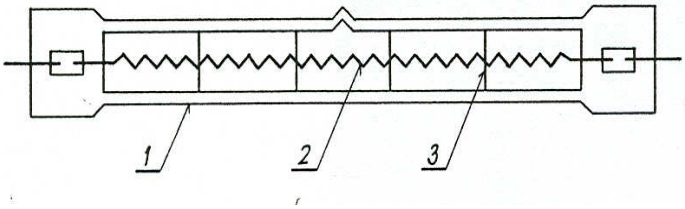
6.7 Halogenové žárovky

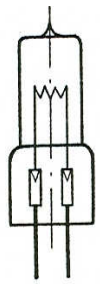
Halogenové žárovky představují významný vývojový stupeň teplotních zdrojů. V plynné náplni halogenové žárovky je příměs halogenů (obvykle jod, brom, chlor a jejich sloučeniny). Při určité teplotě a vhodném konstrukčním uspořádání probíhá v takové žárovce vratná chemická reakce mezi odpařeným wolframem 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 korozivní, a proto jeho využití vyvolává 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 2500 ^{o}C a při vodorovné poloze žárovky (± 4°). 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 dvoupaticové (lineární) nebo jednopaticové. Lineární žárovka (viz obr.6–10) 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.6-11), Tyto žárovky mají kompaktnější vlákno a v optických soustavách mohou být využity jako bodové zdroje (např. projekční žárovky). 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 dvoupaticové (přehled parametrů viz tab.6-4), ale i jednopaticové s paticí E27 (příkony 50 a 78 W, život 2000 h) a jednopaticové žárovky na malé napětí (příkony 5 až 75 W, život 2000 až 3000 h, měrný výkon 11 až 17 ℓm.W^{-1}). Velké oblibě se těší jednopaticové halogenové žárovky s tzv. studeným světlem (20, 35 a 50 W; 12 V; 3000 až 4000 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).



Obr. 6 – 10



Obr. 6 - 11

Tab.6 - 4 Parametry vybraných typů lineárních halogenových žárovek pro všeobecné osvětlování na síťové napětí [1)]

Příkon žárovky (W)	Světelný tok (kℓm)	Měrný výkon (ℓm.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

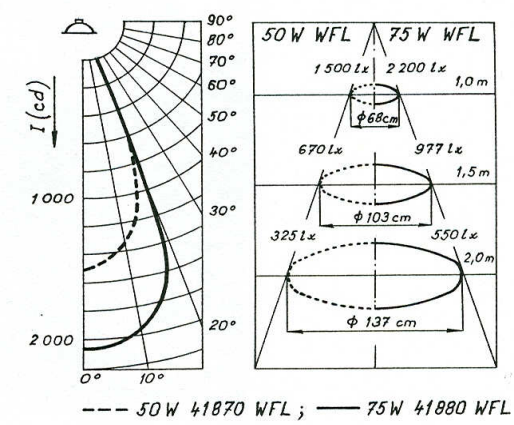
Pozn.
1) Halogenové dvoupaticové žárovky (např. typu HALOLINE firmy Osram) s baňkou ve tvaru válečku o průměru 12 mm jsou opatřeny paticemi R7s. Provozní teplota baňky je až 800 ^{o}C. Max, teplota vakuového zátavu 350 ^{o}C. Střední život těchto žárovek je 2000 h. Poloha svícení halogenových lineárních žárovek o příkonu do 500 W je libovolná, o vyšších příkonech vodorovná (± 15°).
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.

Jednou z důležitých inovací halogenových žárovek je použití tzv. **IRC technologie**. Spočívá v napaření tenké kovové vrstvy na vnitřní povrch baňky žárovky. Zmíněná vrstva odráží tepelné (jinak ztrátové) záření zpět směrem k vláknu, takže k jeho vyžhavení na potřebnou provozní teplotu je zapotřebí méně energie. Tím roste měrný výkon zdroje až o 40%. Se zmenšováním rozměrů a výrobou reflektorových halogenových žárovek byl řešen i problém omezení infračerveného záření dopadajícího na osvětlované objekty využitím speciální vrstvy nanesené na vnitřní povrch reflektoru (dichroický reflektor - propouští část IR záření). Do baňky moderních halogenových žárovek z křemenného skla se dávkuje xenon, a to ke zlepšení měrného výkonu a dále certit, čímž se zásadně potlačuje zářivý tok těchto zdrojů v UV oblasti spektra.

V posledních letech se zejména pro osvětlování různých společenských prostorů často využívá **halogenových žárovek 12 V** (popříp. 6, či 24 V) o příkonech 10, 20, 35, 50, 75 i 100 W opatřených speciálními reflektory s úhly poloviční svítivosti obvykle v rozmezí 10° až 30° při výstupních otvorech o průměru 35, 48, 51 resp. 70 mm. Vyrábějí se též v provedení s dichroickými reflektory zajištujícími omezení tepelné složky ve vyzařovaném záření asi na 66%, což je velmi žádoucí pro osvětlování předmětů citlivých na infračervené záření. Předností halogenových žárovek 12 V jsou miniaturní rozměry, které umožňují podstatně zmenšovat optické systémy svítidel. Moderní typy žárovek 12 V mají při tom život až 5000 h při měrném výkonu 25 *lm* .W^{-1}. Nevýhodou je ovšem potřeba předřadného přístroje (transformátoru či měniče). Pro porovnání inovované halogenové žárovky na napětí 230 V dosahují doby života 2000 h při měrném výkonu 16 *lm* .W^{-1}.

Pro ilustraci je na obr.6-12 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 halogenových žárovek 12 V bývá 2000 – 3000 h. Některé typy žárovek vyšších příkonů než 50 W vykazují život dokonce až 5000 h.

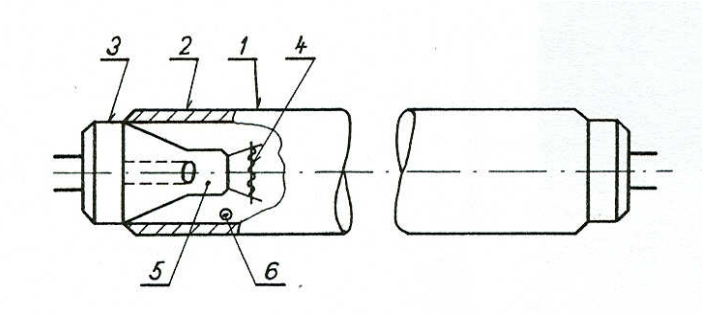


Obr. 6 - 12 Čáry svítivosti a rozložení osvětlenosti pro halogenové žárovky 50 W a 75 W (12 V) s dichroickým reflektorem (∅ 51 mm) typu HALO STAR 50 W 41870 WFL a 75 W 41880 WFL Osram

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. Ojediněle dochází dokonce k roztržení baňky. Doporučuje se proto jednotlivé žárovky jistit pojistkou.

6.8 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.6-13) transformuje ve viditelné záření luminoforem 2, který je v tenké vrstvě nanesen na vnitřním povrchu skleněné trubice 1.



Obr. 6 - 13

Trubice je na obou koncích opatřena elektrodou 4, nosným systémem 5 a kolíčkovou paticí 3. Trubice je naplněna rtutí 6 a vzácným plynem (např. argon, popříp. směs argonu s neónem).

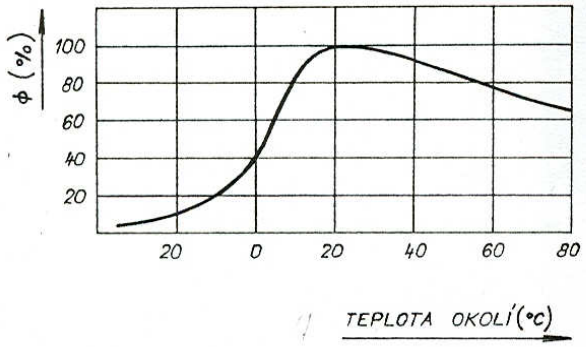
Tlak vzácného plynu v zářivce je přibližně 4.10^2 Pa, přičemž optimální tlak par rtuti je asi 0,6 Pa.

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 dvojitě 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 2000 h provozu klesnout pod 75% jmenovité hodnoty toku Φ_n (u bílých zářivek dokonce pod 85% Φ_n). Během 170% 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 s 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 16000 h. Elektrody se rychleji opotřebovávají, zažehuje-li zářivka s nedostatečně nažhavenými elektrodami (asi 700 ^{o}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.

Nevýhodou zářivek je, že jejich světelný tok závisí na teplotě trubice, resp. na teplotě jejího okolí (viz obr.6-14). Standardní zářivky vyzařují maximum světelného toku při teplotě okolo 40 ^{o}C na povrchu trubice, tj. při teplotě okolí okolo 25 ^{o}C.



Obr. 6 – 14

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 ^{o}C.

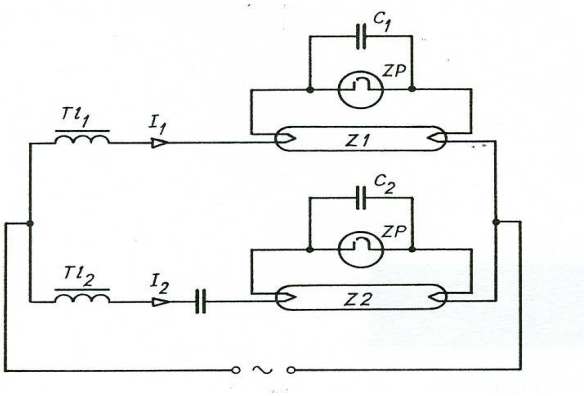
Zářivky pro nízké teploty okolí (až do –20 ^{o}C) se plní s ohledem na snazší zapalování na nižší tlak argonu (2,66 . 10^2 Pa) a pro udržení dobrého měrného výkonu se opatřují dvojím pláštěm (např. trubice o průměru 38 mm má plášť o průměru 45 mm). Spektrální složení záření a tedy i chromatičnost světla zářivek jsou určovány druhem použitého luminoforu. Barevná jakost obvykle vyráběných typů zářivek s příklady jejich použití je uvedena v tab.6-5.

