



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

ZDROJE SVĚTLA

LIGHT SOURCES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

DANIEL JANÍK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MARIE HAVLÍKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Automatizační a měřicí technika

Student: Daniel Janík

ID: 136527

Ročník: 3

Akademický rok: 2013/2014

NÁZEV TÉMATU:

Zdroje světla

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Na základě literární rešerše vypracujte přehled provozních parametrů klasických a LED zdrojů světla a proveďte jejich porovnání.
2. Navrhněte vhodné měřicí metody pro určení vybraných provozních parametrů zdrojů světla.
3. V souladu s požadavky firmy AFIMO CZ a vzhledem k dostupné měřicí technice (UAMT, UEEN) proměřte elektrické a světelné parametry doporučených zdrojů světla.
4. Dosažené výsledky měření vyhodnoťte a porovnejte s dostupnými udávanými parametry zdrojů světla.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Bejček, L., Čejka, M., Rez, J.: Měření v elektrotechnice, Skripta VUT Brno, 2002
[2] Baxant, P., Drápela, J.: Užití elektrické energie, Skripta VUT Brno, 2007

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 26.5.2014

Vedoucí práce: Ing. Marie Havlíková, Ph.D.

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské 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.

Abstrakt

Cílem této práce je seznámit se se základními fotometrickými veličinami včetně jejich měření a provozními parametry, podle kterých se světelné zdroje posuzují. Dále je úkolem se obeznámit se základními druhy světelných zdrojů včetně jednotlivých typů, jejich konstrukce a principu jejich funkce. Práce se rovněž zabývá měřením elektrických a světelně technických parametrů devíti konkrétních vzorků světelných zdrojů. Na základě naměřených údajů jsou zdroje z hlediska energetického a z hlediska kvality produkovaného světla porovnány jak mezi sebou, tak s údaji, které udává výrobce.

Klíčová slova

zdroj světla, světelný tok, žárovka, zářivka, LED, účinnost světelného zdroje, index barevného podání, teplota chromatičnosti, spektrometr, kulový integrátor

Abstract

The aim of the thesis is to introduce the basic photometric quantities and measurement of these quantities. Next target is to get acquainted with the basic types of light sources, including various types, their construction and principle of their function. The work also deals with the measurement of electrical and photometric parameters of nine samples of concrete light sources. Measured sources in terms of energy and terms of quality of the light are compared with each other and with the data supplied by the producer.

Keywords

light source, luminous flux, incandescent, fluorescent, LED, light source efficacy, color rendering index, color temperature, spectroradiometer, spherical integrator,

Bibliografická citace:

JANÍK, D. *Zdroje světla*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 80 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Marie Havlíková, Ph.D.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Zdroje světla jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si 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.

V Brně dne: 23. května 2014

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucí bakalářské práce Ing. Marii Havlíkové, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce, Ing. Janu Škodovi, Ph.D. za poskytnutí laboratoře světelné techniky na UEEN FEKT VUT v Brně a za odborné rady z oblasti světelné techniky a společnosti AFIMO CZ s.r.o za zapůjčení vybraných měřených vzorků.

V Brně dne: 24. května 2014

.....
podpis autora

Obsah

1	Úvod	12
2	Základní veličiny světelné techniky	13
3	Viditelné světlo.....	17
3.1	Vznik světla.....	18
3.2	Barevné vlastnosti světla.....	18
	Základní pojmy	18
	Mísení barev	19
	Trichromatické soustavy a trichromatické souřadnice	19
	Index podání barev.....	21
	Teplota chromatičnosti	22
3.3	Vnímání světla, oko	23
	Oslnění	24
4	Zdroje světla	25
4.1	Teplotní zdroje světla (žárovky)	26
4.2	Výbojové zdroje světla.....	28
4.3	Luminiscenční zdroje světla (LED)	33
5	Přehled provozních parametrů zdrojů světla	38
5.1	Elektrické parametry	38
5.2	Světelně technické parametry	39
6	Měřicí metody pro vybrané měřené parametry	42
6.1	Princip měřících metod	42
6.2	Měřicí řetězec	43
7	Naměřené hodnoty.....	45
8	Vyhodnocení a porovnání naměřených výsledků.....	48
8.1	Světelný tok, měrný výkon světelného zdroje	48
8.2	Barevné vlastnosti	50
8.3	Světelné spektrum	51
8.4	Napěťové závislosti, křížové charakteristiky	52
8.5	Amplitudové spektrum proudu	55

8.6	Oteplování světelných zdrojů.....	58
8.7	Porovnání naměřených parametrů s dostupnými parametry výrobců.....	60
9	Závěr.....	61

Seznam obrázků

Obrázek 1: Prostorový úhel, pod nímž je z bodu P vidět plocha A [10]	13
Obrázek 2: Vývoj měrného výkonu světelných zdrojů pro všeobecné osvětlení [11] ...	16
Obrázek 3: Spektrum elektromagnetického záření [12]	17
Obrázek 4: Rozložení barevných tónů ve spektrální oblasti viditelného záření [12]	17
Obrázek 5: Aditivní (a) a subtraktivní (b) míchání barev [13]	19
Obrázek 6: Náčrt trojúhelníku barev v rovině $X+Y+Z=1$ kolorimetrického prostoru XYZ [31].....	20
Obrázek 7: Diagram chromatičnosti mezinárodní kolorimetrické soustavy XYZ v pravoúhlých souřadnicích x,y. [31]	21
Obrázek 8: Čára teplotních zářičů v souřadnicích x, y s vyznačenými čarami konstantních teplot chromatičnosti. [32]	23
Obrázek 9: Řez lidským okem [14]	23
Obrázek 10: Základní rozdělení elektrických zdrojů světla[2].....	25
Obrázek 11: Konstrukce klasické žárovky [16].....	27
Obrázek 12: Konstrukce halogenové žárovky [17]	28
Obrázek 13: Konstrukce vysokotlaké sodíkové výbojky [18].....	30
Obrázek 14: Konstrukce vysokotlaké rtuťové výbojky [19]	31
Obrázek 15: Konstrukce nízkotlaké sodíkové výbojky [20]	32
Obrázek 16: Konstrukce lineární zářivky [21]	33
Obrázek 17: Konstrukce kompaktní zářivky s integrovaným startérem [22].....	33
Obrázek 18: Typy LED zdrojů světla - LED žárovka, LED pásek	34
Obrázek 19: LED pouliční lampa	34
Obrázek 20: Konstrukce DIP LED [23]	35
Obrázek 21: Konstrukce SMD LED [23]	36
Obrázek 22: Konstrukce COB LED [23].....	36
Obrázek 23: Konstrukce MCOB LED [23]	36
Obrázek 24: Závislost parametrů LED na teplotě okolí [28].....	37
Obrázek 25: Křivky svítivosti pro mřížkové svítidlo s lineární zářivkou a LED trubicí ve dvou rovinách [30].....	41
Obrázek 26: Doporučené schéma zapojení analyzátoru sítě SMP44, KMB SYSTEMS. [33].....	43
Obrázek 27: Měřicí řetězec pro měření světelně technických parametrů a elektrických parametrů při jmenovitém napájecím napětí spektrometrem CS-1000A a analyzátozem sítě SMP44, KMB SYSTEMS.	44
Obrázek 28: Průběh světelného toku v čase po zapnutí světelného zdroje, změřený spektrometrem CS-1000A, Konica Minolta.	49
Obrázek 29: Srovnání měrných světelných výkonů měřených světelných zdrojů.	49

