rotační anebo souměrné k jedné anebo více axiálním rovinám.

Svítivosti se udávají nejčastěji pomocí fotometrického systému C- γ . U svítidel s rotačně symetrickou plochou svítivosti postačí křivka v jedné fotometrické rovině. U zářivkových svítidel se zpravidla udávají dvě křivky a to v rovinách C₀ a C₉₀. U venkovních svítidel se z důvodů zábrany oslnění předepisují pro dané stupně oslnění maximální hodnoty svítivosti a to pro určité směry ve vybraných rovinách v soustavě C- γ . Rozložení svítivosti daného svítidla lze též znázornit pomocí izokandelového diagramu.



Obr. 2.1: Křivky svítivosti ve fotometrických systémech A- α , B- β , C- γ

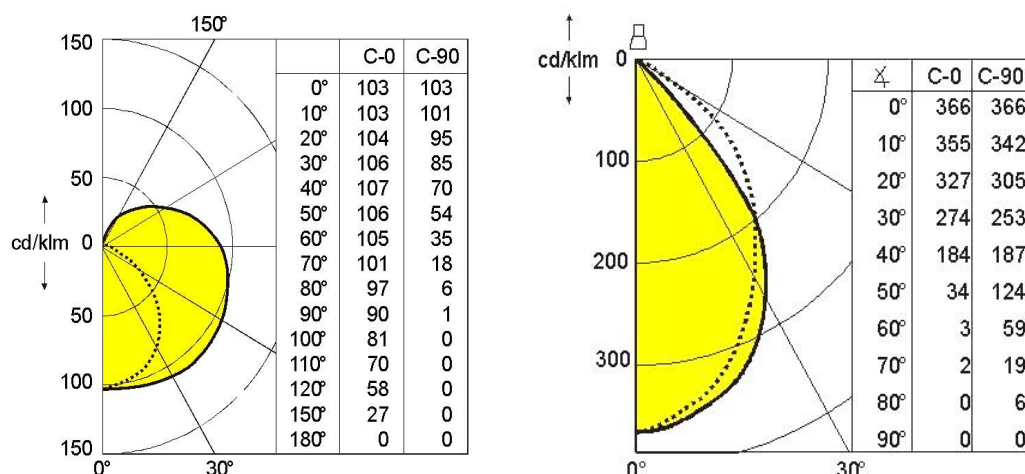
Rozdělení svítidel podle tvaru křivky svítivosti

Pro vystižení tvaru křivky svítivosti svítidla se používá činitel tvaru křivky K_F a úhlové pásmo maximální svítivosti. Činitel tvaru křivky je dán poměrem maximální svítivosti I_{max} a střední svítivosti I_{stř} dle vztahu:

$$K_F = \frac{I_{\max}}{I_{\text{stř}}} \quad [- ; \text{cd}, \text{cd}] \quad (2.2)$$

Tab. 2.1: Rozdělení svítidel podle tvaru křivky svítivosti

Tvar křivky svítivosti		Úhlové pásmo maximální svítivosti [°]	Činitel tvaru křivky svítivosti
označení	název		
a	koncentrovaná	0 až 15	$K_F \geq 3$
b	hluboká	0 až 30, 150 až 180	$2 \leq K_F < 3$
c	kosinusová	0 až 35, 145 až 180	$1,3 \leq K_F < 2$
d	pološiroká	35 až 55, 125 až 145	$1,3 \leq K_F$
e	široká	55 až 85, 95 až 125	$1,3 \leq K_F$
f	rovnoměrná	0 až 180	$K_F \leq 1,3$, přičemž $I_{\min} > 0,7 I_{\max}$
g	sinusová	70 až 90, 90 až 110	$1,3 < K_F$, přičemž $I_{\min} < 0,7 I_{\max}$



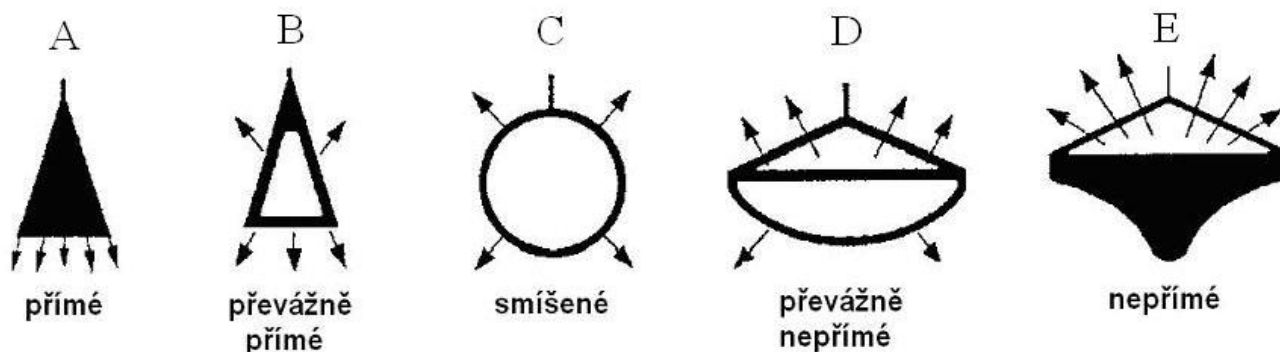
Obr. 2.2 Příklady křivek svítivosti

Rozdělení svítidel podle rozložení jejich světelného toku

Rozdělení svítidel podle tvaru křivky svítivosti lze provádět nejen podle činitele tvaru křivky, ale také podle rozložení světelného toku do horního a dolního poloprostoru (viz. Tab. 2.2 a Obr. 2.3) a podle tzv. BZ – klasifikace svítidel (svítidla jsou rozdělena podle tvaru křivek svítivosti do 10-ti tříd, jak je zřejmé z Tab. 2.3).

Tab. 2.2: Rozdělení svítidel podle rozložení jejich světelného toku

Označení svítidla	Světelný tok do dolního poloprostoru (%)	Světelný tok do horního poloprostoru (%)	Značení podle DIN 5040
přímé	90 až 100	0 až 10	A
převážně přímé	60 až 90	10 až 40	B
smíšené	40 až 60	40 až 60	C
převážně nepřímé	10 až 40	60 až 90	D
nepřímé	0 až 10	90 až 100	E



Obr. 2.3: Rozdělení svítidel podle rozložení jejich světelného toku

Tab. 2.3: BZ - klasifikace svítidel

Označení	Tvar křivky svítivosti
BZ 1	$I_\gamma = I_0 \cos^4 \gamma$
BZ 2	$I_\gamma = I_0 \cos^3 \gamma$
BZ 3	$I_\gamma = I_0 \cos^2 \gamma$
BZ 4	$I_\gamma = I_0 \cos^{1,5} \gamma$
BZ 5	$I_\gamma = I_0 \cos \gamma$
BZ 6	$I_\gamma = I_0 (1 + 2\cos \gamma)$
BZ 7	$I_\gamma = I_0 (2 + \cos \gamma)$
BZ 8	$I_\gamma = \text{konst.}$
BZ 9	$I_\gamma = I_0 (1 + \sin \gamma)$
BZ 10	$I_\gamma = I_0 \sin \gamma$

2.1.4. Jas svítidel

Jas svítidla je definován jako podíl svítivosti v daném směru a velikosti průmětu svítící plochy do roviny kolmé ke směru pozorování viz vztah (2.3).

$$L_g = \frac{I_g}{A \cdot \cos g}, \quad [\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}; \text{cd}, \text{m}^2], \quad (2.3)$$

kde

I_γ je svítivost svazku světelných paprsků (svítící plochy)

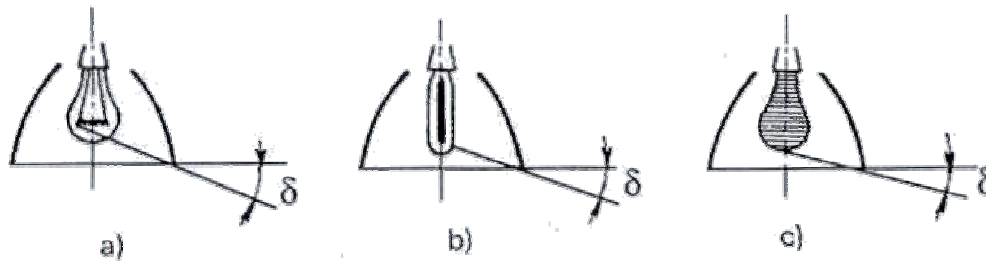
$A \cdot \cos \gamma$ je velikost průmětu pozorované svítící plochy

U svítidel pro osvětlování vnitřních prostorů se pro kontrolu oslnění udávají často jasy v kritické oblasti úhlů od 45 ° do 85 ° ve vodorovném směru pohledu.

Snižování jasů za účelem zmenšení oslnění v kritických úhlech pohledu se u svítidel provádí dvěma způsoby. První způsob spočívá ve zvětšení průmětu světelně činné plochy pod pozorovaným kritickým úhlem (použití difuzorů). Druhý způsob omezuje svítivost do daného úhlu použitím vhodně tvarovaných mřížek.

2.1.5. Úhel clonění

Úhel clonění δ , udává míru zaclonění světelného zdroje svítidlem. Je to nejmenší ostrý úhel mezi vodorovnou rovinou a přímkou spojující okraj svítidla se světelným zdrojem. U čiré žárovky je to její vlákno, u opálové zářivky nebo výbojky je to povrch baňky.



Obr. 2.4: Úhel clonění u svítidla.

- a) žárovkové svítidlo
- b) výbojkové svítidlo s výbojkou s čirou baňkou
- c) svítidlo s výbojkou opatřenou luminoforem nebo s opálovou žárovkou

Doplňkový úhel do 90° k úhlu clonění se nazývá úhel otevření svítidla.

2.1.6. Třídění svítidel

Svítidla je možné rozdělit do skupin podle jejich vlastností, přičemž lze volit různá kritéria. Podle použitého světelného zdroje rozeznáváme svítidla žárovková, zářivková, výbojková, popř. i jiná. Podle oblasti použití je možné rozlišit svítidla na vnitřní a venkovní.

Podstatou třídění svítidel je rozbor jejich světelně-technických vlastností. Nejjednodušší světelně technické třídění svítidel je třídění založené na prostorovém rozložení světelného toku do horního a dolního poloprostoru a na definování tvaru křivky svítivosti viz. kapitola 2.1.3.

Rozdělení svítidel podle elektrotechnických vlastností odpovídá elektrotechnickým předpisům. Podle ochrany před nebezpečným dotykovým napětím tak lze v souladu ČSN EN 60 598-1 rozlišit svítidla třídy 0, I, II a III.

- Ø Třída 0 má pouze základní izolaci, to znamená, že nemá prostředky na připojení ochranného vodiče.
- Ø Třída I znamená, že svítidlo má prostředek pro připojení vodivých částí na ochranný vodič.
- Ø Třída II obsahuje jako ochranu před nebezpečným dotykem dvojitou nebo zesílenou izolaci.
- Ø Třída III označuje svítidla na bezpečné napětí.

Svítidla musí být konstruována tak, aby jejich živé části nebyly přístupné, je-li svítidlo instalováno a připojeno pro normální používání, ani když je svítidlo otevřené za účelem výměny světelných zdrojů nebo předřadníků. Ochrana před úrazem elektrickým proudem musí být zachována při všech způsobech montáže a polohách svítidla.

Pro krytí svítidel platí ČSN EN 60 529 (33 0330), podle níž se druh krytí svítidla označuje zkratkou IP (International Protection) a dvojčíslím. První číslice (od 0 do 6) vyjadřuje ochranu před nebezpečným dotykem živých nebo pohybujících se částí a před vniknutím cizích předmětů, druhá (od 0 do 8) ochranu před vniknutím vody. Nejmenší dovolené krytí svítidel na nízké napětí je IP 20. Pro venkovní prostředí je třeba krytí před deštěm, tedy alespoň IP 23. Krytí IP 54 je běžné krytí svítidel proti stříkající vodě. Konstrukčně obdobně jsou tvořena svítidla s krytím IP 65, která však mají mnohem vyšší užitnou hodnotu. Vyšší ochrana proti vniknutí prachu a vody znamená prodloužení životnosti optického systému svítidla a snížení nákladů na jeho údržbu (čištění).

