

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

Účinnost přeměny elektrické energie na světlo
u současných světelných zdrojů

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MICHAL KRBAL

BRNO 2010

Projekt navazuje na již dříve vypracované téma a měl by rozšířit jeho informace zejména v oblasti dnes nově používaných světelných zdrojů jako jsou LED, indukční zdroje, nové výbojové zdroje, kompaktní zářivky apod. Zaměření je zejména do oblasti účinnosti přeměny elektrické energie na světlo. Student by měl zhodnotit celý transformační řetěz a provést přehlednou komparaci u jednotlivých představitelů moderních zdrojů. Součástí tedy bude i praktické měření.

- Rozdělení světelných zdrojů z hlediska principů přeměny
- Současné světelné zdroje a jejich parametry uváděné výrobcem
- Metodika měření účinnosti přeměny
- Výběr vzorků a návrh měřicího pracoviště
- Proměření a vyhodnocení provozní účinnosti u vybraných vzorků zdrojů

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Michal Krbal
Bytem: SNP 1353 Rychnov nad Kněžnou
Narozen/a (datum a místo): 27.07.1985, Opočno
(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií,
se sídlem Údolní 244/53, 602 00 Brno,
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

.....
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
 - diplomová práce
 - bakalářská práce
 - jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Účinnost přeměny elektrické energie na světlo u
současných světelných zdrojů

Vedoucí/ školitel VŠKP: doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

Ústav: Ústav elektroenergetiky

Datum obhajoby VŠKP: 10.06.2010

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v*:

- tištěné formě – počet exemplářů ...2.....
- elektronické formě – počet exemplářů ...1.....

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

* hodící se zaškrtněte

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ihned po uzavření této smlouvy
 - 1 rok po uzavření této smlouvy
 - 3 roky po uzavření této smlouvy
 - 5 let po uzavření této smlouvy
 - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

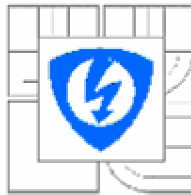
Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

.....
Nabyvatel

.....
Autor



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektroenergetika

Student: Bc. Michal Krbal

ID: 78631

Ročník: 2

Akademický rok: 2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

**Účinnost přeměny elektrické energie na světlo
u současných světelných zdrojů**

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Projekt navazuje na již dříve vypracované téma a měl by rozšířit jeho informace zejména v oblasti dnes nově používaných světelných zdrojů jako jsou LED, indukční zdroje, nové výbojové zdroje, kompaktní zářivky apod. Zaměření je zejména do oblasti účinnosti přeměny elektrické energie na světlo. Student by měl zhodnotit celý transformační řetěz a provést přehlednou komparaci u jednotlivých představitelů moderních zdrojů. Součástí tedy bude i praktické měření.

- Rozdělení světelných zdrojů z hlediska principů přeměny
- Současné světelné zdroje a jejich parametry uváděné výrobcí
- Metodika měření účinnosti přeměny
- Výběr vzorků a návrh měřicího pracoviště
- Proměření a vyhodnocení provozní účinnosti u vybraných vzorků zdrojů

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 8.2.2010

Termín odevzdání: 24.5.2010

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Bibliografická citace práce:

KRBAL, M. *Účinnost přeměny elektrické energie na světlo u současných světelných zdrojů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 99 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem svou **diplomovou práci** vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

Zároveň bych na tomto místě chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce **doc. Ing. Petru Baxantovi, Ph.D.** za cenné rady a připomínky k mé práci, poskytnutou literaturu a svým rodičům za podporu během celé doby mého studia.

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

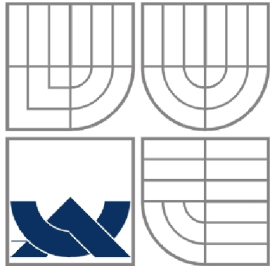
Účinnost přeměny elektrické energie na světlo u současných světelných zdrojů

Michal Krbal

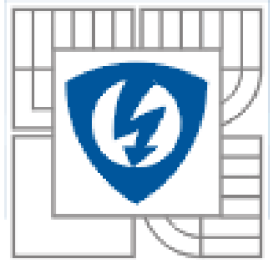
vedoucí: doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2010

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Faculty of Electrical Engineering and Communication

Department of Electrical Power Engineering

Master's Thesis

Efficiency of Converting Electric Energy to Light in Current Light Sources

by

Michal Krbal

Supervisor: doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

Brno University of Technology, 2010

Brno

ABSTRAKT

Cílem této práce je informovat čtenáře o současném stavu vývoje světelných zdrojů, nových technologiích a o dosažených parametrech s těmito zdroji. Text práce je převážně zaměřen do popisu účinnosti přeměny elektrické energie na světlo u jednotlivých typů světelných zdrojů. Jsou zde popsány konkrétní technické parametry zdrojů udávané výrobcí včetně jejich konstrukčního řešení. Pro přehlednost je provedena přehledná grafická komparace nejdůležitějších světelně elektrických parametrů u jednotlivých zdrojů.

KLÍČOVÁ SLOVA: světelný zdroj; provozní účinnost; fotometrická účinnost; měrný výkon; luminofor; předřadník; obloukové světlo; žárovka; halogenová žárovka; lineární zářivka; kompaktní zářivka; indukční zářivka; indukční výbojka; sirtá výbojka; LED; sodíková nízkotlaká výbojka; sodíková vysokotlaká výbojka; rtuťová vysokotlaká výbojka; směšová výbojka; halogenidová výbojka

ABSTRACT

The goal of this diploma's thesis is to inform about present development of light sources, new technologies and about achieved parameters of these light sources. The thesis is mainly directed to describe efficiency of transformation electric energy to light at single types of light sources. There are described the concrete technical parameters of sources quoted by manufacturers and the constructional solution of single types of light sources. There is created a graphic comparison of electrotechnical and light parameters of the light sources.

KEY WORDS:

light source; operating efficiency; photometric efficiency; specific power; luminophore; lighting ballast; arclight; bulb, lightbulb; halogen bulb; fluorescent tube; compact fluorescent; inductive fluorescent; sulphur lamp; LED; sodium-vapour low-pressure lamp; sodium-vapour high-pressure lamp; mercury-vapour lamp; mercury-tungsten lamp; metal halide lamp;

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	13
SEZNAM GRAFŮ.....	14
SEZNAM TABULEK	15
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	16
1 ÚVOD.....	17
2 MINULOST, SOUČASNOST A BUDOUCNOST	18
2.1 VÝVOJ V OBLASTI POUŽITÝCH SVĚTELNÝCH ZDROJŮ	18
2.2 SOUČASNÝ STAV A LEGISLATIVA EU	18
2.3 NOVÉ TRENDY	20
2.4 VÝHLED DO BUDOUCNOSTI.....	20
3 ROZDĚLENÍ SVĚTELNÝCH ZDROJŮ	21
3.1 OBLOUKOVÉ SVĚTLO	24
3.1.1 HISTORICKÝ VÝVOJ	24
3.2 ŽÁROVKA.....	24
3.2.1 HISTORICKÝ VÝVOJ	25
3.2.2 PŘÍKLADY SOUČASNĚ PRODÁVANÝCH SVĚTELNÝCH ZDROJŮ	25
3.2.3 PARAMETRY A JEJICH ROZSAH.....	26
3.3 HALOGENOVÁ ŽÁROVKA	27
3.3.1 HISTORICKÝ VÝVOJ	27
3.3.2 PŘÍKLADY SOUČASNĚ PRODÁVANÝCH SVĚTELNÝCH ZDROJŮ	28
3.3.3 PARAMETRY A JEJICH ROZSAH.....	28
3.4 LINEÁRNÍ ZÁŘIVKA	29
3.4.1 HISTORICKÝ VÝVOJ	30
3.4.2 PŘÍKLADY SOUČASNĚ PRODÁVANÝCH SVĚTELNÝCH ZDROJŮ	31
3.4.3 PARAMETRY A JEJICH ROZSAH.....	32
3.5 KOMPAKTNÍ ZÁŘIVKA	32
3.5.1 HISTORICKÝ VÝVOJ	34
3.5.2 POPIS ČÁSTÍ SVĚTELNÉHO ZDROJE.....	34
3.5.3 PARAMETRY SVĚTELNÉHO ZDROJE.....	36
3.5.4 PŘÍKLADY SOUČASNĚ PRODÁVANÝCH SVĚTELNÝCH ZDROJŮ	38
3.5.5 PARAMETRY A JEJICH ROZSAH.....	38
3.6 INDUKČNÍ A SPECIÁLNÍ VÝBOJKY	39
3.6.1 INDUKČNÍ ZÁŘIVKY	39
3.6.2 INDUKČNÍ VÝBOJKY OSTATNÍ.....	40
3.6.3 SIRNÉ VÝBOJKY	41
3.7 LED.....	43
3.7.1 HISTORICKÝ VÝVOJ	45
3.7.2 POPIS ČÁSTÍ A PŘÍKLADY SOUČASNĚ PRODÁVANÝCH SVĚTELNÝCH ZDROJŮ	46
3.7.3 PARAMETRY SVĚTELNÉHO ZDROJE.....	48

3.7.4 PARAMETRY UDÁVANÉ VÝROBCI A JEJICH ROZSAH	50
3.8 OSTATNÍ VÝBOJOVÉ ZDROJE.....	50
3.8.1 SODÍKOVÁ VÝBOJKA NÍZKOTLAKÁ.....	50
3.8.2 SODÍKOVÁ VÝBOJKA VYSOKOTLAKÁ	52
3.8.3 RTUŤOVÁ A SMĚSOVÁ VÝBOJKA	53
3.8.4 HALOGENIDOVÁ VÝBOJKA	54
4 KOMPARACE SVĚTELNÝCH ZDROJŮ	57
4.1 KOMPARACE VŠECH SVĚTELNÝCH ZDROJŮ	57
4.2 KOMPARACE KOMPAKTNÍCH ZÁŘIVEK	63
4.3 KOMPARACE LED.....	66
4.4 KOMPARACE OSTATNÍCH SVĚTELNÝCH ZDROJŮ.....	69
5 ZÁVĚR.....	75
5.1 PŘÍNOS PRÁCE	75
POUŽITÁ LITERATURA	76
PŘÍLOHA A	78
PŘÍLOHA B.....	88

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr.3-1 rozdělení umělých světelných zdrojů</i>	21
<i>Obr.3-2 Žárovky závit E27</i>	25
<i>Obr.3-3 Žárovky závit E14</i>	26
<i>Obr.3-4 Žárovky speciální</i>	27
<i>Obr.3-5 Halogenové žárovky na síťové napětí</i>	28
<i>Obr.3-6 Halogenové žárovky na napětí 12V</i>	28
<i>Obr.3-7 Lineární zářivky</i>	32
<i>Obr.3-8 Kondenzátorový startér u kompaktní zářivky</i>	35
<i>Obr.3-9 Předřadník kompaktní zářivky bez aktivního filtru</i>	36
<i>Obr.3-10 Předřadník kompaktní zářivky s aktivním filtrem</i>	36
<i>Obr.3-11 Kompaktní zářivky s integrovaným předřadníkem závit E27</i>	38
<i>Obr.3-12 Kompaktní zářivky s integrovaným předřadníkem závit E14</i>	38
<i>Obr.3-13 Kompaktní zářivky bez integrovaného předřadníku nástrčné</i>	38
<i>Obr.3-14 Funkční schéma indukční zářivky</i>	40
<i>Obr.3-15 Bezelektrodová zářivka Osram – Endura</i>	40
<i>Obr.3-16 Bezelektrodová výbojka Luxim – LIFI</i>	41
<i>Obr.3-17 Distribuce světelného toku u sirné výbojky</i>	42
<i>Obr.3-18 Sirná výbojka Technická univerzita Eindhoven – Philips</i>	42
<i>Obr.3-19 Sirná výbojka Tesla 1000 - Plasma International</i>	43
<i>Obr.3-20 Princip funkce LED na pásovém modelu</i>	45
<i>Obr.3-21 Konstrukce nízkopříkonové LED</i>	47
<i>Obr.3-22 Konstrukce výkonných LED</i>	47
<i>Obr.3-23 Philips - SOX 135W BY22</i>	51
<i>Obr.3-24 Vysokotlaké sodíkové výbojky – standardní provedení, výrobce Philips</i>	53
<i>Obr.3-25 Vysokotlaké rtuťové výbojky – výrobce Philips</i>	54
<i>Obr.3-26 Halogenidové výbojky – výrobce Philips</i>	55

SEZNAM GRAFŮ

<i>Graf 4-1 Porovnání z hlediska dosaženého barevného podání a měrného výkonu – teorie</i>	58
<i>Graf 4-2 Porovnání z hlediska střední doby života a měrného výkonu – teorie</i>	59
<i>Graf 4-3 Porovnání z hlediska dosaženého barevného podání a m.výkonu – reálné zdroje</i>	60
<i>Graf 4-4 Porovnání z hlediska střední doby života a měrného výkonu – reálné zdroje</i>	61
<i>Graf 4-5 Porovnání světelných zdrojů z hlediska historie použití a dosaženého m. výkonu</i>	62
<i>Graf 4-6 Porovnání z hlediska měrného výkonu a instalovaného příkonu – reálné zdroje</i>	63
<i>Graf 4-7 Distribuce počtu vyráběných typů kompaktních zářivek dle měrného výkonu</i>	64
<i>Graf 4-8 Histogram počtu vyráběných typů kompaktních zářivek dle jmenovitého příkonu</i>	64
<i>Graf 4-9 Distribuce počtu vyráběných typů kompaktních zářivek dle měrného výkonu</i>	66
<i>Graf 4-10 Histogram počtu vyráběných typů LED dle jmenovitého příkonu</i>	67
<i>Graf 4-11 Distribuce počtu vyráběných typů žárovek dle měrného výkonu</i>	69
<i>Graf 4-12 Distribuce počtu vyráběných typů halogenových žárovek dle měrného výkonu</i>	69
<i>Graf 4-13 Distribuce počtu vyráběných typů lineárních zářivek dle měrného výkonu</i>	70
<i>Graf 4-14 Distribuce počtu vyráběných typů sodíkových nízkotl. výbojek dle m. výkonu</i>	70
<i>Graf 4-15 Distribuce počtu vyráběných typů sodíkových vysokotl. výbojek dle m. výkonu</i>	70
<i>Graf 4-16 Distribuce počtu vyráběných typů rtuťových vysokotl. výbojek dle m. výkonu</i>	71
<i>Graf 4-17 Distribuce počtu vyráběných typů směsových výbojek dle měrného výkonu</i>	71
<i>Graf 4-18 Distribuce počtu vyráběných typů xenonových výbojek dle měrného výkonu</i>	71
<i>Graf 4-19 Distribuce počtu vyráběných typů halogenidových výbojek dle m. výkonu</i>	72
<i>Graf 4-20 Histogram počtu vyráběných typů žárovek dle jmenovitého příkonu</i>	72
<i>Graf 4-21 Histogram počtu vyráběných typů halogenových žárovek dle jm. příkonu</i>	72
<i>Graf 4-22 Histogram počtu vyráběných typů lineárních zářivek dle jmenovitého příkonu</i>	73
<i>Graf 4-23 Histogram počtu vyráběných typů sodíkových vt. výbojek dle jm. příkonu</i>	73
<i>Graf 4-24 Histogram počtu vyráběných typů rtuťových vt. výbojek dle jm. příkonu</i>	73
<i>Graf 4-25 Histogram počtu vyráběných typů směsových výbojek dle jmenovitého příkonu</i>	74
<i>Graf 4-26 Histogram počtu vyráběných typů xenonových výbojek dle jm. příkonu</i>	74
<i>Graf 4-27 Histogram počtu vyráběných typů halogenidových výbojek dle jm. příkonu</i>	74

SEZNAM TABULEK

<i>Tab.2-1 Časový harmonogram přechodu na úsporné světelné zdroje</i>	19
<i>Tab.3-1 Tabulka udávaných parametrů světelných zdrojů</i>	22
<i>Tab.3-2 Teploty teplotních zdrojů a venkovních prostředí</i>	23
<i>Tab.3-3 Parametry žárovek OSRAM od 15 do 200 W</i>	27
<i>Tab.3-4 Charakteristické vlastnosti jednotlivých druhů zářivkových trubíc</i>	32
<i>Tab.3-5 Označení kompaktních zářivek – náhradní teplota chromatičnosti</i>	37
<i>Tab.3-6 Materiály používané na výrobu LED</i>	49
<i>Tab.4-1 Transformační řetězec jednotlivých světelných zdrojů</i>	57
<i>Tab.4-2 Výrobce kompaktních zářivek ve světě</i>	63
<i>Tab.4-3 Kontingenční tabulka základních parametrů u kompaktních zářivek</i>	65
<i>Tab.4-4 Kontingenční tabulka základních parametrů u LED – část A</i>	67
<i>Tab.4-4 Kontingenční tabulka základních parametrů u LED – část B</i>	68

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

LED	Light-emitting diode, světlo emitující dioda – svítivá dioda
IR	Infra red, infračervená oblast spektra elektromagnetického záření (tepelná)
UV	Ultra violet, ultrafialová oblast spektra elektromagnetického záření
GE	The General Electric Company
VF	Vysokofrekvenční
PWM	Pulse width modulation, pulzně šířková modulace
RGB	Red-green-blue, červená modrá zelená
VACH	Voltampérová charakteristika
GaAs	Gallium arsenide, arsenid gallia
InP	Indium phosphide, indium fosfid
GaP	Gallium phosphide, gallium fosfid
GaAsP	Gallium arsenid fosfid
$\nu(\lambda)$	Křivka spektrální citlivosti lidského oka
Ra	Index barevného podání
Φ	Světelný tok (lm)
P_n	Nominální (provozní) příkon (W)
U_n	Nominální (provozní) napětí (V)
P_m	Měrný výkon (lm/W)

1 ÚVOD

Na úvod je třeba říci, že se v současnosti nacházíme ve světě velmi rychle se rozvíjejících nových světelných zdrojů. Také je třeba říci, že tato oblast se vyvíjí velmi dynamicky se soustavným doplňováním nových, technicky dokonalejších a hospodárnějších světelných zdrojů. Na tomto rozvoji se podílí takřka všechny významné světové firmy působící ve výrobě světelných zdrojů a svítidel, ale i menší výrobci, kteří se soustřeďují na určitý, velmi úzký úsek trhu. Nicméně staré s časem osvědčené konvenční světelné zdroje, jako například žárovka, ustupují do pozadí a jsou postupně nahrazovány zdroji novými s vyšší účinnosti přeměny elektrické energie na světlo, ale zároveň s některými horšími provozními vlastnostmi. Nové světelné zdroje je třeba také hodnotit z hlediska investičních nákladů, které jsou řádově vyšší než u starých zdrojů, ale mají větší životnost a i spotřeba elektrické energie je při stejném světelném výkonu (toku) nižší. Takže jak s nižšími provozními náklady je nižší i celkový provoz sv. zdroje braný po celou dobu jeho života. Jinou otázkou je naložení s těmito zdroji po skončení jejich technického života, kde například poslední dobou značně se rozšiřující kompaktní zářivky obsahují toxické látky, kterým se musí zabránit uniknout do životního prostředí.

Tyto a jiné vlastnosti i parametry světelných zdrojů předurčují jejich rozsah použití. V dnešní době je na výběr jak velký sortiment světelných zdrojů, tak jejich výrobců a distributorů, jejichž nabídky jsou značně rozdílné. Takže cílem této práce je vytvoření přehledu, jenž alespoň částečně nastíní současný stav ve vývoji, distribuci a použití těchto zdrojů. Jejich vzájemné porovnání v dosažených parametrech i rozdílných parametrech udávaných jednotlivými výrobci. Bude tedy vytvořena rozsáhlá elektronická databáze zdrojů s dělením na jednotlivé druhy s uvedenými katalogovými hodnotami. Data z této databáze budou použita pro vytvoření textové a grafické komparace z hlediska dostupných elektro-světelných parametrů. Nicméně dle dnešních měřítek nebude v této práci provedeno porovnání z nejdůležitějších hledisek použití světelných zdrojů a to z hledisek investičních a provozních. Ale i když je tato práce zaměřena na vytvoření komparace podle principů transformace elektrické energie na světlo a na porovnání dosažených měrných výkonů a účinností, tak jsou v ní popsány i ostatní provozně-technické parametry zdrojů, které je nutné pro výběr a porovnání jednotlivých zástupců světelných zdrojů znát.

Pro ověření teoretických vlastností zdrojů používaných především k osvětlování interiérů, tedy LED a kompaktních zářivek, je součástí práce i laboratorní měření – viz. Příloha B. V měření jsou pomocí křížových charakteristik ověřeny provozní parametry těchto zdrojů. Pro snadné měření parametrů ať už již zmíněných kompaktních zářivek a LED, ale i výbojek a žárovek byly vytvořeny laboratorní přípravky, jejichž popis a možnost použití je uveden v Příloze A.

2 MINULOST, SOUČASNOST A BUDOUCNOST

Člověk již od pradávna používal světelné zdroje k uspokojení svých potřeb a ke zkvalitnění života. Nejprve se samozřejmě jednalo o světelné zdroje přírodní, od organizovaných ohnišť přes louče po tukové, petrolejové a plynové lampy. Teprve s rozvojem průmyslu a objevem velkého množství vynálezů v 19. století bylo umožněno masové použití světelných zdrojů umělých, které světlo „vyráběly“ z elektrické energie.

2.1 Vývoj v oblasti použitých světelných zdrojů

Vývojově nejstarším typem je stejnosměrný oblouk a žárovka, které se řadí do druhé poloviny 19. století. Elektrický oblouk byl kvůli svým silným tepelným účinkům a malé účinnosti používán jen ke speciálním účelům (promítání, světlomety,...), ale žárovka se po menších úpravách, jako byla náhrada vnitřního vyčerpaného vzduchu inertním plynem a přechod z uhlíkového vlákna na vlákna z wolframu a molybdenu, dočkala i dnešní doby. Jiný vývoj mají výbojové světelné zdroje. Výboje v nádobách s vyčerpaným vzduchem byly již také pozorovány v 19. století, ale teprve 20. a 30. léta 20. století umožnily vývoj luminoforu a druhá světová válka dala světu první moderní zářivkové svítidlo. Urychlený vývoj druhé světové války umožnil také zrealizovat tehdy pouze teoretickou záležitost a tou byl germániový a křemíkový polovodič. Nedlouho na to v 50. letech 20. století byla na světě první svítivá dioda, tehdy ještě s velmi nízkou účinností s použitím pouze jako panelový ukazatel. Vylepšení se v tomto období dočkala i klasická žárovka, použití halogenidů a změna konstrukce baňky umožnilo dosáhnout vyšší teploty vlákna, takže i vyšší fotometrické účinnosti a delší střední doby života zdroje. Nízkotlaké rtuťové výbojky byly za účelem osvětlení velkých pracovních hal a exteriéru (sídlíšť, ulic, silnic,...) nahrazeny vysokotlakými rtuťovými. K masovému využití se dočkaly i nízko a vysokotlaké sodíkové výbojky bez luminoforu, které dodnes tvoří díky své vysoké účinnosti dominantní světelný zdroj pouličního osvětlení. V 80. letech 20. století byl vyroben prototyp kompaktní zářivky s integrovaným předřadníkem jako náhrada obyčejné žárovky. Do rodiny vysokotlakých výbojek v roce 1967 přibyla halogenidová výbojka, která svým dobrým barevným podáním se zachováním vysoké fotometrické účinnosti předčila všechny do té doby průmyslově vyráběné výbojové zdroje. Pro účely bodového osvětlení s vysokou intenzitou světelného toku byla vyvinuta výbojka s krátkým obloukem a vývoj směřuje dále k vytvoření bezelktrodových výbojových zdrojů, kde přenos energie je zprostředkován pomocí vysokofrekvenčního pole. Svítivé diody se v 90. letech za použití nových technologií výroby a použitím nových sloučenin a v některých případech luminoforu vyšplhaly z pouhého panelového indikačního světelného zdroje na zdroj konkurující žárovkám a v budoucnu pravděpodobně i kompaktním zářivkám.

2.2 Současný stav a legislativa EU

V současné době zažíváme ohromný nárůst spektra dostupných světelných zdrojů vyráběných s různými parametry, různými výrobci, distribuovány různými distributory. Některé zástupci světelných zdrojů se staly již odzkoušenou klasikou a není, ba patrně ani nebude nutné od nich v budoucnu odstupovat. Mezi ně se řadí použití vysokotlakých sodíkových výbojek v pouličním osvětlení, kde se očekávají pouze změny v řízení jejich výkonu při náběhu a v závislosti na čase se snahou snížit náklady na osvětlení. Vysokotlaké rtuťové výbojky s luminoforem byly z pouličního osvětlení takřka vytlačeny a v průmyslových halách je nahradily výbojky halogenidové. Klasické lineární zářivky se používají převážně v úzkoprofilovém provedení společně s elektronickými předřadníky. Používaný luminofor dosáhl také určitého vylepšení, již se neskládá pouze z jednoho materiálu, ale běžně je použito 3 a více homogenně rozptýlených složek za účelem dosažení potřebné náhradní teploty chromatičnosti a uspokojivého barevného podání, které u dnešních zářivek dosahuje hodnoty $Ra > 82$, pro speciální účely se dají pořídit i s $Ra > 95$. Kompaktní zářivky dosáhly svého vylepšení především v oblasti designu, i

když s použitím elektronických předřadníků, startérů a kvalitnějších luminoforů bylo dosaženo stejně jako u lineárních zářivek lepších provozních parametrů a vyšší fotometrické účinnosti. Kompaktních zářivek se na trhu vyskytuje obrovská variantnost, v provedení si bez integrovaného předřadníku, tak s různou náhradní teplotou chromatičnosti a velkým výběrem patic apod. Spolu s vyšší fotometrickou účinností, vyšší životností, ale hlavně díky dnešní legislativě jejich podpory se pomalu stávají náhradou za dodnes běžně používané žárovky. Pro potřeby bezúdržbového provozu s dlouhou životností byly vyvinuty bezelektrodové zářivky, které i přes své prozatím vysoké investiční náklady také získávají čím dál větší oblibu. Za účelem velmi kvalitního osvětlení, s bezvadným barevným podáním a vysokou účinností se na trhu objevily sirmé bezelektrodové výbojky, kde je výboj vytvořen prostřednictvím silného mikrovlnného pole. Asi největší skok ve vývoji nastal u svítivých diod. Firma Philips se svými diody Luxeon dosahuje výkonů, jenž jsou skutečnou konkurencí jak pro žárovky, tak pro kompaktní zářivky. Prozatím masovému rozšíření brání jejich vysoký výrobní náklady a u těch „levnějších“ ne příliš vhodné barevné podání s vysokými teplotami chromatičnosti, které dělají jejich světlo „chladné“. V neposlední řadě bude třeba vyřešit jejich jasové rozložení, neboť představují velmi silný zdroj na příliš malém prostoru a v použití v běžných svítidlech by docházelo ke značnému oslňování.

Česká republika je zavázána plnit různá nařízení, jako je směrnice Evropského parlamentu a Rady 2005/32/ES. Která nás zavazuje do šesti let k přechodu na úsporné světelné zdroje. Ty současné totiž již nebudou splňovat požadavky na ekodesign, které definuje Nařízení komise ES č.244/2009 ze dne 18.března 2009. To znamená, že od září 2009 přestaly být uváděny na trh klasické matné žárovky a také žárovky čiré o příkonu 100 W. Následující vývoj této situace bude probíhat v dalších 5ti fázích a je znázorněn v *tabulce 2-1* (celkem tedy v 6ti fázích). Takže v následujících letech se to bude týkat i čirých žárovek s nižším výkonem a nakonec po roce 2016 také čirých halogenových žárovek. Matné i čiré žárovky postupně nahradí kompaktní zářivky, svítivé diody a další nízkoenergetické světelné zdroje, hlavním přínosem této legislativy mají být energetické úspory a snížení produkce emisí oxidu uhličitého. Podle Evropské komise představuje osvětlení v domácnosti až pětinu spotřeby elektrické energie. Využitím dokonalejších žárovek by se mohla celková spotřeba elektřiny v domácnosti snížit o 10 až 15 %, což samozřejmě záleží na individuálních podmínkách v domácnosti a ve způsobu použití. Nicméně v současné době se již zrušil prodej žárovek žárovky 100 W, které ze všech ostatních žárovek používaných v domácnostech mají nejvyšší fotometrickou účinnost a nejmenší projevy flickru. Nehledě na problém s rozměry světelného zdroje, kde kompaktní zářivka nikdy nemůže kvůli své vyšší konstrukční náročnosti a přítomnosti předřadníku dosáhnout na malé rozměry běžné žárovky a to vůbec už ne na žárovky miniaturní, svíčkové a podobně. Takže již brzy nastane situace, že běžně používaná svítidla, konstruovaná na rozměry běžné žárovky, nebudou provozuschopná z důvodu náhrady běžné žárovky kompaktní zářivkou. Možnou alternativou, jistým mezikrokem na přechodnou dobu bude dnes zatím ojedinělá integrace halogenové žárovky do baňky obyčejné žárovky, kde rozměry budou zachovány a tato koncepce vyhoví delší dobu legislativě EU než běžná žárovka. Úplně jinou otázkou je estetická stránka použití kompaktních zářivek a potřeby jednoduché triakové regulace jasu, na kterou jsme u běžných žárovek zvyklí a která až na výjimky nebude u kompaktních zářivek možná, či snadno a levně proveditelná. [1;2]

Fáze	I.fáze	II.fáze	III.fáze	IV.fáze	V.fáze	VI.fáze
Datum	09/2009	09/2010	09/2011	09/2012	09/2013	09/2016
čiré žárovky	do 75W	do 60W	do 40W	Nemohou být uvedeny na trh		
matné žárovky	nemohou být uvedeny na trh					
žárovky s reflektorem	žádná omezení		aktualizace v 2010			
Halogenové žárovky	žádná omezení					zákaz

Tab. 2-1 Časový harmonogram přechodu na úsporné světelné zdroje [1;2]

2.3 Nové trendy

Zvyšování účinnosti a spolehlivosti - Trend spočívá v trvalém zvyšování provozní spolehlivosti, ekologičnosti a účinnosti přeměny elektrické energie na světelnou.

Zmenšování - Dalším trendem je zmenšování rozměrů světelných zdrojů s cílem vytvořit optimální podmínky pro výrobce svítidel hlavně z hlediska zlepšení optických vlastností svítidel, tak i z hlediska materiálových a následně přepravních nákladů.

Ekologičnost - Novým pohledem na světelné zdroje se stává jejich ekologičnost. Soustavný tlak se strany různých organizací, spotřebitelů, ale i výrobců požaduje plnou recyklovatelnost.

Elektronizace – Pokračující vývoj v elektronizaci téměř všech oblastí světelné techniky. Týká se to hlavně přechodu z indukčních předřadníků pro výbojové zdroje k plně elektronickým předřadným obvodům. Komplexní inteligentní řízení osvětlení v objektech s využitím počítačů v závislosti na požadovaných podmínkách začíná být takřka samozřejmostí. Toto řízení má za úkol dosáhnout požadovaného komfortu za současné úpory elektrické energie.

Tenká skla halogenových žárovek a použití xenonu – U halogenových žárovek se používá aplikace technologie tenkých vrstev pro zlepšení teplotní bilance svítivého tělesa. V zásadě se tohoto využívá v kombinaci s takzvanou nízkotlakou technologií s aplikací xenonu jako nosného plynu pro dosažení zlepšení užitečných vlastností halogenových žárovek.

Snížení průměru zářivek – Neustále se zvyšuje podíl výroby lineárních zářivek o průměru 16 mm na celkovém objemu výroby.

Zvyšování účinnosti kompaktních zářivek – Dnes se setkáváme s trvalou snahou výrobců kompaktních zářivek dosáhnout deklarované energetické výhodnosti těchto světelných zdrojů za současně rovnocenných podmínek osvětlení na pracovní ploše jakož tomu bylo při použití teplotních zdrojů.

Požítí diod LED – Pokračuje průnik vysokosvítivých LED diod z oblasti speciálních aplikací do oblasti klasického osvětlování.

Rozšíření halogenidových výbojek – Značné rozšíření sortimentu halogenidových výbojek s hořákem z korundové keramiky, za současné snížení nákladů na výrobu a technologické zpracování korundových polotovarů.

Rozšíření sortimentu bezelektrodoých světelných zdrojů a aplikace světlovodů. [3]

2.4 Výhled do budoucnosti

Lze přepokládat, že klasické konvenční žárovkové světelné zdroje budou použity pouze ve speciálních aplikacích a jejich prodej, i přes současnou velmi rozšířenou a jednoduchou výrobu, bude značně omezen. Dominantním zdrojem v domácnostech se stane kompaktní zářivka a svítivá dioda, či jiná alternativa vzniklá například jejich kombinací. Současný vývoj LED nasvědčuje značné navýšení příkonu těchto zdrojů se současným zvýšením účinnosti. Prodávat se nebudou jednotlivé výměnné diody, ale ihned celá svítidla se všemi opticky aktivními prvky, i když se to na první pohled zdá nevýhodné, tak životnost výkonných svítivých diod se pohybuje mezi 20000 až 100000 hodin, což provozní náklady a náklady na údržbu (kromě nákladů na elektrickou energii) sníží takřka na nulu. Nicméně mimo LED, u kterých se dá očekávat další zvyšování účinností, jsou ostatní dnes používané světelné zdroje na svém vrcholu, takže je možné očekávat zvýšené úsilí nalézt nové principy a technologie, které by daly světu nové a účinnější možnosti osvětlování.

3 ROZDĚLENÍ SVĚTELNÝCH ZDROJŮ

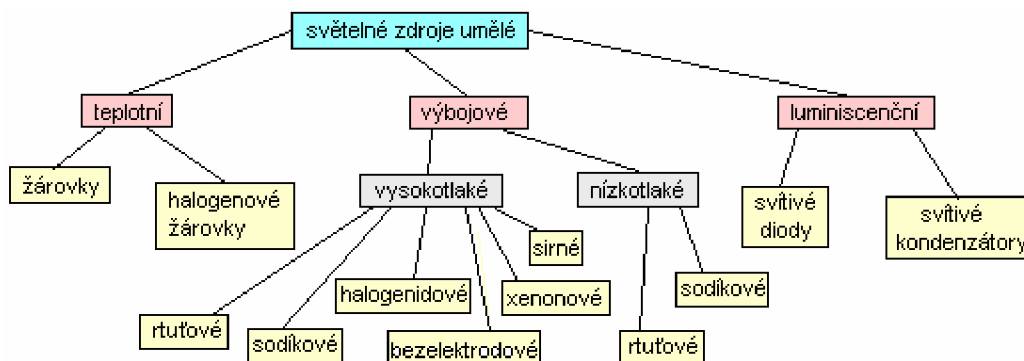
Se světelnými zdroji se setkáváme takřka na každém kroku našeho života. Kde v podstatě každý osvětlený předmět tvoří světelný zdroj. Z tohoto pohledu lze rozdělit světelné zdroje na zdroje vlastní a nevlastní. Za vlastní zdroje lze označit předměty a látky, v jejichž struktuře dochází přímo ke vzniku světla. Naopak za nevlastní zdroj se označují ty látky a předměty, které světlo nevytvářejí, ale pouze ho odrážejí nebo rozptylují. [4;10]

Vlastní světelné zdroje se dělí na umělé, které jsou pro nás klíčové, a na zdroje přírodní, jejichž hlavními představiteli jsou :

- Kosmická tělesa
- Chemické reakce
- Biologické zdroje
- Přírodní elektrické výboje
- Tektonické jevy

Naopak zdroje umělé lze dělit na tři velké podskupiny, jejichž další podrobné dělení znázorňuje *obrázek 3-1*.

