

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Porovnání současných světelných zdrojů

**vedoucí práce: Ing. Dalibor Švuger
autor: Lukáš Horký**

2012

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš HORKÝ**
Osobní číslo: **E09B0044P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**
Název tématu: **Porovnání současných světelných zdrojů**
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Provedte obecný přehled vývoje světelných zdrojů.
2. Provedte přehled moderních světelných zdrojů (halogenové, LED, apod.)
3. U současných světelných zdrojů zhodnoďte možnost jejich použití.
4. Provedte měření křivek svítivosti na zvolených třech vzorcích světelných zdrojů.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

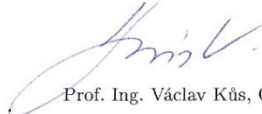
Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Dalibor Švuger**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: **17. října 2011**
Termín odevzdání bakalářské práce: **3. června 2012**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Anotace

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na porovnání současných světelných zdrojů.

Klíčová slova

Světelný zdroj, umělé osvětlení, žárovka, zářivka, výbojka, světelná dioda.

Abstract

This thesis is focused on comparison of light sources.

Key words

Light source, artificial lighting, bulb, fluorescent tube, discharge tube, LED.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 6.6.2012

Lukáš Horký

.....

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval všem, kteří mě podporovali v průběhu studia a ve vytváření této práce. Především svému konzultantovi bakalářské práce Ing. Janu Benešovi za předané znalosti, cenné rady, poskytnuté materiály a měřicí vzorky.

Dále bych chtěl poděkovat všem, kteří si najdou čas i náladu a tuto práci si přečtou.

Obsah

OBSAH.....	8
ÚVOD.....	10
SEZNAM SYMBOLŮ.....	11
1 PODSTATA SVĚTLA, ZRAKOVÝ SYSTÉM.....	12
1.1 PODSTATA SVĚTLA	12
1.2 VNÍMÁNÍ SVĚTLA	13
1.2.1 Zrakový systém.....	13
1.2.2 Zrakové mechanismy.....	14
1.3 PŘEHLED POJMŮ A VELIČIN	14
1.3.1 Svítivost	14
1.3.2 Osvětlenost.....	15
1.3.3 Světelný tok.....	15
1.3.4 Prostorový úhel.....	15
1.3.5 Světlení	16
1.3.6 Jas	16
1.3.7 Měrný světelný výkon	17
1.3.8 Teplota chromatičnosti.....	17
1.3.9 Index podání barev.....	17
1.3.10 Přehled soustavy fotometrických veličin.....	18
2 SVĚTELNÉ ZDROJE.....	18
2.1 VÝVOJ SVĚTELNÝCH ZDROJŮ	18
2.1.1 Historické světelné zdroje.....	18
2.2 OBJEV ELEKTRICKÉHO SVĚTELNÉHO ZDROJE	19
2.2.1 Oblouková lampa	19
2.2.2 Žárovka.....	20
3 DRUHY ELEKTRICKÝCH SVĚTELNÝCH ZDROJŮ.....	21
3.1 POŽADAVKY NA SVĚTELNÉ ZDROJE	22
3.1.1 Životnost světelného zdroje.....	22
3.1.2 Užitečný život.....	22
3.1.3 Fyzický život.....	22
3.1.4 Účinnost.....	22
3.1.5 Kompatibilita	23
3.1.6 Cena	23
3.2 TEPLOTNÍ SVĚTELNÉ ZDROJE.....	24
3.2.1 Obyčejné žárovky	24
3.2.2 Halogenové žárovky.....	26
3.3 VÝBOJOVÉ SVĚTELNÉ ZDROJE	28
3.3.1 Zářivky.....	29
3.3.2 Indukční výbojky	33
3.3.3 Vysokotlaké rtuťové výbojky, směsové výbojky	34
3.3.4 Halogenidové výbojky	37
3.3.5 Vysokotlaké sodíkové výbojky	40
3.3.6 Světelné diody.....	44
4 MĚŘENÍ KŘIVEK SVÍTIVOSTI	48
4.1 TEORETICKÝ ÚVOD.....	48
4.2 ÚKOL MĚŘENÍ	49

4.3	POSTUP MĚŘENÍ.....	49
4.4	ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ.....	49
4.4.1	Tabulkové zpracování.....	50
4.4.2	Grafické zpracování.....	51
4.5	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ.....	53
ZÁVĚR.....		54
POUŽITÁ LITERATURA		55
SEZNAM PŘÍLOH.....		56
PŘÍLOHY		1

Úvod

Předkládaná práce je zaměřena na porovnání světelných zdrojů v běžné praxi.

V současném moderním světě je umělé osvětlení každodenní, nedílnou součástí našeho života, protože největší část smyslového vnímání obstarává člověk právě viděním. Umělé světlo se stále více podílí na vytváření životního prostředí, proto se světelná technika zabývá vytvořením vhodných podmínek v prostorech pro práci i odpočinek. Vhodnou volbou osvětlení můžeme dosáhnout zvýšení produktivity, bezpečnosti práce a snížení únavy. Ve společenských prostorách se osvětlení zaměřuje na vytvoření zrakové pohody, kde zrak optimálně plní svoji funkci, pozorovatel se cítí psychicky dobře a prostředí na něj působí příjemně. Na dosažení správného zrakového výkonu a pohody se podílí mnoho kvantitativních a kvalitativních parametrů, které osvětlovací soustava musí zajistit a není vhodné některé zanedbávat.

Současný trend velí zvyšování nároků na osvětlovací soustavy. Vyžaduje se efektivní využití vynaložených prostředků, které lze zajistit použitím zdrojů s vysokým měrným výkonem a s dobrou účinností, ale také vhodným využitím přírodního zdroje světla. V energetických špičkách mohou osvětlovací soustavy zatěžovat rozvodnou síť až 30 % jejího celkového výkonu. Je jasné, že se snažíme tento podíl snížit, ale je dobré si uvědomit, že s navyšováním požadovaných parametrů osvětlovacích soustav rostou náklady na výrobu, instalaci a provoz, je tedy nutné volit vhodný kompromis.

Seznam symbolů

E	[lx]	Osvětlenost	Lux
We	[eV]	Energie	Elektronvolt
Ra		Index podání barev	Bezrozměrná veličina
f	[Hz]	Kmitočet	Hertz
η	[lm/W]	Měrný světelný výkon	Lumen na watt
Ω	[sr]	Prostorový úhel	Steradián
Φ	[lm]	Světelný tok	Lumen
I	[cd]	Svítivost	Kandela
Tc	[K]	Teplota chromatičnosti	Kelvin
λ	[m]	Vlnová délka	Metr
P	[W]	Příkon	Watt
A	[m ²]	Osvětlená plocha	Metr čtvereční

1 Podstata světla, zrakový systém

1.1 Podstata světla

Světlo je definováno jako elektromagnetické vlnění, které prostřednictvím zrakového orgánu vzbuzuje zrakový vjem. Záření lze definovat délkou vlny a její převrácenou hodnotou neboli frekvencí. Z tab. 1.1 Složky optického záření vyplývá, že pro lidské oko jsou viditelné vlnové délky v přibližném rozmezí 380 nm až 780 nm. Hranice viditelnosti lidským okem není ostrá a u každého jedince se může lišit v jednotkách nm. Na straně kratších vlnových délek sousedí s viditelným světlem ultrafialové záření a na straně delších infračervené záření.

Tab. 1.1. Složky optického záření

Druh záření	Označení	Vlnová délka λ [nm]	Kmitočet f [Hz]	Energie W_e [eV]
Ultrafialové	UV	100 - 380	$(30 - 7,89) \cdot 10^{14}$	12,4 - 3,2
Viditelné	Fialová	380 - 430	$(7,89 - 6,98) \cdot 10^{14}$	3,2 - 2,9
	Modrá	430 - 490	$(6,98 - 6,12) \cdot 10^{14}$	2,9 - 2,5
	Zelená	490 - 570	$(6,12 - 5,26) \cdot 10^{14}$	2,5 - 2,2
	Žlutá	570 - 600	$(5,26 - 5,0) \cdot 10^{14}$	2,2 - 2,0
	Oranžová	600 - 630	$(5,0 - 4,76) \cdot 10^{14}$	2,0 - 1,9
	Červená	630 - 780	$(4,76 - 3,84) \cdot 10^{14}$	1,9 - 1,6
Infračervené	IR	780 - 10000	$(3,84 - 0,3) \cdot 10^{14}$	1,6 - 0,12

Světlo vzniká na základě čtyř různých základních principů, které se liší z hlediska druhu dodávané energie a látky, ve které se tato energie mění na světelnou.

- Tepelné buzení vznikající při zahřátí pevné látky (inkandescence)

Na tomto principu světelných zdrojů pracují klasické žárovky a halogenové žárovky. Dodávanou energií je teplo, které vzniká průchodem proudu wolframovým vláknem.

- Vybuzení atomů v elektrickém výboji

Tento typ představují nízkotlaké a vysokotlaké výbojové zdroje, ke kterým patří třeba zářivky a rtuťové, sodíkové, halogenidové výbojky. Vznik světla je zde zapříčiněn nepružnými srážkami atomů, iontů a elektronů ve sloupci výboje elektrického pole.

- Luminiscence pevných látek

Tento typ vzniku světla je založen na principu přeměny vlnových délek záření z kratších na delší, např. ultrafialové záření na viditelné světlo o delší vlnové délce. Takto popsany jev vzniká v tzv. luminoforu. Tohoto jevu se využívá v zářivkách, kde se nanáší světlá vrstva

luminoforu na vnitřní povrch trubice, který transformuje ultrafialové záření na viditelnou oblast.

- Emise fotonu při průchodu elektrického proudu polovodičovým přechodem.

Tento princip se využívá u LED diod. [1,4]

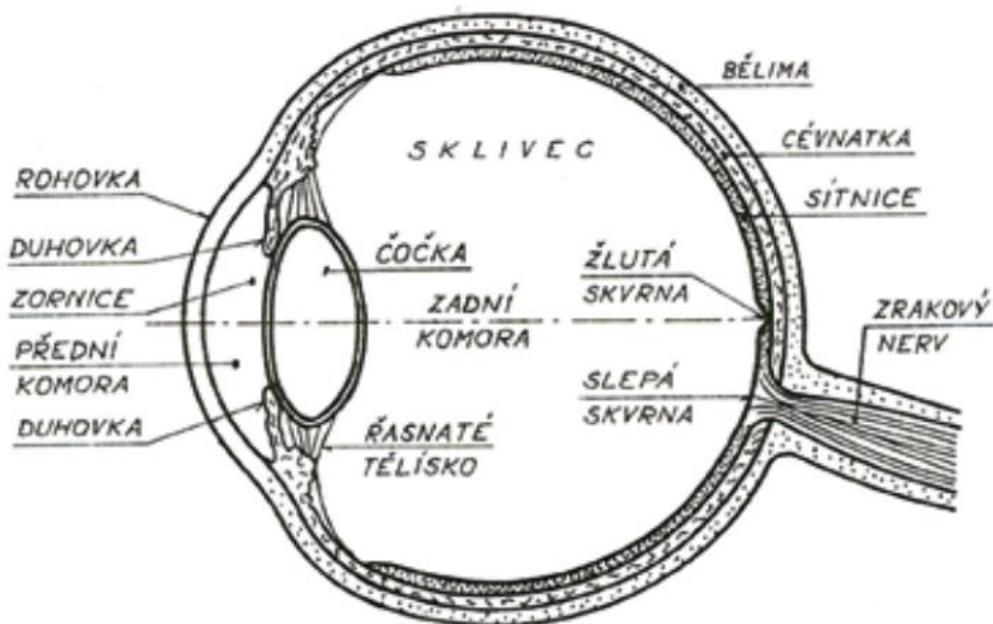
1.2 Vnímání světla

1.2.1 Zrakový systém

Zrakový orgán je definován jako soubor tkání, které se podílí na přeměně světelného podnětu v komplex nervových podráždění, které dále vytvářejí zrakový vjem. Skládá se z oka, optických nervových drah, podkorových zrakových center a části mozkové kůry.

Samostatné oko, podrobněji znázorněno na *obr. 1.1. Popis oka*, obsahuje optický aparát a sítnici neboli, přijímací systém, který slouží k vytvoření převráceného a souměrného obrazu. Sítnice je vytvořena ze souboru fotoreceptorů sestávajících se z převážné části z čípků a tyčinek, dále ze systému neuronů a nervových spojů, které obraz zpřesní a přemění do přenosové části nervových vláken. Nervová vlákna prostupují do zrakové části mozku, kde se nejen pasivně přijímají informace, ale i zpětnou vazbou řídí funkce celého optického aparátu, tak aby byl výsledný vjem co nejpřesnější.

Celý proces se nazývá viděním. Jde o příjem zrakové informace na základě rozlišení kontrastů, jasů, barev a tvarů. [1,3]



Obr. 1.1. Popis oka [1]

1.2.2 Zrakové mechanismy

Nejdůležitějšími zrakovými mechanismy jsou akomodace a adaptace.

Akomodace je schopnost oka zaostřovat na předměty v různých vzdálenostech. Tohoto jevu se dosahuje za pomoci zakřivení čočky tak, aby byl obraz v co největší ostrosti zobrazen na sítnici.

Adaptace je schopnost oka přizpůsobit se okolní osvětlenosti. Rozlišují se dva druhy adaptace, na tmou a na světlo. Přičemž adaptace na tmou trvá v řádech desítek minut a adaptace na světlo v řádu jednotek minut.

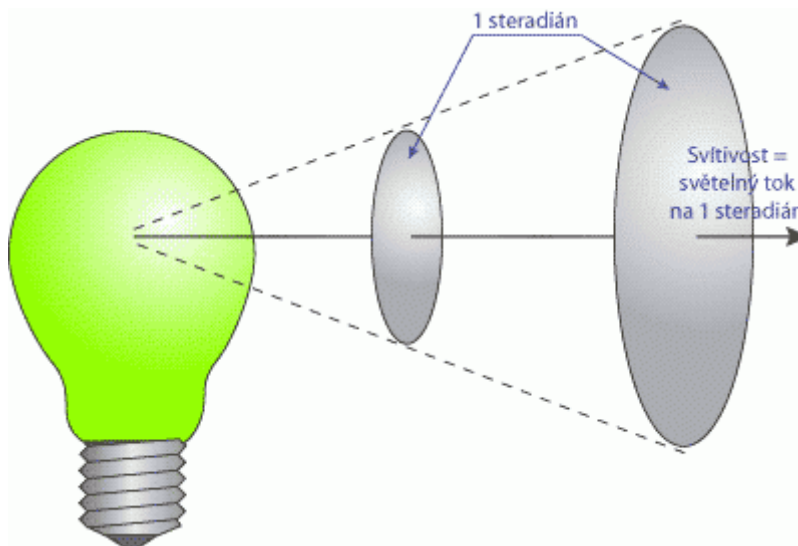
Barevné vidění je schopnost rozlišovat barvy mající barevný tón a usnadňuje identifikaci předmětů. Barevné vidění se vysvětluje tzv. třínožkovou teorií. V sítnici oka jsou tři různé typy fotoreceptorů, z nichž je každý citlivý na různé vlnové délky, postupně na vlnové délky červené, zelené a modré barvy. Všechny ostatní barvy vnímá mísením těchto tří základních barev v různých poměrech. [1,4]

1.3 Přehled pojmů a veličin

1.3.1 Svítivost

Svítivost udává, kolik světelného toku Φ vyzáří světelný zdroj do prostorového úhlu Ω v daném směru.

Svítivost je značena I a její jednotkou je kandela [cd]



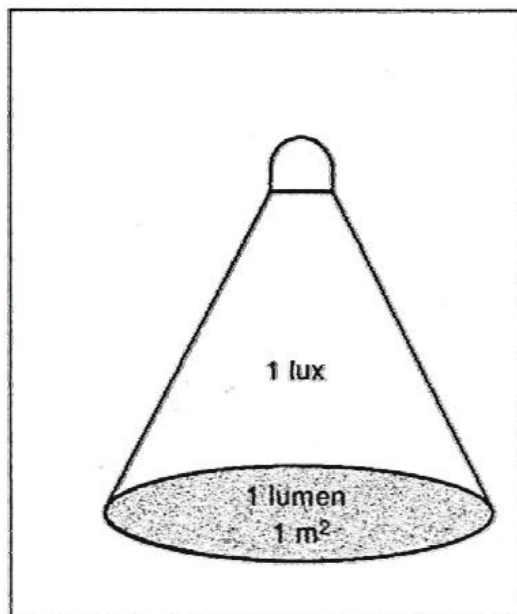
Obr. 1.2. Definice svítivosti [4]

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} [\text{cd}; \text{lm}, \text{sr}] \quad (1.3)$$

1.3.2 Osvětlenost

Osvětlenost udává, jakým množstvím světla je určitá plocha osvětlována, tj. kolik lm světelného toku Φ dopadá na plochu $A = 1 \text{ m}^2$.