Obrázek 30: Srovnání teplot chromatičnosti měřených světelných zdrojů, měřených spektrometrem CS-1000A Konica Minolta.....	50
Obrázek 31: Hodnocení měřených světelných zdrojů z pohledu indexu barevného podání a měrného světelného výkonu.....	51
Obrázek 32: Srovnání spektra žárovky, zářivky a LED světelného zdroje změřené spektrometrem CS-1000A Konica Minolta.....	52
Obrázek 33: Srovnání spekter zdroje 7 a 8 s různou teplotou chromatičnosti, změřené spektrometrem CS-1000A Konica Minolta.....	52
Obrázek 34: Křížové charakteristiky zdroje 1 (žárovka), změřené průchozím wattmetrem HAMEG HM8115-2.....	53
Obrázek 35: Křížové charakteristiky zdroje 2 (kompaktní zářivka), změřené průchozím wattmetrem HAMEG HM8115-2.....	54
Obrázek 36: Křížové charakteristiky zdroje 3 (LED žárovka), změřené průchozím wattmetrem HAMEG HM8115-2.....	54
Obrázek 37: Křížové charakteristiky zdroje 7 (LED trubice), změřené průchozím wattmetrem HAMEG HM8115-2.....	55
Obrázek 38: Amplitudové spektrum proudu odebíraného zdrojem 2 (kompaktní zářivka), změřené síťovým analyzátozem SMP44, KMB SYSTEMS.....	56
Obrázek 39: Amplitudové spektrum proudu odebíraného zdrojem 3 (LED žárovka AFIMO), změřené síťovým analyzátozem SMP44, KMB SYSTEMS	57
Obrázek 40: Amplitudové spektrum proudu odebíraného zdrojem 4 (LED žárovka IKEA), změřené síťovým analyzátozem SMP44, KMB SYSTEMS.....	57
Obrázek 41: Amplitudové spektrum proudu odebíraného zdrojem 9 (lineární zářivková trubice), změřené síťovým analyzátozem SMP44, KMB SYSTEMS	58
Obrázek 42: Amplitudové spektrum proudu odebíraného zdrojem 7 (LED trubice AFIMO), změřené síťovým analyzátozem SMP44, KMB SYSTEMS	58
Obrázek 43: Tepelné snímky LED žárovek AFIMO (zdroj 3 a 5) s vyznačenou maximální teplotou, pořízené termokamerou GUIDE EasIR-4.....	59
Obrázek 44: Tepelné snímky LED žárovky IKEA (zdroj 4) a kompaktní zářivky (zdroj 2) s vyznačenou maximální teplotou, pořízené termokamerou GUIDE EasIR-4.....	59

Seznam tabulek:

Tabulka 1: Orientační přehled hodnot měrného světelného výkonu η pro různé typy světelných zdrojů [1]	16
Tabulka 2: Vlnové délky spektrálních barev [15]	18
Tabulka 3: Přehled referenčních vzorků indexu barevného podání. [32]	22
Tabulka 4: Přehled naměřených parametrů všech měřených světelných zdrojů při jmenovitém napájecím napětí spektrometrem CS-1000A Konica Minolta a síťovým analyzátozem SMP44, KMB SYSTEMS.	45
Tabulka 5: Proudové jednotlivých světelných zdrojů, odebírané na vyšších harmonických, změřené síťovým analyzátozem SMP44, KMB SYSTEMS.	46
Tabulka 6: Tabulka naměřených napěťových závislostí zdroje 2 na wattmetru HAMEG HM8115-2 a Luxmetru FX-101.	46
Tabulka 7: Tabulka naměřených napěťových závislostí zdroje 3 na wattmetru HAMEG HM8115-2 a Luxmetru FX-101.	47
Tabulka 8: Tabulka naměřených napěťových závislostí zdroje 7 na wattmetru HAMEG HM8115-2 a Luxmetru FX-101.	47
Tabulka 9: Vybrané měřené a deklarované parametry pro zdroje 2, 7, 8 a 9.	60
Tabulka 10: Vybrané měřené a deklarované parametry pro zdroje 3, 4, 5 a 6.	60

1 ÚVOD

Umělé světlo jakožto náhražka toho denního provází lidstvo od nepaměti. Zpočátku bylo druhotným produktem zdrojů tepla – například pravěká ohniště, později byly prostory ohněm osvětlovány cíleně ve starověku a středověku zpravidla ve formě loučí, svící a svíček, případně přenosných pochodní. Postupem času se trend osvětlování dostal přes petrolejky, plynové lampy k osvětlování ulic a obloukové lampy až k elektrickým svítidlům. Trvalo to však dlouho, než si každý mohl doma rozsvítit žárovku, protože elektrifikace trvala dlouho. Právě touha po umělém elektrickém osvětlení byla hlavním důvodem elektrifikace domácností, protože na přelomu předminulého a minulého století moc jiných spotřebičů než právě žárovka nebylo.

Tak postupně, jak odběrných míst, tak lamp pouličního osvětlení přibývalo a trend v osvětlovací technice se začal masivněji rozvíjet. Protože výroba elektrické energie nebyla jednoduchá a její spotřeba a poptávka po ní se postupem času razantně zvyšovala, začalo se přemýšlet, jak spotřebu elektrické energie právě na osvětlovací účely snížit. V oblasti veřejného osvětlení se usadila rtuťová, dnes však častěji sodíková vysokotlaká výbojka hlavně díky své vysoké světelné účinnosti a to i přes zkreslené barevné podání. V průmyslu, ve školách, v nemocnicích a ve veřejných budovách si našla své místo svítidla s lineárními zářivkovými trubicemi, které mají vyšší světelnou účinnost než klasická žárovka a vyhovují nárokům norem na osvětlování těchto prostor. V domácnostech má klasická žárovka díky svým nenahraditelným kvalitativním parametrům místo dodnes i přesto, že se Evropská unie snaží o regulaci jejich výroby. Jako náhrada by měla sloužit kompaktní úsporná zářivka, která se vyrábí už několik desítek let. Jedná se opět o nízkotlakou výbojku, je ale řízena elektronickým předřadníkem, který umožňuje hladký start bez problikávání a prodlužuje životnost trubice. Zpravidla je kroucená do různých, esteticky přijatelných, tvarů. Rovněž se výrobci v poslední době snaží přiblížit světlo barevným podáním žárovce.

Nejnovějším trendem napříč všemi oblastmi osvětlovací techniky jsou LED zdroje světla. Díky své nízké spotřebě, vysoké světelné účinnosti, ekologickému provozu a rozmanitosti provedení se v poslední době uplatňují v moderních interiérech, ale i v klasických svítidlech, kde mnohdy stačí vyměnit jen světelný zdroj. Rozměry, nenáročnost provozu a dlouhá životnost umožňuje architektům a designérům pracovat s tímto typem světelného zdroje tak, jako nikdy předtím. LED zdroje světla mohou sloužit jako hlavní osvětlovací prvek v místnosti a stejně tak jako doplňující prvek vytvářející určitou světelnou scénérii. Taktéž nacházejí uplatnění v průmyslu ať už jako náhrada zářivkových trubic, nebo také halogenových svítidel. V oblasti pouličního osvětlení mají díky přesnému určení osvětlované plochy vliv nejen na spotřebu, ale také na omezení světelného smogu.