Tab.7 - 5

Příklady použití různých typů zářivek

Barevný tón světla zářivky	Náhradní teplota chroma-tičnosti	Index podání barev	Příklady použití
teple bílý	2700 K	$R_a > 80$	zasedací místnosti, posluchárny, školy, mateřské školky, knihovny, čítárny, obchody (potraviny, sýry, pečivo, ovoce, zelenina, ryby, textil, kožené zboží, nábytek, koberce, květiny), kadeřnictví, restaurace, hostince, hotely, divadla, koncertní sály, foyery, galerie, muzea, nemocnice (pokoje pacientů, čekárny), byty (obývací pokoje, kuchyně, koupelny), obchodní domy, velkoprodejny
	3000 K	$R_a > 80$	zasedací místnosti, haly, kanceláře, laboratoře, školy, mateřské školky, knihovny, čítárny, obchody (potraviny, textil, kožené zboží, nábytek, hračky, papírnictví, foto, hodiny), obchodní domy, velkoprodejny potravin, restaurace, společenské prostory, výstavní haly
		$R_a > 90$	obchody (textil, kožené zboží, nábytek, koberce, hračky, sport. potřeby, foto, hodiny, papírnictví, květiny, šperky), kosmetika, kadeřnictví, obchodní domy, velkoprodejny, muzea, nemocnice (pokoje pacientů, čekárny), byty (obývací pokoje, kuchyně, koupelny)
bílý	4000 K	$R_a > 80$	kanceláře, průmysl (strojírenský, elektrotechnický, textilní, konfekční, dřevozpracující, laboratoře, sklady, expedice), dílny, posluchárny, učebny, knihovny, čítárny, obchody (potraviny, sportovní potřeby, hračky, papírnictví), restaurace, společenské sály, výstavní haly, pavilony, sportovní a víceúčelová zařízení, nemocnice, byty (kuchyně, koupelny, sklepy)
		$R_a > 90$	průmysl (textilní, konfekční, tiskařský, grafický), obchody (textil, kožené zboží, galanterie, sportovní potřeby, hračky, knihy, papírnictví, květinářství), kosmetika, kadeřnictví, obchodní domy, velkoprodejny potravin, nemocnice, byty (kuchyně, koupelny, dílny), sportovní haly
denní	5400 K	$R_a > 90$	průmysl (textilní, konfekční, tiskařský, grafický, dřevozpracující, laboratoře, kontrola barev, sklady), obchody (textil, oděvy, kožené zboží, knihy, foto, hodiny, šperky, sklo, porcelán, květiny), galerie, muzea, zdravotnictví (vyšetřovny, ordinace, léčebny), sportovní haly
	6000 K	$R_a > 80$	průmysl (textilní, konfekční, tiskařský, dřevozpracující, laboratoře, sklady), obchody (oděvy, textil, kožená zboží, foto, hodiny, šperky, sklo, porcelán, potraviny, chladicí pulty, vitríny), galerie, mužea, zdravotnictví (vyšetřovny, ordinace, léčebny), sportovní haly

U různých typů zářivek napájených střídavým proudem nekolísá světelný tok v průběhu jedné periody stejně a proto není stejně výrazný ani 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 (obr.6-l5).

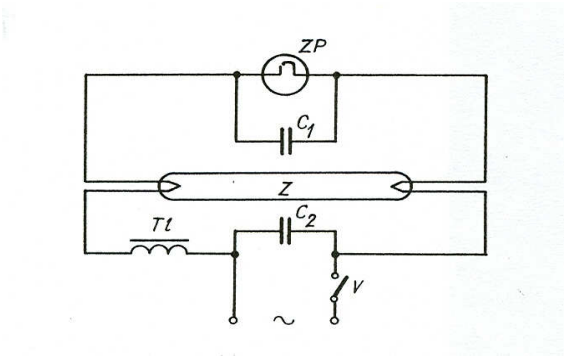


Obr.6 - 15

Schéma zapojení svítidla se dvěma zářivkami Zl a Z2

Tℓ 1 a Tℓ 2 - stabilizační tlumivky; ZP - zapalovač;
Cl,C2 - odrušovací kondenzátor;
C - kondenzátor zajištující fázový posuv mezi proudy I_1 a I_2 i kompenzaci účiníku 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.6-16), 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.6 - 16
Obvyklé schéma zapojení zářivkového svítidla s jednou zářivkou a induktivním předřadníkem

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 sítové 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 prvém pokusu nezapálí, celý postup se opakuje. Pro snadnější rozpínání kontaktů na elektrodách zapalovače ZP a pro odrušení se zapalovač překlene kondenzátorem C_1 . Kondenzátor C_2 slouží ke kompenzaci účiníku.

U zářivek pro rychlý zápal (Rapid start) se elektrody žhaví z malého transformátoru a podél zářivky je umístěn uzemněný zemnící 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. 6 – 6.

Tab.6 - 6 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	
16 [T5] [4]	4	140	b	136
	6	280	b,tb	212
	8	450	b,tb	288
	13	1000	b,tb	517
	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 6000 K)
b - bílý (teplota chromatičnosti cca 4000 K)
tb - teple bílý (teplota chromatičnosti cca 3000 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 dociluje až 25% úspory energie, výrazně se zpomaluje pokles světelného toku během života zářivky (např. u některých typů lineárních zářivek po 12000 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 13000 až 15000 h (u indukčních předřadníků po 8000 až 11000 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. mezi 198 - 254 V při U_n = 230 V) a kromě toho se asi o třetinu snižuje tepelné zatížení prostoru.

Pokud jde o chromatičnost světla zářivek a kvalitu vjemu barev v jejich světle, lze tyto zdroje členit do tří kategorií :

a) zářivky standardního provedení s klasickými halofosfátovými luminofory s měrnými výkony 57 až 68 $lm.W^{-1}$ a indexy podání barev $R_a = 40 \div 59$ (při teple bílém barevném tónu světla), resp. $R_a = 60 \div 79$ (při denním nebo bílém barevném tónu světla)

b) zářivky se zlepšeným podáním barev s třípásmovými luminofory s měrnými výkony 72 až 83 $\ell m.W^{-1}$, resp. u zářivek nové generace s průměrem 16 mm 96 až 106 $\ell m.W^{-1}$ a indexy podání barev $R_a = 80 \div 89$

c) zářivky s vynikajícím podáním barev se speciálními, obvykle pětipásmovými, luminofory s indexem podání barev $R_a \geq 90$ ovšem s nižšími měrnými výkony 52 až 55 $\ell m.W^{-1}$.

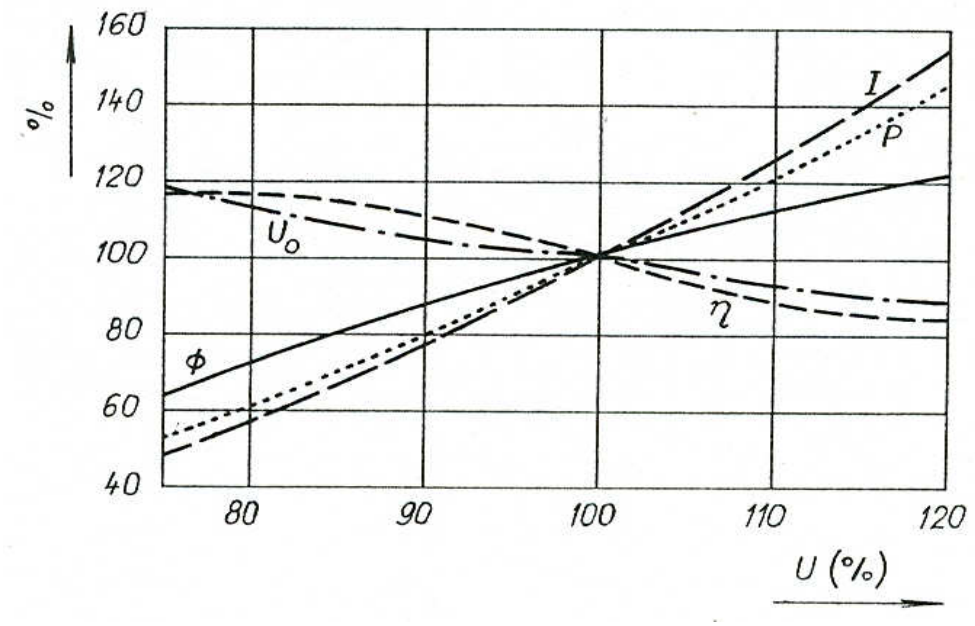
Přehled o elektrických parametrech obvodů se zářivkami provozovanými s indukčním předřadníkem a zapalovačem poskytují údaje v tab.6-7. Světelně technické a elektrické parametry zářivek v uvedeném běžném zapojení jsou závislé na změnách napájecího napětí. Pro ilustraci jsou pro tento případ obvyklé průběhy zmíněných závislostí světelného toku **Φ** , příkonu **P**, měrného výkonu **η** , napětí na oblouku $\mathbf{U_o}$ a proudu **I** na změnách napájecího napětí nakresleny na obr.6-17.

Tab.6 - 7

Příklady elektrických parametrů obvodů se zářivkami zapojenými s indukčními předřadníky [1)]

Jmenovitý příkon zářivky (W)	Příkon včetně indukčního předřadníku (W)	Jmenovitý proud (A)	Napětí na zářivce po zapálu (±10%) (V)	Impedance indukčního předřadníku (Ω)	Kompenzační kondenzátor (μF)	Max.žhavicí proud (při žhavení 2 s) (A)
18	30	0,37	57	155	4,5	0,55
36	46	0,43	103	240	4,5	0,65
58	71	0,67	110	165	7,0	1,0

Pozn. 1) Jmenovité napájecí napětí 230 V.

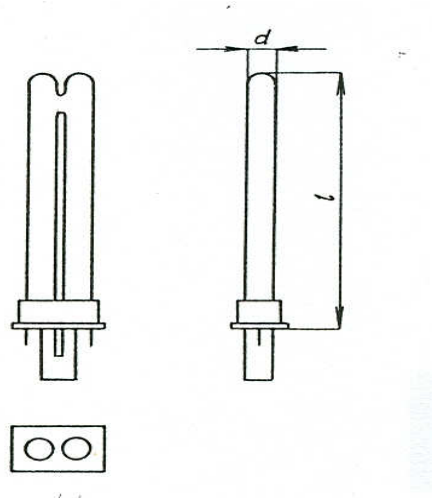


Obr.6-17

Jak vyplývá z předchozího výkladu je jakost luminoforu jedním z činitelů rozhodujících o kvalitě zářivek. Např. u tzv. úzkopásmových (obvykle třípásmových nebo pětipásmových) 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 $lm.W^{-1}$ i při vysokém indexu podání barev $\mathbf{R_a} > 80$.

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). Využití elektronických předřadníků, umožňujících provoz zářivek v optimálních pracovních podmínkách, vyvinutí nových typů luminoforů, speciálních ochranných vrstev pro výbojovou trubici i pro luminofor, upravené konstrukce elektrod – to vše dovoluje u nových typů zářivek dosahovat při indexu podání barev $Ra \geq 90$ měrného výkonu i 100 $lm.W^{-1}$ a doby života až 20.000 h (v některých případech dokonce až 50.000 h).

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 paticemi. 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 paticí se čtyřmi kontaktními kolíky. Např. v provedení se dvěma paralelními a vzájemně spojenými výbojovými trubicemi (tzv. provedení „dvoutrubičkové“) 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 1200, 1800, 2900, 3500 a 4800 *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 1100, 1700 a 2800 *lm*.



