

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Náhrada žárovky kompaktní zářivkou**

**vedoucí práce: doc. Ing. Josef Linda, CSc.**

**2011**

**autor: Petr Karvánek**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2010/2011

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Petr KARVÁNEK  
Osobní číslo: E10B0047P  
Studijní program: B2612 Elektrotechnika a informatika  
Studijní obor: Komerční elektrotechnika  
Název tématu: Náhrada žárovky kompaktní zářivkou  
Zadávající katedra: Katedra technologií a měření

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

1. Porovnejte vlastnosti klasických žárovek, halogenových žárovek (230V) s kompaktními zářivkami.
2. Porovnejte provozní a pořizovací náklady jednotlivých typů světelných zdrojů, stanovte návratnost investic.
3. Určete ekologickou zátěž při výrobě, provozování a likvidaci jednotlivých typů světelných zdrojů.
4. Určete kriteria pro použití jednotlivých světelných zdrojů s důrazem na ochranu životního prostředí.

Rozsah grafických prací: dle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. Habel, J. a kol.: Světelná Technika a osvětlování, FCC Public, 1995

2. Linda, J.: Elektrické světlo I, II, III. ZČU v Plzni 1993, 1995

Vedoucí bakalářské práce:

Doc. Ing. Josef Linda, CSc.

Katedra elektroenergetiky a ekologie


Datum zadání bakalářské práce: 12. října 2009

Termín odevzdání bakalářské práce: 3. června 2011

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.

děkan



  
Doc. Ing. Vlastimil Škočil, CSc.

vedoucí katedry

V Plzni dne 18. října 2010

**Anotace**

Předmětem této bakalářské práce je charakterizovat a porovnat oba druhy světelných zdrojů z hlediska jejich efektivity, provozních nákladů a způsobu použití pro specifické aplikace. Dále je zde uvedena problematika recyklace odpadů při jeho výrobě a po skončení životnosti daného světelného zdroje.

**Klíčová slova**

Žárovka, kompaktní zářivka, halogenová žárovka, světelný zdroj, ekologická zátěž.

**Abstract**

The subject of this thesis is to define and compare both types of light sources in terms of their effectiveness, operational costs and the way of use in particular applications. Furthermore, the question of process waste recycling and after light source life recycling is mentioned there.

**Key words**

Classic bulb, Compact fluorescent lamp, halogen bulb, light source, ecological load.

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni. Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu literatury, který je součástí této bakalářské práce.

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

V Plzni dne 1.6.2011

Jméno příjmení

.....

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Josefu Lindovi, CSc. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

## Obsah

|   |           |
|---|-----------|
| <b>ÚVOD.....</b>  | <b>11</b> |
| <b>1. ZJEDNODUŠENÉ ROZDĚLENÍ A PARAMETRY SVĚTELNÝCH ZDROJŮ ....</b>                               | <b>12</b> |
| 1.1. Klasické žárovky.....  | 14        |
| 1.1.1. Konstrukce .....   | 14        |
| 1.1.2. Hlavní přednosti: .....  | 16        |
| 1.1.3. Nedostatky .....   | 16        |
| 1.1.4. Parametry .....  | 17        |
| 1.2. Halogenové žárovky .....   | 19        |
| 1.2.1. Konstrukce .....   | 20        |
| 1.2.2. Hlavní přednosti.....  | 22        |
| 1.2.3. Hlavní nedostatky .....  | 23        |
| 1.3. Kompaktní zářivky.....   | 24        |
| 1.3.1. Fyzikální princip činnosti.....  | 24        |
| 1.3.2. Zářivky s elektronickým integrovaným předřadníkem .....                                    | 26        |
| 1.3.3. Hlavní přednosti kompaktních zářivek:.....   | 27        |
| 1.3.4. Hlavní nedostatky kompaktních zářivek: .....   | 28        |
| Shrnutí:.....   | 28        |
| <b>2. PROVOZNÍ A POŘIZOVACÍ NÁKLADY .....</b>   | <b>30</b> |
| Pořizovací cena.....  | 30        |
| Návratnost investice.....   | 30        |
| 2.1. Zjednodušená ekonomická rozvaha.....   | 30        |
| 2.2. Návratnost investic.....   | 34        |
| <b>3. DOPADY NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ PŘI VÝROBĚ, PROVOZOVÁNÍ A LIKVIDACI SVĚTELNÝCH ZDROJŮ .....</b> | <b>35</b> |
| 3.1. Výroba .....   | 35        |
| 3.2. Provoz.....  | 36        |



|  |           |
|--|-----------|
| Životnost světelných zdrojů .....              | 36        |
| <b>3.3. Likvidace světelných zdrojů: .....</b> | <b>38</b> |
| Odpadní světelné zdroje .....                  | 38        |
| <b>4. ZÁVĚR.....</b>                           | <b>41</b> |
| <b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>                | <b>44</b> |
| <b>PŘÍLOHY .....</b>                           | <b>45</b> |
| Seznam příloh: .....                           | 45        |

**Přehled zkratk**

| <b>Zkratka</b>  | <b>Význam zkratky</b>             | <b>Český překlad</b>                    |
|-----------------|-----------------------------------|---|
| T <sub>cp</sub> | Correlated Color Temperature      | Teplota chromatičnosti                  |
| CRI             | Color rendering index             | Index podání barev                      |
| ELI             | Efficient Lighting Initiative     | Iniciativa pro úsporné osvětlení        |
| IFC             | International Finance Corporation | Mezinárodní finanční korporace          |
| GEF             | Global Environment Facility       | Globální environmentální fond           |
| CFL             | Compact fluorescent lamp          | Kompaktní zářivka                       |
| EU              | European Union                    | Evropská Unie                           |
| SOA             | Seal of approval                  | Certifikát jakosti (prohlášení o shodě) |

## Úvod

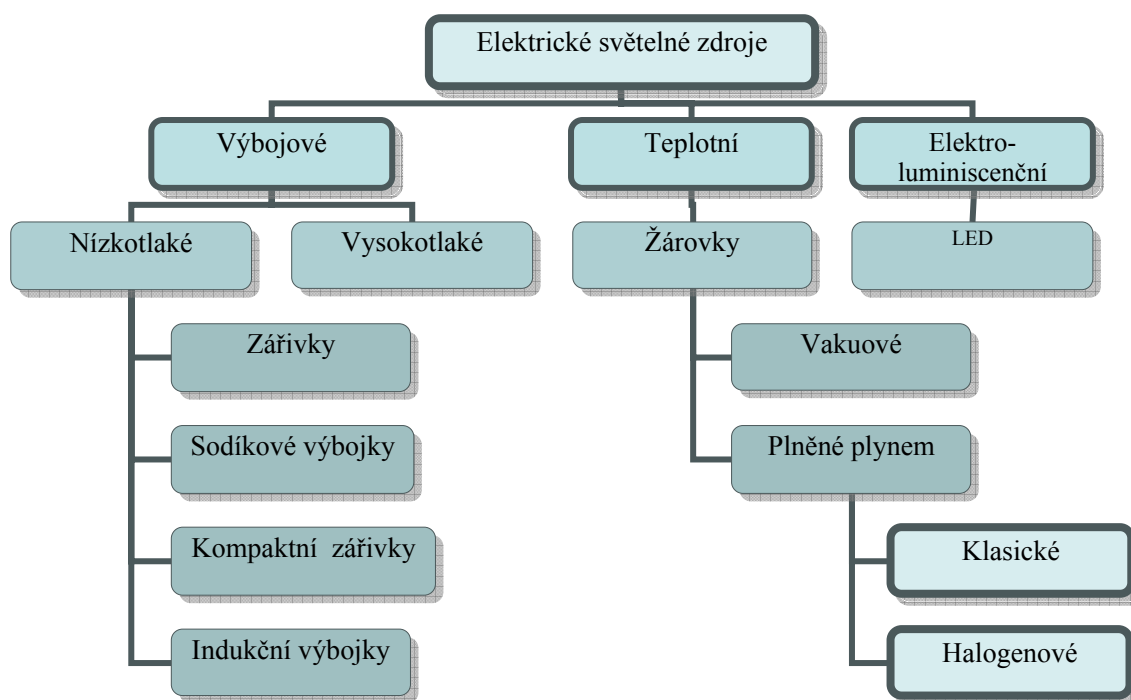
V dnešní době, kdy se téměř každý jedinec na této planetě musí zamyslet nad otázkou, jakým způsobem minimalizovat energetickou náročnost svého každodenního působení, a tím pádem eliminovat i svůj negativní dopad na životní prostředí, se zde objevuje poměrně elegantní řešení, jak se s tímto problémem alespoň částečně vypořádat [1].

Světlo v jakékoliv podobě, ať již přirozené – sluneční záření nebo umělé – osvětlovací tělesa, člověk ke svému životu nezbytně potřebuje. Jelikož lidské možnosti, jak „poručit“ dennímu osvětlení jsou stále ještě omezeny tím, zdali zatáhneme rolety a žaluzie či nikoliv, u umělého osvětlení je tomu právě naopak. Zde je lidský jedinec neomezeným pánem nejen nad spínačem, kterým se osvětlovací soustava uvádí do činnosti, ale zejména nad návrhem a samotnou realizací osvětlovací soustavy, která nejen odpovídá hygienickým požadavkům, ale je i optimálně navržena s ohledem na energetickou náročnost, což úzce souvisí s ekologickými trendy současného pohledu na svět [1].

Z dostupných informací vyplývá, že výdaje za elektrickou energii jsou po mzdách, druhou nejvýznamnější položkou firemních nákladů. Vzhledem k tomu, že snižování nákladů na materiál, mzdy apod. by mohlo ohrozit výslednou kvalitu produktu nebo služby, je úspora energie ještě relativně snadnou cestou k jejich snížení a ke zvýšení konkurenceschopnosti, ale současně i jasným signálem, že náš pohled je směřován i do budoucna a není omezen jen krátkodobým pohledem na okamžitý zisk [1].

Jednou z možností, jak dosáhnout snížení nákladů na provoz osvětlovacích soustav, je použití vhodných, energeticky úsporných, světelných zdrojů. Z porovnání světelně-technických parametrů běžně používaných světelných zdrojů – tj. klasických žárovek, klasických lineárních zářivek, klasických halogenidových výbojek a energeticky úsporných kompaktních zářivek vyplývá závěr, že významných úspor elektrické energie lze dosáhnout použitím posledně jmenovaného světelného zdroje. Výkonem osvětlovací soustavy je snaha docílit její nižší energetické náročnosti, tím pádem dosáhnout i výrazných finančních úspor a v neposlední řadě i snížit množství produkovaných emisí, které jsou s jejím provozem spojeny [1].

## 1. Zjednodušené rozdělení a parametry světelných zdrojů



Obr. 1. Základní zjednodušené rozdělení elektrických světelných zdrojů [2].

### **Parametry světelných zdrojů lze rozdělit na kvantitativní a kvalitativní:**

Mezi kvantitativní parametry patří vyzařovaný světelný tok  $\Phi$  (lm) a jejich elektrický příkon  $P$  (W). Pro vzájemné porovnání světelných zdrojů je velmi důležitou veličinou měrný výkon  $\eta$  (lm.W<sup>-1</sup>). Tyto parametry jsou důležité zejména pro uživatele a projektanty, kteří potřebují znát celkový příkon osvětlovací soustavy [10].

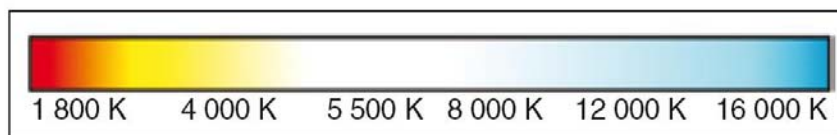
Kvalita světelných zdrojů se posuzuje podle délky jejich života  $T$  (hod), podle barevného podání a podle stálosti světelně-technických parametrů. Mezi důležité vlastnosti patří také geometrické rozměry, tvar, hmotnost, distribuce a možnost úpravy světelného toku. Samostatnou kapitolu pak tvoří pořizovací a provozní náklady. Doba života žárovek končí přerušáním vlákna a je dána užitečnou, případně fyzickou dobou života. Barevné podání (index podání barev), nebo také chromatičnost světelných zdrojů je určena spektrálním složením vyzařované energie. Vyjadřuje se pomocí trichromatických souřadnic anebo teploty chromatičnosti. V praxi se však světelné zdroje rozlišují především podle barevného tónu vyzařovaného světla. Jakost úrovně vjemu barev se číselně vyjadřuje pomocí všeobecného

indexu podání barev  $R_a$  (-). Při denním světle a světle teplotních zdrojů je barevné vnímání nejméně a proto tyto mají  $R_a = 100$  [10].

Při světle nízkotlaké sodíkové výbojky, která vyzařuje monochromatické světlo se vjem barvy nerozlišuje a proto je  $R_a = 0$ . Podání barev je uspokojivé, je-li  $R_a$  větší než 40 a za dobré je považováno je-li  $R_a$  větší než 80. Stálost světelně technických parametrů souvisí s provozními vlastnostmi světelných zdrojů. Jedná se o časovou závislost, kterou lze definovat jako rychlou nebo pomalou [10].

Rychlými změnami se rozumí změny parametrů např. světelného toku v závislosti na napájecím napětí o frekvenci 50 Hz. Světelný tok kolísá s dvojnásobnou frekvencí a hloubka kolísání záleží na setrvačných vlastnostech světelného zdroje. Tento jev může vyvolat stroboskopický efekt, který se stává nebezpečnou záležitostí v některých provozech, zejména v provozech s točivými stroji. Mezi další rychlé změny patří také změny světelného toku v závislosti na kolísání efektivní hodnoty napětí. Toto kolísání je způsobeno provozem některých spotřebičů jako jsou např. elektrické obloukové pece. Rušivě ovlivňuje zrakový vjem zejména kolísání světelného toku v oblasti frekvencí 8 – 12 Hz. Na kolísání napětí jsou nejcitlivější žárovky. Mezi rychlé změny se také počítají změny parametrů v souvislosti s náběhem světelného zdroje po zapnutí k napájecí síti. Žárovky nabíhají téměř okamžitě, zatímco parametry výbojových světelných zdrojů se ustalují až po několika minutách [10].