Osvětlenost neboli intenzita osvětlení se značí E a její hodnota je v luxech [lx]



Obr. 1.3. Definice osvětlení [4]

$$E = \frac{\Phi}{A} [\text{lx}; \text{lm}, \text{m}^2] \quad (1.2)$$

1.3.3 Světelný tok

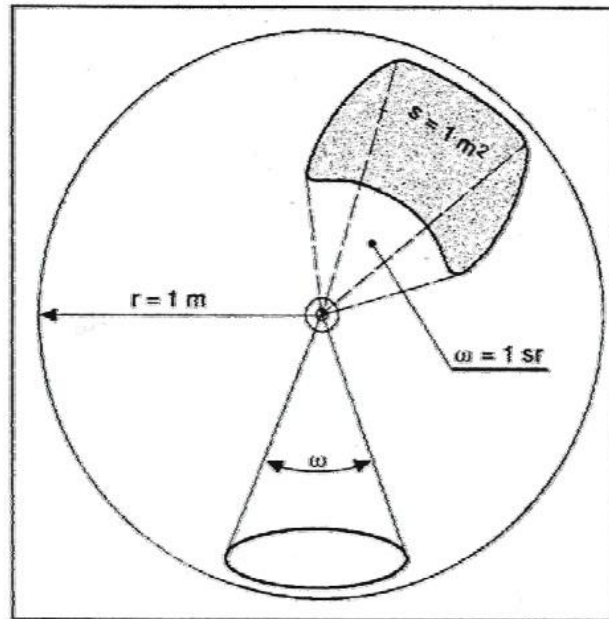
Světelný tok udává, kolik světla vyzáří do všech směrů světelný zdroj. Jedná se o světelný výkon posuzovaný hlediskem lidského oka.

Světelný tok se značí Φ a jeho hodnota je vyjadřována lumenech [lm]

1.3.4 Prostorový úhel

Prostorový úhel je úhel na povrchu koule. Je definován jako poměr kulové plochy A , kterou vyřezává úhel Ω v kulové ploše o poloměru r a druhé mocniny toho poloměru. Prostorový úhel má hodnotu 1 steradián tehdy, když z koule o poloměru $r = 1 \text{ m}$ vyřízneme plochu $A = 1 \text{ m}^2$.

Prostorový úhel se značí Ω a vyjadřuje se ve steradiánech [sr]



Obr. 1.4. Definice prostorového úhlu [4]

1.3.5 Světlení

Světlení stanovuje velikost světelného toku Φ vycházejícího z plochy A.

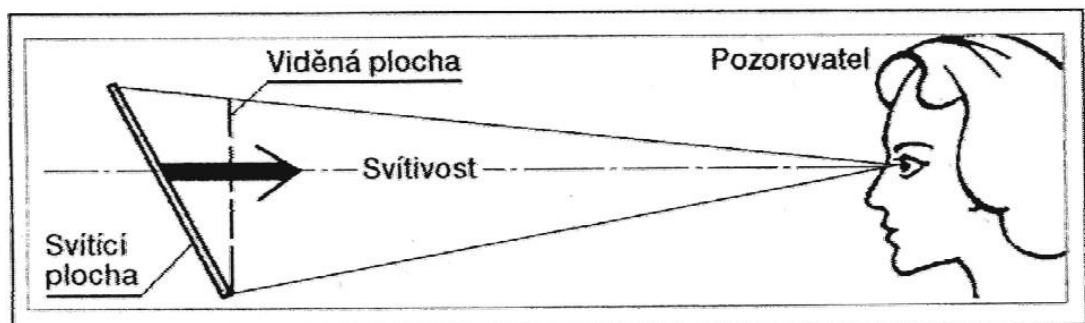
Světlení se značí H a vyjadřuje se v lumenech na metr čtvereční [$\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}$]

$$H = \frac{\Phi_v}{A_v} [\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}; \text{lm}, \text{m}^{-2}] \quad (1.5)$$

1.3.6 Jas

Jas je plošná a prostorová hodnota svítivosti I vázána na určitý směr

Značí se L a vyjadřuje se v kandelách na metr čtvereční [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$]



Obr. 1.5. Definice jasu [4]

$$L = \frac{I}{S_p} [\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}; \text{cd}, \text{m}^{-2}] \quad (1.4)$$

1.3.7 Měrný světelný výkon

Měrný světelný výkon udává, s jakou účinností zdroj světla přeměňuje elektrickou energii na světlo, tj. kolik lm světelného toku se získá z 1 W elektrického příkonu.

Měrný světelný výkon se značí η a je vyjadřován v lumen na watt [$\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$]

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

1.3.8 Teplota chromatičnosti

Teplota chromatičnosti zdroje je ekvivalentní teplota černého, neboli Planckova zářiče, při které je spektrální složení záření dvou zdrojů blízké. Při zvýšení teploty absolutně černého světla se zvýší podíl modré části spektra a sníží podíl červené části.

Teplota chromatičnosti se značí T_c v jednotkách kelvin [K]

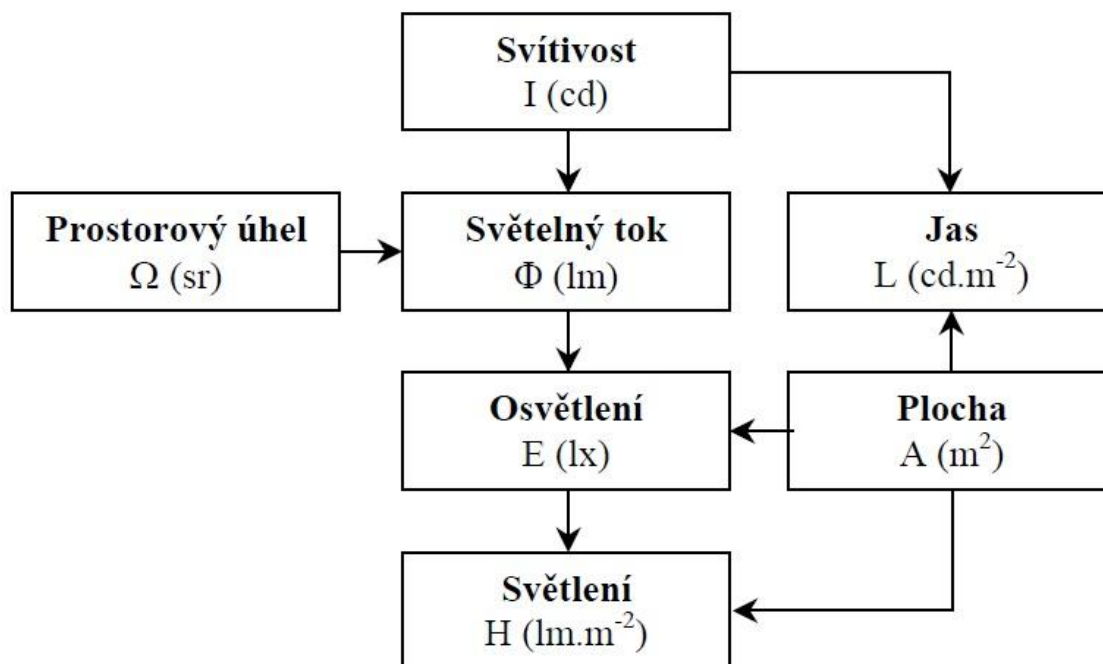
Žárovka, která produkuje teple bílé světlo, má teplotu chromatičnosti např. 2700 K. Žárovka produkující světlo podobné dennímu má teplotu chromatičnosti 6000 K. Žárovky a halogenové žárovky mají spektrum velice blízké černému zářiči, je tedy zřejmá přímá souvislost mezi spektrem a teplotou chromatičnosti. [3,4]

1.3.9 Index podání barev

Index podání barev R_a je bezrozměrná veličina, která popisuje, jak věrohodně světelný zdroj svým světelným tokem podává barvy známé u přirozeného světla nebo od světla žárovek, může nabývat hodnoty od 0 do 100. [4]

Další veličiny důležité pro světelné zdroje budou popsány v kapitole 3.

1.3.10 Přehled soustavy fotometrických veličin



Obr. 1.6. Soustava fotometrických veličin [1]

2 Světelné zdroje

Světelnými zdroji jsou nazývána zařízení, která vysílají optické, nejčastěji viditelné záření. Mohou být přírodní a umělé. Mezi přírodní patří slunce, blesk apod., mezi umělé patří svíčka, plynová lampa, žárovka, výbojka apod. Předmět vyzařující světlo, které vzniklo v něm samotném, je nazýván prvotní, neboli primární zdroj světla. Druhotným, neboli sekundárním zdrojem světla jsou označovány předměty, které alespoň část světla odrazí nebo propustí. Umělý světelný zdroj je zařízení, které přeměňuje nějaký druh energie na světlo. Světelné zdroje jsou základem pro vytvoření osvětlovacích soustav. Z umělých zdrojů mají největší význam zdroje, které využívají k napájení elektrickou energii, neboli elektrické světelné zdroje. [3]

2.1 Vývoj světelných zdrojů

2.1.1 Historické světelné zdroje

Prvním umělým světelným zdrojem, který se lidé naučili používat už asi 1 500 000 let př. n. l. byl oheň. Používal se velice dlouho, avšak ohniště nebylo vydatným a přenosným zdrojem světla. Tak lidé pomocí vhodných suchých klacků natřených pryskyřicí začali používat louče, které se nepatrně změnilo v pochodně a byly používány až do středověku.

Ještě před naším letopočtem se začaly používat svíčky. Je dobré uvést, že to co hoří i svítí, není knot svíčky, ale páry vznikající vypařováním materiálu, který je okolo knotu. Nejdříve se používal vosk, dnes je to směs stearinu a parafinu. Knot je nejčastěji bavlněný a slouží pouze jako kapilára. Daleko levnější a používanější byly olejové kahany, které v nezměněné podobě používaly několik tisíc let.

V roce 1855 se objevily první petrolejové lampy, díky použití posouvání knotu a skleněného cylindru. V zápětí byly olejové kahany zcela vytlačeny, protože petrolej byla mnohem vhodnějším svítidlem než olej. Přesto se svítilo třeba i benzinem, i když velmi zřídka. Výjimku tvoří např. tzv. Davyův důlní bezpečnostní kahan, kde je plamen benzínové lampy oddělen od okolního vzduchu hustou kovovou mřížkou, která ochladí spálené plyny tak, že nemohou již plyny v ovzduší zapálit.

I přes své výhody začala být petrolejová lampa nedostatečná. V dobách vynálezu automobilu bylo potřeba světelného zdroje, který by umožnil jízdu v noci. Tak vzniká světlo acetylenové. Hoří velmi jasným světlem a výroba je velmi jednoduchá. Stačí pouze polít karbid vápníku vodou, ale zároveň je směs velmi výbušná.

Ani acetylenové světlo nezůstalo hlavním svítidlem dlouhou dobu a už v roce 1792 nezávisle na sobě William Murdock a Philippe Lebon vynalezli osvětlování svítiplynem a plynovou svítidlnu. Plynové osvětlení mělo výhodu v tom, že jediný zdroj dokázal rozsvítit velké množství svítidel a žádné z nich nepotřebovalo knot. Neustále však bylo potřeba každé svítidlo zvlášť rozsvítit a zhasnout. Později plynové osvětlení ještě zdokonalil Carl Auer tzv. žárovou punčoškou. Punčoška obsahovala oxidy ceru a thoria. Nasadila se na plamen a ten ji svou teplotou rozžhavlil. Nesvítit již tedy přímo plamen, ale rozžhavená punčoška. [5]

2.2 Objev elektrického světelného zdroje

2.2.1 Oblouková lampa

Na počátcích elektrického světelného zdroje stálo mnoho vědců. Dříve zmiňovaný Humphry Davy při svých pokusech objevil, že při průchodu elektrického proudu platinovým drátkem se drátek začne žhavit a svítit. Později zjistil, že po přivedení elektrického proudu na dva od sebe nepatrně vzdálené kusy zuhelnatělého dřeva neboli uhlíkové elektrody vzniká elektrický oblouk, který rovněž svítí. Avšak oblouk se nedokázal dlouho udržet, protože se mu vzdálenost mezi opalujícími elektrodami zvětšovala.

Stálou vzdálenost elektrod jako první dokázal zajistit až francouzský fyzik Jean Bernard Léon Foucault. Elektrody umístil v jedné ose a jejich posuv zajišťovalo poměrně složité

zařízení. O něco později, ale za to mnohem elegantněji vyřešil stejný problém Pavel Nikolajevič Jabločkov. Elektrody umístil paralelně vedle sebe. Jejich stálou vzdálenost zajistil umístěním hořlavého izolantu mezi ně. Elektrody hořením ubývaly a předem nastavená vzdálenost byla neměnná i bez složitého mechanismu.

Pozdějšímu zdokonalování obloukovek se věnovalo mnoho vědců. Mezi nimi např. český elektrotechnik František Křižík, který zdokonalil typ obloukové lampy se solenoidem a roku 1881 za to dostal první cenu na výstavě v Paříži. Obloukové lampy měly stále jednu nevýhodu a to rychlé ubývání elektrod, které se sice podařilo modernější konstrukcí odstranit, ale už tu byl nový konkurent. [2,5]

2.2.2 Žárovka

Jako vynálezce žárovky bývá nejčastěji označován v encyklopediích Thomas Alva Edison. Je však jisté, že světelné zdroje na principu žhavení kovů elektrickým proudem existovaly již před Edisonem, on se zasloužil o jejich zlepšení a hlavně rozšíření jejich použití jako hlavního umělého zdroje světla.

Tak třeba německý hodinář Goebel sestrojil žárovku s uhlíkovým vláknem umístěným ve vzduchoprázdné skleněné baňce, kterou používal k reklamě na svém domku v New Yorku.

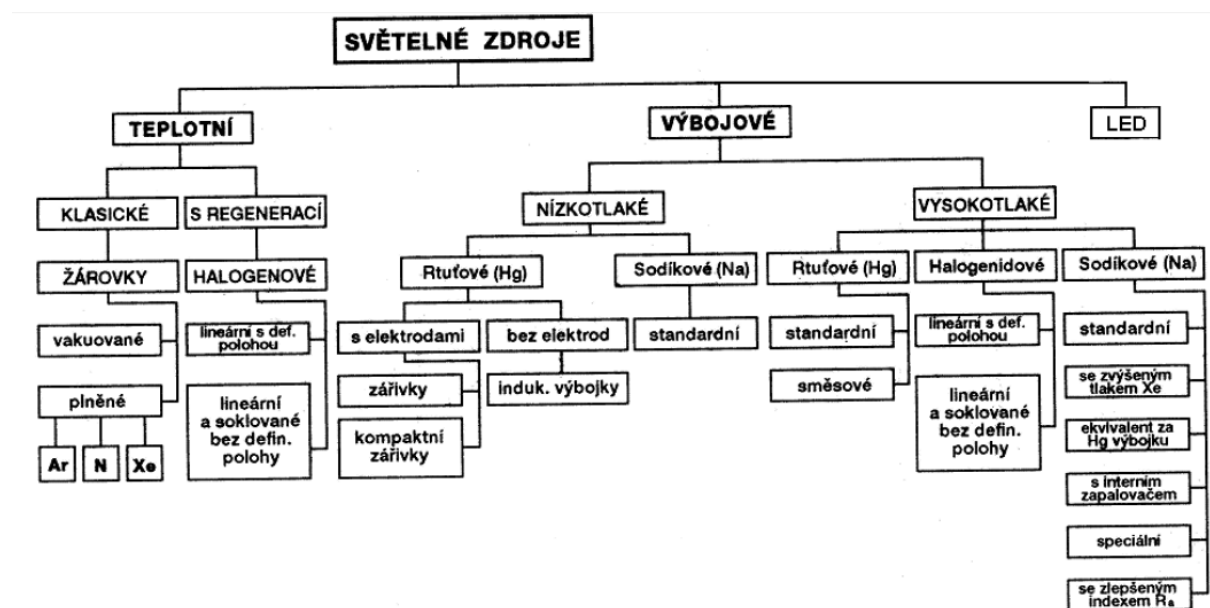
Edison i jako ostatní vědci měl hlavní problém v nalezení vhodného materiálu pro žhavicí vlákno žárovky. Edison nikdy nebyl velký vědecký pracovník a matematiku ke své práci používal velice málo, protože ji nenáviděl. Svých výsledků dosahoval velkým počtem pokusů, které byly v některých případech zcela náhodné. Stejně tomu tak bylo i při hledání vhodného materiálu pro vlákno. Po mnoha ne moc úspěšných pokusech padla volba i na bavlnu. Zuhelnatělé, křehké vlákno se zprvu nedařilo upevnit do skleněné baňky. Po několika pokusech se povedlo 21. října 1879 upevnit vlákno do baňky, vyčerpát vzduch a baňku zatavit. Po připojení elektrického proudu svítila žárovka 45 hodin v kuse. Edison zkoušel zuhelnatit téměř cokoliv, aby prodloužil životnost žárovky. Po bezmála šesti tisících pokusech se mu jako nejvhodnější ukázal bambus. Už v roce 1881 se na parníku Columbia rozsvítilo 350 žárovek. Tyto Edisonovy žárovky měly životnost až 300 hodin svícení a později se jejich životnost prodloužila až na 600 hodin.

