

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA**

1130370

ÚSPORY ELEKTRICKEJ ENERGIE V OSVETLENÍ

2011

Matúš Mada

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA**

ÚSPORY ELEKTRICKEJ ENERGIE V OSVETLENÍ

Bakalárska práca

Študijný program:	Manažérstvo kvality produkcie
Študijný odbor:	2386700 Kvalita produkcie
Školiace pracovisko:	Katedra elektrotechniky, automatizácie a informatiky
Školiteľ:	Ing. Ľudovít Nagy

Nitra, 2011

Matúš Mada

Čestné vyhlásenie

Vyhlasujem, že som bakalársku prácu na tému „Úspory elektrickej energie v osvetlení“ vypracoval samostatne s použitím uvedenej literatúry. Som si vedomý zákonných dôsledkov v prípade, ak uvedené údaje nie sú pravdivé.

V Nitre 6.mája 2011

.....
Matúš Mada

Pod'akovanie

Ďakujem vedúcemu práce pánovi Ing. Ľudovítovi Nagyovi za pomoc, odborné vedenie, cenné rady a pripomienky pri vypracovaní mojej bakalárskej práce.

Abstrakt

Bakalárska práca sa zameriava na úspory elektrickej energie v osvetľovaní interiérov. Cieľom práce je spracovať prehľad o súčasnom stave danej problematiky, oboznámiť sa s novými technológiami v osvetľovaní, ich porovnanie sa staršími typmi a využitie v súčasných svetelných sústavách. Ako východzia veličina pre porovnanie svetelných zdrojov nám poslužil svetelný tok, a samozrejme aj merný výkon, ktorý vyjadruje pomer svetelného toku k príkonu zariadenia. Na výpočty spotreby, resp. úspory boli použité aktuálne prehľady vyrábaných typov svetelných zdrojov, ich parametre a ceny priamo z dokumentácie výrobcov. Výsledkom práce je určenie toho, kde a v akých podmienkach je daný druh svietidla výhodný. Všeobecne sme všetky typy analyzovali vzhľadom na klasické žiarovky, ktorých výroba sa postupne znižuje, a ktoré sú v súčasnosti nahradzované vo všetkých oblastiach.

Kľúčové slová: elektrická energia, svetlo, úspory

Abstract

The bachelor's thesis focuses on energy savings in interior lighting. The aim of the thesis process is the summary of the issues, become familiar with new technologies in lighting, their comparison to older types, and use in existing lighting systems. As the default value for comparison of light sources are served luminous flux, and of course, power density, which represents the ratio of luminous flux to power the device. On the calculations of the consumption, respectively savings, were used the current review produced types of light sources, their parameters and prices directly from manufacturers documentation. The result is determining where and under what conditions is the preferred type of lamp. Generally, we analyzed all types of light to incandescent lamps, whose production is gradually reduced, and which are currently being replaced in all sectors.

Keywords: electrical energy, light, savings

Obsah

Obsah	7
Zoznam skratiek a značiek.....	8
Úvod	9
1. Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky	10
1.1 Základné pojmy v osvetľovacej technike	10
1.1.1 Elektrické svetlo	10
1.1.2 Základné jednotky svetelnej techniky.....	10
1.2 Súčasný stav využívania elektrickej energie v osvetlení.....	12
1.3 Typy svetelných zdrojov	13
1.3.1 Žiarovky	13
1.3.1.1 Obyčajná žiarovka	14
1.3.1.2 Halogénová žiarovka	15
1.3.2 Žiarivky	17
1.3.2.1 Lineárna žiarivka	17
1.3.2.2 Kompaktná žiarivka.....	19
1.3.3 Vysokotlakové ortuťové výbojky	21
1.3.3.1 Vysokotlakové ortuťové výbojky s luminofórom	22
1.3.3.2 Zmesové výbojky	22
1.3.3.3 Halogenidové výbojky	22
1.3.4 Luminiscenčné diódy	23
1.4 Nové trendy v oblasti svetelných zdrojov	25
2. Cieľ práce	29
3. Metodika práce a metódy skúmania	30
4. Výsledky práce.....	32
4.1 LED žiarovka.....	32
4.2 Kompaktná žiarivka	34
4.3 Halogénová žiarovka.....	36
4.4 Lineárna žiarivka.....	37
4.5 Porovnanie vybraných zdrojov	38
5. Záver	41
6. Použitá literatúra.....	42

Zoznam značiek a skratiek

U – elektrické napätie

V – volt, jednotka elektrického napätia

F – svetelný tok

lm – lúmen, jednotka svetelného toku

t – čas

hod – hodina, jednotka času

A – práca elektrickej energie

kWh – kilowatthodina, jednotka elektrickej práce

P – výkon (príkion)

LED – light emitting diode (svetlo emitujúca dióda)

P_m – merný výkon (lm. W⁻¹)

Pa – Pascal, jednotka tlaku

C – kapacita elektrického náboja

μF – mikrofárad, jednotka kapacity el. náboja

Q – množstvo svetla (lm.s, lm.hod)

I – svietivosť

cd – kandela, jednotka svietivosti

kHz – kilohertz, jednotka frekvencie

N – náklady (€)

Úvod

Svetlo okrem toho, že zabezpečuje život na našej planéte, vplýva na ľudí po fyziologickej, ale aj po psychologickej stránke. Jeho umelým vytvorením si dokážeme predĺžiť deň, či spríjemniť ľudskému oku prácu aj vo svetelne nevhodnejších priestoroch. Preto bolo jedným z významných predmetov skúmania od počiatku ľudskej histórie - od prirodzeného (slnečného) svetla, cez svetlo ohňa, pochodní, rôznych druhov lúčok, až po svetlo získané premenou elektrickej energie.

Prvú žiarovku na báze elektrického odporu vytvoril nemecký hodinár Henrich Göbel. Elektrickú žiarovku (na báze, akú ju poznáme dnes) vynášli nezávisle od seba v roku 1878 Joseph Swan a v roku 1879 Thomas Alva Edison. Neskôr sa začali sklenné banky žiaroviek plniť halogénovými plynmi. Ďalší skok vpred, a to hlavne v úspore, znamenal vynález žiaroviek (lineárne a kompaktné) a výbojok. Prvá prakticky využiteľná LED žiarovka bola vyvinutá kanadským vedcom Nickom Holonyakom už v roku 1962.

Ekológia v dnešnej dobe zasahuje do všetkých oblastí života. Myšlienka, že zvýšenie spotreby energií je predpokladom pre ekonomický a sociálny rozvoj, je už dávno potlačená, pretože týmto spôsobom nemôže prísť k zvýšeniu životnej úrovne predovšetkým v rozvojových krajinách, a zároveň treba brať ohľad aj na stále zmenšujúce sa zásoby energetických zdrojov. Naopak, prechodom k vysoko kvalitným nositeľom energie a využívaním nákladovo efektívnych úspor by bolo možné lepšie zabezpečiť základné ľudské potreby a zvýšenie životného štandardu. Úspory energie v zmysle zvýšenej energetickej produktivity predstavujú výrazný potenciál zlepšenia energetických bilancií jednotlivých krajín, vrátane Slovenska.

V súčasnej dobe je vyvíjaný tlak na všetky produkty, aby boli ekologickejšie a ekonomickejšie. Spotreba energie pre osvetlenie tvorí asi 20 % z celosvetovej spotreby elektrickej energie. Ak si vezmeme, že účinnosť obyčajných žiaroviek, ktoré sú vo svete ešte stále veľmi rozšírené, dosahuje maximálne 8 – 10 %, je to alarmujúce mrhanie elektrickou energiou a hlavne prírodnými zdrojmi. Európska únia preto plánuje stiahnuť obyčajné žiarovky z trhu do roku 2012. Týmto a podobnými krokmi by sa mala energetická náročnosť jednotlivých krajín EÚ, vrátane Slovenska, postupne zefektívňovať.

1. Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky

1.1 Základné pojmy v osvetľovacej technike

1.1.1 Elektrické svetlo

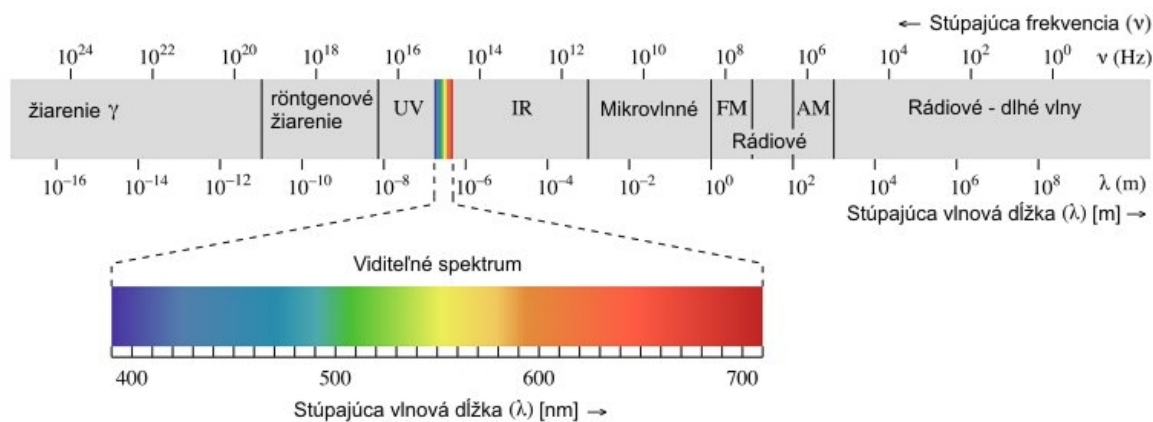
K dôležitým činiteľom významne podmieňujúcim úroveň životného prostredia patrí nielen vzduch, voda a pôda, ale tiež i svetlo. Svetelné žiarenie vyvoláva v človeku nielen fyziologické, ale i psychologické reakcie, ktoré sú ovplyvnené množstvom svetelnej energie, jej rozložením, druhom svetla a jeho farebnosťou. Preto sa hovorí, že neoddeliteľnou súčasťou prostredia, ktoré človeka obklopuje, je tzv. svetelná mikroklíma. Dobré osvetlenie pracoviska umožňuje **zvýšiť produktivitu práce , jej bezpečnosť a tiež kvalitu produkcie**. Nemenej závažnú úlohu hrá kvalitné osvetlenie zdravotníckych zariadení, kultúrnych a spoločenských priestorov a domácností.

