



Pedagogická
fakulta
Faculty
of Education

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Pedagogická fakulta
Katedra aplikované fyziky a techniky

Bakalářská práce

Světelné zdroje a jejich účinnost (Light sources and their efficiency)

Vypracovala: Martina Bačáková
Vedoucí práce: doc. PaedDr. Jiří Tesař, Ph.D.

České Budějovice 2015

ANOTACE

Tato bakalářská práce pojednává o světelných zdrojích a jejich účinnosti. V rešeršní části pojednává o vývoji žárovky a představuje hlavní milníky historie osvětlení, včetně veřejného osvětlení. Dále pojednává o principu a použití světelných zdrojů, o jejich členění podle druhu, typu, výrobce a ceny. V analytické části je provedena komparace různých druhů světelných zdrojů podle jejich světelné účinnosti a ceny. Součástí analýzy jsou i vyzařovací diagramy všech testovaných žárovek. Následuje analýza svítivosti jedné žárovky po svícení několika stovek hodin. V závěru bakalářské práce jsou dosažené výsledky shrnuty a komentovány.

ABSTRAKT

This bachelor thesis deals with light sources and their efficiency. The first part of the thesis discusses the development of bulbs and represents the major milestones of lighting, including public lighting. It also deals with the principle and the use of light sources and their classification by species, type, manufacturer and price as well. The analytic part consists of the comparative analysis of different types of light sources according to their luminous efficacy and their cost. As part of this, the analysis and radiation patterns of all tested bulbs is provided. The analysis of the luminosity of one bulb for lighting several hundred hours is the last part of this section. The thesis results are summarized and commented in the conclusion.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách. A to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce.

Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 27. 4. 2015

Martina Bačáková

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych chtěla poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce panu doc. PaedDr. Jiřímu Tesařovi, Ph.D. za konzultace, cenné rady, ochotu a odbornou pomoc.

Dále bych chtěla poděkovat panu Mgr. Vítu Bednářovi za pomoc při praktické části v laboratoři. A samozřejmě bych chtěla poděkovat rodině a příteli za jejich podporu při celém studiu.

OBSAH

1 ÚVOD.....	7
2 HISTORIE.....	8
2.1 VÝVOJ ŽÁROVKY	8
2.2 HISTORIE VEŘEJNÉHO OSVĚTLENÍ.....	15
3 KLASICKÁ ŽÁROVKA.....	16
3.1 PARAMETRY KLASICKÉ ŽÁROVKY	18
3.2 VÝHODY KLASICKÉ ŽÁROVKY	20
3.3 NEVÝHODY KLASICKÉ ŽÁROVKY	21
3.4 NAHRAZOVÁNÍ KLASICKÝCH ŽÁROVEK	21
4 KOMPAKTNÍ ZÁŘIVKA.....	22
4.1 KOMPAKTNÍ ZÁŘIVKA S VNĚJŠÍM PŘEDŘADNÍKEM	24
4.2 KOMPAKTNÍ ZÁŘIVKA S ELEKTRONICKÝM INTEGROVANÝM PŘEDŘADNÍKEM	25
4.3 VÝHODY KOMPAKTNÍCH ZÁŘIVEK.....	27
4.4 NEVÝHODY KOMPAKTNÍCH ZÁŘIVEK	27
4.5 NEJČASTĚJŠÍ OMYLY U KOMPAKTNÍCH ZÁŘIVEK	28
5 HALOGENOVÉ ŽÁROVKY.....	29
5.1 VÝHODY HALOGENOVÝCH ŽÁROVEK	32
5.2 NEVÝHODY HALOGENOVÝCH ŽÁROVEK.....	32
6 SVĚTELNÉ ZDROJE LED	33
6.1 VÝHODY SVĚTELNÝCH ZDROJŮ LED	36
6.2 NEVÝHODY SVĚTELNÝCH ZDROJŮ LED.....	36
6.3 HLAVNÍ OBLASTI POUŽITÍ SVĚTELNÝCH ZDROJŮ LED	36
7 FOTOMETRIE	39
7.1 JEDNOTKY VE FOTOMETRII	40
7.2 MĚŘENÍ SVÍTIVOSTI POMOCÍ LUXMETRU	41
7.3 MĚŘENÍ SVĚTELNÉHO TOKU	42
8 VLASTNÍ MĚŘENÍ.....	44
8.1 POMŮCKY.....	44
8.2 POSTUP MĚŘENÍ.....	46
8.2.1 LUXMETR LX-101	47
8.2.2 VERNIER.....	47
9 DISKUZE NAMĚŘENÝCH HODNOT	49
9.1 LED ŽÁROVKA BL1 9 W STUDENÁ BÍLÁ E27 SMD5630.....	49

9.2 LED ŽÁROVKA 7 W E27 NEUTRÁLNÍ BÍLÁ	51
9.3 LED ŽÁROVKA 3W E14 TEPLÁ BÍLÁ, VLÁKNO	53
9.4 LED ŽÁROVKA ENF010 - C35J - 3 W	55
9.5 LED ŽÁROVKA 4x1 W E27 TEPLÁ BÍLÁ	57
9.6 KLASICKÁ ŽÁROVKA OSRAM 75 W	59
9.7 KLASICKÁ ŽÁROVKA NBB BOHEMIA 75 W	61
9.8 KLASICKÁ ŽÁROVKA NOVALINA 100 W MLÉČNÁ	63
9.9 KLASICKÁ ŽÁROVKA NBB BOHEMIA 40 W	65
9.10 KLASICKÁ ŽÁROVKA RADIUM 60 W	67
9.11 KLASICKÁ ŽÁROVKA TESLA 200 W	69
9.12 KLASICKÁ ŽÁROVKA TES - LAMPS 60 W	71
9.13 KOMPAKTNÍ ZÁŘIVKA KONNOC 11 W	73
9.14 KOMPAKTNÍ ZÁŘIVKA ECO LITE 46 W	75
9.15 KOMPAKTNÍ ZÁŘIVKA HALLUX 8 W	77
9.16 MĚŘENÍ DLOUHODOBÉ ŽÁROVKY	79
10 ZÁVĚR	80
11 ZDROJE	82
12 PŘÍLOHY	84
12.1 PŮSOBENÍ FRANTIŠKA KŘÍŽÍKA A VEŘEJNÉ OSVĚTLENÍ V JINDŘICHOVĚ HRADCI	84
12.2 KŘÍŽÍKOVA ELEKTRÁRNA V JINDŘICHOVĚ HRADCI	86

1 ÚVOD

Problematika osvětlení zajímala lidstvo už odedávna. Nejdříve lidé svítili ohněm, později se objevily petrolejové lampy, plynové a obloukové lampy, až přišel vynález žárovky, která byla vynalezena v roce 1879. Od té doby vývoj žárovky hodně posunul a vylepšil. Vyrábí se nové druhy novými metodami, žárovky se zmenšují a vymýšlí se nové tvary.

Dnes už máme několik druhů žárovek – klasické žárovky, kompaktní zářivky, halogenové žárovky, světelné zdroje LED. A každý tento druh má nespočet typů, podle výkonu, tvaru, barvy světla, úspory energie, atd.

V dnešní době už na trhu nejsou klasické žárovky. Ale velmi se rozrůstá trh s kompaktními zářivkami a hlavně s LED žárovkami, je jich čím dál větší množství, různé typy a tvary. Bohužel cena LED žárovek je pořád dost vysoká pro běžné používání v domácnosti.

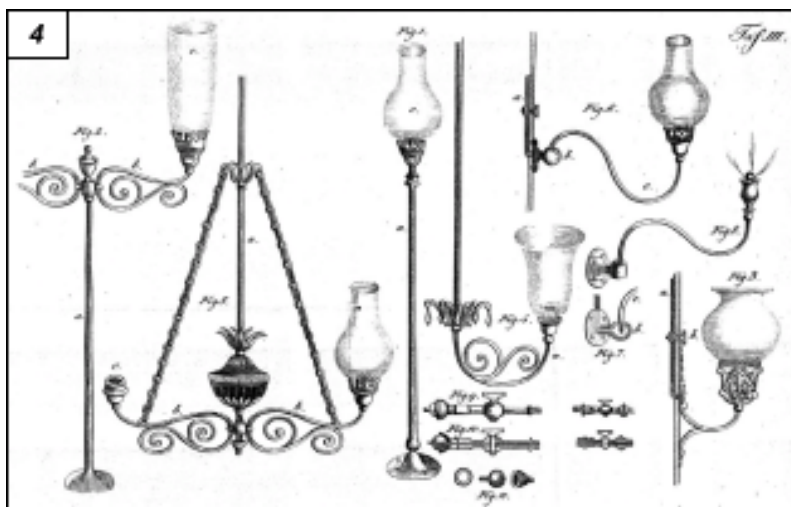
Tato bakalářská práce se zabývá měřením různých druhů světelných zdrojů, jako jsou klasické žárovky, kompaktní zářivky, halogenové žárovky a světelné zdroje LED. Tyto světelné zdroje se pohybují v různých cenových kategoriích v závislosti na druhu žárovky a na výrobcu. Naměřené hodnoty jsou zpracovány, je spočítána svítivost, světelný tok a světelná účinnost. Jsou porovnané mezi sebou podle druhu a v poměru cena, světelná účinnost. Jsou sestaveny vyzařovací diagramy a u některých jsou naměřeny i grafy náběhu na plný výkon žárovky. Jedna žárovka byla měřena i dlouhodobě, aby bylo zjištěno, zda její svítivost slábně nebo zůstává stejná po svícení několika stovek hodin.

2 HISTORIE

2.1 VÝVOJ ŽÁROVKY

Lidé už stovky let potřebovali zdroj světla. Dříve se používal oheň, ale byl těžší na údržbu, velkým nebezpečím bylo možné vzplanutí. Z ohně a později ze svíček ale vycházelo špatné, slabé a mihotavé světlo. Později se začaly používat petrolejové lampy, které už začaly být bezpečnější, ale pořád nabízely pouze slabé a mihotavé světlo.

Jelikož byl vynalezen automobil a lidé chtěli jezdit i v noci, bylo potřeba nalézt lepší zdroj světla. A tak se zrodilo acetylénové světlo, acetylén je jednoduché vyrobit, ale také snadno vybuchuje. Velkým pokrokem plynového osvětlení byla výroba svítiplynu. Roku 1792 objevil plynové osvětlení britský inženýr a vynálezce William Murdoch. Francouzský chemik Phillippe Lebron dostal patent na plynovou lampu roku 1799. Plynového osvětlení se lidé nejdříve báli, mysleli si, že v trubkách šlehají plameny. V polovině 19. století byla plynovým osvětlením osvětlena velká evropská města včetně Prahy. Plynové lampy nakonec vydržely až do poloviny 20. století a v Praze zhasla poslední plynová lampa v roce 1985. [5]

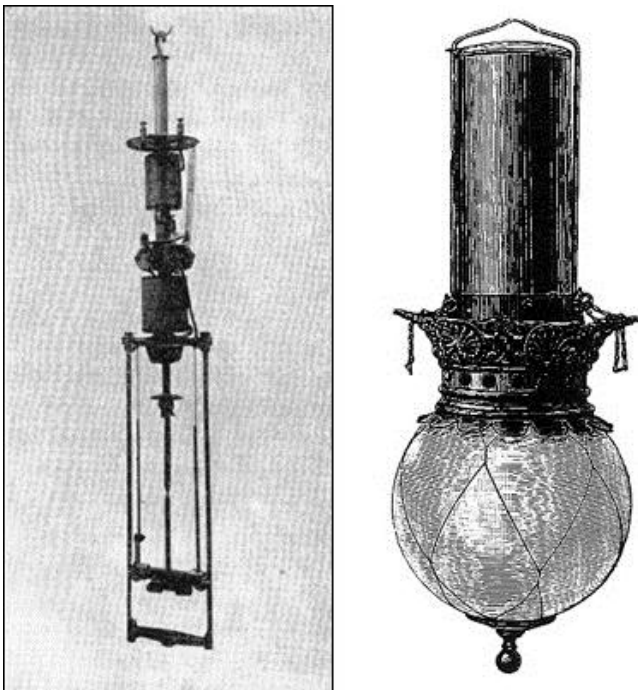


Obrázek 2.1: Anglická plynová svítidla z doby kolem roku 1815 [1]

U plynových lamp však byla jedna velká nevýhoda. Každá se musela samostatně rozsvítit a zhasnout. Navíc se s průběhem let dral dopředu nový zdroj energie – elektřina.

Již při dřívějších pokusech bylo objeveno, že platinový drátek, kterým prochází elektrický proud, se rozžhaví a svítí, a mezi dvěma hroty vznikne oblouk, který rovněž svítí. Bylo nutné najít vhodný materiál na elektrody a bylo nutné zajistit stálou vzdálenost elektrod. Jako první tyto podmínky splnil francouzský fyzik Jean Bernard Léon Foucault, elektrody byly uspořádány v ose a jejich posuv zajišťovalo poměrně složité zařízení.

Dalším vynálezcem byl ruský vojenský inženýr Pavel Nikolajevič Jabločkov, který umístil elektrody paralelně vedle sebe do optimální vzdálenosti. Na pozdějším zdokonalování „obloukovek“ se mimo jiné podílel i český elektrotechnik František Křižík, který za zdokonalený typ obloukové lampy se solenoidem obdržel v roce 1881 na výstavě první cenu. Velkou nevýhodou obloukových lamp byla krátká životnost elektrod, tu se modernizací podařilo odstranit, ale to už vznikaly žárovky. [5]



Obrázek 2.2: Křižíkova oblouková lampa [3]

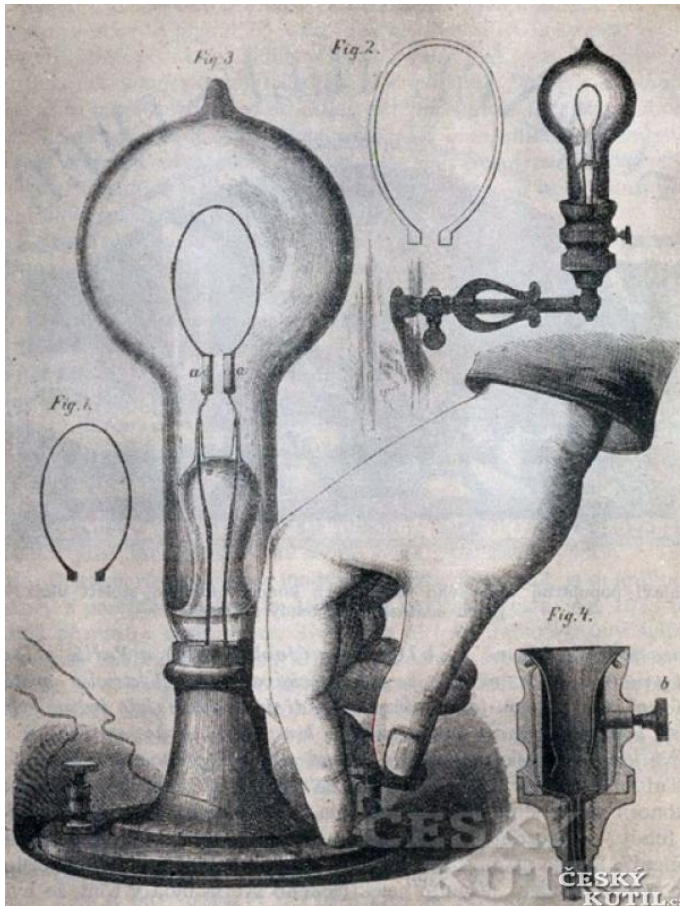
Za vynálezce žárovky je považován Thomas Alva Edison, není to však pravda, princip žárovky byl znám už dříve, Edison jej ale dokázal dobře prodat.

Velmi slibným směrem se vydal už roku 1809 britský vynálezce Humphry Davy, když nechal elektrický proud procházet tenkým platinovým drátkem. O třicet let později Warren de la Rue platinový drátek zatavil do skleněné trubičky a vyčerpал z ní vzduch. Žárovka byla na světě. Vysoká cena platiny však odrazovala od běžného použití. Problémem žárovky se v této době zabývalo několik dalších vynálezců.

Američan John Wellington Starr použil roku 1845 místo platiny levný uhlík. Pokusy s uhlíkem v USA se také zabýval německý hodinář Heinrich Göbel. Roku 1854 sestrojil žárovku, v níž se žhavilo zuhelnatěné vlákno bambusu. Jeho žárovka dokázala svítit 220 hodin, což je déle než budoucí Edisonova žárovka. Heinrich Göbel ale neměl peníze na patentové zařízení, a tak žárovkami osvětloval pouze svoje hodinářství. V tutéž dobu se žárovkami zabýval i britský fyzik Joseph Swan. Uhlík pro vlákna získával z bavlny a roku 1880 získal britský patent.

Komerční využití žárovek zajímalo velkopodnikatele a vynálezce Hirama Maxima. Ten skoupil všechny dosavadní patenty a roku 1878 založil firmu na výrobu žárovek. Jeho zaměstnanci vymýšleli zlepšování, prodloužili životnost žárovky na stovky hodin a vymysleli další praktická zlepšení.

Až roku 1878 se žárovkami začal zabývat Thomas Alva Edison. Nedostatek technického vzdělání nahrazoval bezhlavým experimentováním a opisováním od konkurence. V říjnu 1879 jeho žárovka vydržela svítit 13,5 hodiny a tento skromný výkon bývá paradoxně označován za zrod nového věku, éry elektrického světla. Edison ve všech žárovkách používal uhlíkové vlákno. Ve srovnání s Göbelem slavil svůj úspěch skoro okamžitě, získal si své obdivovatele. Aby žhavá vlákna Edisonovy lampy byla trvanlivá a hned se nespálila, jsou zatavena v balonech nejvzduchoprázdnějších. [6]



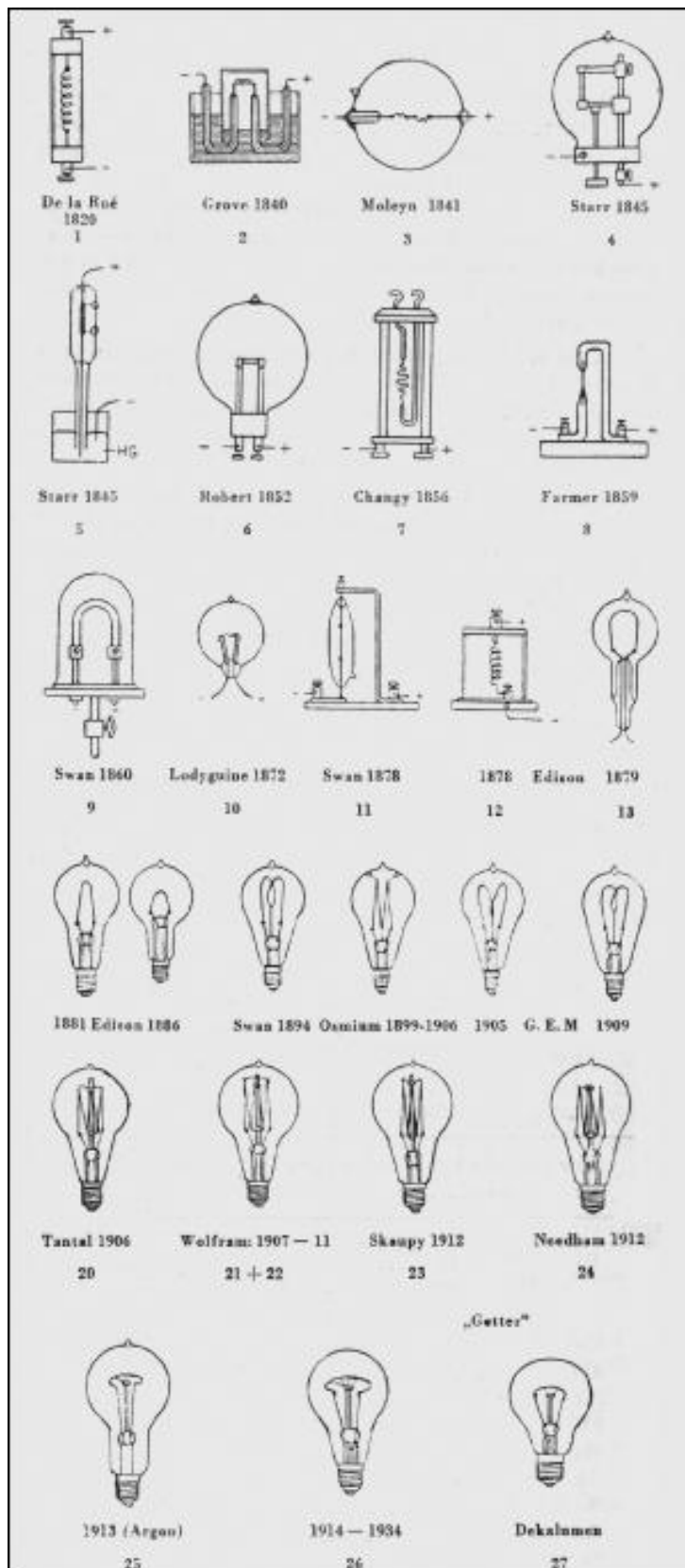
Obrázek 2.3: Reklamní plakát Edisonovy žárovky [2]

Wolframové vlákno, které je v dnešních žárovkách, objevili Sándor Just a Franjo Hanaman, kteří roku 1904 získali maďarský patent. O rok později založili společnost Tungstam, která začala vyrábět první skutečně moderní žárovky.