- Teplotní
- Výbojové
- Luminiscenční



Obr. 3-1 rozdělení umělých světelných zdrojů

Obrázek 3-1 rozděluje světelné zdroje pouze na velké orientační skupiny a není tudíž podrobný, chybí například dělení nízkotlakých rtuťových výbojek na lineární zářivky, kompaktní a bezelektrodové, dále by mohlo následovat dělení výbojek dle předřadníku apod. Tudíž podrobnější dělení bude součástí následujícího popisu jednotlivých zástupců zdrojů.

U světelných zdrojů výrobci uvádějí jejich provozní parametry. Některý tyto parametry jsou typické jen pro úzkou skupinu zdrojů, některé pro všechny. Orientačně zda se udávají či nikoli je uvedeno v *tabulce 3-1*. Červená barva udává, že se daný parametr neuvádí nebo nemůže být uveden třeba již z fyzikálního principu zdroje, zelená barva políčka udávají, že výrobce parametr uvádí vždy. Modrá barva značí, že se parametr uveden být může, ale často se neuvádí nebo pouze výjimečně. Toto rozlišení nemusí striktně platit pro všechny vyráběné zdroje, ale pro naprostou většinu z nich. Opět je třeba upozornit, že přehled parametrů v *tabulce 3-1* není úplný, ale jsou v něm zobrazeny hlavně ty technické, společné pro všechny zdroje.

	Příkon	Příkon bez předřadníku	Napájecí (jmenovité) napětí	Jmenovitý kmitočet	Měrný výkon	Střední životnost	Možnost stmívání	Světelný tok	Vyzařovací úhel	Index barevného podání	Náhradní t. chromatičnosti	Barva světla	Index energetické účinnosti	Doba náběhu	Hmotnost	Patice	Toxicita (ANO/NE)
Obyčejná žárovka	Red	Red	Green	Green	Blue	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	N
Matná žárovka	Red	Red	Green	Green	Blue	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	N
Žárovka s reflektorem	Red	Red	Green	Green	Blue	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	N
Barevná žárovka	Red	Red	Green	Green	Blue	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	N
Halogenová žárovka	Red	Red	Green	Green	Blue	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	N
Halogenová žárovka 12V	Red	Red	Green	Green	Blue	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	N
Lineární zářivka	Green	Green	Green	Green	Blue	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	A
Kompaktní zářivka SP	Green	Green	Green	Green	Blue	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	A
Kompaktní zářivka nástrčná	Green	Green	Green	Green	Blue	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	A
Nízkotlaká sodíková výbojka	Green	Green	Green	Green	Blue	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	N
Vysokotlaká sodíková výb.	Green	Green	Green	Green	Blue	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	A
Vysokotlaká rtuťová výbojka	Green	Green	Green	Green	Blue	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	A
Halogenidová výbojka	Green	Green	Green	Green	Blue	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	A
Sírná výbojka	Green	Green	Green	Green	Blue	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	N
Výbojka s krátkým obloukem	Green	Green	Green	Green	Blue	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	A
LED	Green	Green	Green	Green	Blue	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	N

Tab. 3-1 Tabulka udávaných parametrů světelných zdrojů

Definice veličin používaných pro popis světelných zdrojů :

- Světelný tok :

Označení : Φ ; jednotka : lm (lumen)

Představuje světelnou energii vydanou za jednotku času, tedy jakýsi světelný výkon. Jedná se ale o světelnou energii, která je posuzována z hlediska citlivosti lidského oka, kde každá „jednotlivá“ vlnová délka má svůj přepočtení koeficient vyjádřený $v(\lambda)$ křivkou, podle níž se přepočítává právě tak, aby se tato citlivost zohlednila.

Nejmenší světelné zdroje, například různé signalizační kontrolky apod. dosahují světelný tok jednotek lumen, naopak nejvyšší světelný tok dosahují halogenidové výbojky a to až několika milionů lumen na jeden světelný zdroj. Vysokých hodnot dosahují také experimentální zdroje, jako jsou sírné výbojky a výbojky s krátkým obloukem.

- Náhradní teplota chromatičnosti :

Tato veličina udávaná v Kelvinech (K) udává přibližnou teplotu neteplotního zdroje, kterou by měl zdroj teplotní. Barva světla teplotního zdroje má v XY souřadnicích definovanou křivku, jejíž jednotlivé body odpovídají jednotlivým teplotám vlákna zdroje braného jako absolutně černé těleso. Barvu světla z neteplotního zdroje, v našem případě například z výbojového nebo luminiscenčního, lze také zobrazit v XY souřadnicích, ale zpravidla neleží na již zmíněné křivce teplotních zdrojů, pohybuje se kolem ní. Tudíž lze matematicko-analytickou metodou, kolmým průmětem tohoto bodu do tečny křivky teplotního zdroje vytvořit na této křivce bod, jemuž odpovídá náhradní teplota chromatičnosti neteplotního zdroje.

U reálných neteplotních zdrojů se pohybuje od zhruba 3000K po 6000K, čím vyšší je tato teplota, tím se nám světelný zdroj zdá „chladnější“, naopak čím je nižší, tak „teplejší“.

Následující *tabulka 3-2* uvádí příklady teplot různých teplotních světelných zdrojů nebo běžných venkovních prostředí.

Teplota (K)	Zdroj, prostředí
1200	Svíčka, oheň,...
2800	Běžná žárovka, slunce při východu nebo západu
3000	Halogenová žárovka
3000-5000	Zářivkové osvětlení, fotografické blesky,...
6000	Jasně polední světlo
6500	Standardizované denní světlo
7000	Lehce zatažená obloha
8000	Mlhavo, zataženo,..
10000	Silně zamračená obloha

Tab. 3-2 Teploty teplotních zdrojů a venkovních prostředí

- Index barevného podání (index podání barev) :

Označení : R_a nebo CRI (color rendering index)

Index barevného podání určuje, jak moc se budou lišit barvy při ozáření zkoumaným a referenčním zdrojem světla. Pro monochromatické zdroje, které mají pouze jednu vlnovou délku, má index barevného podání $R_a=0$, jako je například nízkotlaká sodíková výbojka, jejíž index barevného podání je hodnotě 0 velmi blízký. Pro světelné zdroje, které mají podání barev stejné jako referenční zdroj je index barevného podání $R_a=100$. Referenčním zdroje je nejčastěji světlo slunce se svým rozložením barev. Nejbliže k referenčnímu zdroji jsou zdroje teplotní, u žárovek se R_a pohybuje mezi hodnotou 95 až 100.

- Životnost, střední doba života :

Střední doba života světelných zdrojů uvádí dobu života, po které ještě minimálně 50 % světelných zdrojů bude funkčních nebo funkčních s katalogově udávanými parametry včetně tolerancí. Tato veličina je u prodávaných zdrojů jednou z nejdůležitějších, protože má přímý dopad na ekonomiku provozu světelných zdrojů.

- Měrný výkon :

Měrný výkon světelného zdroje uvádí účinnost světelného zdroje ve smyslu kolik světelného toku (lm) vyzáří na jednotku elektrického příkonu (W). Jelikož je pro výpočet použit světelný tok, je tedy brán ohled na spektrální citlivost lidského oka. Zdroj, jenž by vyzařoval všechnu svoji energii pouze na jedné vlnové délce o velikosti přibližně 555 nm, která odpovídá vrcholu $v(\lambda)$ křivky, by dosáhl měrného výkonu 683 lm/W. Takže fotometrickou účinnost daného zdroje získáme dělením jeho měrného výkonu číslem 683. Z definice také vyplývá, že může existovat žádný fyzikálně realizovatelný světelný zdroj, jenž by dosahoval větší hodnoty jak 683 lm/W. Ze všech zatím známých principů největších měrných výkonů dosahují nízkotlaké sodíkové výbojky – až 220 lm/W a v poslední době jim na paty šlapou LED, byť zatím pouze v laboratorních podmínkách.

- Vyzařovací úhel :

Je to úhel, kterým světelný zdroj září do prostoru. Určuje se jako vyzařovaný úhel světla na obě dvě strany od kolmice, kterou představuje osa zdroje v jeho řezu. Je zpravidla udáván ve stupních ($^\circ$) a udává se u těch zdrojů, u nichž je snaha dosáhnout bodového osvětlení, či osvětlení s definovaným rozsahem stínění. Týká se to zpravidla LED, či jiných zdrojů opatřených fokusačními reflektory a jinými světelně aktivními prvky, které mají za úkol

soustředit vyprodukované světlo pouze do určitého prostorového úhlu. Takovým příkladem mohou být halogenové žárovky s integrovaným reflektorem.

3.1 Obloukové světlo

Obloukové světlo z uhlíkových obloukových lamp bylo prvním využitelným umělým zdrojem světla, jaký člověk stvořil. Prvním zdrojem, jenž využívá přeměnu elektrické energie na světlo. Je zde zmíněn, protože tvoří historického předchůdce téměř všech moderních světelných zdrojů. Oblouk mezi dvěma elektrodami může hořet jak v běžné vzdušné atmosféře, tak jiných plynech, čímž byl základ myšlenky výroby výbojek. Přidáním dalších prvků do elektrod je možné upravit distribuci jednotlivých vlnových délek emitovaného světla obloukem. Procházející proud obloukem vytváří silně ionizovaný sloupec plynů (blízký k plazmatickému skupenství), který emituje světlo takřka rovnoměrně podél celého viditelného spektra. Jedinou výhodou obloukového světla, pro které se jeho použití vydrželo i doby nedávné, byl vznik světla s dobrým indexem barevného podání, vysoké intenzity soustředěné do malého prostoru. Tudíž jeho hlavním použitím byly bodové zdroje a promítačky. Jeho nevýhody jsou popsány v následujících několika bodech :

- Nízká účinnost – při použití uhlíkových elektrod dosahoval měrný výkon maximálně 4 lm/W, při použití keramiky a moderních materiálů se dá dosáhnout až 25 lm/W (jiné zdroje uvádějí s použitím nových materiálů až 40 lm/W). Ztráty na stabilizačních prvcích a značná emise záření v UV a IR oblasti spektra
- Nutná stabilizace – pracovní bod oblouku je nutné stabilizovat, u ss napájení se stabilizuje rezistorem a střídavého tlumivkou – přídatné ztráty
- Vysoká provozní teplota – teplota elektrod i samotného oblouku dosahuje velmi vysokých teplot (až 7000 °C), zvyšuje nebezpečí vzniku požáru
- Rychlý úbytek elektrod – při hoření oblouku se část materiálu z elektrod odpařuje a elektrody ubývají (hlavně anoda)
- Silná emise UV záření [5; 6]

3.1.1 Historický vývoj

- Rok 1842 – L. Foucault vyrobil první použitelnou lampu založenou na oblouku
- Rok 1878 – P.N.Jabločkov vynalezl tzv. Jabločkovovu svíčku
- Rok 1882 – F.Křížík zdokonalil regulaci oblouku
- Rok 1887 – první použití obloukových pro veřejné osvětlení
- 50. léta 20. století – použití jiných materiálů na elektrody – karbidy, keramika
- Rok 1980 – Jako materiál elektrod se začal používat chromit, docíleno 25x vyššího jasů než s uhlíkovými elektrodami [5]

3.2 Žárovka

Toto principiálně velmi jednoduché zařízení na přeměnu elektrické energie na světlo je hlavním představitelem teplotních zdrojů. Jejím vláknem o určité rezistivitě prochází elektrický proud, který v něm vyvolá joulovy ztráty, jenž se přemění na teplo. Část tohoto tepla uniká do okolí vedení a proudění, ale největší část sáláním. Energie vyzářená sáláním stoupá se čtvrtou mocninou teploty vlákna. V současnosti patří mezi nejrozšířenější zdroje světla a její masová rozšiřitelnost a oblíbenost použití je dána především:

- Univerzálnosti použití, takřka veškeré aplikace, různé provedení, různé výkony a napěťové hladiny
- Snadná a automatizovaná výroba, tudíž velmi nízká cena
- Skoro žádné nároky na instalaci a údržbu
- Vynikající podání barev (Ra blízké hodnotě 100)
- Možnost přímého napájení ze sítě bez nutnosti předřadných systémů
- Spektrum obsahuje pouze viditelné záření a IR, případné UV je pohlceno baňkou
- Skoro čistě odporový spotřebič, žádné emise harmonických proudů do sítě
- Neobsahuje toxické látky nebezpečné pro životní prostředí

Tento teplotní zdroj má své značné nevýhody, které ho s největší pravděpodobností vyloučí z našeho trhu a běžného použití v domácnostech. I když žárovky poskytují vysoké světelné pohodlí s vynikajícím podáním barev a přirozenou teplotou chromatičnosti okolo 2850 K nedokážou vyhovět již svojí fyzikální podstatou a to nízkou účinností, protože dochází ke vzniku velkých tepelných ztrát – vyzářením převážného množství energie ve formě IR záření. Takže výsledný měrný výkon se pohybuje kolem pouhých 5 až 15 lm/W. Další nepříjemnou vlastností je krátká životnost, střední doba života tohoto zdroje je v průměru 1000 h. Je to způsobeno odpařováním vlákna žárovky až do jeho přepálení, navíc odpařený materiál z vlákna je napařován na chladnější baňce, způsobující její černání a ještě více snižuje již tak nízkou účinnost. Navíc žárovka je velmi závislá na dodržení napájecích parametrů v potřebných mezích, převážně se jedná o dodržení hodnoty napájecího napětí, například jeho zvýšení o přibližně 5 % zkrátí životnost žárovky až o 50 %, i když vede ke zvýšení účinnosti. [7;8;9;14]

3.2.1 Historický vývoj

Počátky tohoto světelného zdroje se datují do počátku 19. století, kdy byly zkoumány účinky průchodu elektrického proudu skrz vodivé předměty o malé rezistivitě. Ale teprve Thomas Alva Edison dokázal v roce 1879 nápad dovést k dokonalosti, využil také svých obchodních dovedností a žárovku nabídl tehdejšímu trhu. Původní žárovky měly uhlíkové vlákno, které bylo nahrazeno wolframem, zvýšila se tím možná teplota žhavení a tím i celková účinnost zdroje. Žárovka s uhlíkovým vláknem díky své velmi nízké teplotě dosahovala i velmi nízkých účinností a měrný výkon se pohyboval maximálně do 2,5 lm/W. Původní vyčerpaný vzduch byl nahrazen směsí dusíku a argonu případně jiným inertním plynem. U žárovek se speciálním použitím za účelem zvýšení teploty vlákna je v baňce žárovky malý obsah xenonu. U běžných žárovek je náplň zvolena tak, aby za provozu byl tlak přibližně stejný jako atmosférický. [8]

3.2.2 Příklady současně prodávaných světelných zdrojů

Obrázek 3-2 až 3-4 znázorňuje jednotlivé provedení současně prodávaných žárovek rozdělených podle používaného závitu.



matná klasická

matná hrušková

Obr. 3-2 Žárovky závit E27 [11]



Obr. 3-3 Žárovky závit E14 [11]



Obr. 3-4 Žárovky speciální [11]

3.2.3 Parametry a jejich rozsah

Tabulka 3-3 obsahuje základní provozní parametry běžných žárovek výrobce OSRAM od 15 W do 200 W napájených jmenovitým napětím $U_n = 230 \text{ V}$.

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

Tab. 3-3 Parametry žárovek OSRAM od 15 do 200 W

Příkonový rozsah : 3 W až 500 W u žárovek napájených z napěťové hladiny (230 V – 280 V)

8 W až 150 W u žárovek napájených z napěťové hladiny (110 V – 150 V)

5 W až 100 W u žárovek napájených z napěťové hladiny (24 V – 60 V)

Rozsah napájecích napěťových hladin : MN 24 V, 42 V, 60 V

NN 110 V, 130 V, 150 V, 230 V, 240 V, 280 V

Náhradní teplota chromatičnosti :

- žárovky jako teplotní zdroj nemají náhradní teplotu chromatičnosti

- přímá teplota vlákna žárovky se pohybuje mezi 2800 až 3000 K, často udávaná hodnota je 2850 K

Index barevného podání :

- pokud není žárovka opatřena nátěry nebo jinak barevně ošetřena je R_a mezi 95 a 100

Měrný výkon :

<20 W 3 až 8 lm/W

20 až 40W 3,5 až 13,5 lm/W

40 až 60W 5 až 16 lm/W

60 až 100W 5,5 až 18 lm/W

>100 W 7 až 20 lm/W

Střední doba života (životnost) :	- běžně se udává hodnota 1000 hodin, ale speciální typy dosahují 2000 až 2500 hodin
Patice :	Edisonův závit : E14, E27, E40
	Ostatní : B15d, B22, BA15d, P28s, S1x,...

3.3 Halogenová žárovka

Stejně jako obyčejná žárovka, jedná se v tomto případě také o teplotní zářič. Od běžné žárovky se vzhledově značně liší, především svojí vysoce kompaktní konstrukcí, kde baňka je umístěna co nejbližší k wolframovému vláknu za účelem zvýšení její teploty. Baňka je zhotovena z masivního skla, aby odolala vysokým teplotám (až 350 °C) a vysokým provozním tlakům, které jsou větší než tlak atmosférický. Ale hlavním rozdílem mezi halogenovou a obyčejnou žárovkou je použití vnitřní plynné náplně baňky, jenž je tvořena opět dusíkem a inertním plynem, ale je zde přidáno stopové množství halogenu, většinou jódu nebo sloučeniny bromu - methylenbromidu.

V halogenové žárovce následně probíhá neřízená regenerace vlákna, tzv. halogenový cyklus, kde se při vysoké teplotě vypařující wolfram z vlákna slučuje s halogenem a při kontaktu s rozžhavenou baňkou zase rozpadá a wolfram je zpátky napařen na vlákno. Navíc díky tenzi wolframových par v blízkosti vlákna se omezuje jeho vypařování. Výsledkem je vyšší život a zvýšení světelného toku (dosahovaný měrný výkon až 30 lm/W). Teplota pro správnou činnost této žárovky musí být minimálně 250 °C. V současné době mají stále větší oblibu žárovky na nízké napětí, většinou 12 V. Jejich hlavní výhodou je masivní vlákno, které téměř nepodléhá degradaci odpařováním a posouvá jejich životnost ke 4000 hodin. Pro zvýšení měrného výkonu halogenových žárovek se používají reflexní selektivní povrchy – multivrstvy pro zpětný odraz tepelného záření na vlákno. Žárovka v tomto provedení tedy přináší mnoho výhod :

- Vysoká kompaktnost, malé rozměry, snadné umístění do malých reflektorů
- Nízké výrobní náklady, nízká cena
- Vysoká střední doba života 2000 až 4000 hodin
- Konstantní světelný tok po celou dobu života, nečernání baňky
- Různé varianty provedení i nízké napěťové hladiny 12 V
- Vysoký měrný výkon až 22 lm/W, některé zdroje uvádějí až 30 lm/W
- Index barevného podání $Ra \approx 100$, jelikož halogenové žárovky jsou opatřeny filtrem proti emisi UV záření, tak i malá část spektra ve viditelné oblasti je pohlcena a výsledkem je malé zhoršený index barevného podání oproti obyčejným žárovkám

Nicméně stejně jako obyčejná i halogenová žárovka má dle legislativních kroků opustit náš trh od roku 2016, což je opět dáno její poměrně nízkou účinností. Mezi hlavní nevýhody použití těchto žárovek patří emise UV záření, z důvodů použití křemenného skla, jenž odolává vyšším teplotám. U velmi výkonných žárovek může spektrum dosahovat až do oblasti UV-B a tento zdroj se již stává zdravím škodlivým. Tento problém se dá řešit různými skleněnými filtry a nebo použitím speciálních příměsí přímo v baňce žárovky, ale vždy za malého snížení účinnosti. Dalším úskalím tohoto zdroje je vysoká teplota baňky i celého systému svítidla, která může zapříčinit vznik požáru nebo tepelnou degradaci části svítidla. A v neposlední řadě je nutné udržovat povrch baňky čistý bez mastnot. [8;13;14]

3.3.1 Historický vývoj

Neduhy v černání baňky běžné žárovky a její nízkou životnost byla snaha odstranit již od konce druhé světové války, kdy pokusy s rozptýlených jódem nebyly příliš úspěšné, až teprve

první komerčně prodejní žárovky byly uvedeny na trh v roce 1959 americkou firmou GE s označení Quartz Iodine Lamps. Postupem času byl jód nahrazen sloučeninami bromu, které jsou stabilnější a šetrnější k životnímu prostředí. Původní koncepce s molybdenovým vláknem taky vzala za své a dnes se až na speciální případy používá čistý wolfram nebo wolfram s příměsí molybdenu do 15 % za účelem umožnění vyšších teplot a menšího odparu. Dnes konstruované halogenové žárovky dosahují teploty vlákna okolo 3000 K. [8;13]

3.3.2 Příklady současně prodáváných světelných zdrojů

Halogenové žárovky pro síťové napětí 230 V mají stejné provozní vlastnosti jako obyčejné žárovky, jediným rozdílem je vyšší účinnost a delší životnost. Na rozdíl od nich jsou nízkonapěťové halogenové žárovky konstruované většinou na napětí 12 V realizovány trochu jiným způsobem a tomu odpovídají i rozdílné provozní vlastnosti. Lze je rozdělit na žárovky s jednoduše stočeným vláknem a dvojitě stočeným vláknem. Tyto žárovky mají velmi nízkou rezistivitu a i když nesou mnohé výhody – velmi dlouhou životnost, snadnou a bezpečnou instalaci, tak je jejich výsledná účinnost snížena o ztráty na transformátoru a joulových ztrátách na přívodním vedení.

Dnešní přepestrá nabídka sortimentu halogenových žárovek umožňuje jejich všestranné použití. Vyrábí se v provedení klasické žárovky s edisonovým závitem s označení Exx, patice s násuvnými piny s označení R7x, nebo již s integrovaným reflektorem s označením GUxx. Provedení halogenových žárovek na síťová napětí je uvedeno na obrázku 3-5



Obr. 3-5 Halogenové žárovky na síťové napětí [11]

Pro nízká napětí nízké napětí je sortiment též pestrý od provedení patice s páskovými vývody s označení Gxx, přes drátové vývody s označením GYx, k provedení s integrovaným reflektorem s označením GUx. Příklady provedení halogenových žárovek na napětí 12 V jsou uvedeny na obrázku 3-6.



Obr. 3-6 Halogenové žárovky na napětí 12V [11]

3.3.3 Parametry a jejich rozsah

Příkonový rozsah : 20 W až 2000 W u žárovek napájených napěťové hladiny (230 V – 240 V)

100 W až 650 W u žárovek napájených napěťové hladiny (120 V)

5 W až 400 W u žárovek napájených napěťové hladiny (6 V – 36 V)

Rozsah napájecích napěťových hladin :

MN	6 V, 12 V, 24 V, 28 V, 36 V
NN	120 V, 230 V, 240 V

Náhradní teplota chromatičnosti :	- halogenové žárovky jako teplotní zdroj nemají náhradní teplotu chromatičnosti
	- přímá teplota vlákna halogenové žárovky se pohybuje mezi 2950 až 3050K, často udávaná hodnota je 3000 K
Index barevného podání :	- pokud není žárovka opatřena nátěry nebo jinak barevně ošetřena je Ra 95 až 100
Měrný výkon :	<25 W 5 až 17,5 lm/W
	25 až 50W 6 až 20 lm/W
	50 až 100W 10 až 23 lm/W
	100 až 500W 11 až 30 lm/W
	>500 W 15 až 25 lm/W
Střední doba života (životnost) :	- běžně dosahují 2000 až 3000 hodin, speciální typy 4000 až 5000 hodin
Patice :	Edisonův závit : E14, E27, E40
	Ostatní : Bxx, B, Fa4, Gxx, GUxx , GYxx, GXxx, GZxx, R7s/xx,...

3.4 Lineární zářivka

Lineární zářivka se zařadí do nízkotlakých rtuťových výbojových zdrojů. Její konstrukci tvoří skleněná trubice a uvnitř jí směs argonu s malým množstvím rtuti řádově v jednotkách nebo desítkách mg. Trubice je na obou koncích opatřena zátkou se žhavením. Žhavicí vlákna jsou pokryta emisivní vrstvou složenou ze směsí solí stroncia, barya a vápníku, jenž již při malých teplotách žhavení emitují oblak volných elektronů. Z vnitřní strany trubice je nanášena tenká vrstva luminoforu. Princip tvorby světla spočívá ve vybuzení atomů rtuti hořícím obloukem argonu mezi elektrodami. Následně vybuzený elektron atomu rtuti se vrátí na svoji stabilní hladinu, přičemž rozdílovou energii vyzáří ve formě záření UV-C a UV-B na vlnové délce 185 a 253,7 nm. Toto vysokoenergetické záření dopadne na vrstvu luminoforu, která je složena převážně z atomů fosforu, ale i jiných látek, u kterých dojde opět k vybuzení a při svém návratu do stabilního stavu vyzáří energii již ve viditelné oblasti. Na místě luminoforu je snaha používat co nejvíce takových látek, u kterých dochází k co největší pravděpodobnosti vyzáření svoji rozdílové energie ve viditelném spektru s co největší rozmanitostí vlnových délek, tak aby bylo spektrum zastoupeno celé a co nejvíce se blížíci $v(\lambda)$ křivce. Proto mají moderní zářivkové zdroje luminofor složen ze 3 a více složek, čímž je dán požadovaných index barevného podání, tak náhradní teplota chromatičnosti. Bohužel transformace energie přes luminofor je vždy ztrátová, protože rozdílová energie je přeměněna na teplo, které je buď vyzářeno ve formě IR záření nebo se podílí na ohřátí trubice a to dále snižuje účinnost samotného luminoforu. [14;15;16]

Hlavní výhodou zářivkového svítidla je jeho oproti žárovce vysoká fotometrické účinnost, měrný výkon se pohybuje podle druhu, výrobce a nominálního výkonu od 45 do 110 lm/W. Zde je již nutné podotknout, že u zářivkových zdrojů je měrný výkon udáván již s předřadníkem, na kterém vznikají velké ztráty. U běžné zářivky s indukčním předřadníkem se přibližně jen 20 % dodané energie přemění na světlo, dalších zhruba 25 % na IR záření a zbylých 55 % na ztráty v předřadníku a odvedené teplo z trubice. Takže výhody zářivkového zdroje lze shrnout do několika bodů :

- Vysoký měrný výkon (až 110 lm/W)
- Nízká provozní teplota, snížené nebezpečí vzniku požáru
- Vysoká střední doba života, dle typu předřadníku a doby chodu na jedno spuštění 5000 až 30000 hodin
- Nízká cena a široký sortiment výrobků s výběrem náhradní teploty chromatičnosti
- Není tolik náchylná na výkyvy napětí v síti

Zářivkové zdroje obsahují, i když z pohledu jednoho kusu, malé množství rtuti. Což má za následek značné zatížení životního prostředí jak v místě výroby, tak v místě recyklace. Prozatím nejsou v ČR vybudovány specializované provozy pro recyklaci a případný návrat rtuti do výroben. Z pohledu provozních vlastností má zářivka oproti žárovkovému zdroji značné nevýhody. Ty nejdůležitější jsou shrnuty v následujících bodech :

- Vysoká toxicita s možností úniku nebezpečných látek do životního prostředí
- Horší barevné podání oproti teplotním zdrojům R_a se pohybuje mezi 60 až 95 v závislosti na kvalitě luminoforu, běžně 80 až 82
- U některých typů vysoká náhradní teplota chromatičnosti – studené světlo s malým podílem světla o větších vlnových délkách
- Kolísání světelného toku, jak v rytmu sítě – nebezpečí vzniku stroboefektu, tak kolísání toku během startovací fáze
- Značný vliv teploty okolí na účinnost a velikost světelného toku. Při vysokých teplotách snížena účinnost luminoforu a při nízkých teplotách špatné startovací podmínky a nižší světelný tok kvůli nižší hybnosti volných nosičů v ionizovaném plynu uvnitř zářivky
- Časem dochází k odparu a odprášení vlákna i jeho emisní vrstvy, čímž dochází k černání trubice, snížení účinnosti, až následnému ukončení života zářivky
- Emise UV záření, která záleží na kvalitě luminoforu, jeho tloušťce a rovnoměrnosti nanesení a v neposlední řadě na materiálu skleněné trubice
- Snížování životnosti při častém spínání
- Velké rozměry zdroje i svítidla
- Emise vyšších harmonických proudů, které se od světelného zdroje dále šíří do sítě
- Nelineární zátěž
- Spolu s indukčním předřadníkem bez kondenzátorové kompenzace se chová jako indukční zátěž
- Spínací pochody u zářivek s indukčními předřadníky bez dokonalého odrušení způsobují VF rušení

3.4.1 Historický vývoj

Historicky lze za prvního předchůdce klasické zářivky považovat vakuovou katodovou trubici s luminoforem, kterou vynalezli Becquerel s Edisonem. Tato koncepce byla vyvinuta a komerčně úspěšná již koncem 19. století, bohužel buzení těchto zdrojů bylo prováděno vysokým napětím, což mělo za následek obrovskou emisi tehdy ještě neznámého rentgenového záření. Podobným experimentů se věnoval i Nikola Tesla, který k buzení používal vysokofrekvenční pole. V roce 1895 Daniel Moore vytvořil svítivou trubici s náplní oxidu uhličitého, postupně byly

přidávány plyny jako neon a argon, ale stále to byla pouhá uzavřená trubice bez žhavicích elektrod buzená vysokým napětím. V této době již jiný vynálezce Peter Hewitt vytvořil model nízkotlaké rtuťové výbojky, která již mohla být napájena nízkým napětím. Ale až ve 30. letech 20. století byl vynalezen a použit vhodný luminofor, jenž dokázal přeměnit část UV záření do oblasti viditelného světla. Masová výroba zářivek nastala až po druhé světové válce, kdy svět hledal nové světelné zdroje s vyšší účinností a možností osvětlovat velké prostory. První takto vyráběné zářivky měly luminofor složený převážně z fosforečnanu vápenatého s ionty manganu a antimonu, barevné podání tehdejších zářivek byl z dnešního pohledu nevyhovující R_a se pohybovalo mezi 40 a 60 a měrný výkon nepřevyšoval hodnoty 60 lm/W. Ve spektru chyběly celé části spektra, přítomný fosfor emitoval pouze modrou a žlutou barvu, zelená a červená nebyly přítomny vůbec a výsledné světlo působilo velmi chladně. Nehledě na téměř žádnou setrvačnost luminoforu, takže světelný tok naplno kolísal v rytmu dvojnásobku síťové frekvence. Postupem času byl luminofor zdokonalován, vytvořila se velká škála variací a již se zářivky začaly vyrábět s různými náhradními teplotami chromatičnosti. Až teprve v 90. letech 20. století byla použita tzv. třífosforová nebo též třípásmová směs luminoforu, kde přítomností stopového množství vzácných zemin, jako je europium a terbium bylo dosaženo zaplnění celého spektra viditelného záření. R_a u běžně používaných zářivek se pohybuje mezi 80 a 90, typická hodnota je 82. U velmi kvalitních zářivkových zdrojů se hodnota R_a pohybuje mezi 93 a 95. [15;17]

3.4.2 Příklady současně prodávaných světelných zdrojů

Tento světelný zdroj potřebuje pro svoji činnost předřadník se startérem. Dnes se nacházíme v době, kdy se původní koncepce lineární zářivky s bimetalovým startérem, indukčním předřadníkem a kondenzátorem stává minulostí a vše je nahrazeno elektronickým zapalovacím systémem – elektronickým předřadníkem, jenž má řadu výhod, mezi něž patří :

- Rychlý start, malé opotřebení žhavicích elektrod a tím delší životnost
- Zářivky jsou napájeny proudem v řádu desítek kHz, tudíž je odstraněn stroboskopický jev
- Stabilní světelný tok i při kolísavém napětí v síti
- Umožňují regulaci jasu – stmívání zářivek
- Možnost dálkového ovládání
- Menší tepelné ztráty oproti koncepci s indukčním předřadníkem, vyšší účinnost celého systému
- Menší hmotnost
- Delší životnost, nedochází k poruše „spečení“ bimetalového startéru
- „Nižší náklady na nákup“ prozatím je levnější indukční předřadník, ale již brzy díky hromadnému nasazení se výrobní náklady sníží a situace se otočí
- Úspora materiálu a přírodních zdrojů – výroba tlumivek na síťový kmitočet je co se týče materiálu velmi náročná
- Zářivkové zdroje se opět vyrábějí ve velmi pestrých variantách

Nejčastější prodejní provedení je ve variantách T4, T5 a T8 a starší T12 jak ukazuje *obrázek 3-7*. A *tabulka 3-4* popisuje charakteristické vlastnosti druhů jednotlivých trubic.



Obr. 3-7 Lineární zářivky [11]

provedení	průměr	Použití	předřadník	výkonová řada (W)
T4	12mm	miniaturní svítidla, lampičky	pouze elektronický	7,9,14,21,24...
T5	16mm	současná stropní a nástěnná sv.	pouze elektronický	14,24,38,35,42,59,80
T8	28mm	současná stropní a nástěnná sv.	elektronický i ind.	18,36,58,20,40,60,80
T12	38mm	dnes již výjimečně (80.léta)	převážně indukční	

Tab. 3-4 Charakteristické vlastnosti jednotlivých druhů zářivkových trubic

Pro globálnější pohled odkazuji na přílohu – katalog světelných zdrojů, záložka lineární zářivky, kde jsou sepsány parametry současně vyráběných zářivek Tungsram.

3.4.3 Parametry a jejich rozsah

Příkonový rozsah :	4 až 185 W na jednu trubici										
Náhradní teplota chromatičnosti :	2500 až 10000 K										
Index barevného podání :	49 až 98										
Měrný výkon :	<table> <tbody> <tr> <td><10 W</td> <td>25 až 65 lm/W</td> </tr> <tr> <td>10 až 25 W</td> <td>20 až 100 lm/W</td> </tr> <tr> <td>25 až 40 W</td> <td>21 až 105 lm/W</td> </tr> <tr> <td>40 až 80 W</td> <td>25 až 110 lm/W</td> </tr> <tr> <td>>80 W</td> <td>37 až 93 lm/W</td> </tr> </tbody> </table>	<10 W	25 až 65 lm/W	10 až 25 W	20 až 100 lm/W	25 až 40 W	21 až 105 lm/W	40 až 80 W	25 až 110 lm/W	>80 W	37 až 93 lm/W
<10 W	25 až 65 lm/W										
10 až 25 W	20 až 100 lm/W										
25 až 40 W	21 až 105 lm/W										
40 až 80 W	25 až 110 lm/W										
>80 W	37 až 93 lm/W										
Střední doba života (životnost) :	- běžně dosahují 6000 až 18000 h, při častém spínání se délka technického života zkracuje										
Patice :	G10, G13, G20, G23, R18, R17, 2Gxx,....										