Tab. 2.4: Význam číslic pro krytí svítidel - kód IP

První číslice	Stupeň ochrany před nebezpečným dotykem a vniknutím cizích předmětů	Druhá číslice	Stupeň ochrany před vniknutím vody
0	bez ochrany	0	bez ochrany
1	před vniknutím pevných těles větších než 500 mm (hřbetu ruky)	1	před svisle kapající vodou
2	před vniknutím pevných těles větších než 12,5 mm (prstu)	2	před kapající vodou při sklonu 15°
3	před vniknutím pevných těles větších než 2,5 mm (jemného nástroje)	3	před dopadající vodou při sklonu 60° (déšť)
4	před vniknutím těles větších než 1 mm (drátu)	4	před stříkající vodou (z libovolného směru)
5	před prachem (částečně, prach však nemůže narušit funkce svítidla)	5	před tryskající vodou (tj. tlakovou vodou)
6	úplně před prachem	6	před intenzivně stříkající vodou
		7	při dočasném ponoření (při určeném tlaku a čase)
		8	při trvalém ponoření

Použití svítidel do určitého prostředí musí být dáno platnými normami ČSN EN. Zvláštní kategorii tvoří svítidla v nevybušném provedení, která se mohou používat v prostorách s nebezpečím výbuchu, např. v dolech.

Podle požární bezpečnosti se svítidla dělí na ta, která jsou určena pro bezprostřední montáž na hořlavý materiál a svítidla pro montáž na nehořlavý materiál, která musí být odpovídajícím způsobem označena.

2.1.7. Konstrukční prvky svítidel

Konstrukční prvky a materiály, používané pro všechny druhy svítidel, mají kromě svých vlastních funkcí splňovat ještě další požadavky:

- Ø světelnou stálost,
- Ø teplotní stálost,
- Ø odolnost proti korozi,
- Ø mechanickou pevnost.

Světelná stálost je důležitou veličinou, která určuje u mnoha materiálů jejich život. Stálým působením světelného a ultrafialového záření, zesíleného teplem a vlhkostí, dochází k trvalým změnám, např. žloutnutí, vybělení, zkřehnutí, tvoření trhlin nebo praskání.

Tepelotní stálost konstrukčních prvků má zvláštní význam, protože provozní teploty na svítidle dosahují často hodnot na hranicích přípustnosti. Pokud jsou tyto hodnoty překročeny, dochází k trvalým změnám, např. k deformaci, zkřehnutí, zuhelnění a praskání - tvoření trhlin.

Odolnost kovů proti korozi musí být zajištěna účelnou povrchovou ochranou, která také ovlivňuje vzhled a světelně technické vlastnosti materiálu. Aby bylo vyhověno přípustným podmínkám použití, požadovaným světelně-technickým parametrům a estetickým požadavkům, používají se následující povrchové úpravy: lakování, poniklování, pochromování, emailování, pozinkování, kadmiování, nanášení umělých hmot, leštění a eloxování. U plastů je odolnost proti korozi zaručena, a proto nevyžadují dodatečná opatření.

Mechanická pevnost je mírou stability konstrukčních prvků, především u plastů a křemenných skel. Vlivem záření, tepla, chladu a vlhkosti se může změnit mechanická pevnost, a tím i spolehlivost svítidla.

Konstrukční prvky se dělí na tři skupiny:

- Ø světelně-technické (světelně činné),
- Ø elektrotechnické,
- Ø mechanické.

K používaným odrazovým materiálům světelně činných částí se používají:

- Ø skleněná zrcadla,
- Ø lakované povrchové plochy,
- Ø opálová světlo rozptylující skla,
- Ø plasty nebo tkaniny.



Obr. 2.5: Příklad světelně činné části svítidla pro osvětlování komunikací

Pro propustné materiály ve světelně činných částech svítidel se používají:

- Ø křemenné sklo (čiré sklo, katedrálové sklo, opálové sklo, matované sklo, refraktorové sklo),
- Ø světlo propouštějící plasty,
- Ø světlo propouštějící tkaniny.

Elektrotechnické části svítidel slouží k připojení, upevnění a provozu světelných zdrojů a svítidel. Patří sem: objímky žárovek, vypínače, zásuvky a vidlice, vnitřní vedení vodiče, vnější vedení, připojovací a propojovací svorky, svítidlové krabice, předřadné přístroje, zapalovače a kondenzátory. Jednotlivé části musí odpovídat použitým světelným zdrojům. Použitím jiných světelných zdrojů se mění i připojovací podmínky.

Mechanické části svítidel slouží jako ochranné nebo nosné části světelných zdrojů a světelně-technických a elektrotechnických konstrukčních prvků. Podstatné konstrukční díly svítidel, které se počítají k mechanickým konstrukčním prvkům, jsou: ochranná skla, ochranná mříž, nosná konstrukce, zaostřovací zařízení, závěsy, upevňovací části, vidlice, klouby a stojany pro svítidla pro místní osvětlení. Protože jednotlivé díly mají velmi rozdílný význam a jsou různě zatíženy, najdou zde použití různé materiály. Svítidla musí mít potřebnou mechanickou pevnost a musí být odolná vůči korozi, vyhovět předepsaným oteplovacím zkouškám a být elektromagneticky slučitelná.

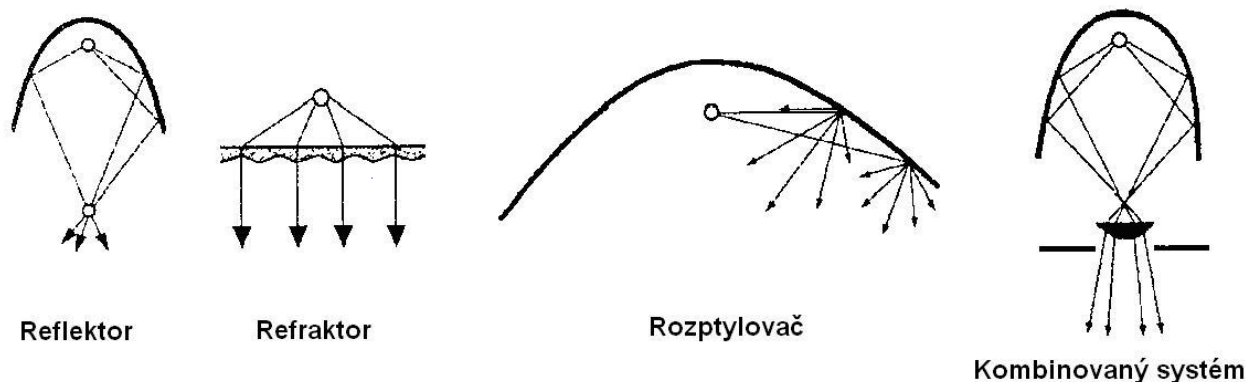
2.2. Možnosti zvyšování účinnosti svítidel

Účinnost svítidel lze zvyšovat dvěma způsoby:

- Ø zvyšováním účinnosti optických částí,
- Ø snižováním ztrát v elektrických částech.

2.2.1. Základní principy usměrnění světelného toku

U většiny svítidel se k usměrnění světelného toku světelných zdrojů používají následující principy viz Obr. 2.6.



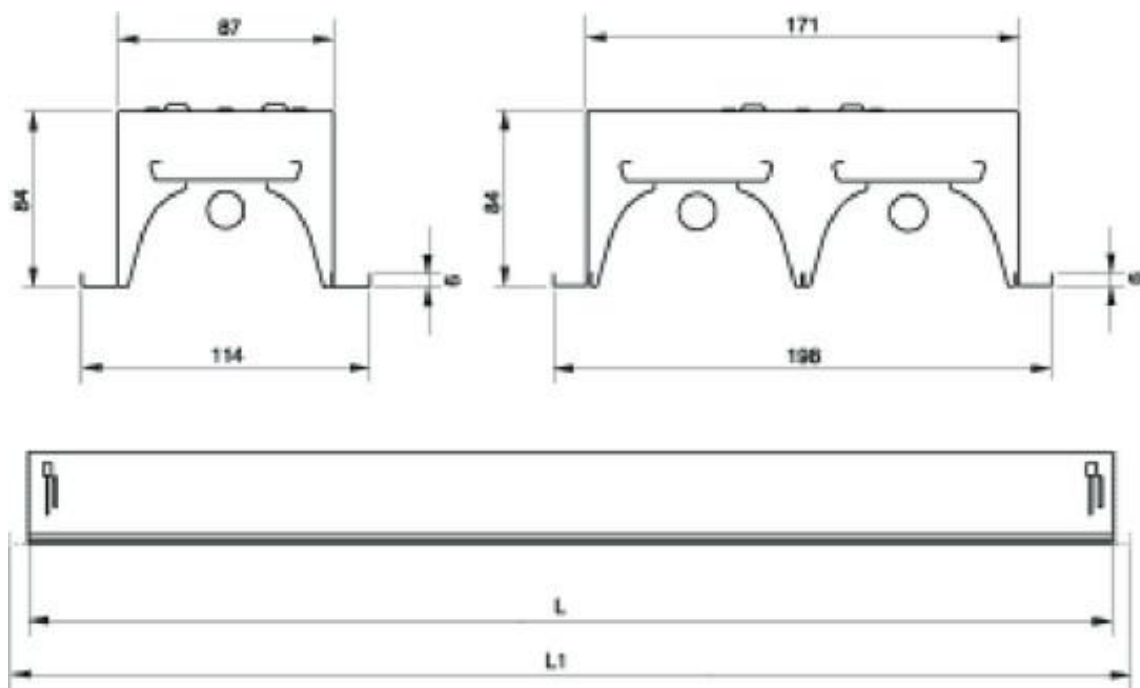
Obr. 2.6: Základní typy světelně aktivních ploch

2.2.2. Reflektory

Reflektory vyžívají k usměrnění světelného toku zrcadlový odraz. Převážně se k těmto účelům používá vysoce čistý hliník (99,8%) s povrchovou úpravou zaručující odraznost až 98% (ALANOD - MIRO SILVER).

Pro konstrukci reflektorů se hojně využívá i tzv. difuzních povrchových úprav s různou hodnotou difuzní složky. Tyto materiály na rozdíl od lesklých materiálů se používají tam, kde není potřeba vysoké přesnosti při výrobě reflektorů při zachování vysoké odraznosti reflektoru.

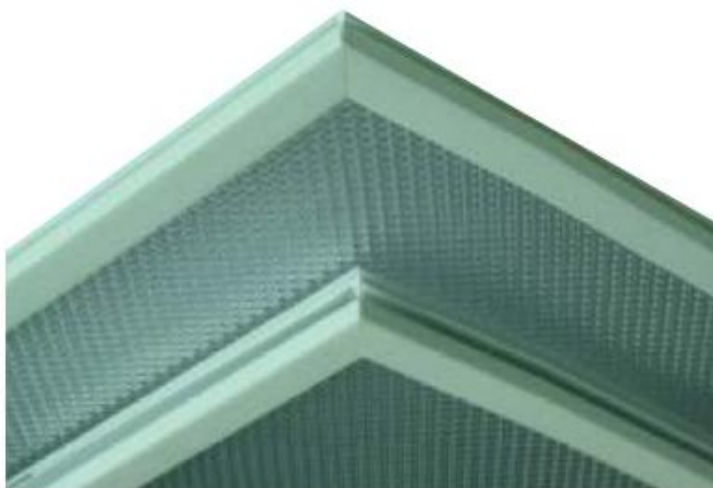
Pro navrhování reflektorů je nejdůležitější, kromě již výše zmíněné volby vysoce odrazných materiálů, také kvalitní tvarování reflektoru. Toto tvarování souvisí s minimem počtu odrazů světelného paprsku na reflektorové ploše, zamezení zpětného odrazu světelného paprsku směrem do světelného zdroje (toho lze také docílit zmenšováním světelných zdrojů – např. současný trend zmenšování průřezů zářivkových trubíc z 26 mm – T8 na 16 mm – T5 – viz. Obr. 2.7.) a také s jeho distribucí do místa zrakového úhlu (křivka svítivosti).