Žárovky došly vývojem do dnešní doby k svítivosti asi 1000 hodin a k několikanásobně vyšší účinnosti. V dnešních žárovkách již není používáno uhlíkové vlákno, ale vlákno z wolframu o délce tři čtvrtě metru a průřezu menším než čtvrtina tloušťky lidského vlasu. I vakuum v baňce postupně nahradil dusík a dnes nejčastěji 88 % argonu a 12 % dusíku. Dalo by se říct, že z Edisonovy žárovky zůstal už jenom závit na patičce. Přes veškeré vylepšení

a nesporné výhody se dnes využití klasických žárovek snižuje kvůli velmi neekonomickému provozu. Celých 95 % dodávané energie se promění v teplo a pouhých 5 % se přemění na světlo. [2,3,5]

3 Druhy elektrických světelných zdrojů

Elektrické světelné zdroje se dělí podle vzniku světla na zdroje teplotní (např. žárovky) a výbojové, které se dále dělí na nízkotlaké (např. zářivky, nízkotlaké sodíkové výbojky) a vysokotlaké (např. vysokotlaké sodíkové či rtuťové výbojky). Podrobnější dělení je zřejmé z obr. 3.1. Členění používaných světelných zdrojů. V uvedeném třídění nejsou zahrnuty zdroje, které se nepoužívají pro všeobecné osvětlování (např. doutnavky, laserové diody). Světelné zdroje na bázi LED diody jsou zde také již zahrnuty. Lze přepokládat, že s rychlým nástupem polovodičových technologií se v blízké době se bude i struktura LED diod dále členit.



Obr. 3.1. Členění používaných světelných zdrojů [4]

Vznik světla v jednotlivých skupinách jsme si již popsali v kapitole 1.1 Podstata světla. V teplotních zdrojích je vznik světla podmíněn (inkadescencí) teplotním buzením látky. Výbojové světelné zdroje jsou založeny na principu vybuzení atomu v elektrickém vývoji. U řady výbojových zdrojů (např. u zářivek) se využívá luminiscence pevných látek a proto bývají označovány jako luminiscenční. Luminiscenční záření obsahuje jen některé vlnové délky, proto je spektrum záření tedy jen čárové. [3]

3.1 Požadavky na světelné zdroje

Požadavky na světelné zdroje udávají především přijímače záření. Nejčastěji se světelné zdroje používají jako umělé osvětlení. Mnohdy se využívají i v jiných oblastech, kde se vyžaduje nejen viditelné, ale i ultrafialové a infračervené záření. Jde např. o zemědělství, zdravotnictví, chemický, elektrotechnický průmysl apod., kde významně zvyšují produktivitu práce, výtěžnost a zlepšují životní prostředí.

Kvalita světelného zdroje je hodnocena podle ukazatelů, které charakterizují jeho všestranné vlastnosti. Jsou stanoveny na základě statistického vyhodnocení výsledků zkoušek a nazývají se jmenovité parametry. Skutečné parametry vykazují rozptyl, který je ovlivněn konstrukcí, technologií výroby a kvalitou materiálu.

Parametry světelných zdrojů lze rozdělit na technické a provozní. Nejdůležitějšími technickými parametry jsou konstrukce a technický život. Mezi nejdůležitější konstrukční parametry patří vnější připojovací rozměry, hmotnost, výška světelného středu, rozměry, tvar, optické vlastnosti, typ patice apod. [2,3]

3.1.1 Životnost světelného zdroje

Je dána dobou, po kterou světelný zdroj splňuje stanovené požadavky. Nejčastěji se vyjadřuje v hodinách. V průběhu používání světelného zdroje v něm probíhají různé procesy, které postupně ovlivňují jeho provozní parametry. V této souvislosti se používá pojem fyzický a užitečný život.

3.1.2 Užitečný život

Je doba funkce zdroje, při které se jeho parametry zachovávají v určitých stanovených mezích. Např. u zářivek je užitečný život dán dobou, při níž neklesne světelný tok zdroje pod 70 % počáteční hodnoty. [3]

3.1.3 Fyzický život

Je celková doba svícení, než světelný zdroj zcela ztratí svou provozuschopnost. Např. u žárovek to bývá přerušování vlákna a u výbojek ztráta schopnosti zapálit výboj. [3]

3.1.4 Účinnost

Nejdůležitějšími parametry světelných zdrojů jsou účinnost, měrný světelný výkon, popsán v kapitole 1.3.7 Měrný světelný výkon, a kompatibilita se zařízením, kde má být zdroj provozován. [3]

Tab. 3.1. Důležité parametry jednotlivých skupin světelných zdrojů v současné době [4]

zdroj	typ	příkon [W]	měrný výkon [lm/W]	index barevného podání [-]	doba života [hod.]
žárovka	klasická	15 - 200	6 - 16	100	1000 - 4000
žárovka - halogenová	na síťové napětí	60 - 2000	13 - 25	100	>2000
	na nízké napětí (12V)	5 - 75	11 - 19	90 - 100	3000 - 4000
zářivka	lineární 16mm	14 - 35	96 - 106	>80	8000 - 12000
	lineární 26mm	10 - 58	33 - 83	>80	8000 - 12000
	lineární 38mm	20 - 65	57 - 68	>80	8000 - 12000
	kompaktní	5 - 55	50 - 87	>80	6000 - 16000
výbojka	vysokotlaká rtuťová	50 - 1000	36 - 58	20	6000 - 12000
	halogenidová	35 - 2000	67 - 103	65 - 90	15000 - 25000
	vysokotlaká sodíková	35 - 1000	70 - 150	20	15000 - 18000
	nízkotlaká sodíková	17,5 - 180	100 - 203	0	18000
	indukční	55 - 85	65 - 80	80	60000
LED		0,04 - 0,15	20 - 150	>90	20000 - 100000

3.1.5 Kompatibilita

Kompatibilita světelných zdrojů je dána několika různými faktory:

Možnost konstruovat stejné světelné zdroje s různým příkonem

Rozložení světelného toku zdroje do prostoru

Přizpůsobení ke standardním zdrojům napájení

Univerzálnost, pro použití zdroje v různých oblastech světelné techniky

Hygiena, zdroj nesmí nepříznivě působit na organismus a ohrožovat bezpečnost [3]

3.1.6 Cena

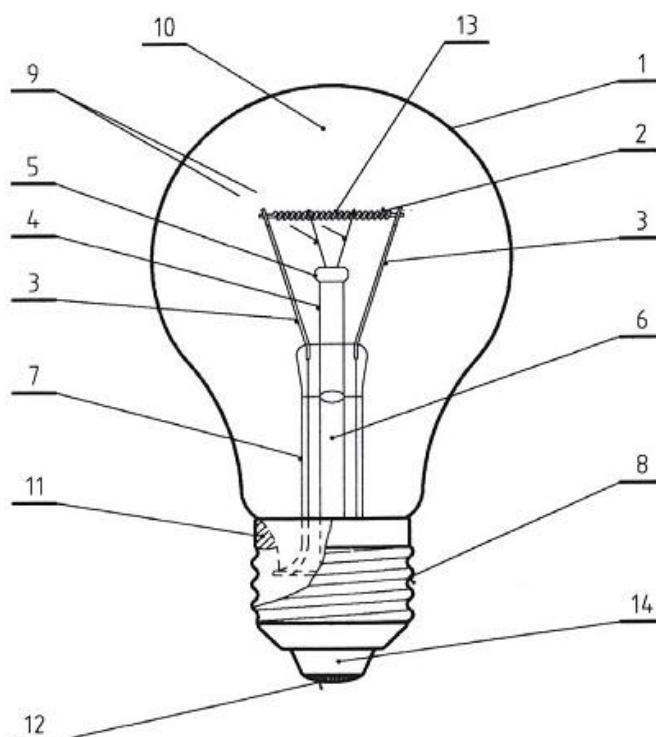
Je jeden z nejdůležitějších faktorů ovlivňující efektivnost osvětlovací soustavy. Musí však být posuzována komplexně spolu s dalšími parametry, jako jsou provozní náklady a investice do výstavby osvětlovací soustavy. Další část z ceny tvoří i náklady související s ekologickou likvidací, kde zejména u zdrojů obsahujících rtuť tvoří nemalou část ceny. [3]

3.2 Teplotní světelné zdroje

Funkce teplotních zdrojů spočívá v nahřívání těles. K teplotním zdrojům patří všechny druhy plamene jako např. oheň, svíčka, louč, petrolejové lampy, ale především žárovky. Zdrojem světla ve všech těchto případech je tuhé rozžhavené těleso. U plamenových zdrojů jsou to malé části uhlíku, které vznikají a rozžhavují se v důsledku chemických reakcí probíhajících v plameni. U moderních žárovek je to wolframové vlákno rozžhavené na vysokou teplotu, kterým prochází elektrický proud. [2,3]

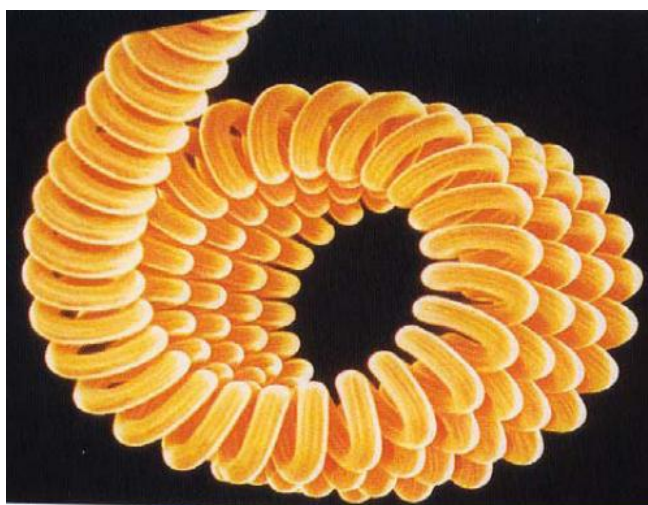
3.2.1 Obyčejné žárovky

Konstrukce žárovky je schematicky naznačena na *obr. 3.2. Konstrukce běžné žárovky*. Baňka se vyrábí ze sodno-vápenatého měkkého skla. Je vyrobena buď z čirého, zrcadlového, chemicky matovaného skla nebo je matovaná nanesením rozptýlné vrstvy v elektrostatickém poli, ve zvláštních případech může být i barevná. I ostatní skleněné prvky jsou určeny k fixaci vlákna v baňce a k vakuovému těsnění jsou z měkkého, převážně olovnatého skla. Přívody vytvářejí elektrický obvod se žhavicím vláknem a jsou většinou třídílné. Střední část zajišťuje vakuové těsnění a zároveň elektrická průchodnost sklem, musí mít stejnou teplotní roztažnost jako sklo talířků. Vnitřní prostor baňky je vyčerpán a zbytky plynů jsou pak pohlceny getrem naneseným na vlákne nebo na koncích přívodů. U žárovek plněných plynem je to buď argon, nebo krypton v obou případech doplněný dusíkem, který zabraňuje vzniku mezizávitového výboje. Přísně normalizovaná patice je zhotovena z mědi nebo z hliníku. K baňce se připevňuje tmelem, který se vytvrzuje při vyšší než provozní teplotě. Vlastní světelné vlákno, znázorněné na *obr. 3.4. Dvojitě navinuté rozžhavené vlákno žárovky*, je jednoduše nebo dvojitě svinuté wolframové vlákno podpírané molybdenovými háčky. Spojení přívodů s paticí je zajištěno běžnými Sn-Pn pájkami.



Obr. 3.2. Konstrukce běžné žárovky [3]

1 - baňka, 2 - wolframové vlákno, 3 - přívody, 4 - tyčinka, 5 - čočka, 6 - čerpací trubička, 7 - talířek, 8 - patice, 9 - háčky, 10 - plynná náplň, 11 - tmel, 12 - pájka, 13 - getr, 14 - izolace patice



Obr. 3.3. Dvojitě navinuté rozžhavené vlákno žárovky [4]

Žárovky jsou dodnes jeden z nejpoužívanějších zdrojů umělého osvětlení a stále se vyrábějí v miliardových množstvích ročně. I když je doba jejich největšího rozmachu za námi a vytlačují je modernější a účinnější světelné zdroje, zejména zářivky a kompaktní zářivky, budou ještě nějaký čas součástí našeho každodenního života. K nesporným výhodám žárovek patří:

Vhodný tvar, jednoduchá konstrukce, malé rozměry a hmotnost

Vysoce automatizovaná výroba a tím nízká cena

Okamžitý start bez blikání a stabilní svícení

Spojité spektrum vyzařovaného světla, stejný index podání barev jako denní světlo

Možnost napájení z elektrorozvodné sítě bez předřadných obvodů

Jednoduchý provoz a výměna vyhořelých žárovek

Zanedbatelný vliv okolní teploty na parametry žárovky

K dalším výhodám žárovek patří bezesporu skutečnost, že neobsahují žádné zdraví škodlivé látky, což usnadňuje i likvidaci vyhořelých žárovek. Na druhé straně však nelze opomenout ekologické problémy související se spotřebou elektrické energie, která je u žárovek využívána s velmi malou účinností.

V ostrém protikladu tedy stojí proti výše uvedeným výhodám především malý měrný světelný výkon žárovek, jejich relativně krátký život, velký pokles světelného toku v průběhu života a zvláště závislost na napájecím napětí. Účinnost přeměny elektrické energie na světelnou je u vakuových žárovek asi 7 % a žárovek plněných plynem asi 10 %. Vezmeme-li v potaz ještě citlivost lidského oka, jsou hodnoty ještě podstatně nižší a to 2 až 4 %. Zbývající energie 96 až 98 % se spotřebovává neefektivně. Světelný tok a měrný výkon příkonové řady žárovek 25 až 200 W při jmenovitém napájení sítě 230 V je uveden v *tab. 3.2. Světelné technické parametry obyčejných žárovek*.

Tab. 3.2. *Světelné technické parametry obyčejných žárovek [3]*

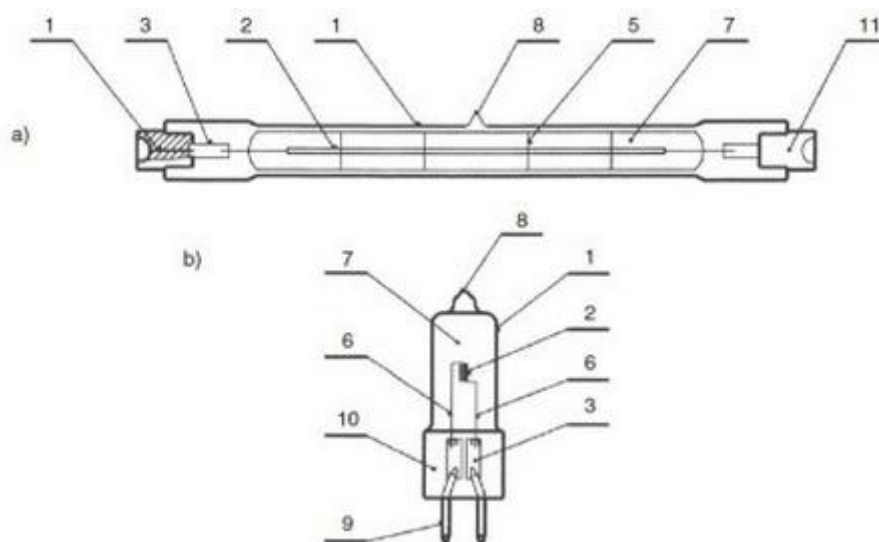
příkon žárovky [W]	25	40	60	75	100	150	200
světelný tok [lm]	230	430	730	960	1380	2220	3150
měrný výkon [lm/W]	9,2	10,75	12,2	12,8	13,8	14,8	15,75

Žárovky jsou konstruovány na jmenovité napětí 230 V, kterému odpovídá životnost 1000 h. Na trhu jsou i žárovky se jmenovitým životem 2500 h popř. 5000 h s příslušně menším měrným světelným výkonem. Žárovky o příkonu 25 W až 100 W mají shodný rozměr baňky 60 mm, celkovou délku 105 mm, patici E27 a wolframové vlákno ve tvaru dvojité svinuté šroubovice. [2,3,4]

3.2.2 Halogenové žárovky

Když se v polovině třicátých let zavedla výroba běžných žárovek s dvojitě vnutým vláknem a kryptonovou náplní, byly technické možnosti zdokonalování vyčerpány. V následujícím období se vývojové práce soustředily hlavně na nové typy baněk, příkonů, na zlepšení kvality materiálu, snížení zmetkovitosti a zvýšení produktivity výroby.