3.5 Kompaktní zářivka

Tento zdroj řeší jeden z problémů lineárních zářivek – jejich velké rozměry a následné velké rozměry svítidel pro ně určených. Byl vyvinut jako náhrada běžné žárovky, takže s co největší kompatibilitou a variantností. Tyto zářivky lze rozdělit na tři velké skupiny :

- S integrovaným startérem a předřadníkem
- zpravidla vybaveny paticí s běžným edisonovým závitem
- S integrovaným startérem
- zpravidla patice se dvěma piny, nástrčná
- Samostatné, bez startéru a předřadníku
- zpravidla patice se čtyřmi piny, nástrčná

Principiálně se jedná o stejná zařízení jako lineární zářivka. To znamená, že páry rtuti jsou vlivem elektrického pole mezi elektrodami vybuzeny k emisi neviditelného UV záření. Luminofor, který je umístěn na vnitřní straně trubice, přeměňuje neviditelné UV záření na viditelné světlo. Volbou luminoforu je možné docílit různé spektra barvy tak jako u lineárních zářivek. Luminofor se až na výjimky používá velmi kvalitní a index barevného podání výjimečně klesá pod $Ra = 80$. Kompaktní zářivky se skládají z vlastní zářivkové trubice a pokud mají, tak z elektronického předřadníku umístěného v rozšířené základně. Trubice, kterých je většinou několik, mají tvar "U", případně jsou stočené do spirály. Mezi jejich hlavní výhody patří

- Kompaktní provedení s množstvím různých variací
- Vysoká střední doba života až 15000 hodin, samotné předřadníky až 50000 hodin
- Nízké investiční náklady vzhled k dlouhé době života a nízké spotřebě
- Vysoký měrný výkon dle nominálního výkonu a použitého luminoforu od 40 do 80 lm/W pokud počítáme kompaktní zářivku i s předřadníkem, pokud ale uvažujeme zářivku samotnou bez předřadníku, tak se s měrným výkonem dostáváme přes 100 lm/W, ale stále menší účinností, než u lineárních zářivek
- Ekonomičtější provoz při srovnání s teplotními zdroji světla
- Nízká provozní povrchová teplota zdroje oproti teplotním zdrojům [18]

Tyto a další vlastnosti předurčují tento zdroj jako budoucí náhradu dnes ještě běžně používaných žárovek, bohužel ale díky dnešní velké rozmanitosti nelze o všech kompaktních zářivkách říci, že splňují všechna nařízení a pravidla. Obzvláště to platí u „levných“ verzí některých „jihoasijských“ výrobců, u kterých se například o nějaké kompenzaci účinníku nebo VF filtru nedá ani mluvit, navíc jejich levná koncepce nesplňuje nároky na životnost ani kvalitu poskytovaného světla shodnou s katalogovými údaji. Dalším negativní rozdílem od běžných teplotních zdrojů, za něž má být tato zářivka náhradou, je poměrně dlouhá doba náběhu zdroje a dosažení nominálního světelného toku. Výrobce udává pouhých 40 až 80 % jmenovitého světelného toku po startu, při měření se prokázalo, že tato hodnota může ihned po startu klesnout pod 25 %. Tento jev je dán jak samotnou funkcí předřadníku, který dělá „měkčí“ start pro zvýšení životnosti zdroje, ale hlavně je to dáno složitostí systémů skleněných trubic. Po předchozím chodu zůstaly nerovnoměrně rozptýleny různé koncentrace rtuti v trubici, navíc při velkém množství záhybů a zákrutů trubice jsou místa, která se po zapnutí ohřívají různě rychle. Nominální světelný tok začne svítidlo produkovat až po stabilizaci těchto přechodových jevů. Tohoto problému se výrobci snaží tyto zdroje zbavit používáním amalgámů, namísto volné rtuti, v nichž je rtuť za studena chemicky vázána a teprve po startu a zahřátí se uvolní a plní svoji funkci. Tyto a jiné negativní vlastnosti a parametry jsou shrnuty v následující několika bodech :

- Vysoká toxicita s možností úniku nebezpečných látek do životního prostředí
- Horší barevné podání oproti žárovkovým zdrojům, běžně se Ra pohybuje mezi 80 až 90 v závislosti na kvalitě luminoforu
- U některých typů vysoká náhradní teplota chromatičnosti – studené světlo s malým podílem světla o vysokých vlnových délkách, to se týká převážně všech „levných“ výrobců, u nichž ani barevné podání neodpovídá standardům
- Kolísání světelného toku, jak v rytmu sítě – nebezpečí vzniku stroboefektu, tak kolísání toku během startovací fáze, to je způsobeno spíše výjimečně opět u „levných“ modelů, kde je v předřadném systému nedostatečně vyhlazeno napětí sítě
- Značný vliv teploty okolí na účinnost a velikost světelného toku. Při vysokých teplotách je snížena účinnost luminoforu a při nízkých teplotách špatné startovací

podmínky a nižší světelný tok kvůli nižší hybnosti volných nosičů v ionizovaném plynu uvnitř zářivky. Nicméně jsou vyráběny zářivky s označení „cold-weather ballasts“, které je možné použít do teplot až $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$

- Akustické rušení – u některých starších modelů byl slyšet vlivem nekvalitních tlumivek sířový „brum“ nebo nižší harmonické spínací frekvence, která je v řádu desítek kHz
- Časem dochází k odparu a odprášení vlákna i jeho emisní vrstvy, čímž dochází k černání trubice, snížení účinnosti, až následnému ukončení života zářivky
- Emise UV záření, která záleží na kvalitě luminoforu, jeho tloušťce a rovnoměrnosti nanesení a v neposlední řadě na tloušťce a materiálu skleněné trubice. U komplikovaných tvarů trubic není v záhybech dostatečné množství luminoforu nebo tam není žádné, tudíž z těchto míst se stávají místa s velmi silnou emisí UV záření.
- Snižování životnosti při častém zapínání
- Nižší účinnost oproti lineárním zářivkám – u lineární zářivky je celá plocha trubice s luminoforem odkryta a je již na svítidlu, kolik světelného toku účinně odrazí a nasměruje do potřebného směru. Ale u kompaktní zářivky se části trubic vzájemně překrývají a tudíž část toku je opět pohlcena trubicí, kde se přemění na tepelné ztráty, jež trubice ještě více zahřívají a tedy také luminofor ztrácí účinnost.
- Emise vyšších harmonických proudů, které se od světelného zdroje dále šíří do sítě
- Nelineární zátěž
- Dlouhá náběžná doba (v řádech desítek sekund) pro dosažení nominálního toku.
- Emise pulzního IR záření, ruší přijímače dálkových ovládaní apod. [18]

3.5.1 Historický vývoj

První moderní prototyp kompaktní zářivky navrhl v roce 1973 Edward Hamer. Masovějšímu rozšíření se dočkaly v druhé polovině 80. let 20. století, to byly ale ještě esteticky nevzhledné modely s měrným výkonem o málo vyšší než teplotní zdroje. Do podoby jaké známe dnes se postupně vypracovaly až v 90. letech. Jejich opravdu hromadné použití na počátku 21. století bylo způsobeno snížením prodejní ceny. Přispělo k tomu snížení ceny a zvýšení kvality používaných spínacích tranzistorů MOSFET a také přesunutí výroby do východní Asie. Většina renomovaných výrobců si dnes nechává vyrábět trubice pro tyto zářivky v Číně, kde mají rozvinuté závody pro zpracování rtuti a levnou pracovní sílu. Elektronické předřadníky se nejčastěji vyrábějí na Taiwanu, Filipínách nebo v Indonésii. [18]

3.5.2 Popis částí světelného zdroje

Stejně jako lineární zářivka, potřebuje i tento světelný zdroj pro svoji činnost předřadník a startér. Jak již bylo napsáno v úvodu toho světelného zdroje, lze jej rozdělit na 3 skupiny, a to s integrovaným startérem a předřadníkem, s integrovaným startérem a na samostatné trubice. Tyto zářivky jsou takřka bez výjimky používány s elektronickými předřadníky, jejich nesporné výhody jsou shrnuty v několika bodech v kapitole 3.4.2. Kompaktní zářivku lze rozdělit na 3 funkční celky :

- Startér
- Předřadník
- Zářivková trubice se žhavením

3.5.2.1 Startér

Startér u kompaktních zářivek má stejnou funkci jako u lineárních. Má za úkol připojit žhavení na obou koncích trubice zářivky. U zářivek s indukčním předřadníkem měl ještě za úkol vytvořit skokovou změnu v impedanci odběru tak, aby bylo umožněno přivedení součtu indukovaného napětí na předřadníku a síťového napětí na zářivku a její „zažehnutí“. Startér může být realizován bimetalovou doutnavkou nebo elektronicky. Bimetalové startéry jsou často poruchové, způsobují VF rušení a jejich neefektivnost spínání prodlužuje start a snižuje životnost zářivky. Elektronický startér naopak zkracuje start zářivky na minimum. U lineárních zářivek a kompaktních zářivek velkého výkonu může být realizován RC článkem se spínacím tranzistorem nebo tyristorem. U lineárních zářivek nižšího výkonu a takřka u všech kompaktních je startér nahrazen pouze vazebním kondenzátorem, jak je vidět na *obrázku 3-8*. A o samotný proces startu se stará předřadník změnou frekvence spínání. Při startu budí zářivku vysokou frekvencí okolo 100kHz, tudíž na kondenzátoru vzniká malý úbytek napětí a většina energie jde do žhavení, naopak při provozu frekvence spínání poklesne na hodnotu 25-40 kHz a obvod startéru se jakoby odpojí.



Obr. 3-8 Kondenzátorový startér u kompaktní zářivky

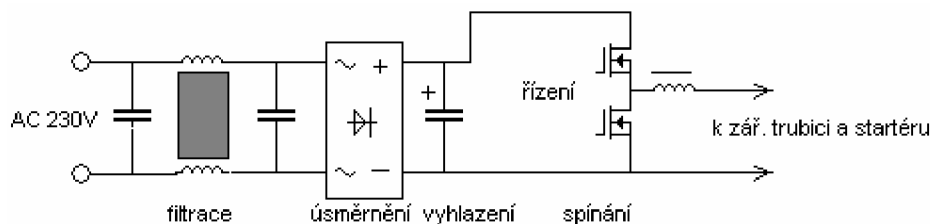
Kompaktní zářivky bez integrovaného předřadníku mají zpravidla dvou nebo čtyř pinovou patici. To je dáno tím, zda mají již integrovaný startér (kondenzátor), či nikoliv. Hodnota toho kondenzátoru závisí na výkonu a provozní frekvenci, bývá v řadu stovek pF.

3.5.2.2 Předřadník

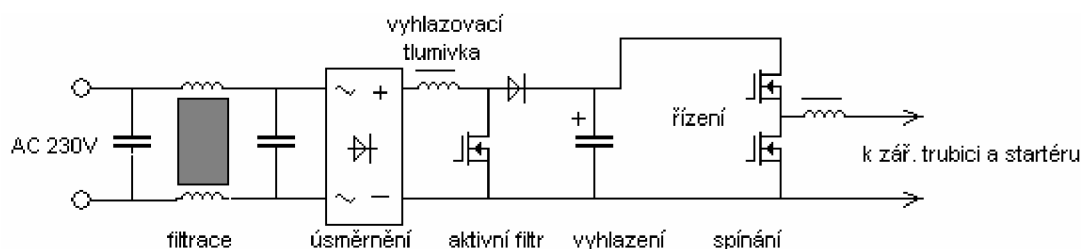
U kompaktních zářivek se indukční předřadník používá pouze výjimečně, kvůli nesporným výhodám je téměř vždy použit předřadník elektronický. Na něm závisí takřka vše. Od životnosti světelného zdroje, přes rychlost náběhu, po samotnou dosažitelnou účinnost. Na vstupu je tvořen vysokofrekvenčním filtrem, na jehož kvalitě závisí velikost vysokofrekvenčního rušení, které se dostane dále do sítě. Dále je jeho součástí usměrňovač s vyhlazovacím kondenzátorem. Usměrňovač je realizován jako dvoupulsní se čtveřicí diod v gratzově zapojení, jednotlivé diody jsou zpravidla univerzální 1000V/1A. Velikost vyhlazovacího elektrolytického kondenzátoru závisí na výkonu světelného zdroje, bývá v desítkách μF na napětí 400 V. Pak již následuje samotný spínací zdroj realizovaný řídicím obvodem generujícím pulzy o potřebné šíři a potřebné frekvenci a jedním nebo dvěma spínacími MOSFET tranzistory na výstupu. Spínací zdroj může být vybaven transformátorem pro měkčí vazbu nebo stabilizační vysokofrekvenční tlumivkou navinutou na feritovém toroidním jádře. Výstup je dále vybaven RC členy pro ochranu tranzistorů proti vysokonapěťovým zákmitům, které při spínání vznikají.

Předřadník se bez dalších podpůrných obvodů chová jako mírně kapacitní nelineární zátěž s velmi rozsáhlým spektrem rušení. Přibližné hodnoty $\cos\phi_1 = 0,9-0,95$ a $PF = 0,5-0,6$. Jak již bylo napsáno, úniku vysokofrekvenčního rušení do sítě, způsobeného jak samotným principem spínání zdroje, tak komutací diod v usměrňovači, vcelku účinně brání vysokofrekvenční filtr. Tento filtr zpravidla chybí u „levných“ výrobců kompaktních zářivek. Samotnou funkcí obvod předřadníku odebírá ze sítě pulzní proud. Do výkonu 25 W světelného zdroje je podle evropských norem tolerován, ale nad tento výkon musí být předřadník vybaven obvodem, jenž zabrání pulznímu odběru proudu ze sítě. Řeší se to vřazením malé vysokofrekvenční tlumivky mezi

usměrňovač a vyhlazovací kondenzátor, která má za úkol odebíraný proud vyhladit. Pokud i toto řešení nevyhovuje, musí být z pasivního filtru tvořeným VF tlumivkou vytvořen filtr aktivní. Principiální provedení předřadníku bez aktivního filtru je uvedeno na *obrázku 3-9* a na *obrázku 3-10* je uvedeno principiální zapojení předřadníku s aktivním filtrem.



Obr. 3-9 Předřadník kompaktní zářivky bez aktivního filtru



Obr. 3-10 Předřadník kompaktní zářivky s aktivním filtrem

Aktivním filtrem se rozumí jakoby další spínaný zdroj před samotným vyhlazením usměrněného napětí. Tento filtr monitoruje velikost usměrněného síťového napětí a odebíraný pulzní proud a podle potřeby otevírá a zavírá spínací tranzistor tak, aby odebíraný proud na vstupu byl sinusový. Jelikož tuto korekci není možné provést dokonale, má odebíraný proud obálku sinusového průběhu, ale ve skutečnosti vysokofrekvenčně kmitá a nazývá se kvazisinusový proud. U zářivkových zdrojů kvalitních výrobců lze s těmito filtry dosáhnout $\cos\phi_1 = 0,98$ a $PF = 0,95$. Nicméně tato korekce vstupní proudu má vlastní spotřebu, s kterou je třeba uvažovat do celkové spotřeby světelného zdroje. Takže zářivka má pak nižší účinnost.

3.5.2.3 Zářivková trubice a žhavení

Skleněná trubice pro kompaktní zářivky se vyrábí jako tenkostěnná buď čistě z vápenného skla, nebo s přidávkou speciálních legujících prvků a olova. Což má zabránit úniku UV záření do okolí. Luminofor se nanáší rovnoměrně v tenké vrstvě formou průplachů rozmělněného luminoforu s pojivem. Po zaschnutí a následném vypálení je neuchycený luminofor vyfoukán tlakovým vzduchem. Na žhavicí vlákna, která jsou přivařena na měděné piny prostupující skleněnou patičí se nanese emisní vrstva solí vápníku a stroncia ve formě bílé kaše. Kolem žhavicího vlákna je standardně umístěn a galvanicky s ním spojen ocelový kroužek, z něhož po startu vyráží nízkotlaký oblouk. Tím se také prodlužuje životnost žhavicích vláken a emisní vrstvy, ze které není unášen materiál obloukem. Před zatavením skleněných patič je vnitřní tlak v trubici snížen na zhruba 200 Pa a vzduchová atmosféra nahrazena argonem s malým množstvím dusíku a neonu. Do tohoto systému jsou dány 2 až 4 mg rtuti (podle velikosti a délky trubice), které se ihned z části odpaří.

3.5.3 Parametry světelného zdroje

Kompaktní zářivky mají stejné provozní parametry jako lineární zářivky. Nicméně některé z nich jsou svými rozsahy specifické pro tento světelný zdroj.

3.5.3.1 Náhradní teplota chromatičnosti

Teplota vlákna obyčejné žárovky je udávána přibližně jako 2700 až 2850 K, halogenové žárovky 3000 K. Teploty vyšší produkují světlo více bílé až modré, což je způsobeno posunem dominantní vlnových délek z oblasti IR a červené barvy více do středu viditelného spektra. Při ještě větší zvýšení teploty se dominantní vlnové délky posunou až k modré a fialové barvě, takže zdroj začíná „svítit“ modře. Kompaktní zářivky se vyrábějí na náhradní teplotou chromatičnosti od 2700 do 6500 K. Zpravidla těmto teplotám odpovídá označení kódem nebo písemné označení viz. *tabulka 3-5*. Označení v této tabulce jsou přibližná a záleží jen na výrobci jakou terminologii při označování svých zářivek použije.

N.T.Ch.	Kód	české označení	anglické označení
2500	825	teplá bílá	
2700	827	teplá bílá, interna	home light
3000	830	teplá bílá	warm white
3500	835	bílá	white
4000	840	studená bílá	cool white
6000	860	denní bílá	day light
6500	865	denní bílá	day light

Tab. 3-5 Označení kompaktních zářivek – náhradní teplota chromatičnosti

3.5.3.2 Index barevného podání

Kompaktní zářivky mají v závislosti na kvalitě luminoforu a na velikosti náhradní teploty chromatičnosti index barevného podání od 80 do 90. Zdroje s vyšší náhradní teplotou chromatičnosti mají zpravidla hodnoty nižší a naopak.

3.5.3.3 Životnost, střední doba života

U kompaktních zářivek je udávána střední doba života 5000 až 20000 hodin pro zářivkové zdroje s integrovanými předřadníky a až 50000 hodin pro samotné předřadníky, u nichž je možné měnit zářivkové trubice. Výrobce zpravidla udává tuto životnost pro minimální chod svítidla 3 hodiny do vypnutí. Někteří výrobci tuto hodnotu udávají pro dobu 12 hodin. Naopak někteří výrobci garantují počet cyklů zapnutí – vypnutí na 100000, což znamená, že zapínáním a vypínáním si kompaktní zářivka životnost nezkracuje. Ale standardně se uvádí, že jeden cyklus zapnutí-vypnutí zkracuje životnost zářivky o 1,5 až 2 hodiny.

Nová kompaktní zářivka se nachází v tzv. zahořovací fázi, kdy po dobu prvních 200 hodin svítí asi na 110 % nominálního světelného toku. Po dobu dalších asi 2000 hodin svítí na svůj nominální výkon, ale následně vlivem „vysvícení“ luminoforu a zčernáním vnitřku trubice světelný tok klesá a při dosažení střední doby života dosahuje asi 80 % nominální hodnoty. Tyto hodnoty jsou pouze informativní a u každého výrobce jsou udávány značně odlišné.

3.5.3.4 Měrný výkon s předřadníkem a bez předřadníku

Kompaktní zářivky dosahují měrného výkonu od 25 do 110 lm/W. Výrobce udává měrný výkon u zářivek s integrovaným předřadníkem je zpravidla nižší než měrný výkon udávaný u samostatných trubec bez předřadníků. Je to dáno vlastní spotřebou a účinností předřadníku. Zářivková svítidla s indukčním předřadníkem mají ztráty na předřadníku 35-40 %, kompaktní zářivky s elektronickým předřadníkem mají ztráty na předřadníku 8-20 %. Ztráty na předřadníku u předřadníků s aktivními filtry dosahuje až 30 %. Z těchto důvodů je nejvyšší dosažený měrný výkon u zářivek s integrovaným předřadníkem 70 lm/W, zatímco udávaný měrný výkon u zářivek bez předřadníku až 110 lm/W. Jedná se o marketinkový tah, jak přilákat zákazníky vysokými čísly účinnosti světelného zdroje.

3.5.3.5 Napětí na výboji vs. síťové napětí

Nízkotlaký stejně jako vysokotlaký oblouk má stabilizační vlastnosti. Tudíž si zachovává výkonově-tepelnou bilanci. Aby byl stabilní, tak ho musí udržovat buď větší počet částic s menší energií nebo menší počet částic s větší energií. Tento jev se projevuje v praxi zvýšením tekoucího proudu obloukem při snížení napětí a naopak. Z tohoto důvodu je napětí na výboji kompaktní zářivky proměnné a závislé na zatížení, provozních podmínka, fáze běhu, stavu trubic apod. Toto napětí se pohybuje mezi 80 a 160 V a je také závislé konstrukci a délce trubice. Oblouk představuje nelineární odporovou zátěž, tudíž mezi napětím a proudem je minimální posun, kdežto na předřadníku je zpravidla fázový posun značný. Ve skutečnosti je závislost procházejícího proudu na napětí na výboji velmi složitá a lze ji určit pouze měřením.

3.5.4 Příklady současně prodáváných světelných zdrojů

Kompaktní zářivky se prodávají v mnoha různých provedeních. Od zářivek s integrovaným předřadníkem s patičkou Exx, přes zářivky bez předřadníku 2 nebo 4 pinové nástrčné. Obrázek 3-11 až 3-13 ukazuje příklady kompaktních zářivek



Obr. 3-11 Kompaktní zářivky s integrovaným předřadníkem závitu E27 [11]



Obr. 3-12 Kompaktní zářivky s integrovaným předřadníkem závitu E14 [11]



Obr. 3-13 Kompaktní zářivky bez integrovaného předřadníku nástrčné [11]

3.5.5 Parametry a jejich rozsah

Provedení je buď dvoutrubicové nebo čtyř a více trubicové. Průměry skleněných trubic jsou normalizované a to na průměr 26 mm, které mají nominální výkony 18, 36 a 55 W. Nebo na

průměr 7 a 12 mm, jejichž nominální výkon se pohybuje od 7 do 120 W. Nejčastější provedení patič : G23, G24d, G24q, GX24d, GX24q

Příkonový rozsah : 11 W až 100 W u žárovek napájených napět'ové hladiny (12 – 24 VDC)

5 W až 30 W u žárovek napájených napět'ové hladiny (120 V)

3 W až 150 W u žárovek napájených napět'ové hladiny (230 – 240 V)

Rozsah napájecích napět'ových hladin :

MN	12 VDC, 24 VDC
NN	120 V, 230 V, 240 V

Náhradní teplota chromatičnosti : 2500 až 9325 K

Index barevného podání : 59 až 90

Měrný výkon :

<10 W	18 až 66 lm/W
10 až 25 W	23 až 81 lm/W
25 až 40 W	14 až 83 lm/W
40 až 60 W	54 až 87,5 lm/W
>60 W	70 až 93 lm/W

Střední doba života (životnost) : 5000 až 50000 hodin

Patice : Edisonův závit : E14, E27

Ostatní : GXxx, GRxx, 2Gxx, Gxx, Bxx,...

3.6 Indukční a speciální výbojky

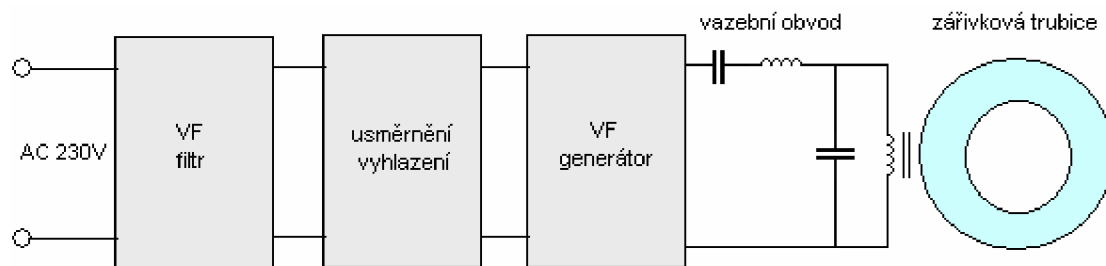
Tyto výbojky se od běžných výbojek liší konstrukčně i principiálně. Zpravidla neobsahují klasický elektrodový systém a jsou buzeny prostřednictvím polí. Jiné označení těchto výbojek je bezelektrodové výbojky. Lze je rozdělit do 3 hlavních skupin :

- Indukční zářivka – klasická trubice naplněná zředěným argonem a rtuť, k jejímu vybuzení se používá silného vysokofrekvenčního magnetické pole. Řadí se do skupiny nízkotlakých rtuťových výbojek
- Indukční výbojky ostatní – na rozdíl od indukční zářivky obsahují kromě rtuti i příměsi vzácných zemin, fosforu, halogenidů apod. A také zpravidla jejich vnitřní tlak je blízký atmosférickému, takže se řadí do skupiny vysokotlakých bezelektrodových výbojek
- Sirné výbojky – rozdíl od předchozích dvou typů je ten, že se budí silným mikrovlnným zdrojem (magnetron) a jejich plynný obsah obsahuje kromě rtuti, fosforu také atomy síry – proto sirné výbojky. Jejich vnitřní tlak je po dobu nečinnosti nízký, uvádí se asi desetiny atmosférického tlaku, ale během provozu tlak vlivem odpaření síry a ostatních sloučenin prudce vzrůstá a stejně jako indukční výbojky ostatní se řadí mezi vysokotlaké sirné výbojky.

3.6.1 Indukční zářivky

Neboli bezelektrodová zářivka vznikla sofistikovanou úpravou klasické kompaktní zářivky nepřerušným uzavřením skleněné trubice. Takže zářivka nemá klasické žhavení, tudíž nedochází k odparu vlákna a černání trubice ani k přepálení žhavicího vlákna. Energie do této uzavřené

trubice je dodávána prostřednictvím vysokofrekvenčního pole cívky buzené předřadníkem. Principiální funkční schéma znázorňuje obrázek 3-14.



Obr. 3-14 Funkční schéma indukční zářivky

Životnost je dána pouze životností elektroniky předřadníku a většina výrobců uvádí hodnotu 60000 hodin. Je vhodná do těžko dostupných míst s častým zapínáním. Frekvence VF generátoru se pohybuje od 1 do 2,65 MHz. [19]

3.6.1.1 Současné příklady světelného zdroje



Asi nejprodávanější modelem bezelektrodové zářivky je model Endura od firmy Osram. Její provedení 100 W bez předřadníku je uvedeno na obrázku 3-15. [19]

Parametry udávané výrobcem :

- pracovní frekvence : 250 kHz
- příkon : 100 W
- světelný tok : 56000 lm
- měrný výkon : 56 lm/W
- životnost : 60000 hodin, $R_a=80$, 3000 K

Obr. 3-15 Bezelektrodová zářivka Osram – Endura [19]

3.6.2 Indukční výbojky ostatní

Indukční bezelektrodové zářivky po vybuzení plasma uvnitř trubice fungují dle stejného principu jako zářivky obyčejné. To znamená, že potřebují pro svoji funkci luminofor, takže celková transformace je ztrátová. Výrobci se tento problém jali odstranit a vytvořili řadu výbojek buzených vysokofrekvenčním magnetickým polem, které pro svoji funkci nepotřebují luminofor a jejich vyzařované spektrum je alespoň z části ve viditelné oblasti. Zpravidla vyzařují i UV záření, to je buď pohlceno filtry a sklem nebo je následně zpracováno externím luminoforem. Většina takhle vzniklých světelných zdrojů je prozatím ve stádiu vývoje a zatím se nedá očekávat jejich hromadné nasazení. [20]

3.6.2.1 Historický vývoj

Již Nikola Tesla koncem 19. století demonstroval buzení zředěného plynu vysokofrekvenčním polem a vytvořením svítivého plasmatu. Vývoj dnes používaných výbojek lze shrnout do několika bodů :

- Rok 1967 – firma General Electric patentovala výrobu bezelektrokových výbojek
- Rok 1992 – firmy Matsushita a Philips vytvořily prototypy systému bezelektrokových zářivek pracujících na frekvenci 2,65 MHz
- Rok 1994 – firma General Electric vytvořila prodejně úspěšnou bezelektrokovou zářivku s označením Genura pracující na frekvenci 2,65 MHz
- Rok 1996 – firma Osram vytvořila další prodejně úspěšnou bezelektrokovou zářivku s označením Endura pracující na frekvenci 250 kHz, která v menší obměně byla nabízena firmou Sylvanit pod názvem Icetron
- Rok 2006 – firma Luxim dala do prodeje projektorové lampy s označením Lifi, jejich následné rozšíření pro osvětlení ulic, architekturních objektů,.. pracovní frekvence řádově desítky MHz
- Rok 2009 – firma Cerevision představila první plasma lampu s vysokou účinností pojmenovanou Alvara [20]

3.6.2.2 Současné příklady světelného zdroje

Tyto zdroje se používají pro speciální aplikace, jednou z nich jsou speciální promítačky s velkou svítivostí a životností. Bohužel zatím jejich vysoká cena z nich nedělá konkurenta běžných promítacích zařízení. Jako příklad může být výbojka LIFI od výrobce Luxim na obrázku 3-16.



Parametry udávané výrobcem jsou :

Příkon i s předřadníkem: 266 W

Výstupní světelný tok : 17800 lm

Index barevného podání : $R_a = 94$

Střední doba života : 10000 hodin

Náhradní teplota chromatičnosti : 5600 K

Obr. 3-16 Bezelektroková výbojka Luxim – LIFI [20]

3.6.3 Sirné výbojky

Tento světelný zdroj využívá k vytvoření zářivého plasmatu velmi silné mikrovlnné pole. Jedná se o vysoce účinný plno-spektrální bezelektrokový světelný zdroj. Technologie na jeho výrobu byla navržena již v 90. letech 20. století, ale prvního komerčního využití se dočkal až v roce 2005.

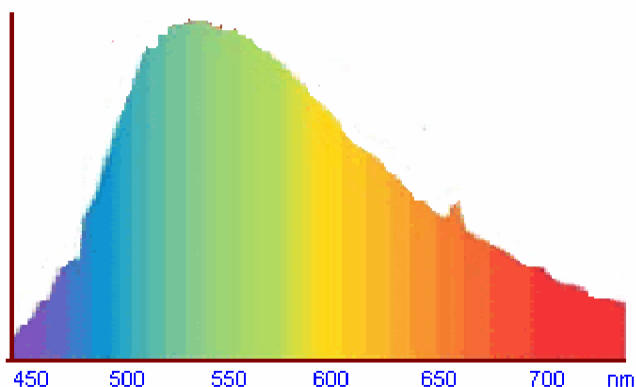
3.6.3.1 Historický vývoj

Technologie byla navržena Michaelem Uryem a Charlesem Woodem již v roce 1990. Nicméně další významnější rozvoj této technologie se konal až v roce 1994, kdy se sirná výbojka laboratorně začala používat jako plazmový zdroj silného UV záření, které dokázalo hubit organismy. Jednalo se o firmy Spectris a Baton Corporation. Pouze 2 modely se uplatnily a začaly se později vyrábět. Šlo o model Solar 1000 vyráběný od roku 1994 a Light Drive 1000 vyráběný od roku 1997. Ale produkce těchto lamp skončila v roce 1998. Když v roce 2002 získala licenci na jejich výrobu firma LG Group, začaly být jejich lampy instalovány takřka po celém světě. Navíc v roce 2001 čínská firma Ningbo začala vyrábět svoji verzi těchto lamp, jenž měla přinést konkurenční boj, který se ovšem pro vysokou cenu a pouze pro své specifické upotřebení lamp nekonal. Nakonec v roce 2006 koupila licenci na výrobu společnost LG

Electronic, která uvedla na trh komerčně úspěšný model s označením Plasma Lighting System (PLS).

3.6.3.2 Současné příklady světelného zdroje

Komerčně prodávaná sirná výbojka se skládá ze skleněné kulaté silnostěnné baňky o průměru 30 mm, která je naplněna argonem, několika mg síry a stopovým množstvím prvků vzácných zemin a fosforu. Tato baňka je vložena do silného mikrovlnného pole generovaného magnetronem o výkonu řádu jednotek kW a frekvenci 2,45 GHz. Navíc pro vytvoření homogenního zahřívání baňky a promíchávání vnitřní náplně je s ní otáčeno rychlostí přibližně 600 ot./min., z tohoto důvodu je baňka opatřena skleněnou stopkou. Silné mikrovlnné záření tepelně ionizuje vnitřní argonovou náplň za současného zvýšení tlaku na 5 atmosfér. Což ionizuje a excituje i atomy síry, které při svém návratu do stabilního stavu vyzařují asi 70 % světla ve viditelném spektru, zbytek ve formě IR a UV. Pro distribuci záření na všech vlnových délkách je obsah baňky naplněn i dalšími příměsi. Přibližnou distribuci spektra výstupního světelného toku zdroje s různými příměsi znázorňuje *obrázek 3-17*. Životnost lampy (skleněné baňky) se udává 60000 hodin, bohužel životnost magnetronu a ostatní elektroniky pouze 20000 hod. Pro odstínění mikrovlnného záření a snížení jasu je světelný tok rozváděn pomocí světlovodů. [21;22;23]



Distribuci světelného toku značně ovlivňují příměsi, čistá síra má v distribuovaném spektru vrchol na 510 nm s rovnoměrně klesající intenzitou na obě strany spektra. Například přidáním příměsi bromidu vápenatého se vytvoří další vrchol ve spektru na hodnotě 625nm, další příměsi jako jodid lithný a jodid sodný vytvoří vrcholy v oblasti okolo 550 nm.

Obr. 3-17 Distribuce světelného toku u sirné výbojky

Takto „upravené“ distribuční spektrum se již velmi blíží k požadované $v(\lambda)$ křivce. V laboratorních podmínkách tyto zdroje dosahují měrných výkonů až 170 lm/W, když se nepočítá ztráta v magnetronu a v napájecím zdroji. Výhodou těchto výbojek je přidání téměř jakéhokoli prvku či sloučeniny, čímž lze docílit potřebné spektrální distribuce světelného toku. Sirné výbojky jsou momentálně v zájmu zkoumání velkého množství firem, vědeckých pracovišť a univerzit. Následuje několik příkladů s uvedením provozních parametrů : [21;22]



Parametry udávané výrobcem :

Příkon systému : 1375 W

Příkon výbojky : 1000 W

Světelný tok : 130000 lm

Náhradní teplota chromatičnosti : 6000 K

Index barevného podání : $Ra=79$

Životnost : 60000/20000 h [21]

Obr. 3-18 Sirná výbojka Technická univerzita Eindhoven – Philips [21]



Parametry udávané výrobcem :

Příkon systému : 1300 W

Příkon výbojky : 1000 W

Měrný výkon : 160/180 lm/W

Náhradní teplota chromatičnosti : 6000/4500 K

Životnost : 60000/15000 h [22]

Obr. 3-19 Sírná výbojka Tesla 1000 - Plasma International [22]

3.7 LED

Svítivé diody neboli světlo emitující diody (LED) tvoří samostatný celek světelných zdrojů založených na principu luminiscence popřípadě fluorescence. Ze všech moderních světelných zdrojů právě tento zažívá dramatický vzestup, jak ve zdokonalování svých provozních parametrů, tak v nárůstu prodejnosti. Původně téměř zapovězený světelný zdroj s následným použitím jako indikační a panelové svítidlo v současnosti zažívá opravdový boom v prodejnosti a globální možnosti svého uplatnění. Již svojí účinností přeměny elektrické energie na světlo předčil teplotní světelné zdroje a šlape na paty zdrojům výbojovým. Jeho velmi výhodné vlastnosti jsou shrnuty v následujících několika bodech : [24;25;26;27]

- Velmi dlouhá životnost – u nízkopříkonových LED se střední doba života udávaná výrobcem pohybuje mezi 100000 až 500000 hodin, nicméně u výkonných diod používaných k osvětlování interiérů je tato doba kratší, v rozmezí 20000 až 50000 hodin. I tak jsou to například oproti teplotním zdrojům o řád vyšší hodnoty.
- Nízká spotřeba a vysoká účinnost – nízká spotřeba je dána vysokou účinností těchto diod, měrný výkon běžně v praxi dosahuje hodnot 20 až 50 lm/W, v současnosti se ale prodávají diody s měrným výkonem okolo 100 lm/W a v laboratorních podmínkách bylo dosaženo hodnoty 150 lm/W.
- Nízká provozní teplota – jelikož se jedná o světelný zdroj, který své světlo vytváří přímou přeměnou proudu pomocí rekombinačního procesu na PN přechodu diody, není nutné dosažení vysokých teplot, ani tvorba zářivého plasmu jako u ostatních světelných zdrojů. Běžná provozní teplota nepřesahuje teplotu 70°C.
- Okamžitý start – narozdíl od takřka všech výbojových zdrojů světla LED nabíhá okamžitě (obvykle v desetinách ns) na svůj nominální světelný tok. Velmi rychlého spínání světelných diod se používá v komunikačních prostředcích. Nicméně je třeba zdůraznit, že se vzrůstající teplotou polovodiče účinnost i světelný tok klesá.
- Velmi malé rozměry – rozměry polovodiče LED diody jsou v řádu milimetrů, to znamená, že tyto světelné zdroje představují revoluci ve velikosti svítidel. Svítidla budou tvořena miniaturními samostatnými LED diodami, chladičem, optikou a popřípadě napájecím systémem. Možnosti technologie SMD a snadné osazení plošných

desek diodami umožní výrobu vysoce kompaktních svítidel a jejich umístění přímo na zeď nebo strop bez nutnosti zapouštění.