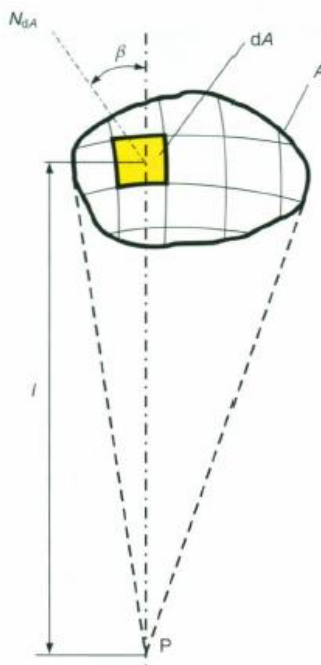
2 ZÁKLADNÍ VELIČINY SVĚTELNÉ TECHNIKY

Světelný tok

Světelný tok ϕ [lm] je základní jednotka ve světelné technice, určuje množství světla odpovídající ekvivalentu výkonu, který se uplatní při vidění. Světelný tok přímo ovlivňuje zrakový vjem a pro vznik zrakového vjemu je nutné dopravit do oka určité množství světelného toku. Hygienicky sledovanou veličinou je osvětlenost, která popisuje množství světelného toku připadajícího na osvětlovanou plochu. Distribuce světelného toku v prostoru je záležitostí konstrukce světelných zdrojů, svítidel a samozřejmě geometrického uspořádání celého prostoru. Svou roli hrají i barevné (spektrální) vlastnosti materiálů podílejících se na šíření světelného toku. [1]

Prostorový úhel

Světelný tok vychází ze zdroje v určitém prostorovém úhlu Ω . Prostorový úhel je ta část prostoru vymezeného obecnou kuželosečkou, jejíž vrchol je v místě středu vycházejícího záření. Jednotkou prostorového úhlu je steradián a velikostně je rovný ploše, kterou kuželosečka vytne na povrchu koule o poloměru 1 m, jejíž střed je shodný s vrcholem kužele, jak je patrné z Obrázek 1. [1]



Obrázek 1: Prostorový úhel, pod nímž je z bodu P vidět plocha A [10]

Prostorový úhel $d\Omega$, pod nímž je vidět element plochy z bodu P obecné plochy A ve vzdálenosti l , se vypočte ze vztahu (1).

$$d\Omega = \frac{dA \cdot \cos\beta}{l^2} \quad (1)$$

,kde

$d\Omega$ – prostorový úhel [sr],

dA – element plochy,

β – vyzařovací úhel,

l – vzdálenost bodu P od plochy A.

Svítivost

Malý prostorový úhel a známý světelný tok, který takovým prostorovým úhlem prochází, určuje další fotometrickou veličinu a to svítivost I_γ , která se dá vypočítat podle vztahu (2). Její jednotkou je kandela a tvoří jednu ze základních jednotek soustavy SI. Svítivost je vektor a má tedy svou velikost a směr. Směr je určen úhlem.

$$I_\gamma = \frac{d\phi}{d\Omega} \quad (2)$$

,kde

I_γ – svítivost [cd],

ϕ – světelný tok [lm],

Ω – prostorový úhel [sr].

Spojením všech koncových bodů vektorů svítivosti od bodového zdroje světla, vznikne tzv. fotometrická plocha svítivosti. Ta vyjadřuje směrové charakteristiky vyzařování světelného zdroje.

Svítivost je definována pouze pro bodové zdroje. Bodový zdroj je zdroj s nekonečně malými rozměry. V praxi je takový zdroj nerealizovatelný, a proto jsou za bodové zdroje považovány ty zdroje, jejichž největší rozměr nepřesahuje 1/10 vzdálenosti, ze které je zdroj pozorován. Následná chyba ve výpočtech zpravidla nepřesahuje 1%. Reálné zdroje s většími rozměry tedy nelze popsat vektory svítivosti, pokud by zdroj nebyl posuzován z dostatečné vzdálenosti, kdy se pozorovateli jako bodový jeví. Velký zdroj lze však rozdělit na zdroje menší, které této podmínce vyhovují. Výsledné působení je dáno společným působením jednotlivých takto vzniklých elementárních zdrojů. [1]

Osvětlenost

Osvětlenost (intenzita osvětlení) E rovinné plošky dA , tj. plošná hustota světelného toku $d\phi_d$, dopadlého na plošku dA , je určena vztahem (3).

$$E = \frac{d\phi_d}{dA} \quad (3)$$

,kde

E – intenzita osvětlení [lx],

$d\phi_d$ – dopadlý světelný tok [lm],

dA – plocha dopadu.

Osvětlenost plošky dA se často nazývá osvětlenost v bodě, jehož elementární okolí v uvažované rovině tvoří ploška dA . Jednotkou osvětlenosti je lux, rozměr jednotky 1 lx je $1 \text{ lm} \cdot \text{m}^{-2}$.

Pokud světelný tok dopadne na osvětlovanou plochu, vznikne určitá osvětlenost (intenzita osvětlení). Osvětlenost je tak další velice významnou fotometrickou veličinou, neboť osvětlenost je v praxi nejsledovanější veličinou světelné techniky. Jelikož energie elektromagnetického záření, resp. jeho prostorová hustota, klesá se čtvercem vzdálenosti, klesá se čtvercem vzdálenosti i osvětlenost, pokud je způsobena zdrojem o určité známé svítivosti, jak znázorňuje vztah (4). [1]

$$E = \frac{I_y}{l^2} \quad (4)$$

,kde

E – intenzita osvětlení [lx],

I_y – svítivost [cd],

l – vzdálenost.

Jas

Z hlediska lidského vidění je prakticky nejvýznamnější veličinou jas. Jas L [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$] je fotometrická veličina vyjadřující množství světelného toku, který se odráží nebo vychází z daného elementu, v určitém směru k místu pozorovatele. Jednotkou jasu je kandela na čtverečný metr. Pro snadnější představu je praktičtější vyjádření jasu jako poměru svítivosti elementární plošky ve směru k pozorovateli, k průměrné ploše této plošky na směr pozorování. [1]

Měrný světelný výkon

Neboli měrný výkon světelného zdroje η je vyjádření, jaké množství světelné energie je světelný zdroj schopný přetransformovat z 1 W elektrické energie, udává se v lumenech na watt a stanoví se podle vztahu (5). Je dán poměrem světelného toku ϕ a příkonu světelného zdroje P . Toto je ovšem velmi zjednodušené pojetí pojmu měrný světelný výkon, který obsahuje nepřesnosti. Nejvyšší realizované hodnoty, až $200 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$, dosahují například sodíkové výbojky. Pojem měrný světelný výkon je ale relativní, protože různé zdroje světla vykazují různé spektrální vlastnosti.