Rok	Původce	Zdroj světla	Provedení
1820	De la Rué	platinová spirála	spirála upevněná v nevyčerpané rouře
1840	Grove	platinová spirála	spirála v nádobě oddělené vodou od okolního vzduchu
1841	Moeyn	platinová spirála	spirála ve vyčerpané baňce
1841	Moleyn	platinová spirála	spirála svítla ve vyčerpané baňce
1845	King-Starr	platinový pásek	pásek svítal ve vyčerpané baňce a mechanicky se natahoval
1845	King-Starr	platinový pásek	zvýšení vakua barometricky, pomocí rtuti
1846	Staite-Greener	uhlíková tyčinka	tyčinka svítla ve vakuu
1848	Staite	iridiové vlákno	vlákno svítlo ve vyčerpané baňce
1849	Petrie	iridiové vlákno	vlákno svítlo ve vyčerpané baňce
1852	Robert	grafitová tyčinka	tyčinka svítla ve vyčerpané skleněné baňce
1854	Göbel	uhlíkové vlákno	vlákno svítlo v podlouhlé vyčerpané skleněné rouře
1856	De Changy	platinová spirála	vlákno svítlo ve vzdušném prostoru, vytvořena jako stolní svítidlo a stropní závěs
1859	Farmer	platinový pásek	pásek upevněn mezi kontakty ve vzdušném prostoru
1860	Swan	zuhelnatělý papír	proužek ve tvaru U ve vyčerpané baňce
1872	Lodygin	grafitová tyčinka	tyčinka svítla ve vyčerpané baňce plněné dusíkem
1877	Maxim	platinové vlákno	vlákno svítlo ve vyčerpané skleněné baňce
1877	Sawyer-Man	uhlíkové vlákno	vlákno svítlo ve vyčerpané baňce, spor s Edisonem o patent číslo 205144
1878	Lane-Fox	platinoiridiové vlákno	vlákno svítlo ve vyčerpané skleněné baňce
1878	Swan	uhlíkové vlákno	vlákno svítlo ve vyčerpané skleněné baňce, která byla oboustranně zúžena
1878	Edison	platinová spirála	spirála svítla ve vyčerpané rourovité skleněné baňce
1878	Edison	uhlíkové vlákno	vlákno svítlo v baňce dnešního tvaru
1881	Edison	uhlíkové vlákno	jednotná řada žárovek s napětím 110 V opatřená Edisonovou paticí
1886	Edison	uhlíkové vlákno	jednotná řada žárovek s napětím 55 V, žárovky svítily po dvou v sérii na napětí 110 V
1894	Swan	vlákno ze stříkané celulózy	vlákno svítlo v baňce dnešního tvaru

1897	Nernst	thorium-cer, zirkon	tyto prvky umožňovaly zlepšit světelné vlastnosti (bílé světlo)
1899	Welsbach	osmiové vlákno	vlákno svítilo ve vyčerpané baňce po dvou kusech v sérii
1905	G.E.M.	uhlíkové vlákno	vlákno svítilo ve vyčerpané skleněné baňce, po dvou v sérii na napětí 110 V, opatřena Edisonovou patičí
1906	G.E.M.	uhlíkové vlákno	vlákno svítilo ve vyčerpané baňce na napětí 110 V
1907	Gen.El.Com.	wolframové vlákno	vlákno vyrobeno z wolframového prášku spojeného arabskou gumou a cukrem, hmota tlačena do úzkých tyčinek, které nebyly tolik křehké, svítilo ve vakuu
1909	Bolton	tantalové vlákno	vlákno svítilo ve vyčerpané baňce
1912	Skaupy	wolframové vlákno	použita látka Getter, která zabraňovala černání baněk
1912	Needham	wolframové vlákno	použita látka Getter, která zabraňovala černání baněk
1913	Langmuir	wolframová spirála	vlákno svítilo v baňce poprvé naplněné směsí argonu a dusíku
1914	kartel žárovkáren	wolframová spirála	moderní jednotná řada žárovek, nejprve odstupňována podle počtu svíček, potom podle výkonů, opatřena Edisonovou nebo Swanovou patičí
1934 až nyní	kartel žárovkáren	wolframová spirála	moderní, plynem plněná žárovka s dvojitým vinutým vláknem, řada žárovek odstupňována podle lumenů, wattů

Tabulka 2.1: historický vývoj žárovky [2]



Obrázek 2.4: Přehled vývoje jednotlivých typů žárovek [2]

2.2 HISTORIE VEŘEJNÉHO OSVĚTLENÍ

V roce 1558 nechal král Jindřich II. po Paříži rozmístit 736 kotlů se zapálenou smůlou, aby bylo v noci nějaké světlo. Podobné nařízení vydal i Rudolf II., i když až o padesát let později. V Praze bylo zavedeno trvalé osvětlení roku 1723, kdy byla celkem 121 olejovými lucernami osvětlená tzv. Královská cesta. Lucerny měly svítit jen v zimě a po celou noc. Počet luceren se v Praze zvyšoval, především zásluhou měšťanů, kteří si lucerny věšeli nad dveře svých domů. V 1823 už bylo v Praze na 1050 luceren.

Na počátku 19. století se začínají používat plynové lampy. Mezi prvními osvětlenými místy byla londýnská třída Pall Mall a Westminsterský most, v roce 1815 bylo plynové osvětlení i v Paříži. Winsor, který toto osvětlení zaváděl, údajně pocházel ze Znojma. V Praze byla postavena plynárna, která poprvé dodala plyn v roce 1847. V Praze bylo nejdříve osvětleno Staroměstské náměstí, Národní třída, Celetná ulice, Karlova ulice a Ovocný trh. O pár desítek let později byly postaveny plynárny na Žižkově a na Smíchově.

První veřejná žárovková osvětlení byla instalována roku 1881 v Anglii a v USA. První elektricky osvětlené místo v českých zemích bylo brněnské divadlo, a to už roku 1882. Jako první město u nás roku 1887 byl osvětlen Jindřichův Hradec, v Panské ulici a na náměstí bylo 17 žárovek, dalším městem byl Písek, na Velkém náměstí svítily čtyři Křižíkovy obloukové lampy. V Pražském Karlíně bylo první veřejné elektrické osvětlení na podzim 1888. O šest let později bylo osvětleno Václavské náměstí. [7]

3 KLASICKÁ ŽÁROVKA

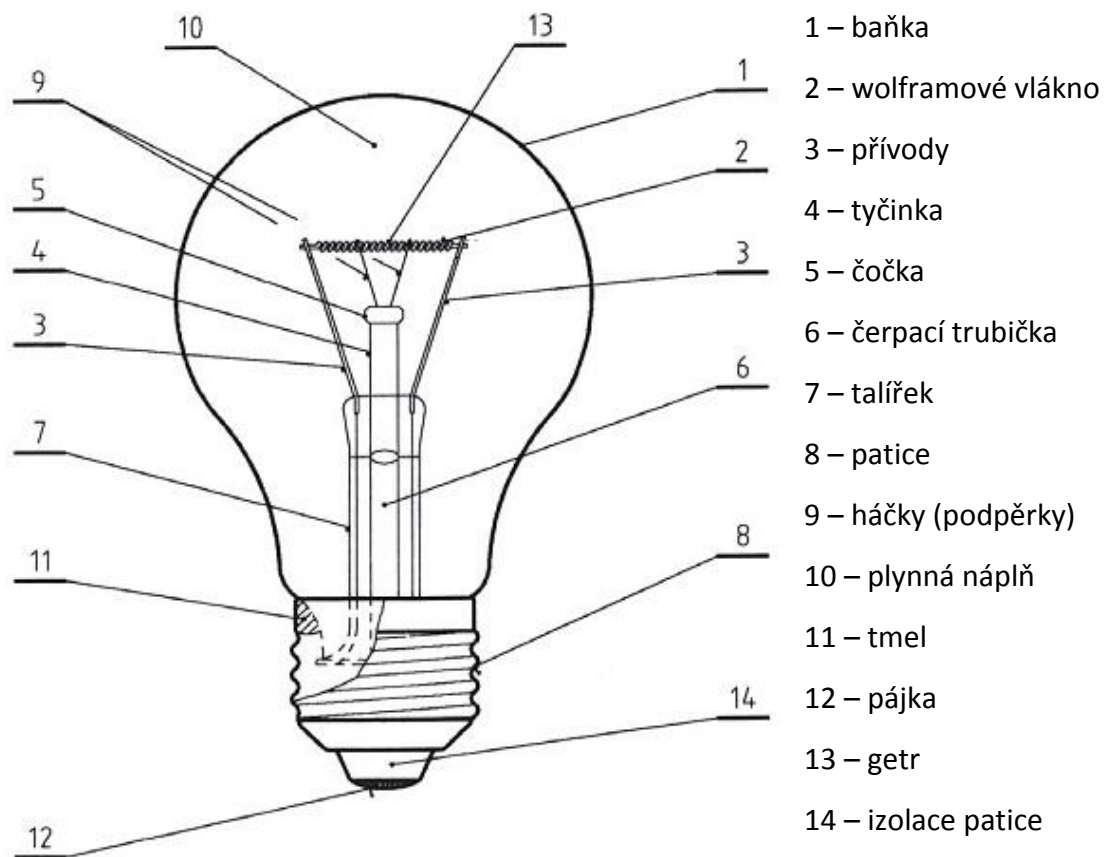
Jak již bylo zmíněno, u Edisonových žárovek bylo použito uhlíkové vlákno mezi dvěma elektrodami. Jak vidíme na obrázku 1, v dnešních žárovkách se jako vlákno výhradně používá wolframový drátek, který odolává vysokým teplotám. Wolframový drátek má průměr od 10 μm u 15 W žárovek do 120 μm u 200 W žárovek. Drátek bývá svinut do jednoduché nebo dvojitě šroubovice. Vlákno je zafixováno přívody a podpěrnými molybdenovými háčky zapíchnutými do čočky tyčinky, která s dalšími skleněnými polotvary (talířkem a čerpací trubičkou) tvoří tzv. nožku.

Vnější baňka je vyrobena ze sodnovápenatého skla a do něj je zatavena nožka s vláknem. Baňka může být čirá, matovaná, barvená, zrcadlená. Z baňky je vyčerpán vzduch, zbytky nežádoucích plynů, hlavně kyslíku a vodíku, jsou pohlceny getrem (červený fosfor nebo nitrid fosforu), který je nanesený na vlákno nebo konce přívodů po montáži vlákna na nožku. U standardních žárovek do 15 W je obvykle baňka vakuovaná, u silnějších žárovek je plněna směsí dusíku a argonu, někdy také kryptonem nebo dokonce xenonem. Tyto náplně umožňují vyšší provozní teploty vlákna, omezují jeho stárnutí a zabraňují černání baňky, a zlepšují tím stabilitu světelného toku během svícení. Náplň je volena tak, aby se za provozu tlak v baňce přibližně vyrovnal tlaku atmosférickému, aby nedošlo k prasknutí žárovky.

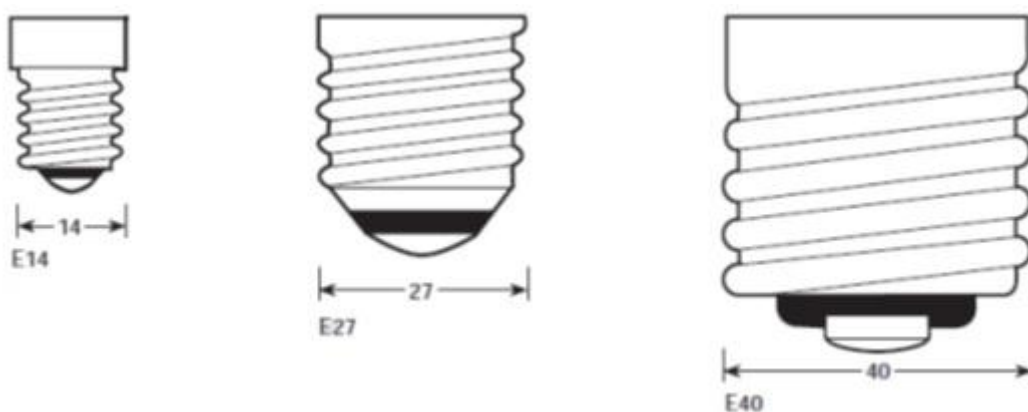
Přívody jsou součástí elektrického obvodu, obvykle se skládají ze tří částí. Vnitřní část je vyrobena z niklu nebo poniklovaného železa. Prostřední část přívodu je vyrobena z tzv. plášťového drátu s činitelem teplotní roztažnosti odpovídajícím teplotní roztažnosti skleněného talířku. To zajišťuje vakuově těsné spojení kovových a skleněných částí žárovky, umožňující udržet potřebné vakuum nebo inertní prostředí v žárovce v průběhu celé její životnosti. Vnější část přívodu je většinou zhotovena z monetu (slitina niklu a mědi) o malém průměru (160 – 180 μm). Zajišťuje zároveň elektrický kontakt s objímkou svítidla prostřednictvím patice. Vnější část přívodu zároveň plní funkci pojistky (v případě vzniku výboje při přerušení vlákna v žárovkách plněných plynem). Přívody jsou s paticí spojeny buď pájením běžnými pájkami Sn - Pb nebo ekologicky čistším svářením.

Obyčejné žárovky jsou obvykle opatřeny závitovou patičí E27, nejčastěji zhotovenou z hliníku nebo galvanicky poniklované mosazi, nebo bajonetovou patičí Ba22d. Patice je k baňce připevněna speciálním tmelem. [12]

Žárovky stárnou podle doby svícení. Jejich životnost se počítá v tisících hodin a je poměrně závislá na počtu rozsvícení a zhasnutí. Jakožto teplotní světelný zdroj dávají stále spojité světelné spektrum, proto jsou vhodné do domácnosti.



Obrázek 3.1: Konstrukce klasické žárovky [8]



Obrázek 3.2: Patice E14, E27, E40 [18]

3.1 PARAMETRY KLASICKÉ ŽÁROVKY

„Energetická účinnost přeměny elektrické energie na světelnou je u vakuových žárovek asi 7 %, u žárovek plněných plynem asi 10 %. Vztáhne-li se však tento parametr na citlivost lidského oka, tj. vypočítá-li se světelná účinnost uvedené přeměny přiváděné energie, dosáhne se hodnoty ještě nižší – u vakuových žárovek 1,5 až 2 % a 3 až 4 % u žárovek plněných plynem. Zbývající energie se spotřebovává neproduktivně a z hlediska vlastního světelného zdroje je nutné ji považovat za ztrátu. Měrný výkon žárovek lze sice zvýšit zvýšením teploty vlákna (teoreticky lze dosáhnout hodnoty až přibližně 50 lm/W, odpovídající teplotě tání wolframu, avšak při nulovém životě), přitom ale zároveň roste i rychlost vypařování wolframu, který se ve zvýšené míře usazuje na vnitřní stěně baňky. Výrazně se tak zkracuje život vlákna a zintenzivňuje černání vnější baňky, a tudíž i rychleji klesá světelný tok. Tento pokles u obyčejných žárovek na konci jejich života dosahuje 20 až 25 %. Mezi napájecím napětím a životem se v běžném rozsahu změn napětí projevuje výrazná exponenciální závislost daná vztahem:

$$T / T_n = (U / U_n)^{-14} \quad (1)$$

kde T je život při napětí U , T_n život při jmenovitém napětí U_n .

Tuto vazbu mezi teplotou vlákna (resp. životem žárovky) a napájecím napětím je nutné mít vždy na zřeteli při výběru vhodného typu žárovky podle konkrétního napětí sítě. Například při běžném přepětí +10 % od jmenovité hodnoty se sice zvýší měrný výkon o asi 25 %, ale zkrátí se i život žárovky, a to až o 75 %. V takových případech je účelné použít žárovky na jmenovité napětí např. 240 V, které jsou rovněž běžně dodávány do obchodní sítě. Menší napětí naopak sice život významně prodlužuje, avšak na úkor měrného výkonu, takže provoz v takových podmínkách je ještě méně hospodárný. Určitého zlepšení účinnosti žárovek lze dosáhnout změnou plynné náplně: argon se nahradí kryptonem. Krypton totiž díky nižší tepelné vodivosti poněkud omezuje tepelné ztráty a vlivem větší molekulové hmotnosti snižuje rychlost vypařování wolframu. Při stejném životě lze tedy zvýšit teplotu vlákna, takže světelný tok takové žárovky v porovnání s žárovkou s klasickou argonovou náplní je podle příkonu vyšší o 4 až 9 %. S ohledem na vysokou cenu kryptonu je však použití tohoto plynu omezeno na žárovky s opalizovanou baňkou, jež se vyznačují měkkým difuzním světlem vhodným spíše pro dekorační osvětlení. Tomu odpovídá i typický hříbkovitý tvar baňky a vyšší cena žárovky.“ [10]

Příkon žárovky (W)	15	25	40	60	75	100	150	200
Světelný tok (lm)	90	230	430	730	960	1380	2220	3150
Měrný výkon (lm/W)	6	9,2	10,75	12,2	12,8	13,8	14,8	15,75

Tabulka 3.1: Světelně technické parametry obyčejných žárovek 15 až 200 W s životem 1000 h při jmenovitém napětí 230 V. [10]

Přehled základních parametrů obyčejných žárovek pro všeobecné osvětlování					
Příkon (W)	napětí (V)			max. průměr baňky (mm)	max. délka (mm)
	125	230	240		
	světelný tok (lm)				
25	260	230	225	60	105 (108)
40	490	430	410	60	105 (108)
60	820	730	700	60	105 (108)
75	1070	960	930	60	105 (108)
100	1560	1380	1330	60	105 (108)
150	2460	2200	2160	65	124
200	3360	3150	2980	80	162
300	x	5000	x	90	189
Pozn. Baňka žárovek čirá nebo matovaná. Patice E27 (do 200 W)					

Tabulka 3.2: Přehled základních parametrů obyčejných žárovek pro všeobecné osvětlování [11]

3.2 VÝHODY KLASICKÉ ŽÁROVKY

- Jednoduchá konstrukce, jednodušší a levnější výroba
- Jas žárovky se dá plynule regulovat, lze ji stmívat
- Ekologicky nezávadné
- Několikanásobně levnější
- Vyzařují spojité spektrum světla
- Kombinovaný světelný a tepelný zdroj
- Vynikající podání barev osvětlovaných předmětů
- Okamžitý start bez blikání, téměř okamžité ustanovení světelného toku
- Možnost konstruovat žárovky pro široký rozsah napájecího napětí
- Jednoduchý provoz a jednoduchá výměna
- Libovolná poloha svícení
- Téměř nulová úroveň ultrafialového záření
- Snadná likvidace vyhořelých žárovek (možno vyhazovat do komunálního odpadu)

3.3 NEVÝHODY KLASICKÉ ŽÁROVKY

- Vysoká spotřeba energie
- Celkem krátká životnost (1000 hodin)
- Pouze necelých 10 % uvolněné energie je světlo, zbytek je teplo
- Za provozu je velmi horká
- Při styku hořlavé látky se zahřátou žárovkou hrozí nebezpečí požáru
- Nízká mechanická odolnost vůči otřesům a nárazům

3.4 NAHRAZOVÁNÍ KLASICKÝCH ŽÁROVEK

V řadě států byla schválena určitá podoba zákazu prodeje klasických žárovek. Jeho cílem je nahradit žárovky účinnějšími zdroji světla. Brazílie a Venezuela začaly s odstraňováním v roce 2005. Evropská unie, Švýcarsko a Austrálie v roce 2009.

V roce 2007 kanadská vláda vyhlásila, že do roku 2012 hodlá zakázat klasické žárovky a tím přispět k obrovskému snížení emisí oxidu uhličitého.

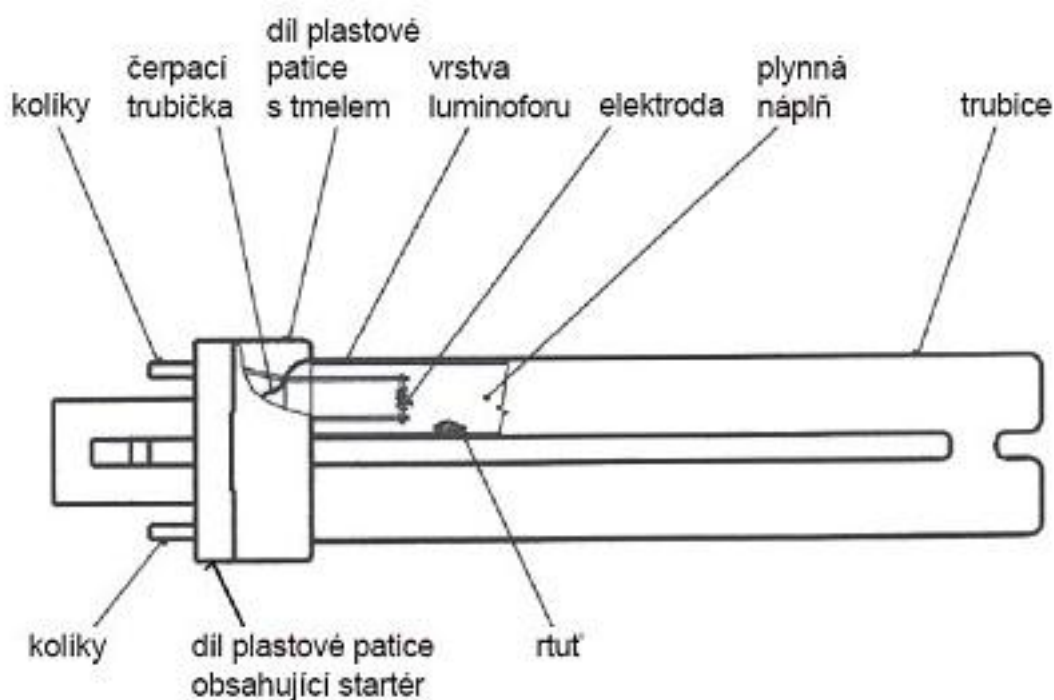
Evropský parlament vydal směrnici o ekodesignu pro světelné zdroje pro domácnost (nařízení Komise (ES)č. 244/2009 ze dne 18. března 2009, kterým se provádí směrnice 2005/32/ES Evropského parlamentu a Rady. Klasické žárovky však mohou dále existovat takové, které jsou určené pro divadelní osvětlovací techniku, pro osvětlení terárií, ledniček a pečících trub či jako osvětlení k zrcadlům.

Od roku 2009 do roku 2012 byly postupně staženy všechny klasické žárovky z prodeje a jsou nahrazovány efektivnějšími žárovkami. [14]

4 KOMPAKTNÍ ZÁŘIVKA

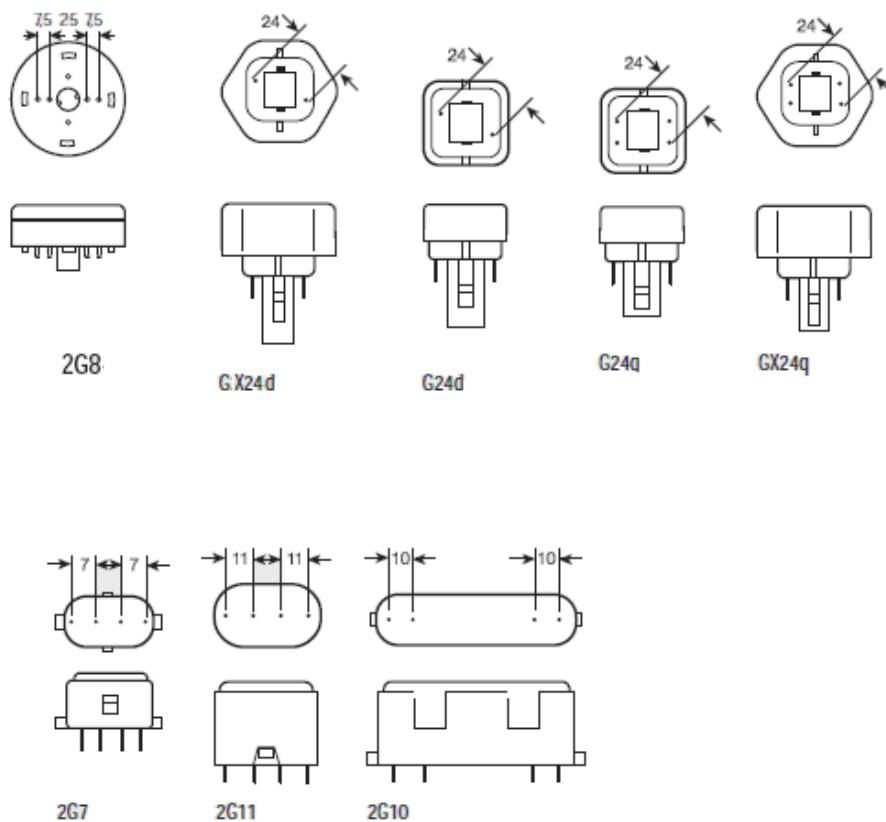
Kompaktní zářivka je často nesprávně nazývaná jako úsporná žárovka. Pracuje na stejném principu jako lineární zářivka. Kompaktní zářivky byly navrženy, aby nahradily klasické žárovky. První kompaktní zářivky byly vyrobeny v roce 1980, od té doby jejich výroba roste a rozšiřuje se sortiment, vyrábějí se různé velikosti a tvary. Jejich rozměry a tvary bývají někdy problematické při montování do starších typů svítidel. Dnes už se vyrábí svítidla konstruovaná na kompaktní zářivky.