Obr. 2.7: Zářivkové reflektorové svítidlo osazené světelným zdrojem T5 z důvodu minimálního stínění zdroje samotného

2.2.3. Refraktory

Světelný tok se zde neusměřňuje pomocí odrazných vlastností použitých materiálů, ale k jeho usměrnění dochází díky propustným vlastnostem optických materiálů.



Obr. 2.8: Příklad typu refraktoru

Jejich konstrukce je zaměřena na usměrnění světelného toku na principu lomu světla tak, aby byla dosažena požadovaná křivka svítivosti.

Z nejpoužívanějších materiálů je nutné zmínit PMMA (polymetalakrylát), který má sice vysokou propustnost avšak ne zcela vyhovující mechanické vlastnosti. Z tohoto důvodu se nejčastěji používá PC (polykarbonát) jehož propustné vlastnosti jsou o cca 10% horší, ale mechanické vlastnosti pro konstrukci svítidel jsou mnohem příznivější. Propustnost těchto materiálů však závisí na jejich tloušťce a na směru prostupu (délce prostupu) světelného paprsku a lze ji korektně vyčíslit spektrofotometrickým měřením.

Vezmeme-li v potaz, že propustnost jednoho čirého tabulového okenního skla v přímém směru je 92 %, pak všechny průsvitné neprůhledné materiály mají propustnost ještě menší. Srovnáme-li nejlepší propustnost 92 % s nejlepšími odraznými vlastnostmi reflektorů 95%, pak dojdeme k závěru že účinnosti refraktorových svítidel jsou obecně nižší, než účinnosti svítidel s reflektorovým usměrněním světelného toku.

Při návrhu svítidel s refraktory, je z hlediska jejich účinnosti nutné dbát kromě volby materiálů s maximální účinností i na fakt, že světelný paprsek by v tomto materiálu měl urazit co nejkratší cestu. To znamená, že refraktor by pokud možno měl být umístěn kolmo na dopadající paprsky jdoucí ze světelného zdroje a být co nejtenčí.

2.2.4. Rozptylovače

Využívají k usměrnění světelného toku difuzního odrazu. Stejně jako u zrcadlového odrazu se k těmto účelům používá vysoce čistý hliník (99,8%) s povrchovou úpravou vytvářející difuzní odraz.

Za materiály s difuzním odrazem se považují ty materiály, které difuzně odrážejí 60 - 90% dopadajícího světelného toku (zbytek zrcadlově). Nejlepší materiály s difuzním odrazem dosahují podobně jako materiály se zrcadlovým odrazem vysokou celkovou odraznost až 94%.

Vzhledem k nejlepším vlastnostem difuzorů (celková odraznost až 94%) se tyto materiály při výrobě svítidel hojně používají. Jejich základní přednost tkví v tom, že nejsou kladeny tak vysoké nároky na přesnost tvaru odrazné plochy (zamezení ostrých zlomů v křivkách svítivosti). Svítidla díky svým vlastnostem vykazují rovnoměrný jas a to jako svítidla refraktorová a ve většině případů (spojeno s velkým průmětem světelně-činné plochy) neoslňují.

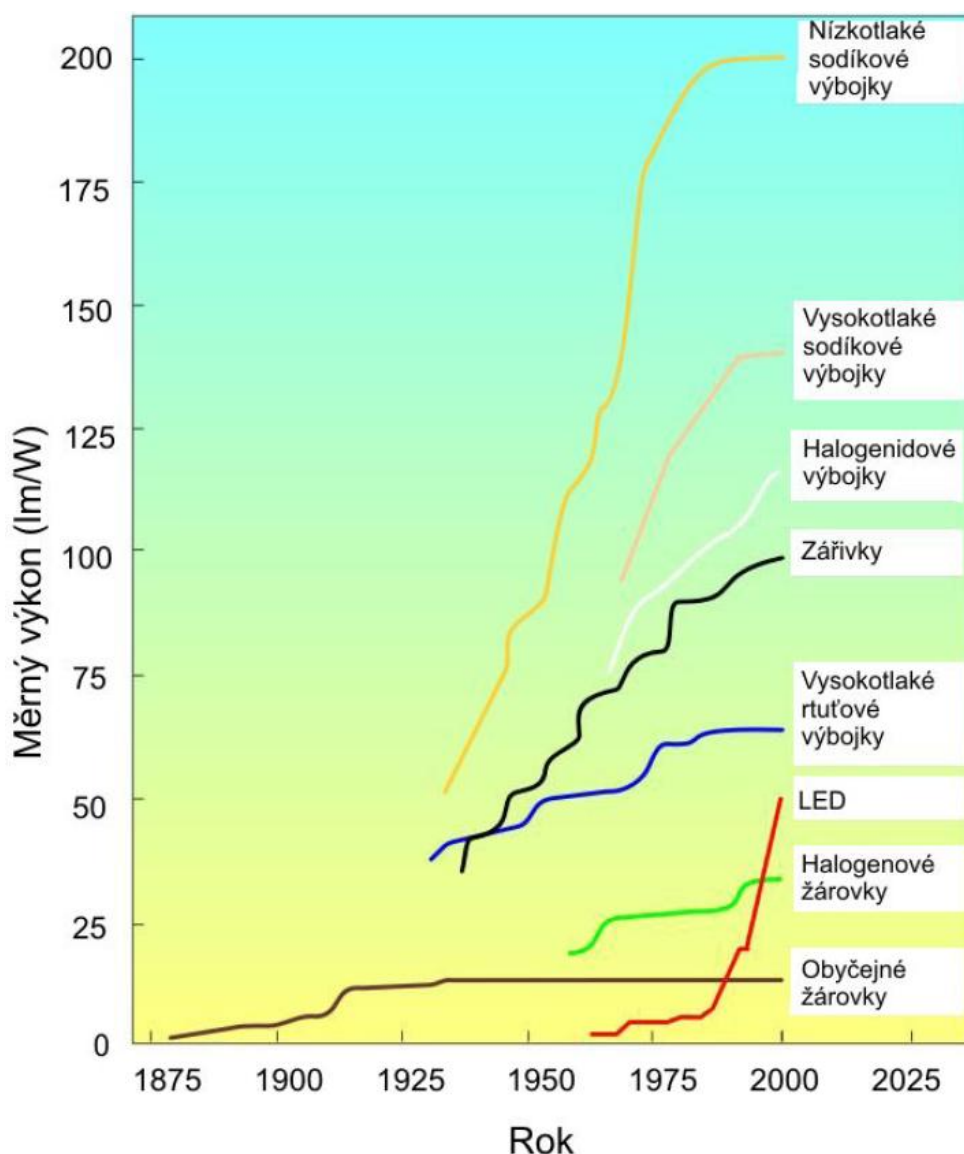


Obr. 2.9: Příklad svítidla s rozptylovačem

3. VHODNÁ VOLBA SVĚTELNÝCH ZDROJŮ Z POHLEDU KVALITATIVNÍCH A KVANTITATIVNÍCH PARAMETRŮ

Jednou z nejdůležitějších oblastí ovlivňujících spotřebu elektrické energie osvětlovacích soustav jsou světelné zdroje. Mezi hlavní parametry, které se u světelných zdrojů sledují patří **měrný výkon**, doba života, index podání barev, **možnost stmívání** a rozměry.

Na Obr. 3.1 jsou uvedeny měrné výkony zdrojů pro všeobecné osvětlování. Tyto závislosti ukazují velice důležitou vlastnost světelných zdrojů a sice míru přeměny spotřebované elektrické energie na vyzářený světelný tok. Pro jednotlivé typy světelných zdrojů jsou zde uvedeny měrné výkony od doby zavedení do výroby až po dnešní dny.



Obr. 3.1: Vývoje měrných výkonů světelných zdrojů pro všeobecné osvětlování

3.1. Základní parametry světelných zdrojů

Parametry světelných zdrojů lze rozdělit na kvantitativní a kvalitativní:

- Ø Mezi kvantitativní parametry patří vyzařovaný světelný tok Φ a elektrický příkon P . Pro vzájemné porovnání světelných zdrojů je velmi důležitou veličinou **měrný výkon η_v** . Tyto parametry jsou důležité zejména pro uživatele a projektanty, kteří potřebují znát celkový příkon osvětlovací soustavy.
- Ø Kvalita světelných zdrojů se posuzuje podle délky jejich života T , podle indexu barevného podání a podle **stálosti světelně-technických parametrů**.

Mezi důležité vlastnosti patří také geometrické rozměry, tvar, hmotnost, distribuce a možnost úpravy světelného toku. Samostatnou kapitolu pak tvoří **pořizovací a provozní náklady**.

Barevné podání (index podání barev), nebo také chromatičnost světelných zdrojů je určena spektrálním složením vyzařované energie. Vyjadřuje se pomocí trichromatických souřadnic anebo teploty chromatičnosti. V praxi se však světelné zdroje rozlišují především podle barevného tónu vyzařovaného světla. Jakost úrovně vjemu barev se číselně vyjadřuje pomocí všeobecného indexu podání barev R_a (-). Podání barev je uspokojivé, je-li R_a větší než 40 a za dobré je považováno je-li R_a větší než 80. Požadavky na index podání barev upravují normy zabývající se osvětlováním konkrétních prostorů (ať už vnitřních či venkovních).

Stálost světelně technických parametrů souvisí s provozními vlastnostmi světelných zdrojů. Jedná se o časovou závislost, kterou lze definovat jako rychlou nebo pomalou:

- Ø Rychlými změnami se rozumí změny parametrů např. světelného toku v závislosti na napájecím napětí o frekvenci 50 Hz. Světelný tok kolísá s dvojnásobnou frekvencí a hloubka kolísání záleží na setrvačných vlastnostech světelného zdroje. Tento jev může vyvolat stroboskopický efekt, který se stává nebezpečnou záležitostí v některých provozech, zejména v provozech s točivými stroji. Mezi další rychlé změny patří také změny světelného toku v závislosti na kolísání efektivní hodnoty napětí. Toto kolísání je způsobeno provozem některých spotřebičů jako jsou např. elektrické obloukové pece. Rušivě ovlivňuje zrakový vjem zejména kolísání světelného toku v oblasti frekvencí 8 – 12 Hz. Na kolísání napětí jsou nejcitlivější žárovky. Mezi rychlé změny se také počítají změny parametrů v souvislosti s náběhem světelného zdroje po zapnutí k napájecí síti. Žárovky nabíhají téměř okamžitě, zatímco parametry výbojových světelných zdrojů se ustalují až po několika minutách.
- Ø Pomalými změnami se rozumí závislost parametrů světelných zdrojů na statických změnách napětí, což se vyjadřuje pomocí křížových charakteristik. **Mezi pomalé změny patří rovněž změny parametrů způsobené stárnutím světelných zdrojů**. Během jejich doby života světelný tok klesá. Například u žárovek se sníží po 1000 hod. provozu světelný tok na 90 %. U výbojových zdrojů se požaduje, aby po uplynutí doby života nepoklesl jejich světelný tok pod 70 % jmenovité hodnoty.

3.2. Žárovky

Obyčejné žárovky jsou stále nejpůvodnějším světelným zdrojem. Jejich teplé světlo vytváří příjemnou atmosféru a jsou stále nejvyhledávanější ve výběru světelných zdrojů pro všeobecné osvětlování.



Obr. 3.2: Příklad bodové žárovky

Žárovky jsou prvotními umělými zdroji světla využívající technologii výroby, která je už víc jak 100 let stará. Princip technologie spočívá v tom, že do vnitřku vyčerpané skleněné baňky (vakuum) je uloženo vlákno z wolframu, které je protékáno elektrickým proudem. Elektrický proud způsobuje ohřev vlákna a tím i vyzařování v oblasti viditelného spektra elektromagnetického vlnění. Moderní žárovky mají vlákno ve tvaru spirály, která umožňuje vyšší účinnost a redukuje tepelné ztráty. Baňky žárovek jsou vyčerpané na vysoké vakuum proto, aby bylo chráněno vlákno před sloučením s kyslíkem a jeho hořením. Baňky žárovek vyšších výkonů jsou plněny inertními plyny.