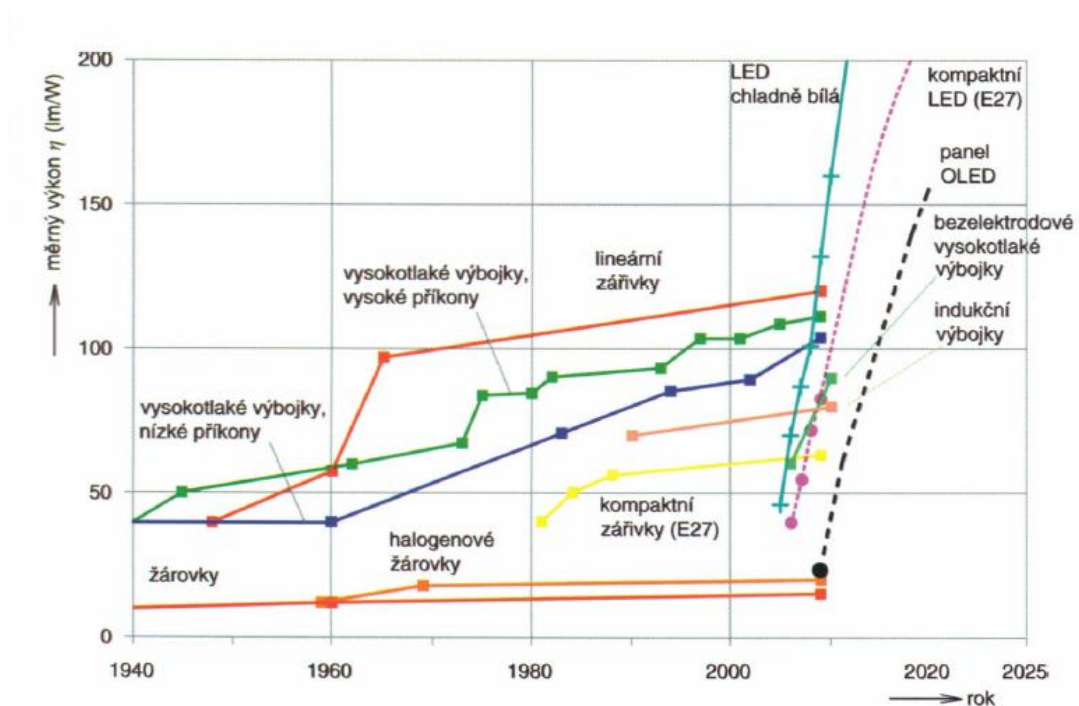
$$\eta = \frac{\phi}{P} \quad (5)$$

,kde

η – měrný výkon světelného zdroje [$\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$],

Φ – světelný tok [lm],

P – příkon světelného zdroje [P].



Obrázek 2: Vývoj měrného výkonu světelných zdrojů pro všeobecné osvětlení [11]

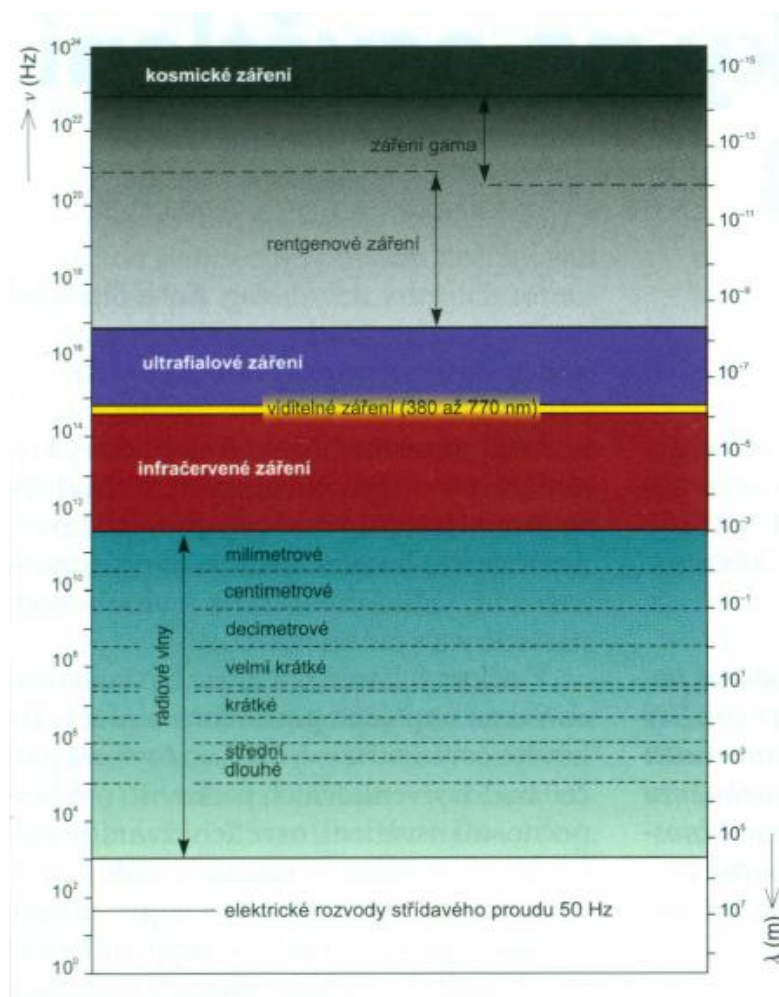
V poslední době, hlavně s bouřlivým rozvojem v posledních letech, roste výtěžnost světelné energie z elektrické, jak je patrné z grafu *Obrázek 2*. V tabulce *Tabulka 1* je vidět jak je hodnota měrného světelného výkonu různá napříč všemi typy světelných zdrojů.

Tabulka 1: Orientační přehled hodnot měrného světelného výkonu η pro různé typy světelných zdrojů [1]

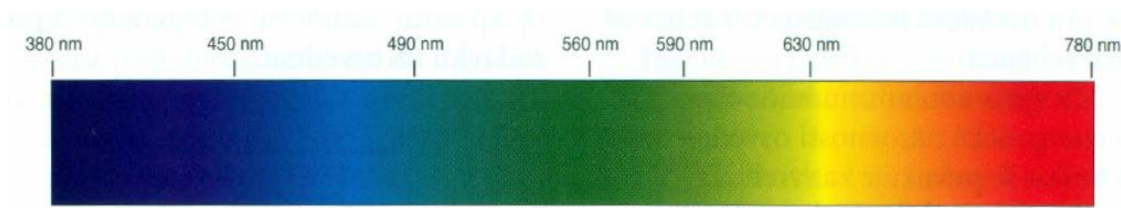
Typ světelného zdroje	Měrný světelný výkon η [$\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$]
Nízkotlaká sodíková výbojka	160 – 200
Vysokotlaká sodíková výbojka	100 – 140
Halogenidová výbojka	80 – 90
Kompaktní zářivka	60 – 100
LED	40 – 120
Rtuťová výbojka	40 – 60
Lineární zářivková trubice	40 – 100
Halogenová žárovka	12 – 17
Klasická žárovka	10 – 15

3 VIDITELNÉ SVĚTLO

Světlo je elektromagnetické záření detekovatelné lidským zrakem v rozmezí vlnových délek 380 – 780 nm, což je velmi úzká oblast v elektromagnetickém spektru, jak je vidět na *Obrázek 3*. Jelikož lidské oko má v tomto rozsahu určitou spektrální citlivost na jednotlivé vlnové délky, je nutné zářivé veličiny přepočítat na světelné (fotometrické) a dále již počítat s těmito fotometrickými veličinami. Barevné spektrum viditelného záření znázorňuje *Obrázek 4* a podle vlnových délek i *Tabulka 2*. Mezi základní veličiny pak patří zejména světelný tok, svítivost, osvětlenost, jas a světlení. [2]