Pomalými změnami se rozumí závislost parametrů světelných zdrojů na statických změnách napětí, což se vyjadřuje pomocí křížových charakteristik. Mezi pomalé změny patří rovněž změny parametrů způsobené stárnutím světelných zdrojů. Během jejich doby života světelný tok klesá. Například u žárovek se sníží po 1000 hod. provozu světelný tok na 90 %. U výbojových zdrojů se požaduje, aby po uplynutí doby života nepoklesl jejich světelný tok pod 70 % jmenovité hodnoty [10].



Obr. 2. Znárodnění spektra s teplotou chromatičnosti [11].

## 1.1. Klasické žárovky

Obyčejné žárovky jsou stále nejrozšířenějšími světelnými zdroji. Vyrábějí se v miliardových množstvích ročně a jsou součástí základního výrobního sortimentu téměř všech významných světových výrobců světelných zdrojů. Patří do skupiny teplotních světelných zdrojů, kde základem funkce všeobecně je určitý způsob zahřívání těles na teploty, při nichž se objevuje viditelné záření. Žárovka je světelný zdroj vyzařující světlo z tělesa (vlákna) rozžhaveného průchodem elektrického proudu [4].

Charakteristickou vlastností všech teplotních zdrojů je spojité spektrum jimi vyzařovaného světla, zároveň se však vyznačují velmi nízkou účinností přeměny elektrické energie na světelnou [4].

### 1.1.1. Konstrukce

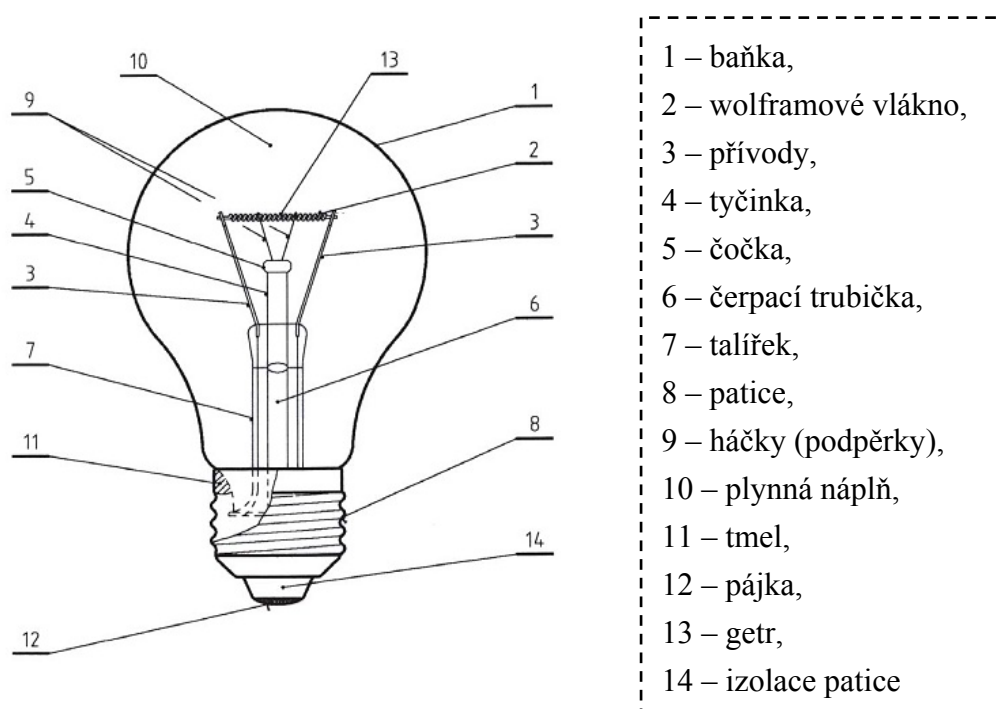
Konstrukce žárovky je ukázána na obr. 1. Vlastním zdrojem záření je vlákno, které je u moderních žárovek vyrobeno výhradně z tenkého wolframového drátu (o průměru od 10  $\mu\text{m}$  a u žárovek od 15 - 200W do 120  $\mu\text{m}$ ) svinutého do jednoduché nebo dvojité šroubovice. Vlákno je v požadované poloze fixováno přívody a podpěrnými molybdenovými háčky zapíchnutými do čočky tyčinky, která s dalšími skleněnými polotovary (talířkem a čerpací trubičkou) tvoří tzv. nožku. Nožka s vláknem je zatavena do vnější baňky vyrobené z měkkého sodno-vápenatého skla. Baňka se používá čirá, zrcadlená, barevná, barvená, chemicky matovaná nebo matovaná, popř. opalizovaná nanesením rozptýlné vrstvy v elektrostatickém poli. Přívody jsou součástí elektrického obvodu a obvykle se skládají ze tří částí. Vnitřní část přívodu je z niklu nebo poniklovaného železa, jeho prostřední část je vyrobena z tzv. plášťového drátu s činitelem teplotní roztažnosti odpovídajícím roztažnosti skleněného talířku. To zajišťuje vakuově těsné spojení kovových a skleněných součástí žárovky, umožňující udržet potřebné vakuum nebo inertní prostředí v žárovce v průběhu celého jejího života. Vnější člunek přívodu zároveň plní i funkci pojistky (v případě vzniku výboje při přerušení vlákna v žárovkách plněných plynem). Běžně bývá zhotoven z monelu<sup>1</sup> o malém průměru (160 až 180  $\mu\text{m}$ ). Zajišťuje zároveň elektrický kontakt s objímkou svítidla prostřednictvím patice [4].

---

<sup>1</sup> Monel - slitina niklu s mědí

Přívody jsou s patičí spojeny buď pájením běžnými pájkami Sn-Pb anebo ekologicky čistším svařením. Vnitřní prostor baňky je vyčerpán, zbytky nežádoucích plynů (zejména kyslíku a vodíku) jsou pohlceny getrem<sup>2</sup>, naneseným na vlákno nebo konce přívodů po montáži vlákna na nožku. Náplň žárovek bývá argon nebo krypton, v obou případech s příměsí dusíku, zabraňujícího vzniku výboje mezi závity vlákna. Přítomnost inertního plynu snižuje rychlost vypařování vlákna, umožňuje zvýšit jeho teplotu, a tedy i měrný výkon žárovky při zachování života, omezuje černání baňky a zlepšuje tím stabilitu světelného toku během svícení [4].

Z hlediska života žárovky je žádoucí používat co nejvyšší tlak plnicího plynu, podle možnosti blížící se tlaku okolní atmosféry. Obyčejné žárovky jsou obvykle opatřeny závitovou patičí E27, nejčastěji zhotovenou z hliníku nebo galvanicky poniklované mosazi, anebo bajonetovou patičí Ba22d. Patice je k baňce připevněna speciálním tmelem [4].



Obr. 3. Konstrukce klasické žárovky [2].

<sup>2</sup> Getr - červený fosfor nebo nitrid fosforu

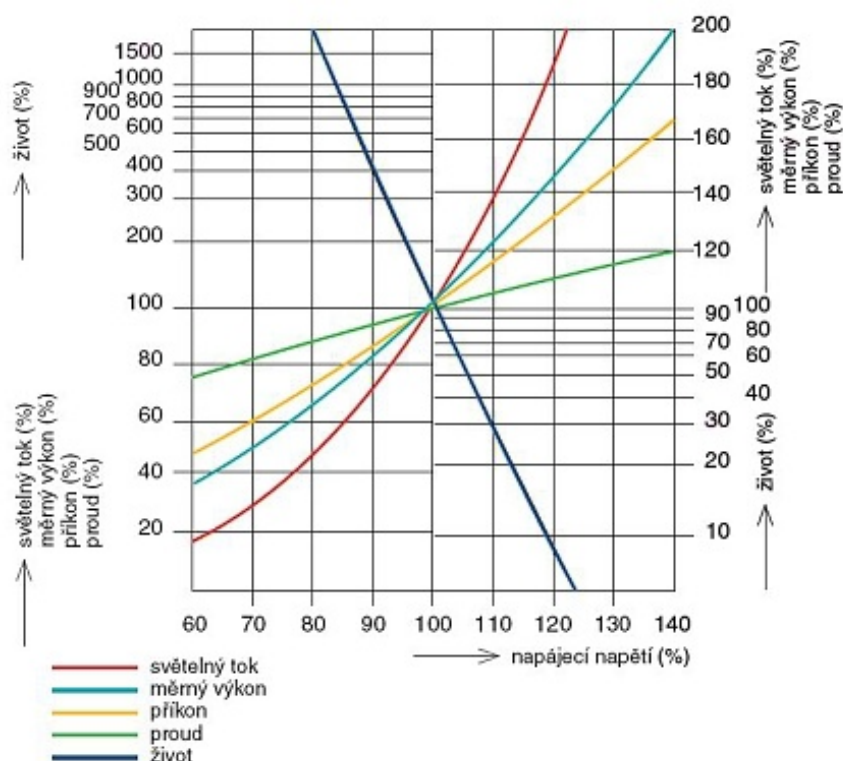
### 1.1.2. Hlavní přednosti:

1. Vhodný tvar, jednoduchá konstrukce, malé rozměry a malá hmotnost
2. Spojité spektrum vyzařovaného světla, majícího příjemný teplý odstín charakterizovaný teplotou chromatičnosti 2 700 až 2 900 K
3. Vynikající podání barev osvětlovaných předmětů, charakterizované všeobecným indexem podání barev  $R_a = 100$
4. Okamžitý start bez blikání, stabilní svícení bez míhání (v důsledku dostatečně velké tepelné setrvačnosti vlákna) a téměř okamžité ustálení světelného toku po připojení napájecího napětí
5. Možnost konstruovat žárovky pro široký rozsah napájecího napětí (od desetin voltu do několika set voltů)
6. Možnost přímého napájení ze sítě bez nutnosti použití předřadných obvodů
7. Široký interval přípustných provozních teplot při zanedbatelném vlivu okolní teploty na parametry žárovky
8. Jednoduchý provoz a většinou snadná výměna vadných žárovek
9. Libovolná poloha svícení
10. Téměř nulová úroveň ultrafialového záření
11. Zvládnutá technologie hromadné výroby používaných polotovarů i vlastních žárovek, která se vyznačuje vysokým stupněm automatizace. Tím je dána i trvale velmi nízká cena běžných žárovek.
12. Snadná likvidace vyhořelých žárovek - neobsahují žádné zdraví škodlivé látky, lze je odkládat do komunálního odpadu. [4].

### 1.1.3. Nedostatky

Zásadním nedostatkem všech běžných žárovek je tedy velmi malý měrný výkon, jejich relativně krátký život (1 000 h), velký pokles světelného toku v průběhu života a výrazná závislost parametrů žárovek, zejména života, na napájecím napětí (obr. 4) [4].





Obr. 4. Závislost základních parametrů žárovky na napájecím napětí [2].

#### 1.1.4. Parametry

Energetická účinnost přeměny elektrické energie na světelnou je u vakuových žárovek asi 7 %, u žárovek plněných plynem se pohybuje okolo hodnoty 10 %. Vztáhne-li se však tento parametr na citlivost lidského oka, to znamená, 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 ve formě vyzářeného tepla a z hlediska vlastního světelného zdroje je nutné ji považovat za ztrátu [4].

|                    |    |     |     |     |     |       |       |       |
|--------------------|----|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|
| Příkon žárovky [W] | 15 | 25  | 40  | 60  | 75  | 100   | 150   | 200   |
| Světelný tok [lm]  | 90 | 230 | 430 | 730 | 960 | 1 380 | 2 220 | 3 150 |
| Měrný výkon [lm/W] | 6  | 9   | 11  | 12  | 13  | 14    | 15    | 16    |

Tab. 1. Světelně-technické parametry obyčejných žárovek 15 až 200 W s životem 1 000 h při jmenovitém napětí 230 V [4].

Měrný výkon žárovek lze sice zvýšit zvýšením teploty vlákna (teoreticky lze dosáhnout hodnoty až přibližně 50 lm/W, odpovídající teplotě tání wolframu, avšak při nulové životnosti), 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 [4]:

$$T/T_n = (U/U_n)^{-14} ; \text{ kde}$$

T - život při napětí U,

T<sub>n</sub> - život při jmenovitém napětí U<sub>n</sub> [2].

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 difúzním světlem vhodným spíše pro dekorační osvětlení. Tomu odpovídá i typický hříbkovitý tvar baňky a vyšší cena žárovky [4].

Tyto žárovky jsou konstruovány na jmenovité napětí 120, 220, 230 nebo 240 V, kterému odpovídá jmenovitý život 1 000 h. Žárovky o příkonu 15 až 100 W mají jednotný tvar a rozměry, jsou vesměs plněny inertním plynem (směsí argonu a dusíku) a vlákno má tvar dvojité svinuté šroubovice. Na našem trhu jsou k dispozici patice E27. Světelný tok a měrný výkon této základní příkonové řady jsou uvedeny v tab. 1. Se stejnými geometrickými parametry, ale s příslušně změněným světelným tokem jsou vyráběny i žárovky s životem 2 500 a 5 000 h používané v osvětlovacích soustavách se ztíženým přístupem ke svítidlům a dále žárovky otřesuvzdorné, v nichž je použito jednoduše vinuté vlákno až s devíti podpěrkami, které snášejí provoz v soustavách vystavených zvýšeným otřesům [4].