Měrný výkon žárovek se pohybuje okolo 10 lm.W^{-1} . Se vzrůstající teplotou vlákna vzrůstá jeho hodnota a také teplota chromatičnosti. První uhlíkové žárovky měly měrný výkon $1,7 \text{ lm.W}^{-1}$. Život žárovek se pohybuje okolo 1 000 hodin. Vlivem nových technologií navíjení vlákna a plnění baněk inertními plyny doba života dále vzrůstá.

Rozdíly mezi spektrem denního světla a spektrem žárovky velice názorně ukazují příčinu nízkého měrného výkonu žárovek. Většina vyzářené energie se nepohybuje ve viditelné části spektra (380nm – 780 nm), ale až v oblasti infračerveného, tedy neviditelného záření.

I světelné zdroje jako žárovky se v současnosti stále inovují. Dělají se pokusy na snížení emise wolframových spirál s povlaky z hafnia. Moderní a účelné jsou zejména reflektorové multivrstvy baněk žárovek, u kterých zpětný odraz infračerveného záření vyhřívá vlákno. Relativně nové jsou také žárovky multimirror s průměrem 51 mm na síťové napětí. Tyto zdroje byly vyvinuty na základě vylepšení vlastností spirál tak, aby se dosáhlo vyšší mechanické stability vlákna.

Žárovky se vyrábějí v širokém sortimentu výkonů, rozměrů a tvarů pro speciální úlohy osvětlení a zvláštní nároky. Nové tvary a barevné odstíny dávají osvětlovaným prostorám příjemnou atmosféru.

Na základě výše uvedeného technického popisu žárovek je zřejmé, že tyto světelné zdroje mají nejen minulost, ale také současnost a budoucnost. Jejich použití směřuje zejména do oblastí, kde je nutný okamžitý náběh světelného zdroje na 100% světelného toku (chodby, sociální zařízení, atd...) a kde jsou vysoké nároky na index podání barev a teplou barvu světla (společenské a reprezentativní prostory). Energetických úspor se dá dosahovat jejich stmíváním a kombinací s pohybovými čidly, kdy tyto světelné zdroje, které jsou relativně odolné vůči častému spínání, pracují pouze v omezených časech při častém střídání obsluhy v osvětlovaných prostorech.

3.3. Halogenové žárovky

Halogenové žárovky jsou velmi kompaktní světelné zdroje, z čehož vyplývají široké možnosti jejich použití, zejména v oblasti přesného směřování světelných paprsků. Mají měrný výkon o cca 100 % vyšší než standardní žárovky. Ve standardní žárovce se wolfram z vlákna žárovky vypařuje a pokrývá povrch baňky, čímž se snižuje světelný tok žárovky. Kruhový proces uvnitř baňky způsobuje, že vypařený wolfram se při povrchu baňky slučuje s halovým prvkem a vytváří halogenid a vlivem teplotního pole se wolfram vrací chaoticky zpět na vlákno. Tím se nejen zvyšuje světelný tok, ale prodlužuje se také doba života halogenových žárovek.



Obr. 3.3: Příklad halogenové žárovky

Kruhový proces je základem pro následující výrazné přednosti halogenových žárovek:

- Ø s rostoucí teplotou vlákna roste světelný tok,
- Ø vlivem obnovy povrchu vlákna roste doba životnosti,
- Ø tím že nedochází k usazování wolframu na povrchu baňky, nedochází ke snižování světelného toku během doby životnosti,
- Ø kompaktní tvar musí odpovídat tepelným požadavkům kruhového procesu.

Halogenové žárovky poskytují příjemné svěží, bílé světlo s teplotou chromatičnosti 3000 K. Index barevného podání světla halogenových žárovek je $R_a = 100$. Halogenové žárovky jsou hospodárnější než standardní žárovky, jejich měrný výkon je cca 22 lm.W^{-1} a doba života se udává okolo 2000 hodin.

Halogenové žárovky s reflektory se vyrábějí pro různé úhly vyzařování např. 10° , 12° , 25° , 36° a 60° . Vyrábějí se i v širokém sortimentu výkonů, na napětí 230 V i na nízké napětí. Žárovky na nízké napětí se staly módní záležitostí. Vyrábějí se buď bez odrazné plochy nebo s dichroickým zrcadlem, které omezuje tepelnou složku ve vyzařovaném záření asi na 66 %, což je výhodné zejména při osvětlování předmětů, které jsou citlivé na infračervené záření.

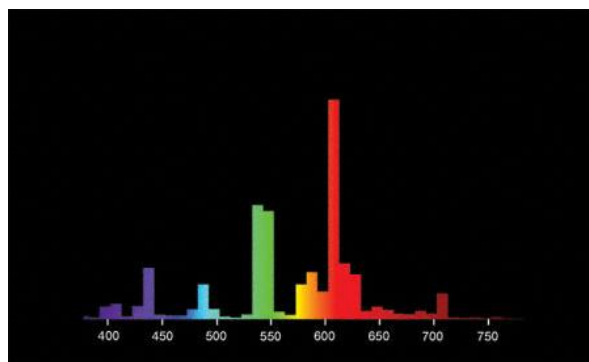
Moderní halogenové žárovky procházejí etapou bouřlivého vývoje. Používají reflexní selektivní povrchy - multivrstvy pro zpětný odraz tepelného záření na vlákno, jehož cílem je zvýšení měrného výkonu halogenových žárovek. Z podobných důvodů je do baněk moderních halogenových žárovek dávkován i xenon. Do křemenného skla baňky se dotuje certit na potlačení UV záření. Stále více se také uplatňují moderní halogenové žárovky na síťové napětí, které se vyvinuly díky novým možnostem uchycení mnohem slabších vláken než se používají u halogenových žárovek na nízké napětí. Hitem posledních let jsou i nízkotlaké halogenové žárovky (nižší degradace wolframu) a také halogenové žárovky miniaturních rozměrů.

Energetických úspor lze dosahovat, stejně jako u klasických žárovek stmíváním a použitím v situacích s krátkou dobou provozu a častým spínáním. Na rozdíl od klasických žárovek je jejich teplota chromatičnosti vyšší a jejich světlo studenější. Z tohoto důvodu lze tyto světelné zdroje používat v reklamním osvětlování (v kombinaci s výše uvedenými speciálními odraznými a pohltivými plochami i v oblasti osvětlování muzeálních historicky cenných předmětů).

3.4. Kompaktní zářivky

Tyto světelné zdroje mají tyto čtyři základní výhody:

- Ø produkují světelný tok s vyšším indexem podání barev,
- Ø ve srovnání s žárovkami dosahují výrazné úspory energie,
- Ø dobře vypadají (velká vyzařovací plocha – nízké jasy),
- Ø ve srovnání s žárovkami mají výrazně vyšší dobu života.



Obr. 3.4: Příklad kompaktní zářivky

Kompaktní zářivky spotřebovávají výrazně méně elektrické energie než klasické žárovky, mají mnohem delší dobu života a většinou mohou být použity na stejných místech jako obyčejné žárovky. Měrný výkon kompaktních zářivek je v porovnání s běžnými typy žárovek přibližně pětinasobně vyšší. Současně dosahovaná střední doba života kompaktních zářivek je 15 000 hodin, zatímco střední doba života žárovek je 1000 hodin.

Kompaktní zářivky vyrábějí světlo na stejném principu jako zářivky. Páry rtuti jsou vlivem elektrického pole mezi elektrodami vybuzeny k emisi neviditelného UV záření. Vnitřní strana skla je opatřena vrstvou speciální látky - luminoforu, který přeměňuje UV záření na viditelné světlo. Výběrem luminoforu je možno docílit různých barev světla. U kompaktních zářivek se díky zahnutí a rozdělení skleněných trubiček podařilo dosáhnout rozměrů srovnatelných se standardními žárovkami.

Kompaktní zářivky můžeme rozdělit do tří skupin:

- Ø kompaktní zářivky s implementovaným předřadníkem jako úsporná alternativa žárovek,
- Ø kompaktní zářivky pro zvlášť malá svítidla,
- Ø kompaktní zářivky jako zmenšená alternativa lineárních zářivek. Jsou s nebo bez zabudovaného zapalovače.

Provoz s kompaktních zářivek s elektronickým předřadníkem zabezpečuje vysoký komfort:

- Ø okamžitý start bez blikání,
- Ø odolnost proti častému spínání,
- Ø delší doba života,
- Ø odstranění stroboskopického efektu a kmitání světelného toku.

Výraznou nevýhodou kompaktních zářivek v porovnání s žárovkami, je rychlost jejich startu. Zatímco žárovky nabíhají na jmenovitý světelný tok téměř okamžitě, kompaktní zářivky po připojení napájecího napětí naběhnou pouze na cca 50 % světelného toku. To ukazuje na nevhodnost použití kompaktních zářivek v prostorech ve kterých je nutné dosáhnout okamžitě 100 % světelného toku (např. sociální zařízení). Další výrazná nevýhoda při provozu kompaktních zářivek je jejich vysoká teplotní závislost, ze které vyplývá nevhodnost použití takovýchto světelných zdrojů v oblastech s nízkými teplotami. V našich zeměpisných šířkách

se do těchto prostor řadí i venkovní prostory, ve kterých v zimních měsících klesá teplota výrazně pod bod mrazu. V okolí této teploty se pohybuje světelný tok zářivek na cca 30% jmenovitého světelného toku.

Trendy vývoje v oblasti kompaktních zářivek se specializují na tzv. 3/8“ technologii, kde se hledají řešení pro tvarované kompaktní zářivky a kompaktní zářivky s reflektorem či difuzorem. Také se pracuje na vývoji kompaktních zářivek s velkým příkonem (v současnosti např. 200 W s integrovaným předřadníkem), což umožňuje miniaturizaci svítidel a nasazování kompaktních zářivek i do aplikací, ve kterých se doposud používaly výbojky. Amalgámové technologie umožňují rozšíření použití v teplotách, které se výrazně odchyľují od teplot pokojových. Takovéto kompaktní zářivky jsou schopné produkovat 90% jmenovitého světelného toku v rozsahu teplot od 10-ti do 50-ti stupňů Celsia. Vývoj se také zaměřuje na stmívatelné kompaktní zářivky, kompaktní zářivky opatřené soumrakovým spínačem, či technologie omezující vliv spínacích cyklů.

Díky vysokému měrnému výkonu, lze dosahovat výrazných energetických úspor prostým nasazováním těchto světelných zdrojů místo žárovek. Je ovšem nutné dbát na nemalá rizika způsobená jinými rozměry, která mohou způsobit změnu distribuce světelného toku jdoucího ze svítidla. Dále je nutné také uvažovat s omezeními, která vznikají pomalým náběhem světelného toku, nižším indexem barevného podání (speciální aplikace), teplotní závislostí a pulzním odběrem proudu u takovýchto světelných zdrojů.

3.5. Lineární zářivky

Lineární zářivky vyrábějí okolo 70 % umělého světla na celém světě. Jsou velice výhodné zejména z ekonomického hlediska, protože se vyznačují vysokým měrným výkonem. Zářivka spotřebuje jen přibližně pětinu elektrického proudu žárovky se stejným světelným tokem.

Zářivky jsou nízkotlaké rtuťové výbojky, které vyzařují hlavně v oblasti ultrafialového záření. Toto se transformuje ve viditelné záření pomocí luminoforu. Princip funkce zářivek je následující. Ve skleněné trubici jsou vlivem elektrického pole mezi elektrodami vybuzeny páry rtuti, ve kterých dochází k emisi neviditelného UV záření. Speciální látka - luminofor na vnitřním povrchu skleněné trubice přeměňuje neviditelné UV záření na viditelné světlo. Volbou luminoforu je možné ovlivnit barvu světla zářivky.