Obr.6 – 18

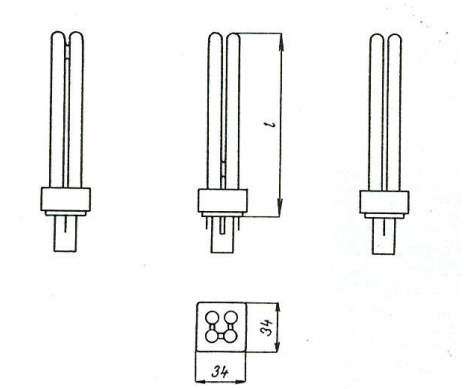
Náčrt konstrukce jednopaticové zářivky se zapalovačem vestavěným do pouzdra patice se dvěma kontaktními kolíky

Délka zářivky 9 W (11 W) je maximálně *t* = 145 mm (215 mm) při průměru výbojové trubice d = 12 mm

Jiné konstrukční řešení představují zářivky se zapalovačem vestavěným do pouzdra patice se dvěma kontaktními kolíky. Tento typ zářivek se vyrábí např. v tzv. „dvoutrubičkovém" provedení (náčrt tohoto konstrukčního uspořádání je nakreslen na obr. 6-18) 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 světel. tokům 230, 430, 730 a 960 ℓm obyčejných 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.6-19. Např. jde o zářivky s vyššími příkony, a to 10, 13, 18, 26 W o délkách ℓ = 87, 115, 130 a 149 mm se světelnými toky 600, 900, 1200 a 1800 ℓm.

Doba života popsaných jednopaticových zářivek je dnes již běžně 8000, ale i 12000 h v závislosti na kvalitě použitých materiálů, zejména luminoforu, a na typu předřadníku.
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 předřadníkem, kterými lze v řadě svítidel bezprostředně nahradit žárovky.

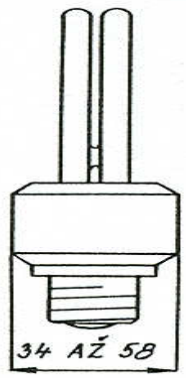
Kompaktní zářivky je možno opatřit také vnější skleněnou, např. opalizovanou, či tvarovanou baňkou. Vnější baňka může být buď válcová o průměru např. 64 mm, popřípadě kulová o průměru např. 100 mm. Při praktické aplikaci je nicméně zapotřebí vzít v úvahu, že vnější baňka, obdobně jako indukční předřadník, 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 jejích světle, charakterizované indexem podání barev Ra > 80.



Obr.6 - 19

Prudký rozvoj poznatků a nových technologií v elektronice a polovodičové technice 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 (i 80 $lm.W^{-1}$), prodlužuje se jejich život (i 12.000 h) a výrazně se zhospodárňuje 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 rozbory ukazují, že při ceně elektrické energie vyšší než 3 Kč/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 3000 h, to znamená asi 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).



Obr.6- 20
Náčrt konstrukčního uspořádání kompaktní „čtyřtrubičkové“ zářivky bez vnější baňky Elektronický předřadník je zabudován v pouzdře, které je zakončeno paticí se závitem E 27 .

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. 6-20) se běžně vyrábějí o příkonech 5, 7, 11, 15, 20 a 23 W se světelnými toky 200, 400, 600, 900, 1200 a 1500 ℓm. Včetně patice E27 jsou délky uvedených zářivek, např. firmy Osram ℓ = 121, 130, 139, 143, 156 a 176 mm.

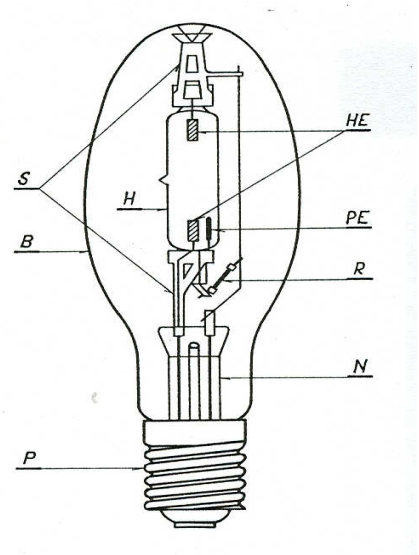
Produkují se i zářivky s paticí E14, a to o příkonech 5, 7 a 11 W s toky 200, 400 a 600 ℓm. Vnější rozměr pouzdra předřadníku se obvykle pohybuje v rozmezí 34 až 58 mm. Pro porovnání připomeňme, že baňka obyčejné žárovky do příkonu 100 W má průměr 60 mm a její délka (včetně patice) je 105 mm. Snaha po 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 uspořit 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 500000 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.

6.9 Rtuťové vysokotlaké výbojky

Viditelné záření vzniká u těchto výbojek zářením výboje v parách rtuti o tlaku obvykle vyšším než 0,1 MPa. Konstrukce rtuťové vysokotlaké výbojky je schematicky načrtnuta na obr.6-21.

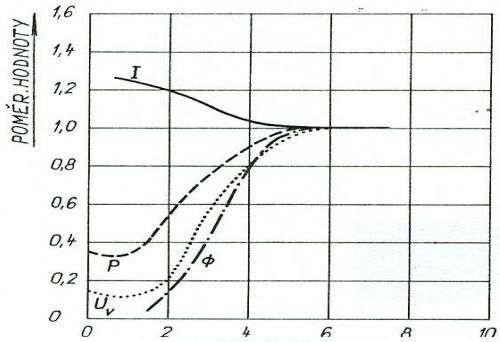


Výbojová trubice (hořák) **H** provedená z křemenného skla je nosným systémem **S** upevněna na nožce **N**. Hlavní elektrody **HE** jsou ze svinutého wolframového drátu a pokrývají se emisní vrstvou kysličníků barya, stroncia nebo vápníku. Zapalovací molybdenová elektroda **PE** je zapojena přes rezistor **R** (10 až 25 kΩ) 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 okysličením, 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 (obvykle na tlak 2 až 3 kPa). Teplota v ose výboje bývá asi 5500 K a teplota stěny hořáku asi 600 až 800 ^{o}C.

Obr.7 - 21
Konstrukční uspořádání rtuťové vysokotlaké výbojky s elipsovitou vnější baňkou

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 dříve užívalo označení RVL.

K ustálení výboje ve rtuťových parách dochází u rtuťových vysokotlakých výbojek asi po 5 min. provozu. Příklad náběhových charakteristik příkonu **P,** proudu I, napětí na výbojce U_v a světelného toku **Φ**, je nakreslen na obr.6-22.

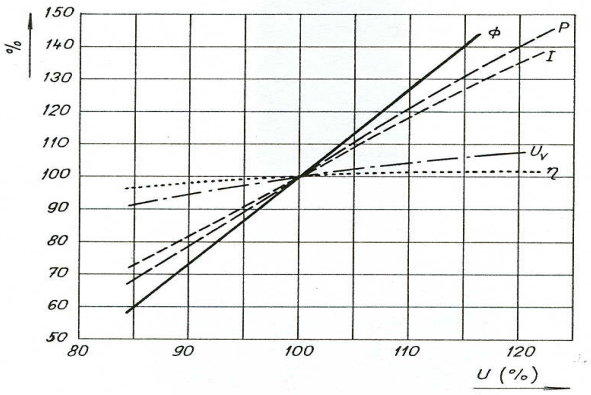


Obr. 6 – 22

Po krátkodobém přerušení napájení výbojky zapálí výbojka znovu až po snížení tlaku rtuťových par (cca po 3 až 7 minutách).

Obvyklé závislosti světelného toku **Φ ,** příkonu P, měrného výkonu η, napětí na výboji U_v a proudu I vysokotlaké rtuťové výbojky na změnách napájecího napětí jsou nakresleny na obr.6-23.

Výhodou rtuťových vysokotlakých výbojek je relativně malý pokles světelného toku v průběhu života i odolnost proti větším změnám teploty a proti otřesům.



Obr. 6 – 23

Orientační hodnoty elektrických a světelně

technických parametrů standardních vysokotlakých rtuťových výbojek s luminoforem jsou shrnuty v tab.6-8.

Tab.6 – 8 Základní parametry vybraných typů vysokotlakých rtuťových výbojek

Jmenovitý příkon (W)	**Příkon včetně předřadníku** (W)	**Světelný tok** (*lm*)	**Měrný výkon** ($lm.W^{-1}$)	**Délka max.** (mm)	**Průměr baňky** (mm)	**Jmenovitý proud** (A)	**Kompen. kondenz.** (μF)
50	**59**	**1800**	**36**	**130**	**55**	**0,6**	**7**
80	**89**	**3800**	**48**	**156**	**70**	**0,8**	**8**
125	**137**	**6300**	**50**	**170**	**75**	**1,15**	**10**
250	**266**	**13000**	**52**	**226**	**90**	**2,15**	**18**
400	**425**	**22000**	**55**	**290**	**120**	**3,25**	**25**
700	**735**	**38500**	**52**	**330**	**140**	**5,4**	**40**
1000	**1045**	**58000**	**58**	**390**	**165**	**7,5**	**60**

Pozn. U vysokotlakých rtuťových výbojek ve standardním provedení (např. firma Osram typ HQL) je využito luminoforu na bázi yttriumvanadátu.
Výbojky o příkonu 125 W jsou opatřeny paticí E27, výbojky vyšších příkonů pak paticí E40.
Po zapálení dosahují výbojky plného světelného toku asi po 5 minutách provozu.
Náběhový proud výbojek je podle typu výbojky a předřadníku o 40 až 90 % vyšší než proud jmenovitý.

Pravděpodobnost poruchy je u výbojkového osvětlení menší než u instalací se zářivkami, neboť na jednu výbojku připadá poloviční počet kontaktů v napájecím obvodu. Výbojek RVL lze použít ve vnitřním i venkovním průmyslovém osvětlení, při osvětlování komunikací, sportovišť i při slavnostním osvěcování významných objektů. V průmyslových provozech je z bezpečnostních důvodů osvětlovací soustavu s vysokotlakými rtuťovými výbojkami většinou nutno doplnit náhradní soustavou se zářivkami či žárovkami. Výbojky RVL se nehodí pro osvětlování prostorů s vysokými nároky na barevné podání (např. obrazárny, muzea, společenské místnosti, byty apod.). Postupně jsou však výbojky RVL v různých aplikacích nahrazovány efektivnějšími výbojkami halogenidovými.

Opatří-li se rtuťová vysokotlaká výbojka baňkou ze speciálního černého (Woodova) skla propouštějícího pouze UV záření v oblasti vlnové délky 365 nm, získá se zdroj (typové označení RVU vyráběný o příkonu 125 W) pro fluorescenční analýzu a buzení fluoreskujících umělých látek užívaný ve vědě, průmyslu, v kriminalistice i v černém divadle.
Hořák rtuťové vysokotlaké výbojky opatřený vhodným krytem může sloužit jako zdroj UV záření např. pro horská slunce (dříve se užívalo označení RVK; obvykle se vyrábí o příkonech 125, 250 a 400 W). Nejčastěji se provozuje s odporovým předřadníkem (90 Ω u RVK 125W, 30 Ω u RVK 400W) provedeným ve tvaru kantalové šroubovice v křemenné trubici. Předřadník plní současně funkci infrazářiče s vhodnou spektrální charakteristikou. Doba života zdroje je 1000 h.