Svetlo rozdeľujeme na prirodzené (slnko, mesiac, hviezdy) a umelé (svetlo, ktoré si dokážeme vyrobiť sami). Je to svetlo sviečok, rôznych druhov lúčok a všade tam, kde je možné zaviesť elektrickú energiu, aj **elektrické svetelné zdroje**.

1.1.2 Základné jednotky svetelnej techniky

Viditeľné svetlo je jedným z mnohých druhov elektromagnetického žiarenia. Rozloženie spektra elektromagnetických vln je uvedené na obr.1. Jednotlivé pásma tohto žiarenia sa od seba odlišujú vlnovou dĺžkou a účinkami na okolie. Ľudské oko dokáže vnímať žiarenie o vlnovej dĺžke 0,38 až 0,76 μm . So zmenou vlnovej dĺžky v oblasti viditeľného svetla sa mení aj jeho farba – svetlo s najkratšou vlnovou dĺžkou je fialové, s najdlhšou červené. Ľudské oko je najcitlivejšie na žltó-zelené žiarenie (0,55 μm). Na strane kratších vln prechádza viditeľné svetlo do ultrafialového a röntgenového žiarenia, ktoré majú chemické a biologické účinky, na strane dlhších vln zase do infračerveného žiarenia s tepelnými účinkami a ďalej do elektromagnetických vln používaných vo vysokofrekvenčnej technike.

Obr. 1: Rozloženie spektra elektromagnetických vln (www.neod32.euweb.cz)



Svetelné zdroje vyžarujú do priestoru tzv. **svetelný tok** Φ . Jednotkou svetelného toku je **lúmen** (lm), t.j. svetelný tok, vychádzajúci jednotkou priestorového uhla z bodového zdroja s rovnomernou svietivosťou jednej kandely. Svetelný zdroj má spravidla v rôznych smeroch rôznu svietivosť. **Svietivosť** I je svetelný zdroj v jednotke priestorového uhla. Jednotkou svietivosti je **kandela** (cd). Jednotka priestorového uhla sa nazýva steradián (sr) a je to $1/4\pi$ povrchu gule. 1 sr vytína na povrchu gule s polomerom $r=1\text{m}$ plochu 1m^2 . (Minárik, 2002)

Jednou z dôležitých veličín vo svetelnej technike je **osvetlenie** (E). Osvetlenie predstavuje podiel svetelného toku a veľkosti plochy, na ktorú svetlo dopadá. Osvetlenie ubúda s druhou mocninou vzdialenosti od bodového svetelného zdroja. Jednotkou osvetlenia je lux (lx). $1\text{lx}=1\text{lm}\cdot\text{m}^{-2}$, čiže osvetlenie, pri ktorom rovnomerne rozložený tok jedného lúmenu dopadá na 1m^2 . **Množstvo svetla** Q možno vyjadriť ako súčin svetelného toku v lm a času jeho trvania (s / hod). Jednotkami množstva svetla sú lúmensekunda (lms) a lúmenhodina (lmh). **Merný výkon** svetelného zdroja vyjadrujeme ako podiel svetelného toku a elektrického príkonu. Meria sa v $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$.

Teplota chromatickosti je farba bieleho svetla. Tento parameter vychádza zo žiarovky, pri ktorej sa vlákno zohreje na 2500 K (Kelvinov). Tento parameter sa následne prevzal na určovanie farby bieleho svetla, aj keď už nepopisuje teplotu svetelného zdroja, ale prejav farby svetla. To znamená, že žiarovka vyžaruje teplé – žlté svetlo – alebo aj poobedňajšie svetlo. Denné svetlo je v oblasti 4000 K a studená biela 6500K.

Index podania farieb – svetelný parameter, ktorý sa väčšinou spája s teplotou chromatickosti. Slnčné svetlo má index podania farieb 100 Ra a všetky umelé svetelné zdroje sú porovnávané s týmto denným svetlom a vyjadrujú percentuálne zastúpenie všetkých farieb oproti slnku. (www.uspornaziarovka.sk)

1.2 Súčasný stav využívania elektrickej energie v osvetlení

Svietidlá, ktoré sú najčastejšie používané, sú svietidlá určené pre vnútorné osvetlenie. S ich pomocou sú osvetľované priestory ako kancelárie, školy, nemocnice, chodby, prednáškové sály a aj naše domovy. V súčasnej dobe sa pre vnútorné osvetlenie používajú najmä svietidlá s **lineárnymi žiarivkami**. Z akého dôvodu sú úspešné lineárne žiarivky, je zrejmé z ich početných výhod. Majú vyšší merný výkon (pri niektorých verziách dosahuje až 110 lm/W), jednoduchú inštaláciu, dlhý život, vysokofrekvenčnú prevádzku, dobré podanie farieb, a čo je najdôležitejšie, možno ich stmievať v plnom rozsahu. Stmievanie umožňuje dynamicky reagovať na potreby osvetlenia daného priestoru. (Mácha, 2010)

Veľmi rozšírené sú aj **kompaktné žiarivky**, ktoré majú v súčasnosti len ťažko nejakú konkurenciu, čo sa týka priamej náhrady za štandardné žiarovky. Spájajú v sebe výhody tých najdôležitejších oblastí: cena – spotreba – životnosť – výkon. No pre svoju konštrukciu nedokážu tak dobre osvetliť väčší priestor ako napr. lineárne žiarivky, ktorých dlhý trubicový tvar toto umožňuje.

LED žiarovky sa v súčasnosti využívajú ešte stále pomerne málo, najčastejšie ako bodové osvetlenie (ručné lampy, stolové lampy, príp. doplnkové osvetlenie). Pri súčasných výkonoch nie je možné ani ich využitie vo verejnom osvetlení.

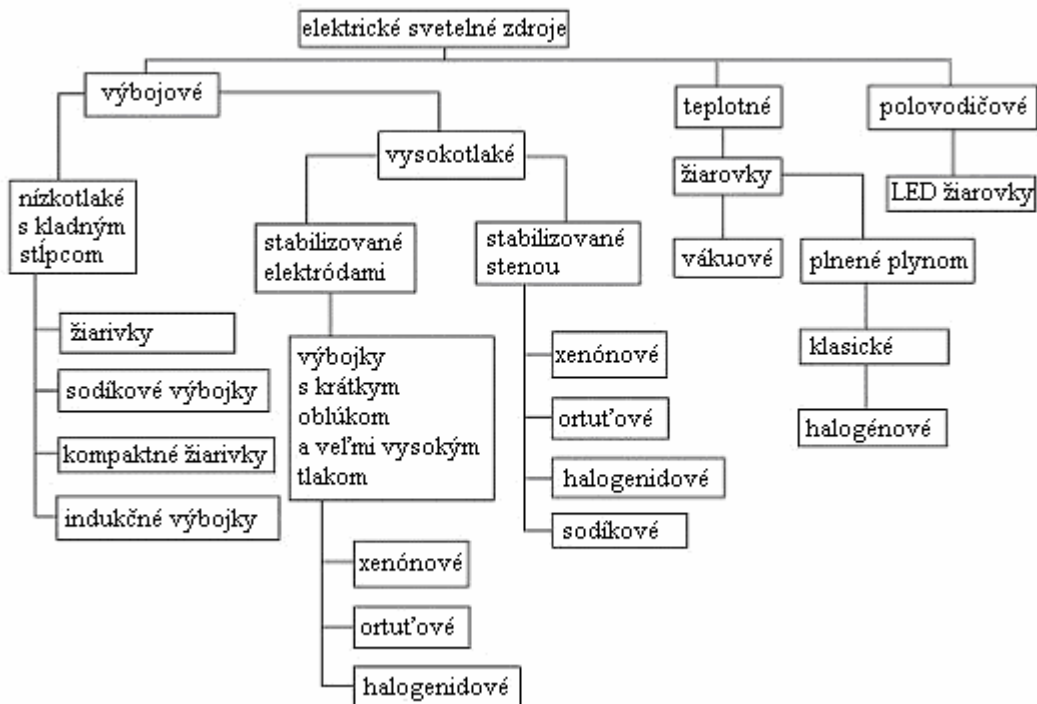
Z určitých dôvodov sa v niektorých priestoroch stále používajú **obyčajné žiarovky**. Sú to najmä priestory, kde sa svetlo zapína len na krátku dobu. V domácnostiach to predstavuje miestnosti ako kúpeľňa, WC a pod. Kvôli tomu sem ešte neprenikli žiarivky, tie potrebujú niekoľko minút na to, aby sa naplno rozsvietili, nehovoriac o tom že častejším zapínaním dochádza k rýchlejšiemu skracovaniu životnosti. Ale nie len tu sa ešte žiarovky používajú. Mnohokrát to je z nevedomosti, zo zvyku alebo z iných dôvodov, avšak žiarovky sa vo veľkom ešte stále nachádzajú v stolových lampách, ale aj v hlavnom svietidle v miestnosti. Býva to aj tým, že do starých typov svietidiel jednoducho nie je

možné, alebo nie je výhodné dať iné zdroje než žiarovky. Napríklad v starších kryštálových lustroch dochádza k takému lámaniu svetla, že by sme mohli novšími zdrojmi ešte viac zhoršiť kvalitu osvetlenia, nehovoriac o tom, že v takýchto svietidlách dochádza k hromadeniu tepla, čo nie je veľmi vhodné ani pre žiarivky, ani pre LED.

1.3 Typy svetelných zdrojov

Elektrické svetelné zdroje rozdeľujeme na dve skupiny, a to na **žiarivé (teplotné)** a **výbojové** zdroje. Podrobnejšie rozdelenie je uvedené na obr. 2.