Obr. 3.5: Příklad kruhové lineární zářivky

Jako všechny výbojky se ani zářivky neobejdou bez předřadných přístrojů. Po zapálení výboje je napětí na zářivce nižší než napájecí napětí. Na tlumivce se vytvoří úbytek napětí, který omezí proud tekoucí zářivkou. Zářivky lze také provozovat s elektronickými předřadníky, které plní stejnou funkci na vysoké frekvenci. Moderní plně elektronické vysokofrekvenční předřadníky nahrazují tlumivky a startéry a přispívají tak k větší hospodárnosti, vyššímu světelnému komfortu a delší době života zářivek.

Nové typy zářivek T5 mají průměr trubice jen 16 mm, jsou o 50 mm kratší než standardní trubice T8 s průměrem 26 mm. Nabízejí vyšší měrný výkon až 104 lm.W^{-1} a jsou určeny pouze pro provoz s elektronickými předřadníky. Zářivky T5 dosahují úspor oproti zářivkám T8 v následujících oblastech:

- Ø vyšší měrný výkon zářivek T5,
- Ø vyšší účinnosti svítidel vlivem nižšího stínění odrazných materiálů – zářivky T5 jsou o 40 % štíhlejší než zářivky T8 ,
- Ø úspornější provoz s elektronickým předřadníkem,
- Ø se systémem T5 je možné konstruovat štíhlejší svítidla s čehož plynou další materiálové úspory.

Doba života zářivek je silně ovlivněna počtem zapnutí. Při 30-ti spínacích cyklech denně může doba života poklesnout až na 50% jmenovité hodnoty. Nehodí se proto tam, kde dochází k častému zapínání a vypínání.

Doba života zářivek se mění i podle způsobu provozu. Při provozu s klasickým předřadníkem se doba života zářivky pohybuje okolo 10 000 h zatímco při provozu s elektronickým předřadníkem se pohybuje okolo 18 000h.

Na rozdíl od žárovek, u kterých světelný tok dosahuje jmenovité hodnoty téměř okamžitě, zářivky dosahují jmenovité hodnoty až po cca 2 min. provozu. Zářivky jsou také velmi teplotně závislé a proto se nehodí pro osvětlování venkovních prostorů, ve kterých dochází k poklesům teplot do oblasti bodu mrazu a níže.

Také v oblasti zářivek je možné pozorovat výrazné trendy směřující ke zlepšení vlastností těchto světelných zdrojů. Jde především o další snižování množství rtuti a dokonce o vývoj bezrtuťových technologií. Samozřejmě poslední let je pokrok v programu T5 – zářivek s průměrem 16 mm. Vývoj směřuje také do oblasti nových typů luminoforů. Cílem je lepší využití záření výboje pro vznik světla. Zajímavou oblastí je také vývoj nízkotlakých výbojových světelných zdrojů s proměnlivou barvou světla. Zkoumají se bezelektrodové technologie, které vyústily do vývoje indukčních výbojek. V posledním období je možné pozorovat významný nárůst doby života zářivek (až do 50 000 h), dosaženy odlišnou konstrukcí elektrod a ochranou vrstvou na baňce a luminoforu. Významné jsou také postoje k barvě světla zářivek pro zrakově nejnáročnější pracoviště. Očekává se optimalizace náhradní teploty chromatičnosti světelných zdrojů pro zrakově náročné práce v oblasti nad 6000 K.

3.6. Halogenidové výbojky

Viditelné záření zde vzniká jednak v parách rtuti, ale hlavně zářením produktů halogenidů, to je sloučenin halových prvků např. s galiem, thaliem, sodíkem apod. Toto vede ke zvýšení indexu barevného podání až na $R_a = 90$ a měrného výkonu na 130 lm.W^{-1} .



Obr. 3.6: Příklad halogenidové výbojky

V křemenném hořáku vzniká cykl obdobný regeneračnímu cyklu jako u halogenových žárovek, ale opačný. Tlak rtuťových par je cca 0,5 MPa a tlak příměsí $1,33 \cdot 10^2$ Pa. Vnější baňka je z borosilikátového skla a hořák z křemenného nebo jiného speciálního skla. Halogenidové výbojky pracují při venkovní teplotě -20 až 60 °C. Doba života těchto výbojek dosahuje až 15 000 hod.

Halogenidové výbojky vyžadují zapalovač, který k inicializaci výboje používá vysokonapěťový impuls (standardně 4,5 kV). Výkonová řada začíná na 35 W a končí na 2000 W. Tvar baňky a patice se vyrábí v nejrůznějších konstrukčních provedeních (jednopaticové tubusové a eliptické, dvoupatičové, ...). Na jmenovité parametry světelného toku nabíhá výbojka cca po 10-ti minutách. Halogenidové výbojky se i přes relativně vysokou cenu začínají prosazovat hlavně tam, kde jsou vysoké požadavky na barevné podání. Jedná se o kinematografii a osvětlování sportovišť, kde se předpokládá televizní vysílání atd. Díky velkým příkonům a malým rozměrům (jednoduchá konstrukce odrazných ploch svítidel) se také využívají ve výrobních halách s vysokými závěsnými výškami svítidel (od cca 6ti metrů).

Za nový trend z oblasti vysokotlakých výbojových zdrojů se považuje halogenidová výbojka s hořákem z korundové keramiky. Jde o zdroj, který kombinuje vynikající vlastnosti keramického hořáku vyplývající z jeho vysoké teplotní odolnosti s širokými možnostmi upravovat spektrum záření díky možnosti používat velký počet různých svítících příměsí a jeho kombinací. Výsledkem jsou výbojky, které se vyznačují vysokým měrným výkonem $85-95 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ a to i při malých příkonech a velmi dobrém podáním barev ($R_a \approx 90$).

Halogenidové výbojky jsou vzhledem k náročné technologii cca 4 krát dražší než vysokotlaké sodíkové výbojky a tudíž pro masové nasazení do systémů veřejného osvětlení nevhodné. Použití však nacházejí při osvětlování velkých prostranství a architektonickém osvětlování objektů.

Použití moderních halogenidových výbojek pro osvětlování bytů kanceláří a škol je v současné době již reálné. Při probíhající miniaturizaci (20, 35, 50W). Ustalování

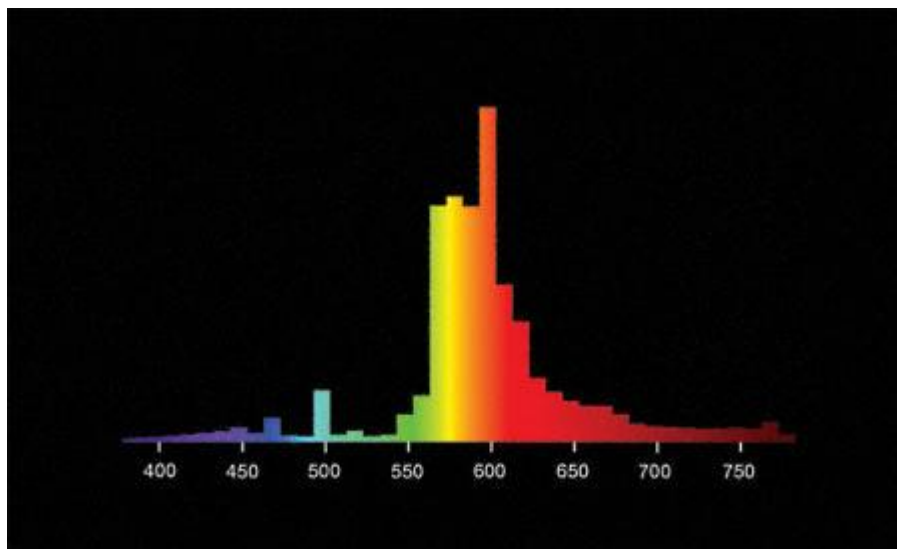
barevných parametrů během doby života a zvyšování indexu podání barev stále disponují nevýhodami, které zabraňují jejich masivnímu nasazování v těchto prostorech:

- Ø nelze stmívat,
- Ø relativně vysoké pořizovací náklady na osvětlovací soustavy,
- Ø nemožnost okamžitého znovuzápalu u teplých výbojek,
- Ø pomalý náběh na 100 % světelný tok (cca 4 min),
- Ø nižší doba života než u zářivek.

Energetické úspory lze u těchto světelných zdrojů dosahovat zejména v nasazování na osvětlování vnitřních pracovních prostor s vysokými závěsnými výškami, u kterých je kvalitativní normativní požadavek (ČSN EN 12464-1) na index podání barev vyšší než 80. Tyto úspory jsou dosahovány na základě výše uvedených vlastností, které dovolují jednoduché směrování světelného toku těchto světelných zdrojů. Stmívání při kombinovaném provozu je řešeno přepínáním okruhů těchto svítidel.

3.7. Vysokotlaké sodíkové výbojky

Výboj v parách sodíku je ze světelně technického hlediska velmi zajímavý. Nízkotlaký sodík se vyznačuje intenzitním rezonančním dubletem ve žluté části viditelného spektra s vlnovou délkou 589,0 a 589,6 nm.



Obr. 3.7: Příklad vysokotlaké sodíkové výbojky

Těchto vlastností, vedle nízkého budicího potenciálu uvedené čáry, se využívá již od třicátých let při konstrukci nízkotlakých sodíkových výbojek, v nichž tlak par sodíku při pracovní teplotě 270 °C dosahuje hodnoty asi 0,5 Pa. Při zvyšování tlaku par sodíku světelná účinnost klesá, prochází minimem a dále opět stoupá, takže při tlaku kolem 27 kPa dosahuje druhého maxima a v závislosti na dalších parametrech (složení amalgamu sodíku, druh a tlak plnicího plynu, geometrické parametry hořáku, příkon výbojky apod.) může dosáhnout hodnoty až 150 lm.W⁻¹. Při rostoucím tlaku par sodíku dochází k výraznému rozšíření spektrálních čar a ke vzniku silného spojitého záření, přičemž zároveň je absorbováno záření rezonanční. Se zvyšujícím se tlakem je stále zřetelnější asymetrie rozšiřování rezonančních čar do dlouhovlnné části spektra. Spektrum záření je bohatší, což má za následek i lepší podání barev osvětlovaných předmětů. Tento druh výboje je využíván u moderních vysokotlakých sodíkových výbojek, které se výrazně prosadily zejména v uličním, ale i ve venkovním osvětlení.

Vysokotlaké sodíkové výbojky jsou tedy světelné zdroje, v nichž světlo vzniká hlavně zářením sodíkových par s pracovním parciálním tlakem v rozmezí 3 až 60 kPa. Hořák je zhotoven z průsvitného korundu (alfa – modifikace Al₂O₃ s příměsí MgO). Trubice je na obou koncích uzavřena proudovými průchodkami různého provedení, které jsou ke korundové trubici připájeny pomocí skelné pájky na bázi Al₂O₃ – CaO s některými dalšími příměsmi (např. SrO, TiO₂, BaO). Kvalita pájky rozhodujícím způsobem ovlivňuje život výbojky. Průchodky musí odolávat dlouhodobému působení sodíkových a rtuťových par při vysokých pracovních teplotách a velkým teplotním nárazům při zapínání a vypínání výbojky. K čelu niobové průchodky je pomocí titanu připájena wolframová elektroda, na níž je nanášena emisní vrstva na bázi wolframu barya. Polohou elektrody v hořáku lze regulovat teplotu prostoru za elektrodami. Tato teplota určuje tlak par sodíku v hořáku, a tím i základní

elektrické a světelné parametry výbojky. Rtuť se sodíkem se do hořáku dávkuje v podobě amalgámu příslušného složení. Hořák se plní inertním plynem, jehož funkce je stejná jako u jiných vysokotlakých výbojek. Z hlediska měrného výkonu je nevhodnější xenon, protože zajišťuje nejmenší teplotní ztráty ve výboji a největší měrný výkon. Hořák je vložen do vnější baňky, vyčerpané na vysoké vakuum, které snižuje tepelné ztráty hořáku a současně chrání niobové průchodky před oxidací. Sortiment vysokotlakých sodíkových výbojek je velmi široký a pohybuje se v příkonových řadách od 50-ti W do 1000W.