## 1.2. Halogenové žárovky

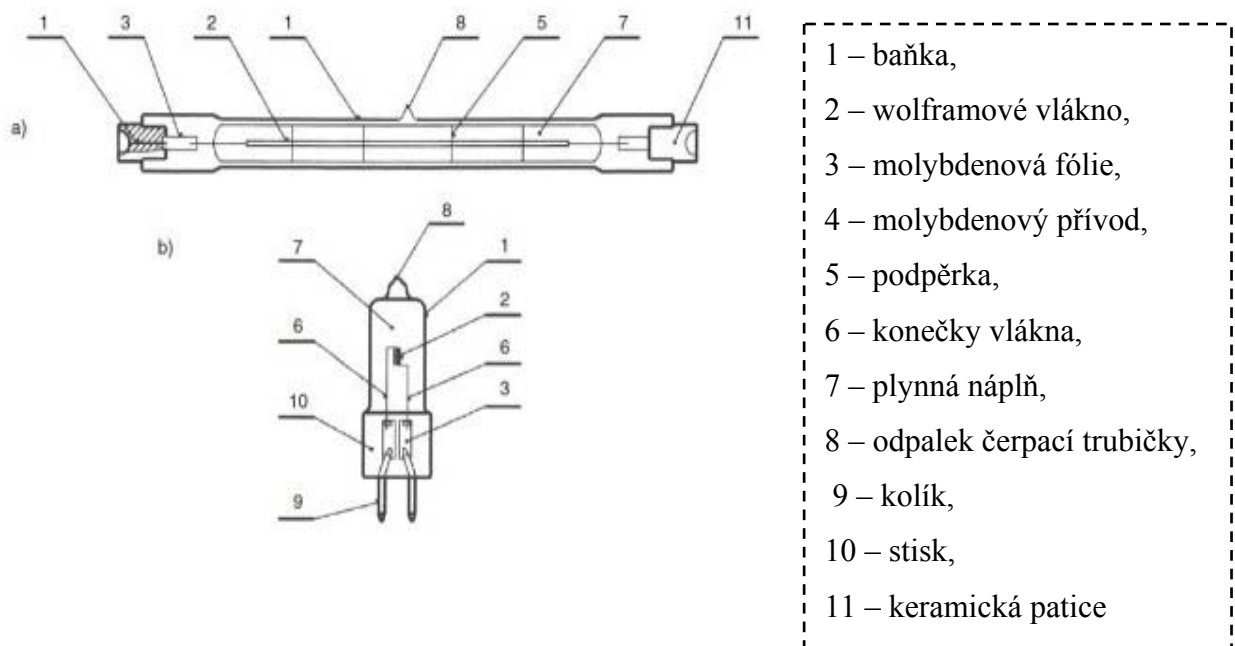
Halogenové žárovky jsou žárovky plněné plynem s příměsí halogenů nebo jejich sloučenin. Představují další generaci teplotních světelných zdrojů. Obyčejné žárovky z hlediska svých technických parametrů a užitečných vlastností dosáhly již v třicátých letech minulého století svého maxima a jejich další vývoj směřoval spíše k rozšiřování sortimentu ve smyslu zvýšení estetických účinků osvětlení, k využití různých módních tvarů baněk, různých barevných odstínů jejich pokrytí apod. 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, 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 [6].

### 1.2.1. Konstrukce

Konstrukce halogenových žárovek je ukázána na obr. 5. Baňka žárovky je vyrobena z křemenného skla, ze skloviny typu „vycor“<sup>3</sup>, anebo z tvrdého skla (u žárovek s menšími příkony). Vlákno představuje jednoduše nebo dvojitě svinutou šroubovici z wolframového drátu se speciálními vlastnostmi, jež jsou nezbytné pro použití v halogenových žárovkách. U dvoustiskových žárovek je vlákno fixováno v ose trubice wolframovými podpěrkami. Vakuový zátav je buď drátový (do tvrdého skla) nebo s použitím molybdenové fólie (do křemenného skla a do vycoru). Použití tenké fólie se specifickým průřezem je nezbytné z důvodu rozdílného činitele teplotní roztažnosti křemene a molybdenu. Důležitou podmínkou dosažení stanoveného života žárovky je taková konstrukce svítidla, aby teplota v místě spojení vnějšího přívodu s fólií nepřesáhla 350 °C. V opačném případě molybden oxiduje, což je doprovázeno zvětšením objemu příslušného oxidu; to vede k mechanickému porušení stisku, a tím i ke znehodnocení pracovního prostředí v žárovce. Plynou náplň tvoří inertní plyn (obvykle krypton a xenon nebo směs těchto plynů, dusík pak pro žárovky pro napětí vyšší než 12V, který obdobně jako u obyčejných žárovek snižuje pravděpodobnost vzniku výboje mezi závity vlákna, popř. dalšími kovovými částmi vnitřního systému žárovky) a sloučenina obsahující halogen (např. metyljodid CH<sub>3</sub>I, metylenbromid CH<sub>2</sub>Br<sub>2</sub> a další). 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 [6].

---

<sup>3</sup> sklo s vysokým obsahem oxidu křemičitého vyrobené originální technologií



Obr. 5. Konstrukce halogenové žárovky, a) – dvoustisková, b) – jednostisková žárovka [2].

Wolframové vlákno je umístěno v ose válcové baňky. Baňka je naplněna směsí inertního plynu a sloučenin halogenu. Wolfram vypařující se z vlákna, jehož teplota dosahuje přibližně 3 000 K, se v blízkosti baňky při teplotě pod 1 700 K slučuje s halogenem na příslušný halogenid wolframu ( $WBr_2$ ). Ten v důsledku gradientu koncentrace difunduje plynným prostředím zpět k vláknu, kde se při teplotě převyšující 1 700 K rozpadá na wolfram a volný halogen. Uvolněný halogen se opět účastní reakce, zatímco atomy wolframu zvyšují tlak wolframových par v těsné blízkosti vlákna, a omezují tak jeho vypařování. Existence tohoto uzavřeného cyklu je základním předpokladem dosažení žádoucích parametrů žárovky. Mechanismus ukončení činnosti halogenové žárovky je však obdobný jako u obyčejné žárovky. Celkový efekt wolfram-halogenového cyklu u žárovky představuje při 30% zvýšení světelného toku přibližně dvojnásobný život. Spektrální složení světla halogenových žárovek je obdobné jako u žárovek obyčejných, avšak s ohledem na zpravidla vyšší teplotu vlákna je průběh charakteristické křivky strmější a maximální intenzita vyzařování je posunuta směrem k menším vlnovým délkám – světlo je bělejší [6].

Časté zapínání žárovek na plné napětí, zvláště ke konci života, vede k dřívějšímu přepálení vlákna v porovnání s režimem obvykle používaným při zkouškách života podle platných norem. Wolfram při svícení postupně rekrystalizuje a stává se křehkým. Dilatační šok z náhlého zvýšení teploty v zeslabeném rekrystalizovaném místě je obvyklou příčinou přepálení vlákna, jehož pravděpodobnost s počtem zapnutí roste. Z tohoto hlediska je šetrnější režim v obvodech umožňujících stmívání, kdy se žárovka rozsvítí při menším napětí a teprve jeho plynulým zvyšováním dosáhne plné hodnoty světelného toku [6].

Díky vhodným geometrickým parametrům halogenových žárovek byla s úspěchem použita náročná technika interferenčních vrstev nanesených přímo na vnější baňku, které propouštějí viditelné světlo a odrážejí infračervené záření zpět na vlákno, a zlepšují tak jeho energetickou bilanci. Výsledkem je při zachování života vyšší měrný výkon, anebo při zachování světelného toku a života výrazné snížení příkonu (u některých typů lineárních žárovek více než o třetinu) [6].

### 1.2.2. Hlavní přednosti

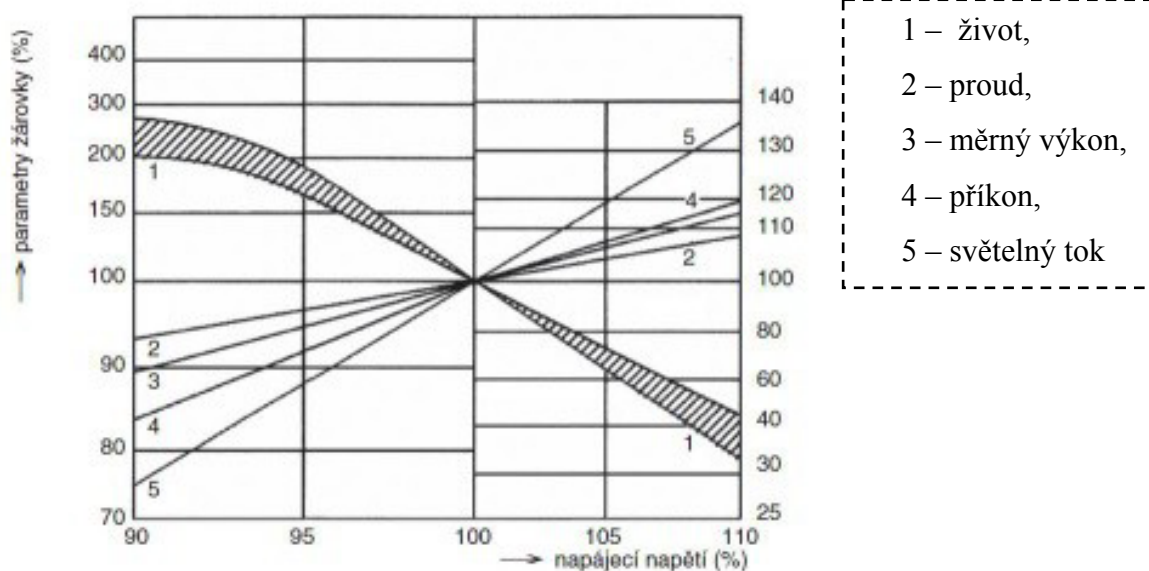
K výhodám halogenových žárovek – vedle těch, které již byly uvedeny u obyčejných žárovek (tj. především spojité spektrum, vynikající podání barev charakterizované všeobecným indexem podání barev  $R_a = 100$  a okamžitý start [2]) – patří:

1. Příjemné bílé světlo s vyšší teplotou chromatičnosti 2 900 až 3 100 K u speciálních typů až 3 400 K (přitom však život klesá na 15 h)
2. Lepší stabilita světelného toku a teploty chromatičnosti v průběhu svícení; úbytek světla během života zpravidla nepřevyšuje 5 % počáteční hodnoty
3. Vyšší účinnost přeměny elektrické energie na světelnou při stejném životě
4. Delší život při stejném měrném výkonu
5. Kompaktní rozměry žárovky umožňující konstruovat menší a materiálově úspornější svítidla (např. ve světlometech automobilů) při jejich vyšší účinnosti
6. Koncentrované svítící těleso umožňující snadněji a přesněji přerozdělovat světelný tok optikou svítidla

7. Možnost využít vynikající selektivní vlastnosti tenkých vrstev nanášených na baňku žárovky, zvyšující hospodárnost jejího provozu až o 35 %
8. Možnost využití obdobné vrstvy (byť s jinými odraznými vlastnostmi) u speciálních reflektorů integrovaných se žárovkou na usměrnění viditelného světla na osvětlovaný předmět bez jeho tepelné zátěže anebo na vytváření zajímavých světelných efektů
9. Existence vysoce výkonných automatických výrobních linek, např. na výrobu lineárních žárovek, žárovek na malé napětí nebo žárovek pro automobily aj [6].

### 1.2.3. Hlavní nedostatky

1. K nevýhodám halogenových žárovek patří podstatně náročnější technologie výroby, zejména u žárovek s nízkým příkonem – pod 100 W na síťové napětí
2. Vyšší cena než u klasických žárovek
3. U žárovek na malé napětí je nutné používat konvenční nebo elektronický transformátor
4. Značná závislost jejich parametrů na napájecím napětí (viz obr. 7) i omezenější možnost stmívání – při dlouhodobějším provozu při výrazně nižším napětí již neprobíhá halogenový cyklus a baňka ztmavne [6].



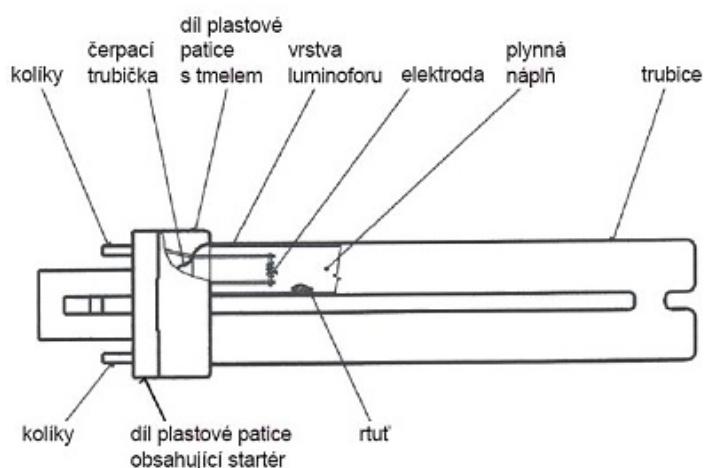
Obr. 6. Závislost základních parametrů halogenové žárovky na napětí sítě [2].