Obr. 2: Základné členenie elektrických svetelných zdrojov používaných pre všeobecné osvetlenie. (Minárik, 2002)



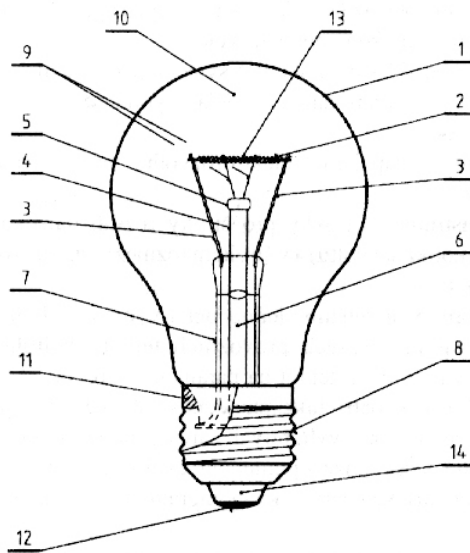
1.3.1 Žiarovky

Žiarovky zaraďujeme medzi teplotné svetelné zdroje. Žiarovka je elektrický zdroj svetla, pri ktorom žiarenie nastáva rozžeravením volfrámového vlákna (2600 až 3000 Kelvin – čo je teplota chromatickosti). Vlákno sa nachádza v uzavretej sklenenej banke s vákuom, prípadne naplnenej plynom. Avšak najväčšia časť vyžarovania sa nachádza v infračervenej oblasti, preto je žiarovka zároveň vynikajúcim zdrojom tepla.

1.3.1.1 Obyčajná žiarovka

Žiarovka je svetelný zdroj, ktorý využíva na premenu elektrickej energie na svetlo vlákno rozžeravené prechodom elektrického prúdu. Konštrukcia obvyčajnej žiarovky je zobrazená na obr. 3. V súčasnosti sa používajú volfrámové vlákna, ktoré majú vysokú teplotu tavenia (3400°C) a malou tepelnou rozťažnosťou. Z výkonu dodaného žiarovke sa premení na svetlo asi len 6 – 8 %.

Obr. 3: Konštrukcia bežnej žiarovky: 1 – banka, 2 – volfrámové vlákno, 3 – prívody, 4 – tyčinka, 5 – šošovka, 6 – čerpacia trubička, 7 – tanierik, 8 – päťica, 9 – háčiky, 10 – plynná náplň, 11 – tmel, 12 – pájka, 13 – geter, 14 – izolácia päťice (vitrit) (www.physedu.science.upjs.sk)



Výhody obvyčajných žiaroviek:

- **okamžitý štart** (bez blikania) a stabilné svietenie bez mihania
- **nízka cena**
- možnosť priameho napájania z rozvodnej siete bez používania predradných obvodov
- vynikajúce podanie farieb (index podania farieb $R_a = 100$), spojité spektrum vyžarovaného svetla
- široký rozsah konštrukcií žiaroviek (napájacie napätie od desiatín voltu až po stovky voltov; rozsah príkonu od desiatín wattu po niekoľko kilowattov)

- neobsahujú žiadne zdraviu škodlivé látky, takže ich likvidácia nepoškodzuje životné prostredie

Nevýhody obyčajných žiaroviek:

- **nízky merný výkon** žiaroviek
- relatívne krátky život
- v priebehu ich života dochádza k veľkému **poklesu svetelného toku**
- **energetická účinnosť** premeny elektrickej energie na svetelnú je u vákuových žiaroviek asi **7 %**, u žiaroviek plnených plynom približne **10 %**

Väzbu medzi napájacím napätím a životnosťou žiarovky treba mať vždy na pamäti pri výbere vhodného typu žiarovky podľa napätia siete. V našich podmienkach totiž nie sú prepätia + 10 % menovitej hodnoty žiadnou výnimkou. Tieto prepätia dokážu spôsobiť skrátenie života žiarovky až o 50 %.

V priebehu života žiarovky dochádza k vyparovaniu volfrámu a jeho usádzaniu na povrch banky. Tento proces spôsobuje postupné tmavnutie banky, a teda aj zníženie svetelného toku. U klasický žiaroviek činí tento pokles na konci života 20 – 25 %.

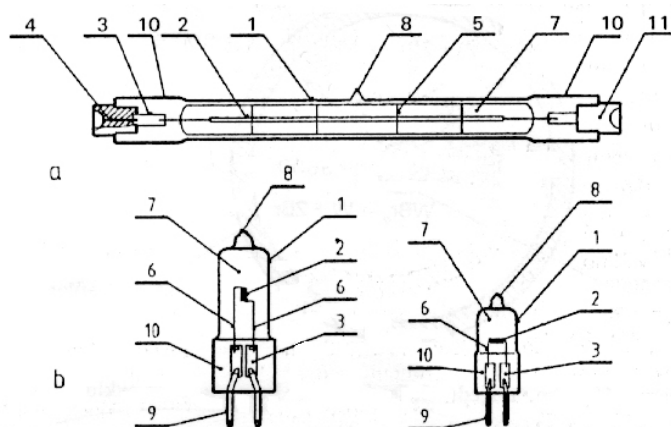
1.3.1.2 Halogénová žiarovka

Halogénové žiarovky predstavujú inovovanú kategóriu vákuových žiaroviek. Banka takejto žiarovky je vyrobená zo špeciálneho kremenného skla. Halogénová žiarovka má volfrámové vlákno, rovnako ako obyčajná žiarovka, ale je žeravené na vyššiu teplotu. Aby sa vlákno pri tejto teplote rýchlo neodparovalo a tým sa neskracovala jeho životnosť, je banka žiarovky plnená kryptónom a zlúčeninou halogénu. Podrobnejšie je konštrukcia halogénovej žiarovky popísaná na obr. 4.

Obr. 4: Konštrukcia halogénovej žiarovky:

a.) dvojstisková žiarovka, b.) jednostisková žiarovka

1 – banka, 2 – volfrámové vlákno, 3 - molybdénová fólia, 4 – molybdénový vonkajší prívod, 5 – podperka, 6 – končeky vlákna, 7 – plynná náplň, 8 – odpalok čerpacej trubičky, 9 – kolík, 10 – stisk, 11 – keramická päťica (www.physedu.science.upjs.sk)

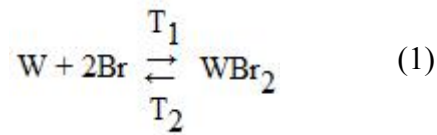


Ako už bolo spomenuté pri obyčajných žiarovkách, usadzovanie odpareného volfrámu na stene banky znižuje merný výkon žiarovky. Aby sa toto obmedzilo, zo začiatku sa pridávali na vlákno látky, ktoré sa s odpareným volfrámom zlúčili na bezfarebné látky, a tým znížili efekt sčernenia žiarovky. Takéto látky sa nazývajú getre.

Ďalšie zníženie rýchlosti vyparovania volfrámu možno dosiahnuť tlakom prostredia, v ktorom som vlákno nachádza. Preto vlákno pri žiarovkách vyšších príkonov neumiestňujeme do vákua, ale banky týchto žiaroviek plníme chemicky neaktívnym plynom. Rýchlosť vyparovania volfrámu pri žiarovkách plnených plynom závisí od tlaku plynu a jeho molekulovej hmotnosti. Zvyšovaním tlaku rýchlosť vyparovania vlákna klesá. Tak isto klesá pri použití plynu s väčšou molekulovou hmotnosťou. (Hornák, Tremač, Ajzenberg, 1983)

Volfrámové vlákno je umiestnené v osi valcovej banky. Banka je naplnená zmesou inertného plynu a zlúčeninou halogénu (napr. CH_2Br_2). Volfrám vyparujúci sa z vlákna sa v blízkosti banky s teplotou T_1 zlučuje s brómom na bromid volfrámu. Ten v dôsledku gradientu koncentrácie difunduje plynným prostredím späť k vláknu, kde sa pri vysokej teplote rozpadá na volfrám a halogén. Uvoľnený bróm sa opäť účastní reakcie, zatiaľ čo

atómy volfrámu zvyšujú tenziu volfrámových pár v tesnej blízkosti vlákna, a obmedzí tak jeho vyparovanie. Uvedenú reakciu možno vyjadriť rovnicou (1)



Výsledkom je jednak čistá banka, na ktorej sa v priebehu svietenia neusadzuje volfrám, a takisto dlhší život vlákna a teda aj celej žiarovky. Aby boli splnené podmienky reakcie, musí teplota banky dosahovať minimálne 250 °C. (Habel, 1995)

Vlastnosti:

Efekt volfrám-halogenového cyklu u žiarovky predstavuje pri zvýšení svetelného toku o 30 % približne dvojnásobnú životnosť. V širokom sortimente halogenových žiaroviek sú využívané možnosti maximálneho predĺženia ich životnosti pri zachovaní merného výkonu (žiarovky pre všeobecné osvetlenie so životom 3000 až 4000 hod.), ale aj maximálne zvýšenie merného výkonu na úkor životnosti (žiarovky pre fotografické účely s merným výkonom 30 lm/W a životnosťou len 15 hod.).

Úbytok svetelného toku vďaka halogenovému cyklu spravidla neprevyšuje 5 % pôvodnej hodnoty. K ďalším **výhodám** týchto žiaroviek patria aj kompaktné rozmery svietiaceho telesa, ktoré umožňujú prerozdeľovať svetelný tok optikou svietidla (napr. automobilové svetlomety) a vyrábať malé a materiálovo úsporné svietidlá.

1.3.2 Žiarivky

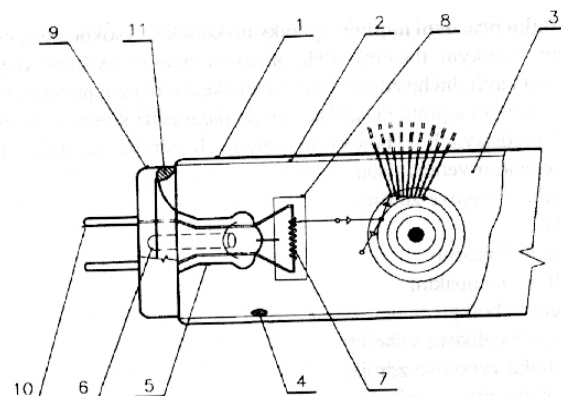
Žiarivky sú nízkotlaké ortuťové výbojky tvaru rúrky, na vnútornej strane s vrstvou luminofóru, ktorý mení ultrafialové žiarenie na svetelné žiarenie rôzneho spektrálneho zloženia.

1.3.2.1 Lineárna žiarivka

Na obr. 5. je znázornená konštrukcia lineárnej žiarivky. Na stene trubice je nanesená zvnútra jedna alebo dve vrstvy luminofóru, ktoré majú za úlohu premeniť vytvárané ultrafialové žiarenie na viditeľné.