Vysokotlaké sodíkové výbojky je nutné provozovat v obvodu s tlumivkou a vhodným zapalovacím zařízením, který vyhovuje mezinárodním normám CIE. Schéma zapojení je shodné se zapojením halogenidových výbojek. Při dodržování provozních podmínek (povolené kolísání napětí menší než 5%, správně dimenzované tlumivky) výbojky předních výrobců dosahují života 16 000 až 32 000 hod. Ukončení života je dáno postupným nárůstem napětí na výboji. Při překročení určitého poměru tohoto napětí vzhledem k napájecímu napětí sítě výboj zhasne. Po vychladnutí výbojka znovu zapálí a celý cyklus se opakuje. Periodické zhasínání výbojek je příznakem ukončení života a výbojku je nutné vyměnit.

Zavedení vysokotlakých sodíkových výbojek do osvětlovací praxe přináší významné úspory elektrické energie. Podíl vysokotlakých sodíkových výbojek ve veřejném osvětlení stále narůstá. Je příjemné konstatovat, že Česká republika patří v tomto směru k zemím s nejvyšším podílem.

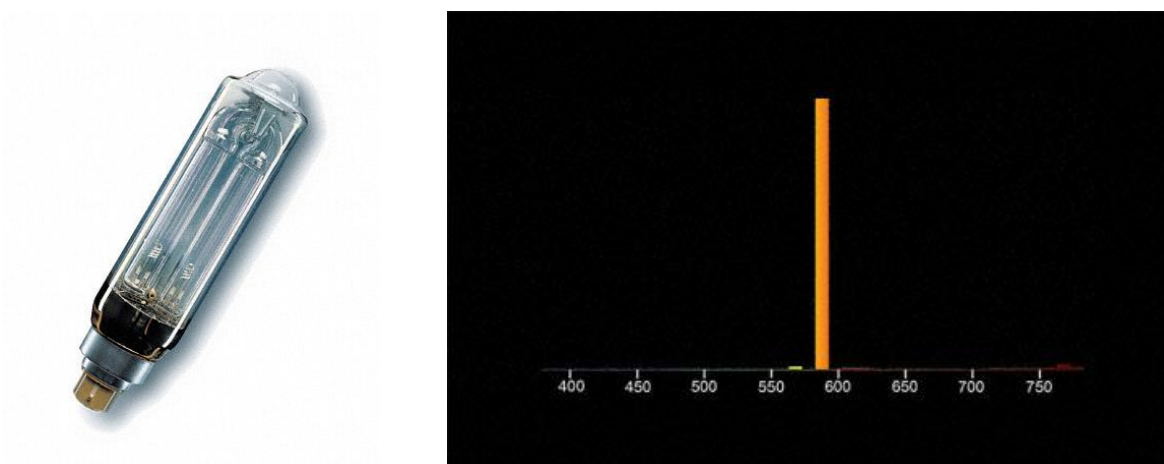
Novinku v oblasti vysokotlakých sodíkových výbojek jsou světelné zdroje neobsahující rtuť, označované jako „mercury free“. Tyto výbojky se provozují na standardních předřadnicích. Jelikož výbojky neobsahují rtuť, není nutno likvidovat vyhořelé zdroje jako nebezpečný odpad.

Od 80. let dvacátého století mají vysokotlaké sodíkové výbojky dominantní postavení ve světelných zdrojích pro veřejného osvětlení ve většině zemí. Tyto světelné zdroje postupně nahradily méně účinné výbojky rtuťové. Použitím vysokotlakých sodíkových výbojek se na jednotlivých světelných místech snížil instalovaný příkon až o dva příkonové stupně. Vysokotlaké sodíkové výbojky mají ve veřejném osvětlení univerzální použití, tj. jsou vhodné pro osvětlování veškerých komunikací, pěších zón i osvěcování fasád objektů. Výhodou vysokotlakých sodíkových výbojek je **měrný výkon až 150 lm/W**. Střední doba života, která se blíží až k 32 000 h umožňuje provádět hromadnou výměnu zdrojů ve veřejném osvětlení až po 4 letech. Určitou nevýhodou těchto zdrojů je barva vyzařovaného světla (index podání barev $R_a=25$), která způsobuje horší barevné vnímání osvětlovaných předmětů. Pro veřejné osvětlení se dnes používají vysokotlaké sodíkové výbojky nízkých příkonů, a to v obcích 50 W a 70 W, na průtahu 100 W a 150 W, ve městech také do 150 W a na širokých výpadovkách až 250 W.

Další významnou výhodou vysokotlakých sodíkových výbojek je možnost jejich stmívání a to až do 50-ti % jejich jmenovitého světelného toku.

3.8. Nízkotlaké sodíkové výbojky

U sodíkových výbojek nastává výboj ve výbojové trubici vyhotovené z polykrystalického anebo monokrystalického kysličníku hlinitého, která je naplněna argonem, neonem a sodíkem. Při tlaku sodíkových par 0,5 Pa a teplotě stěny výbojové trubice 270 až 300 °C vyzáří monochromatické záření v pásmu vlnových délek 589 a 589,6 nm ve žluté oblasti spektra. Vlnová délka vyzařování nízkotlaké sodíkové výbojky se nachází v blízkosti maxima spektrální citlivosti lidského oka a tudíž je u tohoto světelného zdroje dosahováno **vysokých měrných výkonů nad 200 lm.W⁻¹**. Vzhledem k monochromatickosti jejich vyzařování není v jejich světle možné rozlišovat barvy ($R_a = 0$). Doba života výbojky dosahuje až 24 000 hod. Výbojová trubice sodíkových výbojek má kruhový průřez a ohýbá se do tvaru písmena U nebo W. Venkovní baňka tepelně izoluje výbojovou trubici, je jednoduchá a vyčerpaná na vysoké vakuum.



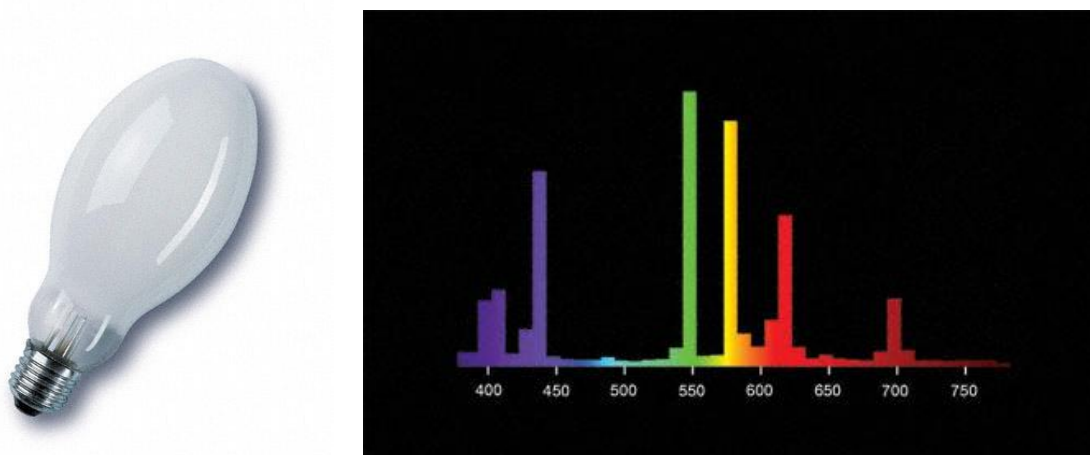
Obr. 3.8: Příklad nízkotlaké sodíkové výbojky

Využití nízkotlakých sodíkových výbojek je velmi omezené. Lze je de – facto uplatnit ve veřejném osvětlení a to s určitými omezeními. První omezení tkví v jejich velikosti vůči světelnému toku. Tento poměr je obdobný jako u zářivek a tudíž je velmi obtížné vyrobit svítidlo s vysokou účinností a distribucí světelného toku, kterou vyžaduje umístění na úzkých a dlouhých komunikacích. Druhé omezení souvisí, i přes značný pokrok ve velmi nízkém podání barev. Jejich použití se tedy omezuje na osvětlení výpadových silnic a dálnic. V současné době jsou rozšířeny zejména v zemích Beneluxu a ve Velké Británii. V naší republice, až na vzácné výjimky, nenašlo zatím osvětlení nízkotlakými sodíkovými výbojkami uplatnění vůbec.

Energetické uplatnění mohou nízkotlaké sodíkové výbojky nalézt právě ve výše uvedené oblasti dálničních přivaděčů a výpadových silnic v okolí velkých aglomerací bez dopravního značení.

3.9. Vysokotlaké rtuťové výbojky

UV záření vzniká u těchto zdrojů obloukovým výbojem v parách rtuti při tlaku 0,1 MPa ve výbojové trubici z křemenného skla. Toto záření se transformuje pomocí luminoforu do viditelné oblasti. Hlavní elektrody tvoří wolframový drát pokrytý emisní vrstvou kysličníku barya, stroncia a vápníku.



Obr. 3.9: Příklad vysokotlaké rtuťové výbojky

Vysokotlaké rtuťové výbojky vyzářují do viditelné oblasti asi 15% přivedené energie, jejich světlo je modrobílé a modrozelené. Červená složka světla chybí a z tohoto důvodu se nanáší na vnitřní stěnu venkovní baňky ortofosfátový luminofor pro zabezpečení transformace UV záření do červené oblasti spektra. K ustálení výboje rtuťových výbojek dochází až po 3 - 5 minutách. Výhodou těchto výbojek je malý pokles světelného toku během života, odolnost proti změnám teploty, odolnost proti otřesům a menší poruchovost v důsledku menšího počtu kontaktů ve srovnání se zářivkami. Doba života je až 20 000 hod, index barevného podání $R_a = 50$, měrný výkon 50 až 80 $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$. Tyto výbojky mají nevýhodu v tom, že k ustálení parametrů dochází asi až po 5 min po startu a jejich index barevného podání je neumožňuje používat ve vnitřních pracovních prostorech. Díky těmto důvodům se nehodí k osvětlování vnitřních prostorů. Díky nízkému měrnému výkonu se jejich používání ukončuje i ve veřejném osvětlení.

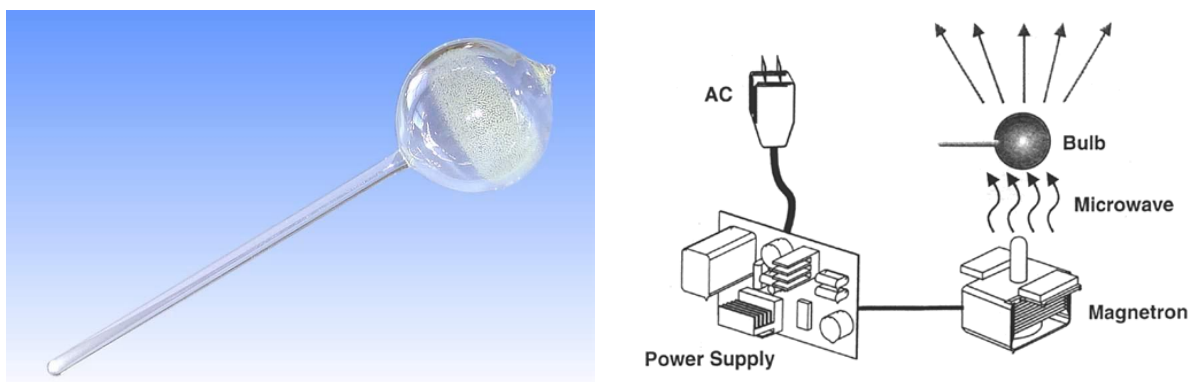
Přestože podíl těchto výbojek ve spotřebě postupně stále klesá a jsou nahrazovány účinnějšími halogenidovými a zejména vysokotlakými sodíkovými výbojkami, lze očekávat jejich používání i v nejbližší budoucnosti pro poměrně nízkou cenu. Pro barevné odlišení se používají v rámci osvětlování v pěších zón, parků, nákupních pasáží, veřejných prostor a parkovacích a příjezdových ploch shopping center.