„Fyzikální princip činnosti kompaktní zářivky je obdobný jako u lineárních zářivek, tj. jde o nízkotlakou rtuťovou výbojku, v níž je hlavní část světla vyzařována vrstvou luminoforu buzeného ultrafialovým zářením výboje. Konstrukční odlišnosti lze vysvětlit na příkladu čtyřnásobné zářivky (obr. 7), která patří k nejrozšířenějším typům této skupiny.“ [16]



Obrázek 4.1: Konstrukce kompaktní zářivky se zabudovaným doutnavkovým startérem a paticí G24-d. [16]

Vlastní výbojová trubice je zhotovena z měkkého olovnatého skla. Je na obou koncích opatřena wolframovými elektrodami, které jsou pokryty emisní hmotou. Dnes už se vyrábí i trubice ze speciálních skel, které již neobsahují ekologicky nežádoucí olovo. Na vnitřní stěně trubice je nanesena vrstva tvořená směsí dvou (zeleného a červeného) nebo tří (zeleného, červeného a modrého) tzv. úzkopásmových luminoforů na bázi prvků vzácných zemin, jejichž výrazné maximum záření je v zelené, červené, popřípadě modré oblasti viditelného spektra. Ve směsi par rtuti a vzácného plynu svítí výboj. Rtuť je do zářivky dodávána v čisté formě nebo ve formě amalgámu vhodného kovu. Tím je zajištěn širší teplotní interval, v němž světelný tok dosahuje požadované teploty. Aby byla co nejvíce zkrácena doba dosažení jmenovitých hodnot, je u těchto zářivek použit ještě přídavný amalgám (např. kadmia), který přebírá funkci zdroje rtuti ihned po zapnutí do doby, než se rtuť uvolní ze základního amalgámu. Konce výbojové trubice jsou opatřeny příslušnou patičí. [16]



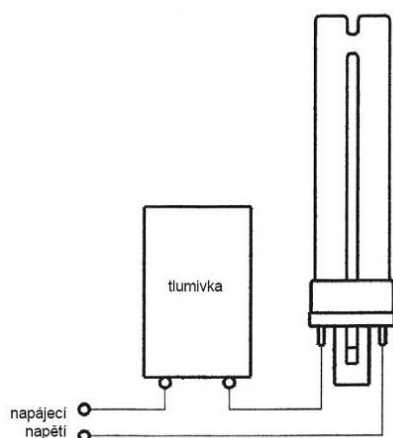
Obrázek 4.2: patice 2G8, GX24d, G24d, G24q, GX24q, 2G7, 2G11, 2G10

Kompaktní zářivky lze rozdělit do dvou skupin z hlediska obvodu:

- Kompaktní zářivka s vnějším předřadníkem
- Kompaktní zářivka s elektronickým integrovaným předřadníkem

4.1 KOMPAKTNÍ ZÁŘIVKA S VNĚJŠÍM PŘEDŘADNÍKEM

„Zářivky s vnějším předřadníkem tj. s tlumivkou nebo elektronickým předřadníkem pracujícím na vysoké frekvenci (30 až 40 kHz). Kompaktní zářivky určené pro provoz s tlumivkou jsou opatřeny dvoukolíkovou patičí (G23, G24d-1, 2, 3, GX24d-1, 2, 3), v níž je obvykle zabudován doutnavkový startér, jehož funkce je obdobná jako u startéru lineárních zářivek. Schéma zapojení pro jednu zářivku je uvedeno na obr. 2. Vyskytují se rovněž obvody, v nichž jsou dvě zářivky s příkonem 5, 7 nebo 9 W zapojeny do série s jednou tlumivkou. Jde o tzv. tandemové zapojení, které však vykazuje menší spolehlivost. Zářivky určené pro provoz s vnějším elektronickým předřadníkem mají čtyřkolíkovou patiči (např. 2G7, 2G11, G24q-1, 2, 3, GX24q-1, 2, 3, 4, 5, 6 apod.). Předřadník pracuje na vysoké frekvenci a zajišťuje tak zlepšené parametry osvětlení pracovní plochy a zvyšuje zrakovou pohodu. Všechny tyto zářivky vyžadují i odpovídající konstrukci svítidla, odlišnou od svítidel určených pro obyčejné žárovky. Při ukončení života zářivky postačí vyměnit pouze zářivku, což kompenzuje vyšší pořizovací cenu svítidla.“ [16]



Obrázek 4.3: Schéma zapojení kompaktní zářivky se zabudovaným doutnavkovým startérem [16]

4.2 KOMPAKTNÍ ZÁŘIVKA S ELEKTRONICKÝM INTEGROVANÝM PŘEDŘADNÍKEM

Zářivky s elektronickým integrovaným předřadníkem jsou určeny do žárovkových svítidel jako přímá a energeticky úspornější náhrada žárovky. Jsou opatřeny patičí E14, E27, popř. B22, nejnovější je řešení s patičí G28d. Předřadný obvod je umístěn v plastovém krytu, nedílné součásti zdroje.

Významný pokrok v oblasti miniaturizace a spolehlivosti součástkové základny při současném snížení její ceny poskytl možnost vytvořit předřadníky s velmi kompaktními rozměry. Ty, ve spojení s vhodně tvarovanou trubicí, popř. s využitím nové patice a objímky již vzpomínaného typu G28d (obr. 8), umožňují splnit důležitý požadavek: dodržet obrysové parametry příslušného typu žárovky. Konfigurace svíticí části zářivky je totiž důležitá z následujícího důvodu. Při výměně žárovky za zářivku v některých typech svítidel, jejichž světelně činná část byla konstruována pro žárovku, dochází na pracovní ploše k nežádoucímu snížení hladiny osvětlení, vyplývající ze změny rozložení svítivosti svítidla v souvislosti s nevhodným typem zvolené kompaktní zářivky.

Instalování kompaktní zářivky staršího typu, obvykle s větší celkovou délkou, v takových případech nepřináší žádoucí efekt snížení spotřeby energie. Nejnovější typy těchto kompaktních zářivek, zejména renomovaných výrobců, však již lze provozovat v žárovkových svítidlech bez podstatného ovlivnění podmínek osvětlenosti na pracovní ploše při výrazné úspoře elektrické energie.

Dosažené úspory, při podstatně delším životě zářivky, plně kompenzují zvýšené náklady na její pořízení již při první výměně žárovky. Nicméně v této souvislosti je nutné věnovat pozornost i té skutečnosti, že na trhu se objevuje velké množství různých typů zářivek od neznámých výrobců, které sice mají atraktivní ceny, ale i jim odpovídající nízkou kvalitou. K dosažení vysoké účinnosti a dostatečného života je totiž nezbytné mít k dispozici kvalitní technologii, používat špičkové luminofory, vhodnou sklovinu, přesnou geometrii trubice a kvalitní emisní hmoty. Komplikovanější technologie s využitím vhodných amalgámů eliminuje negativní vliv teploty okolí na světelně technické parametry.

Velmi důležitá je i konstrukce elektronického předřadníku, a to jak z hlediska použité součástkové základny, tak především z hlediska zajištění příznivých podmínek při zápalu zářivky. U jednoduchých, a tedy i levných obvodů (a to i při použití kvalitních součástek) zpravidla dochází ke studenému zápalu s negativním vlivem na život zářivky, zejména při častějším zapínání. Správně nastavený startovací režim má příznivý vliv na život zářivky a ani častější zapínání její život zdatelně neovlivňuje. Proto při nákupu kompaktní zářivky pouze podle zdánlivě přitažlivé ceny a bez respektování dalších důležitých okolností je možné zažít nepříjemné zklamání.“ [16]

Provedení výbojového prostoru	Jmenovitý příkon (W)	Měrný výkon (lm/W)	Typ patice a předřadníku
dvojité	5, 7, 9, 11	50 až 82	patice G23, zabudovaný doutnavkový startér, tlumivka
dvojité	5, 7, 9, 11	50 až 82	patice 2G7, vnější elektronický předřadník
dvojité	18, 24, 36, 40, 55, 80	67 až 87	patice 2G11, vnější elektronický předřadník
čtyřnásobné	10, 13, 18, 26	50 až 70	patice G24d-1, 2, 3 zabudovaný doutnavkový startér, tlumivka
čtyřnásobné	10, 13, 18, 26	50 až 70	patice G24q-1, 2, 3, vnější elektronický předřadník
šestinásobné	13, 18, 26	70	patice GX24d-1, 2, 3, zabudovaný doutnavkový startér, tlumivka
šestinásobné	13, 18, 26, 32, 42, 57, 70	70 až 76	patice GX24q-1, 2, 3, 4, 5, 6, vnější elektronický předřadník
čtyřnásobné	3, 5, 7, 8, 11	33 až 60	patice E14, integrovaný elektronický předřadník
čtyřnásobné (do 11 W)	5, 7, 8, 11, 12, 14	48 až 65	patice E27, integrovaný elektronický předřadník
šestinásobné (od 15W)	15, 16, 20, 23		
čtyřnásobné (7 W)	7	51 až 57	patice G28d, integrovaný elektronický předřadník
šestinásobné (11 W)	11	60	

Tabulka 4.1: Elektrické a světelně technické parametry základních druhů kompaktních zářivek [16]

4.3 VÝHODY KOMPAKTNÍCH ZÁŘIVEK

- Úspora energie, až 80 %
- Delší životnost, až 20 000 hodin
- Vysoká světelná účinnost
- Vešší interval provozních teplot (-10 až +70 °C)
- Odpovídají mezinárodním bezpečnostním standardům
- Různé tvary a velikosti
- Za provozu je chladná
- Je možné vybírat z různých barev světla

4.4 NEVÝHODY KOMPAKTNÍCH ZÁŘIVEK

- Doba rozsvícení na plný výkon, může trvat až 2 minuty
- Vyšší pořizovací náklady
- Obsahuje rtuť, musí se recyklovat
- Vyšší cena
- Nízká mechanická odolnost vůči otřesům a nárazům
- Omezená horní hranice příkonu
- Časem dochází k úbytku svítivosti
- Jen některé typy jdou stmívat

4.5 NEJČASTĚJŠÍ OMYLY U KOMPAKTNÍCH ZÁŘIVEK

- Dopad na zdraví
Potenciální účinky mohou být zapříčiněny ultrafialovým zářením. Při normálním používání však nemají vliv na zdraví člověka. Potenciální podráždění nadměrně citlivých osob bylo zaznamenáno pouze v případě dlouhodobého vystavení působení zdroje na krátkou vzdálenost (20 - 30 cm).
- Dopady na životní prostředí
Kvůli obsahu rtuti se musí likvidovat stejně jako elektrický odpad, nesmí se vyhazovat s normálním domácím odpadem.
- Životnost světelného zdroje
Pro současné kvalitní kompaktní zářivky platí, že časté zapínání a vypínání nemá vliv na jejich životnost. Na základě nejnovějších testů lze zářivky zapínat a vypínat několikrát denně až 20 let.
- Kvalita světla
I přes obecně rozšířené mínění, že jsou kompaktní zářivky „studené“, lze běžně koupit i „teplé“ kompaktní zářivky s barvou světla podobnou klasické žárovce.
- Kompaktní zářivky nelze stmívat
Obyčejné kompaktní zářivky nelze stmívat, dnes už se ale vyrábějí i stmívatelné typy.
- Žárovka jako zdroj tepla
Světelné zdroje by měly sloužit jen ke svému účelu, tedy ke svícení. Žárovka jako druh vytápění bytových prostorů není vhodná. [17]

5 HALOGENOVÉ ŽÁROVKY

Halogenové žárovky představují novou generaci teplotních světelných zdrojů. Žárovky jsou plněné plynem s příměsí halogenů nebo jejich sloučenin. Teprve v roce 1959 se objevily první informace o žárovkách, do jejichž plynné náplně se přidával jod, přičemž cílem bylo potlačit usazování wolframu na baňce a zvýšit stabilitu světelného toku během svícení, a prodloužit tak jejich užitečný život.

Uplatnění halogenů ve světelných zdrojích a dosažení očekávaných příznivých výsledků si vyžádalo velkého úsilí výzkumných pracovníků a vyvolalo podstatné změny v konstrukci žárovek. Bylo nezbytné vyloučit všechny konstrukční materiály, které by mohly reagovat s halogeny. Bylo zapotřebí přejít na teplotně i mechanicky odolnější materiály používané na výrobu baňky, aby bylo možné zajistit její minimální pracovní teplotu 250 °C.

Namísto měkké skloviny běžné u obyčejných žárovek se začalo používat křemenné nebo tvrdé sklo s podstatně vyšší mechanickou pevností a teplotní odolností. Díky tomu se výrazně zmenšily rozměry žárovky. Použití skla se zvýšenou mechanickou pevností umožnilo zvýšit pracovní tlak plynné náplně, což má velmi příznivý vliv na snížení rychlosti vypařování wolframového vlákna. [19]

Významným nepříjemným projevem použití křemenného skla místo normálního je, že tato žárovka se stává zdrojem ultrafialového záření, protože křemenné sklo je pro toto záření, na rozdíl od obyčejného skla, propustné. Při nadměrném vystavení se světlu halogenové žárovky by teoreticky bylo možné se i opálit, problém většinou zaznamenávají lidé s citlivým zrakem. Proto se nekryté halogenové žárovky pro všeobecné osvětlování povinně vyrábějí z křemenného skla s přísadou oxidu ceričitého nebo titaničitého, které škodlivé UV záření zcela blokují.

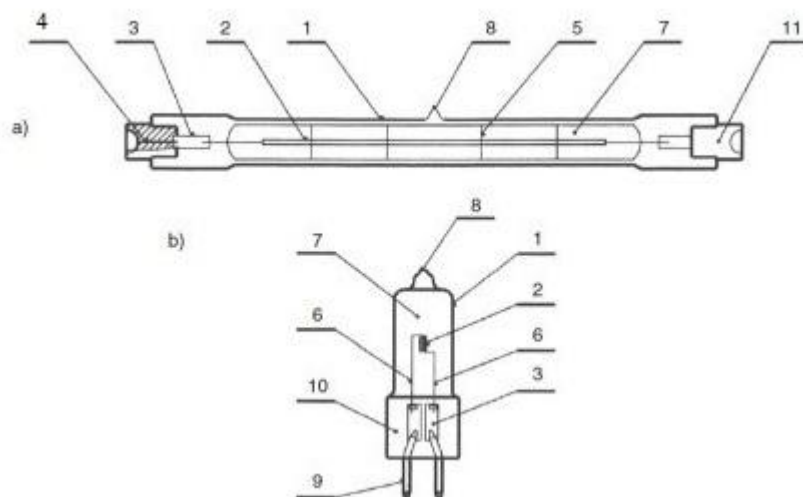
Křemenné sklo může být poškozeno následkem styku s nechráněnou pokožkou. Soli, obsažené v potu, se za provozu žárovky vleptávají do povrchu skla, způsobují změnu struktury, jeho rekystalizaci, přehřátí a nakonec prasknutí. Pokud dojde k dotyku skleněné baňky, má být očištěna technickým lihem. [20]

Konstrukce halogenových žárovek je na obrázku 5.1. Jak už bylo zmíněno, baňka žárovky je vyrobena z křemenného nebo tvrdého skla. Vlákno je jednoduše nebo dvojitě svinuté do šroubovice z wolframového drátu se speciálními vlastnosti, jež jsou nezbytné pro použití v halogenových žárovkách. U lineárních žárovek je vlákno fixováno v ose trubice wolframovými podpěrkami. Vakuový zátav je buď drátový (u tvrdého skla), nebo s použitím molybdenové folie (u křemenného skla). Použití tenké folie se specifickým průřezem je nezbytné z důvodu rozdílného činitele teplotní roztažnosti křemene a molybdenu.

Plynnou náplň tvoří inertní plyn, obvykle krypton a xenon nebo jejich směs, u žárovek na větší napětí než 12 V se používá ještě dusík a sloučenina obsahující halogen. Díky používané technice plnění vzácného plynu do žárovky (pomocí tekutého dusíku) dosahuje jeho pracovní tlak ve vypnutém stavu hodnoty několika barů, která se během svícení ještě příslušně zvyšuje. To snižuje rychlost vypařování wolframu z vlákna, což velmi příznivě ovlivňuje život žárovek.

Naproti tomu však může v ojedinělých případech žárovka explodovat, a mohou být tudíž ohroženy osoby v bezprostředním okolí. Proto je nutné takové žárovky provozovat ve svítidlech s přídatným ochranným krytem. Mnoho typů halogenových žárovek, zejména od vyspělých výrobců, však lze provozovat i v otevřených svítidlech, což je zpravidla uvedeno v katalogu nebo v průvodní dokumentaci k žárovce.

Jestliže v obyčejných žárovkách bylo dominujícím procesem vypařování wolframového vlákna a usazování atomů wolframu na stěnách baňky, v halogenových žárovkách se k tomuto procesu přidává působení termochemické transportní reakce wolframu s halogenem. Velmi zjednodušený model reakce je na obrázku 5.2. [8, 19]



Obrázek 5.1: Konstrukce halogenové žárovky [19]

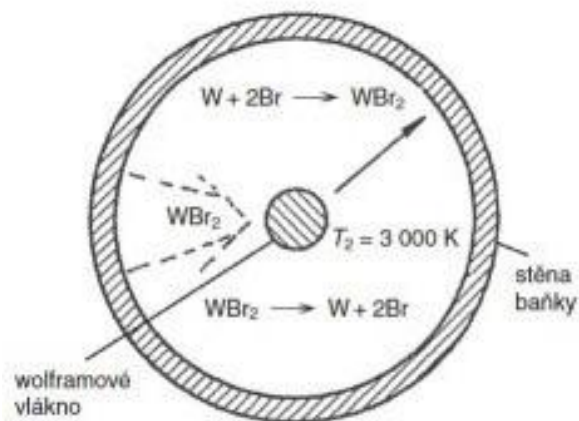
a) dvoustisková žárovka, b) jednotisková žárovka

1 – baňka, 2 – wolframové vlákno, 3 – molybdenová folie,

4 – molybdenový přívod, 5 – podpěrka, 6 – konečky vlákna,

7 – plynná náplň, 8 – odpalek čerpací trubičky, 9 – kolík, 10 – stisk,

11 – keramická patice



Obrázek 5.2: Zjednodušené schéma halogenového cyklu (schématický řez lineární halogenovou žárovkou) [19]

5.1 VÝHODY HALOGENOVÝCH ŽÁROVEK

- Okamžitě naběhne na plný výkon
- Má stejně jako klasická žárovka maximální barevné podání
- Je zhruba o 30 % úspornější než klasická žárovka
- Při stejném příkonu poskytuje více světla než klasická žárovka
- Lze je stmívat
- Neobsahuje rtuť, takže se nemusí likvidovat jako zvláštní odpad
- Dvakrát delší životnost oproti klasické žárovce
- Úbytek světla během života nepřesahuje 5 %
- Halogenové žárovky mají kompaktní rozměry, které umožňují konstruovat menší a materiálově úspornější svítidla s vyšší účinností (např. světlomety v automobilech)

5.2 NEVÝHODY HALOGENOVÝCH ŽÁROVEK

- Vyšší cena než u klasické žárovky
- Nižší účinnost než kompaktní zářivky
- Vysoká povrchová teplota
- Krátká životnost (2000 - 3000 hodin)
- Svítí pouze v teplé bílé barvě
- Použitím křemenného skla se tato žárovka stává zdrojem ultrafialového záření
- U žárovek na malé napětí je nutné používat konvenční nebo elektronický transformátor

6 SVĚTELNÉ ZDROJE LED

Oficiální český název je elektroluminiscenční dioda. Dále se možno setkat s pojmenováními jako světelná dioda, svítivá dioda, ojedinele svítivka. Slangově se nazývá ledka.

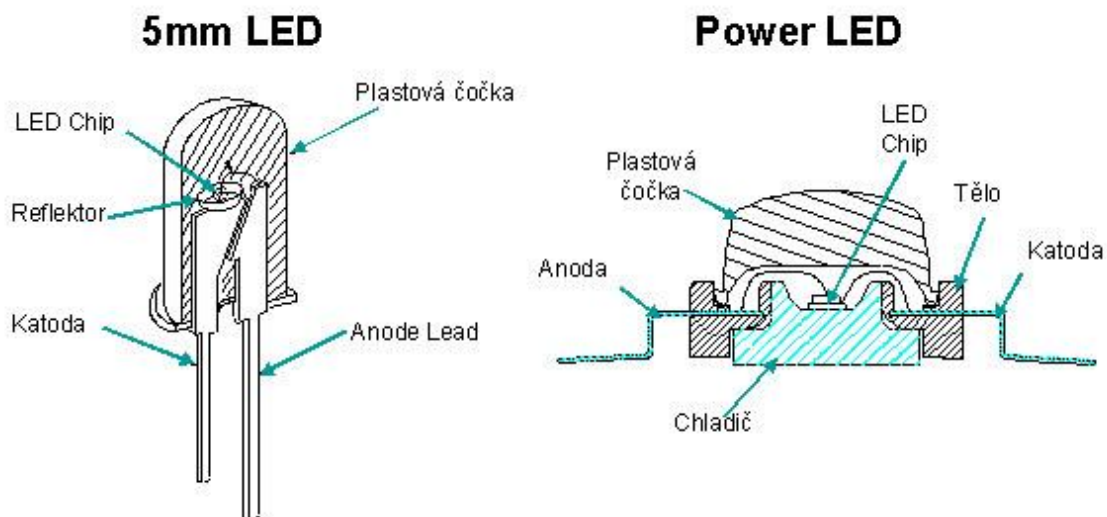
První LED (červené barvy) objevil na illinoiské univerzitě Nick Holonyak Jr. v roce 1962. V roce 1971 se podařila vyvinout žlutá, zelená a oranžová LED. Až v roce 1993 byla objevena modrá LED a bílá ještě o dva roky později. [24]

Elektroluminiscenční dioda neboli světelná dioda, zkratka LED (z anglického Light Emitting Diode), je polovodičová součástka obsahující přechod PN, který emituje optické záření, je-li buzen průchodem elektrického proudu.