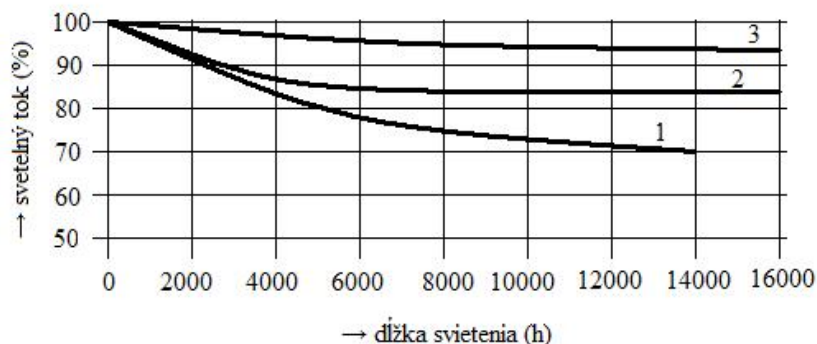
Obr. 5: Konštrukcia lineárnej žiarovky

1 – trubica, 2 – vrstva luminofóru, 3 – plynná náplň, 4 – ortuť, 5 – nôžka, 6 – čerpacia trubička, 7 – elektróda, 8 – ochranná clonka, 9 – päťica, 10 – kolík päťice, 11 – tmel (www.physedu.science.upjs.sk)



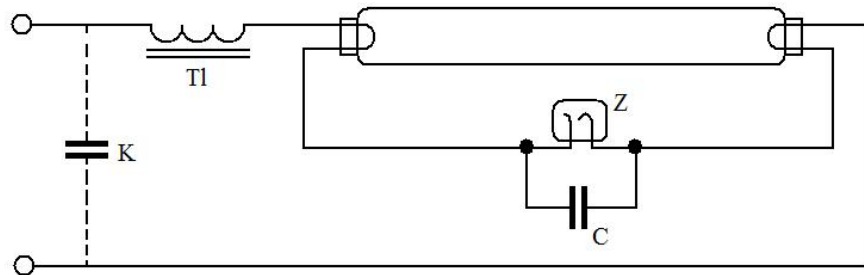
Veľmi dôležitou činnosťou je dávkovanie ortuti. Toxicita ortuti a z nej vyplývajúce problémy pri výrobe a likvidácii žiariviek, nútia výrobcov používať iba jej minimálne množstvo. Toto je ale opäť spojené s ďalšími problémami, ako napr. spoľahlivosť dávkovania malých množstiev ortuti, čistota vstupných materiálov, účinný proces čerpania a pod. Príkladom úspešného vyriešenia týchto problémov sú žiarovky firmy Philips, kde sa ortuť o množstve 3 mg (pre výkon 36 W) dávkuje s využitím sklenených ampuliek, z ktorých sa ortuť uvoľňuje až po ukončení čerpania a po vákuovo tesnom uzatvorení žiarivky. Vrstva oxidu hlinitého nanosená pod vrstvou luminofóru bráni absorpcii ortuti sklom. Výsledkom týchto opatrení je okrem ekologickosti žiarivky aj stabilnejší svetelný tok behom jej technického života. Pokles svetelného toku pre rôzne typy žiariviek je uvedený na obr. 6.

Obr. 6: Pokles svetelného toku žiariviek v priebehu svietenia: 1- štandardné, 2 – s trojpásmovými luminoformi, 3 – so zmenšeným množstvom ortuti a ochrannou vrstvou (Habel, 1995)



Štandardne vyrábané žiarivky majú merný výkon 57 až 68 $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$. Vyšší merný výkon (presahujúci 100 $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$) sa dosahuje zavedením nových elektronických predradníkov, pracujúcich na vysokej frekvencii (nad 30 kHz) a použitím trojvrstvových luminofórov. Dĺžka životnosti sa pohybuje v okolí 3000 hodín, ale vo veľkej miere závisí od frekvencie ich rozsvetovania.

Obr. 7: Schéma lineárnej žiarivky so zapalovacím zariadením (Minárik, 2002)



Na obr. 7 môžeme vidieť zapojenie trubicovej žiarivky do zapalovacieho obvodu. Štartérom v obvode je malá tlejivka Z, ktorej jedna elektróda je pevná a druhú tvorí bimetal. Po pripojení žiarivky na sieť vznikne v štartéri tlejivý výboj, ktorým sa bimetalový kontakt zohreje, v krátkom čase sa spojí nakrátko a elektródy sa nažeravia. Medzitým sa pero z bimetalu znovu ochladí, rozpojí dotyk a žeraviaci prúd sa preruší. Pôsobením predradenej tlmivky T1 vznikne pri prerušení prúdu v obvode veľký napäťový náraz, ktorý spôsobí rozžeravenie výboja v rúrke. Napätie klesne na prevádzkovú hodnotu, pri ktorej sa tlejivý výboj v štartéri už neopakuje; dotyk v štartéri zostane rozpojený. V prevádzke preto elektródami neprechádza žeraviaci prúd a emisná teplota elektród sa udržiava len účinkami výboja. Kondenzátor C (0,01 μF) zabraňuje rušeniu okolitých signálov (napr. rozhlasu) pri zapalovaní, kým kondenzátor K (4 μF) zvyšuje účinník ($\cos \varphi = 0,5$ až 0,6) zapríčinený predradenou tlmivkou na 0,9.

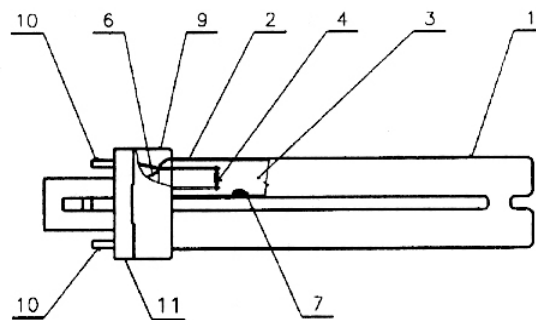
1.3.2.2 Kompaktná žiarivka

Kompaktné žiarivky predstavujú typ svetelného zdroja, ktorý sa svojím svetelným tokom, rozmermi a podaním farieb blíži k obyčajným žiarovkám, ale zároveň má v porovnaní s nimi oveľa vyššiu účinnosť. Merný výkon kompaktných žiariviek býva 50 až 80 $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$ a majú 8 – 10 krát dlhšiu životnosť.

Princíp činnosti kompaktných žiariviek je obdobný ako u lineárnych žiariviek. Výbojová trubička je stočená do tvaru U, alebo inak (špirálovite) zatočená. Podrobnejšia konštrukcia je uvedená na obr. 8.

Obr. 8: Konštrukcia kompaktnej žiarivky so zabudovaným tlejivkovým zapalovačom a päticou G24-d

1 – trubica, 2 – vrstva luminofóru, 3 – plynná náplň, 4 – elektróda, 5 – čerpacia trubička, 9 – päťica, 10 – kolík päťice, 11 – plastový diel päťice so zapalovačom (www.physedu.science.upjs.sk)



Najnovšie kompaktné žiarivky majú päťicu so závitom E27, ktorá obsahuje kompletný elektronický predradník. Umožnil to rozvoj elektroniky, vysoká spoľahlivosť, miniaturizácia súčiastok a zároveň pokles ich ceny. Takáto žiarivka je príkladom nástupu elektroniky do oblasti svetelnej techniky.

Predradník má za úlohu stabilizovať prúd výboja, vytvoriť potrebné zápalné napätie, zabezpečiť nažeravenie elektród a obmedziť funkciu napájacieho zdroja v podmienkach poruchových stavov. Elektronický predradník pracuje na vysokej frekvencii v rozmedzí 30 až 40 kHz. Okrem väčšej účinnosti má táto vysoká frekvencia aj ďalšie prednosti, ako napr.:

- menšie straty v predradníku
- menšia hmotnosť predradníka
- rýchly štart (bez blikania)
- bezhlučná prevádzka
- stabilné svietenie bez mihania

Podľa toho, či elektronický predradník tvorí samostatný konštrukčný prvok, alebo je súčasťou svietidla, poprípade svetelného zdroja, delia sa elektronické predradníky na:

- predradníky samostatné, ktoré môžu byť montované bez dodatočných úprav mimo svietidla,
- predradníky vstavané, určené k zabudovaniu do svietidla,
- predradníky integrované, ktoré sú neoddeliteľnou súčasťou svetelného zdroja

(Habel, 1995)

Životnosť kompaktnej žiarivky je veľkou mierou ovplyvnená podmienkami, pri ktorých štartuje. Je dôležité, aby v okamihu, keď na žiarivku pripájame napätie, boli katódy dostatočne nažhavené. Pri obvyklých prúdoch žhavenia sa všeobecne odporúča, aby čas nažhavenia bol dlhší ako 0,4 s.

1.3.3 Vysokotlakové ortuťové výbojky

Žiarivky, ako nízkotlakové ortuťové výbojky, využívajú tlak ortuťových pár o hodnote približne 1 Pa, pri vysokotlakových je to tlak prevyšujúci 100 kPa. Zvyšovaním tlaku ortuťových pár a zvyšovaním prúdovej hustoty dochádza k posunu maxima vyžarovanej energie smerom k väčšiemu mernému výkonu, ale aj k väčším vlnovým dĺžkam a ku vzniku spojitého spektra, ktorého intenzita sa zvyšuje spolu so zvyšovaním tlaku.

Aj keď takýto svetelný zdroj má veľký merný výkon (50 až 60 lm/W), nie je vhodný pre všeobecné osvetlenie, pretože v jeho spektre chýba červená zložka, čiže podanie farieb osvetľovaných predmetov je nevyhovujúce. Existuje niekoľko možností ako zlepšiť spektrum vyžarovania farieb:

a.) využitie luminóforu na transformáciu ultrafialového žiarenia na červenú zložku. Tento spôsob sa využíva pri **vysokotlakových ortuťových výbojkách s luminofórom**,

b.) kombinácia modro-zeleného žiarenia výboja so žiarením žiaroviek, čím sa dosiahne vyšší podiel červenej zložky, ale na úkor merného výkonu. Takáto kombinácia sa používa pri **zmesových výbojkách**,

c.) pridanie vhodných svietiacich prímiesí do ortuťového výboja (pridávanie halogenidov). Tento spôsob sa využíva v **halogenidových výbojkách**.