### 1.3. Kompaktní zářivky

V širokém sortimentu světelných zdrojů dlouhou dobu citelně chyběly typy, které by se svým světelným tokem, geometrickými parametry a kvalitou podání barev blížily obyčejným žárovkám o příkonu 25 až 200 W (jejichž světelný tok při životě 1 000 h leží v rozmezí 230 až 3 200 lm) a zároveň by při konkurenceschopné ceně měly v porovnání s nimi podstatně větší účinnost a delší život. Toto místo začaly postupně zaplňovat kompaktní zářivky, jejichž světelný tok se pohybuje v požadovaném rozsahu, při měrném výkonu 50 až 80 lm/W (v porovnání s 9 až 15 lm/W u žárovek) a podstatně delším životě (pět až dvacetkrát delším než život žárovek). Zvláště zajímavé jsou kompaktní zářivky s integrovaným elektronickým předřadníkem a klasickou závitovou patičí. Jejich rozvoj je nebývale dynamický, neustále je rozšiřován jejich sortiment, zmenšovány jejich vnější rozměry, zvyšována jejich účinnost a prodlužován život při současném nezanedbatelném snižování jejich ceny [5].

#### 1.3.1. Fyzikální princip činnosti

Princip 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. [5].



Obr. 7. Konstrukce kompaktní zářivky se zabudovaným doutnavkovým startérem, patice G24-d.



Významným konstrukčním znakem je provedení s jednou patičí a malé obrysové rozměry, jichž je dosahováno účelným složením výbojové dráhy do dvou, čtyř, šesti, osmi, nebo dokonce i více paralelně umístěných, avšak elektricky vzájemně sériově propojených trubice tak, že vytvářejí jeden společný výbojový prostor. Lze najít i další konfigurace výbojové trubice, např. vycházející ze základního polotovaru ve tvaru písmene U, který je následně spojován do složených tvarů 2U, 3U, 4U [5].

Vlastní výbojová trubice – na obou koncích opatřená wolframovými elektrodami pokrytými emisní hmotou – je zhotovena z měkkého olovnatého skla. Někteří výrobci však již používají sklo speciálního složení, které neobsahuje ekologicky nežádoucí olovo. Na vnitřní stěně trubice je nanesena vrstva tvořená směsí dvou nebo tří tzv. úzkopásmových luminoforů<sup>4</sup> na bázi prvků vzácných zemin, jejichž výrazné maximum záření je v červené, zelené, popř. modré oblasti viditelného spektra. Výboj svítí ve směsi par rtuti a vzácného plynu (např. argonu). Rtuť je do zářivky dávkována v čisté formě nebo, u předních výrobců, ve formě amalgámu vhodného kovu (např. india). Tím je zajištěn širší teplotní interval, v němž světelný tok dosahuje požadované hodnoty. 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. Celý sortiment kompaktních zářivek je vyráběn v základních odstínech bílé barvy, charakterizovaných náhradní teplotou chromatičnosti ( $T_{cp}$ ) 2 700, 3 000, 4 000 a 6 500 K. Číselné označování kompaktních zářivek podle jakosti podání barev a barevného tónu světla je shodné jako u lineárních zářivek. Zajímavé z hlediska uživatele je umístění výbojové trubice zářivek s malými příkony (do max. 23 W) do přídavné vnější baňky různého tvaru (hruškový, kulový, svíčkový, hříbkový apod.) s rozptylnou vrstvou, anebo do vnějšího integrovaného reflektoru. Základním důvodem tohoto uspořádání je co nejvíce ji přiblížit obrysovými rozměry i křivkou rozložení svítivosti obyčejným matovaným, reflektorovým, popř. dekoračním žárovkám. Toto řešení se v současnosti uplatňuje výhradně u kompaktních zářivek s integrovaným elektronickým předřadníkem [5].

---

<sup>4</sup> Luminofor je látka, schopná uchovat dodávanou energii a následně ji vyzářovat ve formě světla (tzv. luminiscence).

### 1.3.2. Zářivky s elektronickým integrovaným předřadníkem

Jsou určeny do žárovkových svítidel jako přímá a energeticky úspornější náhrada žárovky. Jsou opatřeny patičí E14, E27, popř. B22, novější 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 trubici, popř. s využitím nové patice a objímky již zmíněného typu G28d, umožňují splnit důležitý požadavek: dodržet obrysově 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 tomu 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 znatelně neovlivňuje [5].

### 1.3.3. Hlavní přednosti kompaktních zářivek:

1. První skupina výbojových světelných zdrojů, která se svým světelným tokem, geometrickými parametry a kvalitou podání barev blíží obyčejným žárovkám v základní příkonové řadě 15 až 200 W (jde o typy s integrovaným elektronickým předřadníkem)
2. Vysoká účinnost přeměny elektrické energie na světelnou, dosahující u typů s vnějším elektronickým předřadníkem až 87 lm/W, což v porovnání s měrným výkonem odpovídající žárovky znamená téměř 80% úsporu elektrické energie
3. Velmi dobré podání barev charakterizované  $R_a$  převyšujícím hodnotu 80, u speciálních typů až 90
4. Rozšířený interval provozních teplot ( $-10$  až  $+70$  °C) při využití vhodných amalgámů; úbytek světelného toku při mezních teplotách nepřevyšuje 20 % jmenovité hodnoty
5. Úplný sortiment základních odstínů bílé barvy, charakterizovaných náhradní teplotou chromatičnosti 2 700 až 6 500
6. Dlouhý život, dosahující u významných výrobců až 20 tisíc hodin
7. Možnost provozu se stmívači (a to jak zářivek s příslušným vnějším elektronickým předřadníkem, tak i u některých nejnovějších typů zářivek s integrovaným elektronickým předřadníkem) nebo se zabudovanými senzory, které automaticky reagují na okolní světelné podmínky, resp. na přítomnost lidí v místnosti; takový provoz dále spoří elektrickou energii
8. Kompaktní zářivky s integrovaným elektronickým předřadníkem pracují ve vysokofrekvenčním režimu, vyznačují se dokonalým startem – do 1 s – bez blikání, stabilním provozem bez míhání a potlačením stroboskopického jevu
9. Vysoce produktivní výrobní linky s kapacitou až 4 000 ks/h
10. Trvale se zdokonalující součástková základna pozitivně ovlivňující spolehlivost, rozměry a cenu elektronických předřadníků
11. Velmi nízký obsah rtuti (u výrobků renomovaných firem).

#### 1.3.4. Hlavní nedostatky kompaktních zářivek:

1. Vliv četnosti zapínání na jejich život, obsah toxické rtuti (byť významní výrobci snížili její množství na technologicky nejnutnější úroveň – na 2 mg)
2. Pomalý náběh na plný světelný výkon
3. Závislost světelných parametrů na teplotě okolního prostředí
4. Omezená horní hranice příkonu vyplývající z možností nízkotlakého výboje.

#### Shrnutí:

##### Klasické žárovky

Přes všechny uvedené pozitivní vlastnosti sice budou obyčejné žárovky ještě dlouho nejrozšířenějším světelným zdrojem především v rozvojových zemích, jejich podíl na celkovém množství vyráběných světelných zdrojů se však bude trvale zmenšovat – viz dále. Jejich velmi nízká energetická účinnost je pádný argument pro jejich postupné vyřazení z provozu. Jistě k tomu přispějí i legislativní opatření, která zejména ve vyspělých průmyslových zemích začínají vstupovat v platnost a významně tento trend urychlují [4].

##### Halogenová žárovka

Jedná se o teplotní světelné zdroje s poměrně velmi nízkou energetickou účinností, byť o poznání lepší než u obyčejných žárovek. I zde tedy platí omezení dané fyzikálním principem vzniku světla nažhavením wolframového vlákna a ani jeho provoz v prostředí s příměsí vhodných halogenů neumožňuje po dostatečně dlouhou dobu svícení dosáhnout vyšší účinnosti než 20 až 26 lm/W. Tím je i vymezena oblast jejich použití, k nimž patří zejména bytové osvětlení, scénické osvětlení, promítací technika, dekorativní osvětlení ve výlohách obchodů, muzeích a galeriích a osvětlení automobilů [6].

## Kompaktní zářivky

Lze považovat za další z možností přímé náhrady klasických a halogenových žárovek. Na výběr je několik tvarů (trubičková, s vnější rozptylnou baňkou, kroucená, svíčka atd.), se závitem E27 nebo E14, stmívatelná nebo nestmívatelná, široký rozsah příkonů (od 5 do 33 W) a několik teplot chromatičností (provedení /827, /840 a /865). Ve srovnání s klasickou žárovkou mají kompaktní zářivky přibližně pětikrát menší spotřebu energie při stejném světelném toku, výrazně delší život (až patnáctkrát) a v případě potřeby je možné zvolit chladnější světlo, např. 6 500 K – standardizované denní světlo. Zmínit lze ještě stmívatelné provedení kompaktní zářivky, jejíž integrovaná elektronika je uzpůsobena ke stmívání běžně používanými stmívači a k dosažení dalších energetických úspor [11].

| Světelný zdroj     | Příkon [W] |        |         |          |     |       |
|--------------------|------------|--------|---------|----------|-----|-------|
| Klasická žárovka   | 15         | 25     | 40      | 60       | 75  | 100   |
| Halogenová žárovka | -          | 18     | 28      | 42       | 51  | 70    |
| Kompaktní zářivka  | 4 až 5     | 5 až 7 | 8 až 10 | 14 až 15 | 18  | 23    |
| Světelný tok [lm]  | 90         | 200    | 400     | 700      | 900 | 1 300 |

Tab. 2. Přehled náhrad za klasickou žárovku z pohledu odpovídajícího světelného toku [3].

## 2. Provozní a pořizovací náklady

### Pořizovací cena

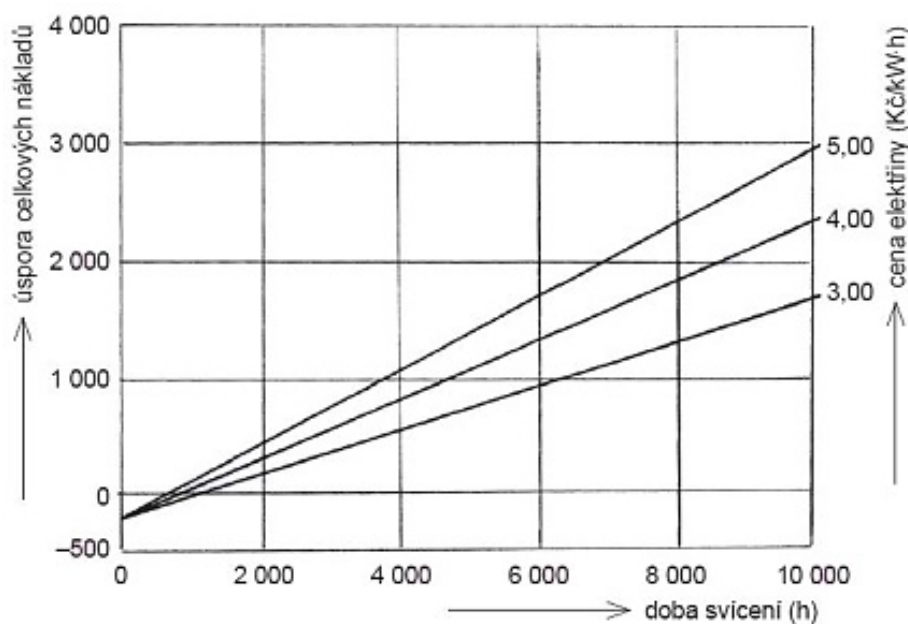
Pořizovací cena kompaktních zářivek a moderních, účinnějších halogenových žárovek je vyšší než cena klasických žárovek a standardních halogenových žárovek. Je však třeba vzít v úvahu, že v průběhu provozu (svícení) dochází u těchto účinnějších světelných zdrojů k významné úspoře nákladů, a to nejen díky vyšší účinnosti, ale i díky delší životnosti [19].

### Návratnost investice

Návratnost investice do energeticky úsporného světelného zdroje se převážně pohybuje v řádu několika měsíců, většinou do jednoho roku. Představuje tedy příklad úspory energie s velmi krátkou návratností investic na rozdíl např. od zateplování nebo výměny oken, kde se z hlediska návratnosti vynaložených prostředků jedná o dlouholetou investici [19].

#### 2.1. Zjednodušená ekonomická rozvaha

Snaha výrobců kompaktních zářivek s integrovaným elektronickým předřadníkem co nejvíce se přiblížit parametrům běžných žárovek z hlediska jejich použitelnosti v žárovkových svítidlech je v poslední době korunována úspěchem: uvedením na trh výrobků, jejichž obrysově rozměry, tvar svítícího tělesa, křivka rozložení svítivosti zdroje a typ patice jsou velmi blízké žárovkám s matovanou baňkou. Z obr. č. 10 lze stanovit možné úspory celkových nákladů na osvětlení při přímé náhradě žárovky v existujícím svítidle kompaktní zářivkou s odpovídajícím světelným tokem. S ohledem na velmi široký sortiment kompaktních zářivek je zde zvolen typický příklad náhrady žárovky o příkonu 60 W kompaktní zářivkou 12 W s blízkým světelným tokem, při ceně žárovky 10 Kč (v průběhu života uvažované kompaktní zářivky se tedy spotřebuje osm běžných žárovek, tj. pořizovací náklady na žárovku činí 80 Kč), ceně kompaktní zářivky s integrovaným elektronickým předřadníkem 300 Kč (život žárovky 1 000 h, život zářivky 8 000 h) a při různé ceně elektrické energie (3 až 5 Kč/kWh). Pro výpočet byly použity kvalitní zářivky, přičemž u předních výrobců uvádějících život až 16 000 h budou dosažené výsledky ještě lepší (v pořizovacích nákladech se v takovém případě objeví cena šestnácti žárovek) [5].



Obr. 8. *Výše úspor celkových nákladů na osvětlení při náhradě žárovek odpovídajícím typem kompaktní zářivky v závislosti na době svícení a ceně elektrické energie [5].*

Z výše uvedeného vyplývá, že při uvažovaných cenových relacích, tj. i při poměrně drahé kompaktní zářivce a při současné ceně elektrické energie, se náklady na výměnu vracejí v podstatě již v průběhu života první žárovky, dále jsou již zaznamenávány pouze úspory. Použití levnějších kompaktních zářivek sice zdánlivě zlepšuje hospodárnost výměny, je však nutné počítat s jejich kratším životem, popř. větším úbytkem světelného toku v průběhu svícení. Lze očekávat i výraznější, a tedy méně příznivý vliv okolní teploty na účinnost zářivky [5].