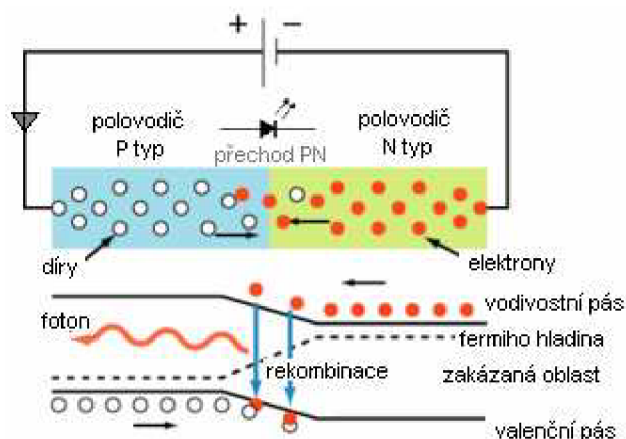
- Vysoká odolnost – LED diody jsou vysoce odolné vůči vnějším vlivům, nevdají jim otřesy – možnost použití v automobilovém průmyslu, jsou odolné vůči vlhkosti, větru a nízkým teplotám.
- Bezpečný provoz – jsou napájené ze zdrojů o malém napětí, při manipulaci se zdrojem snižuje riziko zásahu elektrickým proudem. Svým provozem s nízkými provozními teplotami nejsou schopny způsobit požár nebo poškodit okolní zařízení.
- Ekologie – materiály používané pro svítivé diody nejsou nebezpečné pro životní prostředí, veškeré chemické sloučeniny jsou ve zdroji použity pouze ve stopovém množství a navíc jsou svým pevným obalem chráněny proti úniku do okolí. Diody jsou snadno recyklovatelné.
- Snadná regulace výkonu – Výkon diod (světelný tok) lze velmi snadno regulovat změnou průchozího proudu. V praxi se výkon reguluje pomocí PWM. Výhodou diod je stejné barevné podání při různých výstupních výkonech, kdežto u teplotních zdrojů se při změně výkonu (tedy i teploty vlákna) měnila spektrální distribuce světelného toku.
- Možnost regulace barevného podání – u výkonných bílých diod tvořených třemi RGB diodami lze regulací výkonu každé z diod dosáhnout skoro jakékoli náhradní teploty chromatičnosti a indexu podání barev.
- Možnosti soustředěného osvětlení – umožňují soustředit světlo na velmi malou oblast bez nutnosti použít složitou, nákladnou a prostorově náročnou optiku.
- Barevné možnosti – umožňují vytvořit světlo jakékoli barvy bez nutnosti použití ztrátových a komplikovaných světelných filtrů.
- Minimální údržba [24;25]

I přes tyto nesporně pozitivní vlastnosti světelných diod, které je předurčují jako budoucí náhradu teplotních a výbojových zdrojů, mají i své nevýhody :

- Vysoké pořizovací náklady – jelikož se jedná o poměrně nový světelný zdroj a ne tak rozšířený, jsou v současnosti pořizovací náklady vyšší. Při nynějším masovém nárůstu prodeje lze očekávat snižování vstupních nákladů.
- Závislost měrného výkonu na teplotě – účinnost diod značně závisí na teplotě okolí i na teplotě samotného PN přechodu diody. Se zvyšující se teplotou účinnost klesá, proto je nutné diodám zajistit dostatečný odvod tepla a jejich teplotu udržovat na nízké úrovni
- Závislost životnosti na teplotě – stejně jako měrný výkon i životnost světelného zdroje značně klesá s teplotou. Každá dioda má svoji kritickou teplotu, při jejíž překročení nastává trvalá ztráta výkonu diody. V mezním případě může dojít k totálnímu zničení diody vlivem přehřátí PN přechodu
- Vysoký jas – jelikož se jedná o zdroj, jehož vyzařovací plocha má jen několik čtverečných milimetrů má se svým značným světelným výkonem obvykle o několik řádů vyšší jas než okolí, což může způsobovat oslnění a světelnou nepohodu.
- Špatné podání barev – u vysoko svítivých výkonných bílých diod tvořených RGB může dojít ke značně špatnému podání barev, index R_a může klesnout pod hodnotu 50. Je to zpravidla způsobeno špatným výkonovým vyvážením jednotlivých RGB diod a

navíc vznikem míst ve spektru zdroje, kde tyto diody nesvítí. U modrých a UV diod s použitým kvalitním luminoforem je situace lepší a index barevného podání zpravidla vždy převyšuje hodnotu 75.

- Možné poškození zraku – výkonné modré a bílé diody svojí intenzitou záření značně převyšují stanovené standardy (*ANSI/IESNA RP-27.1-05: Recommended Practice for Photobiological Safety for Lamp and Lamp Systems*) a tudíž může dojít k trvalému poškození zraku.
- Napájecí zdroj – zatímco nízkopříkonové diody lze připojovat na jakýkoli napěťový zdroj s použitím sériového rezistoru pro omezení proudu protékajícího diodou, je u výkonných diod nutný transformátor proudu, zrealizovaný spínaným zdrojem se stabilizací výstupního proudu. V ceně svítidla tvoří tento transformátor podstatnou část investice. Jeho podstatnou výhodou je možnost jeho centrálního umístění pro více svítidel, jelikož nezávisí na délce přívodů k jednotlivým LED diodám.
- Závěrné napětí – diodu jako polovodič je nutné chránit proti závěrnému napětí. Dioda dle své konstrukce snese závěrné napětí jen několik voltů, poté dojde k náhlému zvýšení závěrného proudu (stejně jako u Zenerovy diody) a k jejímu poškození. Proto je nutné LED chránit před závěrným proudem například integrovanou zpětnou diodou a nebo zajistit aby proud diodou nikdy netekl v obráceném směru – použití stejnosměrného zdroje proudu s blokadí proti přepólování, či vřazení běžné křemíkové usměrňovací diody do [24;25]



Obr. 3-20 Princip funkce LED na pásovém modelu [25]

Samotný princip funkce LED je stejný jako u běžných křemíkových diod s tím rozdílem, že u nich dochází k emisi záření. Princip funkce je znázorněn na obrázku 3-20. Polovodičová dioda je tvořena polovodičem typu P a N, který se liší složením (rozdílnou příměsí). U polov. typu P jsou majoritními nosiči náboje díry, zatímco v u polov. typu N jsou to elektrony. Proud v propustném směru se diodou uzavře pouze po překonání potenciálu zakázané oblasti (potenciálové jámy) v oblasti přechodu, tudíž na přívody

diody je nutné přivést napětí stejné nebo větší, než je energie zakázaného pásu v eV. Následně dochází k rekombinaci elektronů a děr v blízkosti přechodu. Elektrony svojí přebytečnou energii odevzdají ve formě záření. Vlnová délka takto produkovaného záření je přibližně rovna energii zakázaného pásu, tudíž výsledné produkované záření se může u dnes vyráběných diod pohybovat od oblasti IR přes viditelné záření do oblasti UV. Nicméně je nutné dodat, že i když funkce svítivé diody vypadá bezztrátově, dochází ke ztrátám jak v polovodičovém materiálu průchodem proudu, ale hlavně ke ztrátám na přechodu, protože ne každá rekombinace je ve výsledku zářivá, což je velmi závislé na teplotě polovodiče a na čistotě polovodičů.

3.7.1 Historický vývoj

- vývoj polovodičů :

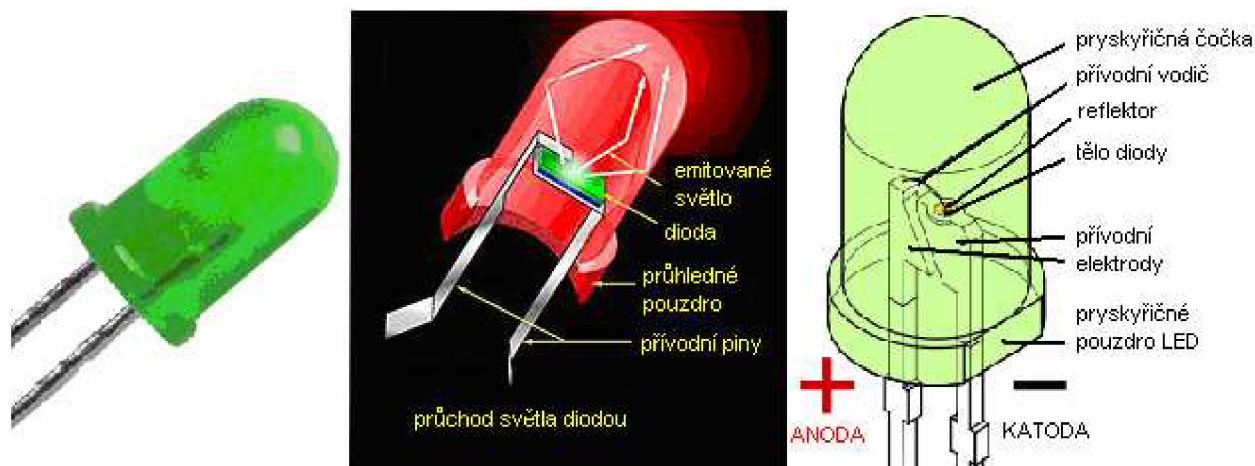
- Rok 1821 – Thomas Seebeck objevuje polovodičové vlastnosti síranu olovnatého
- Rok 1833 – Michael Faraday referuje o teplotní závislosti polovodičů

- Rok 1873 – Werner von Siemens objevuje citlivost selenu na světlo, kterou využil pro sestavení prvního fotometru
 - Rok 1876 – U selenu byly nalezeny usměrňovací vlastnosti
 - Rok 1940 – Vyrobená první polovodičová germániová dioda
 - Rok 1947 – V Bellových laboratořích byl vyroben tranzistor
- vývoj LED diod :
- Rok 1907 – H. J. Round pozoruje elektroluminiscenci na krystalu karbidu křemíku
 - Rok 1927 – Oleg Vladimirovič Losev vytvořil první LED, ale pro jeho vynález nebylo zatím využití
 - Rok 1955 – Rubin Braunstein objevil IR záření z diod založených na bázi GaAs, později to samé bylo objeveno u GaSb, InP a SiGe.
 - Rok 1961 – Robert Biard a Gary Pittman aplikovali GaAs IR diodu do elektického zařízení
 - Rok 1962 – Nick Holonyak vytvořil první LED zářící ve viditelném spektru – červená barva a později byla vyrobena i dioda žlutá
 - Rok 1972 – Byla vytvořena červeno-oranžová dioda se zvýšenou svítivostí
 - Rok 1976 – T.P.Pearsall vytvořil první výkonnou LED s vysokou účinností a postupně se začala zkoumat možnost transportu dat optickými vlákny
 - Rok 1993 – Shuji Nakamura demonstroval funkci výkonné modré LED
 - Rok 1995 – Zvýšena účinnost a svítivost výkonných LED pro použití osvětlení interiérů
 - Rok 1995 – Demonstrace první bílé LED s fluorescentem založeném na YAG technologii (sloučenina yttria, hliníku a galia), které část spektra z modré diody přesunuly do oblasti žluté a zelené barvy.
 - Rok 2008 – Na výrobu LED byly použity nanokrystaly
 - Rok 2009 – Snížení výrobních nákladů o 90 % dosaženo použitím křemíkové základny při výrobě LED. [24;25]

3.7.2 Popis částí a příklady současně prodávaných světelných zdrojů

Z konstrukčního hlediska se svítivé diody nijak značně neliší od běžných křemíkových usměrňovacích diod. Základem je polovodič typu N tvořící ve výsledku katodu, který se nazývá substrát. Na tento substrát je epitaxní technologií nebo u moderních LED diod atomovou implementací vytvořena tenká vrstva polovodiče typu P. Vzniklé okolí přechod při průchodu proudu emituje světlo šířící se všemi směry. Zda již nastává rozdíl mezi svítivou a běžnou křemíkovou diodou. Jsou kladeny požadavky na vysokou optickou reflexivitu substrátu za účelem šíření světelného toku jen jednou stranou diody. Toho je docíleno masivní vrstvou substrátu a jeho složením, u výkonných diod odrazivost dosahuje hodnot 94-97 %. Naopak u vytvořené vrstvy polovodiče typu P je nutná optická propustnost, proto je materiál pro tyto vrstvy vyvíjen zásadně s velkou propustností, která v praxi dosahuje hodnot 86-92 %. Pro docílení malého vyzařovacího úhlu je polovodič LED opatřen malým reflektorem. Jak již bylo napsáno, polovodič je umístěn (substrátem) na přívodní elektrodě (katoda), která umožní odvod tepla z polovodiče. Celá konstrukce LED je zalita do průhledné polyuretanové nebo epoxidové pryskyřice. Diody u s kulatým průřezem pouzdra mají zpravidla svůj vrchol vytvarován ve tvaru

čochy, což společně s reflektorem umožňuje docílení požadovaného vyzařovacího úhlu. K soustředění světelného toku je také využíváno úplného odrazu od stěn LED. Průhledné pouzdro diody může být realizované jako bezbarvé i různě zbarvené dle barvy světla, které dioda vyzařuje, může být jak čiré, tak difuzní. Nízkopříkonové diody se vyrábějí v rozmanitých průřezích pouzdra s různým průměrem (1;1,5;2;3;5;7;10;20 mm). Princip konstrukce klasické nízkopříkonové LED je znázorněna na obrázku 3-19. [24;25;27]



Obr. 3-21 Konstrukce nízkopříkonové LED [25]

Výkonné vysoce svítivé diody mají konstrukci totožnou s LED nízkopříkonovými. Jelikož u nich dochází k vysokým energetickým ztrátám s přeměnou na teplo je nutné toto teplo odvádět. Pro je nutné výkonové diody s příkonem nad 0,5 W vybavit chladičem. Samotný polovodič je přímo kontaktně spojen s měděnou podložkou. Několik typických provedení výkonných diod a již sestavených svítidel je znázorněno na obrázku 3-22.



SMD provedení do 1W

SMD provedení nad 1W

patice MR 16

klasický závit E14

Obr. 3-22 Konstrukce výkonných LED [27]

3.7.2.1 Napájecí zdroj

VACH svítivé diody mají v propustném směru stejný tvar jako běžná křemíková dioda s tím rozdílem, že jejich prahové napětí je dle konstrukce a vlnové délky záření rozdílné a pohybuje se od 1,5 do 3,8 V. V závěrném směru má svítivá dioda charakter zenerovy diody, velikost proudu v závěrném směru při dosažení určitého (průrazného) napětí rychle stoupá a při překročení limitní hodnoty dojde ke zničení diody. V propustném směru je velikost procházejícího proudu závislá exponenciálně na napětí. To má za následek, že dioda může být napájena velmi proměnnou hodnotou proudu, teoreticky od nuly po jeho jmenovitou hodnotu, zatímco napětí na ni kolísá v rozmezí maximálně $\pm 0,3$ V. Z tohoto důvodu je nutné diody napájet z proudových a ne napěťových zdrojů. U nízkopříkonových diod lze jako náhradu proudového zdroje použít zdroj napěťový se sériovým rezistorem, který omezí velikost proudu protékajícího diodou. Toto řešení by bylo při použití výkonných diod nepraktické z důvodu vzniklých joulových ztrát na sériovém rezistoru, navíc při napájení ze sítě 230 V by ztráty na rezistoru dosahovaly řádově desítky wattů. Proto jsou na tomto místě využívány klasické spínané zdroje se stabilizací proudu, u nichž je možné nastavit tuto velikost podle parametrů diody a také podle jejich počtu, kolik je jich zařazených v sérii. U zkompletovaných levnějších LED svítidel je kvůli zmenšeným rozměrům složitý spínaný zdroj nahrazen usměrňovačem s kapacitně odporovým děličem.

3.7.3 Parametry světelného zdroje

Svítivé diody mají své provozní parametry odlišné od všech ostatních světelných zdrojů. Je to dáno zcela odlišnou transformací elektrické energie na světlo. Následujících několik bodů popisuje základní provozní parametry diod :

- Měrný výkon a účinnost zdroje
- Barva světla
- Napájecí napětí světelného zdroje a napájecí napětí celého svítidla
- Příkon světelného zdroje
- Světelný tok Φ (lm)
- Životnost, střední doba života
- Index barevného podání *CRI* nebo *Ra* (u bílých LED)
- Náhradní teplota chromatičnosti (u bílých LED)

3.7.3.1 Příkon, měrný výkon a účinnost zdroje

Nízkopříkonové LED používané jako panelové indikátory mají zpravidla příkon od 10 do 300 mW a odebíraný proud se pohybuje v rozmezí 5-30 mA. Vyrábějí se také úsporné nízkopříkonové diody s odebíraným proudem 1 až 2 mA. Dnes vyráběné výkonné diody mají příkon od zhruba 300 mW do 10 W na jednu diodu. Nicméně teprve okolo roku 2000 se svítivé diody dostaly se svým měrným světelným výkonem na úroveň 15 lm/W, což je přibližně stejná hodnota jako mají teplotní světelné zdroje. Měrný výkon dosažený u nízkopříkonových LED :

- Rok 2003 - Cree již dosáhla měrného výkonu bíle LED 65 lm/W při 20 mA
- Rok 2007 - byla firmou Seoul Semiconductor dosažena hodnota 135 lm/W při 20 mA
- Rok 2008 - dosažena hodnota 145 lm/W
- Rok 2009 – Firma Nichia Corporation vyvinula diodu o 150 lm/W při 20 mA

U výkonných diod byl vývoj v oblasti dosažení měrného výkonu ještě divočejší, u většiny výkonných světelných diod je brán nominální proud 350 a 700 mA, případně (1 A a 1,5 A) :

- Rok 2002 – firma Lumileds s 5 W diodou dosáhla měrného výkonu 22 lm/W
- Rok 2007 – Philips Lumileds Lighting Co. Dosáhla m.výkonu 115 lm/W při 350 mA
- Rok 2008 – firma Cree dosáhla hodnoty 161 lm/W 350 mA při pokojové teplotě

Ale je třeba podotknout, že zde dosažených měrných výkonů bylo dosaženo čistě změřením samotného příkonu LED diody a jeho světelného výkonu. Reálná svítidla s LED diodami napájená síťovým napětím dosahují průměrného měrného výkonu 30 lm/W. Zatím nejvyšších měrných výkonů poskytují komerčně prodávaná svítidla s měrným výkonem 62 lm/W. [24;25]

3.7.3.2 Barvy LED a materiály

Jak již bylo napsáno, dnes vyráběné diody dosahují různých „barev“ emitujícího záření. Vyráběné diody lze dle „barvy“ emitovaného světla rozdělit do několika skupin :

- Diody emitující světlo barev základních
- Diody emitující světlo barev vzniklé smíšením
- Diody emitující bílé světlo
- Diody emitující záření v oblasti UV a IR

Následující *tabulka 3-6* ukazuje jaké materiály polovodiče jsou použity na výrobu diod jednotlivých barev :

barva česky	barva (eng)	domin.v.d. (nm)	Rozsah v.d.(nm)	materiál polovodiče
Červená	red	627	610-760	AlGaAs, Ga,AsP,AlGalnP,GaP
oranžová	amber	590	590-610	GaAsP, AlGalnP,GaP
Červeno-oranžová	red/orange	617	610-630	GaAsP, AlGalnP,GaP
Žlutá	yellow	575	570-590	GaAsP, AlGalnP,GaP
Zelená	green	530	500-570	InGaN/GaN,AlGalnP,AlGaP
modrozelená	cyan	505	480-530	AlGaP,InGaN,GaN
Modrá	blue	470	450-500	ZnSe,InGaN,SiC(substrát)
Fialová	royal blue	455	400-460	InGaN
Růžova	purple			
IR	IR		>760	AlGaAs,GaAs
UV	UV		<410	AlN,AlGaIn,AlGalnN,diamant

Tab. 3-6 Materiály používané na výrobu LED [24;25]

Bílé světlo emitující diody jsou vyráběné třemi způsoby. První a to nejstarším způsobem byla kombinace tří diod RGB, kde vzniklé záření se v difuzoru smísilo a výsledkem byla „bílá“ barva světla. I když toto řešení dosahovalo dobré účinnosti, tak vzniklé bílé spektrum nebylo úplné. Diody emitují světlo o vlnové délce v malém rozsahu svého maxima, tudíž ve spektru nebyly obsazeny některé barvy. Tohoto problému mělo být zbaveno přidáním čtvrté diody (oranžové), avšak výsledkem byla nižší účinnost a vyšší cena. Navíc tyto diody měly problém s dosažením stejného jasu u jednotlivých diod a výsledné barevné podání toho zdroje bylo nízké. Druhým řešením realizace bílých diod je použití luminoforu na bázi fosforu. Část světelného toku výkonné modré LED je přivedeno na vrstvu luminoforu a tím převedeno do oblasti žluté a zelené barvy. Takto realizované diody mají menší účinnost než diody RGB, ale náklady spojené s jejich výrobou jsou znatelně nižší. Luminofory pro tyto diody jsou založeny na fosforu s dotací ceru a yttria, v literatuře nazývané YAG. Třetím a nejnovějším řešením je výroba bílých diod z UV diod, kde je opět použit luminofor na bázi fosforu, europia, mědi a hliníku, kde fosfor emituje červené a modré světlo a měď s hliníkem zelené. Je to analogie luminoforu používaného například v kompaktních zářivkách. Takto vytvořené bílé LED diody dosahují vysoké účinnosti i uspokojivého barevného podání. Diody jsou vyráběny s náhradní teplotou chromatičnosti stejnou jako ostatní světelné zdroje, tedy od 2700 do 6500 K. Někteří výrobci místo náhradní teploty

chromatičnosti uvádějí XYZ souřadnice, resp. XY. Zpravidla platí, že čím vyšší náhradní teplota chromatičnosti, tím vyšší účinnost, ale horší index barevného podání. [24;25]

3.7.3.3 Životnost, střední doba života

Jak bylo napsáno v úvodu LED, je jejich střední doba života nejvyšší ze všech dnes používaných světelných zdrojů. U nízkopříkonových dosahuje řádově několik 100000 hodin, nicméně u výkonných je životnost nižší, je to dáno především degradací polovodiče při vyšších provozních teplotách a narušování krystalické mřížky průchodem vysokého proudu. Při dobře dimenzovaných parametrech zdroje a správně navrženém odvodu tepla ze svítidla by životnost výkonných LED neměla být menší než 20000 hodin.

3.7.4 Parametry udávané výrobcí a jejich rozsah

Příkonový rozsah :	<0,5 W	(nízkopříkonové)	(napájecí napětí 3,1 až 3,5 V většinou jedna LED)
	0,5 W až 5 W	(napájecí napětí 2,85 až 14,7 V nebo 230 V)	
	>5 W	(napájecí napětí 3,6 V až 24 V nebo 85 až 265 V)	
Rozsah napájecích napět'ových hladin :	MN	jednotlivé LED	2,85 až 3,6 V
		více LED	až 24 V
	NN	230 V, 100 až 240 V nebo 85 až 265 V	
Náhradní teplota chromatičnosti :	Zpravidla 2700 až 6500 K (bílé LED)		
Index barevného podání :	Zpravidla 79 až 93 (bílé LED)		
Měrný výkon :	<0,5 W	32 až cca.120 lm/W (165 lm/W)	
	0,5 až 5 W	6 až 100 lm/W	
	5 až 10 W	7 až 75 lm/W	
	>10 W	7 až 55 lm/W	
Střední doba života (životnost) :	- u nízkopříkonových LED je střední doba udávána 30000 až 500000 hodin		
	- u výkonných LED 20000 až 50000 hodin		

3.8 Ostatní výbojové zdroje

Ostatní výbojové zdroje se již až na výjimky nepoužívají na osvětlování obytných interiérů. Jsou především určeny na osvětlení velkých místností, pracovních hal, skladů nebo jako pouliční osvětlení. Jejich barevné podání pro osvětlení interiérů nedostatečné až na výjimku halogenidových výbojek a výbojek s krátkým obloukem. Hlavní výhodou jejich použití je vysoký měrný výkon a poměrně dlouhá životnost.

3.8.1 Sodíková výbojka nízkotlaká

Patří mezi světelné zdroje, které jsou pro svoje vlastnosti vhodné pouze na osvětlení exteriérů a jako pouliční osvětlení. Ze všech zatím známých světelných zdrojů dosahují největší účinnosti, jejich měrný výkon se dle nominálního výkonu a provedení pohybuje od 100 do 220 lm/W. Výboj ve výbojce hoří za velmi nízkého tlaku (okolo 0,6 Pa), přičemž výboj přímo vyzařuje (bez potřeby luminoforu) záření v pásmu dvou vlnových délek 589 a 589,6 nm, tyto

vlnové vyzařují v blízkosti maxima $v(\lambda)$ křivky, čímž je dosaženo tak vysokého měrného výkonu. Ale vzhledem ke spektrální distribuci světelného toku lze na dvě vlnové délky 589 a 589,6 nm pohlížet jako na jednu, tudíž zdroj vyzařuje prakticky pouze monochromatické záření, a proto index barevného podání je roven přibližně 0. Výhody tohoto zdroje lze shrnout do několika bodů:

- Dlouhá střední doba života – 15000 až 25000 hodin
- Vysoký měrný výkon – 120 až 200 lm/W

Mezi nevýhody tohoto světelného zdroje patří :

- Takřka monochromatické světlo (pouze 2 diskrétní vlnové délky)
- Výrazný stroboskopický jev, výboj má špatnou setrvačnost
- Vysoká provozní teplota – teplota trubice až 300 °C
- Po vypnutí nerovnoměrné usazování sodíku – problematické zapalování
- Použití složitějšího a na napěťové špičky náročnějšího zapalovacího systému
- Velké rozměry trubice [28]

3.8.1.1 Příklady současně prodávaných světelných zdrojů



Světelný tok : 22600 lm

Příkon : 135 W

Životnost : 18000 hodin

Měrný výkon : 167,4 lm/W

Patice : BY22 [12]

Obr. 3-23 Philips - SOX 135W BY22 [12]

V současnosti jsou používány především ve Velké Británii, zemích Beneluxu a zemích bývalé Jugoslávie, prodávají se v rozmanité škále výkonu od 10 do 180 W.

3.8.1.2 Parametry a jejich rozsah

Provedení je nejčastěji s paticí BY22 nebo podobné, výjimečně se závitem E40.

Příkonový rozsah :	18 až 200 W
Rozsah napájecích napětí na výboji :	50 až 200 V
Jmenovitý napájecí proud :	< 1 A
Index barevného podání :	0 (velmi nízké hodnoty blízké 0)
Náhradní teplota chromatičnosti :	1800 K
Měrný výkon :	<50 W 100 až 170 lm/W
	50 až 100 W 130 až 220 lm/W
	100 až 200 W 160 až 200 lm/W
Střední doba života (životnost) :	18000 až 32000 hodin
Patice :	BY22

3.8.2 Sodíková výbojka vysokotlaká

Stejně jako sodíková výbojka nízkotlaká má i tato výbojka použití převážně v pouličním osvětlení. A stejně jako nízkotlaká má i vysokotlaká své maximum vyzařovaného záření v oblasti okolo 589 nm, nicméně se již nejedná o záření monochromatické, ale díky vyššímu tlaku přibližně 27 kPa o záření spojité. Vyzařovací spektrum je závislé na tlaku ve výbojovém prostředí a tedy i na teplotě hoření. Se vzrůstající teplotou se zlepšuje barevné podání, ale klesá účinnost. Index barevného podání již není nulový, ale pohybuje se mezi 20 a 50. Měrný výkon dosahovaný tímto zdrojem je maximálně 160 lm/W, výbojky s nižšími výkony dosahují hodnoty 60 až 130 lm/W. Díky propracované konstrukci, dnes již velmi rozvinuté technologii zpracování korundového hořáku s niob-tantal-molybdenovými elektrodami a ochrannou atmosférou baňky, výbojky dosahují životnosti až 30000 hodin. Hlavními výhodami jsou :

- Dlouhá střední doba života – až 30000 hodin
- Vysoký měrný výkon – až 160 lm/W
- Uspokojivé barevné podání – Ra se pohybuje mezi 20 a 50 (de luxe až 85)
- Nízká provozní teplota baňky – díky tepelně nevodivé plynné náplni ochranné baňky, která zároveň tepelně stabilizuje hoření oblouku v hořáku
- Vysoká variantnost provedení
- Kompaktní provedení

Nevýhody vysokotlaké sodíkové výbojky :

- Pomalý start – dosažení nominálního světelného toku řádově minuty
- Použití složitějšího a na napěťové špičky náročnějšího zapalovacího systému [28]

3.8.2.1 Příklady současně prodávaných světelných zdrojů

Tyto výbojky byly vyvinuty již v polovině 60. let 20. století a v současné době je nabízen velký sortiment jednotlivých druhů označených obchodními názvy :

- Standardní – používané na pouliční osvětlení, malé rozměry, stálý sv. tok, $Ra > 20$
- Standardní Stand-by – mají dva hořáky vedle sebe, při výpadku proudu a jeho obnovení nastartuje okamžitě druhý hořák. Vysoká životnost, až 55000 hodin.
- Standardní Sufitové – v malých reflektorech, osvětlování architektury
- Penning – jako náhrada za rtuťové výbojky, pracují s rtuťovými tlumivkami, nepotřebují zapalovací zařízení. Např. Tesla SHLP
- High Output – Mají vyšší tlak, jsou plněny xenonem, mají o 10 % vyšší světelný tok. Např. : GE LUCALOX, Tungram TC/S, Sylvanit SHP/Super
- De Luxe – vhodné do interiéru, $Ra > 65$, takřka se neliší od lineární teplé bílé zářivky
- Planta – vyvinuty pro osvětlování rostlin, vysoký měrný výkon, odlišné spektrum
- Merkury-Free – již neobsahují rtuť ve formě amalgamu
- De Luxe White – $Ra > 85$, elektronické předřadníky, v malé míře možnost měnit barevné podání. Např. : Osram Colorstar, Philips SDW-T [28]



Obr. 3-24 Vysokotlaké sodíkové výbojky – standardní provedení, výrobce Philips [12]

3.8.2.2 Parametry a jejich rozsah

Oproti nízkotlakým sodíkovým výbojkám provedení kompaktnější s ochrannou nádobou, větší sortiment, často dostupné s edisonovým závitem.

Příkonový rozsah :	35 až 1500 W
Rozsah napájecích napětí na výboji :	85 až 155 V
Jmenovitý napájecí proud :	0,5 až 10 A
Index barevného podání :	typicky 20 až 30, provedení De Luxe až 80
Náhradní teplota chromatičnosti :	1800 až 2550 K
Měrný výkon :	<50 W 35 až 60 lm/W 50 až 100 W 35 až 105 lm/W 100 až 500 W 72 až 145 lm/W >500 W 120 až 150 lm/W
Střední doba života (životnost) :	12500 až 50000 hodin
Patice :	Edisonův závit : E27, E40 Ostatní : GXxx, PGxx, RX7x, Fcx,...

3.8.3 Rtuťová a směsová výbojka

Klasické vysokotlaké rtuťové výbojky vyzařují převážnou část (85 %) svého záření do oblasti UV. Zbývá část je vyzářena ve viditelném spektru, ale zcela chybí červená a žlutá složka. Z tohoto důvodu se na vnitřní strany baňky výbojky nanáší luminofor. Životnost se pohybuje v rozmezí 12000 až 15000 hodin. Index barevného podání opět záleží na použitém luminoforu a pohybuje se od 40 do 60. Měrný výkon dle nominálního příkonu je 50 až 80 lm/W. Průměrný doba pro ustálení světelného toku je okolo 5 minut. Na rozdíl od sodíkových výbojek nepotřebují složitý zapalovací systém a k jejich funkci je potřebná pouze tlumivka.

Směsová výbojka je realizována zapojením klasické vysokotlaké rtuťové výbojky a žhavicího vlákna, které zároveň slouží ke stabilizaci oblouku, takže nepotřebují tlumivku. Umožňuje dosažení takřka nominálního světelného toku ihned po startu, navíc žhavené vlákno dodá spektru výbojky červenou a žlutou složku. Nicméně měrný výkon těchto výbojek je pouhých 25 až 35 lm/W. Byly vyvinuty jako náhrada běžných žárovek, dodávají zhruba o 50 % více světelného toku, než obyčejné žárovky a produkují asi o 25 % méně tepla. Jejich životnost je

vysoce závislá na četnosti spínání a pohybuje se kolem 5000 hodin. Vlákno je podžhavené, takže nedochází tak rychle k odparu vlákna. Navíc tyto výbojky mají předepsanou polohu svícení.

3.8.3.1 Příklady současně prodávaných světelných zdrojů

Vysokotlaká rtuťová výbojka De Luxe Super je shodná s běžným typem, ale rozdíl je v luminoforu, který je průhledný, vzniklé světlo má růžový nádech a obsahuje 15 % červené složky. Akorát je nutné odstínit UV záření. Jsou vhodné pro osvětlování interiérů, komerčních prostor a kanceláří. Např. : Osram HQL Felixe super, GE Kolorlux, Philips HPL Comfort. [28]

Příklad klasické i směšové výbojky od výrobce Philips je na *obrázku 3-25*.



směšová výbojka E27 rtuťová vysokotlaká výbojka E27

Obr. 3-25 Vysokotlaké rtuťové výbojky – výrobce Philips [12]

směšová výbojka :

sv. tok : 13000 lm; příkon : 500 W;

životnost : 10000 h; m.výkon : 26 lm/W;

rtuťová vysokotlaká výbojka :

sv. tok : 24200 lm; příkon : 400 W;

životnost : 20000 h; m.výkon : 60,5 lm/W

3.8.3.2 Parametry a jejich rozsah

Příkonový rozsah :	50 až 3500 W (směšové 100 až 500 W)
Rozsah napětí na výboji :	20 až 240 V
Jmenovitý napájecí proud :	0,5 až 7 A
Index barevného podání :	typicky 35 až 65 (směšové 50 až 72)
Náhradní teplota chromatičnosti :	3400 až 4300 K (směšové 3300 až 3700 K)
Měrný výkon :	<100 W 22 až 50 lm/W
	100 až 500 W 16 až 60 lm/W (směšové 11 až 26 lm/W)
	>500 W 28 až 60 lm/W
Střední doba života (životnost) :	5000 až 30000 hodin
Patice :	Edisonův závit : E27, E40
	Ostatní : SFaxx, SFcxx,... (směšové B22 a B27)

3.8.4 Halogenidová výbojka

Princip těchto výbojek je založen na vysokotlakých rtuťových výbojkách. Do hořáku je kromě rtuťi přidán sodík, halogenidy a prvky vzácných zemin, ale třeba i cín apod. Výsledkem je velmi vysoký index barevného podání $Ra > 85$ vyprodukovaného světla s měrným výkonem okolo 130 lm/W. Po zapálení výboje externím zapalovačem se postupně zvyšuje teplota a tím stoupá i koncentrace příměsí v ionizovaném stavu. Takto vybuzené atomy svou přebytečnou energii při

návratu na stabilní hladinu odevzdají ve formě záření. Navíc stejně jako u halogenových žárovek dochází k termickému rozkladu halogenidů na samostatné prvky a halogeny, které putují k chladnějším místům hořáku, kde se z nich opět stávají halogenidy. Tyto „termo-chemické“ reakce jsou zářivé a dle koncentrace a zastoupení prvků vzácných zemin je možné docílit potřebného barevného podání. Spektrum světelného toku je u těchto výbojek plynulé se zastoupením všech vlnových délek. Tudíž se tyto výbojky používají pro osvětlování velkých prostorů, nicméně kvůli jejich vysokým výrobním nákladům se prozatím neuvažuje o jejich použití ve veřejném osvětlení. Životnost se pohybuje od 6000 do 30000 hodin. Jsou citlivé na kvalitu předřadníků, kolísání napětí a polohu svícení. Tyto výbojky produkují velké množství UV záření, jež je opět nutné odstínit.