Obrázek 3: Spektrum elektromagnetického záření [12]



Obrázek 4: Rozložení barevných tónů ve spektrální oblasti viditelného záření [12]

Tabulka 2: Vlnové délky spektrálních barev [15]

Rozmezí vlnových délek λ [nm]	Barevný tón spektrální barvy
380 – 430	fialová
430 – 465	modrofialová
465 – 490	modrá
490 – 500	modrozelená
500 – 560	zelená
560 – 575	zelenožlutá
575 – 585	žlutá
585 – 620	oranžová
620 – 770	červená

3.1 Vznik světla

Světlo jako viditelná složka elektromagnetického záření o vlnových délkách v rozsahu cca 380 – 780 nm může vznikat několika způsoby. V zásadě rozlišujeme tři typy vzniku viditelného záření:

- teplotní záření vyvolané vysokou teplotou emitujícího povrchu v souladu s Planckovým zákonem
- záření elektrického výboje v parách kovů a plynech
- luminiscence pevných látek.

Na základě těchto principů pracují v podstatě všechny dnes vyráběné světelné zdroje. Zdroje, kde světelné záření přímo vzniká přeměnou energie se nazývají primární, zdroje, kde je světlo vyzařováno prostřednictvím odrazu od povrchu se nazývají sekundární. Z hlediska umělého osvětlení jsou nejzajímavější především zdroje elektrické, transformující elektrickou energii na viditelné světlo, právě tyto zdroje jsou předmětem této práce.[2]

3.2 Barevné vlastnosti světla

Základní pojmy

Barva je kvalitativní složkou zrakového vjemu, popisovaná jako ta část vjemu, která umožňuje rozlišení dvou prostorově sousedících světelných podnětů, pokud není uvažována jejich intenzita. Povrch tělesa má barvu světla, které odráží nebo vyzařuje

Kolorita popisuje barevné vlastnosti povrchů těles, tj. jaký vjem barvy vzbudí určitý povrch nebo světlo propouštějící materiál při normalizovaném světle. Kolorita předmětu závisí na spektrálních vlastnostech činitele odrazu nebo prostupu materiálu.

Chromatičnost naopak popisuje vlastnosti primárních zdrojů světla, tj. barevné vlastnosti světla určitého světleného zdroje. Chromatičnost je dána pouze spektrálním složením daného světla. [1]

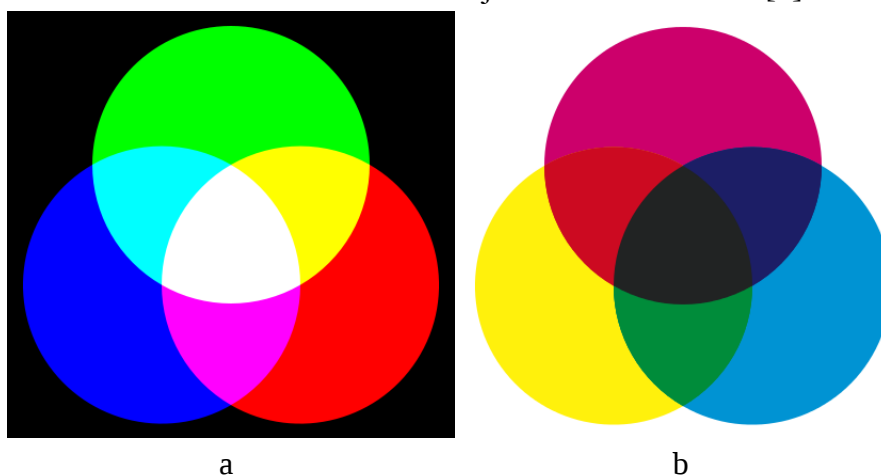
Mísení barev

Dva nebo více barevných podnětů se mohou mísit a vytvářet tak výsledný barevný vjem. Po smísení již nelze zpětně určit, z jakých komponent podnět vzniknul. Je-li barevné spektrum směs všech dostupných monochromatických světél, pak každé světlo je vlastně kompozicí těchto dílčích barevných podnětů. Po dopadu na sítnici oka dochází dále k redukci spektrální informace na tři typy barevných čípků, které rozlišují vjemy dlouhých, středních a krátkých vlnových délek. Na úrovni sítnice tedy dochází k rozdělení barevné informace na tři základní podněty, které jsou zdrojem pro vnímání barev.

Spojení více barevných podnětů do jediného prostým sečtením jednotlivých podnětů se nazývá aditivní míchání barev a je základem subjektivní kolorimetrie.

Vedle aditivního způsobu míchání barev se rozlišují také metody subtraktivního míchání, které vycházejí z opačného principu, kdy výsledný barevný vjem vzniká z původního světelného podnětu odečtením určitých spektrálních částí. Subtraktivní míchání barev je doménou tiskových zařízení.

Subtraktivní míchání je spíše pojem umělý, neboť barevné podněty není možné odečítat, ale lze sčítat původní barevné podněty zmenšené o určitou část spektra. Rozdíl mezi aditivním a subtraktivním mícháním barev je vidět na *Obrázek 5.[1]*



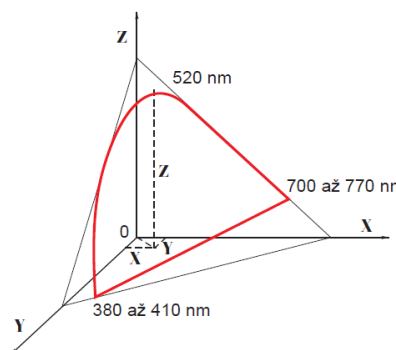
Obrázek 5: Aditivní (a) a subtraktivní (b) míchání barev [13]

Trichromatické soustavy a trichromatické souřadnice

K popisu barev se používají kolorimetrické soustavy. Pro přesné vyjádření barev jsou zapotřebí tři údaje. Proto bývají kolorimetrické soustavy také nazývány trichromatické soustavy a jsou založeny na tom, že libovolný barevný podnět lze nahradit součtem tří vhodně zvolených měrných barevných podnětů.

Tři údaje charakterizující barevný podnět – barevný tón, sytost barvy a intenzita (světelný tok nebo jas) barvy – jsou tedy jednoznačně určeny třemi nezávislými složkami trichromatické soustavy, např. X, Y, Z, které je možné znázornit v trojrozměrné soustavě souřadnic. Protne-li se prostorová soustava XYZ rovinou

vytínající na osách stejné úseky (např. rovina, pro niž též platí $X + Y + Z = 1$, vznikne v kolorimetrickém prostoru trojúhelník barev, jak znázorňuje náčrt na *Obrázek 6*.



Obrázek 6: Náčrt trojúhelníku barev v rovině $X+Y+Z=1$ kolorimetrického prostoru XYZ [31]

Čisté spektrální barvy v něm leží na křivce uzavřené mezi stranami trojúhelníku a každý bod uvnitř této křivky popisuje jednu barvu. Prostorové zobrazení je však nepraktické. Hodnotí-li se barevné podněty pouze z hlediska tónu a sytosti bez ohledu na intenzitu, tj. na hodnotu světelného toku či jasu, stačí k jejich znázornění rovinný diagram. Obvykle se pracuje s průmětem zmíněné jednotkové roviny ($X + Y + Z = 1$) do souřadnicové roviny xy . Trichromatické souřadnice (značeny malými písmeny, zpravidla x, y, z) jsou rovny podílu trichromatických složek a jejich součtu, jak udávají vztahy (6), (7), (8).