Až do 1959, kdy se objevily první zmínky o žárovkách, které měly v plynné náplni jód, přičemž cílem bylo zabránit usazování wolframu na vnitřní straně baňky, zvýšit tak stabilitu světelného toku a prodloužit užitečný život žárovky. Uplatnění halogenů ve světelných zdrojích si vyžádalo podstatné změny v konstrukci žárovek. Nejdříve bylo nutné odstranit veškeré materiály, které by mohly reagovat s halogeny. Dále bylo nezbytné použití teplotně a mechanicky odolnějších materiálů na výrobu baňky, aby byla zajištěna pracovní teplota nejméně 250 °C. Místo měkkého skla se na výrobu baňky začalo používat křemenné a tvrdé sklo, což díky své pevnosti a teplotní odolnosti dovolilo zvýšit tlak plynů v baňce a tím zmenšit i její rozměry a zpomalit vypařování wolframového vlákna. Halogenové žárovky si tímto velice rychle našli místo v osvětlovací praxi, jejichž konstrukční uspořádání je na obr. 3.4. Konstrukce halogenové žárovky.



Obr. 3.4. Konstrukce halogenové žárovky [3]

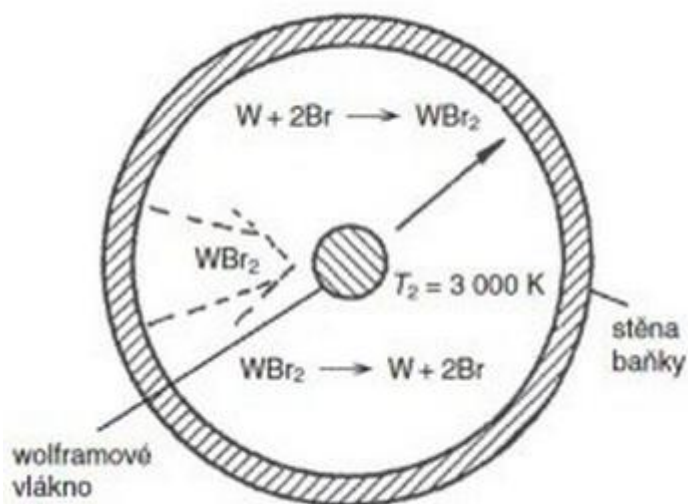
a – dvoustisková žárovka, b – jednostisková žárovka

1 – baňka, 2 – wolframové vlákno, 3 – molybdenová fólie, 4 – molybdenový přívod, 5 – podpěrka, 6 – konečky vlákna, 7 – plynná náplň, 8 – odpalek čerpací trubičky, 9 – kolík, 10 – stisk, 11 – keramická patice

Baňka žárovky je vyrobena z křemenného skla, ze skloviny typu vycor, anebo z tvrdého skla u žárovek s menšími příkony. Vlákno je jako u obyčejné žárovky jednoduše nebo dvojitě svinutá šroubovice wolframového drátu doplněná o speciální vlastnosti nezbytné pro potřeby halogenových žárovek. Vlákno je fixováno v ose žárovky wolframovými podpěrkami. Vakuový zátav je drátový nebo fóliový, který se používá z důvodu rozdílné roztažnosti molybdenu a křemene nebo vycoru. V místě stisku nesmí pracovní teplota přesahovat 350 °C, jinak by došlo k oxidaci molybdenu a následné prasknutí stisku. Plynnou náplň tvoří

nejčastěji krypton, méně často xenon a sloučenina halogenu. Patice je keramická nebo kolíková z niklu.

V obyčejných žárovkách je dominantní proces vypařování wolframového vlákna a usazování wolframu na stěnách baňky. Z obr. 3.5. Halogenový cyklus v průřezu žárovky vyplývá, že halogenových žárovek přibývá ještě proces působení termochemické transportní reakce wolframu s halogenem.



Obr. 3.5. Halogenový cyklus v průřezu žárovky [3]

Uvolněný wolfram cestuje směrem k baňce, kde se sloučí s inertním plynem a cestuje zpět k wolframovému vláknu. Vlivem vysoké teploty se opět inertní plyn a wolfram rozdělí, wolfram se naváže zpět na vlákno a inertní plyn pokračuje v procesu, tímto se omezuje vypařování vlákna. Uvedenou reakci lze popsat rovnicí



Uvedený proces má za následek čistou baňku bez wolframu na stěnách, delší život vlákna a tedy i celé žárovky. Aby reakce probíhala, musí teplota baňky dosahovat minimálně 250 °C. Ukončení funkce halogenové žárovky je obdobné jako u obyčejné žárovky. Vypařený wolfram se nakonec usazuje na nejchladnějším místě spirály a vlákno se opět přepálí na nejteplejším místě, ale za mnohem delší dobu. Celkový efekt toho cyklu zvyšuje světelný tok o 30 % a zdvojnásobuje život. [3,6]

3.3 Výbojové světelné zdroje

Funkce výbojový světelných zdrojů je založena na principu průchodu elektrické proudu prostředím obsahujícím vhodné plyny.

Výbojové zdroje lze dělit:

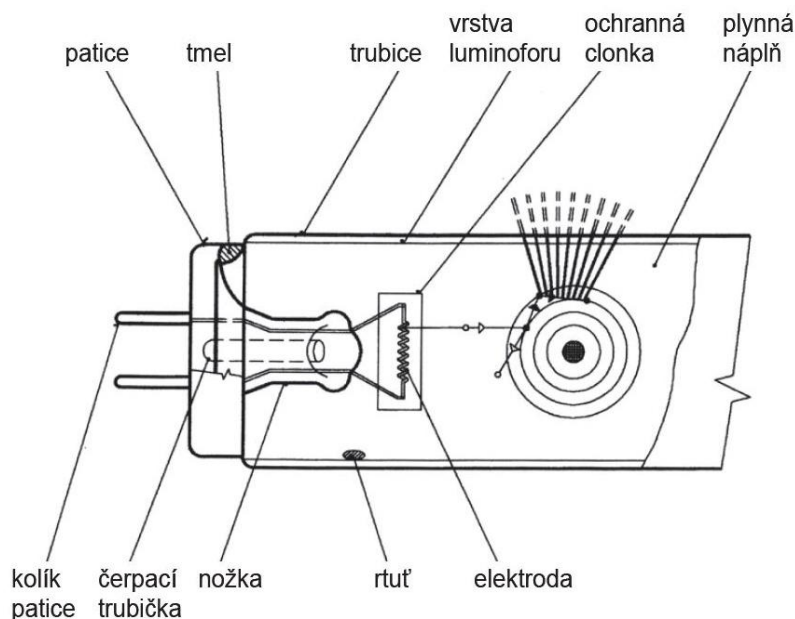
- Podle typu výboje – obloukový, doutnavý, bezelektrokový, impulsní
- Podle vzniku záření – výbojky plynové nebo s parami kovů, výbojky lumiscenční, výbojky s nažhavenými elektrodami
- Podle tlaku pracovní náplně – nízkotlaké a vysokotlaké, tlak pracovní náplně ovlivňuje konstrukci, technické a pracovní parametry, tedy i oblast použití a proto je dělení podle tlaku nejpoužívanější. [2,3]

3.3.1 Zářivky

Neboli také nízkotlaké rtuťové výbojky s tlakem rtuťových par 0,6 Pa, v nichž se ultrafialové záření výboje transformuje luminoforem na viditelné světlo. Výbojová trubice obsahuje kromě rtuti vzácné plyny jako argon a směs argonu s neonem s tlakem 400 Pa. Inertní plyn snižuje zápalné napětí, tím usnadňuje zapálení zářivky a omezuje rozprašování materiálu elektrod. Pokrok látek luminoforu v kombinaci s úspěchy v oblasti elektroniky umožňuje dosáhnout měrných výkonů převyšujících 100 lm/W při indexu podání barev $R_a = 80$. Kombinace takových hodnot byla u starší generace luminoforů při frekvenci 50 Hz nemyslitelná. Nové možnosti v materiálech a elektronických součástkách vedli k rozšíření sortimentu a ke vzniku nové kategorie tzv. kompaktních zářivek, které udělaly ze zářivek dnes nejpoužívanější světelné zdroje. [3]

3.3.1.1 Lineární zářivky

Konstrukční provedení je znázorněno na *obr. 3.6. Konstrukce lineární zářivky*. Trubice a ostatní skleněné prvky jsou vyrobeny z měkkého skla. Na vnitřní stěně trubice je nanášena vrstva luminoforu, která transformuje ultrafialové záření na viditelné. Na obou koncích zářivky je přitmelena dvoukolíková patice G13.



Obr. 3.6. Konstrukce lineární zářivky [3]

Velmi důležité pro správnou funkci je dávkování rtuti. Zářivka pracuje v režimu nasycených rtuťových par a potřebuje několik miligramů rtuti. Vzhledem ubývání v průběhu svícení (a tím snižování světelného toku) je dávkována v přebytku, ale díky toxicitě rtuti jsou výrobci nuceni používat minimální množství.

Pro správnou funkci zářivky je důležitý i tlak par uvnitř trubice, který velice ovlivňuje okolní teplota, díky teplotní rozpínavosti plynu. Zářivka je konstruována na pokojovou teplotu a při jiných teplotách ztrácí prudce svoji účinnost a při teplotě pod 5 °C a nad 55 °C klesá světelný tok pod 75 %.

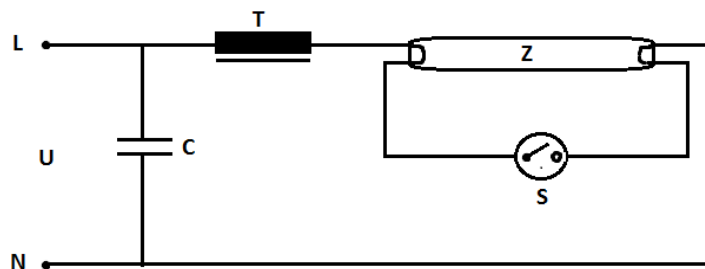
Dalším velice důležitým faktorem je kvalita luminoforu. Nové třípásmové luminofory umožňují zmenšování průměru zářivek a tím i zkvalitnění provozu zářivky jako rychlý start bez blikání, stabilní svícení bez míhání a menší ztráty v předřadníku.

Měrný výkon zářivek dosahuje 96 až 106 lm/W podle příkonu, při vynikajícím podání barev ($R_a = 85$). Kromě údaje o závislosti světelného toku na okolní teplotě je velice důležitá informace o vlivu počtu zapnutí na život zářivek. Podle mezinárodně předepsaných podmínek se uvádí život při 8 zapnutích za 24 hodin. Avšak při počtu zapnutí více jak 30 za 24 hodin se dostáváme na 50 % doby života zářivky. Je tedy jasné, že se nehodí k častému spínání a ke spínačům s pohybovým čidlem, které jsou dnes velmi oblíbené.

Zářivky potřebují ke svému provozu předřadné obvody, které se dělí podle pracovní frekvence na dvě základní skupiny:

- frekvence 100 Hz – indukční předřadník
- vysoká frekvence – obvykle vyšší než 30 kHz, jedná se o elektronický předřadník.

Základní schéma zářivky na síťovou frekvenci je zobrazeno na obr. 3.7. Nejrozšířenější schéma zapojení zářivky s tlumivkou a zapalovačem.



Obr. 3.7. Nejrozšířenější schéma zapojení zářivky s tlumivkou a zapalovačem [3]

Z – zářivka, S – zapalovač (startér), T – tlumivka, C – kompenzační kondenzátor, U – napájecí napětí

Sortiment výroby zářivek v současné době je velmi široký jak z hlediska příkonu, tak i barevných odstínů. V tab. 3.3. Základní sortiment lineárních zářivek lze nalézt ustálený výběr zářivek hlavních výrobců. [3,7]

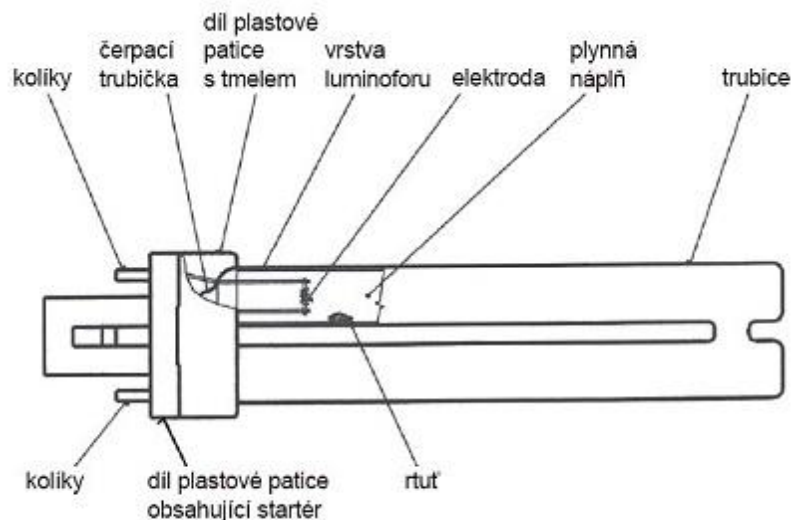
Tab. 3.3. Základní sortiment lineárních zářivek [7]

Průměr zářivky [mm]	Jmenovitý příkon [W]	Měrný výkon [lm/W]
7	6, 8, 11, 13	52 - 72
16	4, 6, 8, 13	30 - 73
	14, 21, 28, 35 (elektronický předřadník)	96 - 106
26	10, 15, 18, 30, 36, 58	33 - 83
38	20, 40, 65	57 - 68

3.3.1.2 Kompaktní zářivky

Z celého sortimentu světelných zdrojů těžko najdeme typ, který by se svým světelným tokem, geometrickými parametry a kvalitou podání barev blížil obyčejným žárovkám o výkonu 25 až 200 W a zároveň by měl podstatně větší účinnost. Tuto mezeru vyplnily kompaktní zářivky, které mají světelný tok 450 až 3200 lm při měrném výkonu 50 až 80 lm/W i podstatně delší život (až desetkrát větší než u žárovek).

Fyzikální princip činnosti je obdobný jako u lineárních zářivek. Konstrukční odlišnosti jsou zřejmé na příkladu čtyřnásobné zářivky, která je nejrozšířenějším typem této skupiny a je znázorněna na obr. 3.8. Konstrukce kompaktní zářivky se zabudovaným doutnavkovým startérem a patičí G24-d.



Obr. 3.8. Konstrukce kompaktní zářivky se zabudovaným doutnavkovým startérem a paticí G24-d [3]

Významným konstrukčním znakem je provedení s jednou paticí a malé obrysové rozměry, kterých je dosahováno složením výbojové dráhy dvou, čtyř, šesti i více paralelně umístěných a sériově propojených trubic.

Pro uživatele jsou zajímavé trubice s malými příkony do 23 W, ke kterým je možno přidat vnější baňky různých tvarů s rozptylovou vrstvou. Hlavním důvodem tohoto uspořádání je co nejvíce se přiblížit rozměry i rozložením křivky svítivosti k obyčejným matovaným žárovkám. Toto řešení se využívá u kompaktních zářivek s integrovaným elektronickým předřadníkem.