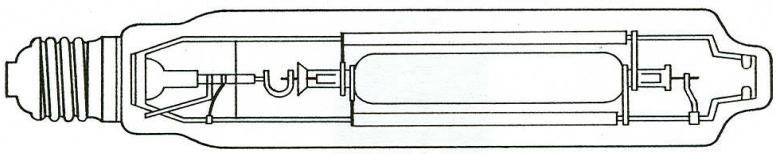
6.10 Halogenidové výbojky

Halogenidové výbojky (zkráceně dříve označované RVI) 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 podstatné zvětšení měrného výkonu 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.

Výbojky RVI 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 typu RVID, které v hořáku obsahují kromě obvyklých složek ještě disprosium. 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 elipsovitý tvar, nebo se provádí ve tvaru trubice (viz obr. 6-24). Pro speciální účely je možno výbojky provést v tzv. lineárním tvaru, kdy vnější křemenná trubice je na obou koncích opatřena zvláštní paticí. Aby se alespoň v některých případech umožnila náhrada vysokotlakých rtuťových výbojek RVL výbojkami halogenidovými, vyrábějí se též výbojky typu RVIL v eliptické baňce, jejichž vnitřní povrch je pokryt světlorozptylující vrstvou. Tím i po záměně výbojek zůstanou zachovány původní světelně technické vlastnosti svítidel.



Obr. 6 – 24
Náčrt konstrukčního uspořádání halogenidové výbojky s čirou válcovou baňkou

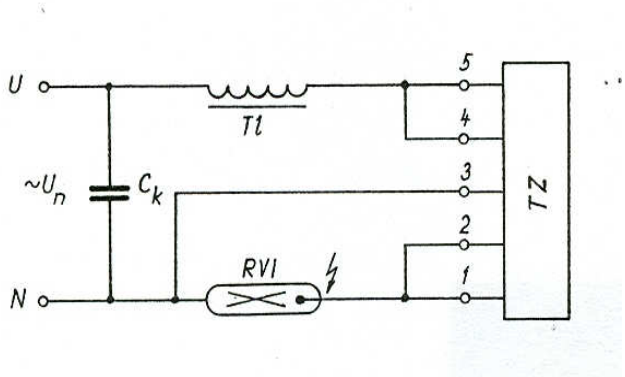
Orientační přehled o základních elektrických a světelně technických parametrech několika vybraných typů vysokotlakých halogenidových výbojek poskytují údaje v tab. 6-9.

Tab. 6-9 Základní parametry vybraných typů vysokotlakých halogenidových výbojek [1)]

Jmenovitý příkon (W)	Příkon včetně předřadníku (W)	Světelný tok [3)] (k*lm*)	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. Výbojky o příkonu 75 a 150 W jsou opatřeny paticí E27, výbojky vyšších příkonů paticí E40.
2) Náběhový proud je podle typu výbojky a předřadníku asi o 40 až 90 % vyšší než proud jmenovitý.
3) Po zapálení dosahují halogenidové výbojky plného světelného toku asi za 2 až 4 min. provozu.

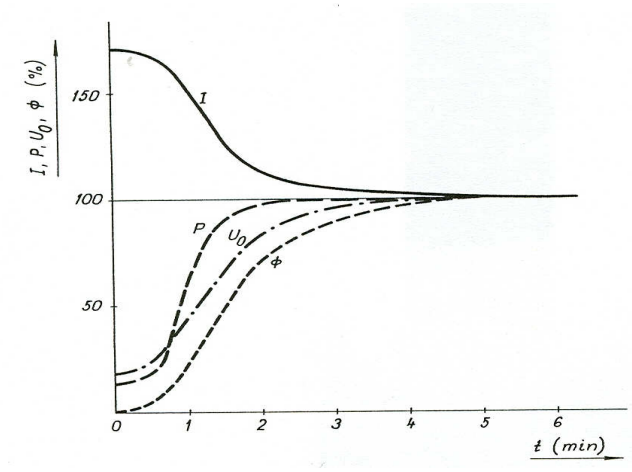
Halogenidové výbojky (RVI) se napájejí přes tlumivku a zapalovací zařízení. Obvyklé schéma zapojení je nakresleno na obr.6-25. Vysokonapětový vodič musí být vždy připojen na střední kontakt objímky.



Obr.6 - 25
Schéma napájení výbojky RVI 1000

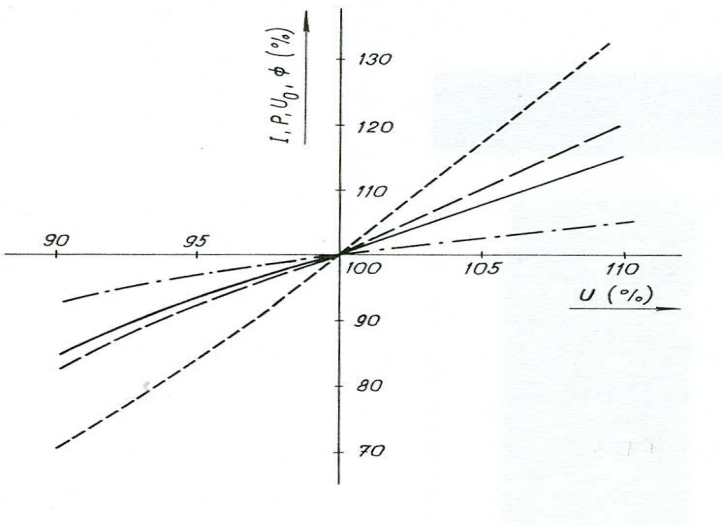
Tℓ - tlumivka, TZ - zapalovací zařízení (u RVI 1000 typ TZ12), C_k - kompenzační kondenzátor, U_n - jmenovité napětí sítě (u RVI 1000 U_n = 220 V).
Schéma zapojení výbojky RVI 2000 je shodné; liší se: napájecí napětí U_n = 380 V, typ tlumivky, typ zapalovacího zařízení (TZ 13).

Doba dosažení plného světelného toku po zapálení se u výbojek RVI pohybuje i do 12 minut po připojení. Příklady náběhových charakteristik příkonu P, proudu I a světelného toku ~ výbojek RVI jsou nakresleny na obr.6-26. Po zhasnutí výbojky je možné nové její zapálení až po dostatečném snížení tlaku rtuťových par v hořáku. Bývá to asi po 15 minutách chladnutí.



Obr.6 - 26

Náběhové charakteristiky výbojky typu RVI 2000



Se změnou napájecího napětí se mění nejen příkon P, proud I a světelný tok Φ (viz obr.6-27), ale též chromatičnost světla. Proto se pro halogenidové výbojky požaduje maximální kolísání napájecího napětí ± 5%.

Obr. 6 - 27

Závislost světelného toku Φ, příkonu P, proudu I a napětí na výbojce U_o na napájecím napětí U pro halogenidovou výbojku 2000 W

I přes vyšší pořizovací náklady a zatím relativně kratší život nalézají halogenidové výbojky široké uplatnění nejen ve veřejném a průmyslovém osvětlení, ale i při osvětlováni 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.

Halogenidové výbojky zaznamenaly v posledních letech bouřlivý rozvoj díky využití technologie keramických hořáků. To vedlo ke stabilizaci kvalitativních parametrů v průběhu doby života a k nárůstu měrného výkonu na 83 ℓm/W a doby života na 12000 hodin. Druhou významnou vývojovou tendencí je miniaturizace těchto zdrojů. V roce 2006 byly představeny halogenidové výbojky o příkonu 20 W (včetně předřadníku do 25 W) s měrným výkonem 80 ℓm/W, teplotou chromatičnosti 3000 K a dobou života 12.000 hodin s vnějšími rozměry blížícími se rozměrům halogenových žárovek. Zajímavé jsou pokusy s novými plynovými náplněmi, včetně dávkování sodíku do hořáku halogenidových výbojek, což vlastně předznamenává, že v budoucnu by vlastně mohl zmizet rozdíl mezi halogenidovými výbojkami a vysokotlakými sodíkovými výbojkami.

6.11 Nízkotlaké sodíkové výbojky

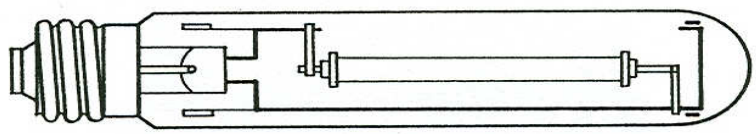
Podobně jako výboje v parách rtuti mohou být i výboje v parách sodíku zdroji viditelného záření. Charakteristickou vlastností nízkotlakých sodíkových výbojek je, že při parciálním tlaku sodíkových par asi 0,5 Pa a teplotě stěny výbojové trubice okolo 270 až 300 °C vyzařují prakticky monochromatické záření v pásmu dvou blízkých vlnových délek 589,0 a 589,6 nm (sodíková rezonanční dvojčára) ve žluté oblasti spektra. Jde o záření v blízkosti maxima spektrální citlivosti oka, což na jedné straně podmiňuje vysoký měrný výkon těchto výbojek dosahující až 200 ℓm.W^{-1}), ale na druhé straně to znamená, že v jejich světle nelze rozlišovat barvy (Ra = 0). Proto je použití nízkotlakých sodíkových výbojek omezeno na místa, kde není hustý provoz a pohyb lidí, např. výpadové silnice, dálnice, seřaďovací nádraží apod. a dále na místa, kde se jejich světla využívá jako barevného signálu. Ve žlutém světle se dobře rozeznávají podrobnosti, vytvářejí se větší kontrasty jasů, je vyloučena chromatická vada oka a proto jsou nízkotlaké výbojky vhodné i pro osvětlování v mlze (např. povrchové doly apod.).

Výbojová trubice nízkotlakých sodíkových výbojek má bud kruhový průřez a ohýbá se do tvaru U či W (vnější baňka má pak jednu patici) nebo má nekruhový průřez a pak se vnější baňka výbojky opatřuje dvěma zářivkovými paticemi (lineární provedení). Vnější baňka musí výbojovou trubici dobře tepelně izolovat, a proto se provádí buď dvojitá (Dewarova nádoba) nebo je sice jednoduchá, ale s vysokým vakuem.

Nízkotlaké sodíkové výbojky se u nás používají jen výjimečně. Obvykle se vyrábějí o příkonech 37, 55, 89, 129 a 180 W s měrnými výkony zdrojů 122, 147, 146 a 179 *lm*.W^{-1}. Firma Philips kromě toho vyrábí další řadu nízkotlakých sodíkových výbojek typu SOX-E o příkonech 17,5 , 27, 35, 65, 90 a 127 W s měrnými výkony 103, 137, 166, 165, 189 a 203 *lm*.W^{-1}. Příkony této řady výbojek SOX-E včetně předřadníku jsou 27,4 , 32,5 , 46,5 , 81,5 , 107,5 a 147 W, z čehož plynou měrné výkony výbojek s předřadníkem 99, 114, 125, 131, 158 a 176 *lm*.W^{-1}.