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad (6)$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad (7)$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z} \quad (8)$$

,kde

x, y, z – trichromatické souřadnice,

X, Y, Z – trichromatické složky.

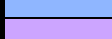
Přitom platí, že součet trichromatických souřadnic je roven jedné. Stačí tedy běžně pracovat pouze se dvěma souřadnicemi (např. x, y). Normální trojúhelník barev (diagram chromatičnosti) CIE v pravoúhlých souřadnicích x, y je zakreslen na *Obrázek 7*. [31]



Index podání barev R_a udává průměrnou odchylku barevného vnímání referenčních barevných vzorků osvětlených zkoumaným zdrojem světla, u nějž index podání barev je zjišťován a referenčním zdrojem světla, který je brán jako normál. Nejvyšší hodnota je 100 a nejnižší 0.

21

Tabulka 3: Přehled referenčních vzorků indexu barevného podání. [32]

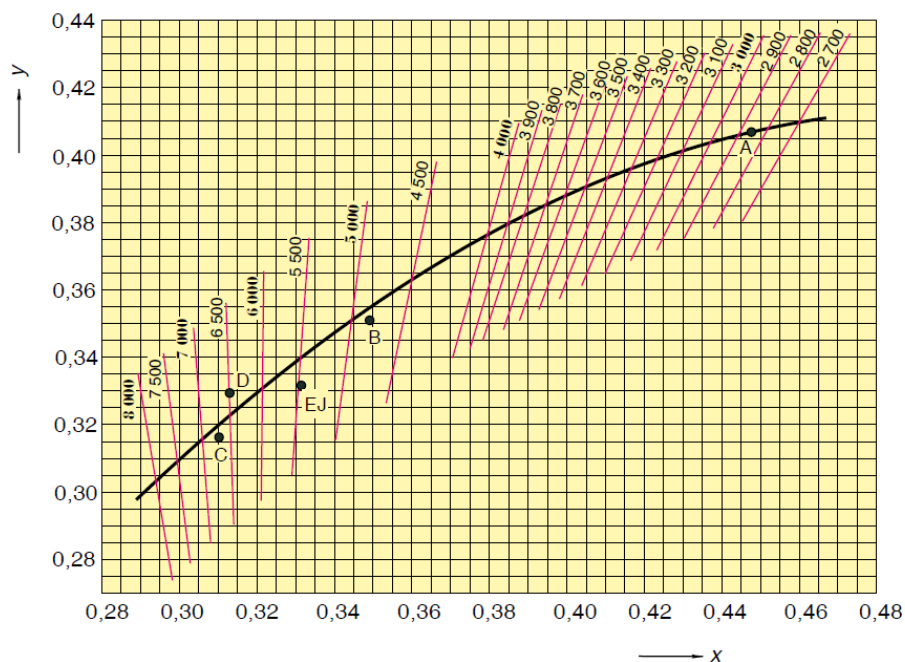
Číslo vzorku	Specifikace podle CIE			Orientační pojmenování barvy		Vzorek
	x	y	Y	česky	anglicky	
1	0,375	0,331	29,9	světle šedočervený	light greyish red	
2	0,385	0,395	28,9	tmavě šedožlutý	dark greyish yellow	
3	0,373	0,464	30,4	sytě žlutozelený	strong yellow green	
4	0,287	0,4	29,2	středně žlutozelený	moderate yellowish green	
5	0,258	0,306	30,7	světle modrozelený	light bluish green	
6	0,241	0,243	29,7	světle modrý	light blue	
7	0,284	0,241	29,5	světle fialový	light violet	
8	0,325	0,262	31,5	světle červenopurpurový	light reddish purple	
9	0,567	0,306	11,4	sytě červený	strong red	
10	0,438	0,462	59,1	sytě žlutý	strong yellow	
11	0,254	0,41	20	sytě zelený	strong green	
12	0,155	0,16	6,4	sytě modrý	strong blue	
13	0,372	0,352	57,3	světle žltorůžová (pleť)	light yellowish pink	
14	0,353	0,432	11,7	středně olivově zelená	moderate olive green	

Teplota chromatičnosti

Teplota chromatičnosti T ovlivňuje vnímání prostoru z hlediska zrakové pohody. Vychází z fyziologických aspektů zrakového vnímání, které respektují změnu teploty chromatičnosti světla během denního cyklu. Vnitřní osvětlení by proto mělo respektovat tyto fyziologicky nastavené skutečnosti. Teplotu chromatičnosti lze opět určit výpočtem nebo měřením. Teplotu chromatičnosti lze získat rovněž z katalogu a datových listů výrobců světelných zdrojů. Norma ČSN EN 12646-1 určuje pro některé prostory teploty chromatičnosti. Pro ostatní prostory by měla být hodnota určena na základě expertní znalosti, zkušenosti a praktické použitelnosti.

Teplota chromatičnosti vyjadřuje charakter spektra bílého světla. Hodnota odpovídá teplotě absolutně černého rozžhaveného tělesa v Kelvinech, z něhož vychází jak tepelné, tak světelné záření. Barva světla porovnávaného světelného zdroje potom odpovídá barvě tepelného záření

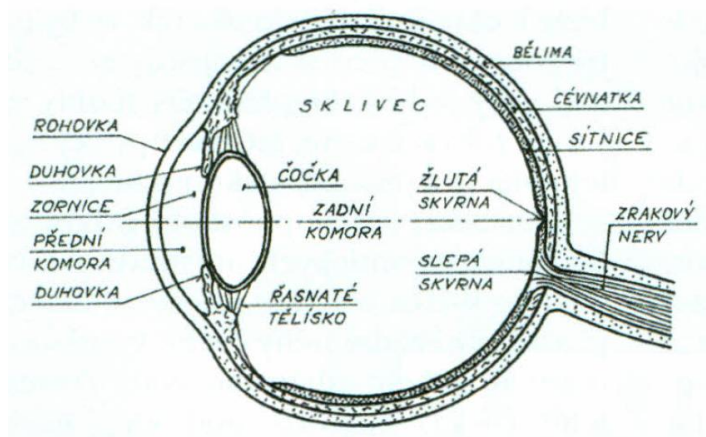
Teplota chromatičnosti se u elektrických zdrojů světla zpravidla pohybuje v rozsahu 2500K – 6500K. [1], [32]



Obrázek 8: Čára teplotních zářičů v souřadnicích x, y s vyznačenými čarami konstantních teplot chromatičnosti. [32]

3.3 Vnímání světla, oko

Oko je základní čidlo zraku, které převádí rozložení světelné energie na nervové signály vedoucí zrakovým nervem, který tvoří spojovací část, do mozku jako části centrální. Přeměna světelného podnětu na zrakový vjem je proces, který se skládá z celé řady složitých dějů, vznikajících v oku, nervové soustavě a zrakovém centru mozkové kůry. Z tohoto důvodu je vhodné si objasnit alespoň základní vlastnosti zraku a faktory, ovlivňující vidění. Řez lidským okem je patrný z Obrázek 9 [3]