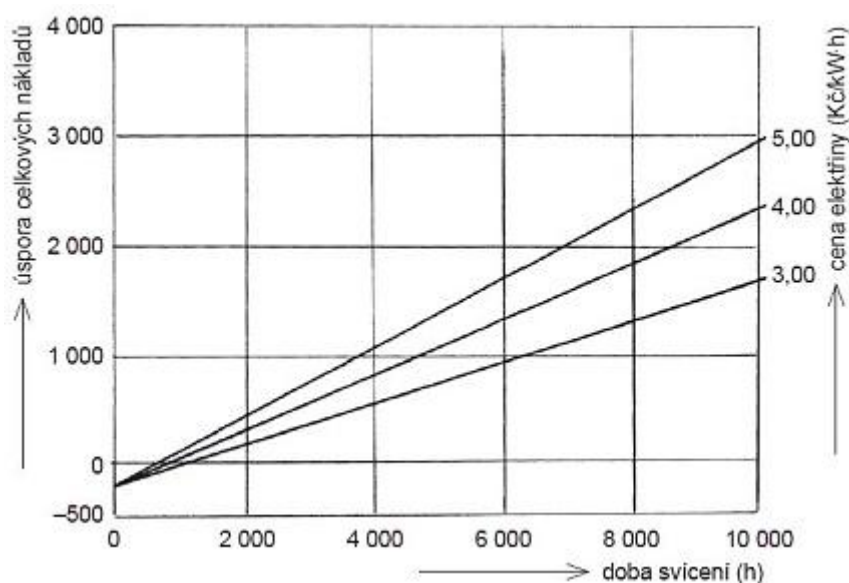
Kompaktní zářivky lze z hlediska pracovního obvodu rozdělit do dvou skupin:

- zářivky s vnějším předřadníkem – s tlumivkou nebo elektronickým předřadníkem pracujícím na vysoké frekvenci
- zářivky s elektronickým integrovaným předřadníkem – jsou určeny jako energeticky úspornější náhrada žárovky do žárovkových svítidel. Předřadný obvod je umístěn v plastovém krytu jako nedílná součást zdroje.

Hlavní přednosti kompaktních zářivek: Kvalita podání barev, světelný tok a geometrické parametry podobné obyčejné žárovce. Vysoká účinnost přeměny elektrické energie na světelnou až 87 lm/W, což v porovnání se žárovkami odpovídá úspoře 80 % elektrické energie. Velmi dobrý index podání barev, u speciálních typů až $R_a \approx 90$. Dlouhý život. Možnost stmívání.

Hlavní nedostatky jsou obdobné jako u lineárních zářivek: Závislost světelných parametrů na teplotě, vliv četnosti spínání na život a omezená horní hranice příkonu. [3,8]

Z obr. 3.9. *Ekonomická rozvaha* lze stanovit úspory celkových nákladů na osvětlení při náhradě žárovky v existujícím svítidle kompaktní zářivkou s odpovídajícím světelným tokem. Zde je zvolen typický příklad náhrady žárovky o příkonu 100 W kompaktní zářivkou 20 W s blízkým světelným tokem, při ceně žárovky 10 Kč (v průběhu života uvažované kompaktní zářivky se tedy spotřebuje osm běžných žárovek, tj. pořizovací náklady na žárovku činí 80 Kč), ceně kompaktní zářivky s integrovaným elektronickým předřadníkem 300 Kč (život žárovky 1 000 h, život zářivky 8 000 h). Pro výpočet byly tedy použity poměrně drahé zářivky, přičemž u předních výrobců uvádějících život až 16 000 h budou dosažené výsledky ještě lepší (v pořizovacích nákladech se v takovém případě objeví cena šestnácti žárovek). [8]

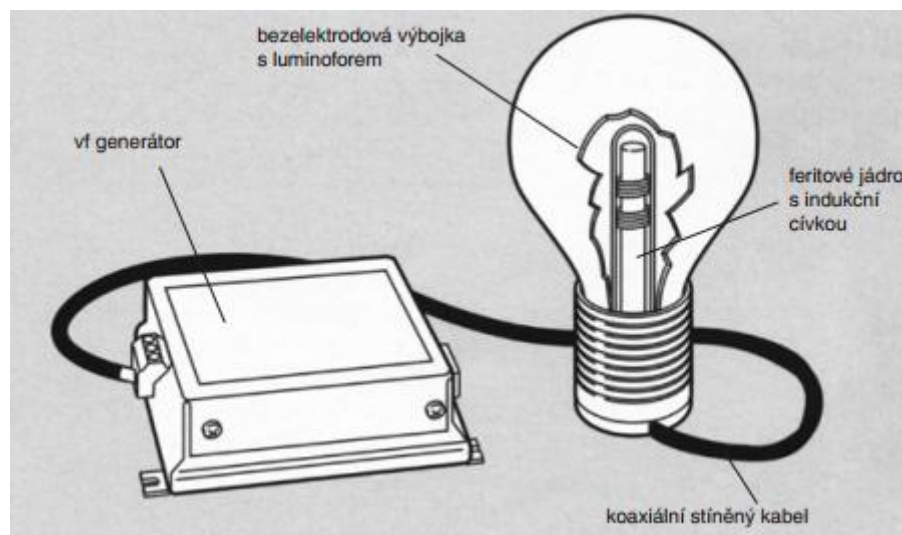


Obr. 3.9. *Ekonomická rozvaha* [8]

3.3.2 Indukční výbojky

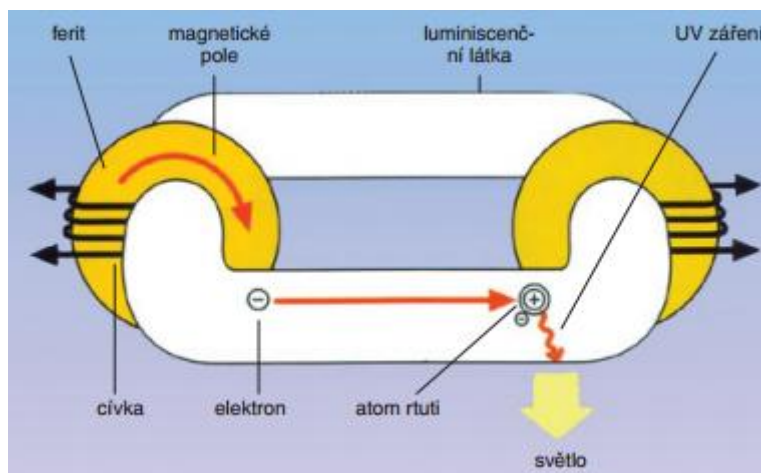
K nízkotlakým výbojovým zdrojům patří i světelný zdroj založený na principu indukce. Jde o poměrně nový světelný zdroj a lze považovat za zdroj příští generace. První indukční výbojku se podařilo uvést na trh teprve v roce 1993 firmou PHILIPS pod označením QL.

Konstrukční provedení je znázorněno na obr. 3.10. *Konstrukce indukční výbojky QL*. Do baňky je zatavena otevřená trubice, v níž je feritové jádro s indukční cívkou napájenou proudem o frekvenci 2,65 MHz. Baňka obsahuje pouze inertní plyn a páry rtuti. Na vnitřní straně trubice je nanášena vrstva luminoforu na bázi vzácných zemin.



Obr. 3.10. Konstrukce indukční výbojky QL [9]

Atomy rtuti, vybuzené polem cívky, emitují ultrafialové záření, které luminofor transformuje na viditelné světlo. Vlivem bezelektrodové konstrukce dosahují podle výrobce života až 60 000 hodin a to při velmi dobré stabilitě světelného toku. V současné době dosahují výbojky účinnosti asi 70 lm/W při $R_a > 80$. U novějších typů výbojek Endura (výbojka s vnější indukční cívkou na obr. 3.11. Konstrukce indukční výbojky Endura) se dosahuje měrného výkonu až 93 lm/W. [3,9]

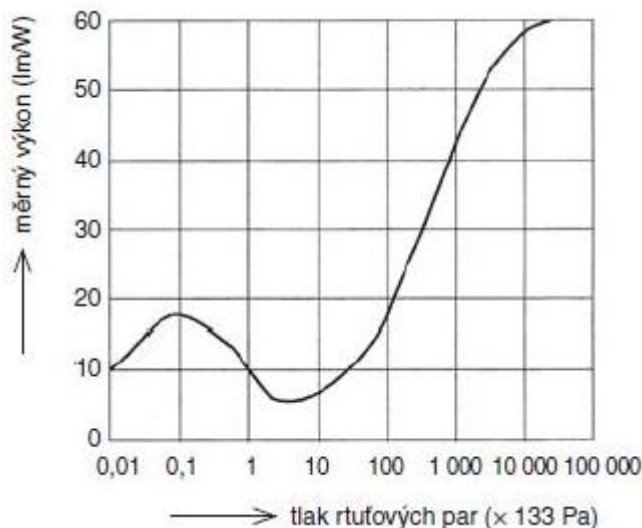


Obr 3.11. Konstrukce indukční výbojky Endura [9]

3.3.3 Vysokotlaké rtuťové výbojky, směsové výbojky

Obě tyto skupiny výbojek patří ke kategorii vysokotlakých výbojových zdrojů využívajících vlastností par v rtuti při zvýšeném tlaku. V předchozích odstavcích jsme byli seznámeni s nízkotlakými rtuťovými výbojkami, u kterých největší část energie je přeměněna na záření v ultrafialové oblasti, které je pomocí luminoforu transformováno na viditelné záření. U vysokotlakých výbojek je vznik viditelného světelného záření odlišný. Při zvyšování tlaku par rtuti a zvyšování proudové hustoty se zároveň zvětšuje i vlnová délka

vyzařované energie a vzniká spojité spektrum. Viz obr 3.12. Závislost měrného výkonu na tlaku rtuťových par.



Obr. 3.12. Závislost měrného výkonu na tlaku rtuťových par [3]

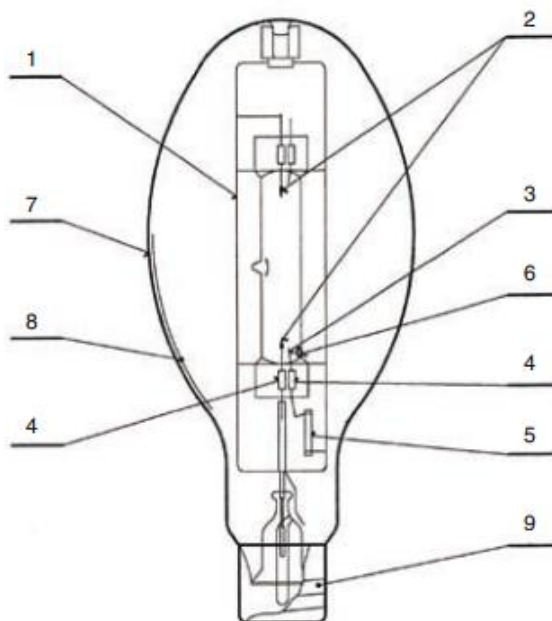
Hlavní podíl záření připadá na ultrafialové a modro-zelené spektrum. I při poměrně velkém měrném výkonu až 60 lm/W není takový zdroj vhodný pro všeobecné osvětlování, protože v jeho světelném spektru zcela chybí červená složka. Podání barev je tedy zcela nevyhovující.

Proto se dále hledaly způsoby jak tento nedostatek odstranit. Lze využít tyto možnosti:

- Transformace ultrafialové oblasti záření pomocí luminoforu do chybějící červené oblasti.
- Kombinace modro-zeleného záření vysokotlaké sodíkové výbojky se světlem žárovek.
- Přidáním dalších vhodných prvků do rtuťového výboje, který vyplňuje mezery mezi viditelnými čarami rtuti.
- Náhrada rtuti jiným prvkem, který má vhodnější spektrum ve viditelné oblasti.

3.3.3.1 Vysokotlaké rtuťové výbojky

Jsou zdrojem světla, ve kterých hlavní část světla vzniká ve rtuťovém výboji při tlaku převyšujícím 100 kPa. Tato definice se vztahuje na výbojky s čirou i s luminoforem pokrytou baňkou, ve které část světla vzniká ve výboji a část ve vrstvě luminoforu.



Obr. 3.13. Konstrukce vysokotlaké rtuťové výbojky [3]

1 – nosný rámeček, 2 – hlavní elektrody, 3 – pomocná elektroda, 4 – molybdenová fólie, 5 – rezistor, 6 – rtuť, 7 – vnější baňka, 8 – vrstva luminoforu, 9 – patice

Konstrukce rtuťové výbojky je naznačena na obr. 3.13. Konstrukce vysokotlaké rtuťové výbojky. Tento systém má podstatně vyšší tlak a teplotu než zářivky. Tedy i jiné geometrické parametry a podstatně odolnější materiály. Na výrobu vlastní trubice – hořáku je použito tvrdé křemenné sklo, do něhož jsou zataveny wolframové elektrody. Na vakuově těsný zátav je použita molybdenová fólie.

K výhodám vysokotlakých rtuťových výbojek patří: Doba života 12 000 až 16 000 hodin, dobrá stabilita světelného toku v průběhu života, dobrá spolehlivost, malý vliv okolní teploty na parametry výbojky, spolehlivý provoz až při $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, nízká cena.

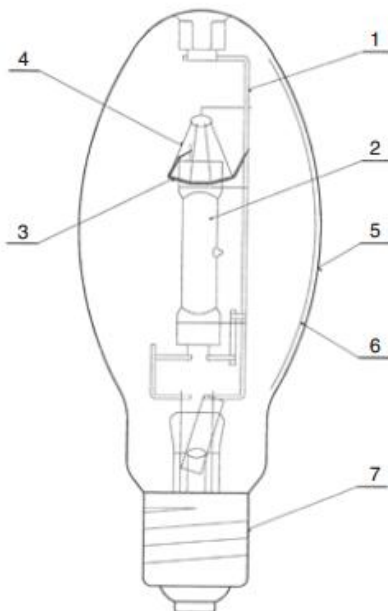
Naproti tomu nevýhody jsou: Poměrně malá účinnost maximálně 60 lm/W, horší podání barev, obsah rtuti a tím i likvidace, materiálová náročnost, velké rozměry a nevhodnost pro stmívání.

Kromě provedení s vnější baňkou se používají vysokotlaké rtuťové výbojky bez vnější baňky jako zdroje ultrafialového záření pro urychlení řady technologických procesů, např. při vytvrzování laků a barev.

Podíl vysokotlakých rtuťových výbojek určených pro všeobecné osvětlování na trhu klesá. Jsou postupně nahrazovány podstatně úspornějšími sodíkovými a halogenidovými výbojkami.

3.3.3.2 Směšové výbojky

Směšová výbojka je světelný zdroj, v jehož baňce je sériově zapojená rtuťová výbojka a žárovkové vlákno. Vlákno doplňuje záření rtuťového výboje zejména v červené oblasti. Konstrukce rtuťové výbojky je znázorněna na obr. 3.14. Konstrukce směšové výbojky.



Obr. 3.14. Konstrukce směšové výbojky [3]

1 – nosný rámeček, 2 – rtuťový hořák, 3 – wolframové vlákno, 4 – molybdenové háčky, 5 – vnější baňka, 6 – vrstva luminoforu, 7 – patice

Výhody směšových výbojek: Jednoduchý provoz bez předřadníku, výhodná náhrada žárovek s velkým příkonem, příjemně teplý odstín světla, podání barev až $R_a = 72$ a téměř okamžité dosažení jmenovité hodnoty světelného toku.

Nevýhody: Nízký měrný výkon maximálně 26 lm/W a nemožnost stmívání.

Konstrukčně obdobné jako směšové výbojky jsou i výbojky používané k imitaci slunečního záření. Vnější baňka je zhotovena ze speciálního skla, které propouští UV-A a částečně UV-B oblasti spektra vydávané rtuťovým hořákem, tak i infrazářením wolframového vlákna. Směšové výbojky v nových osvětlovacích soustavách nemají opodstatnění a tak jejich podíl na trhu klesá. [3,10]

3.3.4 Halogenidové výbojky

Jsou vysokotlaké výbojky, jejichž světlo vzniká zářením par kovů nebo vzácných plynů a produktů štěpení halogenidů.