1.3.3.1 Vysokotlakové ortuťové výbojky s luminofórom

Ortuťové výbojky majú vonkajšiu banku elipsovitého tvaru, pokrytú na vnútornej strane svietiacou látkou (luminofórom). V banke je kremenný horák, ktorý obsahuje dve hlavné elektródy, jednu pomocnú, malé množstvo ortuti a vzácny plyn argón. Po zapnutí vznikne medzi hlavnou a pomocnou elektródou tlejivý výboj; jeho teplo vyparuje ortuť, ktorej pary vytvoria vodivý priestor medzi hlavnými elektródami. Po zapálení výboja klesne napätie na svorkách výbojky a rozdiel medzi napätím siete a napätím výboja sa vyrovná tlmivkou. S pribúdajúcim vyparovaním ortuti stúpa aj tlak pár a plný svetelný výkon sa dosahuje až za 3 – 5 minút. (Minárik, 2002)

Oblúk je okrem viditeľného svetla aj zdrojom neviditeľného ultrafialového žiarenia, ktoré po prechode horákom dopadá na luminofór, a tento ho premení na prevažne červené svetlo. Viditeľné svetlo sa zmieša s červeným a výsledkom je biele svetlo vychádzajúce z banky, ktoré je podobné prirodzenému dennému svetlu.

1.3.3.2 Zmesové výbojky

Inou možnosťou úpravy spektra ortuťového výboja, je pridať k jeho žiareniu aj žiarenie z volfrámového vlákna, ktoré pridáva žiareniu najmä jeho chýbajúcu červenú zložku. Volfrámové vlákno je zapojené ku ortuťovému horáku sériovo, ktoré zároveň plní funkciu predradníka, čiže odpadá nutnosť použitia tlmivky. Vlákno s horákom sú uložené do spoločnej banky s bežnou závitovou päticou. Takúto výbojku je potom možné pripojiť priamo do siete NN. V týchto prípadoch sa dá nahradením klasických žiaroviek zmesovými výbojkami dosiahnuť nielen úspory na elektrickej energii, ale aj určité zlepšenie svetelných podmienok.

Index podania farieb je vyšší ako pri vysokotlakových výbojkách s luminofórom a pohybuje sa v rozmedzí 60 až 69. Použitie zmesových výbojok sa odporúča tam, kde sa používajú žiarovkové svietidlá pre obyčajné žiarovky o príkone 200, 300, popr. 500 W bez zvýšených nárokov na kvalitu podania farieb.

1.3.3.3 Halogenidové výbojky

Niektoré prvky sa vyznačujú veľmi intenzívnymi rezonančnými čiarami vo viditeľnej oblasti spektra (napr. sodík, thalium, indium a pod.), iné prvky (napr. kovy

vzácných zemín) majú veľmi husté čiarové spektrum v celej viditeľnej oblasti, ktoré zaisťuje veľmi dobré podanie farieb osvetľovaných predmetov. (Habel, 1995)

Východiskom je nový spôsob vnášania prvkov do výboja vo forme jednoduchých zlúčenín. Najvhodnejšie z nich sú príslušné halogenidy (najčastejšie jodidy, popr. bromidy). Tieto zlúčeniny sú pri pracovných teplotách stále, nie sú agresívne ku sklu a väčšinou poskytujú aj väčší tlak pár v porovnaní s čistým kovom. Z hľadiska konštrukcie sú halogenidové výbojky podobné ortuťovým výbojkám, niektoré konštrukčné odlišnosti vyplývajú z prítomnosti halogenidov v horáku.

Habel (1995) popisuje princíp činnosti halogenidových výbojok so značným zjednodušením takto: Výboj sa zapaluje vonkajším zapalovacím zariadením, ktoré zaisťuje vysokonapäťový impulz s amplitúdou až 4,5 kV. S postupným nárastom teploty sa zvyšuje koncentrácia halogenidov vo výboji. Režim výbojky sa ustáli behom asi 5 minút. Pri pracovnej teplote horáka sa v oblasti s vysokou teplotou halogenidy štiepia na atómy halogénu a atómy príslušného kovu, ktoré sa vybudia a žiaria.

Výhody halogenidových výbojok:

- veľký rozsah príkonov
- dlhá životnosť
- vynikajúce podanie farieb osvetľovaných predmetov
- veľký merný výkon

K nevýhodám patrí technologická náročnosť, nutnosť použitia zapalovacieho zariadenia a pomerne veľká citlivosť výbojky na kolísanie napätia. Treba pripomenúť, že po prerušení napätia je potrebné nechať výbojku pred ďalším zapnutím vychladnúť na 5 až 12 minút, inak sa v bežných svietidlách nezapáli.

1.3.4 Luminiscenčné diódy

Ako uvádza Malina (2003), tieto diódy patria do skupiny optoelektronických súčiastok a často sa označujú skratkou LED. Sú to začiatkové písmená anglických slov „Light emitting diode“. Do slovenčiny ich môžeme preložiť ako „svetloemitujúce diódy“. Vyrába sa ich veľa druhov a líšia sa tvarom aj farbou, ktorú vyžarujú. Rozdiel však nájdeme aj u dvoch tvarovo rovnakých diód, rovnakej farby. Spočíva v spôsobe vyžarovania svetla. U svetelných diód rozlišujeme **rozptylový a bodový charakter** svetla.

Bodová dióda vyžaruje svetlo iba z jedného miesta (čipu). Pri dióde s **rozptylovým charakterom** vychádza svetlo z plochy klobúčika (šošovky) alebo rovnej plochy puzdra diódy. V tomto druhom prípade je svetlo menej intenzívne, ale väčšinou príjemnejšie na pozorovanie. Farba puzdra spravidla zodpovedá farbe generovaného svetla, niekedy je však puzdro bezfarebné alebo matne biele.

Technológia LED:

Pri prechode elektrického prúdu polovodičovým prechodom, sa pri dopade elektrónov uvoľňujú z materiálu v dióde fotóny, a tak vzniká svetelné žiarenie rôznej vlnovej dĺžky. Toto sa prejaví príslušnou farbou svetla (s výnimkou infra – LED). V tab. 1 sú uvedené niektoré farby diód a ich vlnové dĺžky. Nás zaujíma vlnová dĺžka LED v spektre viditeľného svetla, ktorú výrobcovia udávajú z dôvodu definovania farby diódy. Vlnová dĺžka sa vyjadruje v nanometroch [nm].

Tab. 1: Tabuľka farieb LED s odpovedajúcou vlnovou dĺžkou (v nm) (Malina, 2003)

Farba	Vlnová dĺžka v nm
modrá	452 až 485
zelená	495 až 535
žltá	568 až 585
oranžová	592 až 608
červená	656 až 768

Rozdelenie uvedené v tabuľke je približné a odtiene farieb sa rôznia. Záleží to na použitom základnom materiále a prímiesiach. Východným materiálom je gálium, ale uplatňujú sa aj iné materiály. Označujú sa skratkami. Napr. GaAsP, čo znamená gallium-arsenid-fosforid, novšie Al InGaP, teda Aluminium-Indium-Gallium-Phosphat. (Malina, 2003)

Poznáme dva spôsoby získania **bieleho svetla** potrebného pre bežné použitie:

Žiarenie vo viditeľnej oblasti, ktoré je vyžarované z polovodiča, je modrej farby, pričom časť krátkovlnných fotónov je absorbovaná a znovu emitovaná s dlhšou vlnovou

dĺžkou v žltom spektre. Vyžiarené spektrum sa skladá z luminiscencie modrého svetla a fosforescencie žltého svetla a je bielej farby.

Druhý spôsob získania bieleho svetla pri LED je založená na transformácii UV žiarenia. Pri takejto LED sa UV žiarenie vychádzajúce z polovodičového materiálu, napr. AlGaInN prostredníctvom červenej, zelenej a modrej fosforečnej vrstvy, transformuje a zmiešaním všetkých troch farieb z danej LED vyžaruje biele svetlo. (Smola – Tabišová, 2006)

Svetelné diódy sa chovajú ako obyčajné diódy (napr. usmerňovacie) v tom zmysle, že sa vyznačujú priepustným aj záverným smerom. **Ak je však LED – dióda zapojená v závernom smere, na rozdiel od bežných diód sa zanedlho zničí**, pričom samozrejme nesvieti. Je to tým že svetelné diódy majú záverné napätie malé.

Úspory v LED technológii osvetľovania

LED – je najpokročilejšia technológia v osvetľovaní. Vďaka nízkej spotrebe, dlhej životnosti a ideálnej vlnovej dĺžke pre ľudské oko, zaručuje moderný, ekologicky šetrný a bezpečný zdroj svetla. Žiarovky na báze LED sa vyznačujú veľmi nízkou spotrebou elektrickej energie. Na rozdiel od klasických alebo úsporných žiaroviek, premenia LED žiarovky takmer všetku elektrickú energiu na svetlo a nie na teplo ako to býva u starších svetelných zdrojov. Ďalšou výhodou je rýchle rozsvietenie, ktoré prebehne v podstate v okamihu zapnutia spínača. Intenzitu žiarenia týchto žiaroviek je veľmi ľahké regulovať a tak dosiahnuť požadovaný výkon osvetlenia a jeho ekonomickosť. Jedinou významnejšou nevýhodou je vysoká obstarávacia cena.

1.4 Nové trendy v oblasti svetelných zdrojov

Pokiaľ ide o svetelné zdroje, ich súčasný stav a trendy, treba povedať, že ide o veľmi dynamicky sa meniacu oblasť so sústavným dopĺňovaním nových, technicky dokonalejších a úspornejších svetelných zdrojov. Významné svetelné firmy, ale aj menší výrobcovia neustále prichádzajú na trh s novinkami, ktoré poskytujú svetelným technikom stále lepšie riešenia zrakovej pohody pri dodržaní hospodárnosti v základných svetelných sústavách, ale aj estetických účinkov vo všetkých projektoch.