Pro praktické srovnání můžeme porovnat modelový příklad běžného rodinného domu, kde do všech světelných zdrojů použijeme žárovky, halogenové žárovky, kompaktní žárovky a jako poslední soustavu, která respektuje technicko - ekonomické zásady návrhu, použijeme různé typy těchto zdrojů. V tomto srovnání bylo navrženo rozložení světelných zdrojů, které znázorňuje tabulka č. 3. Dále byla uvažována celková doba svitu soustavy 2,5 hod. denně po celý rok (jedná se o průměrnou hodnotu).

Pro výpočet nákladů na provoz jednotlivých soustav byla použita sazba za el. energii od společnosti ČEZ - Produktová řada Basic, D-Standard, D02d - 4,65 Kč/kWh. V každé ze soustav je zahrnuto 28 kusů světelných zdrojů. Detailní vlastnosti soustav znázorňují tabulky č. 8, 9 a 10 v příloze D.

| Sledované ukazatele          | Žárovky | Halogenové žárovky | Kompaktní zářivky |
|------------------------------|---------|--------------------|-------------------|
| Příkon světelné soustavy [W] | 1 380   | 966                | 263               |
| Spotřeba v kWh / rok         | 990     | 693                | 189               |

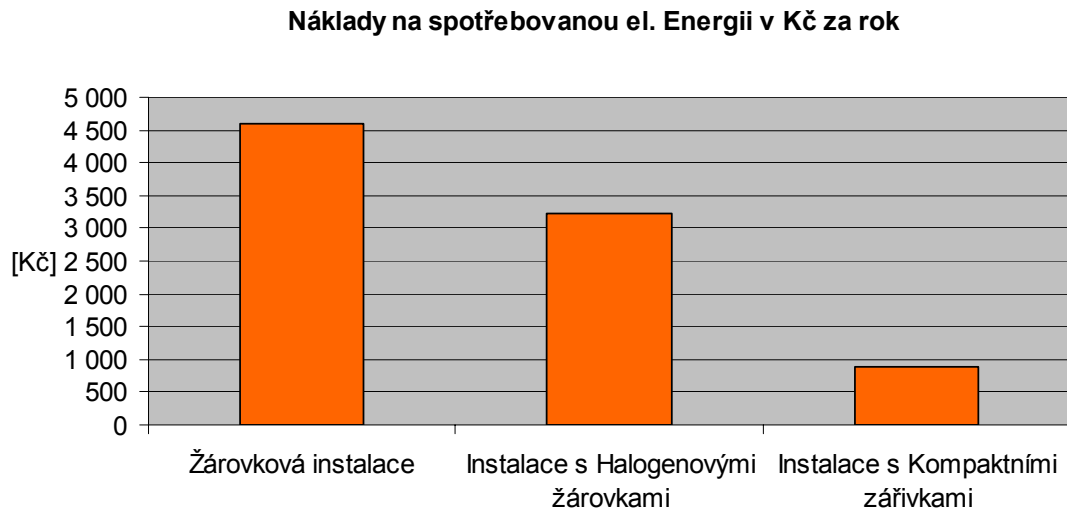
Tab. 3. Příkon a spotřeba výše uvedených osvětlovacích soustav.

Jak je patrné z grafu na obrázku č. 9., náklady spojené s provozem soustavy s kompaktními zářivkami jsou cca čtyřikrát menší v porovnání se soustavou, kde byly použity klasické žárovky. Toto je do značné míry kompenzováno pořizovací cenou, která je u soustavy s použitím kompaktních zářivek přibližně sedmkrát vyšší, než cena za pořízení všech 28 žárovek. Avšak zde nesmíme zapomenout na podstatně delší životnost kompaktních zářivek. Další porovnání parametrů výše zmíněných soustav je znázorněno v příloze A.

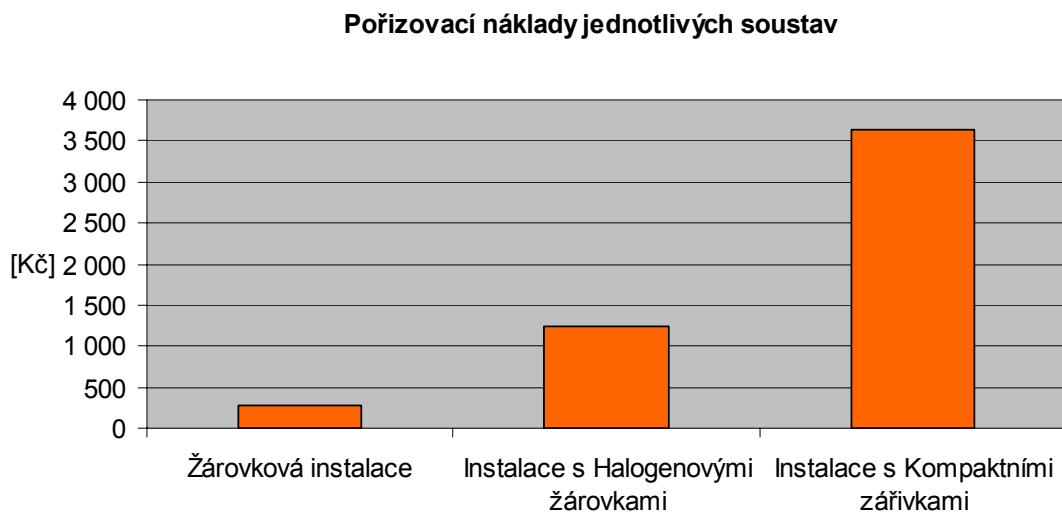
| Sledované ukazatele                        | Žárovky | Halogenové žárovky | Kompaktní zářivky |
|--|---------|--------------------|-------------------|
| Pořizovací cena soustavy [Kč]              | 280     | 1 250              | 3 640             |
| Náklady na el. energii za rok [Kč]         | 4 593   | 3 215              | 879               |
| Náklady na provoz a pořízení soustavy [Kč] | 4 873   | 4 465              | 4 519             |

Tab. 4. Provozní a pořizovací náklady a výše uvedených osvětlovacích soustav.





Obr. 9. Provozní a pořizovací náklady a výše uvedených osvětlovacích soustav.



Obr. 10. Provozní a pořizovací náklady a výše uvedených osvětlovacích soustav.

## 2.2. Návratnost investic

Pokud chceme srovnávat jednotlivé světelné zdroje a určit u nich návratnost investice při náhradě žárovky buď halogenovou žárovkou, nebo kompaktní zářivkou, můžeme pro takové srovnání použít 60W obyčejnou žárovku, 42W halogenovou žárovku a 11W kompaktní zářivku, jak je uvedeno v tabulce č. 5. Z tabulky vyplývá, že návratnost investice při nahrazení žárovky halogenovou žárovkou se pohybuje kolem 3 let, při použití kompaktní zářivky je to do jednoho roku. Vždy záleží na konkrétním typu světelného zdroje.

| Zdroj                           | 60 W žárovka | 42 W Halogenová žárovka | 11 W Kompaktní zářivka |
|---------------------------------|--------------|-------------------------|------------------------|
| Spotřeba [kWh]                  | 44           | 31                      | 8                      |
| Náklady na elektřinu [kč / rok] | 204          | 143                     | 37                     |
| Pořizovací cena [kč]            | 10           | 60                      | 120                    |
| Úspora nákladů [kč]             | X            | 61                      | 166                    |
| Návratnost                      | X            | cca. do 3 let           | cca. do 1 roku         |

Tab. 5. *Návratnost investice jednotlivých světelných zdrojů při době svícení 2 hod. denně po celý rok a při ceně energie 4,65 Kč / kWh.*

### **3. Dopady na životní prostředí při výrobě, provozování a likvidaci světelných zdrojů**

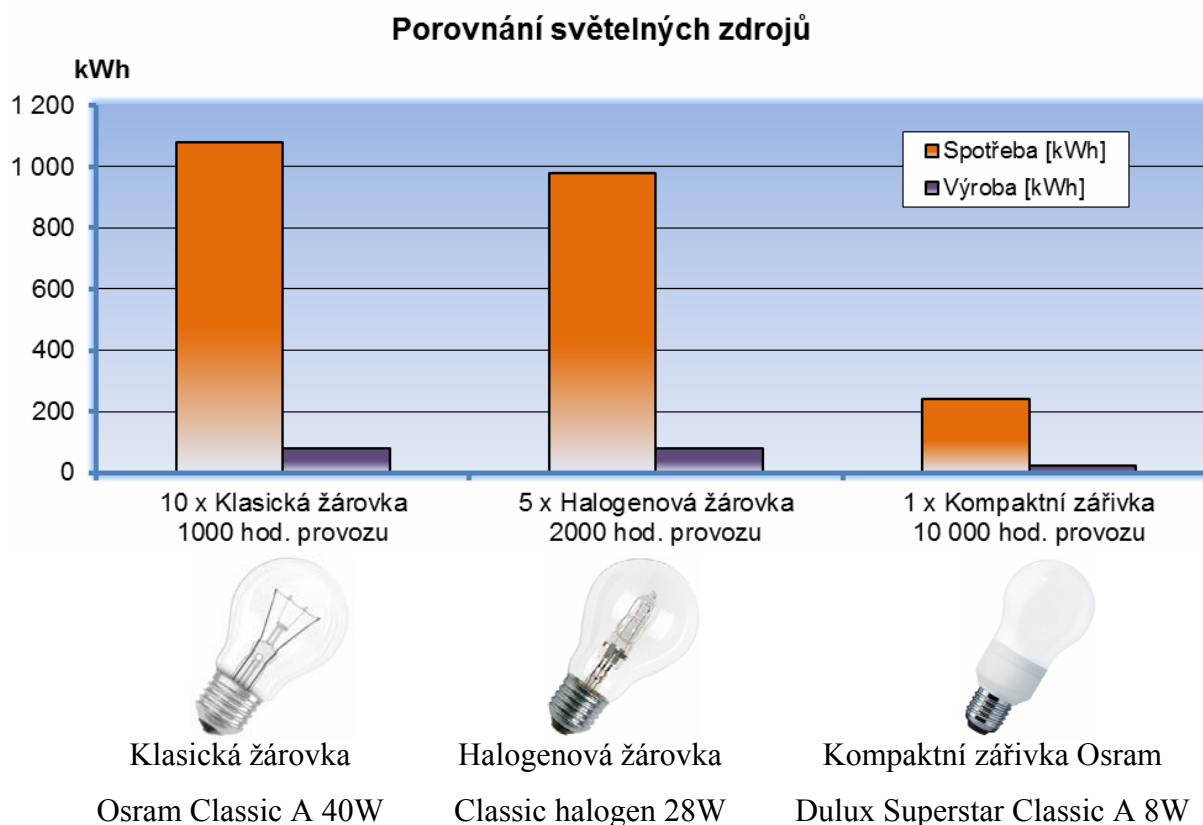
#### **3.1. Výroba**

Společnost Osram provedla výzkum týkající se energetické a materiální náročnosti různých druhů světelných zdrojů přes celý jejich životní cyklus.

Hodnoceny byly klasické žárovky, kompaktní zářivky, halogenové žárovky a LED světelné zdroje. Do hodnocení byla zahrnuta cena surovin, energie spotřebovaná na výrobu a dopravu, energie spotřebovaná během samotného používání světelného zdroje i při likvidaci světelného zdroje [16].

Výzkum byl proveden s 28W halogenovou žárovkou Osram Halogen energy saver Classic A, zástupcem kompaktních zářivek byla 8W Osram Dulux Superstar Classic A a z žárovek byla použita 40W OSRAM Classic A.

Jako referenční byl zvolen čas použití 10 000 hodin, na tuto dobu stačí použít jedinou kompaktní zářivku, pět halogenových žárovek a 10 klasických žárovek. Z výzkumu vyplývá, že z celkové energetické stopy kompaktních zářivek je 98% energie spotřebováno při svícení a pouhá 2% jsou spojena se samotnou výrobou světelného zdroje. U klasických žárovek je tato hodnota přibližně třikrát vyšší. Nepotvrzuje se tak, že samotná výroba kompaktních zářivek je energeticky příliš náročná a k žádným úsporám jejich používáním nedojde [16].



Obr. 11. Tabulka porovnání energetické náročnosti spotřeby a výroby el. energie v kWh za dobu života 10 000 hod. [16].

### 3.2. Provoz

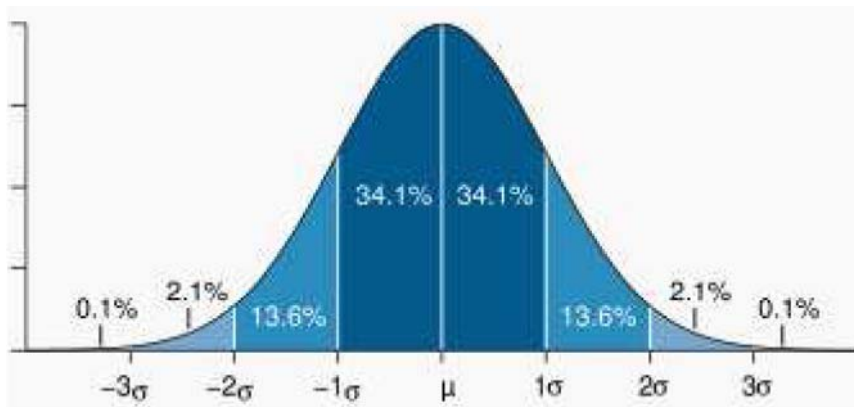
#### Životnost světelných zdrojů

S pojmem střední neboli průměrná životnost se setkáváme na obalech světelných zdrojů a v katalogích výrobců. Udává se v hodinách. Střední neboli průměrná životnost znamená, kolik hodin vydrží svítit polovina provozovaných zdrojů. Je to statistická hodnota získaná dlouhodobými zkouškami. Pokud si tedy pro příklad zakoupíme 100 ks obyčejných žárovek se střední životností 1 000 hodin, znamená to, že po 1 000 hodinách provozu bude (přibližně) svítit ještě 50 ks (50%). Rozložení životnosti znázorňuje obrázek č. 3, tzv. Gaussova křivka. Žárovek, které budou svítit velice krátce nebo naopak velmi dlouze, je pouze malé procento ve srovnání s těmi, které budou svítit okolo 1 000 hodin [7].