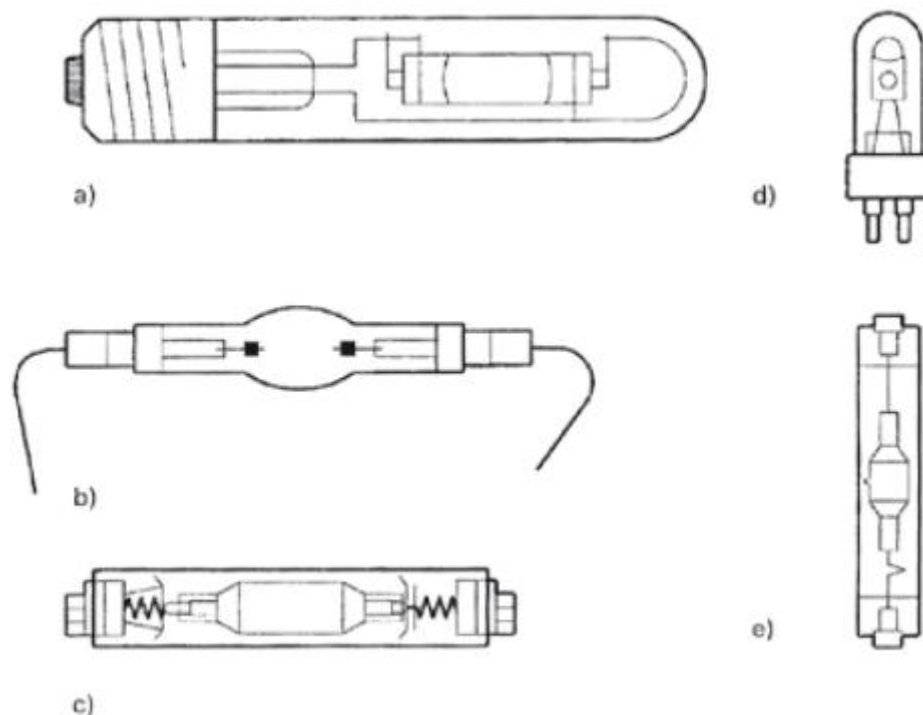
V současné době se účinně doplňuje rtuť dalšími chemickými prvky, které doplňují čárové spektrum rtuti. Kombinací vhodných prvků lze získat účinné zdroje bílého světla v širokém rozsahu chromatičnosti. Nový způsob vnášení svítících příměsí do výbojek umožnil

zvýšit počet prvků, jejichž záření lze využít ve světelných zdrojích a zdrojích ultrafialového záření. Vznikl tak zcela nový sortiment výbojek (v české terminologii halogenidových), který se vyznačuje různým spektrálním zářením, podstatně vyšším měrným výkonem a kvalitnějším podáním barev než u běžných vysokotlakých rtuťových výbojek.

Princip činnosti halogenidových výbojek spočívá v zapálení výboje vnějším zapalovacím zařízením, které zajišťuje vysokonapěťový impulz. Výboj nejdříve probíhá v parách rtuti a inertního plynu, než naroste teplota během 5 až 10 minut, zvýší se koncentrace halogenidů a teplotní režim se ustálí. Hořák vysokou teplotou štěpí halogenidy na atomy halogenu a atomy příslušného kovu, které se vybudí a září. Současně se difundují atomy ke stěně hořáku s nižší teplotou, kde se opět sloučí na původní sloučeniny. Vzniká tak uzavřený cyklus, který je předpokladem pro dlouhý život světelného zdroje.

Halogenidové výbojky lze z hlediska materiálu použitého na výrobu hořáku rozdělit do dvou skupin.

3.3.4.1 Halogenidové výbojky s křemenným hořákem



Obr. 3.15. Konstrukce základních typů halogenidových výbojek s křemenným hořákem [3]

Jsou z hlediska konstrukce příbuzné rtuťovým výbojkám. Konstrukce základních typů halogenidových výbojek s křemenným hořákem je schematicky naznačena na obr. 3.15. *Konstrukce základních typů halogenidových výbojek s křemenným hořákem.*

V současném sortimentu halogenidových výbojek se používá množství různých kombinací halogenidů. Pro účely osvětlování jsou nejzajímavější:

- NaI + TlI + InI. Měrný výkon 70 až 110 lm/W při Ra = 65 až 70.
- DyI3 + HoI3 + TmI3 + některé další halogenidy. Měrný výkon 80 až 90 lm/W při Ra > 80.
- ScI3 + NaI + další halogenidy. Měrný výkon dosahuje až 100 lm/W při Ra = 75.
- SnBr2 + SnI2. Při měrném výkonu 60 lm/W je dosaženo vynikajícího podání barev Ra = 98.

Zmíněné kombinace příměsí zdaleka nevyčerpávají sortiment výroby výbojek uváděných v katalogích významných světových firem. Některé halogenidové výbojky lze nalézt v tab.

3.4. Základní sortiment halogenidových výbojek s křemenným hořákem.

Mezi výhody halogenidových výbojek s křemenným hořákem lze zařadit:

- Možnost široké úpravy spektrálního složení vyzařovaného světla.
- Velký rozsah příkonů 70 až 5000 W.
- Dobré podání barev při velkém měrném světelném výkonu.
- Možnost vytvořit rozměrově kompaktní světelné zdroje s velkým příkonem.
- Doba života.

K nevýhodám, kromě technologické náročnosti výroby, a z toho vyplívající ceny, patří nutnost použití zapalovacího zařízení a velká citlivost parametrů výbojek na kolísání napájecího napětí.

Tab. 3.4. Základní sortiment halogenidových výbojek s křemenným hořákem[11]

Provedení výbojky	obr. č.	jmenovitý příkon [W]	měrný výkon [lm/W]
jednopaticová s kolíkovou paticí G12	3.15. d	70, 150	76 - 87
dvoupaticová s křemennou vnější baňkou RX7s	3.15. e	70, 150	73 - 86
dvoupaticová s křemennou vnější baňkou Fc2	3.15. c	250, 400	80 - 90
s válcovou čirou vnější baňkou a paticí E40	3.15. a	250, 400, 1000, 2000	75 - 120
s eliptickou čirou baňkou paticí E27 nebo E40		70, 100, 150	74 - 86
s eliptickou baňkou pokrytou luminoforem a paticí E27 nebo E40		70, 100, 150, 250, 400, 1000	74 - 100
dvoupaticová bez vnější baňky s krátkým obloukem	3.15. b	1000, 1800, 1950, 2000	90 - 110
dvoupaticová bez vnější baňky s dlouhým obloukem		1000, 2000	90 - 115

3.3.4.2 Výbojky s keramickým hořákem.

Zvládnutí technologie výroby halogenidů v kombinaci s keramickým hořákem vedlo k rozšíření předností světelných zdrojů zejména v:

- Rozšíření příkonové řady k malým výkonům (až 20 W)
- Zvýšení měrného výkonu u typů malých výkonů
- Zlepšení stability teploty chromatičnosti během života
- Libovolná poloha svícení
- Zmenšení rozměru hořáku
- Zlepšení zrakové pohody

Tyto výhody pomohly rozšířit oblasti použití výbojek zejména v interiérech, avšak technologie výroby je ještě náročnější než u vysokotlakých sodíkových výbojek.

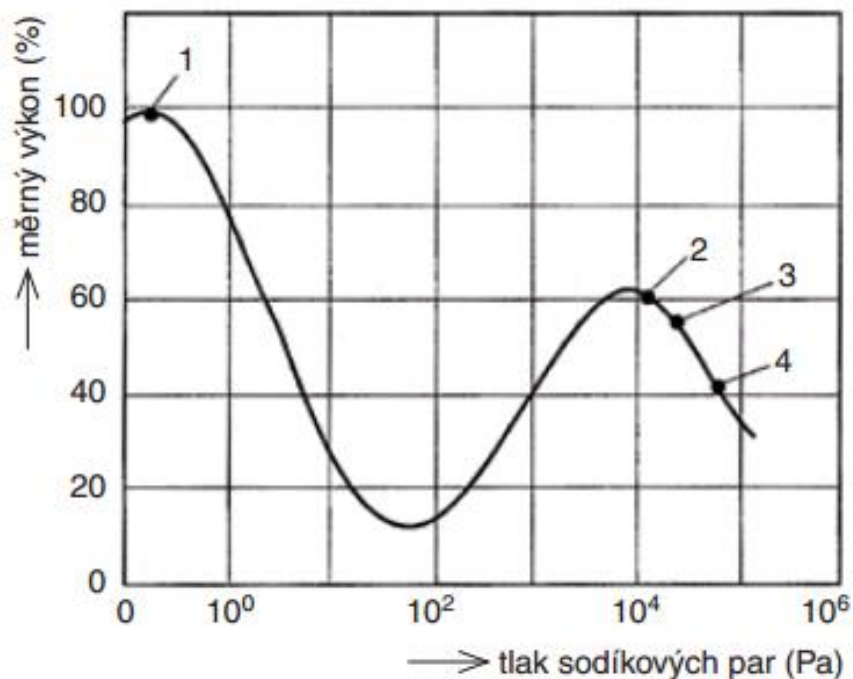
Výbojky uvedené v tab. 3.2. *Základní sortiment halogenidových výbojek s křemenným hořákem* se vyznačují vynikajícím podáním barev $R_a > 80$ (dokonce i $R_a > 90$ při účinnosti o 10% nižší). Teplota chromatičnosti je velice blízká chladně bílé (denní) barvě. Díky této kombinaci účinnosti a podání barev se po dlouhé době veřejné osvětlení dočkalo návratu k bílým odstínům světla po éře žlutě svítících vysokotlakých sodíkových výbojek.

S ohledem na běžné uživatele je nutné dodat, že výbojka po zapnutí dosáhne jmenovitých hodnot po pěti až deseti minutách svícení a přerušení napájení je nutné výbojku před dalším zapnutím nechat deset až patnáct minut chladnout, jinak se znovu nerozsvítí. [11]

3.3.5 Vysokotlaké sodíkové výbojky

Jsou světelné zdroje, kde hlavní složka světla vzniká v sodíkových parách s provozním tlakem v rozmezí 3 až 60 kPa.

Výboj v parách sodíku je známý již od třicátých let minulého století a využívá se v nízkotlakých sodíkových výbojkách. Tento výboj je sám o sobě ze světelně technického hlediska velmi zajímavý. Sodík se vyznačuje intenzivním rezonančním dublem ve žluté části spektra s vlnovou délkou 589,0/589,6 nm, která je velmi blízká maximální spektrální citlivosti lidského oka. Měrný světelný výkon těchto výbojek dosahuje v současnosti až přes 200 lm/W, což je nyní nejúčinnější umělý světelný zdroj ihned po laboratorních výzkumech světelných diod. Pro své velmi špatné podání barev, kdy se většina barev jeví pouze jako různé odstíny šedi kromě oranžové, nachází vysokotlaké sodíkové výbojky využití zejména při osvětlování dálnic.

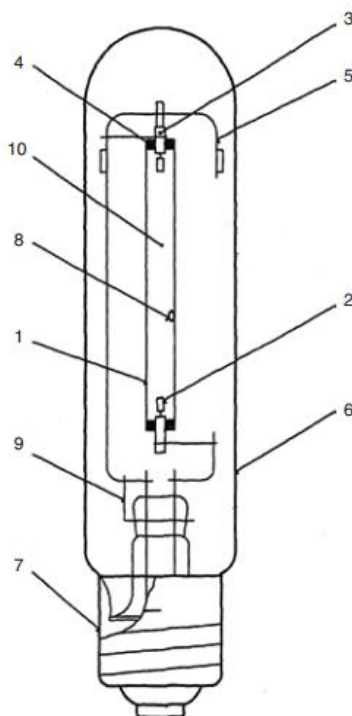


Obr. 3.16. Závislost měrného výkonu na tlaku sodíkových par [3]

1 – nízkotlaké sodíkové výbojky $R_a = 0$, 2 – vysokotlaké sodíkové výbojky $R_a = 25$, 3 – vysokotlaké sodíkové výbojky se zlepšeným podáním barev $R_a = 60$, 4 – vysokotlaké sodíkové výbojky s vynikajícím podáním barev $R_a > 85$

Zvyšováním tlaku par sodíku klesá světelná účinnost zdroje, což je patrné z obr. 3.16. Závislost měrného výkonu na tlaku sodíkových par, prochází minimem a pak opět roste a může dosáhnout až 150 lm/W. Při rostoucím tlaku se současně rozšiřují i spektrální čáry. V sodíkovém výboji lze tedy získat světelné zdroje, jejichž index podání barev se může pohybovat od $R_a = 0$ až po speciální vysokotlaké výbojky s $R_a > 85$.

Konstrukce vysokotlaké sodíkové výbojky je naznačena na obr. 3.17. Konstrukce vysokotlaké sodíkové výbojky.

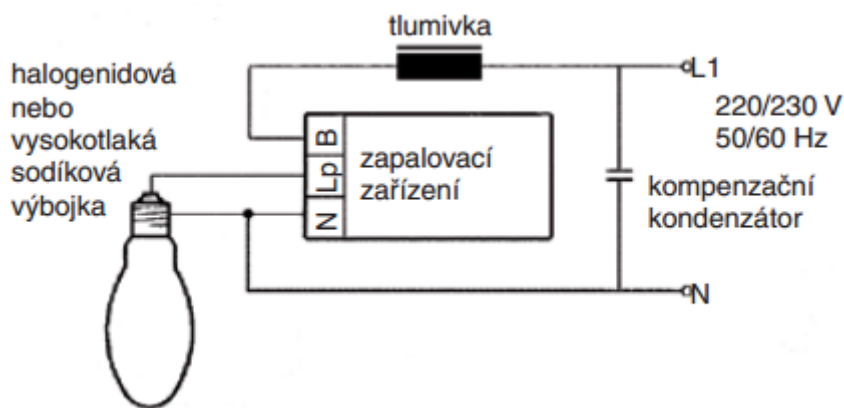


Obr 3.17. Konstrukce vysokotlaké sodíkové výbojky [3]

1 – korundová trubička, 2 – elektroda, 3 – niobová průchodka, 4 – pájecí kroužek, 5 – nosný rámeček, 6 – vnější baňka, 7 – patice, 8 – amalgám sodíku, 9 – getr, 10 – plynná naplň

Hořák je z průsvitného nebo průzračného korundu. Trubice je na obou stranách uzavřena průchodkami, které jsou k patici připájeny skelnou pájkou. Kvalita této pájky významně ovlivňuje délku života výbojky. V současnosti se jako nejvhodnější jeví niob. K niobovému dílu je připájena wolframová elektroda. Hořák je naplněn inertním plynem pro usnadnění zapálení výboje a zabránění zvýšenému odpařování emisní hmoty.

Vysokotlaké sodíkové výbojky potřebují ve svém obvodu tlumivku a zapalovací zařízení anebo elektronický předřadník. Schéma nejpoužívanějšího zapojení je znázorněno na obr. 3.18. Schéma zapojení vysokotlaké a halogenidové výbojky a je shodné pro zapojení s halogenidovou výbojkou.



Obr. 3.18. Schéma zapojení vysokotlaké a halogenidové výbojky [3]

Život výbojek dosahuje 16 000 až 30 000 hodin při dodržování provozních podmínek daných výrobcem. Ukončení života je dáno nárůstem napětí na výbojce vzhledem k napájecímu napětí, při překročení určitého poměru výbojka zhasne. Po vychladnutí opět zapálí, ale cyklus se pořád znovu opakuje a výbojku je nutné vyměnit.