Hlavné inovačné trendy:

- trvalé zvyšovanie spoľahlivosti a účinnosti premeny elektrickej energie na svetelnú, hlavne u výbojových zdrojov
- snaha znižovať rozmery zdrojov (ak nie sú predmetom normalizácie) s cieľom vytvoriť optimálne podmienky pre výrobcov svetiel z hľadiska zlepšenia optických vlastností, aj z hľadiska materiálového a následne aj prepravných nákladov
- tlak na zvyšovanie ekologickosti zdrojov svetla z hľadiska spotrebiteľa, ale aj výrobcu (plná recyklovateľnosť)
- pokračujúca elektronizácia v oblasti svetelnej techniky, od predradných obvodov pre výbojové zdroje až po inteligentné riadenia v objektoch s využitím výpočtovej techniky za účelom dosiahnuť svetelný komfort a úspory energie
- trvalá snaha výrobcov kompaktných žiaroviek dosiahnuť pri nezmenenej energetickej výhodnosti týchto zdrojov rovnocenné podmienky osvetlenia na pracovnej ploche
- pokračujúci prienik LED diód do ďalších oblastí osvetľovania
- rozširovanie sortimentu bezelektrodových svetelných zdrojov
- rozširujúce sa aplikácie svetlovodov (Dvořáček, 2000)

Sústavné zvyšovanie prevádzkovej spoľahlivosti súvisí s požiadavkami na **zvyšovanie kvality výrobkov**, čo sa premieta do prísnych **požiadaviek medzinárodných noriem** a vo väčšej miere do požiadaviek náročných zákazníkov. V tejto intencii pôsobia aj rôzne certifikačné systémy, ktorých uplatňovanie u svetelných výrobcov je samozrejmosťou.

Dvořáček (2000) **uvádza tieto parametre svetelných zdrojov, ktoré naznačené trendy potvrdzujú:**

- predĺženie záručnej doby kompaktných žiaroviek najvýznamnejších svetových výrobcov na 5 rokov;
- deklarovanie spoľahlivej prevádzky vysokotlakových sodíkových výbojok po dobu 4 rokov, čo umožňuje znížiť náklady na údržbu osvetľovacích sústav zavedením skupinovej výmeny svetelných zdrojov raz za 4 roky. Výpadky do tejto doby (približne do 16 000 h) činí u hlavného sortimentu iba 5%;
- predĺženie života kompaktných žiaroviek s integrovaným predradníkom a žiarovkovou päticou na 15 000 h;

- predĺženie života žiaroviek Ø26 mm s trojpásmovými luminoformi a ochrannou vrstvou na 15 000 h;
- predĺženie života halogénových žiaroviek v rôznych prevedeniach (vrátane variánt so studeným zrkadlom) na 3 000 až 4 000 h;
- obdobné tendencie sa prejavujú aj u ďalších typov svetelných zdrojov, vrátane obyčajných žiaroviek, kde pri zachovaní stredného života 1 000 h je limitovaný počet predčasne vypálených žiaroviek

Trend **zmenšovania rozmerov** svetelných zdrojov siaha do celého sortimentu svetelných výrobcov. Táto snaha vychádza z možnosti úspor materiálu svetelného zdroja aj svietidla, poprípade zariadenia, v ktorom sa svetelný zdroj nachádza. Menšie rozmery výrobkov zároveň znižujú aj náklady na skladovanie a prepravu.

Elektronický predradník a klasické zapojenie so štartérom a tlmivkou

Štartér, tlmivka a kondenzátor zvyšujúci účinník sú nahradené jedným integrovaným obvodom a dlhá trubica je prakticky „stočená“ do menších rozmerov. Vysokofrekvenčný obvod v predradníku navyše zabezpečuje úplné potlačenie **stroboskopického javu**, ktorý je nebezpečný hlavne pri točivých strojoch, kde sa zdá, že sa stroj točí pomaly alebo vôbec. Vďaka vysokej frekvencii toto ľudské oko nemá šancu zaregistrovať. Takéto žiarivky majú potom kratšiu dobu rozsvietenia, dlhšiu životnosť a oveľa stabilnejšie svietia. V súčasnosti však elektronika zasiahla aj do lineárnych žiaroviek, kde je predradný obvod nahradený elektronickým predradníkom.

Elektronické predradníky majú tieto výhody:

- úspora elektrickej energie až 18 % oproti svietidlám s klasickým predradníkom
- predĺženie životnosti žiaroviek až o 50 %
- širšie použitie v rozsahu napätí 198 až 254 V
- vyšší účinník bez nákladov na kompenzáciu
- nehlučná prevádzka
- potlačenie stroboskopického javu (www.schrack.sk)

Nové trendy osvetlenia v kanceláriách a školách

Kancelárie - dnes je už neefektívne riešiť ich osvetlenie tak zaužívaným spôsobom zapustených štvorcových svietidiel so štyrmi trubicami a s leštenou mriežkou. Toto riešenie z osemdesiatych a deväťdesiatych rokov minulého storočia bohužiaľ pretrváva dodnes. Teraz je nutné konštatovať, že takto osvetlené priestory majú viac negatívnych vplyvov na ľudský organizmus. Javia sa ako dobre osvetlené, ale je to len zdanie. Sú tu príliš silné kontrasty, často sú nedostatočne osvetlené steny voči podlahe a navyiac strop je omnoho tmavší ako pracovná plocha, čo unavuje zrak a spôsobuje tzv. **jaskyňový efekt**. V takýchto priestoroch sa pracovníci po čase cítia unavení a nespokojní. Ideálnym riešením tohto problému je použiť namiesto zapustených stropných svietidiel svietidlá spustené na závesoch s vhodnou distribúciou svetla nahor aj nadol a vhodnou ochranou proti oslneniu matnou mriežkou. (Hořínek, 2008)

Školy - princíp osvetlenia školských tried je obdobný ako v kancelárskych priestoroch (už bolo zmienené). Je však veľmi dôležité vhodne rozmiestniť svietidlá vzhľadom k oknám a školskej tabuli, ktorá sa vždy osvetľuje samostatne. Svietidlá by nemali blikať, bzučať a mali by plynulo meniť intenzitu osvetlenia v závislosti od požiadavky na výučbu alebo intenzity denného svetla. Počas prestávky sa môžu automaticky stmievať na minimum, a ak nezaznamenajú prítomnosť osôb v priestore, po uplynutí nastavenej doby oneskorenia sa automaticky vypnú. (Hořínek, 2008)

Regulácia osvetlenia (stmievanie)

Vhodnou reguláciou osvetlenia sa dajú dosiahnuť značné úspory. Najčastejšie býva regulované osvetlenie vo veľkých halách, administratívnych budovách alebo supermarketoch, no čím ďalej, tým častejšie aj v domácnostiach, či školách.

Ak chceme regulovať svetelnú sústavu tvorenú **žiarivkami**, musia byť tieto vybavené **elektronickými regulovateľnými predradníkmi**. Vhodné riadenie a regulácia osvetlenia sa zabezpečuje inteligentnými riadiacimi prvkami a rôznymi snímačmi (snímač denného svetla, pohybu osôb a pod.). Regulácia intenzity osvetlenia má viacero výhod, ako napr. predĺženie životnosti svetelných zdrojov, zníženie nákladov na elektrickú energiu asi o 15 %, prispôsobenie intenzity osvetlenia na potrebnú úroveň, rovnomerné znižovanie celkovej intenzity osvetlenia.

2. Cieľ práce

Cieľom práce je zhodnotiť súčasný stav využívania elektrickej energie v osvetlení a spracovať nové trendy úspor v osvetľovacej technike

Čiastkové ciele práce:

- oboznámiť sa s prvkami osvetľovacej techniky v súčasnosti
- porovnanie svetelných zdrojov z hľadiska ich energetickej náročnosti
- spracovať nové trendy svetelných zdrojov a ich použitie v existujúcich svetelných sústavách

3. Metodika práce a metódy skúmania

Bakalárska práca prezentuje súbor poznatkov získaných v rámci štúdia a ich rozšírenie o odborné a vedecké literárne pramene. Práca je teoreticky zameraná a pre splnenie stanovených cieľov sú použité všeobecne používané základné metódy spracovania.

Metodika práce:

V kapitole 1. sú teoreticky opísané základné pojmy v osvetlení, stručné definície jednotlivých svetelných zdrojov a nové trendy v osvetlení.

Kapitola „Výsledky práce“ je zameraná výpočtovo a pojednáva sa v nej o úsporách na konkrétnych príkladoch. Všeobecný postup práce pri hodnotení svetelných zdrojov:

- výber vyrábaných typov svetelných zdrojov konkrétnych výrobcov,
- zozbieranie údajov z dokumentácii a cenníkov výrobcov,
- selekcia parametrov potrebných pre výpočty,
- výpočet merného výkonu (2) a elektrickej práce, resp. spotreby (3),

$$P_m = \frac{F}{P} (\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}) \quad (2),$$

$$A = P \cdot t (\text{Wh}; \text{kWh}) \quad (3),$$

- výpočet nákladov na prevádzku osvetlenia (4), kde n predstavuje počet zdrojov,

$$N = A \cdot n \cdot \text{cena}_{1\text{kWh}} (\text{€}) \quad (4),$$

- porovnanie výsledkov (merného výkonu a spotreby) pre jednotlivé zdroje svetla,
- vyhodnotenie (v akých podmienkach vyhovuje daný typ osvetlenia, porovnanie z technicko-ekonomického a ekologického hľadiska)

Metódy skúmania:

- *metóda selekcie* - táto metóda je použitá pri výbere materiálov odbornej literatúry, týkajúcej sa predmetnej problematiky;
- *metóda analýzy* - základný metodický postup pri spracovaní obsahu práce. Je uplatnená pri štúdiu odbornej problematiky, v práci hodnotí jednotlivé typy svetelných zdrojov a problémy súvisiace s danou problematikou;
- *metóda komparácie* - bola použitá na porovnávanie rôznych druhov svetelných zdrojov s ohľadom na úspory a ekologickosť;
- *metóda syntézy* - je použitá v poslednej časti práce na zhrnutie, sumarizáciu získaných poznatkov a zhodnotenie výsledkov;
- *grafické metódy* – aplikujú sa priebežne v celej bakalárskej práci na sprehľadnenie informácii vo forme tabuliek, schém a obrázkov.

4 Výsledky práce

4.1 LED žiarovka

LED technológia v osvetľovaní predstavuje v súčasnosti jeden z najperspektívnejších spôsobov šetrenia nielen elektrickej energie, ale aj životného prostredia, či už pri výrobe, prevádzke alebo likvidácii. Príklad vyhotovenia LED žiarovky je na obr. 9.