Konstrukce světelné diody je naznačena na obr. 6.1. Pro vytvoření polovodičových přechodů PN se používají zejména polovodiče typu $A^{III}B^V$ vysoké čistoty, legované malým množstvím vhodných příměsí, které vytvářejí buď přebytek elektronů (materiál typu N), nebo jejich nedostatek, a tedy přebytek děr (materiály typu P). V místě, kde se stýkají polovodiče obou typů, vzniká tzv. přechod PN.

Přiložením stejnosměrného napětí správné polaroty na tento přechod dojde ke vzájemnému přibližování elektronů a děr k místu kontaktu a k jejich rekombinaci. Při rekombinaci každého páru elektron-díra se uvolní určité kvantum energie, které se může vyzářit mimo krystal. Elektrická energie se tak mění přímo na světlo určité barvy.

U diod LED jde o nekoherentní světlo, na rozdíl od laserových diod, kde nastává stimulovaná emise optického záření, využívaná k zesilování světla. [8, 22]

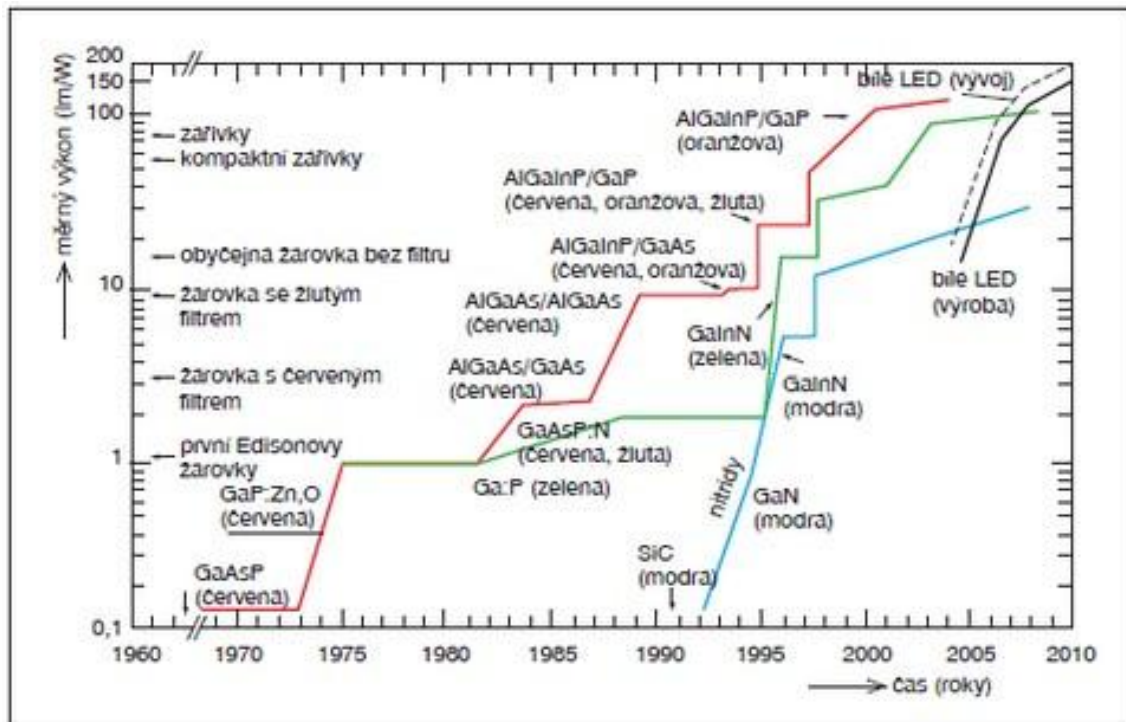


Obrázek 6.1: Konstrukce LED [24]

Pásmo spektra záření diody je závislé na chemickém složení použitého polovodiče. LED jsou vyráběny s pásmo vyzařování od ultrafialových přes různé barvy viditelného spektra až po infračervené pásmo. Poměrně dlouho trval vývoj modré LED, která umožnila vznik moderních velkoplošných barevných obrazovek, a v té souvislosti i bílé vysoce svítivé LED, které se používají hlavně jako zdroje světla v různých svítidlách a světlometech a dále k podsvícení displejů z tekutých krystalů.

Z principu funkce LED vyplývá, že nelze přímo emitovat bílé světlo – starší bílé zářící diody většinou obsahují trojici čipů vybíraných tak, aby bylo aditivním míšením v rozptýlném materiálu vrchlíku obalu diody dosaženo vjemu bílého světla.

Protože není možné přímo emitovat bílé světlo, pravé bílé LED využívají luminoforu. Některé průhledné LED emitují modré světlo, část tohoto světla je přímo na čipu luminoforem transformována na žluté světlo a díky mísení těchto barev vzniká bílá. Jiné typy bílých LED emitují ultrafialové záření, to je přímo na čipu luminoforem transformováno na bílé světlo. [21]



Obrázek 6.2: Zvyšování měrného výkonu barevných LED v průběhu několika posledních desetiletí [22]

Moderní polovodičové materiály používané v současné době hlavními výrobci se skládají z velmi složitých kombinací epitaxně vypěstovaných vrstev. Nové materiály na bázi fosfidů india, galia a hliníku (InP, GaP, AlP), dokonalejší a velmi náročné technologické postupy zajišťující vysokou čistotu výsledného produktu zvýšily účinnost LED a zlepšily jejich odolnost proti působení vyšší teploty a vlhkosti. Dále umožnily zvýšit flexibilitu výrobního procesu, takže žluté, červené a oranžové LED lze vyrábět stejnou technologií a výslednou barvu řídit pouze úpravou velikosti zakázaného pásu. [22]

6.1 VÝHODY SVĚTELNÝCH ZDROJŮ LED

- Mají extrémně dlouhý život (60 – 100 tisíc hodin)
- Interval teploty okolního prostředí je široký (-30 až +60 °C)
- Nízké povrchové teploty
- Jsou mechanicky odolné, snášejí otřesy, nárazy a vibrace
- Neobsahují rtuť
- Značná část používaných materiálů se dá recyklovat
- Lze získat velký počet barev, může zářit i ultrafialové nebo infračervené světlo
- Lze je napájet solárními články
- Dají se stmívat
- Mají minimální dobu náběhu
- Možnost častého zapínání a vypínání bez vlivu na životnost
- Nízká spotřeba energie, ve srovnání s klasickou žárovkou ušetří až 80 %
- Různé tvary a velikosti

6.2 NEVÝHODY SVĚTELNÝCH ZDROJŮ LED

- Ze všech světelných zdrojů jsou nejdražší
- Při výrobě se používají polovodičové materiály, jejichž získávání má negativní vliv na životní prostředí

6.3 HLAVNÍ OBLASTI POUŽITÍ SVĚTELNÝCH ZDROJŮ LED

- Signalizace
 - Nahrazují trpasličí žárovky ve vypínačích a kontrolních svítilnách indikujících stav elektrického zařízení. Rozměrově a konstrukčně se přizpůsobují trpasličím žárovkám.
 - Jsou vhodné pro dopravní značky v silniční, železniční a říční dopravě, semaforey.

- Používají se pro palubní desky automobilů i další komponenty osvětlení automobilů, včetně vnějšího osvětlení (v současných moderních automobilech jsou použity již desítky až stovky světelných diod).
 - Obsahují je ukazatele v interiérech i exteriérech, prvky k vyznačení únikových cest v budovách.
- Venkovní osvětlení
 - Jsou vhodné pro zřetelné vyznačení okraje vozovky, barevné označení různých jízdnic pruhů, barevné vyznačení cyklistických stezek a chodníků, pro dynamické řízení a operativní změny jízdnic pruhů podle intenzity provozu na silnici s využitím svítidel zapuštěných do povrchu silnice.
 - Jsou součástí osvětlovacích soustav v tunelech.
 - Osvětlení budov i jiných objektů.
 - Veřejné budovy, restaurace, prodejní místa.
 - Osvětlení exponátů v muzeích, na výstavách a v galeriích, zvýraznění určitých objektů.
- Zobrazovací technika a reklamní osvětlení
 - Soustavy dynamického řízení počítačem s možností široké změny barev a jasu, vytváření běžících řádků a vln, plnohodnotná náhrada svítících trubic.
 - Velkoplošné obrazovky se speciálním uspořádáním velkého počtu modrých, zelených a červených LED, s kvalitním, vysoce kontrastním a ostrým obrazem i za denního světla a slunečného počasí s krátkou minimální pozorovací vzdáleností.
- Zdravotnictví
 - Terapie kožních a vnitřních nemocí.
 - Dezinfekce vzduchu pomocí UV záření.
 - Vytvrzování hmot používaných v zubařské technice.

- Další příklady
 - Čtení čárových kódů.
 - Optické myši u počítačů.
 - Prosvětlování klávesnic a displejů, např. v mobilních telefonech.
 - Kontrola bankovek UV zářením.
 - Kapesní a akumulátorové svítilny.
 - Přístroje nočního vidění s diodami zářícími v infračervené oblasti spektra.
 - Světelný zdroj ve vláknové optice.

7 FOTOMETRIE

„Elektromagnetické záření může vystupovat ze zdroje všemi směry. Výkon přenášený zářením se nazývá tok záření Φ_e . Naše smysly nestačí vnímat celý tok záření, mohou postřehnout jen tu část toku, na kterou je oko citlivé. Viditelnou část toku záření nazýváme světelným tokem Φ . Poměr světelného toku k toku záření Φ_e , procházejícím stejnou plochou, je světelná účinnost záření

$$K = \frac{\Phi}{\Phi_e} \quad (2)$$

přičemž K má nenulové hodnoty pro viditelný rozsah záření.

Světelnou účinnost záření lze definovat i pro jednotlivé vlnové délky.

Svítivost zdroje I ve zvoleném směru je definována jako elementární světelný tok $d\Phi$, vysílaný do elementárního prostorového úhlu $d\omega$, dělený velikostí tohoto prostorového úhlu

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega} \quad (3)$$

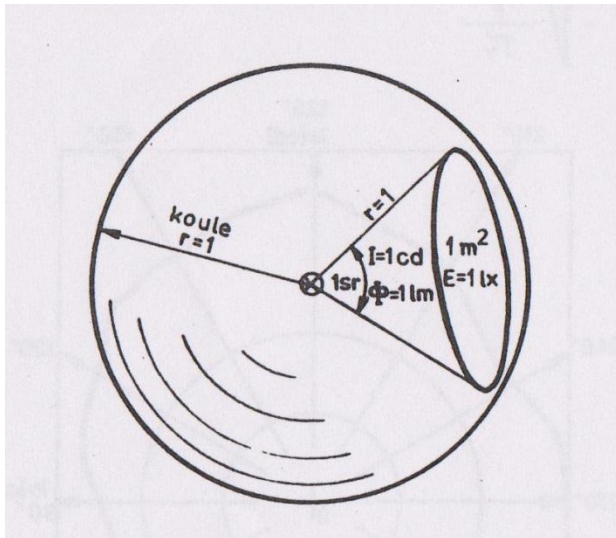
Světelný tok při dopadu na těleso způsobuje osvětlení E , které definujeme jako poměr světelného toku $d\Phi$ a osvětlené plochy dS

$$E = \frac{d\Phi}{dS} \quad (4)$$

Mezi osvětlením E a svítivostí I bodového zdroje platí podle Lambertova vztah

$$E = \frac{I}{r^2} * \cos\alpha \quad (5)$$

kde r je vzdálenost zdroje od plochy a α úhel mezi normálou plochy a směrem dopadajícího světla, viz obrázek 7.1“ [25]



Obrázek 7.1: Znárodnění fotometrických veličin na jednotkové kouli

7.1 JEDNOTKY VE FOTOMETRII

„Jednotkou svítivosti je kandela [cd], jednotkou světelného toku je lumen [lm], jednotkou prostorového úhlu je steradián [sr] a jednotkou osvětlení je lux [lx].“ [25]

Kandela:

„Základní jednotka soustavy SI, hlavní jednotka svítivosti. 1 kandela je svítivost $1/600000$ m² povrchu absolutně černého tělesa ve směru kolmém k tomuto povrchu při teplotě tuhnutí platiny (1768 °C) a při normálním tlaku (101 325 Pa). Název jednotky má původ v latině, kde candela znamená svíčka.“ [26]

Lumen:

„Hlavní jednotka světelného toku v soustavě SI. Bodový zdroj světla vysílá do prostorového úhlu 1 steradiánu světelný tok 1 lumenu, je-li svítivost tohoto zdroje (ve všech směrech) rovna 1 kandele. Fyzikální rozměr je [lm] = cd * sr. Slovo lumen je latinského původu a znamená světlo.“ [26]

Steradián:

„Doplňková jednotka soustavy SI; hlavní jednotka prostorového úhlu. 1 steradián je prostorový úhel s vrcholem ve středu koule, který vytíná na povrchu této koule plochu s obsahem rovným druhé mocnině poloměru koule. Prostorový úhel nemá u nás jiné jednotky; z mezinárodního hlediska se užívají též prostorové minuty, stupně a vteřiny.“ [26]

Lux:

„Hlavní jednotka osvětlení v soustavě SI. 1 lux je osvětlení plochy, na jejíž každý čtvereční metr dopadá rovnoměrně rozložený světelný tok 1 lumenu. Fyzikální rozměr je $[lx] = m^{-2} * cd * sr$. Slovo lux znamená v latině světlo, záře.“ [26]

7.2 MĚŘENÍ SVÍTIVOSTI POMOCÍ LUXMETRU

„Luxmetr je vlastně fotočlánek (polovodič, který při osvětlení uvolňuje elektrony) spojený s citlivým galvanometrem, jehož stupnice je ocejchovaná v jednotkách osvětlení (v luxech).

Jestliže známe vzdálenost r mezi zdrojem světla a luxmetrem, pak při kolmém dopadu světla na luxmetr pro svítivost I platí

$$I = E * r^2 \quad (6)$$

kde E je osvětlení, které měříme v luxech a odečítáme na luxmetru.

Jestliže vzdálenost r měříme v metrech, pak svítivost dostaneme v kandelách ($1cd = 1 lx * m^2$).“ [25]

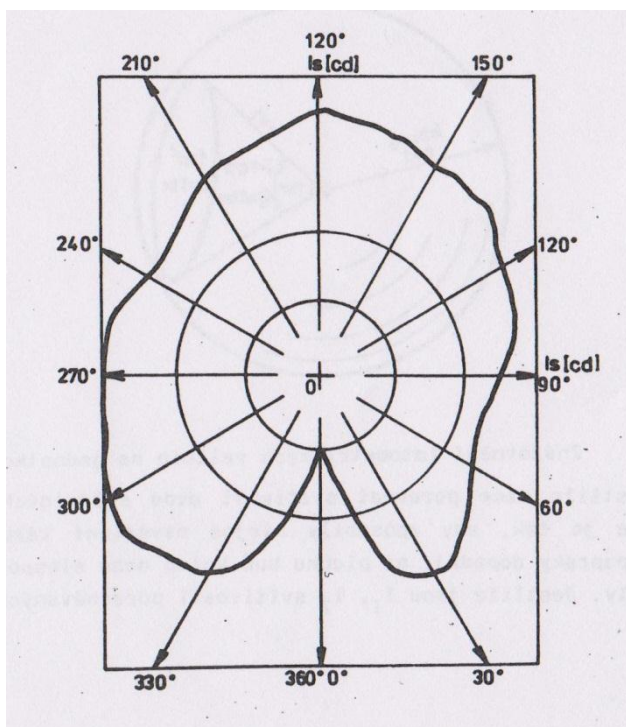
7.3 MĚŘENÍ SVĚTELNÉHO TOKU

„Svítivost je směrově závislá veličina. Vyneseme-li velikosti směrové svítivosti pro jednotlivé úhly z jednoho středu do grafu (= diagram v polárních souřadnicích) a konce spojíme, získáme směrový fotometrický vyzařovací diagram světelného zdroje. Obecně je tento diagram trojrozměrný. U zdrojů, které mají alespoň přibližně tvar rotačního tělesa podle jedné osy (např. žárovka), získáme dostatečný přehled o rozdělení svítivosti již při konstrukci jednoho řezu fotometrickým tělesem v rovině vedené osou rotační symetrie. Pro žárovku má vyjadřovací diagram tvar symetrické srdcovky (obrázek 7.2).“ [25]

„Z plochy ohraničené fotometrickou křivkou je možno vypočítat sférickou svítivost I zdroje podle vztahu

$$I = \sqrt{\frac{p}{\pi}} \quad (7)$$

kde p je plocha ohraničená fotometrickou křivkou vyjádřená v jednotkách cd^2 , kterou určíme planimetrem nebo součtem čtverečků milimetrového papíru uvnitř plochy.



Obrázek 7.2: Vyjadřovací diagram tvaru symetrické srdcovky

Pokud známe průměrnou sférickou svítivost, můžeme vypočítat světelný tok Φ vysílaný zdrojem

$$\Phi = I \int_0^{4\pi} d\omega = 4\pi I \quad (8)$$

a určit světelnou účinnost zdroje

$$K = \frac{\Phi}{\Phi_p} \quad (9)$$

kde Φ_p je rovno příkonu žárovky ve wattech. “ [25]

8 VLASTNÍ MĚŘENÍ

Vlastní měření světelné účinnosti různých světelných zdrojů probíhalo v laboratoři Pedagogické fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Měření bylo prováděno v zatemněné černé komoře, aby bylo co nejvíce zabráněno přístupu denního světla a tím ovlivnění měření. Při měření byl použit luxmetr, optická lavice, držák s otočnou žárovkou a úhломěrnou stupnicí. Bylo měřeno 15 žárovek (7 klasických, 5 ledkových a 3 kompaktní zářivky). Každá žárovka byla změřena třikrát, tak, aby její poloha vůči luxmetru byla různá. Osvětlení bylo měřeno od 0° do 345° vždy po 15° . Pro každou žárovku byl vytvořen fotometrický vyzařovací diagram, na kterém je vidět intenzita osvětlení v 360° , a byla vypočítána svítivost, světelný tok a světelná účinnost. Pomocí Vernieru byl změřen náběh kompaktních zářivek a některých klasických žárovek.

8.1 POMŮCKY

Optická lavice (obrázek 8.1.1), držák s otočnou žárovkou a úhломěrnou stupnicí (obrázek 8.1.2), luxmetr LX-101, Vernier Logger Lite 1.7, čidlo intenzity světla



Obrázek 8.1.1: Optická lavice



Obrázek 8.1.2: Držák s otočnou žárovkou a úhломěrnou stupnicí

Žárovky

- LED žárovka BL1 9 W studená bílá E27 SMD5630
- LED žárovka 7 W E27 neutrální bílá
- LED žárovka 3 W E14 teplá bílá vlákno
- LED žárovka ENF010 - C35J - 3 W
- LED žárovka 4x1 W E27 teplá bílá
- Klasická žárovka Osram 75 W
- Klasická žárovka NBB Bohemia 75 W
- Klasická žárovka Novalina 100 W mléčná
- Klasická žárovka NBB Bohemia 40 W
- Klasická žárovka Radium 60 W

- Klasická žárovka Tesla 200 W
- Klasická žárovka Tes - lamps 60 W
- Kompaktní zářivka Konnoc 11 W
- Kompaktní zářivka Eco lite 46 W
- Kompaktní zářivka Hallux 8 W

8.2 POSTUP MĚŘENÍ

Každý světelný zdroj změříme třikrát od 0° do 345°. Vždy po jednom měření světelný zdroj pootočíme, aby jeho poloha vůči luxmetru byla jiná. Luxmetr dáme do stojanu do vzdálenosti 1 m od žárovky, u slabých žárovek 0,5 m. Čidlo luxmetru dáme do výšky vlákna klasických a LED žárovek, u kompaktních zářivek ho dáme přibližně do středu trubice. Potom u kompaktních zářivek a některých klasických žárovek změříme pomocí Vernieru jejich náběh. Hodnoty zpracujeme do tabulek, vyhotovíme směrový fotometrický vyzařovací diagram a vypočteme svítivost, světelný tok a světelnou účinnost.

V laboratoři byly použity tyto přístroje:

Luxmetr LX - 101

Vernier Logger Lite 1.7, čidlo intenzity světla

8.2.1 LUXMETR LX-101



Obrázek 8.1: Luxmetr LX-101 [27]

„Měření osvětlení; 0 - 50 000 lux, 0,4 s odezva čidla, rozlišení 1 lux až 100 lux (podle zvoleného rozsahu, k dispozici 3 rozsahy - podrobněji viz technický list), umožňuje nastavit 4 druhy světla, možnost relativního měření, funkce paměti MIN, MAX a REL hodnot, nízká spotřeba.“ [27]

8.2.2 VERNIER



Obrázek 8.2: Čidlo intenzity světla k Vernierovi [28]

„Čidlo reagující na intenzitu světla obdobně jako lidské oko (co se týče citlivosti na jednotlivé části spektra). Tři měřicí rozsahy umožňují zkoumat osvětlení v širokém rozmezí světelných podmínek.