Sortiment vysokotlakých sodíkových výbojek byl v poslední době značně omezen a to hlavně v závislosti na rozvoji halogenidových výbojek. Sortiment s vysokým indexem podání barev je jimi již překonán a jejich další výroba je nyní neúčelná. Základní sortiment vysokotlakých sodíkových výbojek je znázorněn v tab. 3.5. *Současný sortiment vysokotlakých sodíkových výbojek.*

Tab. 3.5. *Současný sortiment vysokotlakých sodíkových výbojek [12]*

provedení výbojky	jmenovitý příkon [W]	měrný výkon [lm/W]	patice
standardní s eliptickou baňkou s rozptýlnou vrstvou a vnitřním startérem	50, 70	70 - 87	E27
standardní s čírou válcovou baňkou	50, 70, 100, 150, 250, 400, 1000	70 - 130	E27, E40
standardní s eliptickou baňkou s rozptýlnou vrstvou	50, 70, 100, 250, 400, 1000	70 - 130	E27, E40
se zvýšeným tlakem xenonu, s čírou válcovou baňkou	50, 70, 100, 150, 250, 400, 1000	88 - 150	E27, E40
dvoupaticová s křemennou vnější baňkou	70, 150, 250, 400	97 - 120	RX7s, RX7s-24 Fc2
s Penningovou směsí, s eliptickou baňkou s rozptýlnou vrstvou	110, 210, 350	73 - 97	E27, E40
se zlepšeným podáním barev Ra > 60, s čírou válcovou baňkou	150, 250, 400	87 - 95	E40
se zlepšeným podáním barev Ra > 60, s eliptickou baňkou s rozptýlnou vrstvou	150, 250, 400	83 - 92	E40
s vynikajícím podáním barev Ra > 80, s křemennou válcovou vnější baňkou	50, 100	48	GX12-1
s vynikajícím podáním barev Ra > 80, s válcovou vnější baňkou	35, 50, 100	37 - 50	PG12-1

Hlavní přednosti vysokotlakých sodíkových výbojek jsou:

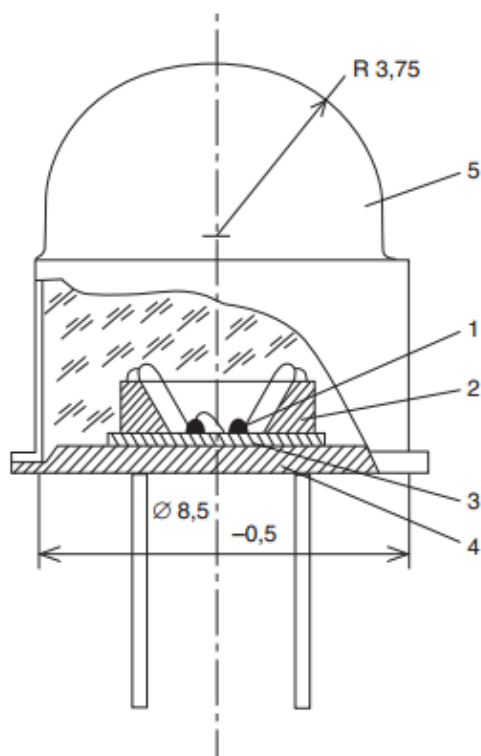
- Vysoký měrný světelný výkon při přijatelném podání barev
- Doba života až 30 000 hodin
- Spolehlivý provoz, snadná údržba
- Zvládnutá technologie výroby a přijatelná cena
- Kompaktní rozměry

Díky vysoké účinnosti zůstávají vysokotlaké sodíkové výbojky jako hlavní sortiment pro pouliční osvětlení, osvětlení tunelů, náměstí, nádražních hal, průmyslových objektů, velkých prostranství, letišť a všude tam kde nejsou kladeny velké nároky na podání barev. Avšak hagenidové výbojky začínají postupovat i do těchto oblastí, to hlavně do pouličního osvětlení a osvětlování historických památek. [3,12]

3.3.6 Světelné diody

Světelná dioda neboli elektroluminiscenční dioda, zkratka LED (z anglického Light Emitting Diode), je polovodičová součástka s PN přechodem, který emituje optické záření při průchodu proudu.

Světelné diody v posledních letech zaznamenávají nesmírně dynamický rozvoj. Všechny významné světelně technické firmy je mají ve výrobním programu. Dokonce i některé státy zavedly jejich vývoj do vládních programů. První světelné diody se objevily na trhu teprve v roce 1962. Od jejich uvedení na trh zaznamenaly velký rozvoj. Teoretické možnosti zvyšování účinnosti přeměny elektrické energie na světelnou charakterizované hodnotami přibližně 60 lm/W u modrých, více než 200 lm/W u bílých, asi 260 lm/W u červených, více než 500 lm/W u žlutých a téměř 590 lm/W u zelených diod předurčují světelné diody k významnému světelnému zdroji.



Obr. 3.19. Konstruktivní uspořádání světelné diody se dvěma krystaly [13]

1 – polovodič s přechodem PN, 2 – reflektor, 3 – keramická destička odvádějící teplo, 4 – podložka, 5 – polokulová čočka

Konstrukce světelné diody je naznačena na *obr. 3.19. Konstrukční uspořádání světelné diody se dvěma krystaly*. V místě styku polovodičů typu P a typu N vzniká tzv. PN přechod. Přiložením stejnosměrného napětí správné polaritě na přechod dojde ke vzájemnému přibližování elektronů a děr a tím k jejich rekombinaci. Při rekombinaci se uvolní energie, která může vyzařit mimo krystal. Elektrická energie se mění přímo na světlo určité barvy, které je dáno velikostí přechodu a vyzařuje úzkou křivku spektrálního složení.

Z principu funkce světelné diody není možné přímo získat bílé světlo. Bílé světlo LED lze získat dvěma způsoby. První spočívá v RGB míšení (míšení červené, zelené a modré LED), kde je zapotřebí náročnější hardware a software. Výsledný jas je nižší a v průběhu života dochází k nežádoucím posunům barvy vyzařovaného světla. Druhý způsob využívá fosforescenci luminoforů. Tento způsob vzniku světla je obdobný principu v klasických zářivkách. Tato varianta je energeticky úspornější než varianta použití třech diod, ale produkuje horší podání barev.

Z pohledu uživatele lze dnes vyráběný sortiment orientačně rozdělit do tří skupin:

- Diody o malém výkonu s proudem 1 až 2 mA
- Standardní diody s proudem větším než 20 mA
- Výkonové diody s proudem větším než 350 mA (tzv. high power)

Hlavní přednosti LED:

- Geometrické parametry:

Možnost vytvoření velkého množství svítidel různých tvarů, výkonů a rozměrů

Malé rozměry umožňují vytvořit vysoce koncentrovaný svazek světelné energie (přenos informací)

- Elektrické a světelné parametry:

Malé napájecí napětí nevyžaduje ochranu

Lze spojovat do série pro dosažení většího světelného toku

Stejnoseměrný provoz umožňuje snadnou regulaci

Minimální doba náběhu a rychlá odezva bez ovlivnění délky života

Plná stmívatelnost

Ekologicky úsporné osvětlení

Velká účinnost barevných LED

- Kolorimetrické parametry:

Lze získat velký počet barev – teoreticky nekonečné množství

LED bílé barvy s velmi dobrou účinností a vysokým Ra

Možnost výroby ultrafialové a infračervené LED

- Provozní parametry:

Vysoce spolehlivé

Doba života 60 000 až 100 000 hodin, při úbytku světelného toku 30 až 40 %

Nízké náklady na údržbu a výměnu vadných zdrojů

Mechanicky odolná konstrukce

- Vlastnosti z hlediska životního prostředí:

Neobsahují zdraví škodlivou rtuť

Nemají negativní vliv na životní prostředí ani během života, ani po ukončení života

Většina částí je recyklovatelná

K nevýhodám světelných diod zatím patří především vysoká cena a významná závislost hlavních parametrů na teplotě okolí.

Hlavní oblasti použití:

- Signalizace:

Náhrada malých žárovek v kontrolkách

Osvětlování dopravních značek a použití v semaforech

Palubní desky automobilů i další komponenty (v moderních autech jsou použity až stovky světelných diod)

Ukazatele únikových cest v budovách

- Venkovní osvětlení:

Osvětlovací soustavy nízko nad vozovkou

Zřetelné vyznačení okraje vozovky a jízdních pruhů

Osvětlování pěších zón a architektoniky náročných prostředí

Stávají se součástí osvětlovacích soustav v tunelech

Osvětlovací soustavy na stožárech obsahující stovky světelných diod

- Osvětlení vnitřních prostorů:

Veřejné budovy, prodejní místa

Místní pracovní osvětlení

Osvětlování výstavních exponátů

- Zobrazovací technika a reklamní osvětlení:

Plnohodnotná náhrada svítících trubic

Speciální velkoplošné obrazovky

- Zdravotnictví:

Terapie kožních a vnitřních nemocí

Dezinfekce pomocí ultrafialového záření

- Další příklady:

Dálková ovládání

Čtení čárových kódů

Optické počítačové myši

Kontrola bankovek UV osvětlením

Kapesní a akumulátorové svítilny

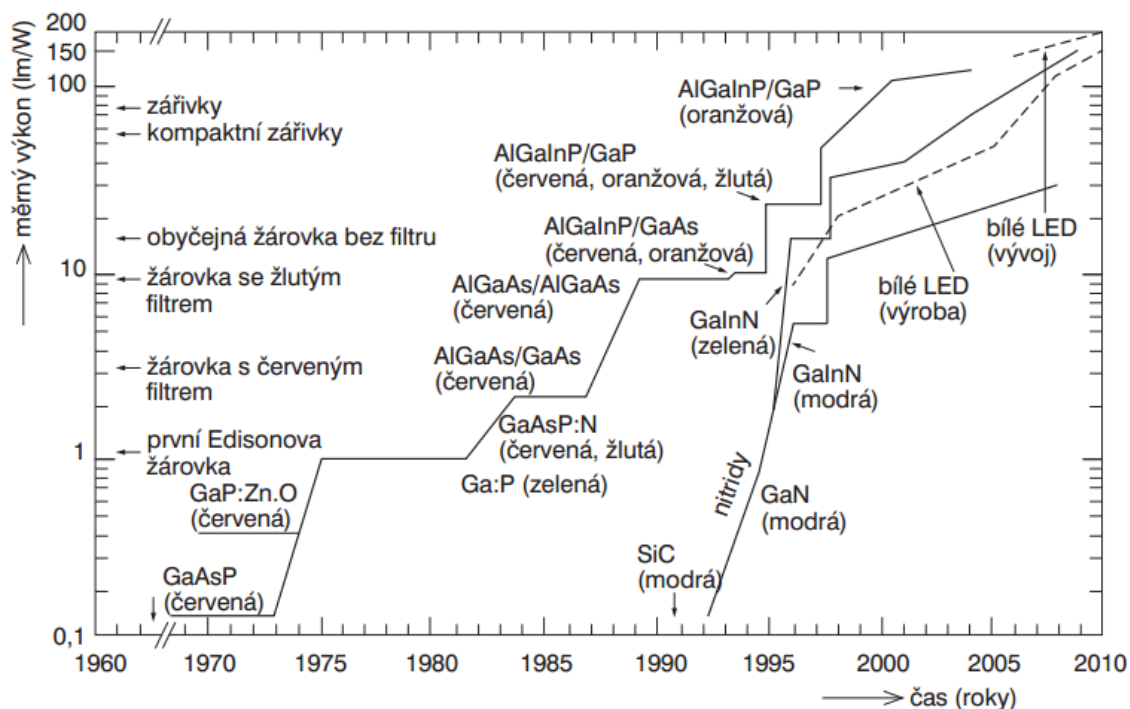
Přístroje nočního vidění s IR diodami

Světelný zdroj v optickém přenosu signálu

Uvedený přehled použití světelných diod je pouze informativní a zdaleka neobsahuje všechny možnosti jejich použití. Jsou zde vybrány pouze námatkové oblasti pro přiblížení tohoto bouřlivě se rozvíjejícího světelného zdroje.

Vedle zde popsaných světelných diod tvořených anorganickými materiály se objevují další propracované typy LED především organické LED tzv. OLED. Obsahují mnoho amorfních nekystalických materiálů umožňujících vytvořit co do plochy podstatně větší a rozměrnější zdroje, ale zatím hodnota účinnosti je zřetelně nižší než klasických světelných diod.

V roce 2010 se objevila zpráva o překročení hranice hodnoty měrného výkonu 200 lm/W a horní hranice příkonu čipu dosáhla 10 W, i když prozatím v laboratorních podmínkách. Tím se světelné diody dostávají před zatím nejúčinnější světelný zdroj – nízkotlaké sodíkové výbojky. Lze předpokládat, že v nejbližších letech se tyto zdroje dostanou do běžné výroby a k zákazníkům. Z obr. 3.20. Zvyšování měrného světelného výkonu vyráběných světelných diod je patrné, že mezi laboratorní a sériovou výrobou byla doposud prodleva pouhých několika měsíců. [13,14]



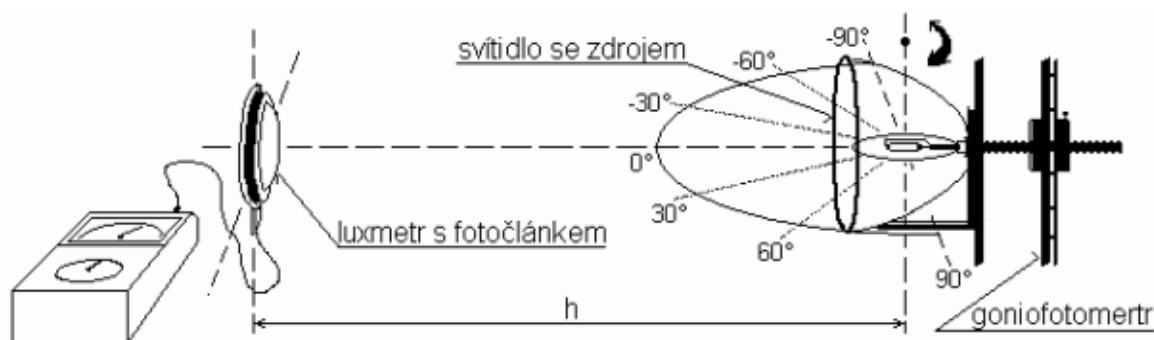
Obr. 3.20. Zvyšování měrného světelného výkonu vyráběných světelných diod [14]

4 Měření křivek svítivosti

4.1 Teoretický úvod

Samostatné světelné zdroje většinou nejsou vyhovující pro použití v osvětlovacích soustavách, neboť jejich rozložení světelného toku do prostoru je zcela nevhodné. Z toho důvodu se světelné zdroje umísťují do svítidel, které zabezpečují tyto přídatné funkce pro zvýšení využitelnosti světelného toku a svítidla jako celku. Kromě svítidel se v praxi používají světlomety, které vyzařují směrově soustředěný svazek světelných paprsků.

Základní světelně technickou funkcí svítidla je usměrnění a rozdělení světelného toku zdroje pro optimální osvětlenost prostoru. Obecně se prostorové rozložení toku popisuje fotometrickou plochou svítivosti, což je plocha, která vzniká změřením hodnot svítivosti zdroje ve všech směrech prostoru a vynesení od bodu zdroje jako vektory. Při výpočtech obvykle stačí znát jen některé řezy touto plochou. Jednotlivé čáry svítivosti měříme na goniofotometrech a pro dodržení fotometrického zákona musí být rozměry měřeného svítidla zanedbatelné proti vzdálenosti detektoru, jinak se při měření dopouštíme chyby.



Obr. 4.1 Zapojení pro měření křivek svítivosti [4]

V předchozím obr. 4.1 Zapojení pro měření křivek svítivosti je naznačeno orientační schéma systému měření křivek svítivosti ve fotometrických rovinách pomocí goniofotometru a detektoru, který zastupuje luxmetr s fotočlánkem. [3,4]

4.2 Úkol měření

Proveďte měření křivek svítivosti na zvolených třech vzorcích světelných zdrojů.

Zvolena je obyčejná 100 W žárovka, dále 35 W halogenová žárovka, která by měla vykazovat stejný světelný jako obyčejná 100 W žárovka a poslední 50 W halogenová žárovka. Klasická žárovka vykazuje svítivost prakticky ve všech směrech s výjimkou patice. Halogenové žárovky jsou z výroby opatřeny reflektorem v podobě parabolického zrcadla, lze je tedy již považovat za svítidlo a bude zajímavé sledovat tvar křivky svítivosti v porovnání s klasickou žárovkou.

4.3 Postup měření

- svítidlo upevněte do goniofotometru, připojte jej na napětí a nechte patřičnou dobu ustálit
- nastavte úhel -90° ve zvolené měřící rovině a zapište do tabulky hodnotu z měřícího členu
- tento postup opakujte v úhlovém kroku 3° až do $+90^\circ$ v dané měřící rovině
- z naměřených hodnot sestrojte křivku svítivosti a proveďte příslušná vyhodnocení

4.4 Zpracování výsledků

Změřené hodnoty jsou přepočítány pomocí čtvercového fotometrického zákona svítivosti v daném vyzařovacím úhlu a svítidla podle vztahu (4.1) a formovány do tabulek. Vzdálenost byla zvolena 1 m (od skla svítidla, goniofotometr neumožňuje zaměřit vlákno), aby hodnota osvětlenosti v luxech odpovídala přímo svítivosti v kandelách.

$$I_\gamma = E_\gamma \cdot h^2 \quad (4.1)$$

4.4.1 Tabulkové zpracování

Tab. 4.1 Tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro sestrojení křivky svítivosti v dané měřící rovině.