Obrázek 9: Řez lidským okem [14]

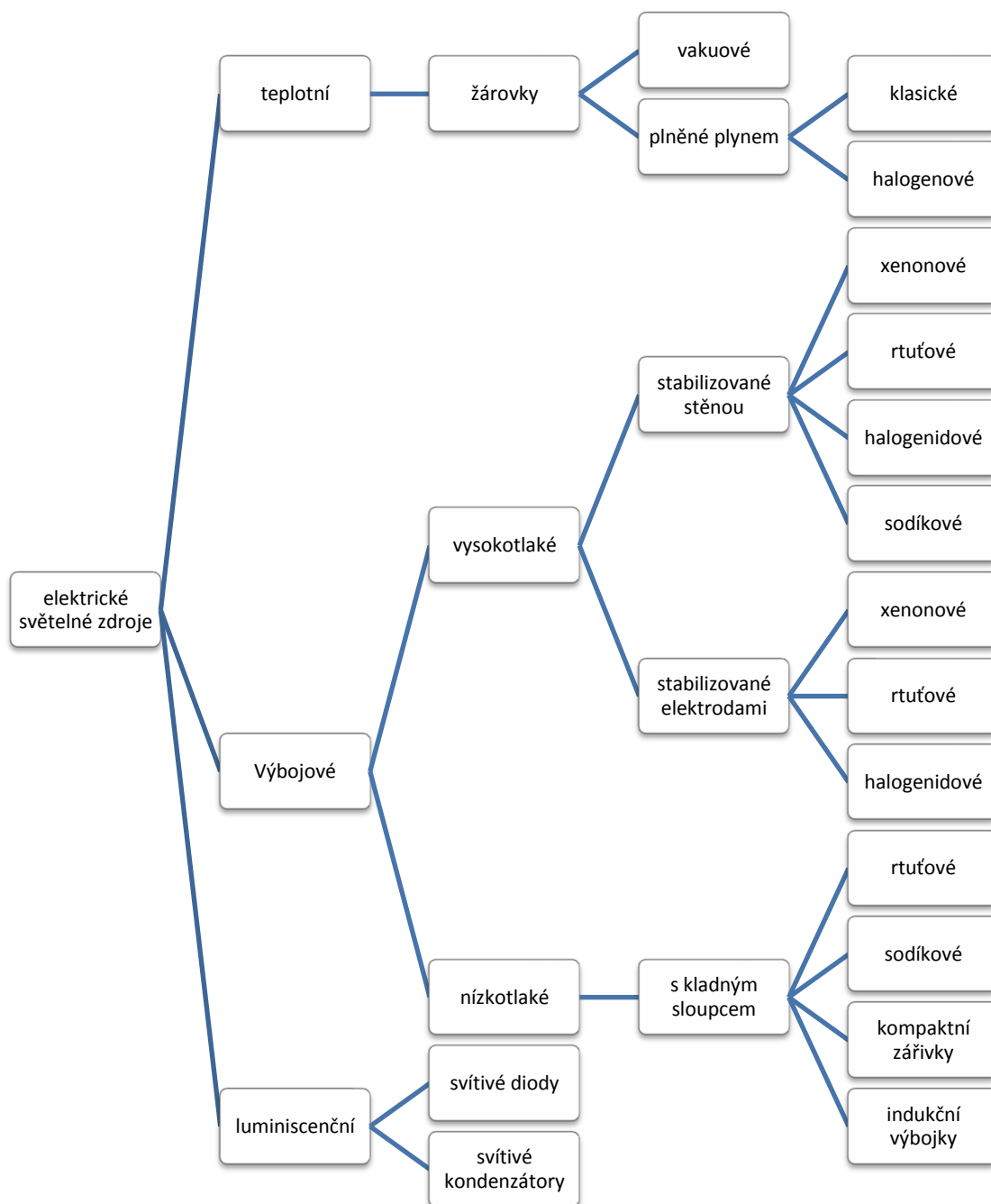
Oslnění

Oslněním je nepříznivý stav zraku, který narušuje zrakovou pohodu a zhoršuje nebo znemožňuje vidění. Příčinou oslnění bývá velmi silný jas ve vztahu k adaptačnímu stavu nebo překročení schopnosti adaptace zraku. Současná teorie rozlišuje dva druhy oslnění – fyziologické a psychologické. Fyziologickým oslněním nazýváme oslnění, které zřetelně zhoršuje činnost zraku, psychologickým oslněním rozumíme osvětlení, vyvolávající nepříjemný pocit, přičemž se nemusí zhoršovat činnost zraku.

Jelikož v osvětlovacích soustavách se fyziologické osvětlení prakticky nesmí objevit, je hodnocení oslnění zaměřeno především na mírnější složku – psychologické rušivé oslnění. Pokud se zabrání této složce, je automaticky zabráněno i všem vyšším stupňům oslnění. Pokud se zdroje rušivého oslnění podaří odstranit, při současném zajištění potřebné intenzity osvětlení, lze hovořit o tom, že daná soustava disponuje jak kvantitativními tak kvalitativními parametry. [2],[3]

4 ZDROJE SVĚTLA

Tato práce se zabývá pouze elektrickými zdroji světla. Tyto elektrické zdroje světla se dělí do kategorií a podkategorií podle způsobu přeměny elektrické energie na světelnou. V této kapitole jsou jednotlivé principy jednotlivých zdrojů vysvětleny. Základní členění znázorňuje *Obrázek 10*. [3]



Obrázek 10: Základní rozdělení elektrických zdrojů světla[2]

4.1 Teplotní zdroje světla (žárovky)

Teplotní zdroje světla využívají princip záření rozžhaveného pevného tělesa. Tento princip využívá nejstarší světelný zdroj – žárovka.[3]

Klasické žárovky

Klasická žárovka je nejstarším a zároveň nejlevnějším elektrickým zdrojem světla. První zmínka o žárovce je z roku 1820, ale technologii výroby zvládl až Thomas Alva Edison v roce 1879.

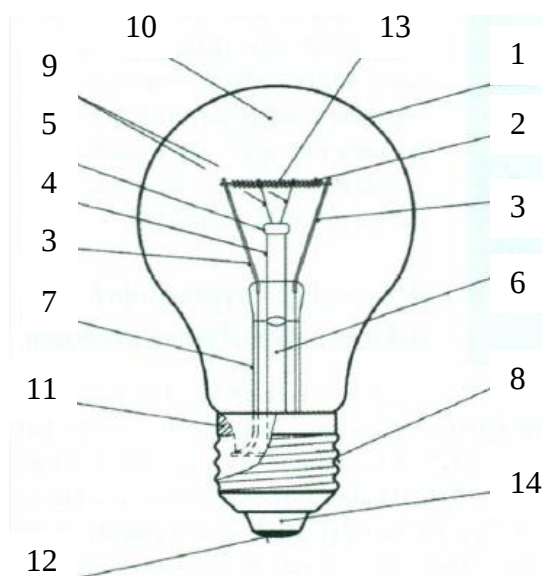
Základní podstatou dnešní běžně používané žárovky je wolframové vlákno, které tvoří vlastní součást, na které se přímo přeměňuje elektrická energie na světelnou. Průchodem proudu wolframovým vláknem se vlákno zahřívá, až se rozžhaví natolik, že začne vyzařovat žlutobílé světlo. Teplota vlákna při provozu se pohybuje okolo 2500°C.