Asi najhlavnejším parametrom, ktorý vplýva na úsporu, je životnosť. Výrobcovia ju udávajú od 25 000 až po 100 000 hodín v závislosti od modelu. Žiarovky na báze LED sa navyše vyrábajú aj s päticou E27 (rovnakou akou disponujú obyčajné žiarovky), je teda možné vymeniť obyčajné žiarovky priamo za LED.

V tab. 2 sú uvedené parametre a ceny výrobcu svietidiel Philips pre vybrané modely LED žiaroviek s päticou E27 pre rok 2010.

Tab. 2: Cenník vybraných LED žiaroviek značky Philips

Typ	Teplota chromatickosti, farba svetla	Pätica	Príkon (W)	Životnosť (hod)	Svetelný tok (lm)	Cena bez DPH
MASTER LEDbulb 6W E27 2700K 230V A55	2700 K - žiarovková	E27	6	45000	240	23,50 €
MASTER LEDbulb 6W E27 4200K 230V A55	4200 K - studená biela	E27	6	45000	280	29,50 €
MASTER LEDbulb 8-40W E27 2700K 230V A60	2700 K - žiarovková	E27	8	25000	470	29,50 €

Obr. 9: LED žiarovka Philips MASTER LEDbulb A60



Philips ako náhradu za štandardnú žiarovku (príkon 40 W, životnosť 1000 h a svetelný tok 450 lm) uvádza z vyššie uvedených LED žiarovku MASTER LEDbulb A60 s príkonom 8 W. Pre objektívne porovnanie týchto dvoch zdrojov nám posluží výpočet ich merných výkonov:

- **pre klasickú žiarovku:**

$$P_m = \frac{F}{P} = \frac{450lm}{40W} = 11,25lm.W^{-1}$$

- **pre LED žiarovku:**

$$P_m \frac{F}{P} = \frac{470lm}{8W} = 58,75lm.W^{-1}$$

Z vypočítaných hodnôt je jasne vidieť rozdiel medzi mernými výkonmi oboch typov svietidiel. Pre lepšie pochopenie si toto porovnanie ukážeme na konkrétnom príklade, pričom do výpočtov úspory zahrnieme aj životnosť.

Zoberme si objekt, v ktorom sa nachádza 10 svetelných zdrojov osadených štandardnými žiarovkami. Príklad budeme aplikovať na dobu 8 rokov, pričom sa bude svietiť 3 hodiny denne, čo predstavuje 8760 hodín svietenia počas tohto obdobia. V druhej časti použijeme rovnaký príklad, ale s LED žiarovkami.

Klasická žiarovka:

- **náklady na prevádzku:**

$$\text{spotreba: } A = 40 \text{ W} \cdot 8760 \text{ h} \cdot 10 \text{ ks} = \underline{3504 \text{ kWh}}$$

Západoslovenská energetika uvádza sadzbu DD₂-D₂ vo výške približne 0,14 € / kWh. Čiže náklady na prevádzku osvetlenia vychádzajú za 8 rokov na 490,56 €.

- **náklady spojené s nákupom:**

Pri cene 0,35 € za 1 ks žiarovky a životnosti 1000 hodín nám pre našu dobu svietenia (8 rokov, resp. 8760 h) vychádza použitie 90 ks žiaroviek, cenovo 31,5 €.

Celkové náklady pri osvetlení klasickými žiarovkami:

$$N = 490,56 \text{ €} + 31,50 \text{ €} = \underline{522,06 \text{ €}}$$

LED žiarovka:

- **náklady na prevádzku:**

spotreba: $A = 8 \text{ W} \cdot 8760 \text{ h} \cdot 10 \text{ ks} = \underline{700,8 \text{ kWh}}$

Pri už uvedenej sadzbe elektrickej energie dostávame náklady na prevádzku v hodnote 98,112 €.

- **náklady spojené s nákupom:**

Cena LED žiarovky je 35,40 € s DPH a pri danej dobe svietenia a životnosti ich spotrebujeme 10 kusov, čo predstavuje 354 €.

Celkové náklady pri osvetlení LED žiarovkami:

$$N = 98,112 \text{ €} + 354 \text{ €} = \underline{452,112 \text{ €}}$$

Ak to zhrnieme, vychádza nám, že výmenou starých žiaroviek v danom objekte za LED žiarovky ušetríme za 8 rokov prevádzky 69,95 €.

4.2 Kompaktná žiarivka

Na trhu sa udržujú ešte stále kompaktné žiarivky (príklad vyhotovenia na obr. 10) a to vďaka svojej vysokej energetickej účinnosti a životnosti. Hoci majú aj svoje slabé stránky (nutnosť použitia ortuti, náchylnosť na počet zopnutí, a pod.), často dostávajú prednosť pred LED žiarovkami. V tab. 3 sa nachádzajú vybrané kompaktné žiarivky od výrobcu Philips.

Tab. 3: Cenník vybraných kompaktných žiaroviek značky Philips

Typ	Farba svetla	Pätica	Príkon (W)	Životnosť (hod)	Svetelný tok (lm)	Cena bez DPH
Longlife Esaver 8W WW E27	teplá biela	E27	8	12000	420	6,10 €
Longlife Esaver 8W CDL E27	studená biela denná	E27	8	12000	420	6,10 €
Longlife Esaver 12W WW E27	teplá biela	E27	12	12000	670	6,10 €
Longlife Esaver 12W CDL E27	studená biela denná	E27	12	12000	600	6,10 €

Obr. 10: Kompaktná žiarivka Philips Longlife Esaver 8W



Merný výkon kompaktnej žiarivky Longlife Esaver 8W:

$$P_m = \frac{F}{P} = \frac{420lm}{8W} = 52,5lm.W^{-1}$$

Kompaktnú žiarivku si opäť aplikujeme do predošlého príkladu. Teda svietenie 8 rokov, 3 hodiny denne, 10 kusov.

Náklady na prevádzku:

spotreba: $A = 8 W \cdot 8760 h \cdot 10 ks = \underline{700,8 kWh}$

Sadzba za el. energiu je 0,14 € / kWh. $\rightarrow 700,8 kWh \cdot 0,14 = \underline{98,112 €}$

Náklady spojené s nákupom:

Cena zvolenej kompaktnej žiarivky je asi 7,32 €. Pri dobe svietenia 8760 h a životnosti 12 000 h potrebujeme do všetkých 10 svietidiel počas 8 rokov kúpiť 10 kusov týchto kompaktných žiariviek, čo predstavuje 73,20 €.

Celkové náklady pri osvetlení kompaktnými žiarivkami:

$98,112 € + 73,20 € = \underline{171,312 €}$ - oproti bežným žiarovkám to predstavuje úsporu **380,748 €**

4.3 Halogénová žiarovka

Vo všeobecnosti usporia halogénové žiarovky oproti štandardným približne 30 % elektrickej energie. Vyrábajú sa v prevedeniach s rôznymi päťicami, najčastejšie G9, E14, ale aj E27, prípadne v tvare trubice. Vyhotovenie pre závit E27 môžeme vidieť na obr. 11.

Obr. 11: Halogénová žiarovka EcoClassic30 28W E27 230V A55



Pre všeobecné zapojenie do elektrickej sústavy a priame nahradenie klasických žiaroviek budeme uvažovať halogénovú žiarovku s päťicou E27 a to konkrétne žiarovku EcoClassic30 28W E27 230V A55, ktorej svetelný tok je asi 370 lm. Merný výkon tejto žiarovky je potom:

$$P_m = \frac{370}{28} = 13,21 \text{ lm.W}^{-1} ,$$

pričom z predchádzajúcich výpočtov sme určili veľkosť merného výkonu obyčajnej žiarovky na 11,25 lm/W. Ak porovnáme aj životnosť jednotlivých zdrojov, zistíme že halogénová žiarovka vydrží dvakrát viac ako obyčajná, a to konkrétne 2000 hodín.

To znamená, že za čas spotreby jednej halogénovej žiarovky spotrebujeme dve štandardné. Zhrnutie parametrov a ceny je v tabuľke 4.

Tab. 4: Porovnanie parametrov vybranej LED žiarovky a obyčajnej žiarovky

Typ žiarovky \ Parametre	Príkonný výkon (W)	Životnosť (hod)	Svetelný tok (lm)	Merný výkon (lm/W)	Cena
Obyčajná žiarovka E27 40W 230V	40	1000	450	11,25	0,35 €
Halogénová žiarovka EcoClassic30 28W E27 230V A55	28	2000	370	13,21	2,50 €

Za 2000 hodín používania teda spotrebujeme len jednu halogénovú žiarovku. Pri cene 0,14 €/kWh za elektrickú energiu v tarife DD₂- D₂ a príkone 28 W, spotrebujeme 56 kWh energie, resp. zaplatíme 7,84 €. Ak prirátame náklady na samotnú žiarovku (2,50 €), tak dostávame celkové náklady 10,34 €.

Za rovnakú dobu svietenia obyčajnou žiarovkou ich miníme 2 kusy, čiže náklady na kúpu tvoria 0,7 €, spotrebujeme 80 kWh elektrickej energie, teda 11,20 €, spolu s kúpou 11,90 €. Možno teda povedať, že na jednej halogénovej žiarovke ušetríme voči klasickým žiarovkám **1,56 €**.

4.4 Lineárna žiarivka

Lineárne žiarivky patria medzi najpoužívanejšie svetelné zdroje. Pre potreby výpočtov sme zvolili lineárnu žiarivku Osram T8 L36W/640-1 – LUMILUX Basic, ktorej základné technické parametre sú uvedené v tab. 5.

Tab. 5: Technické parametre lineárnej žiarivky Osram T8 L36W/640-1

Príkonný výkon (W)	36
Svetelný tok (lm)	2750
Teplota chromatickosti (K)	4000 - studená biela
Životnosť (hod)	13000
Dĺžka (mm)	970
Cena s DPH	5,02 €

Merný výkon lineárnej žiarivky:

$$P_m = \frac{F}{P} = \frac{2750}{36} = 76,39 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$$

Výpočet nákladov na prevádzku jednej lineárnej žiarivky po dobu polovice svojej predpísanej životnosti:

Náklady na prevádzku:

spotreba: $A = 36 \text{ W} \cdot 6500 \text{ h} = \underline{234 \text{ kWh}}$

Pri tarife DD₂- D₂ nám vychádza suma 32,76 €

Náklady spojené s nákupom:

Cena zvolenej lineárnej žiarivky je 5,02 €. K tejto cene však treba ešte prirátat cenu tlmivky (6,05 €) a štartéra (0,35 €). Výsledná cena nákupu potom činí 11,42 €.