Statistické výsledky se velmi dobře shodují, pokud se jedná o velké počty (v tomto případě světelných zdrojů). V reálném světě se samozřejmě může stát, že obdržíte žárovku, která bude svítit pouze několik hodin. Taková pravděpodobnost je ale velmi malá [7].

Mezi další vlivy na životnost světelných zdrojů patří zapojení podle předpisu výrobce zdroje. Znamená to, že například obyčejnou žárovku můžeme provozovat pouze na napětí 230V s tolerancí 5%. Pokud máme z nějakých důvodů v síti 245V, (přepětí) střední životnost se snižuje. Výrobce tedy předepisuje parametry pro používání konkrétního světleného zdroje. Může se jednat o předpis polohy, teploty, napětí, startu apod. Pokud nejsou z důvodu poruchy předřadného zařízení (například transformátoru) dodrženy napájecí parametry, nemůže být tedy splněna hodnota střední životnosti [7].

Proto může mít žárovka vyšší životnost než kompaktní zářivka. Střední životnost obyčejné žárovky pro použití v signalizaci je 8 000 hod. Naopak kompaktní zářivky mohou mít životnost pouze 5 000 hod. Životnost vždy záleží na konkrétním výrobku i výrobci a konkrétní aplikaci. U kompaktní zářivky kolísá střední životnost u jednoho výrobce mezi 6 000 a 15 000 hod podle typu, výkonu a počtech spínacích cyklů [7].



Obr. 12. Gaussova křivka [14].

Úspory energie také znamenají nižší emise skleníkových plynů, zejména oxidu uhličitého. Elektrické osvětlení představuje, co se týče spotřeby, více než 19 % celosvětové spotřeby elektrické energie a každoročně je zodpovědné za vypouštění více než 1 500 milionů tun CO<sub>2</sub> do ovzduší, což je ekvivalentní emisím z více než poloviny lehkých osobních automobilů v provozu na světě. Při náhradě všech neúčinných standardních žárovek kompaktními zářivkami jenom ve Spojených státech by bylo možné za rok „nevypustit“ 158 milionů tun emisí CO<sub>2</sub>, což je stejné, jako by na silnicích ubylo více než 30 milionů automobilů [14].

Důsledné nahrazení klasických žárovek používaných ve světě kompaktními zářivkami by mohlo vést ke snížení potřeby elektrické energie určené ke svícení téměř o 40 %, a přispělo by tak k omezení emisí CO<sub>2</sub> ročně v průměru o 900 milionů tun. Do roku 2030 by se tak mohlo kumulovaně ušetřit až 16,6 miliardy tun CO<sub>2</sub>, tj. více než dvakrát tolik oxidu uhličitého, kolik se ho vypustilo do ovzduší ve Spojených státech v roce 2006 [14].

Uspořená 1 kWh el. energie představuje úsporu zhruba 1,17kg CO<sub>2</sub> [15].

### **3.3. Likvidace světelných zdrojů:**

#### **Odpadní světelné zdroje**

Do této skupiny odpadů patří vyřazené žárovky, zářivky a výbojky. Vyřazené žárovky a výbojky z domácností se dostávají na komunální skládky, po destrukci nastává odpařování rtuti a vymývání vysoce toxických sloučenin Hg, Tl, Cd a Ba do okolí. Žárovky obsahují toxické prvky jen v kovové formě (Zn, Ni, Mo, W, Pb, Sn, Cu). Zdrojem odpadních žárovek, zářivek a výbojek je výroba, obchod a využití těchto světelných zdrojů [9].

Žárovky se řadí do skupiny ostatních odpadů (kategorie O). Všechny výbojové světelné zdroje do kategorie nebezpečných odpadů (N). Nebezpečnost odpadu se hodnotí dle nebezpečných vlastností, které odpad má nebo může mít [12].

V nerozbitém stavu nejsou zářivky ani výbojky ekologicky závadné, protože rtuť a další škodliviny se z nich uvolňují teprve při rozbití. Vzhledem k tomu, že se jedná o více než 2000 tun odpadu ročně, je třeba toto nepovolené skládkování výrazně omezit a vyřazené zářivky předávat k likvidaci odborným firmám [12].

Za tímto účelem byla v České Republice 30. května 2005 založena společnost EKOLAMP s.r.o. významnými výrobci osvětlovací techniky GE Industrial s.r.o., NARVA B.E.L./ČR s.r.o., OSRAM Česká republika s.r.o. a Philips Česká republika s.r.o. Rozhodnutím Ministerstva životního prostředí ČR byla společnost EKOLAMP s.r.o. dne 13. 12. 2005 zapsána pod evidenčním číslem KH002/05-ECZ do Seznamu výrobců elektrozařízení jako provozovatel kolektivního systému pro skupinu elektrozařízení č. 5 – osvětlovací zařízení. Skupina osvětlovacích zařízení zahrnuje světelné zdroje (zejména zářivky a výbojky) a svítidla [13].

Vyřazené zářivky nelze odkládat do komunálního odpadu, ale je nutné je odborně likvidovat v pověřených organizacích – viz výše. Při použití elektrické energie vyráběné spalováním uhlí, které je jedním z největších zdrojů emisí rtuti, se ovšem díky vyšší energetické účinnosti kompaktní zářivky dostane za dobu jejího života do ovzduší podstatně méně tohoto prvku (a to i kdyby se rozbila nebo neodborně likvidovala) než v případě běžné žárovky s podobným světelným tokem. Jiným problémem je zajištění ekologicky šetrné výroby a účinného řízení jakosti v továrnách v rozvojových zemích, které jsou v současné době hlavními producenty kompaktních zářivek na světě. Ve snaze specifikovat tento problém vypracovala organizace ELI (Efficient Lighting Initiative), založená v roce 1999 společnostmi IFC (International Finance Corporation) a GEF (Global Environment Facility), certifikační mechanismus pro výrobky vysoké jakosti. Výrobci si mohou nechat své produkty dobrovolně otestovat a přesvědčit se, jak splňují mezinárodní kritéria pro kvalitu. Produkty, které při testování uspějí, obdrží certifikát jakosti SOA (Seal of approval) organizace ELI, všeobecně uznávaný jako mezinárodní standard kvality [14].

Moderní kompaktní zářivky obsahují asi 3 mg rtuti, velmi nebezpečné neurotoxické látky. Je to sice méně než 1 % množství rtuti, které bylo používáno ve starých teploměrech, ale stále to vyžaduje velmi pečlivé zacházení s rozbitými trubnicemi a baňkami zářivek [14].

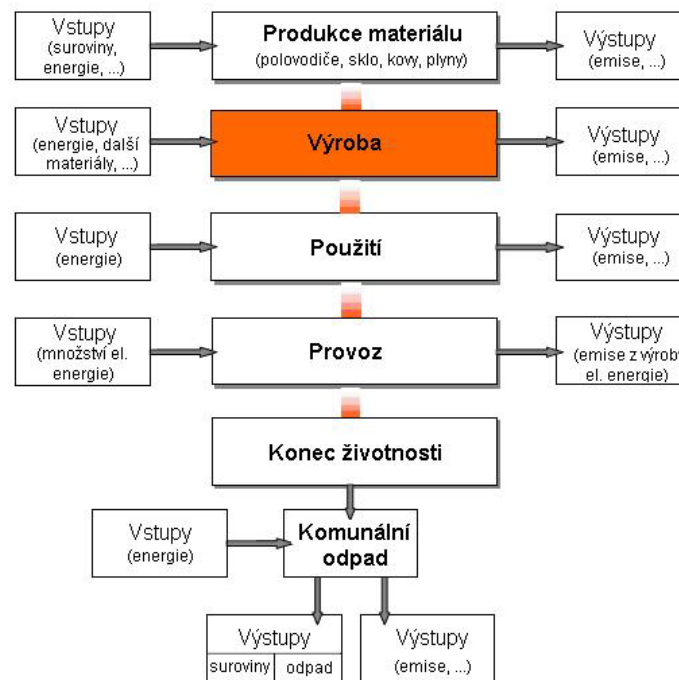
Odhaduje se, že emise rtuti v různých fázích životního cyklu těchto světelných zdrojů, včetně emisí z výroby elektrické energie ve fázi používání výrobku a z 80 % kompaktních zářivek s obsahem rtuti, o nichž se předpokládá, že na konci své životnosti nejsou recyklovány, v roce 2007 činily 2,9 tuny ze všech instalovaných světelných zdrojů. Bez přijetí zvláštních opatření vzrostou emise rtuti ze všech instalovaných světelných zdrojů podle předpovědi na 3,1 tuny v roce 2020, přestože bylo prokázáno, že je lze výrazně omezit. Přestože je obsah rtuti v kompaktních zářivkách považován za významný environmentální aspekt, je vhodné, aby byl upraven podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/95/ES ze dne 27. ledna 2003 o omezení používání některých nebezpečných látek v elektrických a elektronických zařízeních. Stanovení požadavků na energetickou účinnost světelných zdrojů podléhajících tomuto nařízení povede ke snížení celkových emisí rtuti [20].

Dalším odpadem při recyklaci kompaktních zářivek jsou luminofory. Jsou cenné, protože obsahují kovy vzácných zemin, ale ze stejného důvodu se jedná o toxické látky. Je nutné je odstranit především proto, aby při další recyklaci skleněných částí neměnily nežádoucím způsobem optické vlastnosti skla. Luminofor se odděluje od skla odsátím, kartáčováním, pískováním nebo ostříkáním tlakovou vodou. Při klasické recyklaci kompaktních zářivek jejich rozdrčením lze použít vibrační síto a oplachování vodou, skelný prach se od luminoforů částečně odděluje i flotací<sup>5</sup>. Z oddělených kalů luminoforu lze kapalinovou extrakcí separovat yttrium a europium [8].

---

<sup>5</sup> **Flotace** je způsob rozdrůžování, tedy třídění jemného materiálu, o různém složení ve vzduchu či ve vodě. Rozdrůžování flotačním způsobem se zakládá na využití rozdílu smáčitelnosti povrchu různých materiálů. Některé materiály jdou vodou smáčet snadno, kdežto jiné se smáčejí poměrně těžce. Měrná hmotnost materiálů nemá při flotačním rozdrůžování zásadní vliv. Flotační technologie vyžaduje jemný materiál o velikost zrn maximálně 2 mm.





Obr. 13. Životní cyklus světelného zdroje se znázorněním dopadů na životní prostředí [16].

#### 4. Závěr

V práci prvně zmíněné klasické žárovky nacházejí stále využití hlavně v rozvojových zemích díky své ceně, proto jejich rozšířenost ve světě bude ještě nějaký čas zastoupena v početné míře. Postupem času je však tendence tyto světelné zdroje vyřazovat z provozu právě díky jejich velmi nízké energetické účinnosti.

V této souvislosti přijala Evropská komise dne 18.3.2009 dvě ekologicky orientovaná nařízení, která povedou ke zvýšení energetické účinnosti osvětlení v domácnostech, kancelářích, na ulici a v průmyslu. Tato dvě nařízení stanoví požadavky na energetickou účinnost. Díky tomu by mělo dojít k úspoře až 80 TWh do roku 2020 (to představuje zhruba roční výrobu elektřiny v České republice nebo spotřebu 23 milionů evropských domácností či ekvivalent roční produkce 20 elektráren o výkonu 500 megawattů). Zároveň se sníží emise oxidu uhličitého o 32 milionů tun za rok. Neúčinné běžné žárovky budou postupně nahrazovány od roku 2009 do roku 2012, jak je znázorněno na obrázku č. 15 v příloze C. Na základě těchto nařízení se očekává úspora 11 miliard eur ročně a tyto prostředky budou investovány zpět do evropského hospodářství [7].

Nařízení zohledňuje očekávání spotřebitelů, pokud jde o vzhled, funkčnost a zdravotní hledisko. Předpokládá postupné odstraňování klasických žárovek a dalšího osvětlení z trhu (viz příloha C) tak, aby měli výrobci čas adaptovat svou produkci na účinnější alternativy. Domácnosti budou mít stále na výběr mezi zářivkami s dlouhou životností, které jsou v současnosti energeticky nejúspornější (spotřebovávají až o 75 % méně energie než klasické žárovky) nebo účinnými inkandescenčními žárovkami (halogenového typu), jež plně odpovídají klasickým žárovkám, pokud jde o kvalitu osvětlení, ale poskytují 25% až 50% úspory energie. V závislosti na počtu nainstalovaných svítidel může průměrná domácnost, která přejde od klasických žárovek ke kompaktním zářivkám, uspořit (bereme-li v úvahu vyšší pořizovací cenu zářivek) 25 až 50 eur (670 – 1400 Kč) za rok na účtu za elektřinu [7].

Návratnost takové investice je evidentní, ovšem při respektování vhodnosti použití daného světelného zdroje pro danou aplikaci. Například v místnostech typu spíž, sklep, půdní prostory, komora apod. je použití kompaktní zářivky zcela zbytečné. Pro tyto prostory je vhodnější použít teplotní světelný zdroj, jako je například halogenová žárovka.