3.8.4.1 Příklady současně prodávaných světelných zdrojů

Sulfidové typy mají patice hořáku na protilehlých koncích. Jsou relativně malé a používají se ve svítidlech s přesnými optickými systémy. Jsou též vhodné pro okamžitý znovuzápal. Střední doba života se pohybuje od 6000 hodin výše. Svítidla s těmito výbojkami jsou malá, vysoce účinná, produkují málo tepla a jsou vhodná do výkladních skříní. Např.: Sylvanit HSI/TD, Tungsram HGMIS, Philips MHN-TD nebo Osram HQI/TS. [28]

Krátkoobloukové výbojky postupně vytlačují projekční žárovky v projektorech. Mají nepatrné rozměry, index barevného podání $Ra > 95$ a měrný výkon větší jak 100lm/W. Jejich střední doba života je nižší a pohybuje se okolo 3000 až 5000 hodin. Spolu se sirnými výbojkami se nejvíce blíží dennímu světlu, proto mají využití i ve filmovém průmyslu. Poslední dobou jsou v popředí speciální halogenidové výbojky pro automobilové reflektory. Mají mimořádně vysoký světelný tok a jejich střední doba života je větší než 2000 hodin. [28]



Obr. 3-26 Halogenidové výbojky – výrobce Philips [12]

3.8.4.2 Parametry a jejich rozsah

Příkonový rozsah :	35 až 18000 W	
Rozsah napětí na výboji :	45 až 245 V	
Jmenovitý napájecí proud :	0,5 až 11 A	
Index barevného podání :	65 až 90	
Náhradní teplota chromatičnosti :	2800 až 10000 K	
Měrný výkon :	<100 W	57 až 95 lm/W
	100 až 500 W	25 až 105 lm/W
	500 až 1000 W	75 až 110 lm/W

	1000 až 5000 W	80 až 120 lm/W
	>5000 W	95 až 105 lm/W
Střední doba života (životnost) :	5000 až 30000 hodin	
Patice :	Edisonův závit : E27, E40	
	Ostatní : Gxx, Fax, Fcx, RX7x, SFcx,...	

4 KOMPARACE SVĚTELNÝCH ZDROJŮ

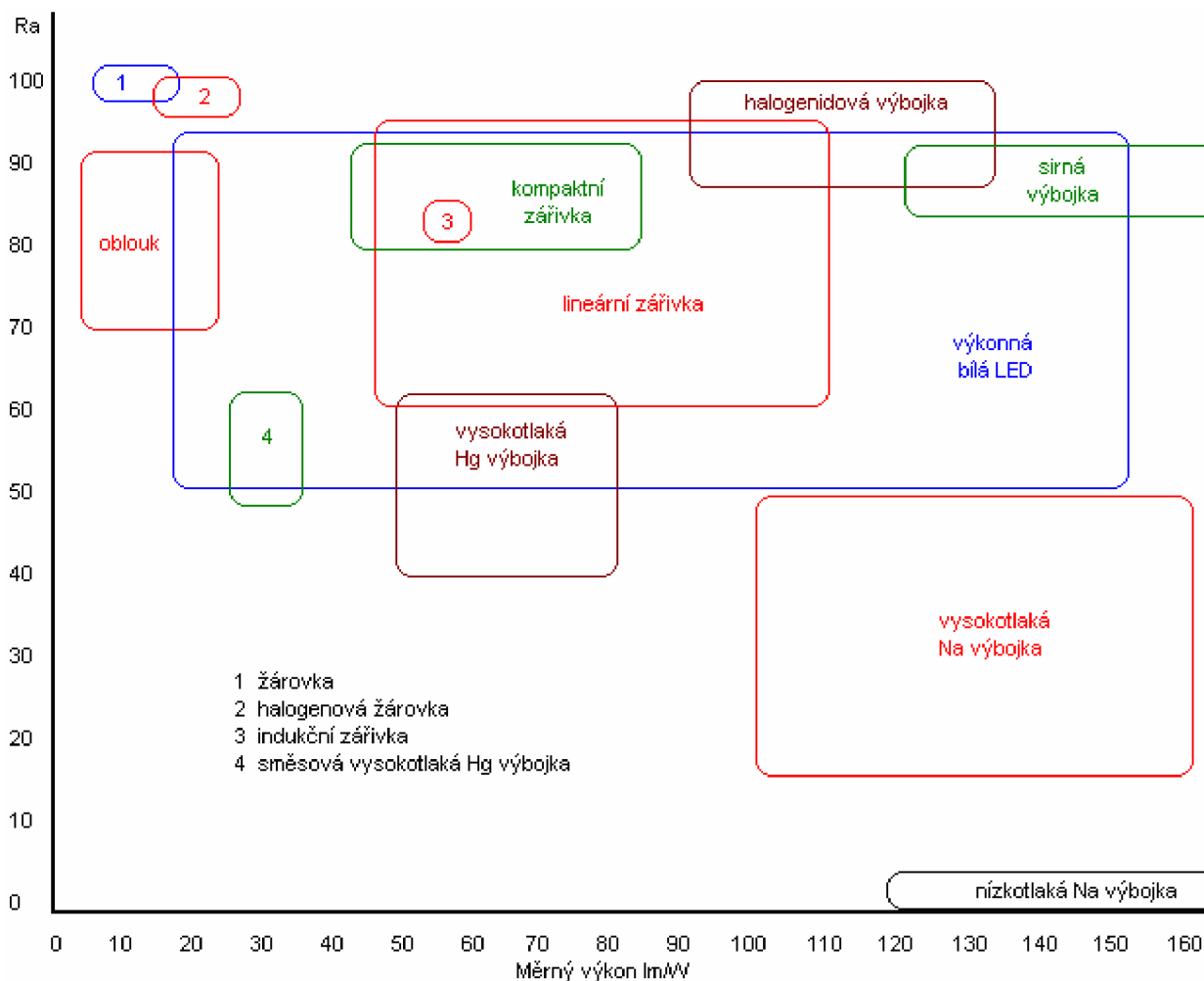
Jednotlivé světelné zdroje popsané v kapitole 3 se navzájem liší jak svými provozními vlastnostmi, ale také samotnou podstatou transformace elektrické energie na světlo. *Tabulka 4-1* uvádí přibližný transformační řetězec hlavních zástupců světelných zdrojů. Je z něho patrné, že každý světelný zdroj (vyjma klasické žárovky na síťové napětí) potřebuje pro svoji funkci předřadník, či předřadný systém, který je buď přímo integrován ve světelném zdroji nebo je externí. Ten má za úkol upravit elektrickou energii ze sítě na takové parametry, které zdroj pro svoji funkci vyžaduje. Zároveň je to ale část obvodu, kde vznikají velké energetické ztráty, takže převážně na něm záleží jakou bude mít světelný zdroj jako celek účinnost. Další transformace energie je již specifická. Některé zdroje produkují světlo přímo například zářivou rekombinací v polovodiči nebo tepelnou emisí z rozžhaveného vlákna. Jiné potřebují složitá buzení atomů ve výboji navíc s použitím luminoforů, které zase mají za úkol převést většinu produkovaného záření zdroje do viditelného spektra.

světelný zdroj	předřadník	transformační proces uvnitř světelného zdroje	
obyčasná a halogenová žárovka	případná transformace napětí na požadovanou hodnotu	průchodem proudu vznik joulových ztrát v odporovém materiálu vlákna	tepelná emise záření v oblasti převážně IR a z části ve viditelném spektru
lineární a kompaktní zářivky	použití předřadníku pro stabilizaci výboje	předřadníkem upravený proud prostřednictvím nízkotlakého výboje budí atomy rtuti - výsledkem je emise záření v UV oblasti spektra	UV záření dopadá na luminofor, kde jsou vybudeny převážně atomy fosforu výsledkem je emise záření ve viditelné oblasti spektra
indukční zářivka	předřadník funguje jako vysokofrekvenční generátor proudu	vysokofrekvenčním proudem je napájena cívka, jež generuje magnetické pole, které vybudí atomy rtuti - výsledkem je emise záření v UV oblasti spektra	UV záření dopadá na luminofor, kde jsou vybudeny převážně atomy fosforu výsledkem je emise záření ve viditelné oblasti spektra
sírná výbojka	výkonný magnetron generující VF elektromagnetické pole	silným mikrovlnným polem jsou budeny atomy prvků uvnitř sírné výbojky, které přímogenerují záření v oblasti viditelného spektra a v oblasti UV	
vysokotlaká rtuťová výbojka	použití indukčního předřadníku pro stabilizaci výboje	předřadníkem upravený proud prostřednictvím vysokotlakého výboje budí atomy rtuti - výsledkem je emise záření v UV oblasti spektra	UV záření dopadá na luminofor, kde jsou vybudeny převážně atomy fosforu výsledkem je emise záření ve viditelné oblasti spektra
sodíkové výbojky	použití indukčního předřadníku pro stabilizaci výboje	předřadníkem upravený proud prostřednictvím výboje budí atomy sodíku - výsledkem je emise záření ve viditelné oblasti bez použití luminoforu	
LED	použití spínaného proudového zdroje	proud procházející polovodičem a jeho přechodem prostřednictvím zářivé rekombinace přímo emituje záření v oblasti viditelného spektra případně v UV oblasti	u bílých diod s luminoforem dochází k transformaci emitovaného UV záření do viditelné oblasti spektra

Tab. 4-1 Transformační řetězec jednotlivých světelných zdrojů

4.1 Komparace všech světelných zdrojů

Skutečné transformační pochody například u LED nebo halogenidových výbojek jsou velmi složité, proto jsou zde uvedeny pouze informativně, nikoli podrobně. Světelné zdroje lze porovnávat také například z hlediska docíleného barevného podání, dosažného měrného výkonu nebo střední doby života. Pro přibližné porovnání jednotlivých zdrojů z výše uvedených parametrů slouží *Graf 4-1* až *Graf 4-6*. Běžně prodávané světelné zdroje jsou prodávány s velkým rozptylem jmenovitých hodnot svých provozních parametrů, proto nejsou v grafech zobrazeny jednotlivé body, ale plochy, ve kterých se parametry prodávaných zdrojů vyskytují.



Graf 4-1 Porovnání z hlediska dosaženého barevného podání a měrného výkonu – teorie

Z grafu 4-1, který je získán z teoretických hodnot, kterých by dané zdroje měly dosahovat, lze vyvodit teoretický předpoklad vysoké hodnoty indexu barevného podání při nízkém měrném výkonu světelných zdrojů a naopak. Mezní případ tvoří obyčejná žárovka, která dosahuje indexu barevného podání přibližně 100, ale lze s ní dosáhnout maximálně 16 až 18 lm/W. Druhým mezním případem je nízkotlaká sodíková výbojka, jejíž měrný výkon převyšuje hodnotu 200 lm/W, ale za cenu takřka nulové hodnoty indexu barevného podání. Nicméně toto pravidlo porušují některé hlavně nové, moderní světelné zdroje (halogenidová výbojka, sirná výbojka a výkonná bílá LED). Tyto zdroje poskytují vysoký index barevného podání zpravidla v rozmezí Ra 80 až 95, ale zároveň dosahují hodnoty měrného výkonu okolo 100 lm/W a výše. Halogenidová i sirná výbojka se používají pro osvětlování v průmyslu, osvětlování velký hal, skladů, sportovních hal apod. Tudiž z pohledu vysoké účinnosti přeměny elektrické energie na světlo za současného dobrého barevného podání u světelných zdrojů použitelných na osvětlování interiérů jsou na tom nejlépe výkonné bílé LED. Ale i tato informace není absolutní pravdou, jelikož nižší účinnost dnešních předřadných systémů pro LED spolu se špatným odvodem tepla snižuje dosažený měrný výkon na hodnotu přibližně kompaktních zářivek.

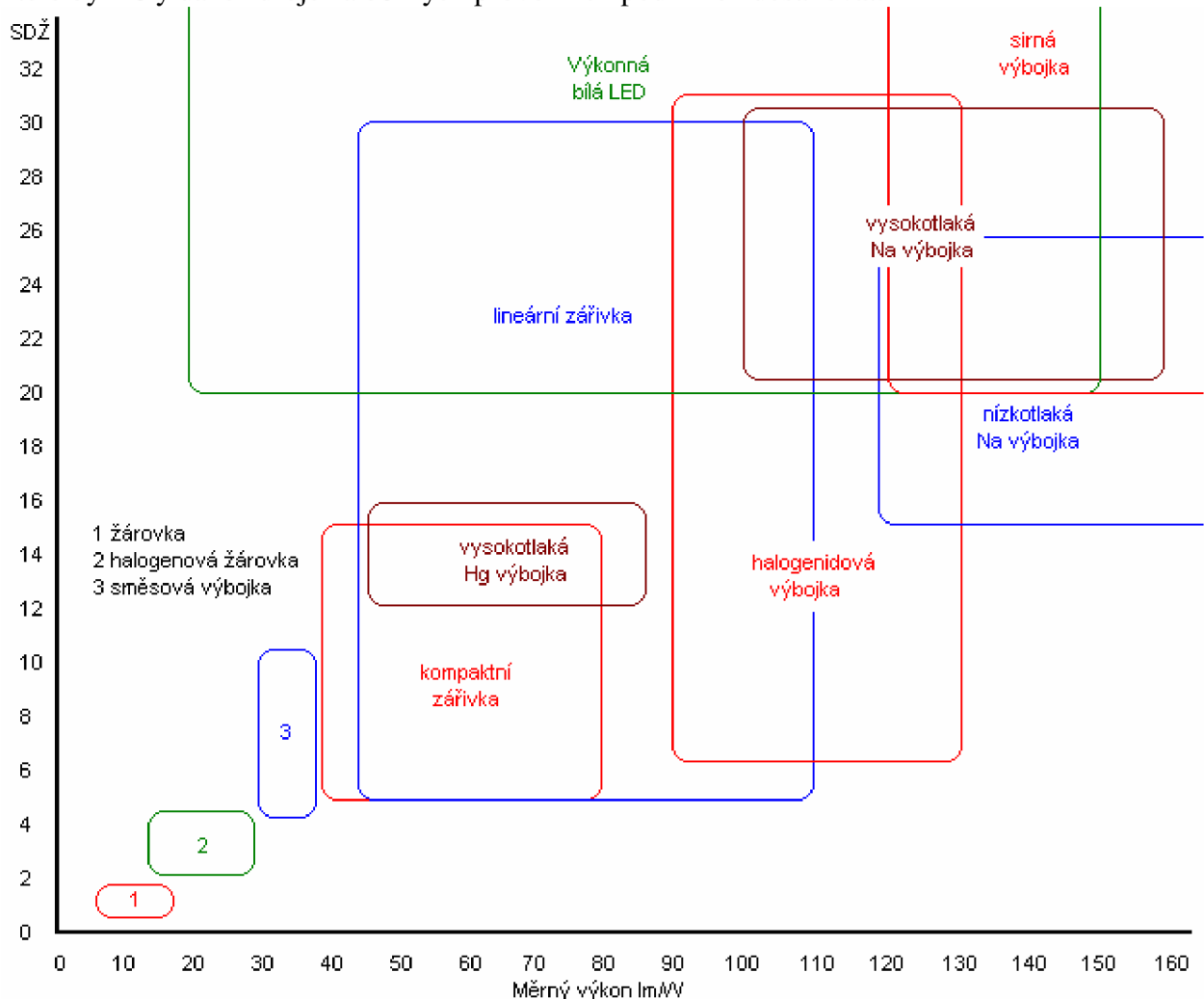
Při výběru a nákupu světelného zdroje jsou kromě například poskytované kvality světla důležité finanční náklady. Ty lze rozdělit na 3 základní druhy :

- Investiční (prvotní) náklady
- Náklady na provoz
- Náklady na údržbu

Náklady na provoz jsou dány samotnou účinností světelného zdroje, včetně účinnosti jeho předřadných obvodů, přívodů apod. Náklady na údržbu zahrnují pravidelnou kontrolu, čištění,

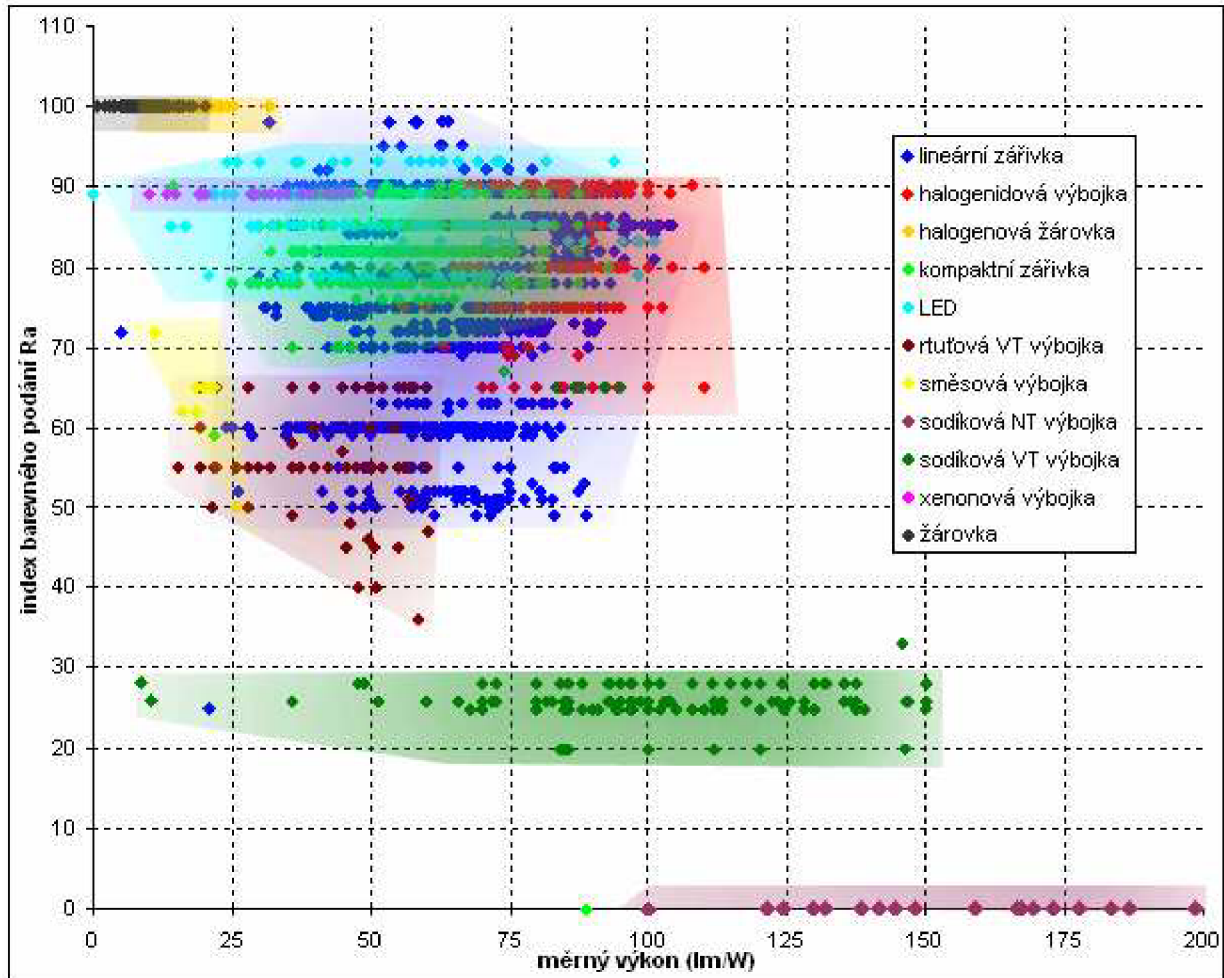
popřípadě výměnu světelného zdroje za nový. A nakonec investiční náklady reprezentují zakoupení nového světelného zdroje včetně jeho instalace.

Tudíž pouze náklady na provoz souvisejí přímo s činností transformace elektrické energie na světlo u konkrétního světelného zdroje. Náklady investiční a náklady na údržbu již více souvisejí se samotnou životností (střední dobou života). Zpravidla platí, čím má světelný zdroj delší životnost, tím jsou náklady na údržbu nižší a i investiční náklady se z hlediska celkových nákladů za technický život svítidla značně snižují. Graf 4-2 znázorňuje střední dobu života jednotlivých světelných zdrojů v závislosti na měrném výkonu, takže při znalosti konkrétní investiční hodnoty zdroje lze velmi snadno usoudit, zda se jeho použití vyplatí, či zda by bylo vhodné tento světelný zdroj nahradit zdrojem jiným. I tento graf je získán z teoretických hodnot, které by měly dané zdroje za běžných provozních podmínek dosahovat.



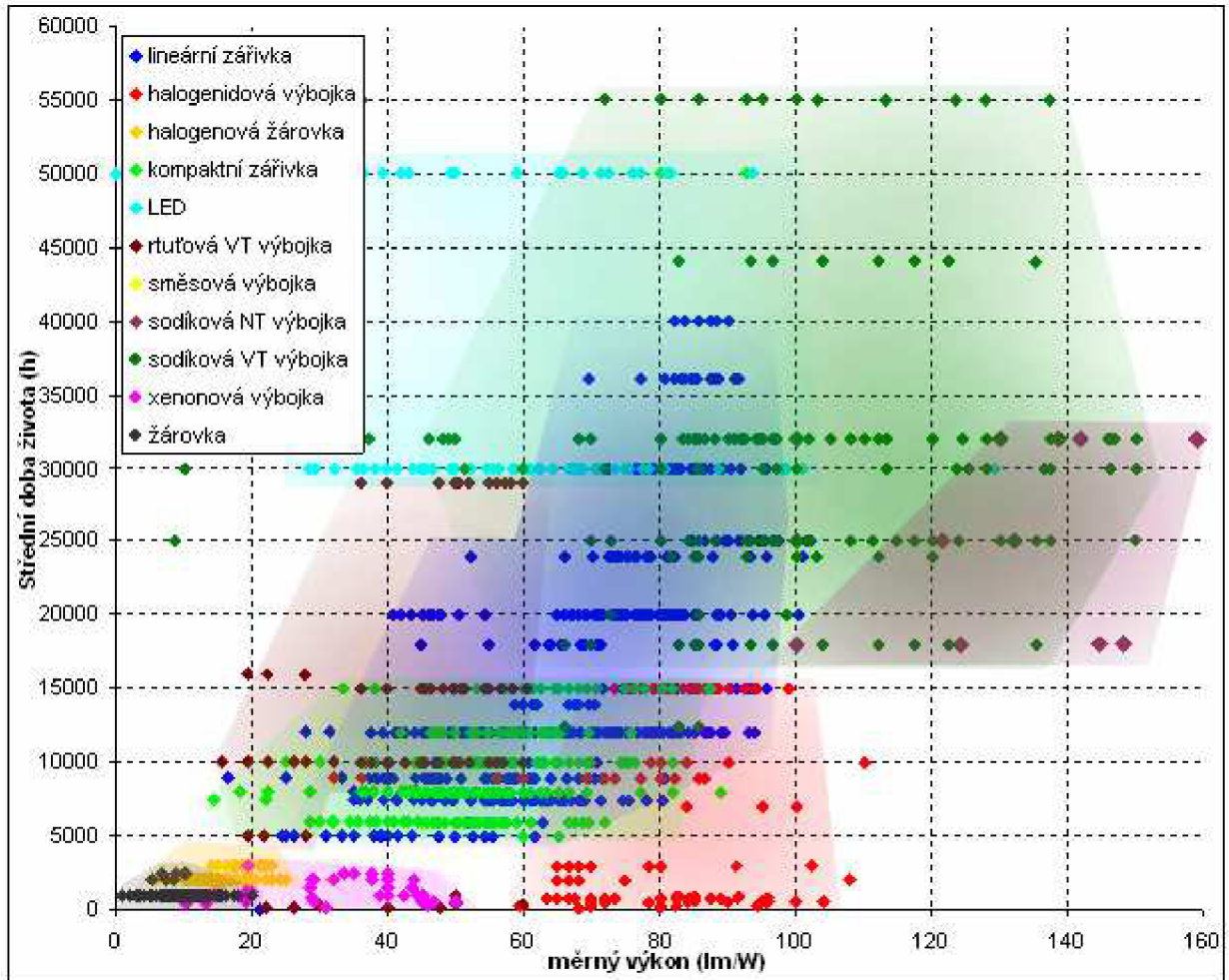
Graf 4-2 Porovnání z hlediska střední doby života a měrného výkonu – teorie

Nicméně dle vypracované databáze světelných zdrojů, která je elektronickou přílohou této práce, graf 4-1 nelze zobrazit přesně a vyznačené oblasti udávají teoretické místo, kde se u většiny prodávaných zdrojů očekává výskyt dosažených parametrů. Skutečné hodnoty získané z databáze zobrazuje graf 4-3, u něhož jsou oblasti výskytu zdroje vyznačeny oblastí s příslušnou barvou. Hodnoty jednotlivých zdrojů jsou znázorněny bodem. Je z něho vidět patrný rozdíl mezi teoretickými hodnotami a skutečnými (získané z reálných zdrojů). Oblasti nejsou již znázorněny čtvercově a rozptyl jednotlivých hodnot se také zásadně liší.



Graf 4-3 Porovnání z hlediska dosaženého barevného podání a měrného výkonu – reálné zdroje

Stejně jako graf 4-3 byl z reálných hodnot vytvořen graf 4-4, který zobrazuje dosaženou střední dobu života v závislosti na měrném výkonu. Tvoří tedy dvojici s grafem 4-2. Vyznačené barevné oblasti udávají pravděpodobnost výskytu parametrů daného typu světelného zdroje. Hodnoty jednotlivých zdrojů jsou znázorněny bodem. Opět lze pozorovat rozdíly mezi skutečnými a teoretickými hodnotami.



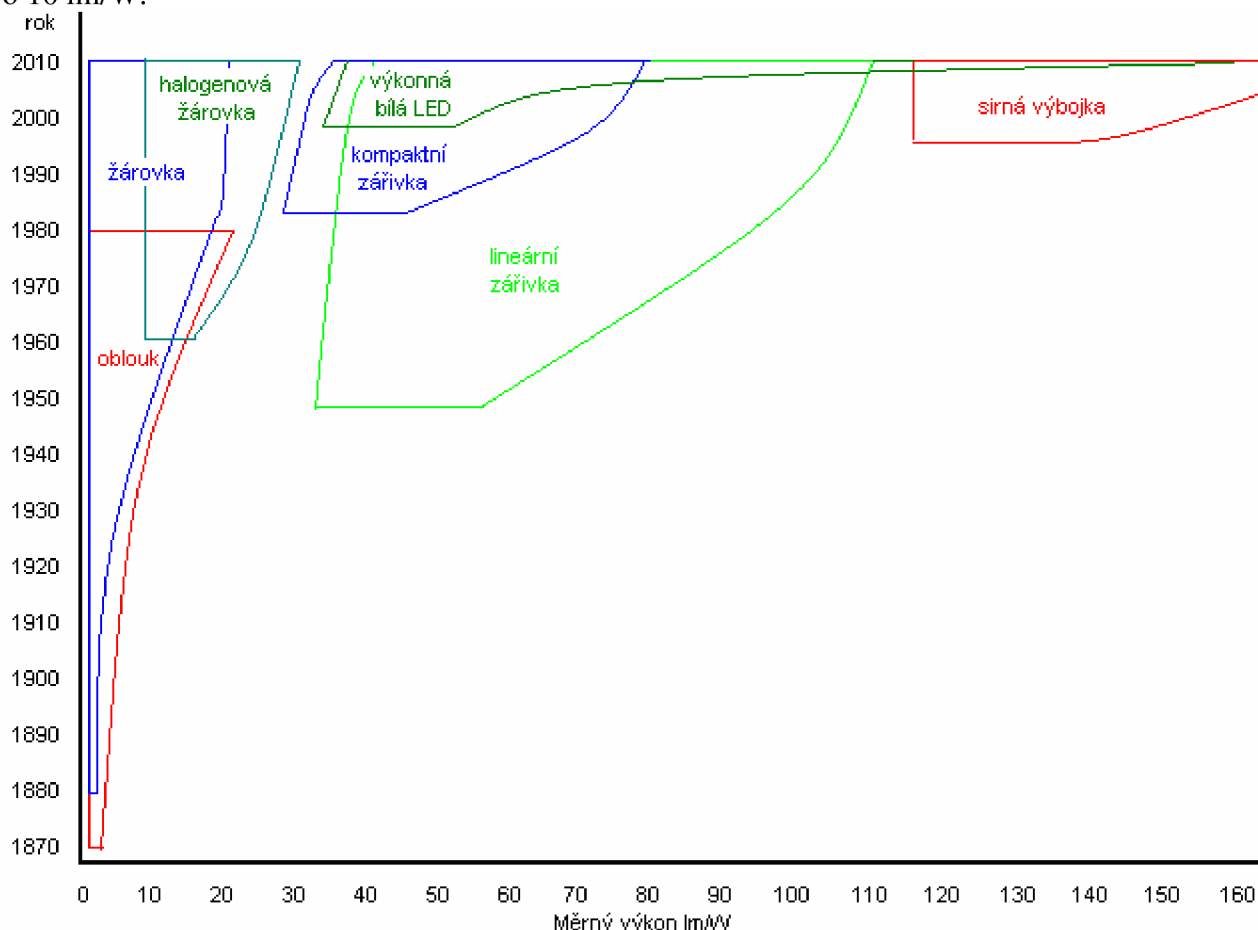
Graf 4-4 Porovnání z hlediska střední doby života a měrného výkonu – reálné zdroje

Smyslem dalšího grafu - grafu 4-5 je poukázat na historický vývoj světelných zdrojů. Jejich přibližné nasazení do provozu a také jejich přibližný vývoj měrného výkonu v čase. Je z něho patrné, že u některých zdrojů byl vývoj a zvětšování měrného výkonu velmi pomalý, takřka lineární spolu s vývojem nových technologií a používání nových materiálů. Ale u nových moderních zdrojů, jako je například kompaktní zářivka, výkonná bílá LED nebo siriá výbojka spolu s technologickým vývojem, měrný výkon stoupá téměř exponenciálně. Dnes se nacházíme v roce 2010 a prozatím nelze s dostatečně velkou přesností určit budoucí vývoj a hlavně meze, kterých se dá s jednotlivými světelnými zdroji dosáhnout. Každý světelný zdroj má svoje limity, které nelze za běžných podmínek překročit. Tyto limity především dosaženého měrného výkonu nelze překročit hlavně kvůli předem danému transformačnímu řetězci, kde jednotlivé transformační pochody jsou vždy ztrátové. A kvůli nedokonalosti „reálnosti“ používaných materiálů nelze tyto ztráty snížit na nulu. Dalším limitujícím faktorem je použití ztrátových předřadných systémů, kde i když se poslední dobou používají polovodiče a spínané zdroje, nelze opět ztráty při transformacích energií snížit na nulu.

Takže se dá předpokládat, že účinnost u dnes používaných nových světelných zdrojů se již nebude tak radikálně zvyšovat jako doposud. A jak již bylo napsáno s největší pravděpodobností lze očekávat objevy nových zdrojů na organické bázi nebo na atomárním či subatomárním principu, ale v dnešní době lze tyto úvahy zařadit spíše do sci-fi.

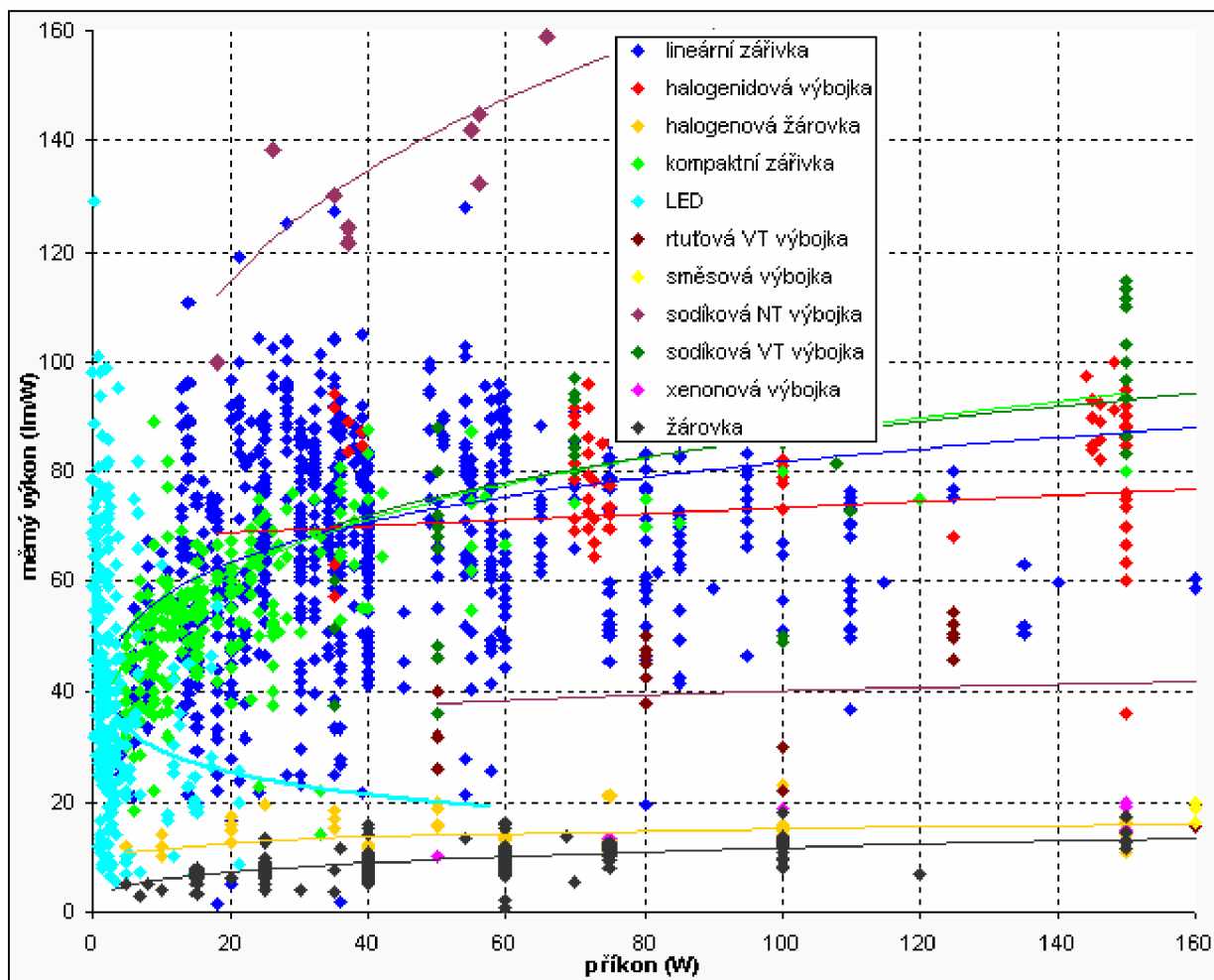
Lineární zářivky dle veškerých odhadů se již nacházejí na svém vrcholu a žádný další vývoj a zlepšování provozních parametrů u nich očekávat nelze, pouze mírné snižování ztrát použitím elektronických předřadníků náhradou za současné indukční. U kompaktních zářivek je situace podobná, sice se neustále pracuje na jejich „kompaktnějším“ designu, menších a

účinnějších předřadných systémech, ale stejně jako u lineárních zářivek se i u kompaktních pravděpodobně dospělo k jejich technickému vrcholu. Teplotní zdroje svého technického vrcholu již také dosáhly. Největší očekávání jsou u LED a výbojek, z nichž asi nejúspěšnější jsou halogenidové díky svým příznivým parametrům a postupně vytlačují ostatní. LED mají ze světelných zdrojů v současné době nejbouřlivější vývoj, statistika uvádí, že každý rok se jmenovitý výkon u nově vyráběných typů zvyšuje o zhruba 1,5 násobek a měrný výkon stoupá o 10 lm/W.