Senzor využívá křemíkovou fotodiodu, která vytváří napětí úměrné intenzitě dopadajícího světla.“ [28]

„Nastavení při práci s počítačem:

1. Na počítači spusťte program Logger Lite nebo Logger Pro.
2. K počítači připojte rozhraní prostřednictvím USB kabelu.
3. K rozhraní připojte senzor - dojde k automatické detekci senzoru a přednastavení obvyklých parametrů měření.
4. Nastavení měření (vyhovují-li Vám přednastavené hodnoty, lze tento bod přeskočit), nejčastější použití:
 - a. V menu programu Logger Lite či Logger Pro zvolte Experiment → Sběr dat (lze také použít klávesovou zkratku Ctrl-D)
 - b. Nastavte mód měření (u většiny experimentů vyhovuje přednastavený mód Časová závislost), dále zvolte požadovanou dobu měření (Trvání) a jak často má být hodnota změřena a zaznamenána (Vzorkovací frekvence).
 - c. Chcete-li, aby měření pokračovalo i po uplynutí nastavené doby měření, zaškrtněte Nepřerušný sběr dat - měření pak bude probíhat, dokud jej manuálně neukončíte. Nastavená doba měření v tomto případě ovlivní pouze přednastavení časové osy v zobrazovaném grafu.
 - d. Potvrďte tlačítkem. Hotovo.
5. Měření lze spustit a následně zastavit na klávesnici klávesou mezerník, případně myší kliknutím na zelené (resp. pro zastavení červené) tlačítko v horním menu.“ [28]

9 DISKUZE NAMĚŘENÝCH HODNOT

9.1 LED ŽÁROVKA BL1 9 W STUDENÁ BÍLÁ E27 SMD5630



Obrázek 9.1.1: LED žárovka BL1 9 W

α [°]	r [m]	E_1 [Lx]	E_2 [Lx]	E_3 [Lx]	E [Lx]	I [Cd]
0°	1	147	145	143	145,00	145,00
15°	1	140	137	135	137,33	137,33
30°	1	128	124	122	124,67	124,67
45°	1	108	106	103	105,67	105,67
60°	1	86	83	82	83,67	83,67
75°	1	63	62	61	62,00	62,00
90°	1	42	42	41	41,67	41,67
105°	1	26	25	27	26,00	26,00
120°	1	15	15	14	14,67	14,67
135°	1	8	8	7	7,67	7,67
150°	1	4	3	3	3,33	3,33
165°	1	2	2	2	2,00	2,00
180°	1	2	2	2	2,00	2,00
195°	1	3	3	3	3,00	3,00
210°	1	7	7	7	7,00	7,00
225°	1	15	13	13	13,67	13,67
240°	1	24	23	23	23,33	23,33
255°	1	37	36	35	36,00	36,00
270°	1	56	54	54	54,67	54,67
285°	1	77	77	75	76,33	76,33
300°	1	103	99	97	99,67	99,67
315°	1	122	121	118	120,33	120,33
330°	1	137	134	133	134,67	134,67
345°	1	146	143	140	143,00	143,00

Tabulka 9.1.1: Naměřené hodnoty LED žárovky BL1 9 W

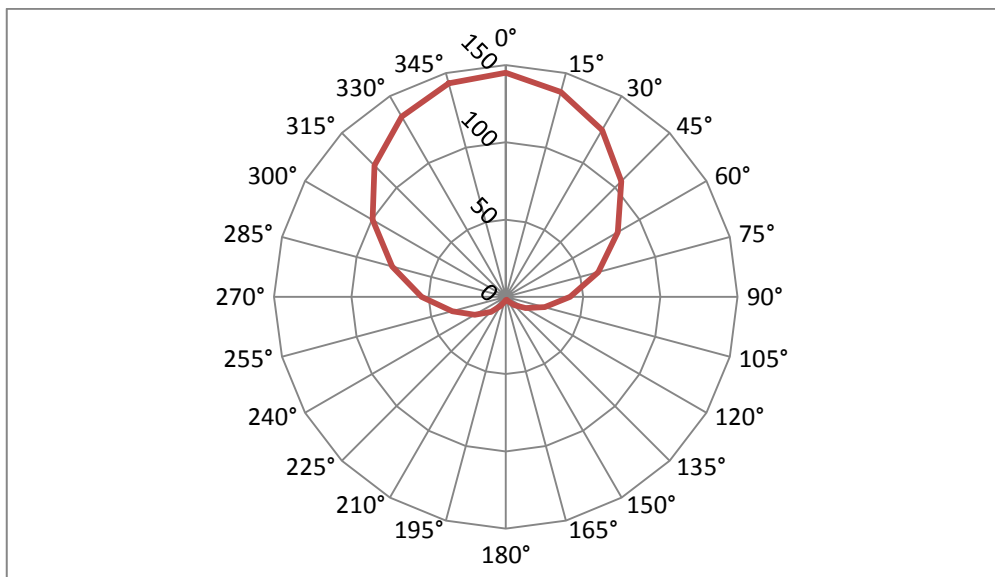
Tato LED žárovka je od výrobce ledstarcz.cz. Je to LED úsporná žárovka se závitem E27, která nahrazuje cca 80 W klasickou žárovku. Barva světla je studeně bílá (5400 – 6000 K). Výrobce udává světelný tok 855 lm (95 lm/W). Tato žárovka odpovídá rozměrům klasické žárovky, 62/118 mm (průměr/výška). Životnost je až 50 000 hodin. Čas naběhnutí žárovky na plný výkon je okamžitý. Žárovka je vhodná do podhledů, lustrů, kuchyní a do dalších míst. Její cena je 299 Kč s DPH.

Žárovku jsem třikrát proměřila, naměřené hodnoty zpracovala a vypočítala. Na grafu 9.1 můžeme vidět vyzařovací diagram této žárovky. Po naměření a vypočtení vyšly zajímavé výsledky, světelný tok vyšel větší, než udává výrobce, a světelná účinnost vyšla přes 100 na 1 W.

Svítivost: $I = 78,62 \text{ Cd}$

Světelný tok: $\Phi = 988,01 \text{ lm}$

Světelná účinnost: $K = 109,78 \text{ lm/W}$



Graf 9.1.1: Vyzařovací diagram LED žárovky BL1 9 W

9.2 LED ŽÁROVKA 7 W E27 NEUTRÁLNÍ BÍLÁ



Obrázek 9.2.1: LED žárovka 7 W

α [°]	r [m]	E_1 [Lx]	E_2 [Lx]	E_3 [Lx]	E [Lx]	I [Cd]
0°	1	47	47	47	47,00	47,00
15°	1	60	60	59	59,67	59,67
30°	1	73	72	71	72,00	72,00
45°	1	81	80	79	80,00	80,00
60°	1	85	83	81	83,00	83,00
75°	1	81	79	78	79,33	79,33
90°	1	74	71	70	71,67	71,67
105°	1	63	61	61	61,67	61,67
120°	1	47	46	46	46,33	46,33
135°	1	25	25	23	24,33	24,33
150°	1	7	5	5	5,67	5,67
165°	1	3	3	3	3,00	3,00
180°	1	3	4	3	3,33	3,33
195°	1	6	6	6	6,00	6,00
210°	1	20	20	20	20,00	20,00
225°	1	40	38	37	38,33	38,33
240°	1	61	61	59	60,33	60,33
255°	1	73	71	70	71,33	71,33
270°	1	81	79	78	79,33	79,33
285°	1	85	84	82	83,67	83,67
300°	1	85	84	82	83,67	83,67
315°	1	77	78	75	76,67	76,67
330°	1	68	67	65	66,67	66,67
345°	1	54	53	53	53,33	53,33

Tabulka 9.2.1: Naměřené hodnoty LED žárovky 7 W

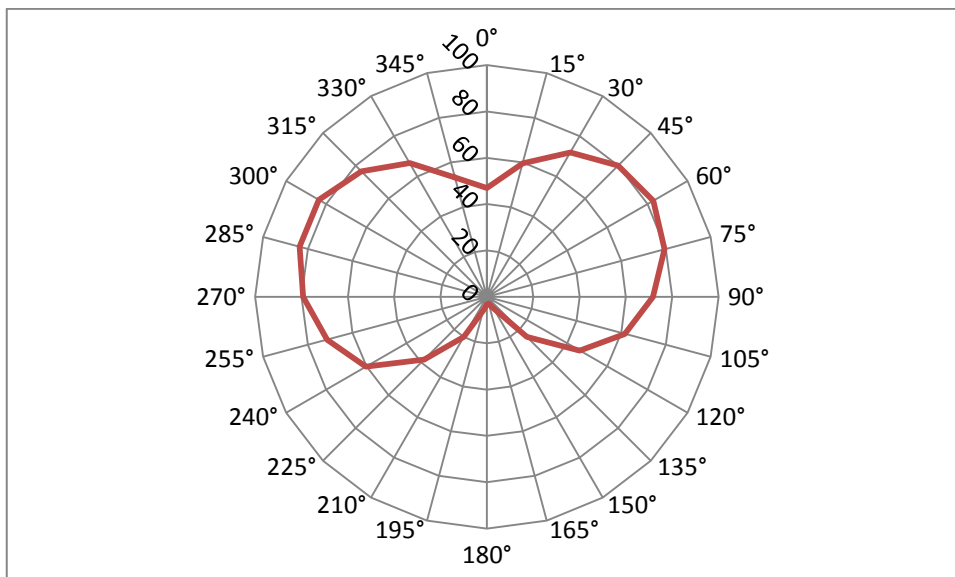
Tato žárovka je též od výrobce ledstarcz.cz. Je to úsporná žárovka se závitem E27, vyrobená novou technologií. Nahrazuje cca 80 W klasickou žárovku. Barva světla je neutrální bílá (5000 K). Výrobce udává světelný tok 850 lm (125 lm/W). Stejně jako předchozí LED žárovka má stejné rozměry jako klasická žárovka, 62/118 mm (průměr/výška). Životnost je také 50 000 hodin. Náběh na plný výkon je také okamžitý. Žárovka je rovněž vhodná do podhledů, lustrů, kuchyní a dalších míst. Cena této žárovky je 465 Kč s DPH.

Žárovku jsem proměřila stejně jako předchozí, na grafu 9.2 můžeme vidět vyzařovací diagram této 7 W LED žárovky. U této žárovky vyšla také vysoká světelná účinnost, i když menší, než udává výrobce.

Svítivost: $I = 58,77 \text{ Cd}$

Světelný tok: $\Phi = 738,58 \text{ lm}$

Světelná účinnost: $K = 105,51 \text{ lm/W}$



Graf 9.2.1: Vyzařovací diagram LED žárovky 7 W.

9.3 LED ŽÁROVKA 3W E14 TEPLÁ BÍLÁ, VLÁKNO



Obrázek 9.3.1: LED žárovka 3 W

α [°]	r [m]	E ₁ [Lx]	E ₂ [Lx]	E ₃ [Lx]	E [Lx]	I [Cd]
0°	0,5	18	18	17	17,67	4,42
15°	0,5	31	30	31	30,67	7,67
30°	0,5	43	43	43	43,00	10,75
45°	0,5	62	59	61	60,67	15,17
60°	0,5	78	76	77	77,00	19,25
75°	0,5	93	88	90	90,33	22,58
90°	0,5	93	89	89	90,33	22,58
105°	0,5	89	93	91	91,00	22,75
120°	0,5	79	84	80	81,00	20,25
135°	0,5	57	64	60	60,33	15,08
150°	0,5	22	28	26	25,33	6,33
165°	0,5	2	1	2	1,67	0,42
180°	0,5	2	2	2	2,00	0,50
195°	0,5	2	3	3	2,67	0,67
210°	0,5	31	23	25	26,33	6,58
225°	0,5	76	76	78	76,67	19,17
240°	0,5	98	101	100	99,67	24,92
255°	0,5	105	110	106	107,00	26,75
270°	0,5	106	112	110	109,33	27,33
285°	0,5	104	110	108	107,33	26,83
300°	0,5	87	95	91	91,00	22,75
315°	0,5	72	76	75	74,33	18,58
330°	0,5	51	55	55	53,67	13,42
345°	0,5	35	35	36	35,33	8,83

Tabulka 9.3.1: Naměřené hodnoty LED žárovky 3 W

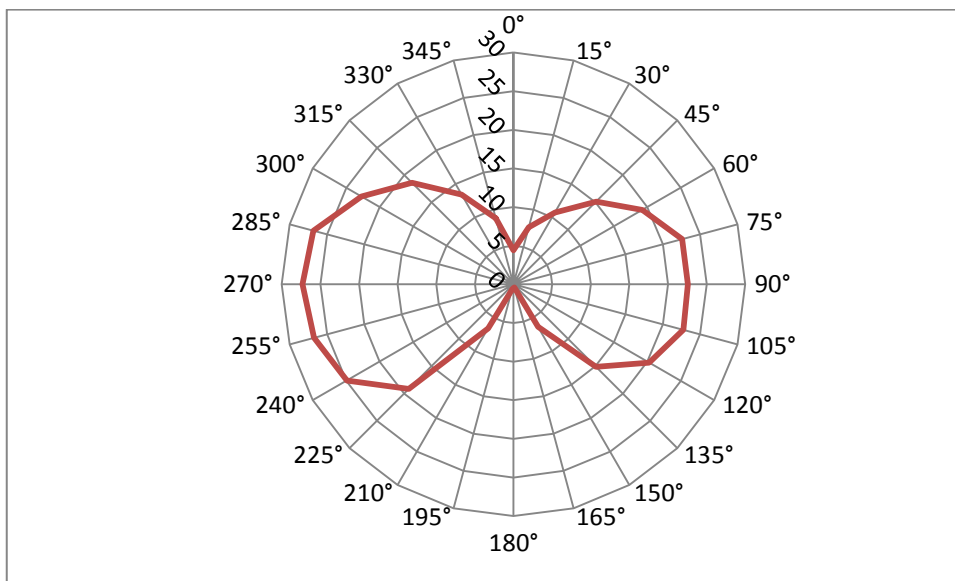
Tato žárovka je též od výrobce ledstarcz.cz. LED úsporná žárovka svíčka 3 W se závitem E14, vyrobená novou technologií připomínající klasickou žárovku. Nahrazuje cca 40 W obyčejnou žárovku. Barva světla je teplá bílá (2700 – 3000 K). Výrobce udává světelný tok 320 lm (106 lm/W). Životnost je také 50 000 hodin. Náběh na plný výkon je okamžitý. Vhodné do podhledů, lustrů, kuchyní a do jiných míst. Cena této LED žárovky je 199 Kč s DPH.

Na grafu 9.3 můžeme vidět vyzařovací diagram této 3 W LED žárovky. Světelný tok a účinnost po naměření vychází o docela dost jinak, než jak udává výrobce.

Svítivost: $I = 16,98 \text{ Cd}$

Světelný tok: $\Phi = 213,39 \text{ lm}$

Světelná účinnost: $K = 71,13 \text{ lm/W}$



Graf 9.3.1: Vyzařovací diagram LED žárovky 3 W.

9.4 LED ŽÁROVKA ENF010 - C35J - 3 W



Obrázek 9.4.1: LED žárovka 3 W

α [°]	r [m]	E_1 [Lx]	E_2 [Lx]	E_3 [Lx]	E [Lx]	I [Cd]
0°	0,5	41	50	48	46,33	11,58
15°	0,5	97	88	90	91,67	22,92
30°	0,5	74	70	72	72,00	18,00
45°	0,5	120	113	115	116,00	29,00
60°	0,5	132	126	130	129,33	32,33
75°	0,5	122	118	119	123,00	31,50
90°	0,5	116	109	110	111,67	27,92
105°	0,5	105	98	101	101,33	25,33
120°	0,5	85	80	83	82,67	20,67
135°	0,5	74	72	72	72,67	18,17
150°	0,5	56	56	58	56,67	14,17
165°	0,5	16	12	13	13,67	3,42
180°	0,5	3	4	3	3,33	0,83
195°	0,5	38	29	32	33,00	8,25
210°	0,5	64	62	63	63,00	15,75
225°	0,5	75	76	78	76,33	19,08
240°	0,5	80	80	82	80,67	20,17
255°	0,5	79	79	79	79,00	19,75
270°	0,5	90	84	87	87,00	21,75
285°	0,5	132	132	130	131,33	32,83
300°	0,5	112	112	110	111,33	27,83
315°	0,5	96	93	95	94,67	23,67
330°	0,5	55	56	56	55,67	13,92
345°	0,5	58	55	57	56,67	14,17

Tabulka 9.4.1: Naměřené hodnoty LED žárovky 3 W

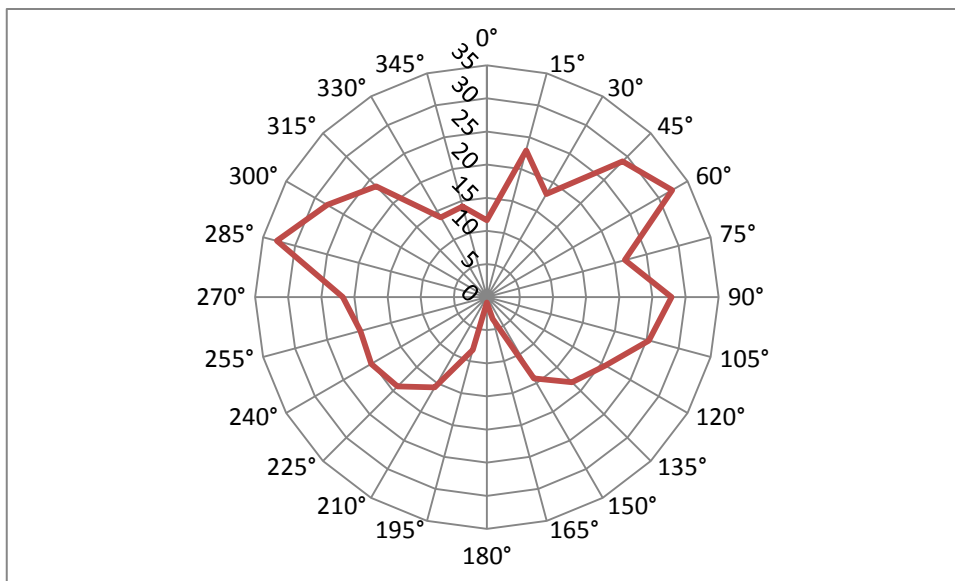
Tato LED žárovka je také od výrobce ledstarcz.cz. LED úsporná žárovka 3 W se závitem E14, vyrobená novou technologií. Barva světla je 2700 – 6500 K. Výrobce udává světelná tok 200 - 220 lm. Životnost je také 50 000 hodin. Náběh na plný výkon je také okamžitý. Cena této LED žárovky je 179 Kč s DPH.

Po naměření a zpracování hodnot mi vyšel o trochu větší světelný tok, než udává výrobce. Na grafu 9.4 můžeme vidět vyzařovací diagram LED žárovky 3 W, který je hodně zvláštní, takový střapatý.

Svítivost: $I = 20,17 \text{ Cd}$

Světelný tok: $\Phi = 253,46 \text{ lm}$

Světelná účinnost: $K = 50,69 \text{ lm/W}$



Graf 9.4.1: Vyzařovací diagram LED žárovky 3 W.

9.5 LED ŽÁROVKA 4x1 W E27 TEPLÁ BÍLÁ



Obrázek 9.5.1: LED žárovka 4 W

α [°]	r [m]	E_1 [Lx]	E_2 [Lx]	E_3 [Lx]	E [Lx]	I [Cd]
0°	1	16	15	14	15,00	15,00
15°	1	18	17	16	17,00	17,00
30°	1	26	24	23	24,33	24,33
45°	1	35	3	30	22,67	22,67
60°	1	40	37	35	37,33	37,33
75°	1	44	40	38	40,67	40,67
90°	1	44	41	38	41,00	41,00
105°	1	42	38	36	38,67	38,67
120°	1	38	34	31	34,33	34,33
135°	1	30	26	25	27,00	27,00
150°	1	15	11	10	12,00	12,00
165°	1	1	1	1	1,00	1,00
180°	1	2	1	1	1,33	1,33
195°	1	4	5	3	4,00	4,00
210°	1	25	23	22	23,33	23,33
225°	1	38	35	33	35,33	35,33
240°	1	44	41	39	41,33	41,33
255°	1	48	43	41	44,00	44,00
270°	1	46	43	40	43,00	43,00
285°	1	44	40	39	41,00	41,00
300°	1	38	35	33	35,33	35,33
315°	1	29	27	25	27,00	27,00
330°	1	21	20	20	20,33	20,33
345°	1	15	14	14	14,33	14,33

Tabulka 9.5.1: Naměřené hodnoty LED žárovky 4 W

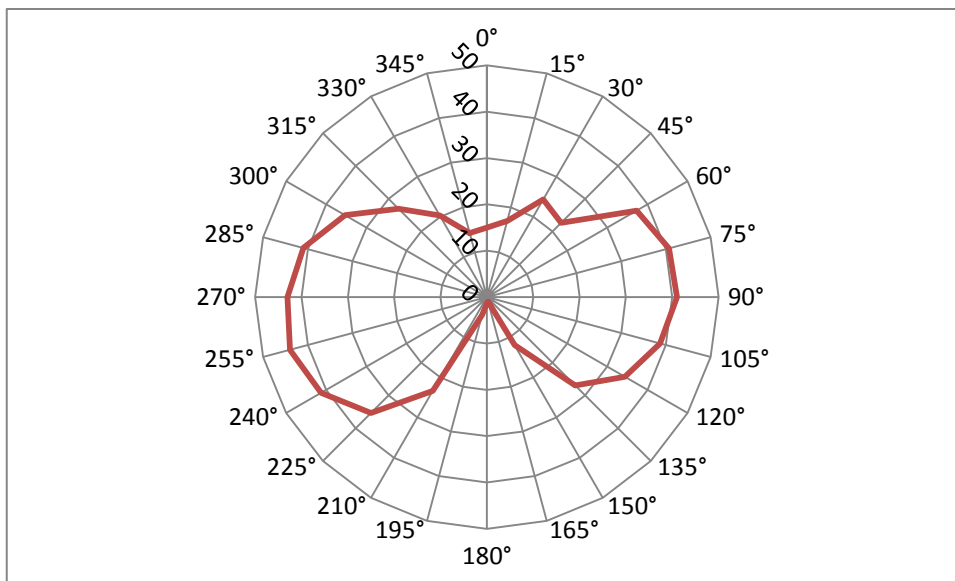
Tato žárovka je od výrobce ledstarcz.cz. LED žárovka 4x1 W patice E27 teplá bílá, 4 W. Nahrazuje 50 W halogenu. Barva světla je teple bílá (3000 – 3500 K). Výrobce udává světelný tok 400 lm. Životnost je také 50 000 hodin a náběh na plný výkon okamžitý. Vhodné do podhledů, bodovek, lustrů, kuchyní a do jiných míst. Cena této LED žárovky je 149 Kč.

Na grafu 9.5 můžeme vidět vyzařovací diagram LED žárovky 4 W. Světelný tok mi vyšel o trošku menší, než udává výrobce.

Svítivost: $I = 29,08 \text{ Cd}$

Světelný tok: $\Phi = 365,42 \text{ lm}$

Světelná účinnost: $K = 91,35 \text{ lm/W}$



Graf 9.5.1: Vyzařovací diagram LED žárovky 4 W.