Díky nízkým nárokům na kvalitu osvětlení a době životnosti halogenové žárovky (2000 hod.) by se investice do kompaktní zářivky nevrátily. Vezmeme-li v úvahu, že u takovýchto aplikací budeme denně svítit v průměru 0,5 hod denně po celý rok, za jednu kWh el. energie zaplatíme 4,65 Kč a započítáme pořizovací náklady, můžeme uvést jako příklad následující tabulku:

| Zdroj              | Příkon [W] | Pořizovací cena [Kč] | Životnost [hod.] | Spotřeba el. energie [kWh / rok] | Životnost zdroje při dané době svícení [roky] | Náklady provoz + pořízení [Kč] |
|--------------------|------------|----------------------|------------------|----------------------------------|---|--------------------------------|
| Klasická žárovka   | 60         | 10                   | 1 000            | 51                               | 5   | 570                            |
| Halogenová žárovka | 40         | 60                   | 2 000            | 34                               | 11  | 433                            |
| Kompaktní zářivka  | 11         | 120                  | 10 000           | 9                                | 55  | 223                            |

Tab. 6. Porovnání jednotlivých zdrojů při použití v aplikacích s dobou svícení 0,5 hod. / den.

Z výše uvedené tabulky jasně plyne, že při použití klasické žárovky se po dobu její životnosti (5 let) celkové náklady na provoz a pořízení pohybují kolem 570 Kč. Za stejné období, tedy pět let, se však už u halogenové žárovky dosáhne úspory a její životnost bude ještě dalších 6 let. U posledního zmíněného světelného zdroje, tedy kompaktní zářivky, je tato úspora ještě více patrná, avšak zde je životnost velmi omezena počtem spínacích cyklů a navíc náběh na plný výkon je pomalejší (do 120s dle kvality), čili pro tuto aplikaci není přímo vhodná. Proto v závislosti na útlumu výroby klasických žárovek (viz. příloha C) je zde vhodnější použít halogenovou žárovku.

Při výběru odpovídajícího a vyhovujícího světelného zdroje je zapotřebí brát v úvahu typ prostor, kde bude použit, a také k jaké činnosti bude osvětlení sloužit. Vhodná náhrada žárovky pro prostory, kde je nutné časté spínání a krátkodobé svícení je v současné době halogenová žárovka, která má rychlý náběh na plný světelný výkon. Popřípadě zde lze použít i LED zdroj, ale ten díky svým pořizovacím nákladům a omezenému příkonu není zatím připraven konkurovat těmto zdrojům ve větší míře, avšak tyto zdroje podléhají neustálému zdokonalování a lze s nimi v budoucnu počítat jako s možnými konkurenty.

Pro prostory, kde je trvalý pobyt osob, je vhodné žárovky nahradit kompaktními zářivkami, popřípadě indukčními výbojkami. Kompaktní zářivky pro časté spínání pro použití například na schodištích nebo chodbách se schodišťovými automaty dnes existují jako vhodná náhrada žárovky. Dále pro prostory, kde je požadováno stmívání světelných zdrojů, existují i kompaktní zářivky pro stmívání, avšak jejich cena se pohybuje kolem 600 Kč za jeden světelný zdroj, a proto z hlediska pořizovací ceny nejsou příliš atraktivní. Další možností je použít halogenové žárovky, avšak u nich se stmíváním naruší halogenový cyklus a výraznou měrou se sníží jejich životnost, proto pro tyto účely nejsou příliš vhodné.

Při každé aplikaci je nutné brát ohled na to, jaké činnosti budou v daném prostoru vykonávány, a dle tohoto vybrat vhodnou teplotu chromatičnosti zdroje a vhodný index podání barev. Veškeré parametry světelného zdroje by měly být uvedeny na obalu spolu s energetickým štítkem – viz příloha B. Obecně lze říci, že v současné době je nejobvyklejší náhradou klasické žárovky kompaktní zářivka, avšak do budoucna je nutné počítat se stále se rozvíjející oblastí světelných zdrojů LED.

**Použitá literatura**

- [1] Linda, J. a kol.: Technika osvětlování XXIV, ZČU, Plzeň 2010
- [2] Habel, J. a kol.: Světelná technika a osvětlování, FCC Public, Praha 1995
- [3] Šumpich, V., Novák, T.: Názory a zkušenosti – Existují plnohodnotné náhrady žárovek?. Světlo, 2011, č. 3, s. 44.
- [4] Dvořáček, V.: Světelné zdroje – Obyčejné žárovky. Světlo, 2008, č. 4, s. 38.
- [5] Dvořáček, V.: Světelné zdroje – Kompaktní zářivky. Světlo, 2008, č. 3, s. 43.
- [6] Dvořáček, V.: Světelné zdroje – Halogenové žárovky. Světlo, 2008, č. 5, s. 56.
- [7] Setec – Životnost světelných zdrojů, Edice 2010,
- [8] Wikipedia : The free encyclopedia [online]. 2011 [cit. 2011-05-02]. Dostupné z [www: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Luminofor>](http://cs.wikipedia.org/wiki/Luminofor)
- [9] Kepák, F.: Průmyslové odpady - část 1, Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí, Ústí nad Labem 2005
- [10] Sokanský, K a kol.: Racionalizace v osvětlování kancelářských, školských a bytových prostor, Česká společnost pro osvětlování, Ostrava 2004
- [11] Melč, A.: Světelné zdroje pro interiéry aneb jak nahradit klasickou žárovku. Světlo, 2009, č. 1, s. 34.
- [12] Hrnčíř, B.: Technika osvětlování XIX, Česká společnost pro osvětlování, Plzeň 2001
- [13] EKOLAMP s.r.o. - Výroční zpráva 2009
- [14] Kabeš, K.: Z odborného tisku - Kompaktní zářivky snižují spotřebu energie na osvětlení. Světlo, 2009, č. 4, s. 60.
- [15] Kárník, P.: Technika osvětlování XX - Iniciativy pro energeticky úsporné osvětlení, Česká společnost pro osvětlování, Plzeň 2003
- [16] Osram - Life Cycle Assessment of Illuminants A Comparison of Light Bulbs, Compact Fluorescent Lamps and LED Lamps, 2009
- [17] Ledsvetla [online]. 2011 [cit. 2011-05-02]. Žárovky v EU končí. Dostupné z [www: <http://www.ledsvetla.cz/clanky/6-Zarovsky-v-EU-konci>](http://www.ledsvetla.cz/clanky/6-Zarovsky-v-EU-konci).
- [18] Osram – Světelné zdroje a systémy 2008 – 2009.
- [19] Nazeleno [online]. 2011 [cit. 2011-05-02]. Vybíráme úsporné osvětlení domácnosti. Dostupné z [www: <http://www.nazeleno.cz/bydleni/osvetleni-1/vybirame-usporne-osvetleni-domacnosti.aspx>](http://www.nazeleno.cz/bydleni/osvetleni-1/vybirame-usporne-osvetleni-domacnosti.aspx).
- [20] NAŘÍZENÍ KOMISE (ES) č. 244/2009 ze dne 18. března 2009.

## Přílohy

### Seznam příloh:

- [1] **Příloha A** – Světelně-technické parametry konkrétních typů světelných zdrojů
- [2] **Příloha B** – Údaje energetického štítku
- [3] **Příloha C** – Postupné vyřazování klasických žárovek z prodeje v EU
- [4] **Příloha D** – Tabulky s detaily navrhovaných světelných zdrojů pro RD
- [5] **Příloha E** – Grafické porovnání parametrů sledovaných soustav

### Příloha A

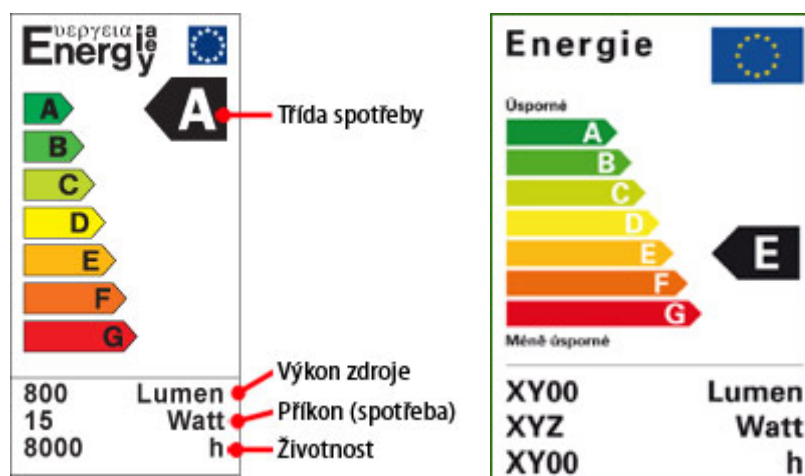
| Světelný zdroj     | Typ   |
|--------------------|---|
| Klasická žárovka   | OSRAM 60W čirá standard, Classic A, 230V, E27 |
| Halogenová žárovka | OSRAM CLASIC HALOGEN E27 42W 230V             |
| Kompaktní zářivka  | OSRAM Dulux EL 12W/827, E27                   |

| Kvantitativní parametry | Světelný tok<br>$\Phi$ [lm] | Elektrický příkon<br>P [W] | Měrný výkon<br>$\eta$ [lm*W-1] |
|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| Žárovka                 | 710                         | 60                         | 11,8                           |
| Halogenová žárovka      | 490                         | 42                         | 11,7                           |
| Kompaktní zářivka       | 660                         | 12                         | 55                             |

| Kvalitativní parametry | Délka života<br>$T_z$ [Hodiny] | Index podání<br>barev<br>$R_a$ [-] | Teplota<br>chromatičnosti<br>K [°] |
|------------------------|--------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Žárovka                | 1 000                          | 100                                | 2 500                              |
| Halogenová žárovka     | 2 000                          | 100                                | 2 500                              |
| Kompaktní zářivka      | 10 000                         | 80 - 89                            | 2 700                              |







Tab. 7. Světelně-technické parametry konkrétních typů světelných zdrojů [18].

## Příloha B



Obr. 14. Údaje energetického štítku [3].

## Příloha C

|   | 1. 9. 2009                                      | 1. 9. 2010 | 1. 9. 2011 | 1. 9. 2012 | 1. 9. 2013                                       | 1. 9. 2014 | 1. 9. 2015                    | 1. 9. 2016 |
|---|---|------------|------------|------------|--|------------|-------------------------------|------------|
| <b>Běžné čiré žárovky</b><br>  | 15 W  | 15 W       | 15 W       | 15 W       | Čiré žárovky již nebudou v tomto období povoleny |            |                               |            |
|   | 25 W  | 25 W       | 25 W       | 25 W       |  |            |                               |            |
|   | 40 W  | 40 W       | 40 W       | 40 W       |  |            |                               |            |
|   | 60 W  | 60 W       | 60 W       | 60 W       |  |            |                               |            |
|   | 75 W  | 75 W       | 75 W       | 75 W       |  |            |                               |            |
|   | 100 W   | 100 W      | 100 W      | 100 W      |  |            |                               |            |
| <b>Matné žárovky</b><br>   | Matné žárovky nejsou nadále povoleny            |            |            |            |  |            |                               |            |
| <b>Reflektorové žárovky</b><br>                                     | Žádná omezení                                   |            |            |            | Další vývoj bude upřesněn novou směrnicí EU      |            |                               |            |
| <b>Čiré halogenové žárovky na síťové napětí</b><br>                | < 60 lm   | < 60 lm    | < 60 lm    | < 60 lm    | Požadovaná třída EEC A,B nebo C                  |            | Požadovaná třída EEC A nebo B |            |
|   | 60 lm   | 60 lm      | 60 lm      | 60 lm      |  |            |                               |            |
|   | 450 lm  | 450 lm     | 450 lm     | 450 lm     |  |            |                               |            |
|   | 725 lm  | 725 lm     | 725 lm     | 725 lm     |  |            |                               |            |
|   | > 950 lm  | > 950 lm   | > 950 lm   | > 950 lm   |  |            |                               |            |
| <b>Matné halogenové žárovky na síťové napětí</b>  | Matné halogenové žárovky nejsou nadále povoleny |            |            |            |  |            |                               |            |
| <b>Čiré halogenové žárovky na malé napětí</b><br>                  | Žádné omezení                                   |            |            |            |  |            | Požadovaná třída EEC A nebo B |            |
| <b>Reflektorové halogenové žárovky na malé i síťové napětí</b><br> | Žádné omezení                                   |            |            |            | Další vývoj bude upřesněn novou směrnicí EU      |            |                               |            |

Obr. 15. Postupné vyřazování klasických žárovek z prodeje v EU [17].