Graf 4-5 Porovnání světelných zdrojů z hlediska historie použití a dosaženého měrného výkonu

Z hlediska vhodného výběru konkrétního světelného zdroje byl vytvořen Graf 4-6, který znázorňuje dosažený měrný výkon na jmenovitém příkonu. Takže v jistém smyslu přímo vyjadřuje účinnost přeměny elektrické energie na světlo, závislost mezi příkonem a výkonem. Je vytvořen opět z elektronické databáze reálných světelných zdrojů. Díky tomuto grafu se lze velmi snadno rozhodnout, který zdroj zvolit, při nám známém příkonu a námi požadovaném měrném výkonu. Dále tento graf velmi názorně znázorňuje zvyšování měrného výkonu na příkonu zdroje pomocí vnesených trendů. Tato závislost je u většiny zdrojů exponenciální. Nicméně jedinou výjimkou jsou LED, které při vzrůstajícím instalovaném příkonu mají nižší dosažitelný měrný výkon a tím i nižší účinnost přeměny elektrické energie na světlo. Graf bohužel není vyneseno pro celý rozsah instalovaných příkonů (pouze do 160 W) a tím pádem v něm nejsou zohledněny výkonné zdroje – výbojky, jejichž instalovaný příkon dosahuje až řádu desítek kW.



Graf 4-6 Porovnání z hlediska měrného výkonu a instalovaného příkonu – reálné zdroje

4.2 Komparace kompaktních zářivek

Mezi největší světové výrobce kompaktních zářivek patří firmy Philips, General Electric, Osram, Sylvania a případně i Narva a Spectrum. Na světě existuje velké množství firem vyrábějící kompaktní zářivky, většina z těchto firem je převážně soustředěna ve východní a jihovýchodní Asii. Výčet těch hlavních a dominantních je obsahem *tabulky 4-2*. Jsou zde pouze ti výrobci, kteří se přímo zabývají výrobou a kompletováním kompaktních zářivek. Existuje nepřehledné množství těch, kteří vyrábějí pouze jednotlivé buď mechanické nebo elektrické komponenty.

Země	Dominantní firmy v zemi
Austrálie	Generator Sales Australia; Choice Electric Co.;
Kanada	Sage Lighting Ltd.; Aurora Lighting Technologies Inc.; Canstar General Trading Inc.
Čína	Zhejiang Jingri Lighting Technology Co., Ltd. ;Everred Technology Ltd. ;
Indie	Melux Controlgears P. Ltd.; Prompt Renewables; Ajmera Industrial & Engg. Works.
Korea	Keosan Enterprise Co.
Malajsie	AEC Asia Sdn Bhd; Homerica Decoration Sdn Bhd;
Filipíny	Electrobrain Enterprises; Progressive GM&S Co., Inc.
Taiwan	Mustang industrial Corp.; Taiwan Energy Saving Industries Ltd

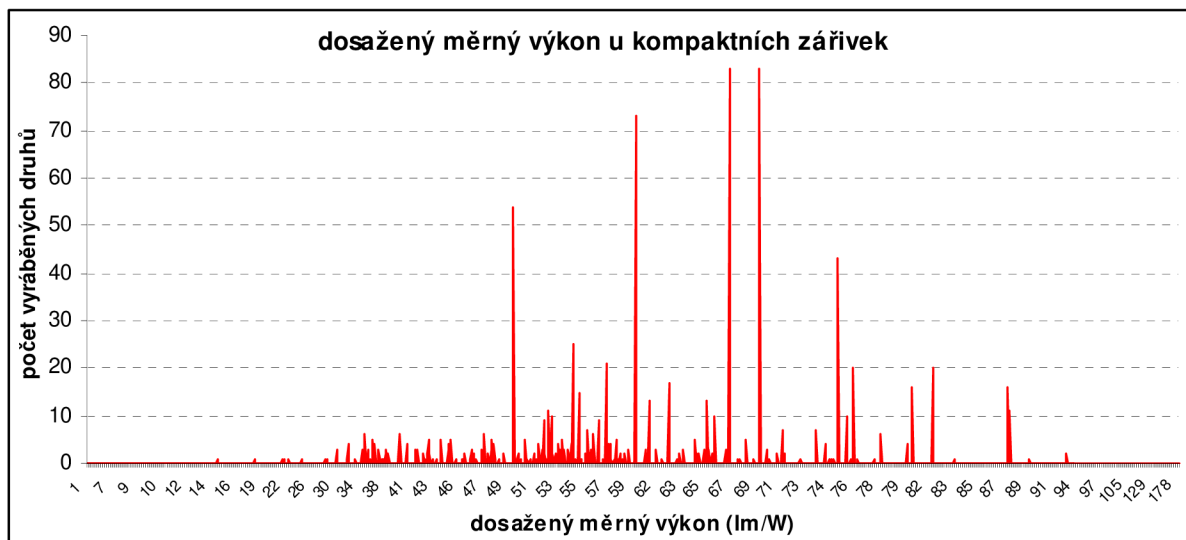
Tab.4-2 Výrobce kompaktních zářivek ve světě

Je třeba také uvést, že i uvedených šest hlavních dominantních výrobců kompaktních zářivek má své výrobní jednotlivých komponentů také ve státech východní a jihovýchodní Asie. Například většina skleněných trubic pro tyto zářivky jsou vyráběny v Číně, kde je velmi levná pracovní síla a také rozvinutý průmysl pro zpracování olova a rtuti. Elektronika předřadníků je

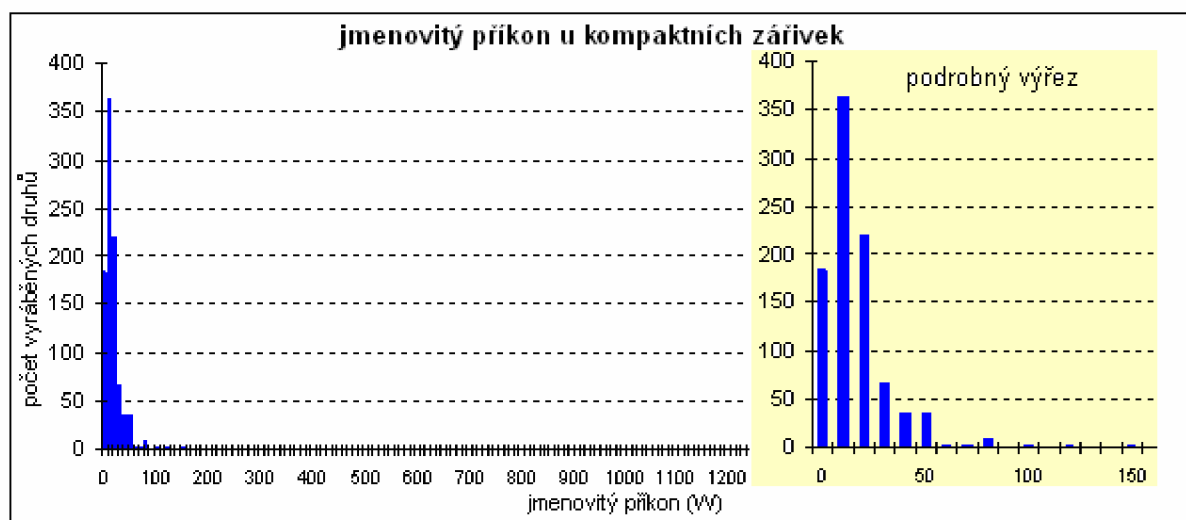
opět vyráběna v Asii a to převážně na Taiwanu a Filipínách. Z tohoto důvodu jsou kompaktní zářivky vyráběné dominantními výrobci k dostání na našem trhu s takřka totožnými provozními parametry a jen velmi malé množství jednotlivých modelů svými hodnotami značně vybočuje.

Jak již bylo napsáno, kompaktní zářivky se prodávají s integrovaným předřadníkem nebo předřadníkem externím. Bohužel značení příkonu těchto zářivek je zpravidla stejné. Tudíž je třeba rozlišovat, zda se jedná o kompaktní zářivku s integrovaným předřadníkem, jejíž výsledný měrný výkon je zpravidla nižší než u kompaktní zářivky, kde je počítán bez ztrát na předřadníku.

Úkolem grafů 4-7 a 4-8 je snaha graficky znázornit počty vyráběných druhů (rozdílných typů) kompaktních zářivek v závislosti na měrném výkonu a jmenovitém příkonu.



Graf 4-7 Distribuace počtu vyráběných typů kompaktních zářivek dle měrného výkonu



Graf 4-8 Histogram počtu vyráběných typů kompaktních zářivek dle jmenovitého příkonu

Z grafu 4-7 je patrné, že nejvyšší počet vyráběných druhů kompaktních zářivek dosahuje měrného výkonu od 51 do zhruba 76 lm/W. A podle vytvořeného histogramu 4-8 po 10 W je nejvíce kompaktních zářivek vyráběno od jmenovitého příkonu 10 do 30 W. Po 50 W se objevuje jen omezený počet vyráběných typů.

a) typický příkon – výrobci

Typický příkon (W)	GE	narva	osram	philips	Spectrum	sylvania	Celkový součet
3,00			1				1
5,00	3		9	10		17	39
6,00				1		7	8
7,00	3		11	5		30	49
8,00			2	12		2	16
9,00	8	3	11	10	5	33	70
10,00	8		9	6	1	10	34
11,00	7	3	12	14	6	38	80
12,00	2		2	6		2	12
13,00	11		12	12	4	12	51
14,00	3		1	2			6
15,00	12	3	6	6	1	40	68
16,00			6	13			19
18,00			23	24	6	39	92
20,00	14	3	7	11	2	23	60
21,00	1		2				3
22,00						1	1
23,00	5	3	1	8		14	31
24,00			13	8	3	9	33
25,00				1			1
26,00	22		14	16	5	19	76
27,00	1			2			3
28,00	1		4	7			12
29,00	1						1
30,00	1						1
32,00	1		6	8		6	21
33,00	2			2			4
36,00			11	11	2	8	32
38,00	1		2	4			7
39,00	1						1
40,00			7	2		5	14
42,00	1		6	8		6	21
55,00	2		9	9		5	25
57,00			2	8			10
60,00			1	1			2
70,00			3				3
80,00			4	2			6
85,00				2			2
100,00			3				3
120,00			2	1			3

b) NTCH - Ra

NTCH (K)	59	67	70	76	78	80	82	85	89	Celkový součet
2500			9							9
2700					161		88	5		254
3000							3		48	51
3050										1
3450	1									1
3500									17	17
4000								5	87	92
6000								5	29	34
6500							8	2		10
9325		1								1

c) NTCH – střední doba života

NTCH (K)	5000	6000	7500	8000	10000	12000	15000	50000	Celkový součet
2500				9					9
2700	6	76		48	31	25	50		236
3000				1	15		35		51
3050			1						1
3450			1						1
3500							17		17
4000	3	16		8	13	5	38		83
6000		2		5		5	23		35
6500		5		6		1	5		17
9325					1				1

Tab.4-3 Kontingenční tabulka základních parametrů u kompaktních zářivek

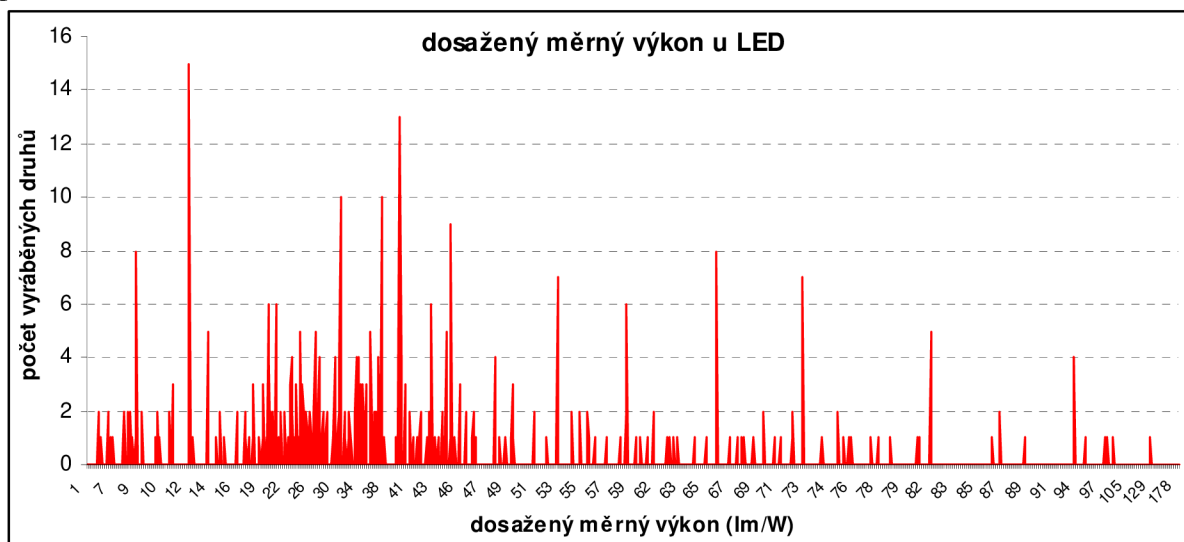
Kontingenční tabulka 4-3 vytvořená z dat přílohy elektronické databáze obsahuje počty jednotlivých vyráběných druhů – typů kompaktních zářivek dle nadepsaných parametrů a kritérií. Lze ji velmi výhodně využít při hledání konkrétního druhu dle zadaných parametrů.

4.3 Komparace LED

V současné době prozatím trhu dominuje jeden výhradní výrobce výkonných svítivých diod – firma Philips s diodami Luxeon. Takže skoro veškeré zpracované výsledky z oblasti hodnocení výkonných svítivých diod jsou od výrobce Philips. Pouze několik diod na našem trhu je pro porovnání od japonského výrobce Nichia, či firmy Osram nebo Spectrum. Svítivé diody od těchto výrobců jsou vyráběny zpravidla s integrovanou optikou pro usměrnění světelného toku do určitého prostorového úhlu a s možností přidání další optiky. Jak již bylo napsáno, tak pro osvětlení interiéru je prioritně využíváno bílých výkonných diod, ale vyrábějí se také barevné varianty, taktéž s totožnými příkony a provedením jako bílé.

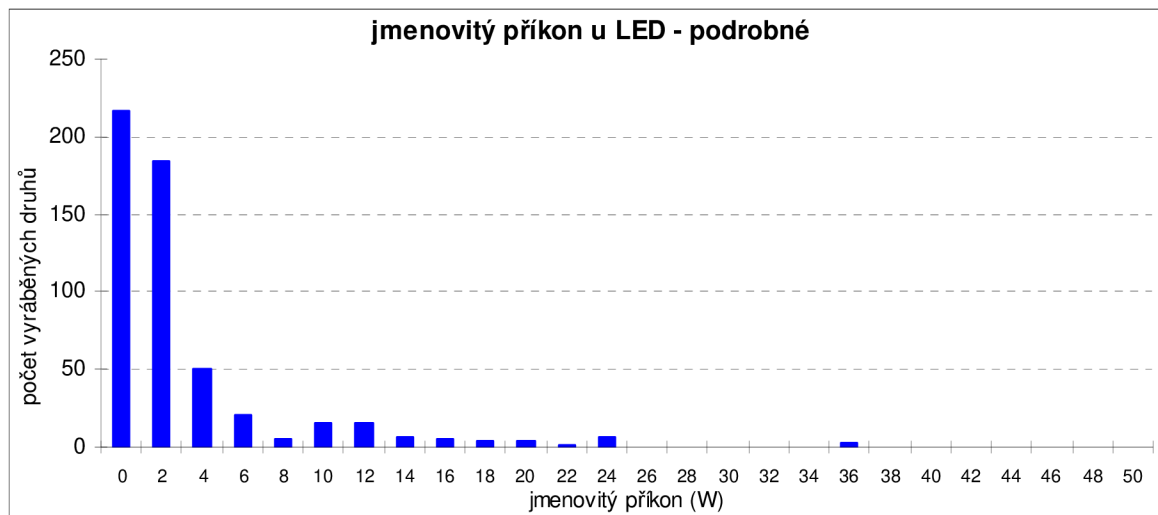
Značným specifíkem LED je značný rozdíl dosahovaného měrného výkonu u různých typů, různých provedení pro jednu příkonovou hladinu. Je to dáno typem hodnocené LED, kvalitou jejího luminoforu, technologií výroby a hlavně výrobními náklady. Zpravidla nové, modernější diody dosahují měrného výkonu vyššího než 60 lm/W. Staré modely LED jsou hlavně nabízeny díky své nižší prodejní hodnotě. Na rozdíl od kompaktních zářivek, u který zpravidla měrný výkon stoupá se stoupajícím příkonem je u LED situace opačná. Zatím není z technologického hlediska problém vyrábět LED s nízkými příkony a vysokými hodnotami dosaženého měrného výkonu. Nicméně u výkonných diod je dosahováno menších měrných výkonů, čemuž napomáhá složitější technologie výroby a větší zahřívání polovodiče (nižší účinnost). Této problematice je již věnována zmínka v *grafu 4-6* a dokonce byla tato závislost prokázána již laboratorním měření, které tvoří Přílohu B této práce. Kde měřená svítivá dioda při napájení nižším příkonem (proudem) vykazovala vyšší účinnost (až 3x) přeměny elektrické energie na světlo, než byla naměřena při jmenovitých hodnotách napájení.

Opět stejně jako u kompaktních zářivek je úkolem *grafů 4-9* a *4-10* znázornit počty vyráběných rozdílných typů LED v závislosti na dosahovaném měrném výkonu a jmenovitém příkonu.



Graf 4-9 Distribuce počtu vyráběných typů kompaktních zářivek dle měrného výkonu

Z grafu je patrné celé spektrum dosahovaných měrných výkonu u LED, největší zastoupení má oblast od 20 do 50 lm/W. Tento velký rozkmit dosahovaných měrných výkonů má za následek již zmíněná problematika, že účinnost přeměny elektrické energie na světlo může být u různých typů LED s přibližně stejným jmenovitým příkonem rozdílná až o řád.



Graf 4-10 Histogram počtu vyráběných typů LED dle jmenovitého příkonu

Graf 4-10 poukazuje na fakt, že většina výkonných LED se vyrábí s příkonem do 5 W. Nad 5 W se jednotlivé LED vyskytují pouze velmi výjimečně a nebo jsou tvořeny několika jednotlivými diodami buď v sériovém nebo paralelním zapojení podle typu použitého předřadníku.

b) NTCH – Ra

NTCH (K)	79	83	85	89	93	Celkový součet
2700	1					1
3000	7					7
3100	29					29
3300			3			3
3500		12				12
3700						
4000			27			27
4100			20			20
4700				4		4
5000						
5400						
5500				19		19
5600						
5700						
6500					29	29

c) NTCH – střední doba života

NTCH (K)	0	50000	100000	(Prázdné)	Celkový součet
2700		1			1
3000		1	6		7
3100	22	7			29
3300			3		3
3500	13	1			14
3700				36	36
4000	27	2		22	51
4100		14	6		20
4700	4			1	5
5000		1			1
5400				34	34
5500			19		19
5600		1			1
5700		1			1
6500		16	13		29

Tab.4-4 Kontingenční tabulka základních parametrů u LED – část A

Kontingenční tabulky 4-4 udávají přehled v jednotlivých typech současně vyráběných svítivých diod s rozlišením na jednotlivé výrobce. V podstatě tvoří podrobný přehled dat zobrazených v grafech 4-9 a 4-10.

a) typický příkon - výrobci :

Typický příkon (W)	Nichia	Osram	Philips	Spectrum	Celkový součet
0,064	16				16
0,102	4				4
0,155	1				1
0,204	2				2
0,28	2				2
0,33	2				2
0,375				1	1
0,384	2				2
0,48	5				5
0,525	7				7
0,735	2				2
0,8				1	1
0,99	4				4
0,9975			11		11
1				25	25
1,0325			15		15
1,08				6	6
1,1				1	1
1,12			8		8
1,155	2				2
1,19	2				2
1,197			31		31
1,2				6	6
1,225	2				2
1,26	4				4
1,295	2				2
1,5				39	39
1,8				6	6
1,92				5	5
1,925	2				2
2				2	2
2,03			6		6
2,1			1		1
2,2				4	4
2,205			41		41
2,38			5		5
2,4				27	27
2,45	4		7		11
2,52			9		9
2,695			4		4

Typický příkon (W)	Nichia	Osram	Philips	Spectrum	Celkový součet
2,73			12		12
3				18	18
3,2		2			2
3,5			10	24	34
3,6				3	3
3,675	2				2
3,84				1	1
4		6			6
4,13			12		12
4,32				1	1
4,788			16		16
4,8				2	2
5				3	3
5,04			4		4
5,39			3		3
5,46			2		2
5,76				1	1
6				6	6
6,3			2		2
6,615			9		9
7			3		3
9				2	2
10				1	1
10,8				6	6
11				2	2
11,9			6		6
12				2	2
12,6			4		4
14				9	9
14,4				6	6
14,7			8		8
15				2	2
16,2				1	1
17			4		4
18				4	4
21			3	1	4
21,6				1	1
23,04				1	1
24				6	6
36				2	2
57,6				1	1

Tab.4-4 Kontingenční tabulka základních parametrů u LED – část B

4.4 Komparace ostatních světelných zdrojů

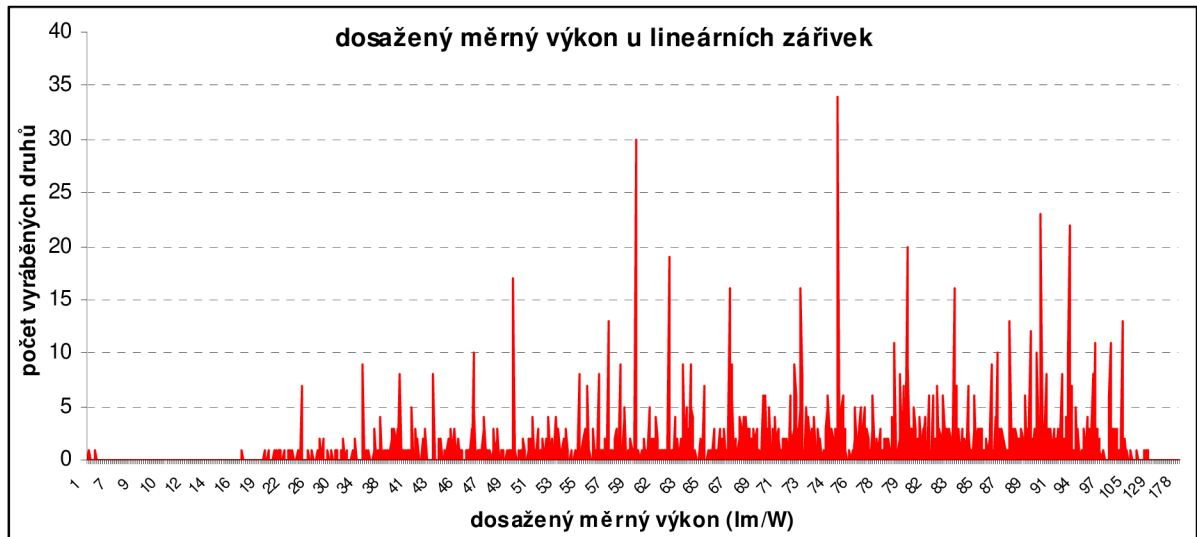
Ostatní světelné zdroje stejně jako již podrobně popsané kompaktní zářivky a svítivé diody se vyrábějí v různých variantách – typech s různými provozními parametry. Z těchto parametrů je pro tuto práci nejvíce důležitý měrný výkon. K tomu účelu slouží grafy 4-11 až 4-19, které pomocí distribuce počtu vyráběných typů jednotlivých světelných zdrojů znázorňují dosažený měrný výkon. A úkolem grafů 4-20 až 4-27 je pomocí histogramů (po 10 W kromě podrobně zobrazených) znázornění počtu vyráběných typů v závislosti na dosahovaném jmenovitém příkonu. Kontingenční tabulky vytvořené pro tyto zdroje, které zobrazují podrobné počty vyráběných druhů jednotlivých světelných zdrojů dle dosažených technických parametrů, tvoří přílohu této práce.



Graf 4-11 Distribuce počtu vyráběných typů žárovek dle měrného výkonu



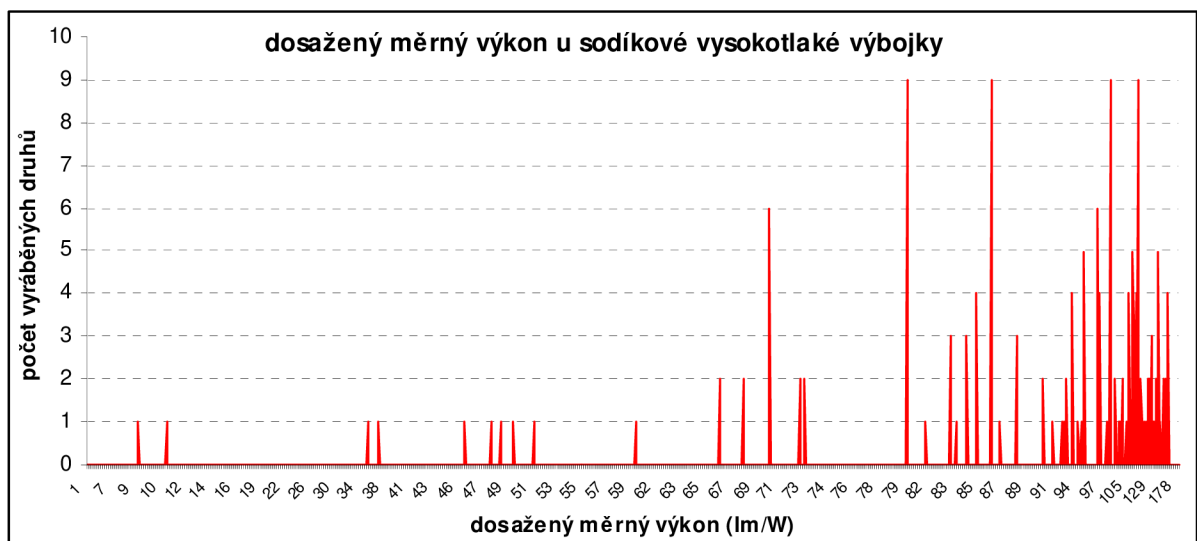
Graf 4-12 Distribuce počtu vyráběných typů halogenových žárovek dle měrného výkonu



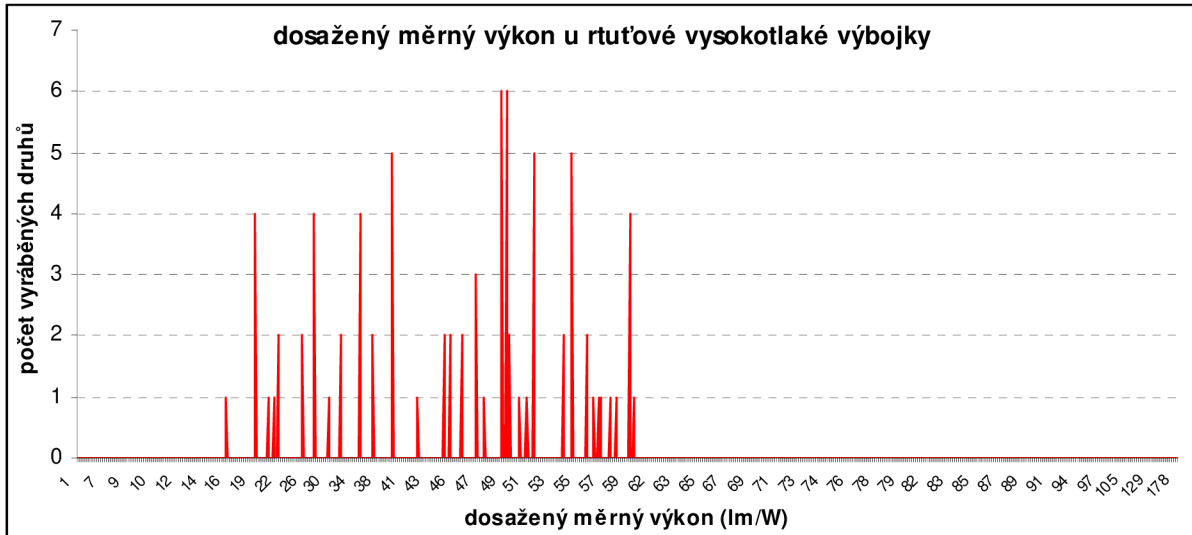
Graf 4-13 Distribuce počtu vyráběných typů lineárních zářivek dle měrného výkonu



Graf 4-14 Distribuce počtu vyráběných typů sodíkových nízkotl. výbojek dle měrného výkonu



Graf 4-15 Distribuce počtu vyráběných typů sodíkových vysokotl. výbojek dle měrného výkonu



Graf 4-6 Distribuce počtu vyráběných typů rtuťových vysokotl. výbojek dle měrného výkonu



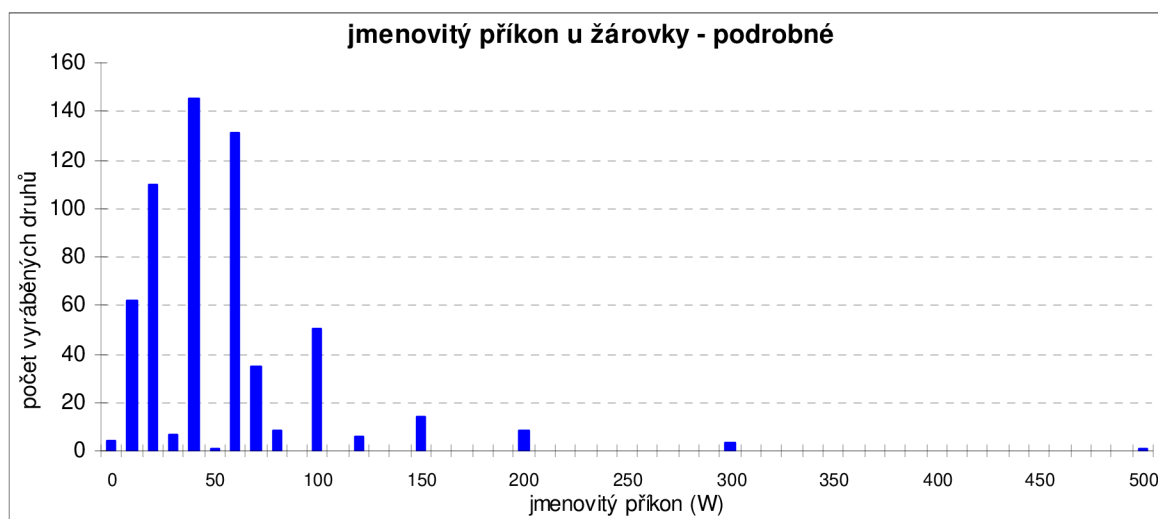
Graf 4-17 Distribuce počtu vyráběných typů směšových výbojek dle měrného výkonu



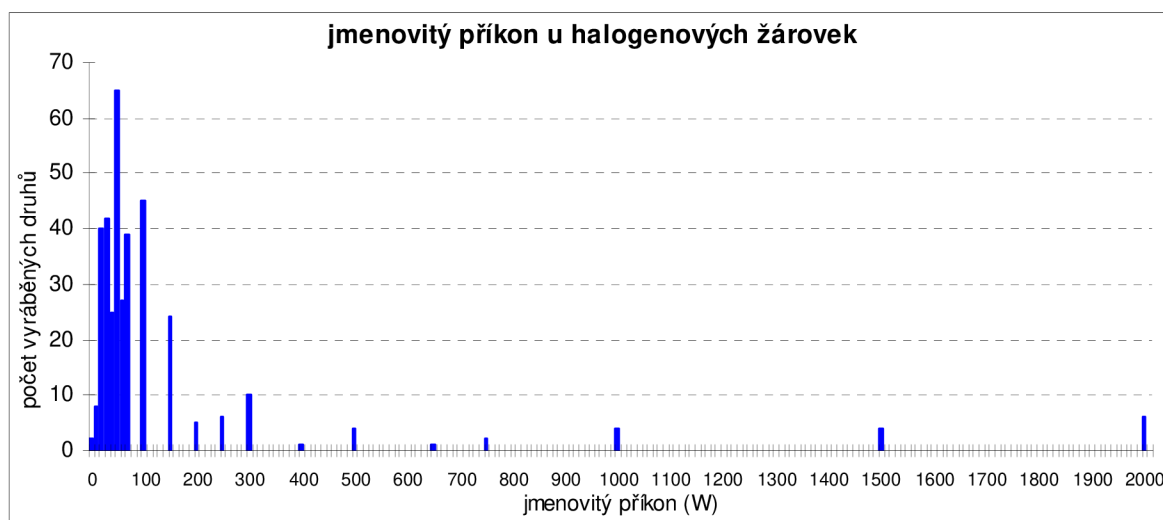
Graf 4-18 Distribuce počtu vyráběných typů xenonových výbojek dle měrného výkonu



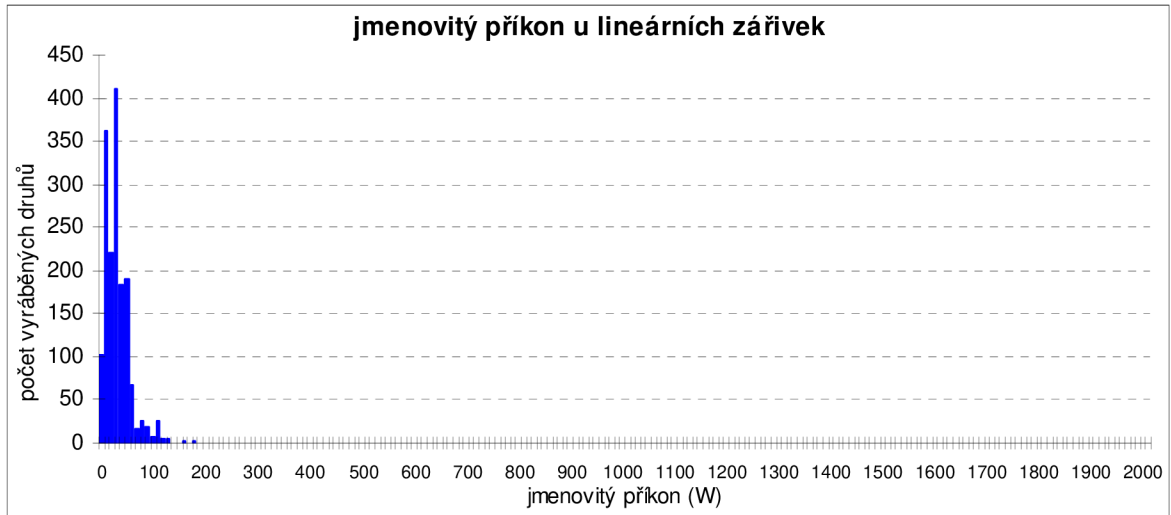
Graf 4-19 Distribuce počtu vyráběných typů halogenidových výbojek dle měrného výkonu