6.12 Vysokotlaké sodíkové výbojky

Zvýšením tlaku par sodíku (asi na 26,6 kPa) v hořáku sodíkové výbojky se dosahuje podstatného zlepšení chromatičnosti vyzařovaného světla (R_a = 20), ovšem i nižšího měrného výkonu (cca 120 ℓm.W^{-1}) než u nízkotlaké výbojky. S ohledem na velkou chemickou aktivitu sodíku a vysoké provozní teploty (800 ^{0}C) musí být hořák výbojky proveden z polykrystalického či monokrystalického kysličníku hlinitého (korundu). 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.6-28. Vnější baňka se provádí většinou čirá válcovitá a čerpá se na vysoké vakuum, které se v průběhu života udržuje baryovým getrem. Baňka muže mít i kapkovitý tvar s rozptylnou vrstvou nanesenou na vnitřní stěně, čímž se dociluje optických vlastností podobných vysokotlakým rtuťovým výbojkám.



Obr.6 - 28
Schematický náčrt obvyklého konstrukčního uspořádání vysokotlaké sodíkové výbojky s čirou válcovou baňkou

Vysokotlaké sodíkové výbojky s vnější eliptickou baňkou pokrytou rozptylnou vrstvou mají nižší jas svíticího povrchu a mohou být po výměně předřadníku a doplnění zapalovače použity v některých typech svítidel původně určených pro vysokotlaké rtuťové výbojky s luminoforem. Některé typy vysokotlakých sodíkových výbojek mohou být provozovány bez zapalovače. Některé z těchto typu se používají pro přímou náhradu za vysokotlaké rtuťové. výbojky beze změny předřadných přístrojů. Zapálení výboje v těchto případech umožňuje speciální náplň hořáku (tzv. Penningova směs) a pomocná elektroda navinutá kolem hořáku.

Velmi dlouhý život (dosahující i 20.000 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.6-10.

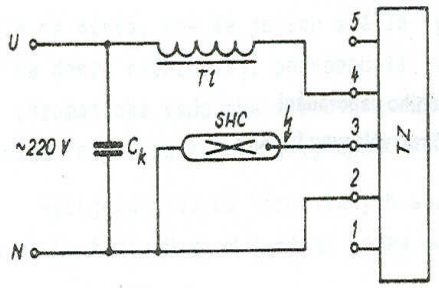
Tab. 6-10 **Základní parametry vybraných typů vysokotlakých sodíkových výbojek** [1)]

Jmenovitý příkon (W)	Příkon vč. předřad. (W)	Světelný tok [3)] (kℓm)	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 paticíE27, výbojky vyšších příkonu patící E40. Výbojka o příkonu 1000 W *je* typu NA V T 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 výbojky (podle typu výbojky a předřadníku) plného světelného toku asi za 6 až 10 minut provozu.

Vývojové tendence jsou u vysokotlakých sodíkových výbojek zaměřeny na zlepšení barevného podání ($R_a \approx 24$), např. dávkováním některých prvků do jejich hořáků. Zajímavé jsou i konstrukce sodíkových výbojek s více hořáky, zásadně prodlužujícími dobu jejich života, popřípadě typy sodíkových výbojek umožňujících přepínání teploty chromatičnosti vyzařovaného světla nebo jejich příkonu, což přispívá k rozšíření aplikačních oblastí těchto zdrojů. I zde se prosazují miniaturizační tendence a snaha v širší míře využívat vysokotlaké sodíkové výbojky i v interiérech.

Vysokotlaké sodíkové výbojky se napájejí přes tlumivku a zapalovací zařízení (viz obr.6-29). Pro zapálení výboje zajišťuje zapalovací zařízení napěťové impulzy až asi 3, resp. 4,5 kV. Kapacita vedení mezi výbojkou a zapalovačem nesmí ovšem překročit 100 pF.



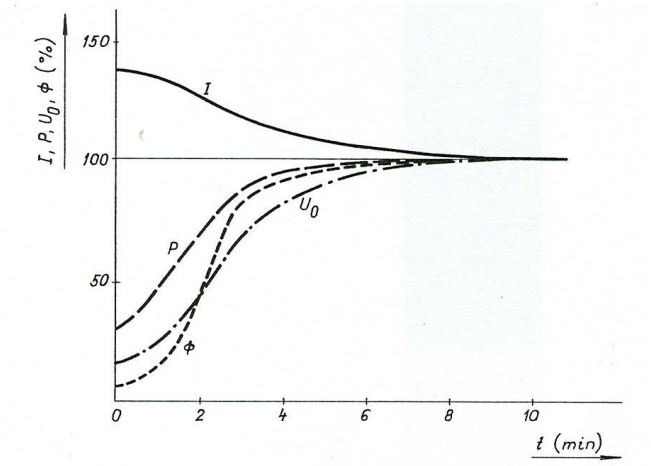
Obr.6 - 29
Schéma napájení vysokotlaké sodíkové výbojky

Tℓ- tlumivka, TZ - zapalovací zařízení
(u SHC 50 a SHC 70 typ TZ 10 s napěťovými impulzy 1,9 až 2,8 kV, u výbojek vyšších příkonů typ TZ 11 nebo TZ 12 s napěťovými impulzy 3 až 4,5 kV),
C_k - kompenzační kondenzátor (viz tab.6-10)

Zapalovací zařízení je řešeno tak, že po zapálení výboje přestane dodávat napěťové impulzy. Je-li však závada na výbojce, je zařízení po připojení napájecího napětí trvale v činnosti až do výměny výbojky, či odpojení svítidla, popřípadě až do poškození samotného zapalovače. Zapalovací zařízení je v normálním provozu zdrojem krátkodobého rušení. Provoz vysokotlakých sodíkových výbojek, včetně zapalovacího zařízení je možný při teplotě okolí od. -40 ^{0}C do +65 ^{0}C. Při krátkodobém přerušení elektrického proudu výbojka zhasne. Zapalovač začne pracovat a po celou dobu chladnutí výbojky (asi 1 minutu) dává vysokonapěťové impulzy.

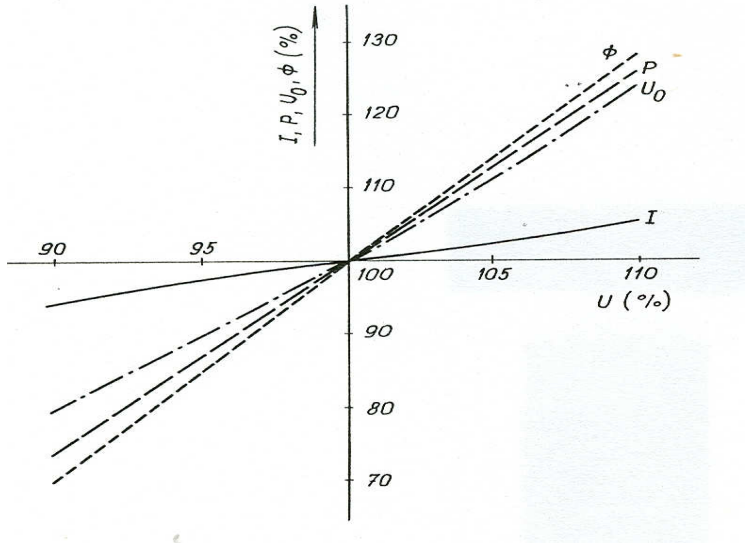
Při provozu výbojek je třeba dbát, aby nedošlo ke zvýšení jejich provozní teploty, neboť to vyvolá zvýšené napětí na výbojce a při překročení jeho určité hodnoty výbojka zhasíná. Po částečném ochladnutí výbojka znovu zapálí a tento cyklus se pak stále opakuje. Opakované zhasínání a rozsvěcení je doprovodným jevem objevujícím se též na konci života vysokotlaké sodíkové výbojky.

Po zapálení dosahují vysokotlaké sodíkové výbojky plného světelného toku asi po 8 až 10 minutách. Náběhové charakteristiky příkonu P, proudu I, napětí na výbojce U svě1elného toku Φ jsou zakresleny na obr.6-30.



Obr.6 - 30
Příklad náběhových charakteristik vysokotlakých sodíkových výbojek

Vliv kolísání napájecího napětí U na příkon P, světelný tok Φ , proud I a napětí na výbojce U_v u výbojek typu SHC je zřejmý z obr.6-31. Trvalý provoz při napětí zvýšeném o 5% výbojku značně přetěžuje. Na druhé straně provoz při napětí o 5% nižším než je napětí jmenovité znamená snížení světelného toku asi o 15%. Z toho vyplývá, že kolísání napájecího napětí by v běžném provozu nemělo překročit ±5%.



Obr. 6 - 31

Závislost světelného toku Φ, příkonu P, proudu I a napětí na výbojce U_o na napájecím napětí U pro výbojky typu SHC

6.13 Svítící trubice

Svítící trubice jsou nízkotlaké výbojky plněné vzácnými plyny (tlak plynné náplně bývá 0,4 až 2,4 kPa), jejichž trubice dosahují délky až 6 m při průměru 10 až 20 mm při pracovním napětí 500 až 700 V na 1 m délky. Chromatičnost vyzařovaného světla se upravuje jednak plynnou náplní a jednak luminoforem naneseným na vnitřní stěně trubice. V náplni trubic s luminoforem je obvykle i rtuť a jde pak o vysokonapěťové zářivky. Zápalné napětí trubic při nízkých teplotách vzrůstá a napájecí zdroje vn (obvykle rozptylové transformátory) musí mít proto dostatečnou rezervu napětí. Měrný výkon trubic bývá asi 60 $lm.W^{-1}$ (s kvalitou luminoforu stoupá) a doba života i 15000 h. Využívá se jich zejména pro dekorativní a reklamní účely.

6.14 Doutnavky

Doutnavky jsou nízkotlaké výbojky plněné vzácnými plyny (tlak 2 až 2,7 kPa) s malou vzdáleností studených elektrod (2 až 4 mm). Vyrábějí se pro zápalné napětí 110 a 190 V, a doba jejich života je asi 1000 h, a to při příkonu cca 0,2 až 5 W a proudu 0,6 až 3 mA a nepatrném světelném toku (asi 1 *lm*). Doutnavky se využívají k indikaci napětí, pro signální účely, jako zdroje pro stroboskopy apod.
K osvětlování se nehodí.