Z energetického hlediska nemají tyto světelné zdroje žádný potenciál využití do budoucnosti.

3.10. Sirné výbojky

Jedná se o vysokotlaké výbojky s náplní síry a kulovým svítícím tělesem o průměru od 5 do 29 mm. Vlastní výboj je buzen v křemenném hořáku majícím tvar koule, která rotuje v elektromagnetickém poli magnetronu (2,45 GHz). Výboj probíhá v parách síry, přičemž

spektrum vyzařovaného světla se blíží slunečnímu, při vynikajícím měrném výkonu dosahujícím až 130 lm.W^{-1} a vysokém indexu podání barev $R_a = 85$. Doba života sírové výbojky je limitována spolehlivostí magnetronu a dosahuje hodnot převyšujících 50 000 hodin. Úbytek světelného toku na konci života je menší než 10 %.



Obr. 3.10: Příklad sírové výbojky

S ohledem na technickou náročnost provozu nemají v současné době tyto výbojky širší uplatnění.

3.11. Indukční výbojky

Do okruhu nízkotlakých výbojových zdrojů patří i světelné zdroje využívající principu indukce. Tyto světelné zdroje lze právem považovat za světelné zdroje budoucnosti. I když na principu vysokofrekvenčního buzení výboje v bezelektrodovém výbojovém prostoru se pracuje v laboratořích světových firem již po desetiletí, výbojku použitelnou se podařilo uvést na trh firmě PHILIPS teprve v roce 1993 pod označením QL (quality lighting).

Princip funkce : Do hruškovité baňky je zatavena z jedné strany otevřená trubice, do níž se vkládá feritové jádro s indukční cívkou napájenou proudem o frekvenci 2,65 MHz. Baňka nemá žádné elektrody, obsahuje pouze inertní plyn a páry rtuť. Atomy rtuť vybuzené vysokofrekvenčním polem vytvářeným cívkou, emitují ultrafialové záření, které je transformováno luminoforem na viditelné světlo. Vlivem bezelektrodové konstrukce se dosahuje extrémně dlouhého života, podle údajů výrobce až 60 000 h, a to při velmi dobré stabilitě světelného toku v průběhu svícení. Výbojky se vyznačují všemi přednostmi, které poskytuje provoz na vysoké frekvenci. V současné době jsou výbojky vyráběny s příkonem 55 W a 85 W s účinnostmi asi 65 lm.W^{-1} a 70 lm.W^{-1} při R_a větší nebo rovno 80. Doba náběhu činí 0,5 s, doba znovuzápalu je rovněž asi 0,5 s. Důležitou výhodou výbojek je jejich konstantní světelný tok v širokém teplotním rozsahu. Jejich aplikace zároveň podstatně snižuje náklady související s údržbou osvětlovací soustavy.

Na podobném principu pracuje indukční výbojka vyráběná firmou OSRAM pod názvem ENDURA např. o příkonu 150 W.

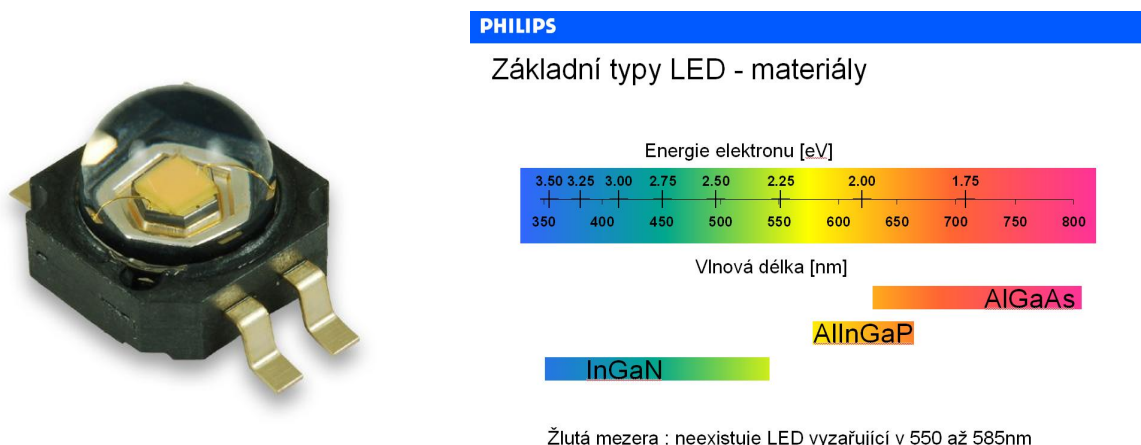


Obr. 3.11: Příklad indukční výbojky

Indukční výbojky se umísťují v těžko přístupných prostorech bez možnosti pravidelné údržby. Z hlediska energetického přínosu nelze v současné době s těmito zdroji počítat.

3.12. Světelné diody

Světelné diody, označované dříve LED, se v posledních letech ve stále větší míře využívají v nejrůznějších oblastech osvětlovací techniky. Za své rozšíření vděčí především rostoucímu měrnému výkonu. LED dioda je elektronický prvek, který generuje světelné záření při průchodu proudu polovodičovým přechodem. Používá tedy jiný fyzikální princip než žárovky nebo výbojky a má mnoho vlastností, kterými se od klasických zdrojů světla odlišuje. Polovodičový přechod vyzařuje velmi úzké spektrum, záření je v podstatě monochromatické. V současnosti jsou však na trhu prvky všech potřebných barev, se třemi čipy v jednom pouzdru, i LED diody v jednotlivých barvách vhodných pro skládání bílé. Dalším způsobem je použití LED čipu, který se uvnitř pouzdra ještě opatří vrstvou aktivní hmoty, která na principu podobném luminoforu částečně převede záření na jiné vlnové délky viditelného spektra. Výsledným efektem je bílá barva. LED diody mají potenciál stát se vysoce účinným světelným zdrojem. Nejvíce zajímavé jsou nové aplikace v obecném osvětlování, kde se LED diody začínají prosazovat namísto konvenčních světelných zdrojů.



Obr. 3.12: Příklad výkonové LED diody a ukázka možnosti vyzařování LED diod v oblasti různých vlnových délek v závislosti na použitém materiálu

LED diody lze rozdělit do 3 kategorií:

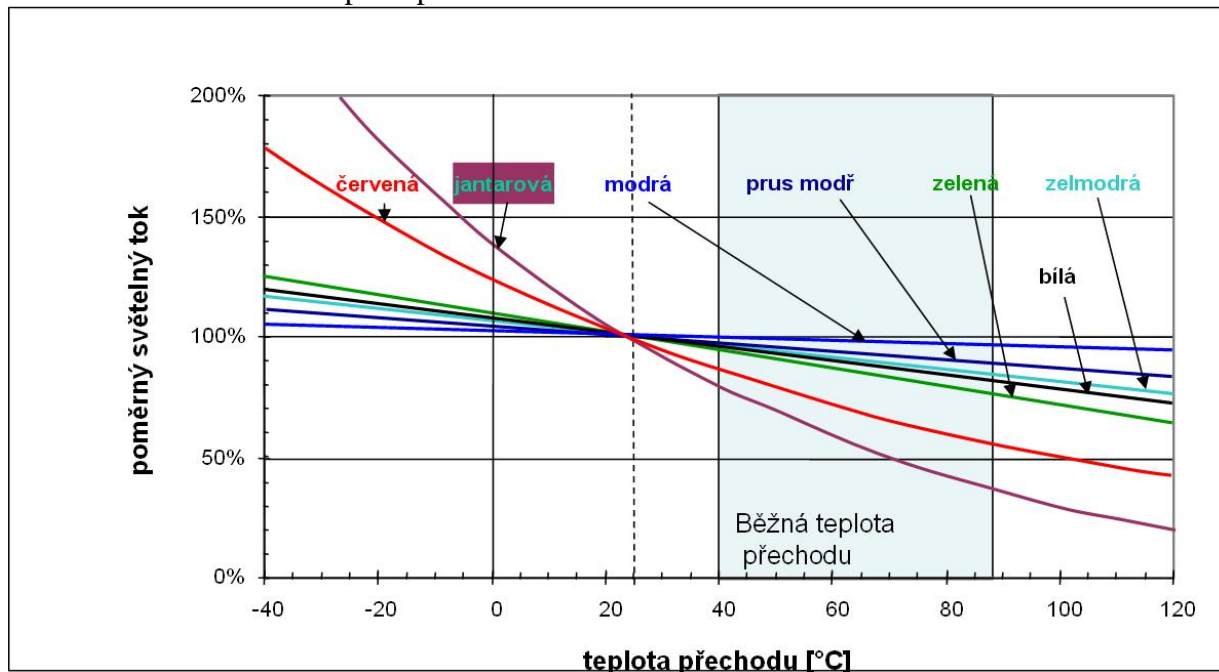
- SMD LED (indikace) – počítače, auta, mobily, orientační osvětlení
- Klasické LED (signalizace) – kontrolky, třetí brzdová světla automobilů, reklama, orientační osvětlení
- Výkonové LED (osvětlování) – dopravní signalizace, iluminace, zábavní průmysl

V oblasti obecného používání (osvětlování) lze využívat pouze LED diod s bílou barvou světla. V důsledku vysoké závislosti PN přechodu na teplotě se výrobci dostávají na maximální příkon 5 W. Tomu odpovídá světelný tok 140 lm, index podání barev může být větší než 80 a doba života až 50 000 hodin. Rozebereme-li bílé LED diody podle jejich současných možností, pak je nutné srovnat jejich výhody a samozřejmě i nevýhody.

Tab. 3.1: Klady a zápory bílých LED diod

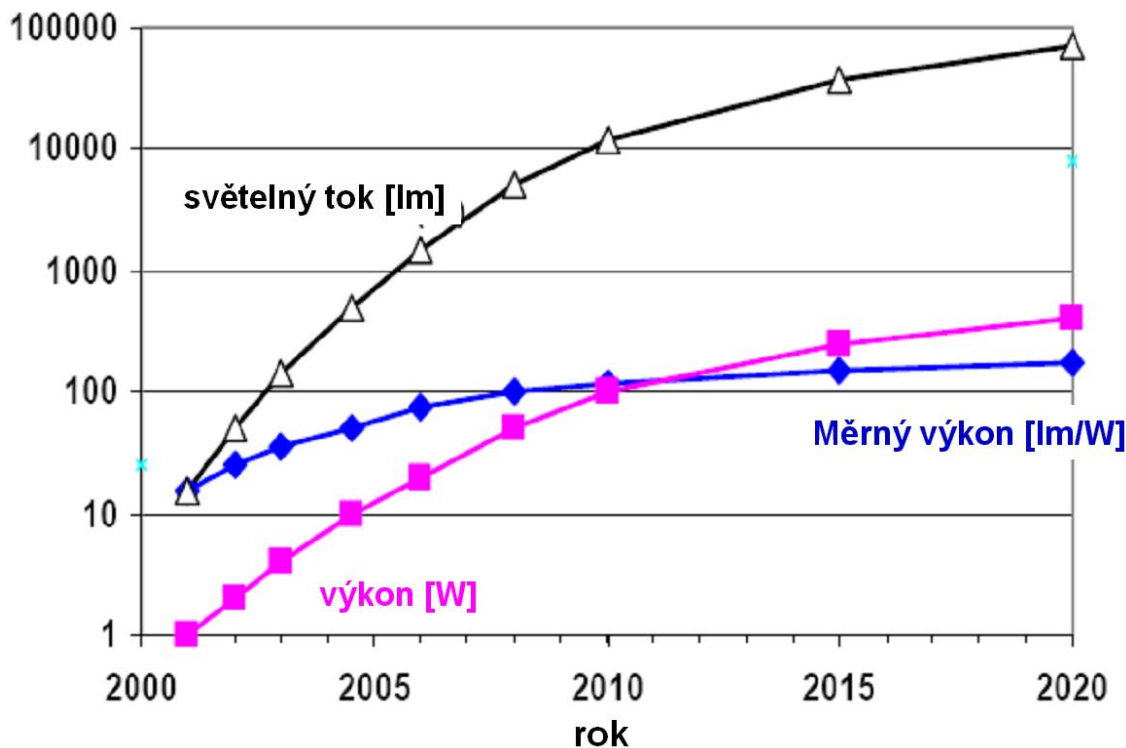
Systém	Pro	Proti
Studená bílá	Měrný výkon ~ 40 - 50 lm/W průmyslová technologie	$R_a > 70$
Teple bílá	Náhrada hal. žárovek $R_a > 90$	Měrný výkon okolo 17 lm/W
RGB	Možnost nastavení barvy Živé a syté barvy	Barevné stíny Stabilita barvy Složitější předřadník

První omezení závisí na teplotě přechodu. Tato závislost se různí dle barev světla LED diod.