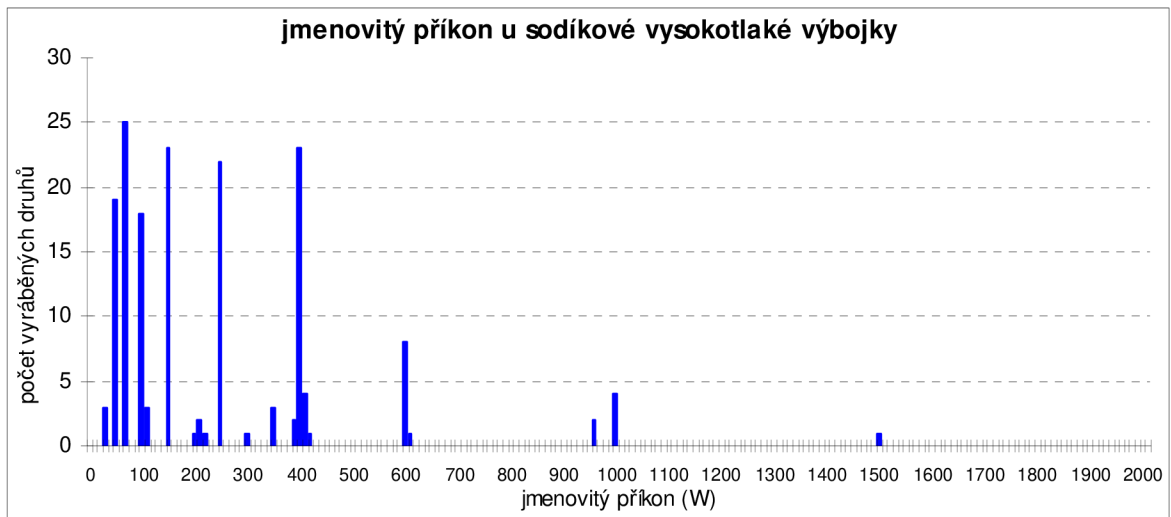
Graf 4-20 Histogram počtu vyráběných typů žárovek dle jmenovitého příkonu



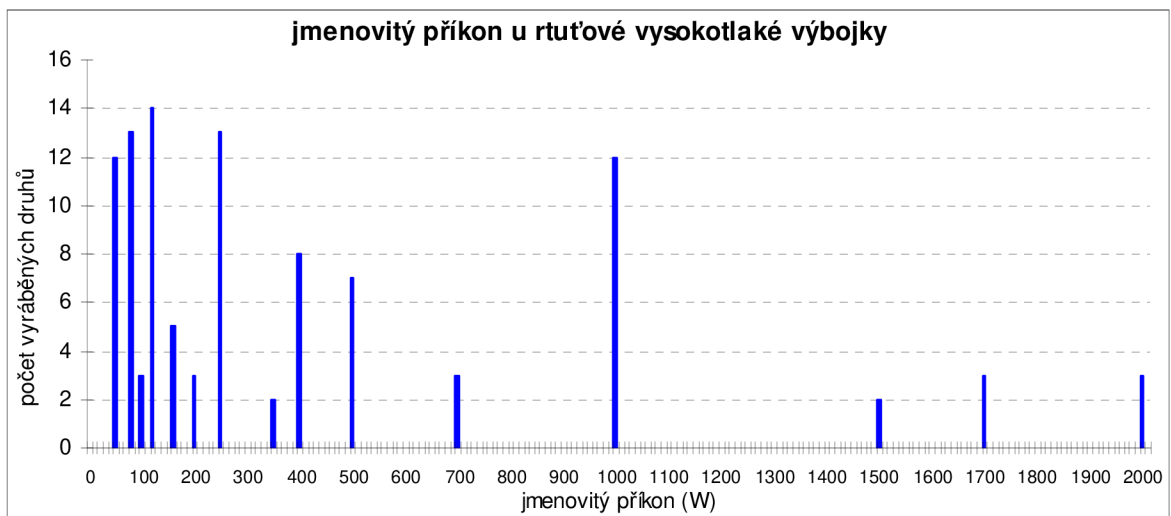
Graf 4-21 Histogram počtu vyráběných typů halogenových žárovek dle jmenovitého příkonu

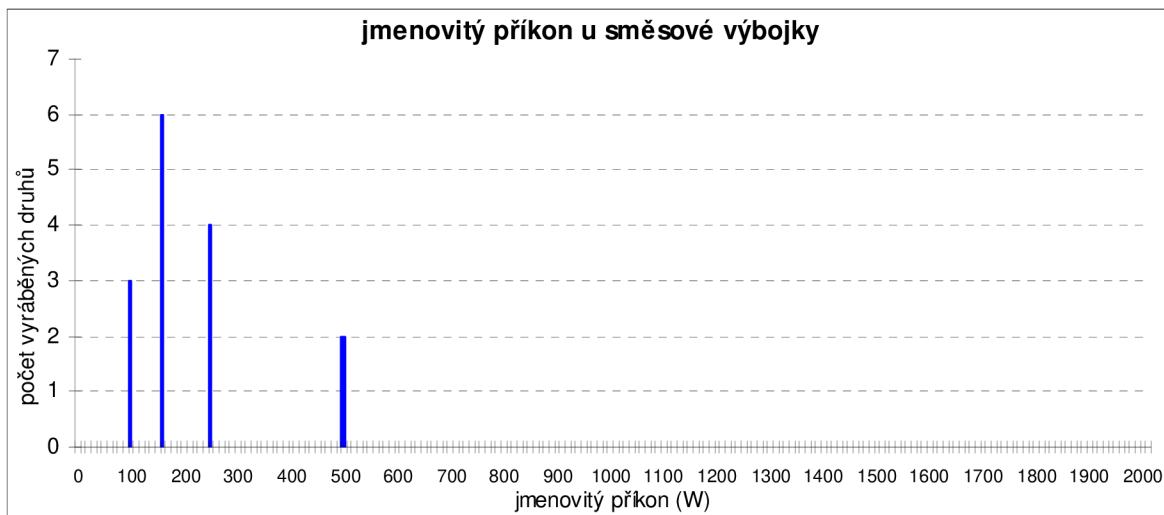


Graf 4-22 Histogram počtu vyráběných typů lineárních zářivek dle jmenovitého příkonu

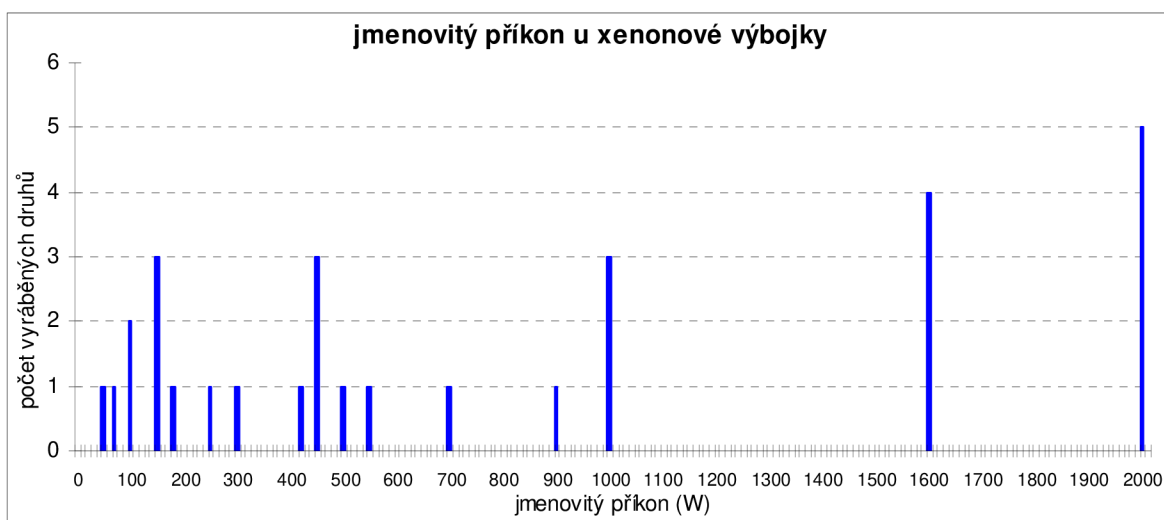


Graf 4-23 Histogram počtu vyráběných typů sodíkových vt. výbojek dle jmenovitého příkonu





Graf 4-25 Histogram počtu vyráběných typů směsových výbojek dle jmenovitého příkonu



Graf 4-26 Histogram počtu vyráběných typů xenonových výbojek dle jmenovitého příkonu



Graf 4-27 Histogram počtu vyráběných typů halogenidových výbojek dle jmenovitého příkonu

5 ZÁVĚR

Ve vypracované práci byla nastíněna současná situace ve vývoji, použití a dosahovaných provozních parametrů světelných zdrojů. Součástí práce je také popis nových trendů ve vývoji s pravděpodobným výhledem do budoucnosti. Každý ze zástupců světelných zdrojů byl podrobně popsán se zaměřením na jeho vývoj od počátku použití na osvětlování. Byly shrnuty výhody a nevýhody jejich použití, možnosti jejich uplatnění a popis jejich konstrukce (rozměry apod.). Ale hlavně byly popsány dosahované provozní parametry, především pak dosahovaný měrný výkon, který přímo souvisí s výslednou účinností přeměny elektrické energie na světlo, což bylo cílem této práce. Byl zde také uveden popis samotné transformace elektrické energie na světlo, včetně vzniklých ztrát. K vytvoření reálného pohledu na provozní vlastnosti a skutečný rozsah parametrů byla vytvořena rozsáhlá databáze jednotlivých typů světelných zdrojů se všemi dostupnými katalogovými údaji. V současné době obsahuje přibližně na 4800 jednotlivých položek. Z těchto zpracovaných katalogových údajů byly stanoveny charakteristické rozsahy parametrů, jenž jsou uvedeny u každého světelného zdroje. Největší pozornost byla věnována popisu dnes stále více používaných kompaktních zářivek, indukčních výbojek a LED.

Ze zmíněné rozsáhlé databáze byla vytvořena komparace jednotlivých druhů světelných zdrojů. Nejprve podrobné porovnání u kompaktních zářivek a LED se zaměřením na poukázání rozdílů nabízeného sortimentu od jednotlivých výrobců. Byly zde také vytvořeny histogramy počtu vyráběných typů zdroje dle jmenovitého příkonu a také distribuce počtu jednotlivých typů zdroje dle dosahovaného měrného výkonu s doplněním kontingenčních tabulek, které podrobně udávají počty vyráběných typů zdroje v závislosti na dalších provozních parametrech včetně dělení na jednotlivé výrobce. Pak následuje porovnání všech zdrojů jako celku a to jak graficky, tak textově. Grafické porovnání bylo vytvořeno jak z parametrů, které udává literatura a pak ze skutečných katalogových hodnot udávaných výrobcí – vygenerování z databáze. Vlastní komparace zdrojů z hlediska transformace elektrické energie na světlo byla provedena pomocí tabulky. Grafická porovnání jsou :

- Závislost dosaženého indexu barevného podání na měrném výkonu u jednotlivých zástupců světelných zdrojů
- Dosažené hodnoty střední doby života v závislosti na měrném výkonu
- Přibližný časový vývoj dosaženého měrného výkonu u dnes používaných světelných zdrojů
- A porovnání závislosti dosahovaného měrného výkonu a instalovaného příkonu u jednotlivých světelných zdrojů

Stejně jako u LED a kompaktních zářivek, jsou u všech zástupců světelných zdrojů vytvořeny histogramy počtu vyráběných typů zdroje dle jmenovitého příkonu a také distribuce počtu jednotlivých typů zdroje dle dosahovaného měrného výkonu. Tyto grafy poskytují velmi názorné vzájemné porovnání.

Pro ověření některých provozních parametrů bylo vytvořeno laboratorní měření křížových charakteristik kompaktních zářivek a LED. Postup měření, zpracování a naměřené výsledky jsou v Příloze B. Za zmínku stojí ověření vyšší účinnosti přeměny elektrické energie na světlo u LED při napájení nižším výkonem, než je jmenovitý.

Pro snadné měření provozních parametrů světelných zdrojů byly vyhotoveny laboratorní přípravky, jejichž popis a možnosti využití jsou popsány v Příloze A této práce.

5.1 Přínos práce

Jak bylo napsáno v úvodu, tak tato práce má posloužit jako ucelený přehled dnes používaných světelných zdrojů s nejdůležitějšími provozními parametry, včetně jejich vzájemné komparace. Ve vytvořené databázi světelných zdrojů se lze velmi snadno orientovat a pomocí různých výběrů lze vyhledávat zdroje dle požadovaných parametrů. A nakonec vytvořené laboratorní přípravky usnadní měření provozních parametrů běžných světelných zdrojů.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BARTOVSKÝ, T., Ministerstvo průmyslu a obchodu: *Často kladené dotazy k přechodu na úsporné žárovky*
<http://www.mpo.cz/dokument62171.html>
- [2] Ministerstvo průmyslu a obchodu: *Narřízení komise (ES) č. 244/2009 ze dne 18. března 2009*
<http://download.mpo.cz/get/39007/43694/525760/priloha002.pdf>
- [3] DVOŘÁČEK, V., TESLAMP Holešovice : *Nejnovější trendy v oblasti světelných zdrojů*
http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=22842
- [4] Kolektiv autorů, Wikipedia: *Světelný zdroj*, aktualizace : 26.10.2009 v 15:09
http://cs.wikipedia.org/wiki/Sv%C4%9Bteln%C3%BD_zdroj
- [5] Kolektiv autorů, Wikipedia: *Oblouková lampa*, aktualizace : 23.11.2009 v 14:23
http://cs.wikipedia.org/wiki/Obloukov%C3%A1_lampa
- [6] Kolektiv autorů, Wikipedia: *Arc lamp*, aktualizace : 3.12.2009 v 17:41
http://en.wikipedia.org/wiki/Arc_lamp
- [7] DVOŘÁČEK, V., S Lamp s.r.o, Světlo 2008/4 : *Světelné zdroje-obyčejné žárovky*
- [8] Kolektiv autorů, Wikipedia: *Žárovka*, aktualizace : 4.12.2009 v 00:15
<http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%BD%C3%A1rovka>
- [9] Kolektiv autorů, Wikipedia: *Incandescent light bulb*, aktualizováno : 8.12.2009 v 07:47
http://en.wikipedia.org/wiki/Incandescent_light_bulb
- [10] Kolektiv autorů, Answers.com, Wikipedia: *List of light sources*
<http://www.answers.com/topic/list-of-light-sources>
- [11] CART, Z., Elkomplex+ s.r.o., použití obrázků světelných zdrojů
<http://www.elkomplex.cz/eshop/index.php>
- [12] ShopSys®, SVITIDLA-LEVNE.CZ, použití obrázků světelných zdrojů
<http://www.svitidla-levne.cz/>
- [13] Kolektiv autorů, Wikipedia: *Halogen lamp*, aktualizace : 6.12.2009 v 04:31
http://en.wikipedia.org/wiki/Halogen_bulb
- [14] HOLOUBEK, J., : *Světelná technika a osvětlování*, FCC Public 1995,ISBN 80-901985-0-3
- [15] Kolektiv autorů, Wikipedia: *Zářivka*, aktualizace : 4.12.2009 v 00:13.
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Z%C3%A1%C5%99ivka>
- [16] Kolektiv autorů, Wikipedia: *Люминесцентная лампа*, aktualizováno 29.11.2009 v 02:31
http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D1%8E%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%81%D1%86%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BB%D0%B0%D0%BC%D0%BF%D0%B0
- [17] Kolektiv autorů, Wikipedia: *Fluorescent lamp*, aktualizace : 7.12.2009 v 21:28
http://en.wikipedia.org/wiki/Fluorescent_lamp
- [18] Kolektiv autorů, Wikipedia: *Compact fluorescent lamp*, aktualizace : 8.12.2009 v 15:42.
http://en.wikipedia.org/wiki/Compact_fluorescent_lamp

- [19] HOOKER, J., Lamptech : *Osram Endura Electrodeless Induction Lamp*
<http://www.lamptech.co.uk/Spec%20Sheets/Osram%20Endura.htm>
- [20] Production Media, Inc., Church production magazine, *Lighting Focus: New Lighting Technologies LIFI plasma lamps*
<http://www.churchproduction.com/go.php/article/8999>
- [21] JOHNSTON, C., Lamptech : *Electrodeless Microwave-Driven Sulphur Lamp*
<http://www.lamptech.co.uk/Spec%20Sheets/Sulphur.htm>
- [22] Plasma internacional : *PI-VLI Sulphur Plasma Light*
http://images.google.cz/imgres?imgurl=http://www.plasma-international.com/assets/site-graphics/Magenta_Filter.jpg&imgrefurl=http://www.plasma-international.com/sulphur-plasma-light.htm&usg=__y4BJUgvRxc_PyMWTF6Hj_OZ0vFc=&h=103&w=220&sz=4&hl=cs&start=14&um=1&tbnid=65YM2GjiPh-wsM:&tbnh=50&tbnw=107&prev=/images%3Fq%3Dsulphur%2Blamp%2Bspectrum%26hl%3Dcs%26lr%3D%26sa%3DG%26um%3D1
- [23] SULPHURPLASMA.COM : *SULPHUR PLASMA LIGHT*
http://images.google.cz/imgres?imgurl=http://www.sulfur-plasma.de/assets/site-graphics/lamp/lamp.jpg&imgrefurl=http://www.sulfur-plasma.de/sulphur-plasma.htm&usg=__xJ7SI8GuPxNB5Pn0BtjCv2ZMVY0=&h=120&w=180&sz=4&hl=cs&start=175&um=1&tbnid=TPOA_scQYA5qEM:&tbnh=67&tbnw=101&prev=/images%3Fq%3Dsulfur%2Blamp%2Bspectrum%26ndsp%3D18%26hl%3Dcs%26lr%3D%26sa%3DN%26start%3D162%26um%3D1
- [24] Svítidla a osvětlení Deltalight : *LED svítidla - nové trendy ve světelných zdrojích*, aktualizace : 9.06.2009
<http://www.svitidla-deltalight.cz/clanky/led-svitidla-nove-trendy-ve-svetelných-zdrojích>
- [25] Kolektiv autorů, Wikipedia: *LED*, aktualizace : 30.11.2009 v 15:37
<http://cs.wikipedia.org/wiki/LED>
- [26] Kolektiv autorů, Wikipedia: *Light-emitting diode*, aktualizace : 9.12.2009 v 17:46
http://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode
- [27] Philips Lumileds Lighting Company , products
<http://www.philipslumileds.com/>
- [28] Úspory VM : *SVĚTELNÉ ZDROJE*, aktualizace : 09.08.2009
http://usporovm.sweb.cz/verejne_osvetleni/svetelne_zdroje.htm

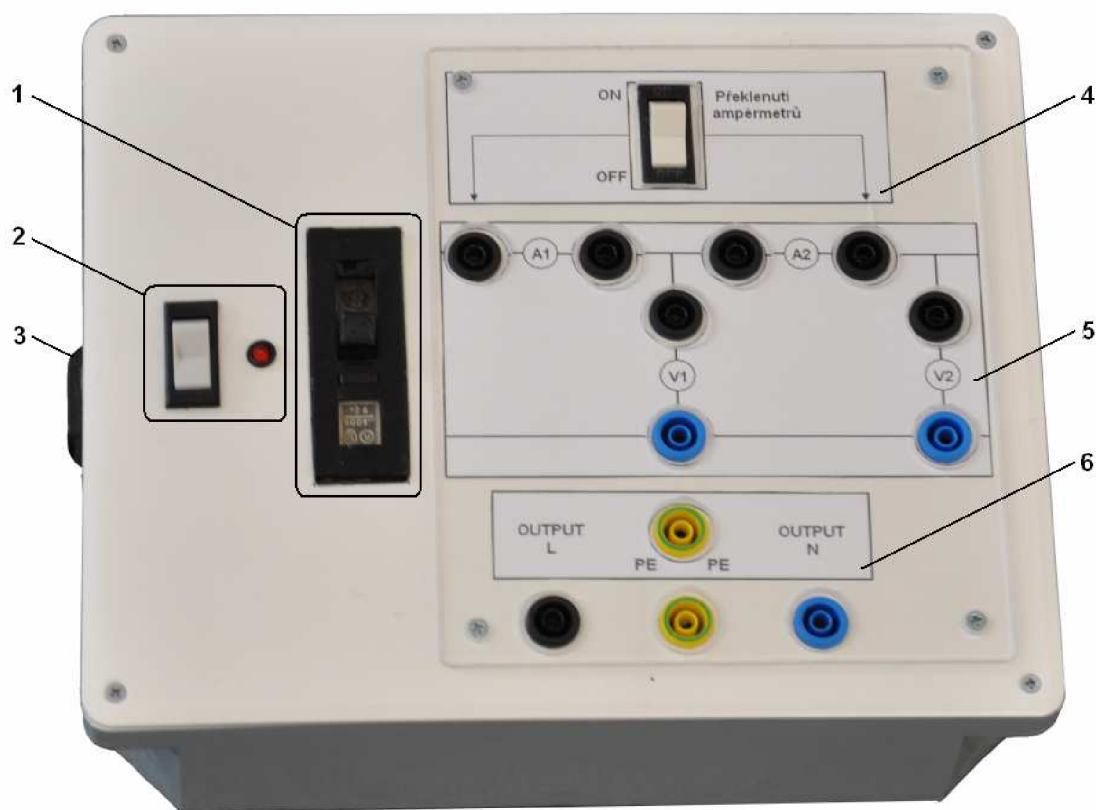
Příloha A

LABORATORNÍ PŘÍPRAVKY



Pro snadné měření světelných zdrojů v osvětlovací technice

1 UNIVERZÁLNÍ VSTUPNÍ MĚŘICÍ PŘÍPRAVEK



1.1 Popis

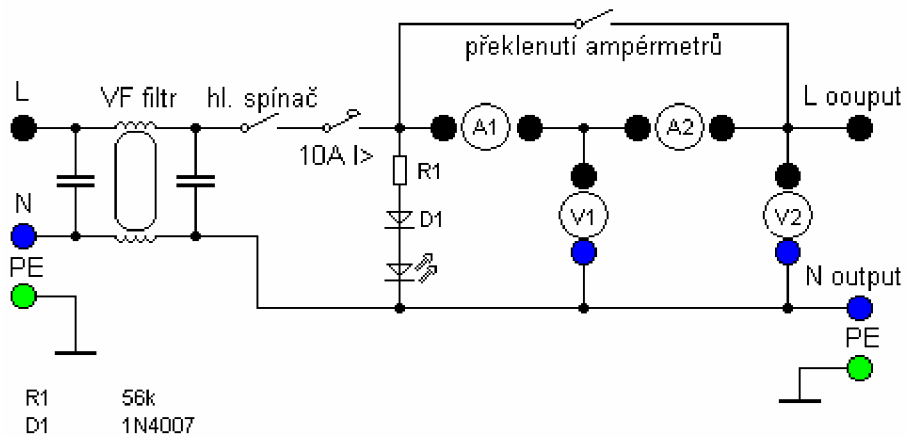
- (1) – nadproudová ochrana – proudový jistič 10 A
- (2) – hlavní spínač s LED signalizací
- (3) – vstupní konektor pro vidlici GSD3
- (4) – spínač překlenutí ampérmetrů
- (5) – měřicí panel
- (6) – výstupní panel

Technické parametry : maximální napájecí napětí 230 V AC/DC
 maximální napájecí proud 10 A

Vstupní měřicí přípravek umožňuje přes standardní přístrojovou šňůru s vidlicí GSD3 (3) připojení do sítě (230 VAC) nebo jiné napěťové úrovně, ale maximálně 230 V AC/DC. Je vybaven vstupní VF filtrem pro potlačení vlivu vysokofrekvenčních proudů vzniklých při měření na okolní síť a případnou ochranu napájecího zdroje. Ihned na vstupu je hlavní spínač s LED kontrolkou stavu (2) (upozornění – červená LED signalizuje pouze při napájení v rozsahu cca. 50 až 230 V AC/DC). Dále je přípravek vybaven nadproudovou ochranou – jističem 10 A (1), který má zabránit přetížení vnitřních komponentů – spínačů, kabelů, zdírek SBZ apod. Následuje již samostatná měřicí část (5), které obsahuje dvoje zdířky pro připojení voltmetrů a dvoje zdířky pro připojení ampérmetrů. Spínač překlenutí ampérmetrů (4) umožňuje překlenutí zdířek ampérmetrů

a tím i přímé připojení vstupního na výstup s vynecháním měření proudu. Samozřejmě je třeba počítat s tím, že pokud bude připojen pouze jeden ampérmetr, bude nutné svorky v místě připojení druhého zkratovat. Měřicí panel s dvojicí zdírek pro voltmetry a ampérmetry byl vytvořen pro případné připojení wattmetru. Výstup z měřicího panelu je vyveden na zdíčky výstupního panelu (6) a je vyveden také na 2 konektory GSD3 z pravého boku měřicího přípravku.

1.2 Principiální schéma zapojení



2 UNIVERZÁLNÍ PŘÍPRAVEK PRO MĚŘENÍ ŽÁROVEK, KOMPAKTNÍCH ZÁŘIVEK A VÝBOJEK



2.1 Popis

- (1) – dvě zkušební a měřicí porcelánové objímky se závitem E27 s přívodními zdířkami
- (2) – zkušební a měřicí patice pro kompaktní zářivky (G24) s přívodními zdířkami
- (3) – zkušební a měřicí patice pro kompaktní zářivky (G7) s přívodními zdířkami
- (4) – dvě zkušební a měřicí porcelánové objímka se závitem E14 s přívodními zdířkami
- (5) – zkušební a měřicí porcelánová objímka se závitem E40 s přívodními zdířkami

Technické parametry : maximální napájecí napětí 230 V AC/DC

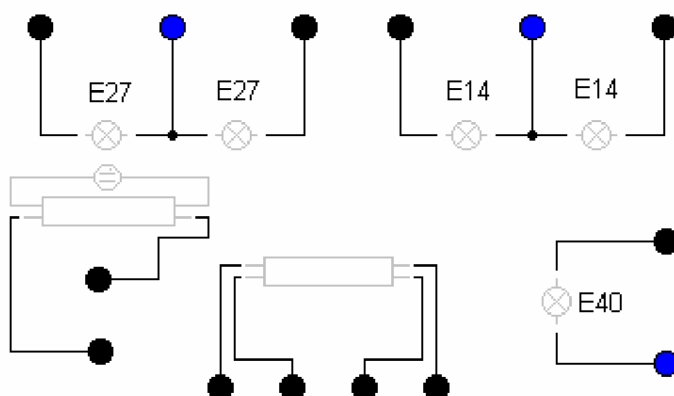
- výjimku tvoří (5), kde je počítáno s výbojkami, zapalovací napěťové špičky max. 5 kV

maximální napájecí proud 10 A

Přípravek umožňuje zkoušet a měřit světelné zdroje, jenž je možné „zašroubovat“ do dvou objímek se závitem E27 (1). Obě objímky mají závitový prstenec vyvedený do společné modré zdířky, spodní hroty zdroje jsou z objímek již odvedeny do rozdílných černých zdířek, díky tomuto uspořádání je možné jednotlivé světelné zdroje ovládat nezávisle na sobě. Platí zde malé omezení, není možné kvůli možnému přehřátí do porcelánových objímek vsadit žárovky o větším příkonu, než 200W. Pro kompaktní zářivky vsazované do těchto objímek žádné omezení neplatí,

jediné omezení je omezení rozměrové. Světelné zdroje je ovšem také nutné dostatečně dotahovat, aby se kontakty objímek nevypalovaly vzniklým přechodovým odporem a následujícími ztrátami. Stejně jako zkoušet a měřit světelné zdroje se závitem E27 umožňuje tento přípravek měřit dva nezávislé zdroje, opatřené závitem E14, opět jsou zde závitové prstence vyvedeny do společné modré zdířky. Do těchto objímek je možné umisťovat žárovky s příkonem do 60W včetně. Pro měření a zkoušení žárovek s příkonem 300, 500W a více je přípravek vybaven jednou objímkou se závitem E40 (5). Většina výbojek, jak sodíkových a rtuťových vysokotlakých, tak i halogenidových, pokud jsou vybaveny závitem, tak je jím právě závit E40. Hlavně z důvodu možného připojení těchto výbojek je počítáno se zapalovacími napěťovými špičkami (max. 5kV), takže vnitřní příводы k patici jsou vybaveny zvýšenou VN izolací. Čistě pro měření kompaktních zářivek bez integrovaného předřadného systému je tento přípravek vybaven dvojicí patic (2 a 3). V případě patice (2) se jedná o dvou pinové kompaktní zářivky například G24 a podobné a v případě patice (3) se jedná o čtyř pinové kompaktní zářivky například G7 apod. Jednotlivým paticím odpovídají zdířky přiřazené k jednotlivým paticím dle obrázku. Vždy je třeba brát v úvahu vznik možného přehřátí dlouhým provozem světelného zdroje v přípravku, z tohoto důvodu je nutné přípravek neustále kontrolovat kvůli případnému přehřátí jak samotných objímek a patic, tak kvůli měknutí plastu krabičky. Tento přípravek je konstruován tak, aby k podobným nehodám nedocházelo – minimální mechanický styk teplých částí s plasty, velké mezery pro chlazení a podobně, ale nelze je jednoznačně vyloučit.

2.2 Principiální schéma zapojení



3 PŘÍSLUŠENSTVÍ K MĚŘENÍ ZÁŘIVEK



3.1 Popis

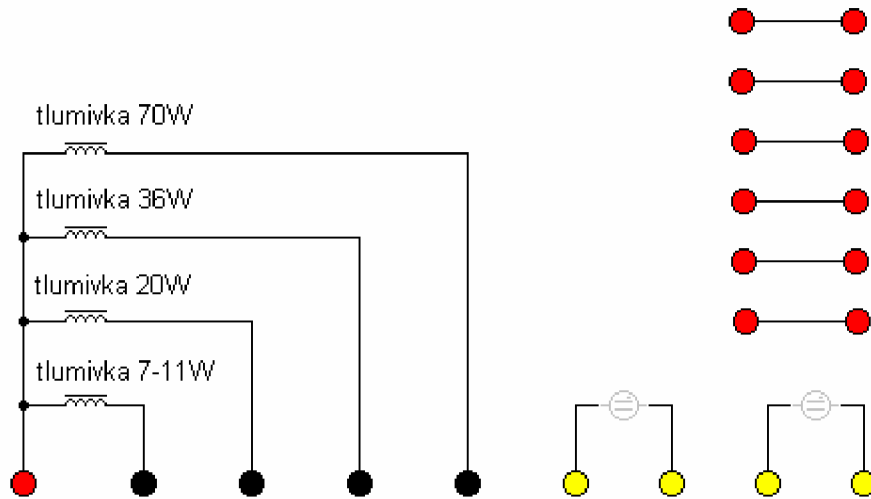
- (1) – upevňovací šrouby s maticí pro uchycení tlumivek, předřadníků, zapalovačů apod.
- (2) – výstupní svorky od integrovaných tlumivek 7-11W, 20W, 36W a 70W
- (3) – šest zdířek propojených se šesti svorkami pro snadné připojení externích zařízení
- (4) – dvě patice pro startéry s výstupními svorkami

Technické parametry : maximální napájecí napětí 230 V AC/DC
 maximální napájecí proud 10 A (proudové omezení u každé tlumivky označeno zvlášť)

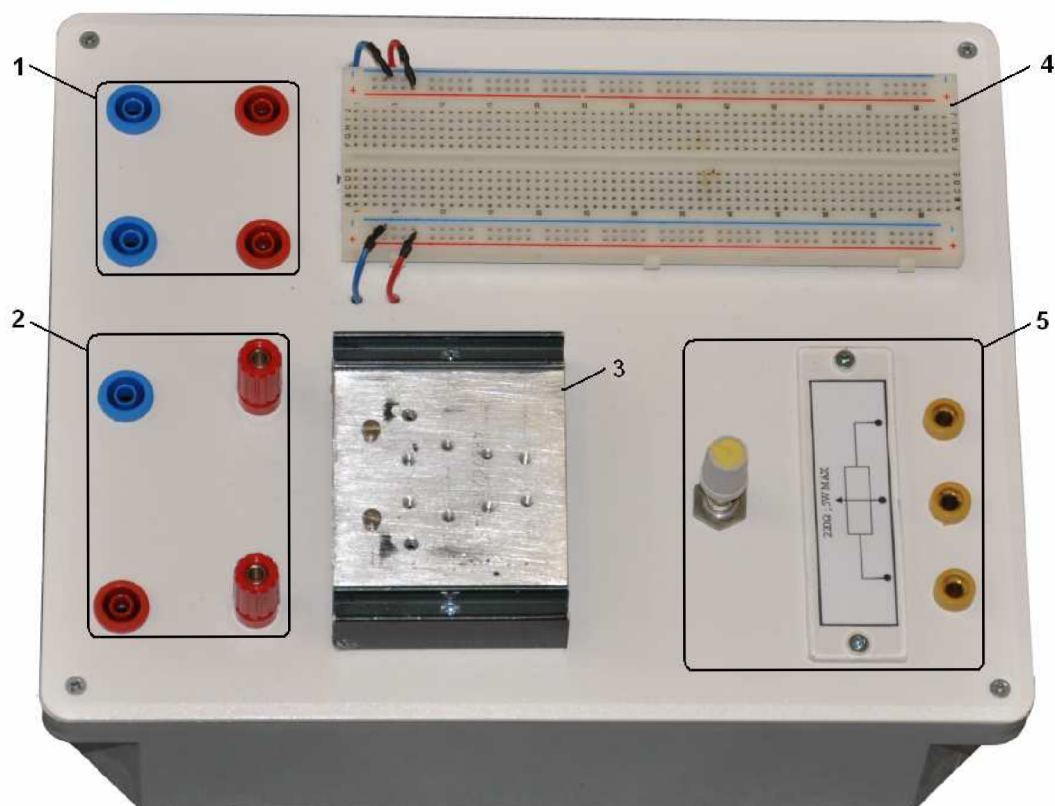
Tento přípravek obsahuje příslušenství nutné k měření zářivek, tedy tlumivky – případně jiné předřadné systémy a startéry. Na výstupních zdířkách (2) jsou vyvedeny vývody od tlumivek, které jsou uvnitř krabičky přípravku. Společný výstup všech tlumivek je vyveden do červené zdířky označené COM. Ostatní vývody jednotlivých tlumivek jsou vyvedeny do dalších čtyřech černých zdířek. U každé tlumivky je napsán příkon zářivky, ke které má být připojena a maximální hodnota proudu, která může tlumivkou protékat. Tlumivky jsou uvnitř přípravku sice pevně uchyceny a podložkami odděleny od dna krabičky přípravku, ale kvůli joulovým ztrátám na nich se oteplují a z důvodů znemožnění cirkulace vzduchu uvnitř přípravku by mohlo dojít k jejich přehřátí a poškození. Tudíž je nutné dodržet maximální stanovenou dobu provozu 30 minut, abych nedošlo k jejich poškození. Pomocí tohoto přípravku je možné připojit do obvodu i

dva startéry jejich vložením do patič (4). Šest zdířek propojených se šesti svorkami (3) slouží pro snadné připojení externích zařízení jako jsou elektronické předřadníky, indukční předřadníky (tlumivky), elektronické startéry a zapalovače pro výbojky. Externí zařízení se uchytí pomocí upevňovacích šroubů a matic (1) a následně se vodiči propojí se svorkami (3) výstup je možné brát z těchto svorek nebo z protilehlých zdířek.