6.15 Xenonové výbojky

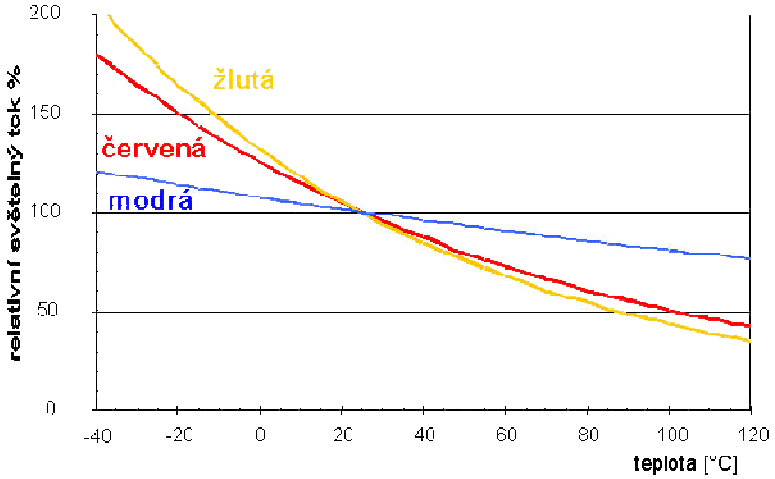
Typickým představitelem výbojek s vyšším tlakem (až několik desetin MPa) plněných vzácnými plyny je xenonová výbojka. Výhodou xenonové náplně je, že xenon má nejnižší ionizační potenciál ze všech vzácných plynů a spektrální složení záření výboje v xenonu je nejbližší slunečnímu světlu. Baňky xenonových výbojek mají bud kulový tvar (příkony asi od 200 W do 2 kW) nebo trubicový tvar (příkony od 1 do 100 kW) a vyrábějí se ze silnostěnného křemenného skla. Měrný výkon bývá od 20 do 50 $\ell m.W^{-1}$ při životě asi 2000 h. Jas výboje je vysoký. Např. výbojka 2 kW má jas 5.10^8 $cd.m^{-2}$. Chlazení se provádí vzduchové nebo vodní. Např. výbojka 65 kW, délky 2,4 m s průměrem trubice 50 mm je chlazená vzduchem. Xenonových výbojek se především užívá v kinoprojekční technice a v divadelní, televizní a filmové osvětlovací technice.

6.16 Světlo emitující diody

Jde o elektroluminiscenční diody známé pod označením **LED** (Light Emitting Diode), které jsou v současnosti považovány za nejperspektivnější světelný zdroj. Světlo emitující dioda je elektronický prvek, který generuje světelné záření při průchodu proudu polovodičovým přechodem v propustném směru. Při rekombinaci elektronu (spojení elektronu s iontem) se uvolňuje určité kvantum energie (přibližně rovné šířce zakázaného pásma), které se může vyzářit buď mimo krystal nebo může být absorbováno v mříži krystalu (což se projeví zvýšenou teplotou) a je odváděno přes pouzdro diody do okolního prostoru. Záření je vždy omezeno na velmi úzké spektrum (v podstatě je tedy monochromatické). Např. kombinací materiálu GaAs (galium arsenid) s fosforem vzniká GaAsP (galium arsenid fosforid). Vytvoří-li se z tohoto materiálu přechod PN, získá se LED, která je zdrojem červeného záření.

Teoretické maximum měrného výkonu světlo emitujících diod je 220 $lm.W^{-1}$; běžně se dosahuje 50 – 60 $lm.W^{-1}$ při $R_a > 90$ a teplotě chromatičnosti 4000 K. Předpokládá se, že nové technologie umožní do 10 až 15 let dosáhnout hodnoty 150 $lm.W^{-1}$ při době života 100.000 h.

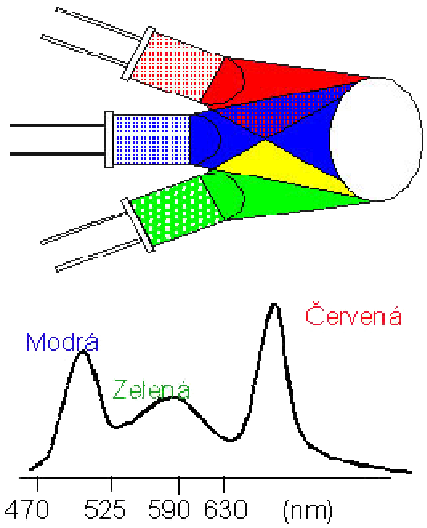
Důležitá je závislost světelného toku světlo emitujících diod na teplotě znázorněná na obr.6-32 změnou poměrného toku vztaženého k jeho hodnotě při cca 24 °C. Je zřejmé, že při rostoucí teplotě tok klesá a naopak. U modré LED je závislost toku na změně teploty menší než u červené a největší změny vykazuje žlutá dioda.



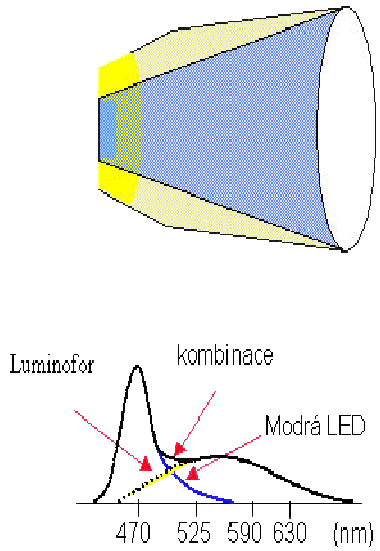
Obr. 6-32
Závislost poměrného světelného toku různých typů diod LED na teplotě

Světlo emitující diodu vyzařující bílé světlo lze získat dvěma způsoby :

1. aditivním míšením (obr. 6-33) tří základních barev (červené, zelené, modré) ; tak se tvoří body zobrazovacích panelů. Řízením jasu a podílu složek se ovlivňuje barevný tón.
2. použije se čip modré LED a ještě uvnitř pouzdra se opatří vrstvou aktivní hmoty (speciální luminofory označované jako typ RGB nebo OYGB), která na principu obdobném jako u luminoforu zářivek převede část modrého záření do oblastí jiných vlnových délek (zvl. žluté). Výsledkem míšení modré a žluté je téměř bílý barevný tón vyzařovaného světla.



Obr. 6-33
Vytvoření bílé LED smícháním červené, modré a zelené barvy



Obr. 6-34
Vytvoření bílé LED s využitím modré a luminoforu

Jednou z předností svítících diod je skutečnost, že vyzařovaný světelný tok je již usměrněn do určitého prostorovému úhlu (zpravidla s vrcholovým úhlem 120^0).

Vzhledem k tomu že jediná dioda LED má poměrně malý výkon, je třeba pro dosažení požadovaného výkonu diody sdružovat do celků. V důsledku toho nelze ve svítidle s diodami LED soustředit velký výkon zdrojů koncentrovaný do malého objemu. Na druhou stranu je však možno vytvářet svítidla s libovolně tvarovanými vyzařovacími plochami.

6.17 Indukční výbojky

Indukční výbojky patří do skupiny nízkotlakých výbojových zdrojů. Využívá se u nich principu elektromagnetické indukce k vysokofrekvenčnímu buzení výboje v bezelektrodovém prostoru baňky naplněné inertním plynem a parami kovů (např. amalgám india a vizmutu). Vnitřní povrch baňky je opatřen luminoforem (na bázi vzácných zemin), zajišťujícím transformaci vzniklého UV záření do viditelné oblasti spektra. Střídavý proud, protékající primárním vinutím budící cívky, indukuje střídavé magnetické pole uvnitř a vně feritového jádra cívky. Toto střídavé magnetické pole pak indukuje proud v „sekundárním vinutí“, které je v daném případě představováno parami rtuti uvnitř zmíněného bezelektrodového výbojového prostoru baňky. Indukovaný sekundární proud protéká parami kovu a rozkmitává volné elektrony. Ty se pak srážejí s atomy par kovů a vybuzují je. Při návratu vybuzeného atomu na jeho původní energetickou hladinu se emituje UV záření. To je po dopadu na vrstvu luminoforu transformováno na záření viditelné, vycházející z vnějšího povrchu baňky zdroje, obdobně jako u běžných zářivek. Indukční výbojky vykazují všechny přednosti, které poskytuje provoz při napájení proudem vysoké frekvence. Vlivem bezelektrodové konstrukce mají extrémně dlouhý život (až 60000 h) při velmi dobré stabilitě světelného toku během provozu, čímž se podstatně snižují náklady na údržbu osvětlovací soustavy. Důležitou výhodou indukčních výbojek je též teplotní stabilita jejich světelného toku, a to v širokém teplotním rozsahu. Součástí svítidel pro indukční výbojky, popřípadě samotných výbojek, musí být filtry pro potlačení zpětných nepříznivých vysokofrekvenčních vlivů na napájecí síť.

Indukční zdroje představují novou generaci světelných zdrojů. Na jejich vývoji se v laboratořích světových výrobců pracuje již po desetiletí. Prakticky využitelné typy těchto zdrojů se však postupně objevují teprve v posledních asi pěti letech. Např. firma General Electric vyrábí indukční výbojku „Genura“ o příkonu 23 W, délce 127 mm s průměrem baňky 82 mm. Výrobce uvádí dobu života 15000 h. Výbojka je opatřena reflektorem, má patici E27 a může tak v řadě případů přímo nahradit žárovku 100 W. Firma Philips vyrábí indukční výbojky „QL“ o příkonech 55 W a 85 W s měrnými výkony 65 a 70 ℓm.W^{-1} při indexu podání barev $R_a \geq 80$, době náběhu asi 0,5 s a době života až 60000 h. Baňky výbojek mají kapkovitý tvar. Tyto výbojky pracují při frekvenci 2,65 MHz. Firma Osram vyrábí indukční výbojku „Endura“ o příkonu 150 W se světelným tokem 12000 ℓm při pracovní frekvenci 250 kHz, měrném výkonu 80 ℓm.W^{-1}, $R_a = 80$, teplotě chromatičnosti vyzařovaného světla 4000 K a době života až 60.000 h. Výbojová trubice o průměru cca 55 mm je stočena do přibližně obdélníkového tvaru. Na kratších stranách tohoto obdélníku (o délce 140 mm) jsou nainstalovány budící cívky. Druhý vnější rozměr zdroje, včetně budících cívek, je 400 mm.

6.18 Kvantové generátory světla

Kvantový generátor světla (laser) je zdroj a zesilovač monochromatického velmi intenzivního a prostorově omezeného svazku světelných paprsků. Pracuje na principu stimulované (indukované) emise, při níž foton dopadlý na předem vybuzený atom aktivní látky si vynutí (aniž by sám byl pohlcen) přechod elektronu z energeticky vyšší hladiny na energeticky nižší hladinu a vyzáření dalšího fotonu se stejným kmitočtem a fází jako má původní foton. V aktivní látce musí být předem dosaženo většího obsazení energeticky vyšších hladin (tzv. inverze). Toho se dociluje tím, že aktivní látka absorbuje určitou energii (tzv. čerpání). Aktivní látka se umísťuje v rezonátoru, v němž je záření vzniklé stimulovanou emisí zesilováno. Známý je např. laser s krystalem rubínu (aktivovaný ionty chrómu), který je buzen xenonovou výbojkou napájenou z baterie kondenzátorů. Záření laseru lze čočkami a zrcadly soustředit na velmi malé plochy a tak získat účinné zdroje tepla, např. pro tavení, sváření, vrtání. Např. laser s energií 10 J s délkou impulzu 10^{-3} a s rubínem o průměru 6 mm dosahuje hustoty zářivého toku asi 350 MW.m^{-2} a při soustředění záření do svazku o průměru 20 μm dokonce 30 TW.m^{-2}; (pro porovnání: plošná hustota zářivého toku vyzařovaného sluncem je asi 61 MW.m^{-2}). Laserů se využívá i v lékařství (chirurgie oka či zhoubných nádorů, ve stomatologii, v diagnostice atd.) a v měřící technice (měření vzdáleností, rychlostí, optická interferometrie, laserová spetroskopie aj.).