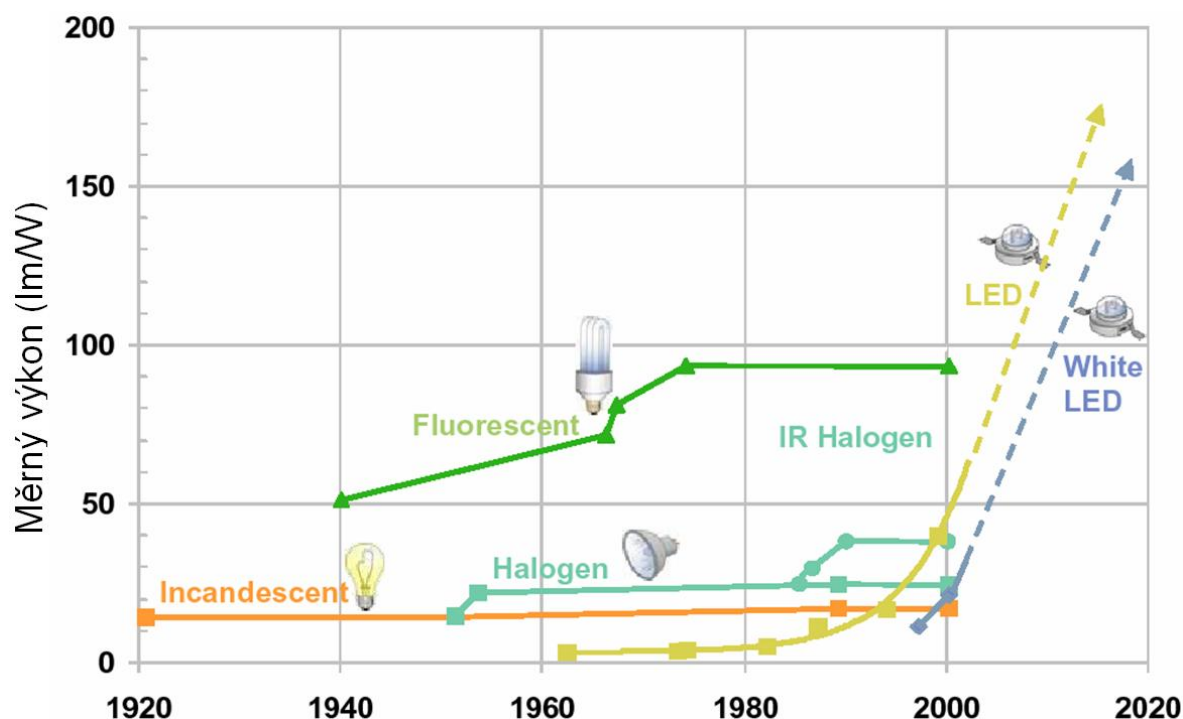
Obr. 3.13: Graf znázorňující závislost poklesu světelného toku u různých typů LED diod v závislosti na teplotě PN přechodu

Druhé omezení použití LED diod je v jejich maximálním příkonu a tedy i v jejich světelném toku. Tato nevýhoda se však dá odstranit použitím většího počtu světelných zdrojů. Prognóza do budoucnosti však dává tušit, že příkony LED diod se v dohledné budoucnosti přiblíží hranici 100 W, která bude již dostatečná jak pro osvětlování vnitřních tak venkovních prostor.



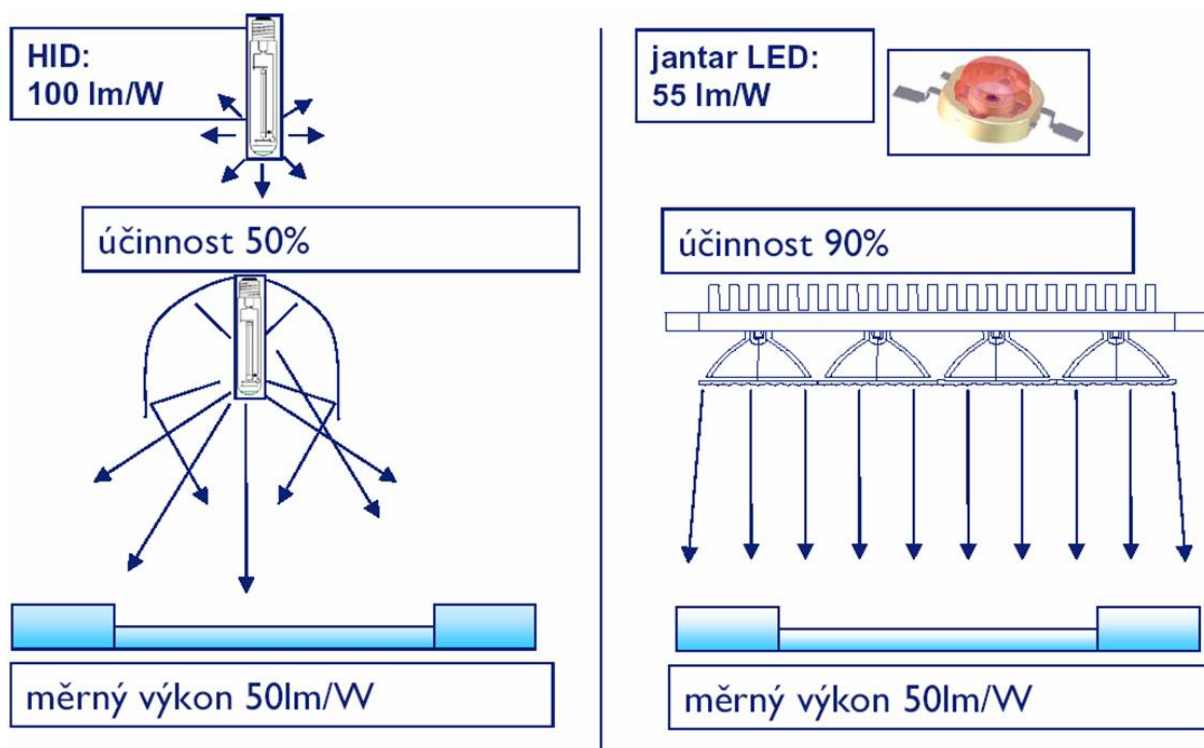
Obr. 3.14: Graf znázorňující předpoklad vývoje parametrů LED diod v horizontu do roku 2020

Z obrázku je také vidět relativně vysoký očekávaný nárůst měrného výkonu, který by se měl u výkonových LED diod přiblížit k měrným výkonům běžně používaných zářivek a halogenidových a vysokotlakých sodíkových výbojek. Pro lepší představu srovnání měrných výkonů ostatních světelných zdrojů s LED diodami v historii, současnosti a v budoucnosti je uveden následující obrázek.



Obr. 3.15: Graf průběhů měrných výkonů světelných zdrojů včetně LED diod s výhledem do roku 2020

Z výše uvedených technických parametrů a odhadů možného vývoje LED diod vyplývají jejich významné možnosti do budoucna v oblasti vnitřního i veřejného osvětlení. Nevýhoda současného bouřlivého vývoje LED diod je absence jejich normalizace. Nicméně ve srovnání s klasickými světelnými zdroji je jejich výhoda jednoznačně v tom, že částečně nahrazují funkci svítidel v distribuci světelného toku. Díky tomuto primárnímu směřování světelného toku se již v současné době stírají rozdíly mezi svítidly osazenými klasickými světelnými zdroji a svítidly osazenými LED diodami.



Obr. 3.16: Grafické znázornění výhod distribuce světelného toku u svítidel osazených LED diodami ve srovnání se svítidly osazenými klasickými světelnými zdroji

Další výraznou výhodou LED diod je jejich snadné stmívání, které nemá vliv na dobu jejich života. Vliv na dobu života nemá ani časté spínání.

4. LITERATURA

- [1] *Plch, J.:* Světelná technika v praxi. IN-EL spol. s.r.o., Praha 1999,
- [2] *Habel, J.:* Světelná technika a osvětlování. FCC Public, Praha 1995,
- [3] *Sokanský, K. a kolektiv:* Úspory elektrické energie na veřejném osvětlení. Česká společnost pro osvětlování, Ostrava 2002,
- [4] *Šesták F.:* Provoz a údržba osvětlení. ČKAIT, Praha 2000,
- [5] ČSN EN 12665. Světlo a osvětlení – Základní termíny a kritéria pro stanovení požadavků na osvětlení. 2003,
- [6] ČSN EN 12464-1. Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory. 2003,
- [7] *Sokanský, K.:* Úspory elektrické energie na veřejné osvětlení, Publikace ČEA, Ostrava 2002,
- [8] *Sokanský, K.:* Racionalizace v osvětlování kancelářských, školských a bytových prostor, Publikace ČEA, Ostrava 2004,
- [9] *Sokanský, K.:* Racionalizace v osvětlování venkovních prostor, Publikace ČEA, Ostrava 2005,
- [10] Kurz osvětlovací techniky XXIV, Hotel Dlouhé Stráně, Sborník VŠB-TU. Ostrava 2005,
- [11] Kurz osvětlovací techniky XXV, Hotel Dlouhé Stráně, Sborník VŠB-TU. Ostrava 2006,
- [12] Národní konference s mezinárodní účastí - SVĚTLO 2007, Sborník VŠB-TU, Ostrava 2007,
- [13] CIE – 26TH SESSION OF THE CIE , Sborník, China, Beijing 2007,
- [14] Lighting engineering - INDAL, Spain 2002,
- [15] Katalog Osram, Světelné zdroje 2005/2006,
- [16] Katalog PHILIPS, Katalog světelných zdrojů a příslušenství 2007/2008,
- [17] TECHNICAL REPORT CIE 97:2005 2nd Edition Guide on Maintenance of Indoor Electric Lighting Systems

5. OBSAH

1. Úvod.....	1
1.1. Zrakový systém z pohledu množství přenášené informace	1
1.2. Základní světelně-technické veličiny a pojmy z pohledu jejich vlivu na spotřebu elektrické energie	2
2. Účinnost svítidel a možnosti jejího zvyšování.....	6
2.1. Světelně technické parametry svítidel.....	6
2.1.1. Světelný tok svítidla.....	6
2.1.2. Účinnost svítidla	6
2.1.3. Svítivost svítidel.....	7
2.1.4. Jas svítidel	9
2.1.5. Úhel clonění	9
2.1.6. Třídění svítidel	10
2.1.7. Konstrukční prvky svítidel.....	11
2.2. Možnosti zvyšování účinnosti svítidel.....	13
2.2.1. Základní principy usměrnění světelného toku	13
2.2.2. Reflektory.....	14
2.2.3. Refraktoři	15
2.2.4. Rozptylovače.....	16
3. Vhodná volba světelných zdrojů z pohledu kvalitativních a kvantitativních parametrů	17
3.1. Základní parametry světelných zdrojů	18
3.2. Žárovky	19
3.3. Halogenové žárovky	20
3.4. Kompaktní zářivky.....	21
3.5. Lineární zářivky	23
3.6. Halogenidové výbojky	24
3.7. Vysokotlaké sodíkové výbojky	27
3.8. Nízkotlaké sodíkové výbojky.....	29
3.9. Vysokotlaké rtuťové výbojky	30
3.10. Sirné výbojky	30
3.11. Indukční výbojky	31
3.12. Světelné diody.....	32
4. Literatura.....	37
5. Obsah.....	38