9.6 KLASICKÁ ŽÁROVKA OSRAM 75 W



Obrázek 9.6.1: Klasická žárovka Osram 75 W

α [°]	r [m]	E_1 [Lx]	E_2 [Lx]	E_3 [Lx]	E [Lx]	I [Cd]
0°	1	72	73	73	72,67	72,67
15°	1	81	81	82	81,33	81,33
30°	1	77	76	77	76,67	76,67
45°	1	74	72	73	73,00	73,00
60°	1	76	75	75	75,33	75,33
75°	1	78	72	76	75,33	75,33
90°	1	78	74	77	76,33	76,33
105°	1	82	77	80	79,67	79,67
120°	1	85	82	83	83,33	83,33
135°	1	83	75	80	79,33	79,33
150°	1	57	65	62	61,33	61,33
165°	1	9	6	8	7,67	7,67
180°	1	7	7	7	7,00	7,00
195°	1	10	13	11	11,33	11,33
210°	1	70	68	68	68,67	68,67
225°	1	82	83	82	82,33	82,33
240°	1	76	75	76	75,67	75,67
255°	1	81	79	80	80,00	80,00
270°	1	85	84	85	84,67	84,67
285°	1	89	85	87	87,00	87,00
300°	1	85	82	84	83,67	83,67
315°	1	82	83	82	82,33	82,33
330°	1	79	80	80	79,67	79,67
345°	1	69	68	69	68,67	68,67

Tabulka 9.6.1: Naměřené hodnoty klasické žárovky Osram 75 W

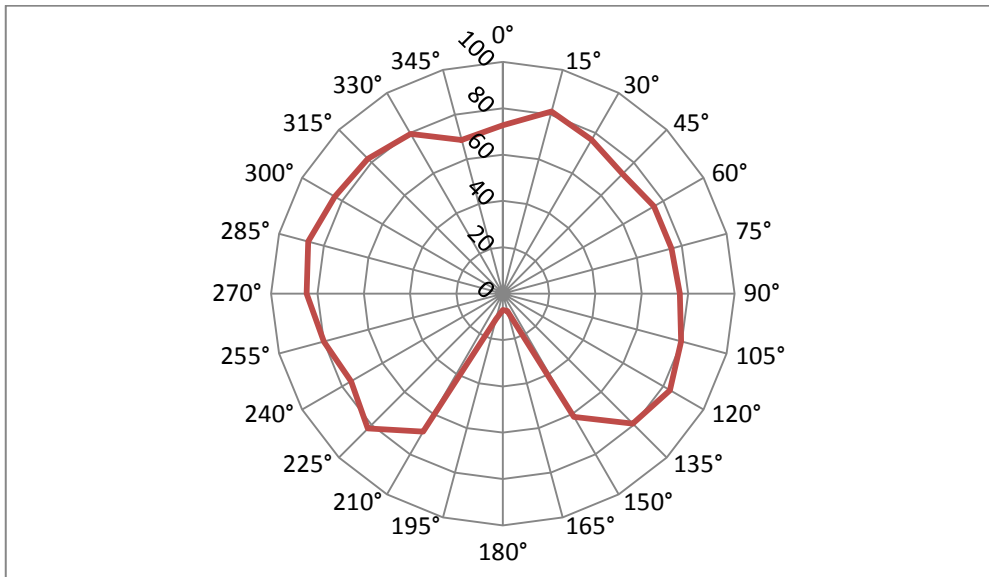
Klasická žárovka Osram 75 W je z naší domácí zásoby, takže už je starší, ale nepoužívaná. Má patici E27 a klasické rozměry. Byla vyrobena ve Francii. Životnost této klasické žárovky je 1000 hodin.

Na krabičce je uvedena energetická třída E. Od výrobce je udáno, že světelný tok této žárovky je 935 lm, mnou naměřené výsledky jsou o trochu menší. Prostor osvětlený touto žárovkou je asi 300°. Její světelná účinnost oproti LED žárovce je i desetkrát menší. Náběh na plný výkon je okamžitý.

Svítivost: $I = 70,95 \text{ Cd}$

Světelný tok: $\Phi = 891,63 \text{ lm}$

Světelná účinnost: $K = 11,89 \text{ lm/W}$



Graf 9.6.1: Vyzařovací diagram klasické žárovky Osram 75 W

9.7 KLASICKÁ ŽÁROVKA NBB BOHEMIA 75 W



Obrázek 9.7.1: Klasická žárovka NBB Bohemia 75 W

α [°]	r [m]	E_1 [Lx]	E_2 [Lx]	E_3 [Lx]	E [Lx]	I [Cd]
0°	1	57	59	58	58,00	58,00
15°	1	64	61	63	62,67	62,67
30°	1	63	63	64	63,33	63,33
45°	1	61	59	61	60,33	60,33
60°	1	56	54	55	55,00	55,00
75°	1	60	54	56	56,67	56,67
90°	1	56	56	56	56,00	56,00
105°	1	61	63	61	61,67	61,67
120°	1	65	61	64	63,33	63,33
135°	1	54	55	56	55,00	55,00
150°	1	42	35	37	38,00	38,00
165°	1	4	5	5	4,67	4,67
180°	1	4	6	6	5,33	5,33
195°	1	26	30	27	27,67	27,67
210°	1	57	57	56	56,67	56,67
225°	1	63	64	64	63,67	63,67
240°	1	60	61	62	61,00	61,00
255°	1	56	57	57	56,67	56,67
270°	1	62	62	63	62,33	62,33
285°	1	59	60	61	60,00	60,00
300°	1	65	67	67	66,33	66,33
315°	1	69	68	72	69,67	69,67
330°	1	61	63	62	62,00	62,00
345°	1	63	65	66	64,67	64,67

Tabulka 9.7.1: Naměřené hodnoty klasické žárovky NBB Bohemia 75 W

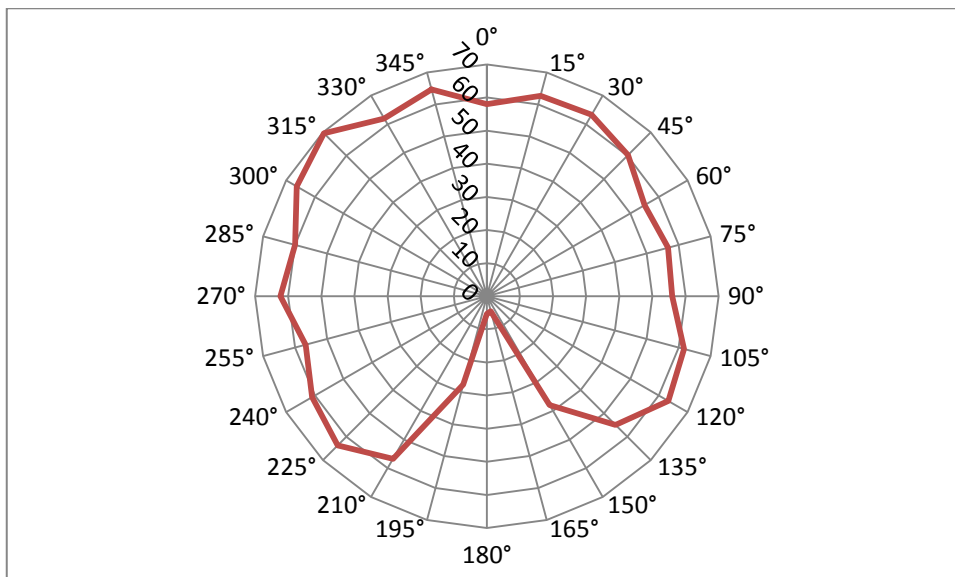
Další klasická žárovka je od výrobce NBB Bohemia, vyrobená v České republice. Je také z naší domácí zásoby a vzhledem k naměřeným hodnotám už byla asi používána. Životnost je také 1000 hodin.

Je to žárovka s patičkou E27 a energetickou třídou E. Rozměry žárovky jsou 55 x 93 mm. Výrobce udává světelný tok 930 lm, což je stejné jako u předešlé žárovky. Naměřená hodnota této žárovky je však asi o 240 lm menší. A její světelná účinnost je také menší. Prostor osvětlený touto žárovkou je asi 315°. Náběh na plný výkon je okamžitý.

Svítivost: $I = 55,21 \text{ Cd}$

Světelný tok: $\Phi = 693,81 \text{ lm}$

Světelná účinnost: $K = 9,25 \text{ lm/W}$



Graf 9.7.1: Vyzařovací diagram klasické žárovky NBB Bohemia 75 W

9.8 KLASICKÁ ŽÁROVKA NOVALINA 100 W MLÉČNÁ



Obrázek 9.8.1: Klasická žárovka Novalina 100 W mléčná

α [°]	r [m]	E_1 [Lx]	E_2 [Lx]	E_3 [Lx]	E [Lx]	I [Cd]
0°	1	124	128	127	126,33	126,33
15°	1	121	125	125	123,67	123,67
30°	1	117	120	119	118,67	118,67
45°	1	114	117	118	116,33	116,33
60°	1	108	113	112	111,00	111,00
75°	1	106	108	109	107,67	107,67
90°	1	104	108	106	106,00	106,00
105°	1	102	107	106	105,00	105,00
120°	1	99	105	104	102,67	102,67
135°	1	89	93	92	91,33	91,33
150°	1	64	63	64	63,67	63,67
165°	1	32	30	32	31,33	31,33
180°	1	18	20	21	19,67	19,67
195°	1	62	68	67	65,67	65,67
210°	1	98	101	100	99,67	99,67
225°	1	108	108	110	108,67	108,67
240°	1	110	109	111	110,00	110,00
255°	1	111	111	112	111,33	111,33
270°	1	115	115	117	115,67	115,67
285°	1	121	123	122	122,00	122,00
300°	1	127	129	129	128,33	128,33
315°	1	130	132	132	131,33	131,33
330°	1	131	133	134	132,67	132,67
345°	1	132	131	131	131,33	131,33

Tabulka 9.8.1: Naměřené hodnoty klasické mléčné žárovky Novaline 100 W

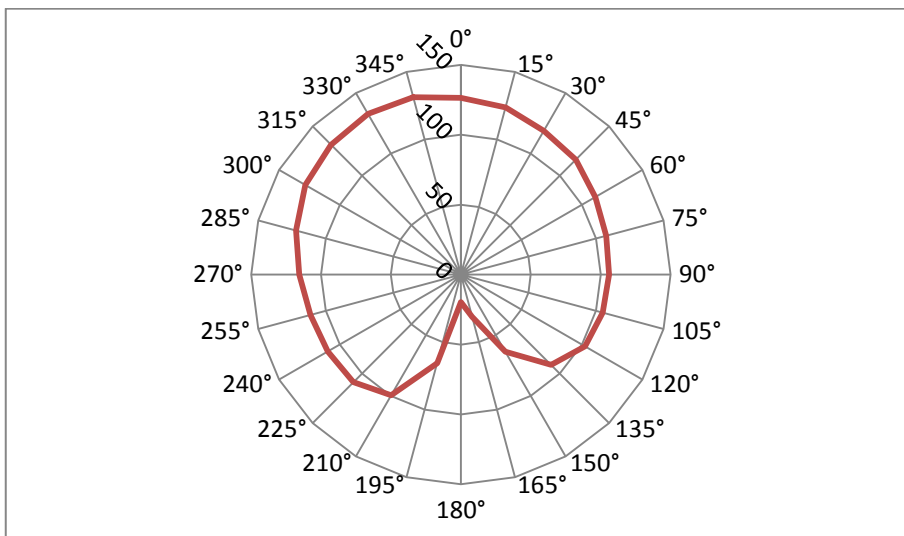
Tato klasická žárovka je od výrobce Novaline. Je to mléčná 100 W žárovka s energetickou třídou E. Životnost je také 1000 hodin.

Výrobce udává světelný tok 1340 lm a mnou naměřená hodnota je jen o cca 13 lm menší, což je zanedbatelné. Její účinnost je lepší než ostatních klasických žárovek, ale oproti LED žárovkám je asi devětkrát menší. Prostor osvětlený touto žárovkou je také velký, asi 315°. Jak můžeme vidět na grafu 9.8.2, náběh na plný výkon je okamžitý.

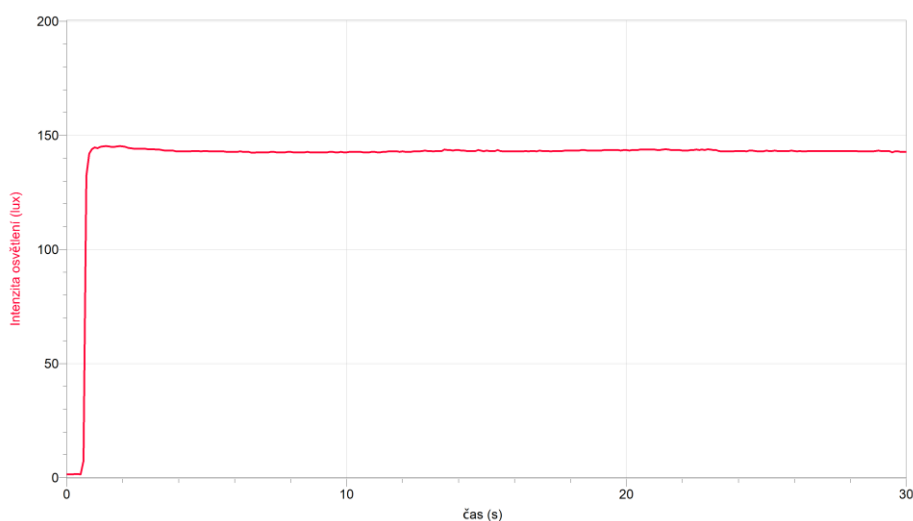
Svítivost: $I = 105,66 \text{ Cd}$

Světelný tok: $\Phi = 1327,80 \text{ lm}$

Světelná účinnost: $K = 13,28 \text{ lm/W}$



Graf 9.8.1: Vyzařovací diagram klasické mléčné žárovky Novaline 100 W



Graf 9.8.2: Graf náběhu klasické mléčné žárovky Novaline 100 W na plný výkon

9.9 KLASICKÁ ŽÁROVKA NBB BOHEMIA 40 W



Obrázek 9.9.1: Klasická žárovka NBB Bohemia 40 W

α [°]	r [m]	E_1 [Lx]	E_2 [Lx]	E_3 [Lx]	E [Lx]	I [Cd]
0°	1	19	20	20	19,67	19,67
15°	1	25	26	26	25,67	25,67
30°	1	26	27	28	27,00	27,00
45°	1	27	27	28	27,33	27,33
60°	1	26	26	26	26,00	26,00
75°	1	24	24	24	24,00	24,00
90°	1	21	21	22	21,33	21,33
105°	1	23	24	23	23,33	23,33
120°	1	26	27	27	26,67	26,67
135°	1	28	28	29	28,33	28,33
150°	1	20	20	20	20,00	20,00
165°	1	2	2	2	2,00	2,00
180°	1	2	3	2	2,33	2,33
195°	1	10	13	12	11,67	11,67
210°	1	26	27	26	26,33	26,33
225°	1	27	28	27	27,33	27,33
240°	1	26	28	28	27,33	27,33
255°	1	24	25	25	24,67	24,67
270°	1	20	20	20	20,00	20,00
285°	1	23	23	24	23,33	23,33
300°	1	28	29	29	28,67	28,67
315°	1	29	30	30	29,67	29,67
330°	1	24	25	25	24,67	24,67
345°	1	22	21	22	21,67	21,67

Tabulka 9.9.1: Naměřené hodnoty klasické žárovky NBB Bohemia 40 W

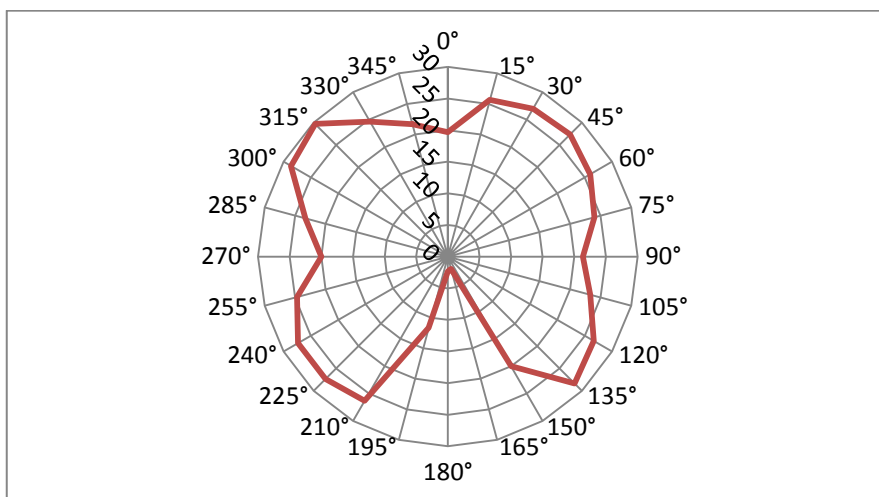
Klasická žárovka od výrobce NBB Bohemia, vyrobená v České republice. Energetická třída je také E. Její životnost je také 1000 hodin.

Žárovka s patičí E27 a rozměry 55 x 93 mm. Výrobce udává světelný tok 370 lm. Naměřená hodnota se přibližně o 80 lm liší. Světelná účinnost 7,21 lm/W je hodně malá, ale v porovnání třeba se 100 W žárovkou je asi poloviční, ale na osvětlování malých prostorů vystačí. Prostor osvětlený touto žárovkou je asi 315°. Jak můžeme vidět na grafu 9.9.2, náběh na plný výkon je okamžitý.

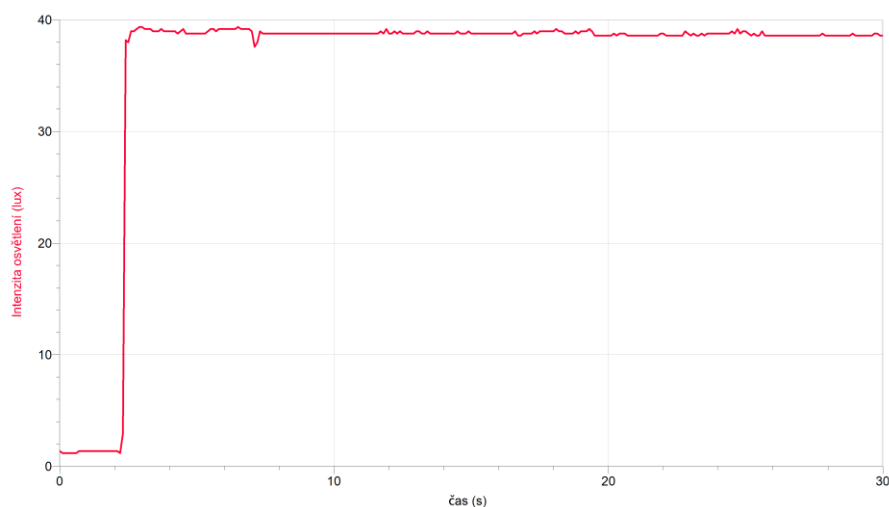
Svítivost: $I = 22,95 \text{ Cd}$

Světelný tok: $\Phi = 288,34 \text{ lm}$

Světelná účinnost: $K = 7,21 \text{ lm/W}$



Graf 9.9.1: Vyzařovací diagram klasické žárovky NBB Bohemia 40 W



Graf 9.9.2: Graf náběhu klasické žárovky NBB Bohemia 40 W na plný výkon

9.10 KLASICKÁ ŽÁROVKA RADIUM 60 W



Obrázek 9.10.1: Klasická žárovka Radium 60 W

α [°]	r [m]	E_1 [Lx]	E_2 [Lx]	E_3 [Lx]	E [Lx]	I [Cd]
0°	1	57	55	55	55,67	55,67
15°	1	64	62	63	63,00	63,00
30°	1	59	59	60	59,33	59,33
45°	1	55	55	55	55,00	55,00
60°	1	59	58	59	58,67	58,67
75°	1	57	56	56	56,33	56,33
90°	1	61	60	61	60,67	60,67
105°	1	64	63	64	63,67	63,67
120°	1	61	62	62	61,67	61,67
135°	1	57	58	59	58,00	58,00
150°	1	53	52	53	52,67	52,67
165°	1	4	5	5	4,67	4,67
180°	1	6	6	6	6,00	6,00
195°	1	14	18	17	16,33	16,33
210°	1	58	58	59	58,33	58,33
225°	1	60	62	61	61,00	61,00
240°	1	59	61	62	60,67	60,67
255°	1	60	61	60	60,33	60,33
270°	1	68	70	70	69,33	69,33
285°	1	66	67	68	67,00	67,00
300°	1	64	65	65	64,67	64,67
315°	1	61	63	63	62,33	62,33
330°	1	58	60	59	59,00	59,00
345°	1	56	57	57	56,67	56,67

Tabulka 9.10.1: Naměřené hodnoty klasické žárovky Radium 60 W

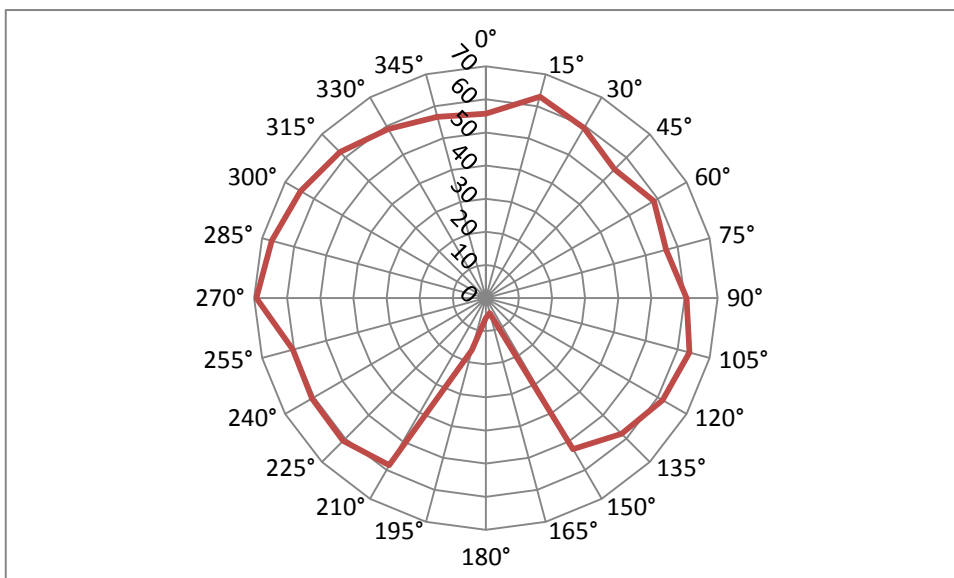
60 W žárovka od výrobce Radium, která byla vyrobena ve Francii. Také už jsme ji měli doma jako náhradní, ale ještě nebyla použita. Životnost je též 1000 hodin.

Tato žárovka také spadá do energetické třídy E. Výrobce udává světelnou účinnost 710 lm. Naměřená hodnota se liší jen nepatrně. Na grafu 9.10.1 vidíme, že tato žárovka také osvětluje prostor je velkém úhlu, asi 300°. Náběh na plný výkon je také okamžitý.