6.19 Radioluminiscenční zdroje

Radioluminiscenční zdroje jsou založeny na využití radioaktivního záření k buzení vhodných luminoforů (např. ZnS aktivovaný Ag či Cu). K buzení se používají zářiče β, neboť částice B jsou lehčí a nezpůsobují tak rychlou dezaktivaci luminoforů jako částice α . Výhodnější jsou izotopy v plynné formě (např. tritium H3 a krypton Kr85 s poločasy rozpadu 12,3 roku a 10,6 roku), neboť se po náhodném rozbití zdroje rozptýlí. Izotop musí mít dlouhý poločas rozpadu, nesmí být chemicky aktivní ani jedovatý a jeho záření nesmí ničit luminofor a nesmí být nebezpečné pro obsluhu. Měrné výkony radioluminiscenčních zdrojů jsou zatím malé a rovněž jejich jasy jsou nízké, 6 až 7 $cd.m^{-2}$. Výhodou je jejich dlouhý život a nezávislost na napájecím zdroji. Proto se jich využívá jako signálních světel na nepřístupných místech, např. námořní či říční bóje, sklady vznětlivých, resp. výbušných materiálů, světelné nápisy apod.

7. SVÍTIDLA

Světelné zdroje většinou samy o sobě 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), která 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 musí odolávat dalším namáháním a nepříznivým vlivům prostředí. Při konstrukci svítidel je však nutno respektovat i estetické požadavky a požadavek maximální hospodárnosti.

Rozdělení světelného toku svítidla do prostoru charakterizuje fotometrická plocha svítivosti, popřípadě jasu. V praxi se však běžně udává pouze několik rovinných řezů plochou svítivosti, tj. čar svítivosti ve vhodně zvolených rovinách a několik hodnot jasu svítidla v určitých vybraných směrech.

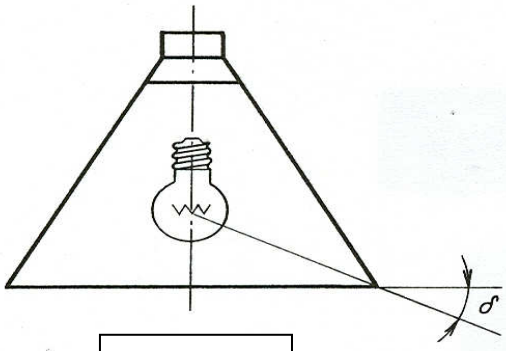
Kromě svítidel pro běžné osvětlovací účely se v praxi často využívá též světlometů. **Světlomety** jsou světelné přístroje, které vyzařují směrově soustředěný svazek světelných paprsků. Používá se jich převážně pro osvětlování z velkých vzdálenost. Ke světelným přístrojům patří také **návěstidla**, používaná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

Svým použitím i konstrukcí se ke svítidlům řadí také **ozařovače** pro oblast optického záření. Jde 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.

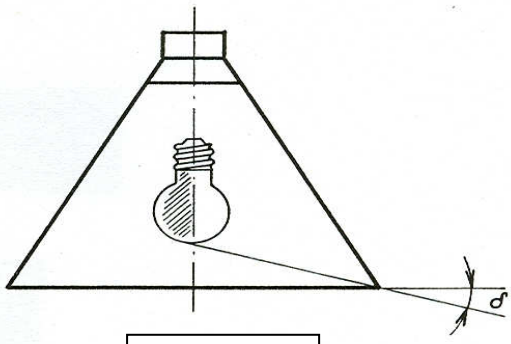
7.1 Světelně činné a konstrukční části svítidel

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.

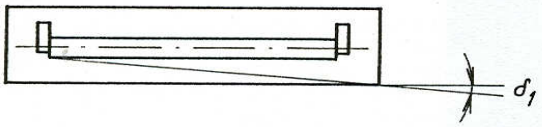
Podle charakteru potřebné úpravy prostorového rozdělení světelného toku se svítidla vybavují různými světelně činnými částmi, a to stínidly, reflektory, refraktory, čočkami, difuzory či filtry. **Stínidla** jsou clony z neprůsvitné nebo rozptylné látky, jejichž účelem je bránit přímému pohledu na světelný 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 (viz obr. 7-1), povrchem baňky žárovek s opálovou a matovanou baňkou a výbojek s baňkou opatřenou vrstvou luminoforu (viz obr. 7-2), s povrchem trubic zářivek, popřípadě obecně s okrajem plochy zdroje s vysokým jasem. U zářivkových svítidel se udává úhel clonění v podélném δ_1 a v příčném δ_2 směru (viz obr. 7-3a a 7-3b).



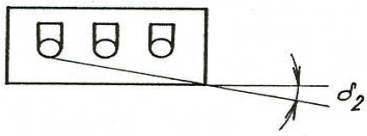
Obr. 7 – 1



Obr. 7 – 2



Obr. 7 – 3a



Obr. 7 – 3b

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 difuzoru) 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. Zahraniční výrobci aplikují u celé řady, zejména zářivkových svítidel, zrcadlové parabolické clony a zajišťují tak 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 (připevňující 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.).

7.2 Třídění svítidel

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 patrno z tab.7-1.

Tab. 7-1 Třídy svítidel podle rozložení toku

Třída rozložení světelného 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, i když přesnost čtení údajů je v pravoúhlých souřadnicích vyšší. S rozložením svítivosti zakresleným v pravoúhlém souřadnicovém systému se můžeme často setkat u světlometů. K vystižení tvaru čáry (křivky) svítivosti se využívá činitele K_F tvaru křivky svítivosti a úhlového pásma maximální svítivosti. Činitel K_F je určen poměrem maximální hodnoty I_{max} svítivosti ke střední hodnotě svítivosti $I_{stř}$

$$K_F = \frac{I_{max}}{I_{stř}} \qquad (- ; cd, cd) \qquad (7 - 1)$$

Střední hodnota svítivosti se pro danou křivku svítivosti nejčastěji stanovuje ze vztahu

$$I_{stř} = \frac{1}{9}\sum_{\gamma=5}^{85} I_\gamma \quad \text{nebo z výrazu} \quad I_{stř} = \frac{1}{9}\sum_{\gamma=175}^{95} I_\gamma \qquad (7 – 2)$$

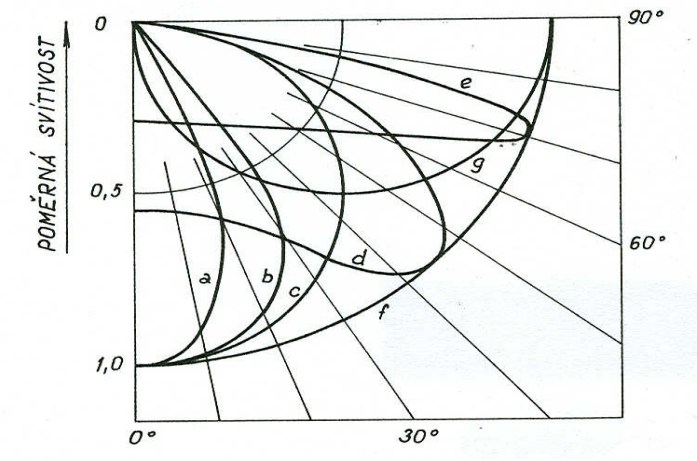
kde γ = 5, 15, 25, ... 75, 85° nebo γ = 95, 105, 115 , ... 165, 175°

Třídění svítidel podle tvaru čáry svítivosti, úhlového pásma maximální svítivosti a činitele K_F tvaru čáry svítivosti je zřejmé v tab.7-2. Typové čary svítivosti jsou nakresleny na obr. 7-4.

Tab.7 - 2 Rozdělení svítidel podle tvaru křivky svítivosti

Tvar křivky svítivosti (obr. 7-4)		Oblast úhlů max. svítivosti	Činitel K_F tvaru
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	0až 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 $I_{min} < 0,7 . I_{max}$
g	sinusová	70 až 90, 90 až 100	$1,3 < K_F$, přičemž $I_o < 0,7. I_{max}$

I_o je svítivost v optické ose svítidla; I_{min} min. svítivost; I_{max} max. svítivost



Obr. 7 - 4
Typové křivky svítivosti svítidel

Svítidla pro venkovní prostory musí mít ve vertikální rovině křivku svítivosti širokou, pološirokou, kosinusovou nebo sinusovou.

Kromě zajištění vhodného rozložení světelného toku svítidel zaměřeného k dosažení požadované hladiny osvětlenosti, je třeba svítidla také charakterizovat z hlediska zábrany oslnění. U svítidel určených pro osvětlování vnitřních prostorů se pro kontrolu oslnění nejčastěji udávají jasy těchto svítidel v různých směrech.

U venkovních svítidel se k zábraně oslnění přispívá tím, že se předepisují maximální hodnoty svítivosti, a to pro určité stupně oslnění a pro určité směry ve vybraných rovinách soustavy C - γ (viz tab.7-3).

Tab.7 - 3 Maximální hodnoty svítivosti pro různé stupně oslnění

Stupeň oslnění		**1**	**2**
I_{max} (cd.kℓm^{-1}) v rovinách C0 až C15; C165 až C185	pro 90°	10	50
	pro 80°	30	100

Pro uliční svítidla kromě toho norma ČSN 360603 Venkovní elektrická svítidla stanovuje hodnoty maximálních svítivostí uvedené v tab.7-4.

Tab.7 – 4 Maximální hodnoty svítivosti uličních svítidel

Úhel od svislice (°)	**75**	**80**	**85**	**90**
Maximální dovolená svítivost **(cd.kℓm^{-1})**	**200**	**80**	**25**	**20**

Podle ochrany před **nebezpečným dotykovým napětím** neživých částí se v souladu s normou ČSN 34 1010 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 zařízena 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 se řídí normou ČSN 33 0330 „Krytí elektrických zařízení“ a 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 (viz zejména normu ČSN 33 2310 „Předpisy pro elektrická zařízení v různých prostředích“).

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. Zv1áštní skupinu tvoří svítidla nevýbušná, konstruovaná tak, aby za určitých provozních podmínek nemohla vznítit výbušnou směs (viz ČSN 360607 Nevýbušná elektrická svítidla).