## Příloha D

| Místnost        | Zdroj   | Typ                      | Příkon<br>[W] | Počet<br>[ks] | Cena kus<br>[Kč] | Cena celkem<br>[Kč] |
|-----------------|---------|--------------------------|---------------|---------------|------------------|---------------------|
| <b>Přízemí</b>  |         |                          |               |               |                  |                     |
| Kuchyň          | žárovka | OSRAM 40W čirá Classic A | 40            | 1             | 10               | 10                  |
|                 |         | OSRAM 60W čirá Classic A | 60            | 1             | 10               | 10                  |
|                 |         | OSRAM 40W čirá Classic A | 40            | 2             | 10               | 20                  |
| WC              |         | OSRAM 60W čirá Classic A | 60            | 1             | 10               | 10                  |
| Předsíň         |         | OSRAM 60W čirá Classic A | 60            | 1             | 10               | 10                  |
| Tech.místnost   |         | OSRAM 40W čirá Classic A | 40            | 1             | 10               | 10                  |
| Jídelna         |         | OSRAM 60W čirá Classic A | 60            | 1             | 10               | 10                  |
| <b>1. Patro</b> |         |                          |               |               |                  |                     |
| Chodba          | žárovka | OSRAM 60W čirá Classic A | 60            | 2             | 10               | 20                  |
| Schodiště       |         | OSRAM 60W čirá Classic A | 60            | 2             | 10               | 20                  |
| Obývací         |         | OSRAM 40W čirá Classic A | 40            | 2             | 10               | 20                  |
|                 |         | OSRAM 40W čirá Classic A | 40            | 1             | 10               | 10                  |
| Koupelna        |         | OSRAM 60W čirá Classic A | 60            | 1             | 10               | 10                  |
|                 |         | OSRAM 40W čirá Classic A | 40            | 2             | 10               | 20                  |
| Pracovna        |         | OSRAM 40W čirá Classic A | 40            | 1             | 10               | 10                  |
|                 |         | OSRAM 40W čirá Classic A | 40            | 2             | 10               | 20                  |
| <b>Venkovní</b> |         |                          |               |               |                  |                     |
| Vchod           | žárovka | OSRAM 60W čirá Classic A | 60            | 1             | 10               | 10                  |
| Zahradní        |         | OSRAM 40W čirá Classic A | 40            | 3             | 10               | 30                  |
| Vjezd garáž     |         | OSRAM 60W čirá Classic A | 60            | 1             | 10               | 10                  |
| Garáž           |         | OSRAM 60W čirá Classic A | 60            | 2             | 10               | 20                  |

Tab. 8. Instalace světelných zdrojů ve stávajícím RD s použitím klasických žárovek.



| Místnost                     | Zdroj                 | Typ                          | Příkon [W] | Počet [ks] | Cena kus [Kč] | Cena celkem [Kč] |
|------------------------------|-----------------------|------------------------------|------------|------------|---------------|------------------|
| <b>Přízemí</b>               |                       |                              |            |            |               |                  |
| Kuchyň                       | halogenová<br>žárovka | OSRAM CLASIC HALOGEN E27 28W | 28         | 1          | 40            | 40               |
|                              |                       | OSRAM CLASIC HALOGEN E27 42W | 42         | 1          | 50            | 50               |
| OSRAM CLASIC HALOGEN E27 28W |                       | 28                           | 2          | 40         | 80            |                  |
| WC                           |                       | OSRAM CLASIC HALOGEN E27 42W | 42         | 1          | 50            | 50               |
| Předsíň                      |                       | OSRAM CLASIC HALOGEN E27 42W | 42         | 1          | 50            | 50               |
| Technologická                |                       | OSRAM CLASIC HALOGEN E27 28W | 28         | 1          | 40            | 40               |
| Jídelna                      |                       | OSRAM CLASIC HALOGEN E27 42W | 42         | 1          | 50            | 50               |
| <b>1. Patro</b>              |                       |                              |            |            |               |                  |
| Chodba                       | halogenová<br>žárovka | OSRAM CLASIC HALOGEN E27 42W | 42         | 2          | 50            | 100              |
| Schodiště                    |                       | OSRAM CLASIC HALOGEN E27 42W | 42         | 2          | 50            | 100              |
| Obývací                      |                       | OSRAM CLASIC HALOGEN E27 28W | 28         | 2          | 40            | 80               |
|                              |                       | OSRAM CLASIC HALOGEN E27 28W | 28         | 1          | 40            | 40               |
| Koupelna                     |                       | OSRAM CLASIC HALOGEN E27 42W | 42         | 1          | 50            | 50               |
|                              |                       | OSRAM CLASIC HALOGEN E27 28W | 28         | 2          | 40            | 80               |
| Pracovna                     |                       | OSRAM CLASIC HALOGEN E27 28W | 28         | 1          | 40            | 40               |
|                              |                       | OSRAM CLASIC HALOGEN E27 28W | 28         | 2          | 40            | 80               |
| <b>Venkovní</b>              |                       |                              |            |            |               |                  |
| Vchod                        | halogenová<br>žárovka | OSRAM CLASIC HALOGEN E27 42W | 42         | 1          | 50            | 50               |
| Zahradní                     |                       | OSRAM CLASIC HALOGEN E27 28W | 28         | 3          | 40            | 120              |
| Vjezd garáž                  |                       | OSRAM CLASIC HALOGEN E27 42W | 42         | 1          | 50            | 50               |
| Garáž                        |                       | OSRAM CLASIC HALOGEN E27 42W | 42         | 2          | 50            | 100              |

Tab. 9. Instalace světelných zdrojů ve stávajícím RD s použitím halogenových žárovek.

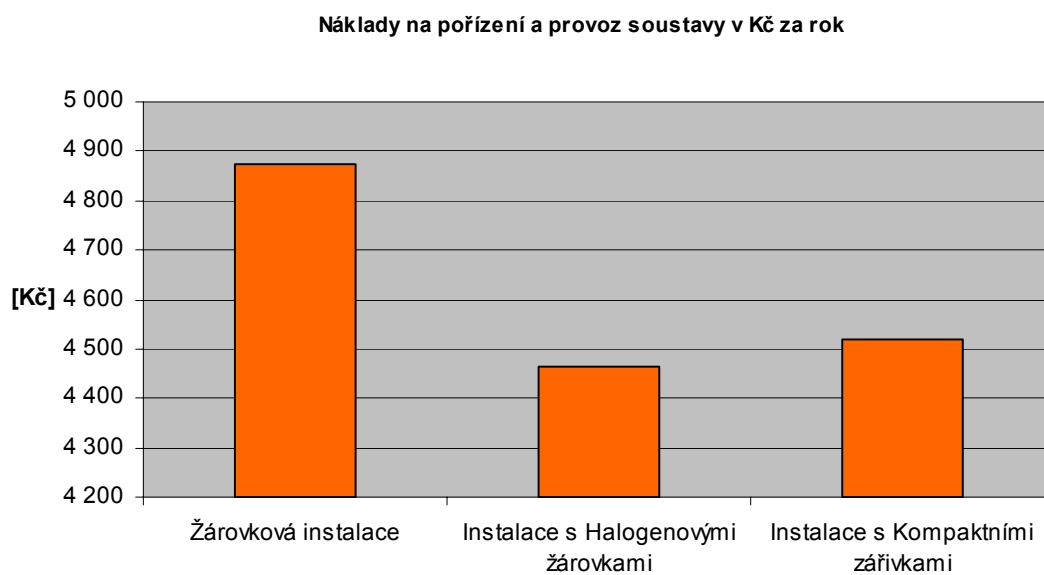
| Místnost                   | Zdroj             | Typ                         | Příkon [W] | Počet [ks] | Cena kus [Kč] | Cena celkem [Kč] |
|----------------------------|-------------------|-----------------------------|------------|------------|---------------|------------------|
| <b>Přízemí</b>             |                   |                             |            |            |               |                  |
| Kuchyň                     | Kompaktní zářivka | OSRAM 8W DULUXSTAR E27/825  | 8          | 1          | 100           | 100              |
|                            |                   | OSRAM 11W DULUXSTAR E27/825 | 11         | 1          | 170           | 170              |
| OSRAM 8W DULUXSTAR E27/825 |                   | 8                           | 2          | 100        | 200           |                  |
| WC                         |                   | OSRAM 11W DULUXSTAR E27/825 | 11         | 1          | 170           | 170              |
| Předsíň                    |                   | OSRAM 11W DULUXSTAR E27/825 | 11         | 1          | 170           | 170              |
| Technologická              |                   | OSRAM 8W DULUXSTAR E27/825  | 8          | 1          | 100           | 100              |
| Jídelna                    |                   | OSRAM 11W DULUXSTAR E27/825 | 11         | 1          | 100           | 100              |
| <b>1. Patro</b>            |                   |                             |            |            |               |                  |
| Chodba                     | Kompaktní zářivka | OSRAM 11W DULUXSTAR E27/825 | 11         | 2          | 170           | 340              |
| Schodiště                  |                   | OSRAM 11W DULUXSTAR E27/825 | 11         | 2          | 170           | 340              |
|                            |                   | OSRAM 8W DULUXSTAR E27/825  | 8          | 2          | 100           | 200              |
|                            |                   | OSRAM 8W DULUXSTAR E27/825  | 8          | 1          | 100           | 100              |
| Koupelna                   |                   | OSRAM 11W DULUXSTAR E27/825 | 11         | 1          | 170           | 170              |
|                            |                   | OSRAM 8W DULUXSTAR E27/825  | 8          | 2          | 100           | 200              |
| Pracovna                   |                   | OSRAM 8W DULUXSTAR E27/825  | 8          | 1          | 100           | 100              |
|                            |                   | OSRAM 8W DULUXSTAR E27/825  | 8          | 2          | 100           | 200              |
| <b>Venkovní</b>            |                   |                             |            |            |               |                  |
| Vchod                      | Kompaktní zářivka | OSRAM 11W DULUXSTAR E27/825 | 11         | 1          | 170           | 170              |
| Zahradní                   |                   | OSRAM 8W DULUXSTAR E27/825  | 8          | 3          | 100           | 300              |
| Vjezd garáž                |                   | OSRAM 11W DULUXSTAR E27/825 | 11         | 1          | 170           | 170              |
| Garáž                      |                   | OSRAM 11W DULUXSTAR E27/825 | 11         | 2          | 170           | 340              |

Tab. 10. Instalace světelných zdrojů ve stávajícím RD s použitím kompaktních zářivek.

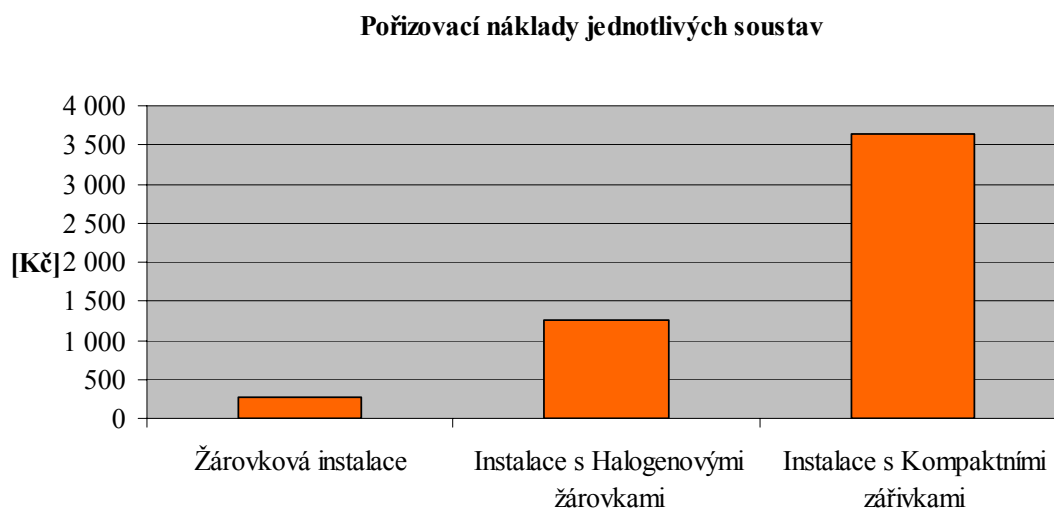
## Příloha E

| Soustava                          | Žárovky | Halogenové žárovky | Kompaktní zářivky |
|-----------------------------------|---------|--------------------|-------------------|
| Pořizovací cena [kč]              | 280     | 1 250              | 3 640             |
| Náklady na el. energii [kč / rok] | 4 593   | 3 215              | 879               |
| Náklady na provoz a pořízení [kč] | 4 873   | 4 465              | 4 519             |
| Celkem příkon soustavy [W]        | 1 380   | 966                | 263               |
| Spotřeba soustavy [kWh / rok]     | 990     | 693                | 189               |

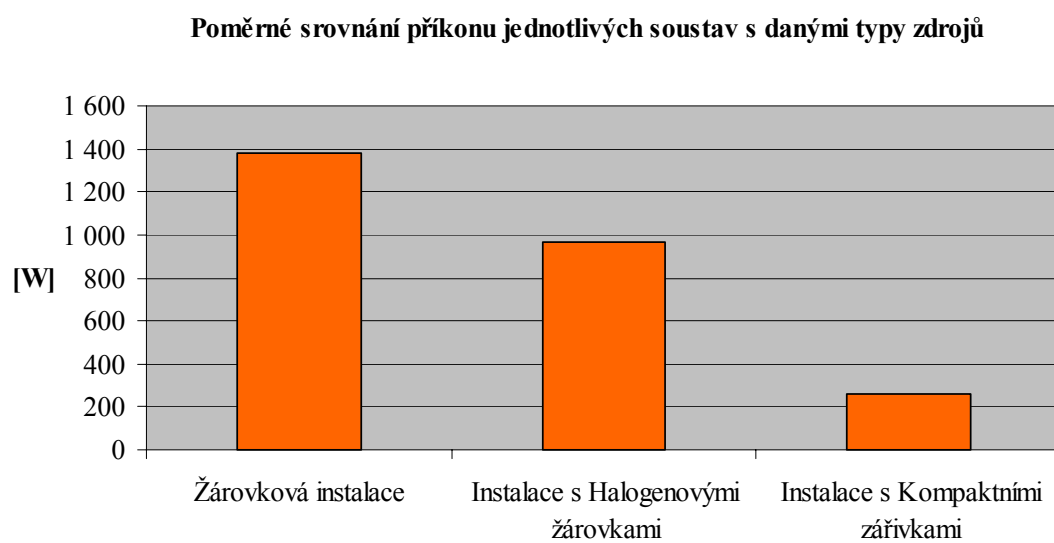
Tab. 11. Souhrnná data všech výše uvedených soustav.



Obr. 16. Graf znázorňující náklady na pořízení a provoz jednotlivých soustav v Kč za rok.



Obr. 17. Graf znázorňující náklady na pořízení každé ze soustav.



Obr. 18. Graf znázorňující příkon jednotlivých soustav.