Svítivost: $I = 55,10$ Cd

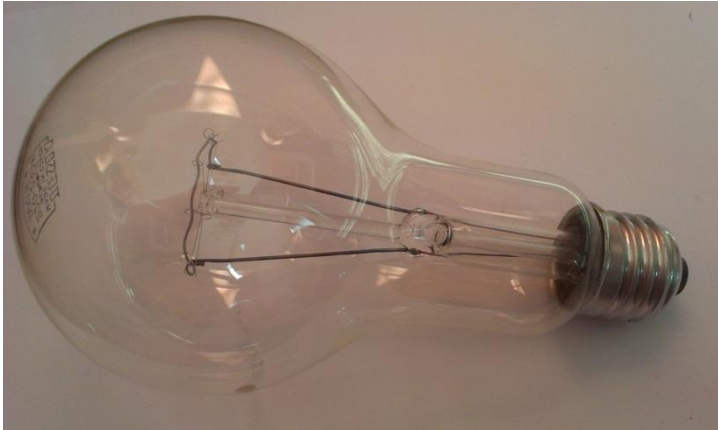
Světelný tok: $\Phi = 692,44$ lm

Světelná účinnost: $K = 11,4$ lm/W



Graf 9.10.1: Vyzařovací diagram klasické žárovky Radium 60 W

9.11 KLASICKÁ ŽÁROVKA TESLA 200 W



Obrázek 9.11.1: Klasická žárovka Tesla 200 W

α [°]	r [m]	E_1 [Lx]	E_2 [Lx]	E_3 [Lx]	E [Lx]	I [Cd]
0°	1	313	321	322	318,67	318,67
15°	1	315	320	321	318,67	318,67
30°	1	312	320	320	317,33	317,33
45°	1	289	297	292	292,67	292,67
60°	1	273	278	275	275,33	275,33
75°	1	259	261	261	260,33	260,33
90°	1	227	230	228	228,33	228,33
105°	1	244	243	250	245,67	245,67
120°	1	271	268	271	270,00	270,00
135°	1	275	281	279	278,33	278,33
150°	1	270	267	269	268,67	268,67
165°	1	197	194	195	195,33	195,33
180°	1	32	35	34	33,67	33,67
195°	1	193	190	170	184,33	184,33
210°	1	264	267	264	265,00	265,00
225°	1	270	271	273	271,33	271,33
240°	1	259	261	261	260,33	260,33
255°	1	238	235	234	235,67	235,67
270°	1	213	215	210	212,67	212,67
285°	1	264	261	264	263,00	263,00
300°	1	282	283	284	283,00	283,00
315°	1	310	308	311	309,67	309,67
330°	1	320	322	318	320,00	320,00
345°	1	330	328	340	332,67	332,67

Tabulka 9.11.1: Naměřené hodnoty klasické žárovky Tesla 200 W

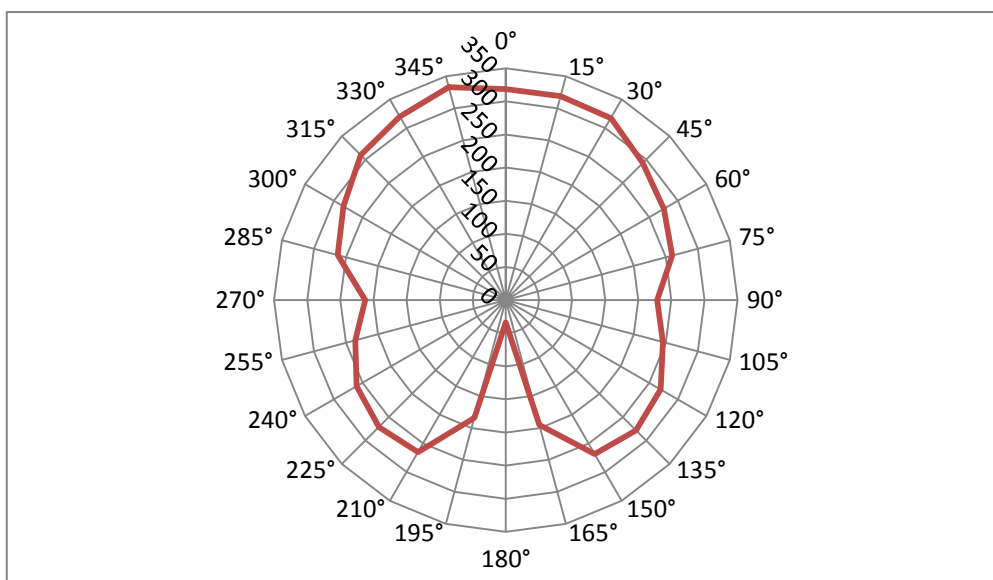
Klasická žárovka Tesla 200 W, je vyrobena v České republice. Není vhodná pro použití do domácnosti, spíše pro průmyslové použití. Životnost je také 1000 hodin.

Tato žárovka má patici E27, ale větší rozměry než klasická žárovka. Její energetická třída je E. Výrobce udává světelný tok 2990 lm, naměřená hodnota je asi 3286 lm, což je více. Její světelná účinnost je však pouze cca 16 lm/W. Prostor osvětlený touto žárovkou je asi 330°. Náběh na plný výkon je okamžitý.

Svítivost: $I = 261,47 \text{ Cd}$

Světelný tok: $\Phi = 3285,78 \text{ lm}$

Světelná účinnost: $K = 16,43 \text{ lm/W}$



Graf 9.11.1: Vyřadovací diagram klasické žárovky 200 W

9.12 KLASICKÁ ŽÁROVKA TES - LAMPS 60 W



Obrázek 9.12.1: Klasická žárovka Tes - lamps 60 W

α [°]	r [m]	E_1 [Lx]	E_2 [Lx]	E_3 [Lx]	E [Lx]	I [Cd]
0°	1	77	78	76	77,00	77,00
15°	1	73	74	72	73,00	73,00
30°	1	71	71	69	70,33	70,33
45°	1	72	73	70	71,67	71,67
60°	1	70	71	69	70,00	70,00
75°	1	65	66	64	65,00	65,00
90°	1	58	59	59	58,67	58,67
105°	1	55	55	55	55,00	55,00
120°	1	59	59	59	59,00	59,00
135°	1	64	65	65	64,67	64,67
150°	1	62	63	65	63,33	63,33
165°	1	6	7	8	7,00	7,00
180°	1	7	6	6	6,33	6,33
195°	1	11	11	11	11,00	11,00
210°	1	64	66	67	65,67	65,67
225°	1	61	60	61	60,67	60,67
240°	1	71	70	71	70,67	70,67
255°	1	68	65	68	67,00	67,00
270°	1	64	64	65	64,33	64,33
285°	1	61	62	61	61,33	61,33
300°	1	63	64	64	63,67	63,67
315°	1	69	68	68	68,33	68,33
330°	1	68	66	68	67,33	67,33
345°	1	73	72	71	72,00	72,00

Tabulka 9.12.1: Naměřené hodnoty klasické žárovky Tes - lamps 60 W

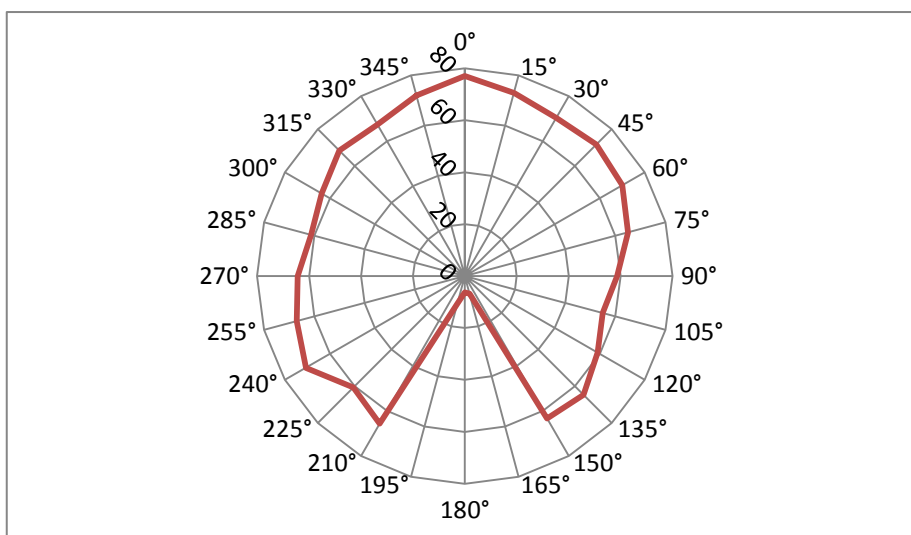
Toto je poslední z klasických žárovek s výkonem 60 W. Byla vyrobena v České republice. Její životnost je také 1000 hodin.

Tato žárovka patří do energetické třídy E. Výrobce udává světelný tok 710 lm, já jsem naměřila zase o něco větší, asi 758 lm. Světelná účinnost je na klasickou žárovku dobrá. Osvětlený prostor je asi 300°, jak můžeme vidět na grafu 9.12.1. A na grafu 9.12.2 můžeme vidět, že náběh na plný výkon je okamžitý.

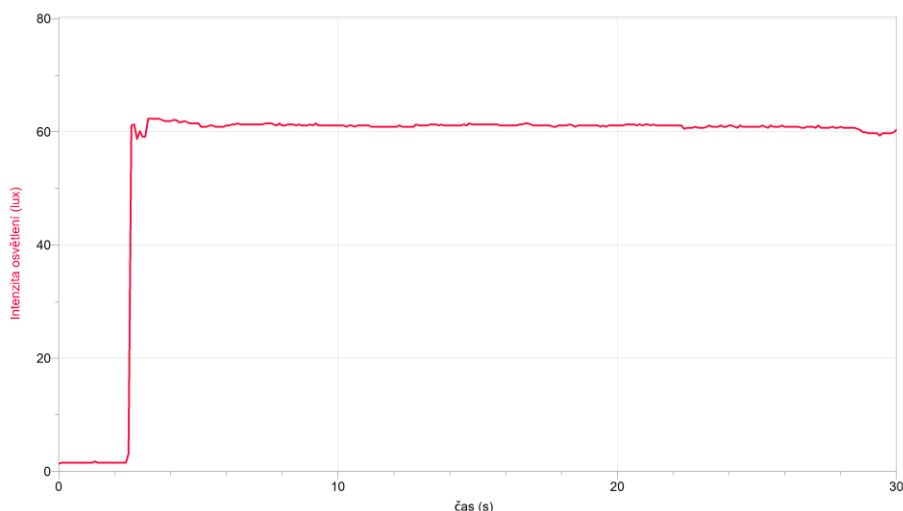
Svítivost: $I = 60,35 \text{ Cd}$

Světelný tok: $\Phi = 758,37 \text{ lm}$

Světelná účinnost: $K = 12,64 \text{ lm/W}$



Graf 9.12.1: Vyzařovací diagram klasické žárovky Tes - lamps 60 W



Graf 9.12.2: Graf náběhu klasické žárovky Tes - lamps 60 W na plný výkon

9.13 KOMPAKTNÍ ZÁŘIVKA KONNOC 11 W



Obrázek 9.13.1: Kompaktní zářivka Konnoc 11 W

α [°]	r [m]	E_1 [Lx]	E_2 [Lx]	E_3 [Lx]	E [Lx]	I [Cd]
0°	1	15	17	18	16,67	16,67
15°	1	22	26	26	24,67	24,67
30°	1	32	36	38	35,33	35,33
45°	1	40	46	48	44,67	44,67
60°	1	46	53	55	51,33	51,33
75°	1	50	55	57	54,00	54,00
90°	1	49	54	56	53,00	53,00
105°	1	44	49	48	47,00	47,00
120°	1	35	38	39	37,33	37,33
135°	1	25	26	27	26,00	26,00
150°	1	13	14	14	13,67	13,67
165°	1	3	4	3	3,33	3,33
180°	1	2	2	2	2,00	2,00
195°	1	5	5	5	5,00	5,00
210°	1	16	18	19	17,67	17,67
225°	1	28	30	29	29,00	29,00
240°	1	37	41	41	39,67	39,67
255°	1	46	48	49	47,67	47,67
270°	1	51	53	54	52,67	52,67
285°	1	51	54	54	53,00	53,00
300°	1	48	50	51	49,67	49,67
315°	1	42	43	44	43,00	43,00
330°	1	32	34	34	33,33	33,33
345°	1	22	23	23	22,67	22,67

Tabulka 9.13.1: Naměřené hodnoty kompaktní zářivky 11 W

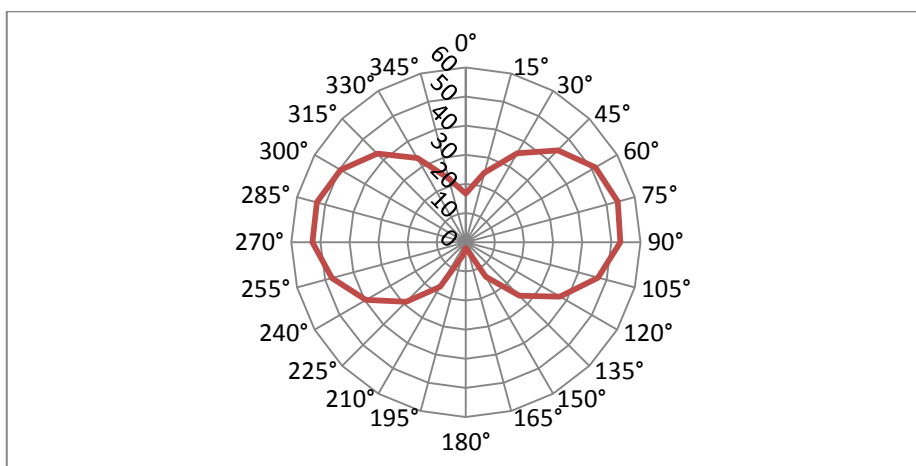
Kompaktní zářivka o výkonu 11 W je od výrobce Konnoc. Životnost, kterou udává výrobce, je 8000 hodin. Cena této kompaktní zářivky je asi 45 Kč.

Energetická třída této kompaktní zářivky je A. Barva světla je 2700 K. Výrobce udává světelný tok 550 lm, mnou naměřená hodnota této žárovky je skoro o 100 lm menší. Na grafu 9.13.1 vidíme vyzařovací diagram. A na grafu 9.13.2 náběh na plný výkon, na kterém můžeme vidět, že žárovka se maximálně rozsvítí už asi po 30 s, ale po dalších 30 s trochu klesne a graf potom rovnoměrně pomalu stoupá a po 300 sekundách se ustálí.

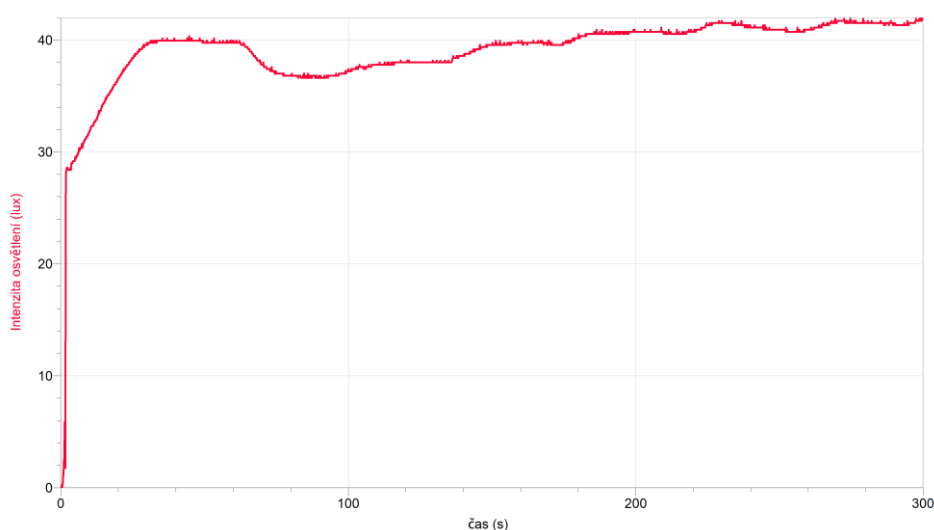
Svítivost: $I = 36,51 \text{ Cd}$

Světelný tok: $\Phi = 458,79 \text{ lm}$

Světelná účinnost: $K = 41,71 \text{ lm/W}$



Graf 9.13.1: Vyzařovací diagram kompaktní zářivky Konnoc 11 W



Graf 9.13.2: Graf náběhu kompaktní zářivky Konnoc 11 W na plný výkon

9.14 KOMPAKTNÍ ZÁŘIVKA ECO LITE 46 W



Obrázek 9.14.1: Kompaktní zářivka Eco lite 46 W

α [°]	r [m]	E ₁ [Lx]	E ₂ [Lx]	E ₃ [Lx]	E [Lx]	I [Cd]
0°	1	194	190	194	192,67	192,67
15°	1	230	226	224	226,67	226,67
30°	1	268	266	262	265,33	265,33
45°	1	294	290	285	289,67	289,67
60°	1	282	278	273	277,67	277,67
75°	1	253	250	245	249,33	249,33
90°	1	244	235	228	235,67	235,67
105°	1	214	207	200	207,00	207,00
120°	1	205	200	193	199,33	199,33
135°	1	173	174	169	172,00	172,00
150°	1	112	109	100	107,00	107,00
165°	1	57	59	57	57,67	57,67
180°	1	27	26	24	25,67	25,67
195°	1	64	64	66	64,67	64,67
210°	1	120	125	116	120,33	120,33
225°	1	196	194	183	191,00	191,00
240°	1	214	218	207	213,00	213,00
255°	1	214	221	209	214,67	214,67
270°	1	240	247	231	239,33	239,33
285°	1	253	264	248	255,00	255,00
300°	1	276	283	267	275,33	275,33
315°	1	286	294	277	285,67	285,67
330°	1	264	280	260	268,00	268,00
345°	1	227	237	223	229,00	229,00

Tabulka 9.14.1: Naměřené hodnoty kompaktní zářivky Eco lite 46 W

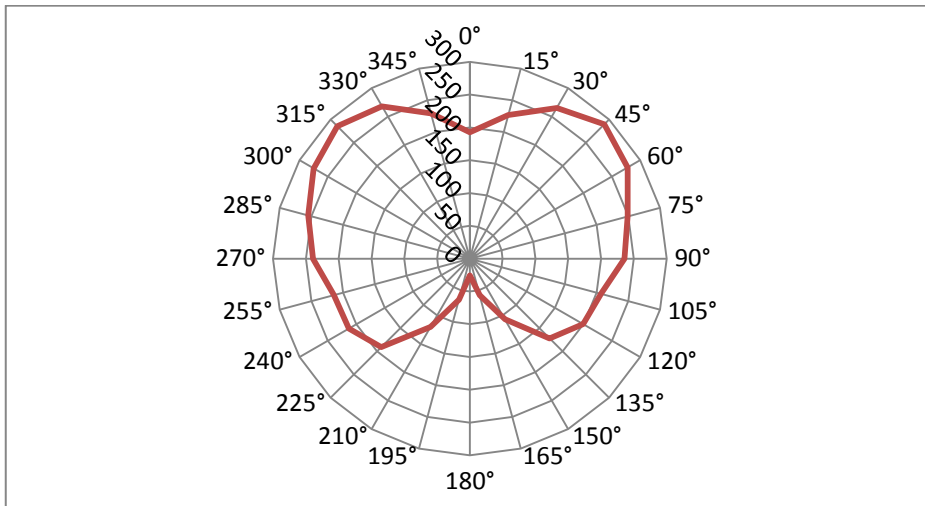
Další kompaktní zářivka je od výrobce Eco lite s výkonem 46 W. Průměrná doba životnosti je asi 8000 hodin. Cena této kompaktní zářivky je asi 249 Kč.

Zářivka spadá do energetické třídy A. Barva světla je 4100 K - bílé světlo. Světelný tok, který udává výrobce je 2600 lm, a já jsem naměřila o malinko větší, asi 2663 lm. Tato kompaktní zářivka má větší rozměry než klasická (délka 23 cm, průměr 7,5 cm). Není určena ke stmívání. Na grafu 9.14.2 vidíme její náběh, asi po 30 s se dostane na maximum a pak lehce klesne a ustálí se.

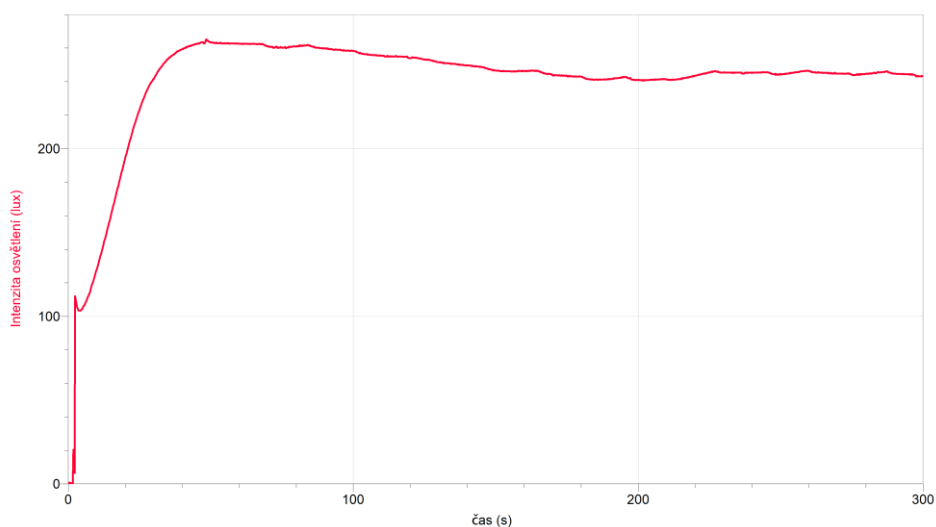
Svítivost: $I = 211,91 \text{ Cd}$

Světelný tok: $\Phi = 2662,90 \text{ lm}$

Světelná účinnost: $K = 57,89 \text{ lm/W}$



Graf 9.14.1: Vyzařovací diagram kompaktní zářivky Eco lite 46 W



Graf 9.14.2: Graf náběhu kompaktní zářivky Eco lite 46 W na plný výkon

9.15 KOMPAKTNÍ ZÁŘIVKA HALLUX 8 W



Obrázek 9.15.1: Kompaktní zářivka Hallux 8 W

α [°]	r [m]	E_1 [Lx]	E_2 [Lx]	E_3 [Lx]	E [Lx]	I [Cd]
0°	0,5	62	64	67	64,33	16,08
15°	0,5	64	65	67	65,33	16,33
30°	0,5	62	63	64	63,00	15,75
45°	0,5	57	58	60	58,33	14,58
60°	0,5	50	51	53	51,33	12,83
75°	0,5	40	42	45	42,33	10,58
90°	0,5	36	38	39	37,67	9,42
105°	0,5	26	28	31	28,33	7,08
120°	0,5	19	22	24	21,67	5,42
135°	0,5	14	15	16	15,00	3,75
150°	0,5	5	7	8	6,67	1,67
165°	0,5	1	1	1	1,00	0,25
180°	0,5	1	1	1	1,00	0,25
195°	0,5	5	8	6	6,33	1,58
210°	0,5	15	18	18	17,00	4,25
225°	0,5	24	27	28	26,33	6,58
240°	0,5	35	36	38	36,33	9,08
255°	0,5	43	45	47	45,00	11,25
270°	0,5	51	53	56	53,33	13,33
285°	0,5	59	62	65	62,00	15,50
300°	0,5	69	71	72	70,67	17,67
315°	0,5	71	73	75	73,00	18,25
330°	0,5	71	73	74	72,67	18,17
345°	0,5	69	70	71	70,00	17,50

Tabulka 9.15.1: Naměřené hodnoty kompaktní zářivky Hallux 8 W

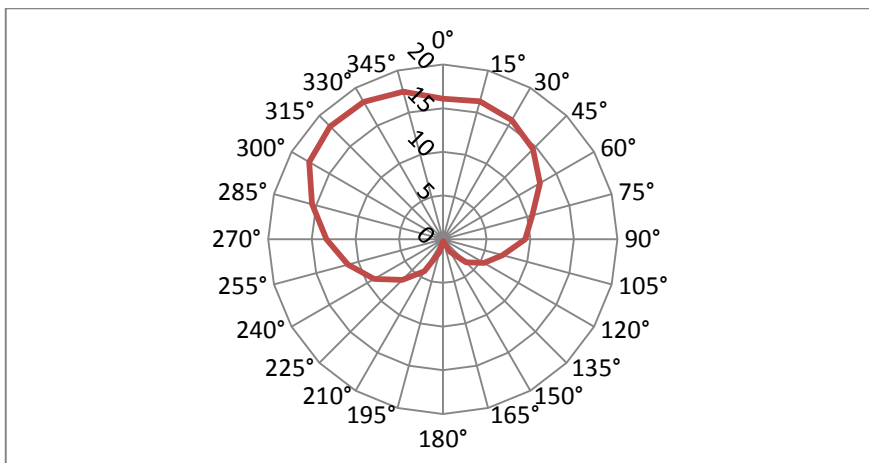
Poslední z naměřených žárovek je kompaktní zářivka od výrobce Hallux s výkonem 8 W. Její životnost je asi 8000 hodin. Cena této kompaktní zářivky se pohybuje kolem 99 Kč.