Celkové náklady pri osvetlení lineárnymi žiarivkami:

$32,76 \text{ €} + 11,42 \text{ €} = \underline{44,18 \text{ €}}$ - pre prevádzku o dobe 6500 hodín.

Čo sa týka svetelného toku, táto lineárna žiarivka dokáže nahradiť 6 kusov žiaroviek (40W, 450 lm, 1000 hod), čo znamená, že počas uvedených 6500 hodín spotrebujeme pri ideálnych podmienkach 42 žiaroviek.

Takýto počet žiaroviek nám spraví výsledné náklady o hodnote 233,10 €. Použitím lineárnej žiarivky teda ušetríme **188,92 €**, pričom čas používania žiarivky je ešte len v polovici predpísanej životnosti.

4.5 Porovnanie vybraných zdrojov

Výmenou starých zdrojov svetla za novšie nešetríme len svoje peniaze, ale aj životné prostredie. Na výrobu elektrickej energie sa totiž ešte stále vo veľkej miere používajú tepelné elektrárne, ktoré pracujú na princípe spaľovania fosílnych palív. Takisto pri výrobe a likvidácii vzniká chemický, či elektrotechnický odpad, ktorý môže byť

nebezpečný, alebo kladie zvýšené finančné nároky na recykláciu. V tabuľke 6 je prehľadné porovnanie produktov použitých pri výpočtoch.

a.) Ekonomicko-technické porovnanie:

- halogénová žiarovka ako náhrada za klasickú žiarovku nie je veľmi perspektívnym riešením, pretože kvôli jej vyššej obstarávacej cene ušetríme len asi 1,5 € na jednu predpísanú životnosť halogénovej žiarovky (viď. 4.3). Pri výpočtoch bola navyše použitá halogénová žiarovka s menším svetelným tokom, čiže pri adekvátnej náhrade by bola úspora ešte menšia, priam zanedbateľná.
- oveľa väčšie úspory dosiahneme výmenou klasickej žiarovky za kompaktnú žiarivku, v našom príklade (viď 4.2) konkrétne 380 €. Nevýhodou kompaktných žiaroviek je hlavne čas potrebný na plné rozsvietenie (rádovo pár minút), náchylnosť na časté zapínanie a úbytok svetelného toku počas doby svietenia.
- pri LED žiarovkách platí v podstate to isté, čo pri halogénových, a síce, že nadobúdacia cena je v súčasnosti príliš vysoká. Aj preto z tohto porovnania vychádza lepšie kompaktná žiarivka, ktorá na rovnakom príklade dokázala ušetriť podstatne vyššiu sumu ako LED. Prejavilo sa to hlavne tým, že LED žiarovka ešte nemala naplno využitú svoju životnosť a jej cena je značne vyššia i keď spotreba je pomerne rovnaká. LED žiarovka navyše potrebuje prípadnú zmenu konštrukciu svietidla, keďže potrebuje dostatok priestoru na chladenie.
- zvolená lineárna žiarivka dokáže počas svojej životnosti nahradiť 6 obyčajných žiaroviek, čo predstavuje v konečnej sume asi 190 €. Lineárne žiarivky sú ešte stále často využívané pre svoj veľký merný výkon, svetelný tok a vhodnú trubicovú konštrukciu, ktorá zabezpečuje veľký rovnomerný rozptyl svetla do okolia.

b.) Ekologické porovnanie

Jedným z dôvodov, prečo sa ešte stále vo veľkom používajú obyčajné aj halogénové žiarovky, je ich relatívne ekologická výroba, prevádzka, aj likvidácia. Naopak žiarivky, lineárne aj kompaktné, potrebujú pre svoju funkciu ortuť, čo je nebezpečný ťažký kov,

ktorý môže pri rozbití trubice spôsobiť problémy. LED žiarovky sú na tom z hľadiska prevádzky podobne ako žiarovky, no sú zdrojom nežiaduceho polovodičového odpadu.

Tab. 6: Porovnanie vybraných typov svetelných zdrojov

Typ svetelného zdroja	Príkon (W)	Svetelný tok (lm)	Merný výkon (lm/W)	Životnosť (hod)	Cena
Obyčajná žiarovka E27 40W 230V	40	450	11,25	1000	0,35 €
Halogénová žiarovka EcoClassic30 28W E27 230V A55	28	370	13,21	2000	2,50 €
Kompaktná žiarivka Longlife Esaver 8W WW E27	8	420	52,5	12000	6,10 €
LED žiarovka MASTER LEDbulb 8W E27 2700K 230V A60	8	470	58,75	25000	29,50 €
Lineárna žiarivka T8 L36W/640-1 – LUMILUX Basic	36	2750	76,39	13000	5,02 €

5. Záver

Žiarovky sa pre svoju nízku účinnosť premeny elektrickej energie na svetlo začínajú vyradovať z trhu. Rovnako aj halogénové žiarovky, hoci ušetria približne tretinu energie v porovnaní s obyčajnou žiarovkou, pre svoju vyššiu nadobúdaciu cenu a nie príliš dlhú životnosť nevyhovujú súčasným nárokom. Oba druhy žiaroviek však majú jednu výhodu, a to vynikajúce podanie farieb, keďže na produkciu svetla využívajú horenie vlákna. Z výpočtov a porovnaní najlepšie vyšla kompaktná a lineárna žiarivka, vďaka ktorým sa dá ušetriť najväčšie množstvo elektrickej energie a ani ich cena nie je odrazujúca. Na výrobu žiarivky je však potrebná ortuť, ktorá môže spôsobovať problémy aj pri rozbití, či samotnej likvidácii, keďže je to ťažký kov. Pri žiarovkách LED ušetríme približne toľko energie, ako aj pri kompaktných žiarivkách, no nadobúdacía cena je mnohonásobne vyššia. Výhodou je jej vysoká ekologickosť pri prevádzke a dlhá životnosť. Možno teda povedať, že žiarivky sa udržia ešte dlho, minimálne pokým cena LED žiaroviek neklesne.

Čo sa týka hlavných inovačných trendov, vývoj osvetľovacej techniky bude klásť stále väčší dôraz na účinnosť, životnosť a ekologickosť všetkých druhov svetelných zdrojov. Neustálou snahou je aj čoraz dokonalejšie podanie svetla. Po vyradení žiaroviek z trhu zrejme príde k ich nahradeniu halogénovými žiarovkami, ale ani to určite nie je konečné riešenie.

6. Použitá literatúra:

BRÁZ, Peter 2009. *Regulácia osvetlenia a úspory elektrickej energie*. [online], aktualizované 2009. [cit. 2011-04-25]. Dostupné na: <http://www.schrack.sk/fileadmin/f/sk/INFODNI/Regulacia_osvetlenia.pdf>.

DVOŘÁČEK, Vladimír 2000. *Nejnovější trendy v oblasti světelných zdrojů*. In *Světlo* [online], 2000, č. 2, [cit. 2010-12-13]. Dostupné na: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=22842>.

Elektrické svetelné zdroje – žiarovka. [online] Levice: SPŠ v Leviciach, [cit. 2011-01-15]. Dostupné na: <<http://www.spslevice.sk/soc-uceb-siz2007/Elektronicka%20ucebnica%20SIZ/AD%20Uvodna%20stranka/index.htm>>.

HABEL, Jiří a i. 1995. *Světelná technika a osvětlování*. Praha: FCC Public, 1995. ISBN 80-8069-041-3.

HORŇÁK, Pavol – **TREMBACĚ**, Vladimír Viktorovič – **AJZENBERG**, Julián Borisovič. 1983. *Svietidlá a svetelné zdroje*. Bratislava: ALFA, 1983. MDT 621.3.032.3

HOŘÍNEK, Dušan. 2008. *Nové trendy osvetlenia v kanceláriách, školách a v ostatných interiéroch*. In *Světlo* [online], č. 5, [cit. 2010-12-8]. Dostupné na: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=37988>.

Index farbeného podania Ra. [online], aktualizované 2010. [cit. 2011-04-15]. Dostupné na: <<http://www.uspornaziarovka.sk/pages/Index-farebn%C3%A9ho-podania-Ra-%28CRI%29%3F.html>>.

MALINA, Václav. 2003. *Poznáváme elektroniku I*. České Budějovice: Kopp, 2003. ISBN 80-7232-039-4.

MÁCHA, Marek. 2010. *Svetlá pre vnútorné osvetlenie na báze LED*. In *Svetlo* [online], č. 2, [cit. 2011-04-15]. Dostupné na: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=41220>.

MIKEŠ, Jan – **EFMERTO**VÁ, Marcela. 2005. *Cesta žiarovky histórií, Strípky svetla zapomenutého prvenství*. In *Svetlo* [online], č. 4, [cit. 2010-12-8]. Dostupné na: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=34969>.

MINÁRIK, Ján. 2002. *Elektrické stroje a zariadenia*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 2002. ISBN 80-8069-041-3.

Product catalog. 2011 [online]. Philips, aktualizované 2011. Dostupné na: <<http://www.ecat.lighting.philips.com/l/aa/>>.

SMOLA, Alfonz – **TABIŠOVÁ**, Sandra. 2005. *Nové svetelné zdroje na báze LED vo verejnom osvetlení*. In *AT&P Journal* [online], č. 3, s. 82, [cit. 2010-04-09]. Dostupné na: <http://www.seak.sk/images/LED_smola.pdf>.

Svetlo a osvetlenie. 2005 [online] Košice: ÚFV v Košiciach, aktualizované 2005. [cit. 2011-01-15]. Dostupné na: <<http://physedu.science.upjs.sk/degro/svelto/svetlo.htm>>.

Trubicové zářivky 26 mm. 2007 [online] Osram, aktualizované 2007. Dostupné na: <http://www.osram-shop.cz/download/112-kap_04.page18.pdf>.

Zbohom žiarovka – vitaj alternatíva. 2009 [online]. aktualizované 2009. [cit. 2011-04-08]. Dostupné na: <<http://www.svetlo.sk/clanok.php?id=188&back=1>>.

Žiarovka, halogén, či LED. 2011. [online] ZSE, a.s., [cit. 2010-12-20]. Dostupné na: <<http://www.setri.sk/ziarovky-ziarivky-halogen-led-porovnanie-spotreby.html>>.