úhel[°]	I ₁ [cd]	I ₂ [cd]	I ₃ [cd]	úhel[°]	I ₁ [cd]	I ₂ [cd]	I ₃ [cd]
-90	3	2	73	3	409	712	101
-87	2	2	69	6	430	705	100
-84	4	2	72	9	381	676	105
-81	4	2	72	12	291	655	107
-78	2	2	73	15	198	613	113
-75	3	3	81	18	162	470	109
-72	3	3	83	21	117	254	110
-69	3	3	82	24	93	138	109
-66	7	8	84	27	73	107	108
-63	6	7	89	30	58	92	102
-60	7	8	89	33	50	82	97
-57	10	15	93	36	46	68	92
-54	15	20	93	39	45	61	86
-51	17	28	98	42	42	52	87
-48	27	43	98	45	34	48	88
-45	45	53	101	48	27	38	86
-42	47	59	103	51	23	29	86
-39	49	67	98	54	11	23	81
-36	50	73	101	57	9	13	80
-33	47	87	106	60	5	9	77
-30	51	104	105	63	6	7	72
-27	60	148	103	66	3	4	76
-24	84	191	102	69	3	4	77
-21	103	299	104	72	3	4	76
-18	167	435	102	75	3	4	74
-15	283	533	105	78	3	4	67
-12	321	564	110	81	3	4	61
-9	320	653	106	84	3	4	63
-6	367	606	106	87	3	4	62
-3	396	651	111	90	2	3	61
0	402	670	105				

Měřené vzorky:

- Vzorek 1: Halogenová žárovka 35 W patice GU10, halopar 16, 240 V, 35 W, 35 °, Osram
- Vzorek 2: Halogenová žárovka 50 W patice GU10, JDR-C, 240 V, 50 W, 36 °, Massive
- Vzorek 3: Obyčejná žárovka 100 W patice E27, 220 - 240 V, Luxus

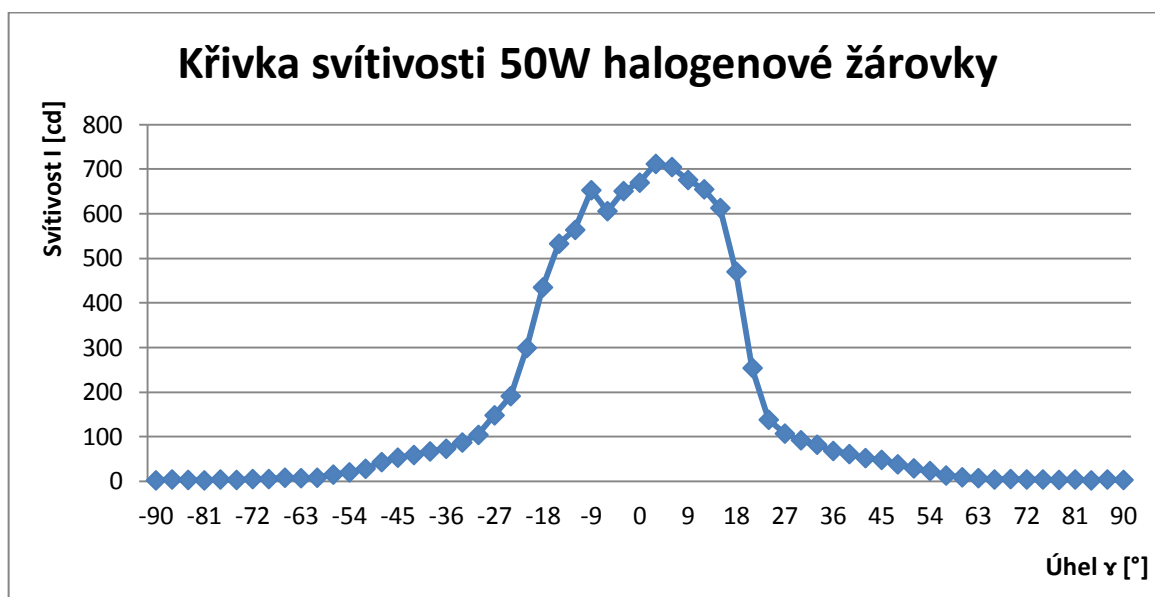
Použité přístroje:

- Luxmetr, Hagner E4-X, lab. č. 21214
- Fotometrická lavice, Kapetka, lab. č. 6421
- Stabilizovaný zdroj napětí, Metra Blansko, lab. č. 1006332
- Voltmetr, Multimetr MIT 242, lab. č. 1008193

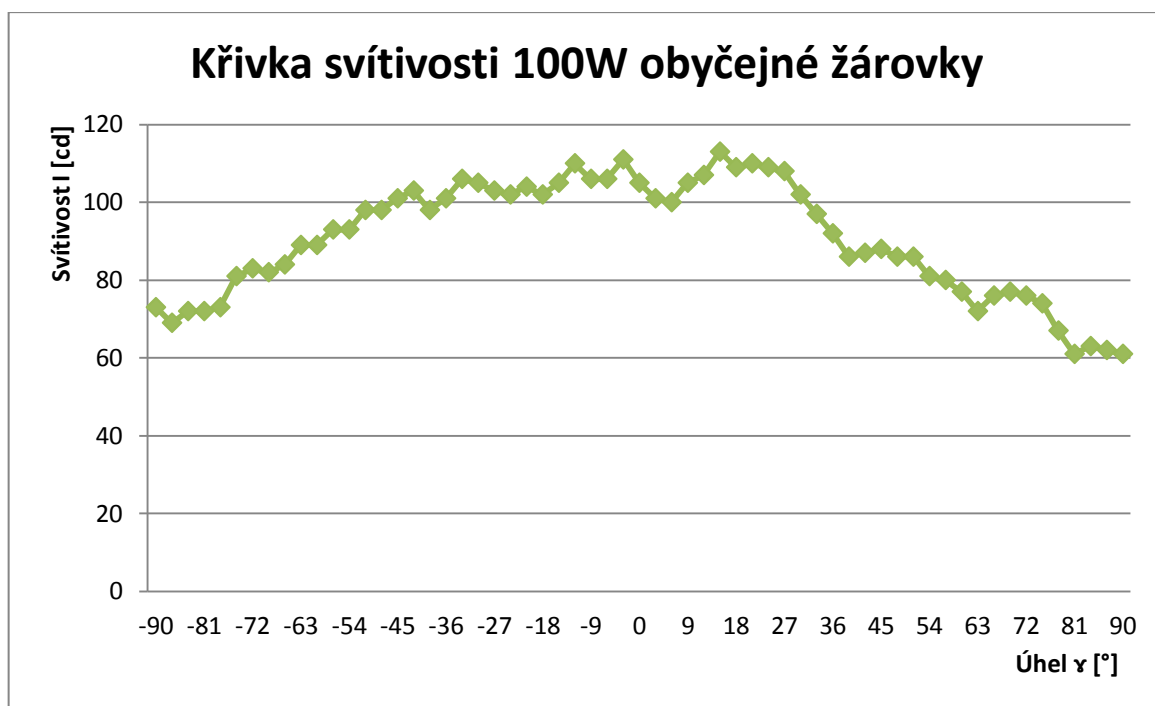
4.4.2 Grafické zpracování



Obr. 4.2. Křivka svítivosti vzorku 1 v kartézských souřadnicích



Obr. 4.3. Křivka svítivosti vzorku 2 v kartézských souřadnicích



Obr. 4.4. Křivka svítivosti vzorku 3 v kartézských souřadnicích



Obr. 4.5. Porovnání křivek svítivosti všech vzorků v polárních souřadnicích

4.5 Vyhodnocení výsledků

U halogenových žárovek je dána směrovost světelného toku reflektorem v podobě parabolického zrcadla a podle předpokladu vykazuje použitelnou svítivost v rozmezí 35° okolo osy žárovky. V místě největší svítivosti dosahuje 35 W halogenová žárovka hodnot až 430 cd a 50 W dokonce 712 cd. Z těchto údajů je možné dopočítat, že účinnost výkonnější halogenové žárovky je o několik jednotek procent lepší. U klasické žárovky můžeme vidět, že vykazuje svítivost ve všech směrech prakticky stejnou mírou až 110 cd. Křivka svítivosti zakrývá přibližně stejně velkou část plochy jako méně výkonná halogenová žárovka a lze předpokládat, že při vhodně zvoleném svítidle by byla prakticky stejná. Můžeme tedy říci, že 35 W halogenová žárovka je plnohodnotná náhrada (i když s jinou patičí) klasické 100 W žárovky s větším měrným výkonem.

Závěr

Pro pochopení parametrů světelných zdrojů je nutné znát základní principy vzniku optického záření a jeho vnímání lidským okem. Neméně důležitá je znalost technických a světelných parametrů, pomocí kterých lze světelné zdroje popsat. Touto problematikou se zabývá první kapitola práce. Druhá kapitola se krátce zmiňuje o vývoji světelných zdrojů, které fungují na principu spalování hořlavých látek a zdrojem jejich světla je plamen, až po světelné zdroje, které ke své činnosti používají elektrickou energii. Třetí kapitola začíná rozdělením elektrických zdrojů světla podle principu vzniku světla. Věnuje se i požadavkům na ně samotné. Z dnešního pohledu je pro běžné uživatele nejdůležitější ekonomické hledisko, které zahrnuje pořizovací cenu, účinnost přeměny elektrické energie na světelnou a dobou života světelného zdroje. Snížení nákladů na provoz osvětlení je velice důležité i z ekologického hlediska, které je navíc podpořeno výrobou světelných zdrojů bez zdravotně závadných a nejlépe recyklovatelných materiálů.

Dále se dozvídáme o teplotních světelných zdrojích, které fungují na principu inkandescence. Zástupci jsou klasické a halogenové žárovky. Jejichž výhoda v podobě indexu podání barev, který je stejný jako u denního světla, nekompensuje malý měrný světelný výkon. Proto z trhu velice rychle ustupují a jejich vývoj se dá považovat za uzavřený. V další části je pojednáváno o výbojových světelných zdrojích, které jsou v současné době nejrozšířenější v osvětlovacích soustavách. V interiérech jsou to zářivky, které lze považovat za nejlepší náhradu teplotních světelných zdrojů. Jsou vhodným kompromisem z hlediska velikosti a příkonových řad. Jejich doba života dosahuje až dvacetinásobku klasických žárovek. Na veřejných prostranstvích a komunikacích, kde není kvalita světla tak důležitá, se uplatnily nejprve rtuťové a pak sodíkové výbojky díky svému vysokému měrnému světelnému výkonu, i když s nižším indexem podání barev. Samostatnou skupinou jsou LED diody, které v současné době zažívají velký rozvoj a už nyní jsou používány prakticky ve všech osvětlovacích soustavách. Lze předpokládat, že v blízké budoucnosti budou dominantním světelným zdrojem.

Závěrečná kapitola pojednává o křivkách svítivosti, které vyjadřují kolik světelného toku je vyzářeno v určitém směru. Z jejich měření je patrné, že samostatné vlákno světelného zdroje vykazuje svítivost ve všech směrech prakticky stejnou. Tvar křivky svítivosti je tedy dán reflektorem, popřípadě stínítkem umístěným za světelným zdrojem, ale tím se ze světelných zdrojů stávají již svítidla.

Použitá literatura

- [1] Linda, J.: Elektrické světlo I, ZČU v Plzni 1993
- [2] Linda, J.: Elektrické světlo II, ZČU v Plzni 1994
- [3] Habel, J. a kol.: Světelná technika a osvětlování. FCC Public, Praha, 1995
- [4] Přednášky předmětu KEE/SVT, FEL ZČU v Plzni
- [5] <http://www.quido.cz/objevy/zarovka.htm>
- [6] Dvořáček, V.: Světelné zdroje – halogenové žárovky. Světlo, 5/2008
- [7] Dvořáček, V.: Světelné zdroje – lineární zářivky. Světlo, 2/2008
- [8] Dvořáček, V.: Světelné zdroje – kompaktní zářivky. Světlo, 3/2008
- [9] Dvořáček, V.: Světelné zdroje – indukční výbojky. Světlo, 4/2009
- [10] Dvořáček, V.: Světelné zdroje – vysokotlaké rtuťové výbojky, směsové výbojky. Světlo, 6/2008
- [11] Dvořáček, V.: Světelné zdroje – halogenidové výbojky. Světlo, 1/2009
- [12] Dvořáček, V.: Světelné zdroje – vysokotlaké sodíkové výbojky. Světlo, 3/2009
- [13] Dvořáček, V.: Světelné zdroje – světelné diody. Světlo, 5/2009
- [14] Dvořáček, V.: Světelné zdroje – světelné diody (pokračování). Světlo, 2/2011

Seznam příloh

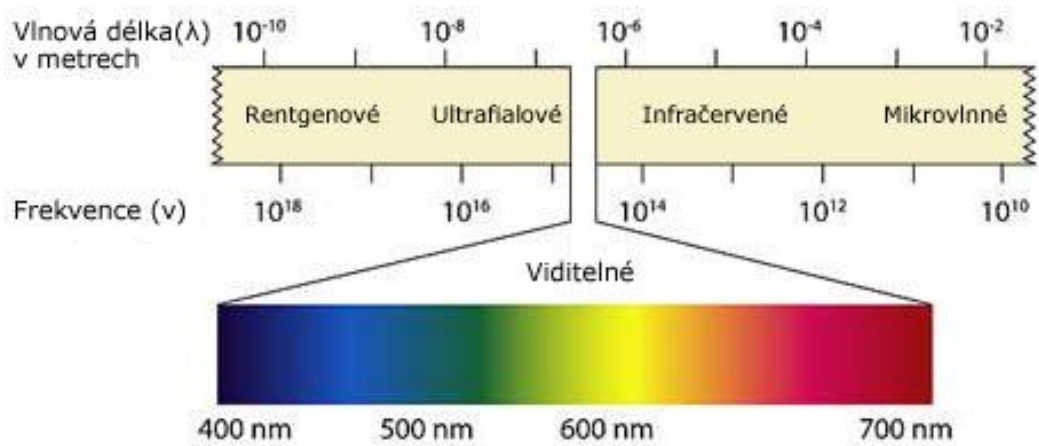
- Příloha A:** Teplota chromatičnosti světla
- Příloha B:** Světelné spektrum
- Příloha C:** Princip obloukové lampy
- Příloha D:** Klasická žárovka s příkonem 100 W a patičí E27
- Příloha E:** Xenonová halogenová žárovka s příkonem 105 W určená jako náhrada za obyčejnou žárovku s patičí E27
- Příloha F:** Zářivka s třípásmovým luminoforem Spectralux Plus NL, průměr 26 mm, patice G13
- Příloha G:** Kompaktní zářivka, délka 166 mm, průměr 50 mm příkon 23 W (ekvivalent 85 W žárovky), patice E27, doba života 16 000 hodin
- Příloha H:** Rtuťová výbojka HRL s příkonem 250 W a patičí E40
- Příloha CH:** Halogenidová výbojka HSI-THX s příkonem 250 W, patičí E40 a teplotou chromatičnosti 4500 K
- Příloha I:** Sodíková výbojka RNP-TLR s příkonem 70 W a patičí E27
- Příloha J:** LED žárovka Prowax LED 5 W, s patičí GU10, 350 lm, teplá bílá, 230 V, KSPLP5W
- Příloha K:** LED žárovka, 80 diod, 4 W, E27, 320lm, 230 V, 30000 hodin

Přílohy

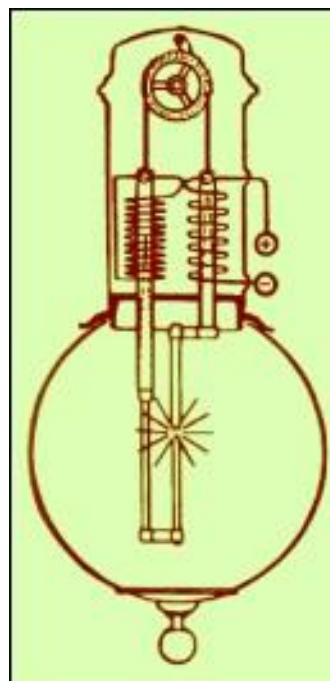
Příloha A: Teplota chromatičnosti světla



Příloha B: Světelné spektrum



Příloha C: Princip oboukové lampy



Příloha D: Klasická žárovka s příkonem 100 W a patičí E27



Příloha E: Xenonová halogenová žárovka s příkonem 105 W určená jako náhrada za obyčejnou žárovku s patičí E27



Příloha F: Zářivka s třípásmovým luminoforem Spectralux Plus NL, průměr 26 mm, patice G13



Příloha G: Kompaktní zářivka, délka 166 mm, průměr 50 mm příkon 23 W (ekvivalent 85 W žárovky), objímka E 27, doba života 16 000 hodin



Příloha H: Rtuťová výbojka HRL s příkonem 250 W a patičí E40



Příloha CH: Halogenidová výbojka HSI-THX s příkonem 250 W, patičí E40 a teplotou chromatičnosti 4500 K



Příloha I: Sodíková výbojka RNP-TLR s příkonem 70 W a patičí E27



Příloha J: LED žárovka Prowax LED 5 W, s patičí GU10, 350 lm, teplá bílá, 230 V, KSPLP-5W



Příloha K: LED žárovka, 80 diod, 4 W, E27, 320 lm, 230 V, 30000 hodin