Tato kompaktní zářivka také spadá do energetické třídy A. Barva světla je 4200 K. Výrobce udává světelný tok 260 lm, já jsem naměřila pouhých 147,62 lm, což je ale způsobeno tím, že už byla používána. Na grafu 9.15.2 vidíme její náběh na plný výkon, který je celou dobu pozvolný a trvá asi 10 minut, což je pro častý provoz nepraktické.

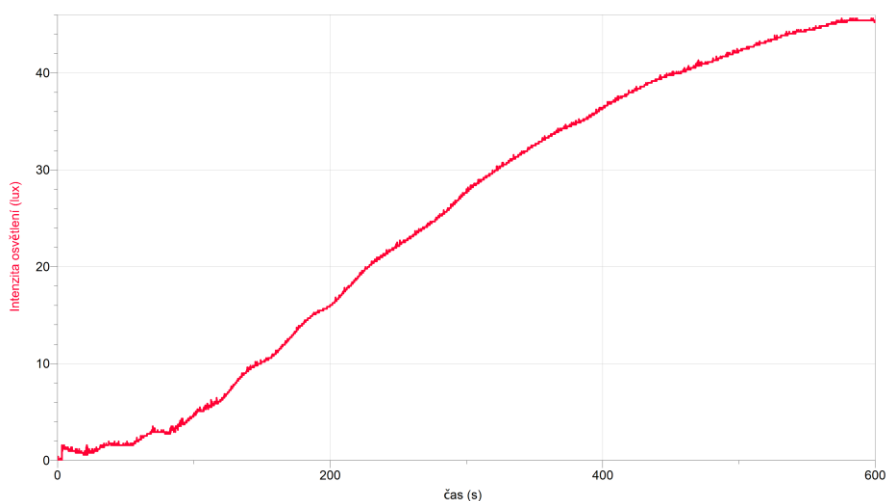
Svítivost: $I = 11,75 \text{ Cd}$

Světelný tok: $\Phi = 147,62 \text{ lm}$

Světelná účinnost: $K = 17,45 \text{ lm/W}$



Graf 9.15.1: Vyzařovací diagram kompaktní zářivky Hallux 8 W



Graf 9.15.2: Graf náběhu kompaktní zářivky Hallux 8 W na plný výkon

9.16 MĚŘENÍ DLOUHODOBÉ ŽÁROVKY

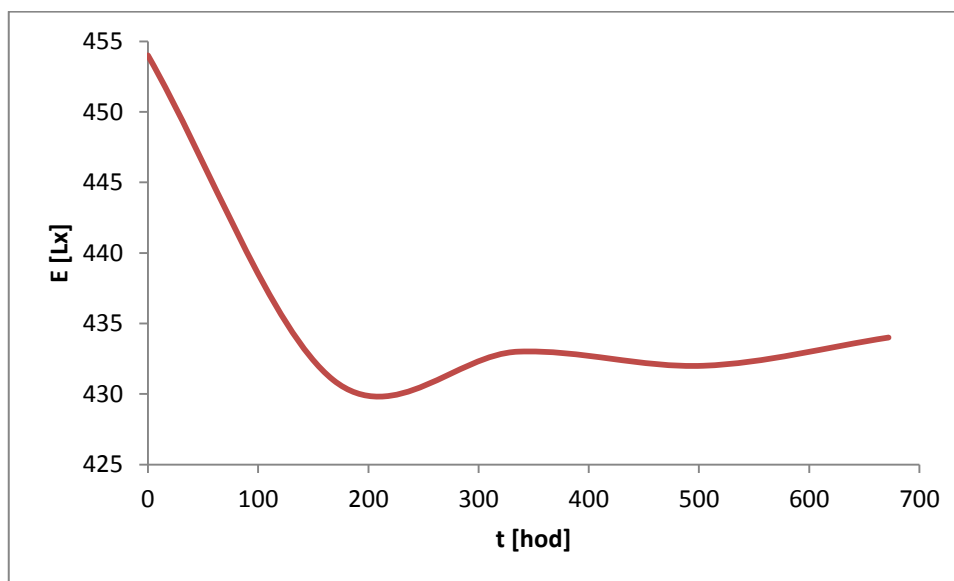
Na dlouhodobé měření byla použita 6 W LED žárovka od výrobce EMOS. Její udávaná životnost je 30 000 hodin a její energetická třída je A+. Barva této žárovky je teplá bílá (3000 K). Cena žárovky je 105 Kč.

Na krabičce je udán světelný tok 400 lm, mně však vyšlo v průměru 1132,25 lm, to je způsobeno tím, že žárovka byla měřena pouze v přímém směru, kde má největší svítivost. Kdyby byla měřena v celých 360° vyzařovacího diagramu, její světelný tok by byl stejný, jako je udáno na krabičce.

Žárovka byla měřena v bytě, pokaždé večer, aby byla co nejméně ovlivněna okolním světlem. Byla měřena jednou týdně celý měsíc, což je 672 hodin. Na grafu 9.16.1 můžeme vidět, že osvětlení kleslo první týden asi o 23 Lx, což je asi 5 %, a poté se ustálilo a lišilo se minimálně (± 2 Lx).

t [hod]	r [m]	E [Lx]
0	0,5	454
168	0,5	431
336	0,5	433
504	0,5	432
672	0,5	434

Tabulka 9.16.1: Tabulka měření osvětlení dlouhodobé žárovky



Graf 9.16.1: Graf závislosti osvětlení na době svícení

10 ZÁVĚR

Cílem měření bylo naměřit svítivost, světelný tok a světelnou účinnost u 15 různých žárovek a jejich porovnání podle světelné účinnosti a ceny.

Nové technologie LED žárovek, které jsem měla možnost si půjčit a proměřit, mají vysokou světelnou účinnost. Skoro u všech LED žárovek se hodnota světelné účinnosti pohybuje okolo 100 lm/W. Jejich životnost je též vysoká, až 50x větší než u klasických žárovek. Jejich velká nevýhoda je vysoká cena, která se pohybuje od 200 do 500 Kč. A vybavit si celý byt žárovkami za 500 Kč je asi pro každého dost drahé.

Klasické žárovky, které už se dnes nevyrábí, mají hodně nízké hodnoty světelné účinnosti. Tyto hodnoty se pohybují od 7 do 13 lm/W, trošku větší světelnou účinnost má 200W žárovka, která se ale moc nehodí do běžných domácností. Jejich velkou nevýhodou je krátká životnost, asi 1000 hodin. Jediné příznivé je na nich cena, která se pohybuje tak kolem 20 - 30Kč.

Světelná účinnost kompaktních zářivek je přijatelná, pohybuje se v rozmezí 40 - 60 lm/W. Ani jejich cena není nejhorší, pohybuje se kolem 100 Kč. Životnost kompaktních zářivek je také lepší než u klasických žárovek. Jejich největší nevýhoda je, že nemají okamžitý náběh na plný výkon. U žárovek, kterým to trvá 30 s, to ještě není nic hrozného, ale žárovka, která se rozsvěcí 10 minut, už je poněkud nepraktická. A drobnou nevýhodou jsou i jejich tvary, které ne vždy musí sedět do svítidel, které máme doma.

Jako nejlepší se mi zdá kompaktní zářivka Konnoc 11 W, která má sice menší světelný tok, zato ale docela vysokou světelnou účinnost, necelých 42 lm/W. A její cena 45 Kč je přijatelná.

Při měření dlouhodobé žárovky bylo zjištěno, že první týden osvětlení žárovky klesne asi o 23 lx a poté se ustálí. Bylo by zajímavé měřit žárovku ještě dlouhodoběji, několik tisíc hodin, to však bylo pro tuto bakalářskou práci časově náročné.

NÁZEV	DRUH	SVÍTIVOST [Cd]	SVĚTELNÝ TOK [lm]	SVĚTELNÁ ÚČINNOST [lm/W]	NÁBĚH	CENA
Ledstar.cz 9 W	LED žárovka	78,62	988,01	109,78	Okamžitý	299 Kč
Ledstar.cz 7 W	LED žárovka	58,77	738,58	105,51	Okamžitý	465 Kč
Ledstar.cz 3 W	LED žárovka	16,98	213,39	71,13	Okamžitý	199 Kč
Ledstar.cz 3 W	LED žárovka	20,17	253,46	50,69	Okamžitý	179 Kč
Ledstar.cz 4x 1W	LED žárovka	29,08	365,42	91,35	Okamžitý	149 Kč
Osram 75 W	Klasická žárovka	70,95	891,63	11,89	Okamžitý	20-30 Kč
NBB Bohemia 75 W	Klasická žárovka	55,21	693,81	9,25	Okamžitý	20-30 Kč
Novalina 100 W	Klasická žárovka	105,66	1327,80	13,28	Okamžitý	20-30 Kč
NBB Bohemia 40 W	Klasická žárovka	22,95	288,34	7,21	Okamžitý	20-30 Kč
Radium 60 W	Klasická žárovka	55,10	692,44	11,4	Okamžitý	20-30 Kč
Tesla 200 W	Klasická žárovka	261,47	3285,78	758,37	Okamžitý	20-30 Kč
Tes-lamps 60 W	Klasická žárovka	60,35	758,37	12,64	Okamžitý	20-30 Kč
Konnoc 11 W	Kompaktní zářivka	36,51	458,79	41,71	30 s	45 Kč
Eco lite 46 W	Kompaktní zářivka	211,91	2662,90	57,89	30 s	249 Kč
Hallux 8 W	Kompaktní zářivka	11,75	147,62	17,45	600 s	99 Kč

Tabulka 10.1: Tabulka naměřených žárovek

Jelikož pocházím z Jindřichova Hradce, který je znám jako jedno z prvních měst, které bylo elektricky osvětleno, v přílohách přikládám pár zmínek o osvětlování Jindřichova Hradce a o elektrárně Františka Křižíka, která se zde nachází. Všechny informace byly zjištěny ve státním oblastním archivu v Třeboni – oddělení správy fondů a sbírek Jindřichův Hradec.

11 ZDROJE

- [1] Odborný časopis Světlo, 2005, číslo 3
- [2] Odborný časopis Světlo, 2005, číslo 4
- [3] http://www.techmania.cz/edutorium/art_vedci.php?key=476, 25. 10. 2014
- [4] http://technet.idnes.cz/pred-160-lety-se-praha-rozsvitila-ale-lide-se-bali-fr6-/tec_technika.aspx?c=A070913_185907_tec_technika_rja, 25. 10. 2014
- [5] <http://www.quido.cz/objevy/zarovka.htm>, 25. 10. 2014
- [6] <http://www.novakoviny.eu/archiv/historie/438-edison-zarovka>, 26. 10. 2014
- [7] http://www.rozhlas.cz/vedaarchiv/technologie/_zprava/388100, 26. 10. 2014
- [8] Gottfried Schröder: Technická optika, Praha 1981
- [9] <http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%BD%C3%A1rovka>, 6. 11. 2014
- [10] Odborný časopis Světlo, 2008, číslo 4
- [11] <http://www.lustry-svitidla.cz/klasicke-zarovky-a-jejich-parametry>, 6. 11. 2014
- [12] <http://www.earch.cz/cs/svetelne-zdroje-obycejne-zarovky>, 6. 11. 2014
- [13] <http://www.rent.cz/clanky/detail/jake-jsou-vyhody-a-nevyhody-klasicke-halogenove-usporne-a-led-zarovky.htm> 7. 11. 2014
- [14] http://cs.wikipedia.org/wiki/Nahrazov%C3%A1n%C3%AD_%C5%BE%C3%A1rovek, 7. 11. 2014
- [15] http://cs.wikipedia.org/wiki/Kompaktn%C3%AD_z%C3%A1%C5%99ivka, 10. 11. 2014
- [16] <http://www.earch.cz/cs/svetelne-zdroje-kompaktni-zarivky>, 10. 11. 2014
- [17] Odborný časopis Elektro, 2010, číslo 10

- [18] Miroslav Ťoupal: Světelné zdroje a jejich účinnost, Bakalářská práce, PF JU Č. Budějovice, 2009
- [19] <http://www.earch.cz/cs/svetelne-zdroje-halogenove-zarovky>, 10. 12. 2014
- [20] http://cs.wikipedia.org/wiki/Halogenov%C3%A1_%C5%BE%C3%A1rovka, 10. 12. 2014
- [21] <http://cs.wikipedia.org/wiki/LED>, 12. 1. 2015
- [22] Odborný časopis Světlo, 2009 číslo 5
- [23] <http://ledzarovky.wz.cz/new-page/myty-a-fakta-o-led.html>, 12. 1. 2015
- [24] <http://www.elkovo-cepelik.cz/led-svetelne-diody-light-emitting-diodes>, 12. 1. 2015
- [25] Vojtěch Stah, Jiří Tesař: Fyzikální praktikum III. České Budějovice, 1979
- [26] Miloš Chvojka, Jiří Skála: Malý slovník jednotek měření, Praha, 1982
- [27] <http://eshop.micronix.cz/merici-technika/neelektricke-veliciny/zareni-osvetleni/luxmetry/lutron-lx-101.html>, 4. 2. 2015
- [28] <http://www.vernier.cz>, 4. 2. 2015
- [29] <http://www.led4all.cz/>, 8. 2. 2015
- [30] Jaromír Brož a kolektiv: Základy fyzikálních měření, Praha, 1983
- [31] Kulturně historický archiv města Jindřichův Hradec
- [32] Zámecký mlýn v Jindřichově Hradci

12 PŘÍLOHY

12.1 PŮSOBENÍ FRANTIŠKA KŘÍŽÍKA A VEŘEJNÉ OSVĚTLENÍ V JINDŘICHOVĚ HRADCI

Zmínka o elektrickém osvětlení v Jindřichově Hradci v Ohlasu od Nežárky ze dne 13. dubna 1888:

„Elektrické osvětlení města k účelům veřejným a soukromým bylo minulou středu odevzdáno svému účelu. Zařízení toto dlužno nazvati toho druhu prvním nejen v Čechách, nýbrž i v celém Rakousku. Města, která elektricky osvětlena jsou, jako Temešvár a provisorním dosud osvětlováním opatřený Písek, mají zařízení pouze k osvětlování veřejnému sloužící, nikoli však k účelům soukromým. Osvětlení obojího druhu provedeno právě v Jindřichově Hradci. Instalaci tu provedl, jak známo zdejší velkostatek hraběte Černína hlavně přičiněním vrchního ředitele p. dr. Jičínského na svůj vlastní účet k účelům jak svým a soukromým, tak i na základě smlouvy s obcí a jednotlivci k účelům veřejným ku osvětlování ulic města, jakož i krámů a bytů osob privátních ku pohánění dynamoelektrických strojů slouží síla vodní z panského rybníka, jež využitkována jest v nově postavené turbíně v síle as 50 koňských sil. Rozvod po městě proveden vesměs nad zemí poj způsobu telegrafního vedení z drátu měděného různé síly na zvonkovitých porcelánových izolátorech. K osvětlení ulic slouží 90 žárovek ve světlosti 16ti a 2 obloukové lampy po 1000 normálních svíčkách. Žárovky ty různě na místech příhodných po městě rozděleny skýtají světla velmi skvělého, ku osvětlení ulic více než dostatečného. Vyjma těch, použito k osvětlení zámku 130, k osvětlení bytů a krámů 161 žárovek. Počtem lamp právě uvedených jest síla úplně využitkována, tak že bohužel zařízení s tou silou zvětšiti nelze a to k velkému žalu většiny soukromníků, na něž elektrického světla se nedostalo. Přihlášky mezi soukromníky byly velmi četné, však za těžko bylo většině jich vyhověti. Okolnost ta byla příčinou, že na zařízení nové centrály se silou třeba i parní, již dne, v poměrně velmi krátkém čase po dohotovení nynější instalace vážně se pomýšlí. Za použití proudu elektrického ku osvětlování platí město podnikateli 12, soukromník pak 15 zl. za každou namontovanou žárovku ročně.“

[31]

Dopisy:

„Z Hradce do Hradce. Budiž světlo! Bylo světlo a to světlo učiněno v pondělí dne 14. t. m. na den sv. Matyldy o 7. hodině večerní, a bylo to světlo elektrické, kteréž osvítilo naše náměstí a panskou ulici a vzbudilo závisť v ulicích ostatních, kdež jakoby panovala tma egyptská. Panovala toho dne studená chumelenice sněhová a mráz pronikal kosti; vítr fičel a nemilosrdně bičoval vločky sněhové do tváří houfu lidstva, kteréž stálo u každé té misky plechové, obdivující a pozorující nepatrný uhlík, kterak rozžhaven neviditelnou mocí v té skleněné hruštičce sálal do mrazivého vzduchu světlo skoro denní, rovnající se světlu šestnácti svíček, kteréž přece nemožno v řadě postavit na římsu domu, aby osvětlovaly nám cestu, když nejistým krokem jest se nám bráti ze střelnice neb od Dvořáků, Níčů, Tuzarů, Friedlů, Kohoutů, Cimlerů, Solperů a podobných jiných útulků strastí pozemských bo hrbolatých cestách do rájů našich domácích.

A byl den úterý, a jemu následují ostatní, a vždy o 7. hodině večerní stojí diváků nesčetených, očekávajících dychtivě okamžik, kdy jakoby dotknutím čarovného proutku mizí tma a nastává jasný okamžik nad jejich hlavami, kdy tají dech a najednou hlasitých „ah!“ ulevují stísněným prsoum svým a výkřik radostí rozléhá se kolem...

...Proud lidstva hrne se podjezdem kolem lékárny na podhradí, kdežto v panském pivovaře pracuje tajemný stroj postavený k vyrábění obdivovaného svítiva, jímžto až posud žádné město v Čechách honositi se nemůže. Již zdaleka slyšeti hukot a dychot příšerný a mocný sloup černého dýmu valí se z útrov vysokého komínu, a halí v neproniknutelný háv šedé zdivo starobylého hradu a udiveně hledí na tento ruch hrůzná hladomorna, na jejíž úpatí rozkládá se novověký závod užitečného průmyslu a výroba blahodatného moku, vyhlášeného jindřichohradeckého ležáku. Parní stroj neúnavně pracuje silou několika atmosfér na vyrábění elektřiny, jejížto rozvod do města děje se pomocí bezpočetných drátů natažených po domech, ježto jindy při blížení se bouřce a ozývajícím se hromotřesku v základech svých se otřásaly, nyní však klidně a spokojeně daly se sepnouti měděným řetězem, po němž letí jiskra hromová, aby stala se užitečnou ve prospěch všeobecný a podala tak důkazu o všemohoucnosti lidského důmyslu...“ [31]

12.2 KŘÍŽÍKOVA ELEKTRÁRNA V JINDŘICHOVĚ HRADCI

Zámecký mlýn stojí v Jindřichově Hradci již od 15. století. Za velkého požáru v roce 1615 mlýn vyhořel. Obnoven byl až v roce 1673 a dovybaven na 14 vodních kol. Při dalším požáru roku 1773 mlýn opět vyhořel, tentokrát byl opraven již za čtyři roky. Měl znovu 14 vodních kol, jednu stoupu¹ a velké čerpací kolo pro vodovod. V roce 1835 byl rekonstruován a modernizován. České mlynářství však od osmdesátých let 19. století upadalo. Ředitel černínských statků Karel Jičínský proto hledal pro objekt jiné využití. Navrhl, že by zde bylo možné zařídit elektrárnu, která by vyráběla proud nejen pro zámek, ale i pro celé město. Proměna mlýna v elektrárnu nevyžadovala žádné zásadní stavební úpravy. Přirozenou hnací sílu zajišťoval pravidelný přítok z rybníka Vajgar. Zpočátku měl pohon elektrodynamických strojů obstarávat parní stroj o výkonnosti 19HP. V lednu roku 1887 byly dva elektrodynamické stroje Křížíkova systému nainstalovány a o týden později se již v pivovaru zkušebně svítilo. V únoru bylo elektrické osvětlení zavedeno na náměstí a do Panské ulice a v polovině března již začali zvědaví občané obdivovat první osvětlení. Nebylo moc intenzivní, protože žárovka měla svítivost 16 svíček. V květnu byla objednána vodní turbína o výkonnosti 50HP, která umožnila dodávat proud až do 600 žárovek. Licence na provoz elektrárny byla udělena od dubna roku 1888. V roce 1902 bylo potřeba elektrárnu rozšířit. Roku 1921 byla dodána druhá turbína a dynamo bylo vyměněno za generátor o výkonu 50HP. Elektrárna pracovala až do roku 1995. V roce 1998 převzal správu nad objektem Národní památkový ústav a v letech do roku 2001 byla provedena celková rekonstrukce. Vzhledem k tomu, že je mlýn s elektrárnou národní kulturní památkou, byly zde zachovány všechny důležité části původní technologie. Chod elektrárny je dnes řízen automatiky přes počítač. Celkový instalovaný výkon je 75kW.

¹ Stoupa je nejstarší zařízení pro drcení křehkých materiálů.

Nové parametry elektrárny:

- Výkon činný 75 kW
- Jmenovitý příkon 50 kW
- Průměrný výkon 30 kW
- Jmenovité napětí statoru 380 V
- Kmitočet 50 Hz
- Účinník 0,8

Jsou instalovány:

- Dvě původní Francoisovy turbíny o hltnosti $H_j = 1,95+0,95 \text{ m}^3/\text{s}$
- Původní asynchronní generátor 75 kW
- Jmenovitý spár max = 4,95 m
- Otáčky hřídele $N_j = 275 \text{ ot}/\text{min}$

Jmenovité otáčky asynchronního generátoru 730 ot/min

Předpokládaná výroba elektřiny za rok při plném průtoku 325 000 kWh.

Zpracováno podle informací z Jindřichohradeckého zámeckého mlýna. [32]

V přílohách byla ponechána autentická čeština z 19. století.