3.2 Principiální schéma zapojení



4 PŘÍPRAVEK K MĚŘENÍ LED



4.1 Popis

- (1) – přívodní zdířky k nepájivému poli
- (2) – dvě zdířky propojené se dvěma svorkami pro snadné napájení externích diod na chladiči
- (3) – hliníkový chladič pro odvod tepla z externích svítivých diod
- (4) – nepájivé pole napájené ze zdířek (1)
- (5) – potenciometr max. 5 W; 220 Ω s výstupními zdířkami

Technické parametry : maximální napájecí napětí

230 V AC/DC pro zdířky a svorky

250 V AC/DC pro nepájivé pole

250 V AC/DC pro potenciometr

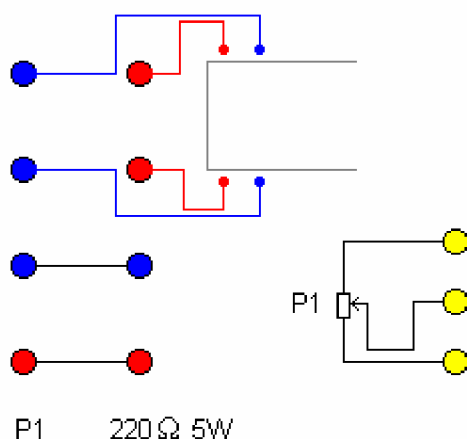
maximální napájecí proud

10 A pro zdířky a svorky

1 A pro nepájivé pole

Přípravek k měření LED nabízí velkou variantnost různých zapojení i měření na LED různých provedení i výkonů. Přívodní zdířky (1) slouží pro napájení nepájivého pole (4). Do nepájivého pole je možno zapojit („nastrkat“) velké množství LED opatřených drátovými vývody bez nutnosti chlazení, také je možné zde umístit externí součástky – kondenzátory, rezistory pro napěťové, proudové děliče, či omezovače proudu apod. Napájení nepájivého pole je pro co největší variantnost možných zapojení zdvojeno. Dvě zdířky propojené se dvěma svorkami (2) umožňují snadné napájení externích svítivých diod umístěných na chladiči (3). Na tento chladič je možné umístit LED, u kterých nepřesáhne tepelná ztráta 5W. Při přesažení této hodnoty samovolná cirkulace vzduchu již nestíhá chladič ochlazovat a jeho teplota by přesáhla hodnotu 60°C, což by mohlo poškodit měřenou svítivou diodu. LED je možné na chladič uchytit pomocí šroubových spojů mezi jednotlivé rozteče děr, které jsou vytvořeny dle nejčastějších modelů výkonných svítivých diod (12mm, 15mm, 20mm a 25mm). I zde je nabízena vysoká variantnost. Potenciometr (5) s parametry 220 Ω a maximální výkonovou ztrátou slouží pro případnou korekci a přesného nastavení napětí napájecího zdroje s pevnou hodnotou napětí ve funkci napěťového děliče, nebo jako proměnný sériový rezistor pro omezení proudu diodou.

4.2 Principiální schéma zapojení



5 VSTUPNÍ REDUKCE



5.1 Popis

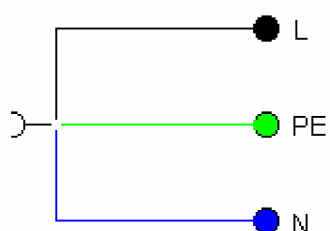
(1) – výstupní zásuvka

(2) – vstupní zdířky

Technické parametry : maximální napájecí napětí 230 V AC/DC
maximální napájecí proud 10 A

Vstupní redukce je určena pro přivedení jiné napěťové úrovně do univerzálního vstupního měřicího přípravku. Pomocí vstupních zdířek (2) je možné přivést napětí jiné úrovně než 230 V, ale maximálně 230 V AC/DC , 10 A. Vstupní přípravek se s touto redukcí propojí standardním šňůrou s koncovkou GSD3.

5.2 Principiální schéma zapojení



Příloha B

LABORATORNÍ MĚŘENÍ

MĚŘENÍ KŘÍŽOVÝCH CHARAKTERISTIK SVĚTELNÝCH ZDROJŮ

1 MĚŘENÍ KŘÍŽOVÝCH CHARAKTERISTIK

Křížové charakteristiky patří mezi nečastěji užívané charakteristiky, které dokážou popsat základní provozní vlastnosti světelných zdrojů. Zobrazují vybrané parametry v závislosti na svorkovém napětí zdroje. Graficky přímo udávají velikost změny zobrazených ustálených elektrických veličin a světelně technických veličin na velikosti odchylky napájecího napětí od jmenovité hodnoty (osy jsou uvedeny v poměrných hodnotách v procentech se čtyřmi kvadranty a se středem ve sto procentech obou os). Výběr parametrů pro křížovou charakteristiku závisí na typu světelného zdroje, jeho elektrickém obvodu .

Měření elektrických veličin se provádí voltmetrem, ampérmetrem a wattmetrem na svorkách zdroje. Je třeba zdůraznit, že u ampérmetru a wattmetru je požadavek měření skutečných efektivních hodnot i při velkém harmonickém zkreslení, které tyto zdroje produkují. Jako doplněk může být provedeno měření napětí přímo na trubici světelného zdroje.

Ze světelně technických parametrů je nejdůležitější světelný tok, ze kterého lze velmi snadno určit například účinnost přeměny elektrické energie na světlo. Měření celkového světelného toku zdroje je prakticky značně obtížné, protože je nutné ze zdroje „posbírat“ veškeré vydané světlo pomocí integrační koule a to změřit. Jelikož jsou křížové charakteristiky zobrazovány pouze v poměrných (procentuálních) hodnotách, je možné namísto světelného toku měřit jinou lineárně závislou veličinu, například intenzitu osvětlení. Ta se snadno změří pomocí luxmetru.

2 KOMPAKTNÍ ZÁŘIVKA

a) Náběh světelného výkonu zdroje od zapnutí do ustálení v procentuálních hodnotách.

b) Křížové charakteristiky pro kompaktní zářivku je možné vynést jako závislost :

$$I = f(U_1), P = f(U_1), U_0 = f(U_1), \Phi = f(U_1), \cos\varphi = f(U_1)$$

Měření křížových charakteristik při ustálených hodnotách.

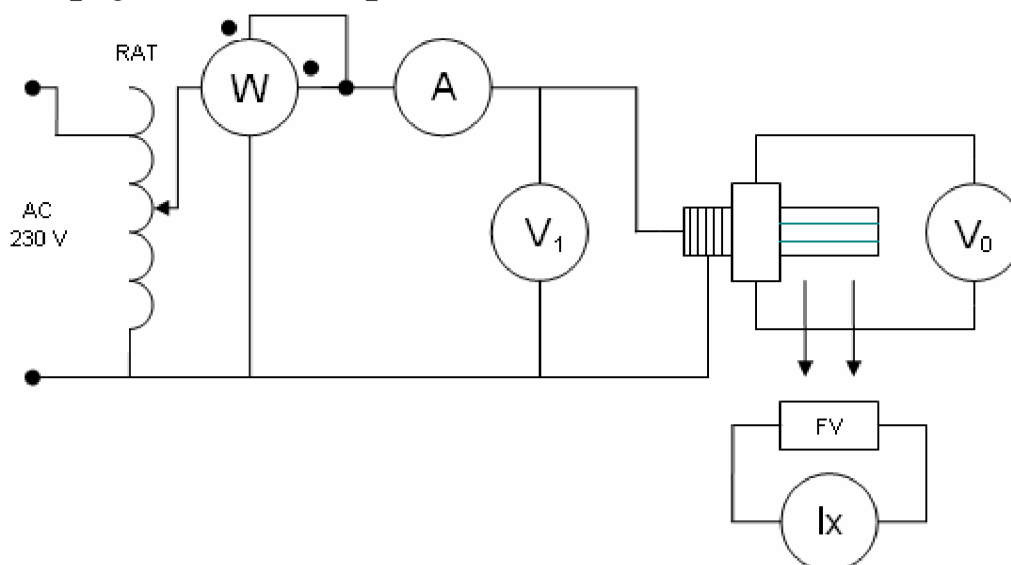
2.1 Popis měřeného světelného zdroje



Obrázek 2.1 Obrázek měřené kompaktní zářivky

Výrobce:	Philips
Typ:	MASTER PL-Electronic 230-240 V
Příkon:	20 W
NTCH:	827; warm white; teplá bílá
Závit:	E27
Typický sv. tok:	1160 lm
Stř. doba života:	8000 h
Měrný výkon:	58 lm/W
Ra :	A; 82
Integrovaný př. :	Ano

2.2 Zapojení měřicího pracoviště



2.3 Použité měřicí přístroje

Název	Výrobce	Výr. číslo / Typ	Přesnost	Rozsah
RAT	Metra Blansko			0-280 V / 10 A
Ampérmetr	RANGE	RE6810	1 % + 2DIG	auto
Voltmetr 1	PROTEK	506	0,5 % + 2DIG	Auto 750 VAC
Voltmetr 0		VF voltmetr	1 %	200 / 600 VAC
Wattmetr	Metra Blansko	4756055	0,5 %	240 V / 0,5 A
Luxmetr	Metra Blansko	PU320	10 %	100/300/1000 lx

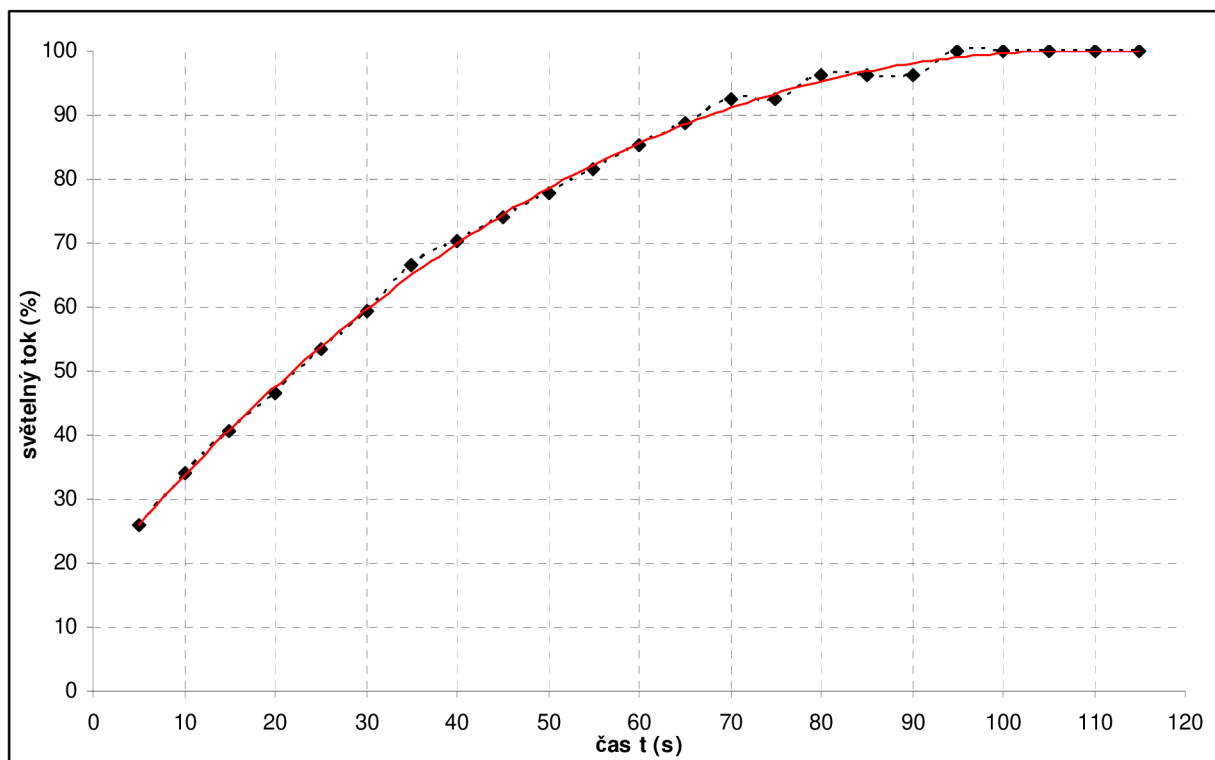
2.4 Náběh světelného výkonu kompaktní zářivky-naměřené hodnoty

Čas t (s)	E (lx)	Φ (%)	Čas t (s)	E (lx)	Φ (%)	Čas t (s)	E (lx)	Φ (%)
0	0	0	40	95	70,4	80	130	96,3
5	35	25,9	45	100	74,1	85	130	96,3
10	46	34,1	50	105	77,8	90	130	96,3
15	55	40,7	55	110	81,5	95	135	100,0
20	63	46,7	60	115	85,2	100	135	100,0
25	72	53,3	65	120	88,9	105	135	100,0
30	80	59,3	70	125	92,6	110	135	100,0
35	90	66,7	75	125	92,6	115	135	100,0

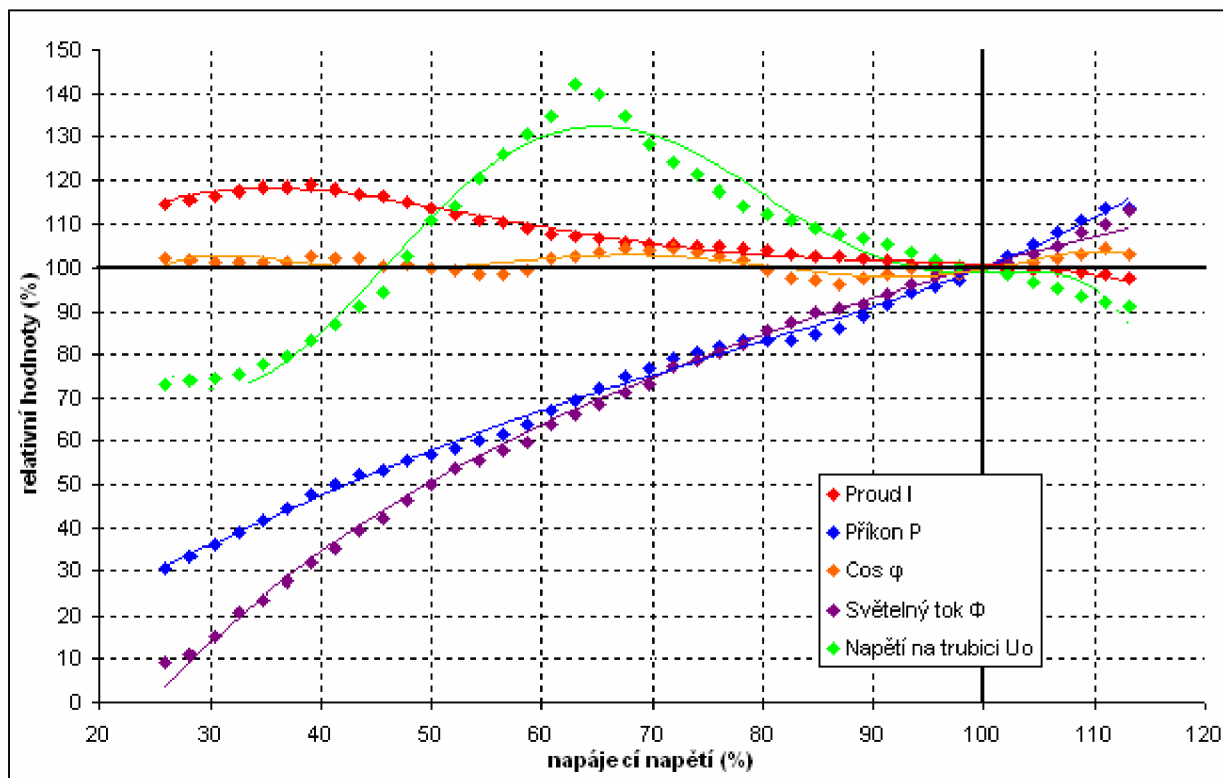
2.5 Křížová charakteristika-naměřené hodnoty

U1(V)	U0(V)	I(mA)	P(W)	Cosφ	E (lx)	U1(%)	U0(%)	I (%)	P (%)	Cosφ%	Φ (%)
260	87,5	80,2	20,50	0,98	1100	113,04	91,15	97,69	113,89	103,16	113,40
255	88,5	80,8	20,50	0,99	1070	110,87	92,19	98,42	113,89	104,40	110,31
250	90,0	81,2	20,00	0,99	1050	108,70	93,75	98,90	111,11	103,38	108,25
245	91,5	81,6	19,50	0,98	1020	106,52	95,31	99,39	108,33	102,35	105,15
240	93,0	81,8	19,00	0,97	1000	104,35	96,88	99,63	105,56	101,55	103,09
235	94,5	81,9	18,50	0,96	985,0	102,17	98,44	99,76	102,78	100,86	101,55
230	96,0	82,1	18,00	0,95	970,0	100,00	100,00	100,00	100,00	100,03	100,00
225	96,5	82,6	17,50	0,94	960,0	97,83	100,52	100,61	97,22	98,81	98,97
220	98,0	82,8	17,25	0,95	950,0	95,65	102,08	100,85	95,83	99,37	97,94
215	99,5	83,0	17,00	0,95	935,0	93,48	103,65	101,10	94,44	99,96	96,39
210	101,5	83,5	16,50	0,94	910,0	91,30	105,73	101,71	91,67	98,74	93,81
205	102,5	84,0	16,00	0,93	890,0	89,13	106,77	102,31	88,89	97,50	91,75
200	103,5	84,3	15,50	0,92	880,0	86,96	107,81	102,68	86,11	96,47	90,72
195	105,0	84,4	15,25	0,93	870,0	84,78	109,38	102,80	84,72	97,23	89,69
190	106,5	84,8	15,00	0,93	850,0	82,61	110,94	103,29	83,33	97,69	87,63
185	108,0	85,5	15,00	0,95	830,0	80,43	112,50	104,14	83,33	99,51	85,57
180	110,0	85,9	15,00	0,97	800,0	78,26	114,58	104,63	83,33	101,80	82,47
175	113,0	86,2	14,75	0,98	780,0	76,09	117,71	104,99	81,94	102,60	80,41
170	116,5	86,3	14,50	0,99	765,0	73,91	121,35	105,12	80,56	103,71	78,87
165	119,0	86,5	14,25	1,00	750,0	71,74	123,96	105,36	79,17	104,77	77,32
160	123,0	86,7	13,80	0,99	710,0	69,57	128,13	105,60	76,67	104,39	73,20
155	129,5	87,2	13,50	1,00	690,0	67,39	134,90	106,21	75,00	104,81	71,13
150	134,0	87,7	13,00	0,99	665,0	65,22	139,58	106,82	72,22	103,70	68,56
145	136,5	88,2	12,50	0,98	640,0	63,04	142,19	107,43	69,44	102,56	65,98
140	129,5	88,7	12,10	0,97	620,0	60,87	134,90	108,04	67,22	102,24	63,92
135	125,5	89,6	11,50	0,95	580,0	58,70	130,73	109,14	63,89	99,76	59,79
130	121,0	90,8	10,90	0,97	560,0	56,52	126,04	110,60	61,54	98,40	57,73
125	115,5	91,2	10,60	0,98	540,0	54,35	120,31	111,08	60,03	98,81	55,67
120	110,0	92,2	10,50	0,95	520,0	52,17	114,58	112,30	58,33	99,58	53,61
115	106,5	93,6	10,25	0,95	485,0	50,00	110,94	114,01	56,94	99,92	50,00
110	98,5	94,7	10,00	0,96	450,0	47,83	102,60	115,35	55,56	100,73	46,39
105	90,5	95,6	9,60	0,96	410,0	45,65	94,27	116,44	53,33	100,35	42,27
100	87,5	96,3	9,40	0,98	380,0	43,48	91,15	117,30	52,22	102,43	39,18
95	83,5	97,0	9,00	0,98	340,0	41,30	86,98	118,15	50,00	102,48	35,05
90	80,0	97,5	8,60	0,98	310,0	39,13	83,33	118,76	47,78	102,84	31,96
85	76,5	97,4	8,00	0,97	270,0	36,96	79,69	118,64	44,44	101,40	27,84
80	74,5	97,2	7,50	0,96	230,0	34,78	77,60	118,39	41,67	101,21	23,71
75	72,5	96,6	7,00	0,97	200,0	32,61	75,52	117,66	38,89	101,38	20,62
70	71,5	95,9	6,50	0,97	150,0	30,43	74,48	116,81	36,11	101,60	15,46
65	71,0	95,2	6,00	0,97	110,0	28,26	73,96	115,96	33,33	101,74	11,34
60	70,0	94,1	5,50	0,97	90,00	26,09	72,92	114,62	30,56	102,22	9,28

2.6 Náběh světelného výkonu kompaktní zářivky-graf



2.7 Křížová charakteristika-graf



2.8 Zhodnocení

Náběh světelného výkonu u kompaktní zářivky měl dle očekávání exponenciální průběh. K ustálení toku došlo zhruba po 100s od zapnutí světelného zdroje.

Kompaktní zářivky s integrovaným předřadníkem mají elektronický předřadný systém. Ten je tvořen spínaným zdrojem, který má za úkol zářivku zapálit a následně na její trubici udržovat napětí a proud tak, aby byl vzniklý výboj stabilní. Proto se kompaktní zářivka vzhledem ke své napájecí síti nechová jako lineární odporová zátěž, ale jako nelineární zátěž. Při vzrůstajícím napájecím napětí napájecí proud klesá a obráceně. Ale i přes tuto stabilizaci při poklesu napájecího napětí klesá příkon i světelný tok z trubice zářivky. Při napájení od jmenovitého napětí po zhruba 150V se pokles příkonu projevuje vyšším dynamickým odporem hořícího oblouku, takže i napětí na něm stoupá. Při napájecím napětí pod 150V již předřadný systém není schopný udržet stabilizovaný výboj, příkon i světelný tok začne značně pulsovat, což se projeví „blikáním“. Při dalším snižování napájecího napětí klesá i napětí na výboji až po zhruba 60V, kdy již takřka nesvítící zářivka zhasne a i přes snahu znovu zažehnout již nenastartuje. Start je znovu umožněn až po zvýšení napájecího napětí nad 150V, kdy je předřadný systém schopen opět udržet stabilní hoření výboje.

3 LED

a) Křížové charakteristiky pro LED je možné vynést jako závislost :

$$I = f(U), P = f(U), \Phi = f(U)$$

b) A jelikož jsou LED napájeny z proudových zdrojů je taktéž možné charakteristiky vynést jako závislost :

$$U = f(I), P = f(I), \Phi = f(I)$$

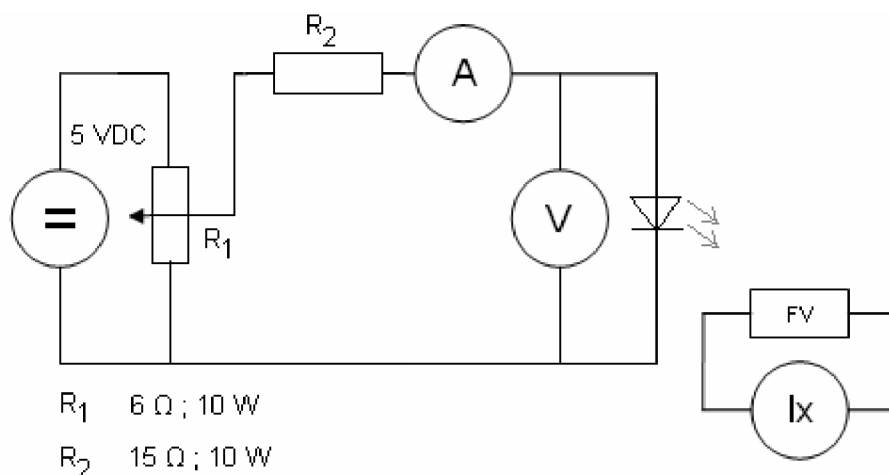
3.1 Popis měřeného světelného zdroje



Obrázek 3.1 Obrázek měřené LED

Výrobce:	Nichia
Typ:	NGPLR70
Jm. příkon :	0,33 W
Jm. napětí :	3,3 V
Max. proud :	100 mA
NTCH:	3100 K
Typický sv. tok:	15 lm
Stř. doba života:	8000 h
Měrný výkon:	45 lm/W
Ra :	79
Vyzařovací úh. :	100°

3.2 Zapojení měřicího pracoviště



3.3 Použité měřicí přístroje

Název	Výrobce	Označení	Přesnost	Rozsah
Potenciometr	Tesla	R1		6 Ω ; 10 W
Ochranný rezistor	Tesla	R2		15 Ω ; 10 W
Voltmetr	PROTEK	506	0,5 % + 2DIG	Auto 20 VDC
Ampérmetr	RANGE	RE6810	1 % + 2DIG	auto
Zdroj				5 VDC / 1 A
Luxmetr	Metra Blansko	PU320	10 %	100/300/1000 lx

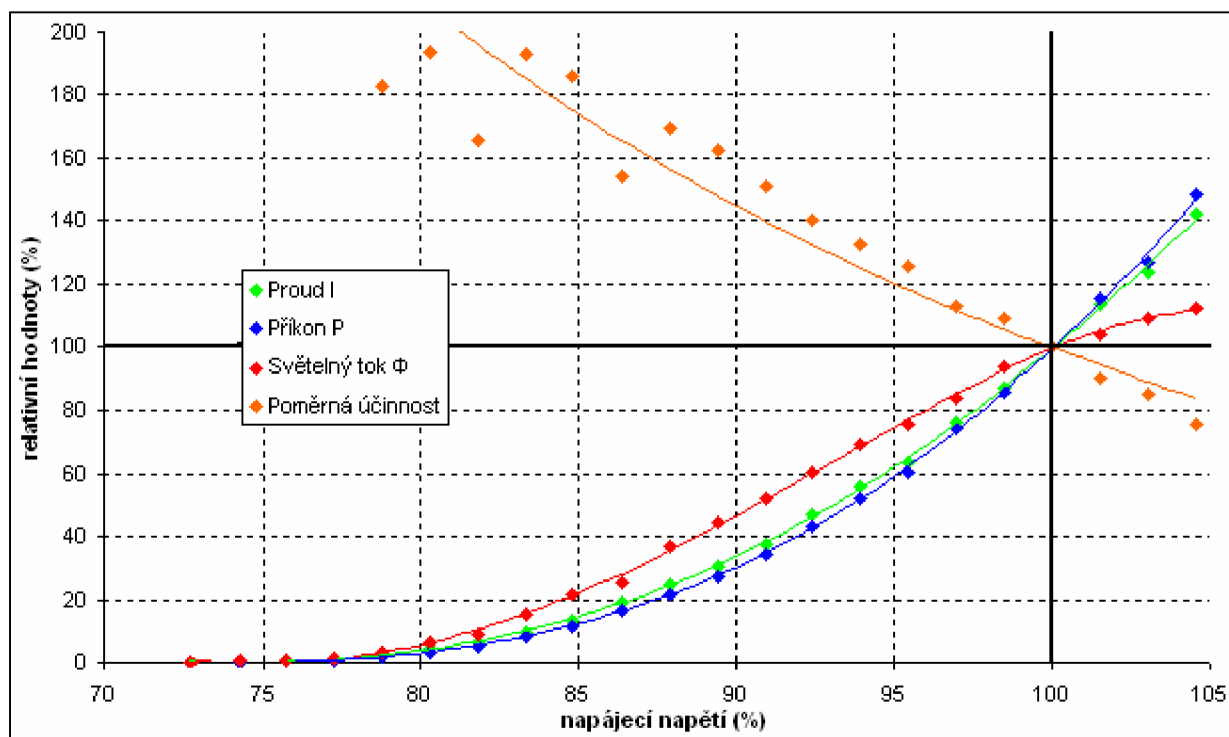
3.4 Křížová charakteristika $x = f(U)$ - naměřené hodnoty

U (V)	I (mA)	P (mW)	E (lx)	U (%)	I (%)	P (%)	Φ (%)	η_p (%)
2,4	0,1	0,24	3	72,727	0,097	0,071	0,24	339,9
2,45	0,2	0,49	5	74,242	0,194	0,144	0,4	277,469
2,5	0,6	1,5	6	75,758	0,583	0,441	0,48	234,478
2,55	0,9	2,295	17	77,273	0,874	0,675	1,36	201,422
2,6	2,4	6,24	42	78,788	2,33	1,836	3,36	183,023
2,65	4,4	11,66	83	80,303	4,272	3,43	6,64	193,562
2,7	6,7	18,09	110	81,818	6,505	5,322	8,8	165,347
2,75	10	27,5	195	83,333	9,709	8,091	15,6	192,816
2,8	14,1	39,48	270	84,848	13,69	11,62	21,6	185,964
2,85	19,8	56,43	320	86,364	19,22	16,6	25,6	154,199
2,9	25,5	73,95	460	87,879	24,76	21,76	36,8	169,146
2,95	31,8	93,81	560	89,394	30,87	27,6	44,8	162,323
3	39	117	650	90,909	37,86	34,42	52	151,067
3,05	48,3	147,315	760	92,424	46,89	43,34	60,8	140,284
3,1	57,6	178,56	870	93,939	55,92	52,53	69,6	132,488
3,15	65,5	206,325	950	95,455	63,59	60,7	76	125,202
3,2	79	252,8	1050	96,97	76,7	74,37	84	112,941
3,25	90	292,5	1175	98,485	87,38	86,05	94	109,233
3,3	103	339,9	1250	100	100	100	100	100
3,35	117	391,95	1300	101,52	113,6	115,3	104	90,1891
3,4	127	431,8	1360	103,03	123,3	127	108,8	85,6441
3,45	146	503,7	1400	104,55	141,7	148,2	112	75,5783

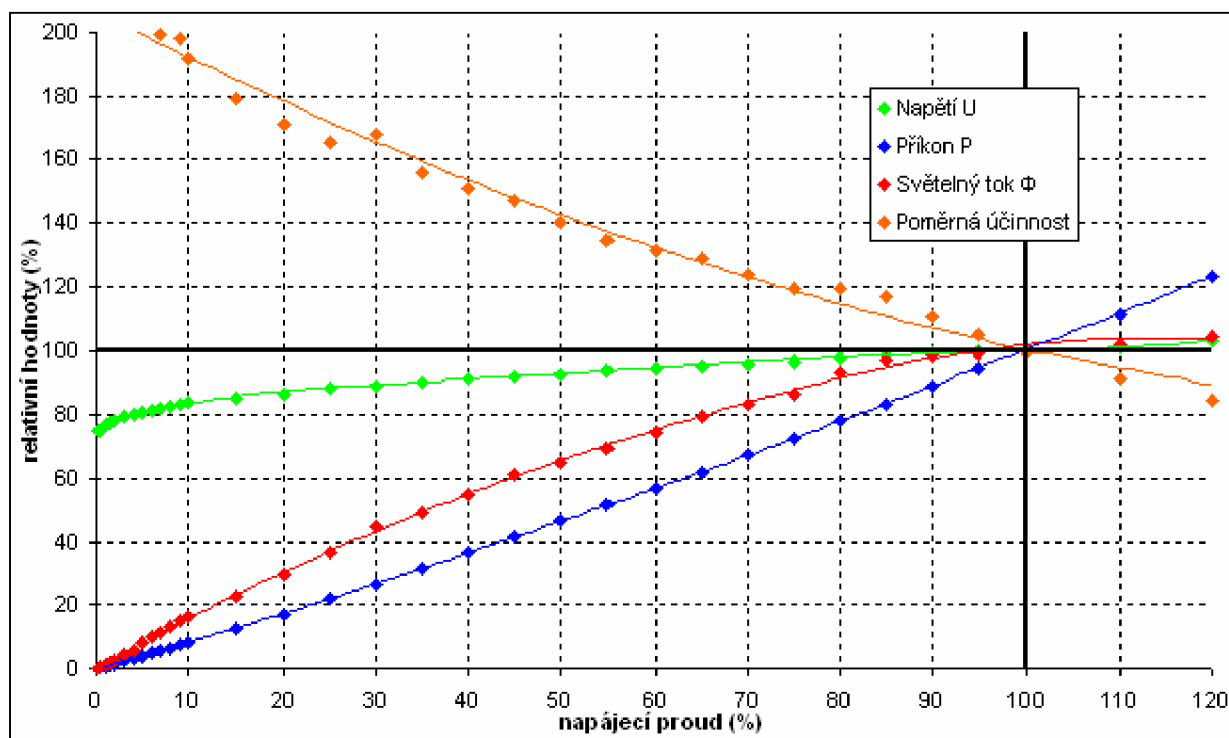
3.5 Křížová charakteristika $x = f(I)$ - naměřené hodnoty

I(mA)	U(V)	P(mW)	E(lx)	I(%)	U(%)	P(%)	Φ (%)	η_p (%)
0,2	2,46	0,492	3	0,2	74,772	0,1495	0,2542	170,0083
0,5	2,48	1,24	4	0,5	75,38	0,3769	0,339	145,2887
1	2,53	2,53	14	1	76,9	0,769	1,1864	154,2842
1,5	2,56	3,84	23	1,5	77,812	1,1672	1,9492	166,9977
2	2,58	5,16	30	2	78,419	1,5684	2,5424	162,1009
3	2,62	7,86	55	3	79,635	2,3891	4,661	195,0985
4	2,64	10,56	70	4	80,243	3,2097	5,9322	184,8196
5	2,66	13,3	95	5	80,851	4,0426	8,0508	199,1525
6	2,67	16,02	120	6	81,155	4,8693	10,169	208,8491
7	2,7	18,9	135	7	82,067	5,7447	11,441	199,1525
8	2,72	21,76	160	8	82,675	6,614	13,559	205,01
9	2,74	24,66	175	9	83,283	7,4954	14,831	197,8604
10	2,76	27,6	190	10	83,891	8,3891	16,102	191,9369
15	2,8	42	270	15	85,106	12,766	22,881	179,2373
20	2,85	57	350	20	86,626	17,325	29,661	171,2013
25	2,9	72,5	430	25	88,146	22,036	36,441	165,3653
30	2,93	87,9	530	30	89,058	26,717	44,915	168,1128
35	2,96	103,6	580	35	89,97	31,489	49,153	156,0925
40	3	120	650	40	91,185	36,474	55,085	151,024
45	3,03	136,35	720	45	92,097	41,444	61,017	147,2283
50	3,06	153	770	50	93,009	46,505	65,254	140,3179
55	3,09	169,95	820	55	93,921	51,657	69,492	134,5261
60	3,11	186,6	880	60	94,529	56,717	74,576	131,4876
65	3,13	203,45	940	65	95,137	61,839	79,661	128,8202
70	3,16	221,2	980	70	96,049	67,234	83,051	123,525
75	3,18	238,5	1020	75	96,657	72,492	86,441	119,241
80	3,21	256,8	1100	80	97,568	78,055	93,22	119,4295
85	3,23	274,55	1150	85	98,176	83,45	97,458	116,7859
90	3,26	293,4	1160	90	99,088	89,179	98,305	110,233
95	3,27	310,65	1170	95	99,392	94,422	99,153	105,0095
100	3,29	329	1180	100	100	100	100	100
110	3,33	366,3	1200	110	101,22	111,34	101,69	91,33941
120	3,38	405,6	1230	120	102,74	123,28	104,24	84,55145

3.6 Křížová charakteristika $x = f(U)$ - graf



3.7 Křížová charakteristika $x = f(I)$ - graf



3.8 Zhodnocení laboratorního měření

I LED se vůči svému napájecímu obvodu chová jako nelineární součástka. Její provozní napětí je 3,3V, ale svoji funkci začíná plnit až od napájecího napětí 2,4V. Při vzrůstajícím napětí stoupá napájecí proud exponenciálně (viz. VACH diody). Podobně tak i stoupá příkon. Výstupní světelný tok stoupá více lineárněji až po dosažení své jmenovité hodnoty, po jejím dosažení při dalším vzrůstajícím příkonu světelný tok již dále nevzrůstá a účinnost přeměny elektrické energie na světlo výrazně klesá. Spotřebovaná elektrická energie se na přechodu přeměňuje na teplo, které způsobuje degradaci přechodu svítivé diody. Poměrná účinnost je vyjádření přeměny elektrické energie na světlo a při nominálním příkonu je nastavena na 100%. Takže dle teoretických předpokladů se potvrdilo, že světelné diody při menších napájecích výkonech, než je jmenovitý, dosahují vyšší účinnosti přeměny elektrické energie na světlo.

Jelikož jsou LED napájeny z proudových zdrojů je jako druhé měření vyjádřena závislost elektrických a fotometrických veličin na napájecím proudu. Tímto způsobem vyjádřené křížové charakteristiky příkonu a dosaženého světelného toku mají takřka lineární průběhy.