Podle upevnění se svítidla dělí na pevná a pohyblivá. Pevná svítidla jsou stropní, nástěnná, vestavná, závěsná a stojanová. Pohyblivá svítidla mohou být stojanová (nasaditelná), 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.

7.3 Světelná účinnost svítidel

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 předepisuje 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.

Příklady výpočtu účinnosti svítidla

a) Výpočet účinnosti souměrného svítidla se zrcadlovým reflektorem. U otevřeného svítidla vychází světelný tok Φ_z zdroje z části ze svítidla přímo do prostoru (Φ_p) a z části dopadá na povrch reflektoru (Φ_r). Od reflektoru s činitelem odrazu ρ se odrazí světelný tok $\rho \cdot \Phi_r$. Za předpokladu, že dochází jen k jednonásobnému odrazu každého paprsku, bude celkový světelný tok Φ_{sv} vycházející ze svítidla roven

$$\Phi_{sv} = \Phi_p + \rho \cdot \Phi_r \qquad (7 - 3)$$

a pro účinnost svítidla vychází vztah

$$\eta_{sv} = \frac{\Phi_{sv}}{\Phi_z} = \frac{\Phi_p + \rho.\Phi_r}{\Phi_z} \qquad (7 - 4)$$

Vyjádří-li se v rovnici (7-4) část toku Φ_r dopadlá na reflektor vztahem $\Phi_r = \xi . \Phi_z$, je pak tok Φ_p přímo vycházející ze svítidla roven $\Phi_p = (1 - \xi)\ \Phi_z$ a pro účinnost svítidla je možno z rovnice (7-4) odvodit vztah

$$\eta_{sv} = \frac{(1-\xi)\Phi_z + \rho\,\xi\,\Phi_z}{\Phi_z} = 1-\xi+\rho.\xi = 1-\xi\,(1-\rho) \qquad (7 - 5)$$

např. pro $\rho = 0,7$ a $\xi = 0,6$ je $\eta_{sv} = 0,82$.

V případě, že je sledované svítidlo uzavřeno propustným krytem s činitelem prostupu τ , je při zanedbání části světelného toku, která se odráží od krytu zpět na reflektor, tok vycházející ze svítidla určen vztahem

$$\Phi_{sv} = \tau\ (\Phi_p + \rho . \Phi_r) \qquad (7 - 6)$$

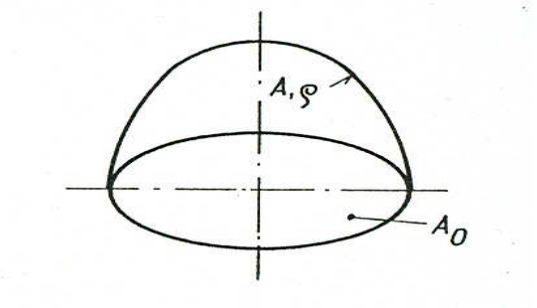
a účinnost lze stanovit z rovnice

$$\eta_{sv} = \tau\ [1 - \xi\,(1 - \rho)] \qquad (7 - 7)$$

např. tedy pro $\tau = 0,8$; $\rho = 0,7$; $\xi = 0,6$ je $\eta_{sv} = 0,66$.

b) Výpočet účinnosti souměrného otevřeného svítidla s difúzně odrážejícím vnitřním povrchem.

Svítidlo tedy představuje dutou plochu (plocha difuzoru A s konstantním činitelem odrazu ρ) s kruhovým otvorem A podle náčrtu na obr.7-5. Z toku Φ_z světelného zdroje vychází otvorem A_0 přímo ze svítidla část $\Phi_p = \Phi_z\,(1 - \xi)$ a na difuzor dopadá pak tok $\Phi_d = \xi . \Phi_z$.



Obr.7 - 5

Při prvém odrazu od difuzoru se z toku Φ_d odrazí tok $\Phi_\rho = \rho . \xi . \Phi_z$, z něhož část

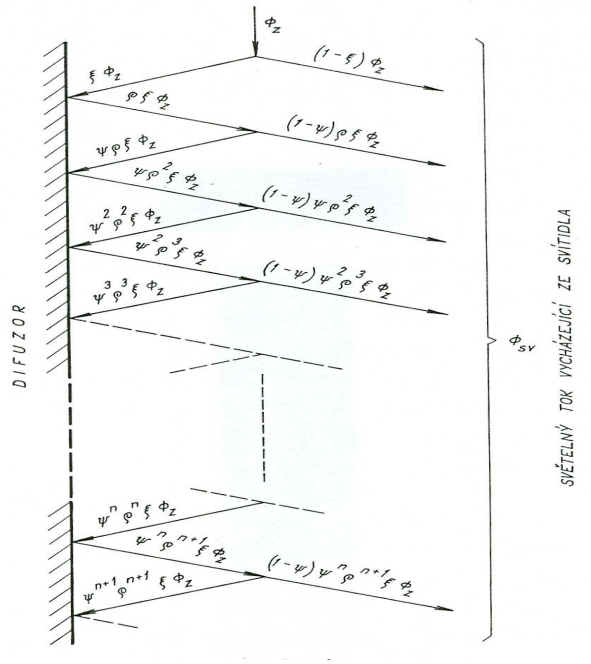
$$\Phi'_d = \psi . \Phi_\rho = \psi . \rho . \xi . \Phi_z$$

znovu dopadá na difuzor a část

$$\Phi''_d = (1 - \psi)\,\Phi_\rho = (1 - \psi)\,\rho . \xi . \Phi_z$$

vychází ze svítidla do prostoru.

Postup při dalších odrazech je analogický a objasňuje jej schematicky obr.7-6.



Obr. 7 – 6

Z obr.7-6 je zřejmé, že světelný tok Φ_{sv} vycházející ze svítidla se skládá z přímé složky

$$\Phi_p = (1 - \xi) . \Phi_z$$

a ze složek odražených, jejichž velikosti tvoří geometrickou řadu s kvocientem $\psi.\rho$ a jejíž součet se stanoví z rovnice

$$(1 - \psi)\,\rho . \xi . \Phi_z\ [1 + \psi\,\rho + \psi^2\,\rho^2 + \psi^3\,\rho^3 + \ldots\ ] = \frac{(1-\psi).\rho.\xi.\Phi_z}{1-\psi\rho} \qquad (7\text{-}8)$$

Celkový tok Φ_{sv} vycházející otvorem A_o z uvažovaného svítidla je tedy roven

$$\Phi_{sv} = (1-\xi)\ \Phi_z + \frac{(1-\psi).\rho.\xi}{1-\psi\rho}\ \Phi_z \qquad (7\text{-}9)$$

Hledaná účinnost η_{sv} se pak stanoví z výrazu

$$\eta_{sv} = \frac{\Phi_{sv}}{\Phi_z} = 1 - \xi + \frac{(1-\psi).\rho.\xi}{1-\psi\rho} \qquad (7\text{-}10)$$

Označí-li se písmenem L jas difúzně odrážejícího povrchu duté plochy A (difuzoru svítidla) po proběhnutí dostatečně velkého počtu odrazů, je světlení M této plochy $M = \pi \,.\, L$ a tok vycházející po zmíněných odrazech z plochy A je pak roven $M \,.\, A = \pi \,.\, L \,.\, A$.

Z tohoto toku dopadá na plochu A_o otvoru pouze část o velikosti $(1 - \psi)\, \pi \,.\, L \,.\, A$, která je ovšem v daném případě rovna toku vycházejícímu otvorem A_o při stejném jasu L , tj. toku o velikosti $\pi \,.\, L \,.\, A_o$. Platí tedy rovnice

$$(1 - \psi) \,.\, \pi \,.\, L \,.\, A = \pi \,.\, L \,.\, A_o \qquad (7 - 11)$$

z níž vyplývá, že

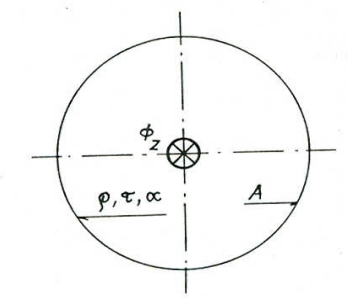
$$1 - \psi = \frac{A_o}{A} \qquad (7 - 12)$$

Vztah (7-10) pro účinnost η_{sv} otevřeného svítidla s difuzorem lze konečně dosazením rovnice (7-12) upravit do tvaru

$$\eta_{sv} = 1 - \xi + \frac{\rho \,.\, \xi \,.\, \dfrac{A_o}{A}}{1 - \left(1 - \dfrac{A_o}{A}\right) . \rho} \qquad (7 - 13)$$

např. pro ξ=0,6 ; $\dfrac{A_o}{A} = 1 - \psi = 0{,}3$; a pro ρ = 0,75 vychází účinnost svítidla $\boldsymbol{\eta_{sv}}$ **= 0,805**.

c) Výpočet účinnosti souměrného uzavřeného svítidla, jehož světelný zdroj je zakryt stínidlem (např. ve tvaru koule podle obr.7-7) z materiálu zajišťujícího rovnoměrně rozptylný prostup.



Obr. 7 - 7

Předpokládá se, že rovnoměrně rozptylný vnitřní povrch stínítka má činitel odrazu ρ , činitel prostupu τ a činitel pohlcení α . Tok Φ_z zdroje dopadající na vnitřní povrch stínítka se zčásti odrazí ($\rho \,.\, \Phi_z$), zčásti je pohlcen ($\alpha \,.\, \Phi_z$) a zčásti prochází do okolního prostoru ($\tau \,.\, \Phi_z$) . Odražená část toku $\rho \,.\, \Phi_z$ dopadá znovu na stínítko na jiném místě a opět se dělí na tři části

$$\rho \,.\, \Phi_z = \rho^2 \,.\, \Phi_z + \alpha \,.\, \rho \,.\, \Phi_z + \tau \,.\, \rho \,.\, \Phi_z \qquad (7 - 14)$$

Podobně by bylo možno děj vyšetřovat dále.

Po proběhnutí dostatečně velkého počtu odrazů lze pro světelný tok Φ_{sv} prošlý rozptylným stínítkem napsat vztah

$$\Phi_{sv} = \tau \,.\, \Phi_z \,.\, (1 + \rho + \rho^2 + \rho^3 + \ldots) = \frac{\tau}{1 - \rho}\, \Phi_z \qquad (7 - 15)$$

Účinnost takového svítidla se pak stanoví z výrazu

$$\eta_{sv} = \frac{\Phi_{sv}}{\Phi_z} = \frac{\tau}{1 - \rho} \qquad (7 - 16)$$

např. pro τ = 0,6 a ρ = 0,3 je η_{sv} = 85 %.

Ve skutečnosti jsou účinnosti svítidel ještě nižší než teoretické hodnoty získané pro svítidla s bodovým zdrojem světla výpočtem, neboť část světelného toku zdrojů pohltí jak světelně činné plochy, tak ještě i další vnitřní konstrukční části svítidel.