Mimo wolframového vlákna jsou dalšími konstrukčními součástmi žárovky dva monelové vodiče (slitina Ni, Cu s příměsí Fe, Mn), které přivádějí k vláknu elektrickou energii a také molybdenové podpůrné háčky pro podepírání vlákna, a které díky svým tepelným vlastnostem vydrží velmi vysokou provozní teplotu vlákna. Obal žárovky tvoří vápenato-hořečnatá skleněná baňka, která díky svému složení odolává vysokým teplotám. Skleněné prvky uvnitř baňky se vyrábějí z olovnatého skla z důvodu velmi malé elektrické vodivosti i při vysokých teplotách. Baňka je doplněna o patici pro přívod elektrické energie do baňky. Celá baňka je naplněna inertním plynem z důvodu ochrany wolframového vlákna, které by na vzduchu po zapnutí shořelo, v dnešní době se pro náplň používá zpravidla krypton nebo xenon (10), vždy s přídavkem přibližně 10 % dusíku. [2],[3],[4]

Jednou z hlavních nevýhod klasické žárovky je její velmi nízká účinnost, ta se pohybuje okolo 2 %. Nejpoužívanější patice klasických žárovek jsou E14 a E27 (8), konstrukce je popsána na *Obrázek 11* a tvoří ji:

- baňka (1),
- wolframové vlákno (2),
- přívody (3),
- tyčinka (4),
- čočka (5),
- čerpací trubička (6),
- talířek (7),
- patice (8),
- podpěry vlákna (9),
- plynná náplň (10),
- tmel (11),
- pájka (12),

- getr (13),
- izolace patice (14).



Obrázek 11: Konstrukce klasické žárovky [16]

Halogenové žárovky

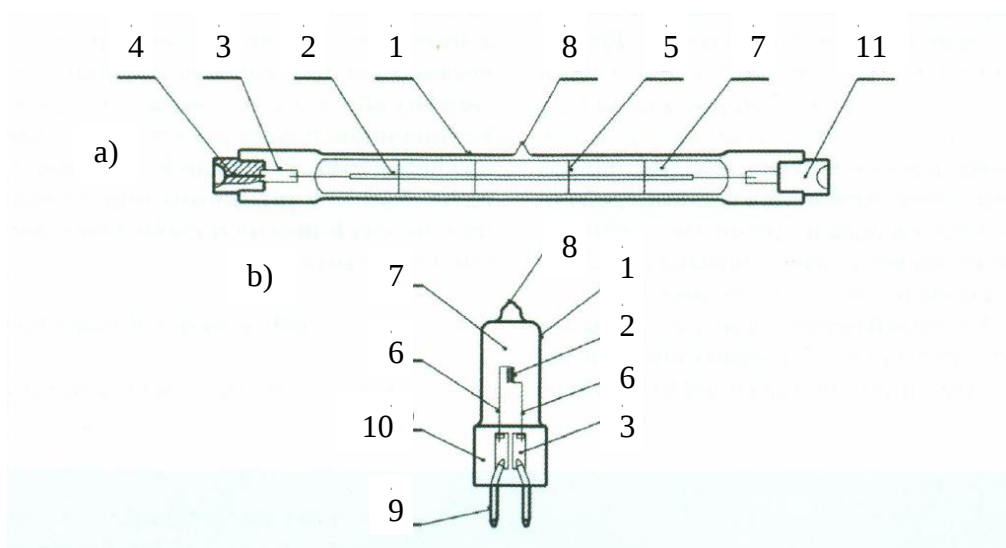
Halogenové žárovky jsou pouze speciální verzí klasické žárovky. Konstrukcí jsou klasickým žárovkám velmi podobné, jak je naznačeno na *Obrázek 12*. Hlavní konstrukčním rozdílem je materiál použité baňky, z důvodu daleko vyšších pracovních teplot, protože se vlákno daleko více přehřívá než u klasických žárovek (světlo je bělejší), je baňka tvořena křemenným sklem, které má navíc i silnější stěnu hlavně z důvodu daleko vyššího tlaku v baňce oproti běžnému atmosférickému. Princip halogenové žárovky spočívá ve zvýšení teploty vlákna a současně přidání příměsi halogenidu do náplně baňky. V baňce začne po rozsvícení probíhat chemická reakce. Z vlákna se vypařuje wolfram a ten se postupně slučuje a rozpadá s použitým halogenem – tato skupina reakcí se nazývá halogenový regenerační cyklus.

Provozní teplota baňky se může pohybovat až okolo 250 °C. Oproti baňce klasické žárovky, která filtruje UV záření, u halogenových žárovek použité křemenné sklo UV záření propouští, u některých typů žárovek se UV záření zadržuje přidáním ceria do skla baňky nebo musí být halogenová žárovka umístěna ve svítidle, které funkci UV filtru přebírá.

Dalším rizikem halogenové žárovky je kvůli použitému křemennému sklu náchylnost k nečistotám hlavně při manipulaci s žárovkou. Soli na pokožce ruky mohou žárovku naleptat, což může způsobit lokální rekrystalizaci, která může mít za následek prasknutí žárovky při provozu.[5]

Hlavními konstrukčními prvky jednotiskové (b) a dvoustiskové (a) halogenové žárovky jsou:

- baňka (1),
- wolframové vlákno (2),
- molybdenová fólie (3),
- molybdenový přívod (4),
- podpěra (5),
- koncečky vlákna (6),
- plynná náplň (7),
- odpalek čerpací trubičky (8),
- kolík (9),
- stisk (10),
- keramická patice (11).



Obrázek 12: Konstrukce halogenové žárovky [17]

4.2 Výbojové zdroje světla

Výbojové zdroje světla využívají přeměny elektrické energie na světelnou ve formě elektrického výboje, který hoří v prostředí plynů nebo par kovů. Elektrický výboj zpravidla hoří ve skleněné trubici mezi alespoň dvěma elektrodami.

Oproti ostatním typům zdrojů světla jsou výbojové zdroje světla typické svým pozvolným startem a postupným nabíháním na plný výkon zdroje. K zažehnutí oblouku je zpravidla potřeba vysokonapěťový impuls. Z toho plyne, že výbojkám vadí a je u nich nevhodné časté zapínání a to z toho důvodu, že to není efektivní, a také proto, že je výrazně snižována životnost světelného zdroje.

Protože elektrický výboj není lineární a má svou specifickou charakteristiku, je nutné do obvodu v sérii zařadit prvek, který proud výbojkou omezuje. Většinou se pro tento účel používá tlumivka nebo je výbojka řízena elektronickým předřadníkem.[1]

Vysokotlaké výbojky

Vysokotlaké výbojky se nejčastěji používají na osvětlení veřejných prostranství v pouličním osvětlení a dále také v průmyslových svítidlech v halách a podobně. Nejčastěji používané vysokotlaké výbojky jsou plněné buď sodíkem, rtutí, nebo halogenidy.

Vysokotlaká sodíková výbojka se skládá z hořáku, který je vyroben z polykrystalického oxidu hlinitého (průsvitného korundu), jehož vlastností je odolnost vůči sodíkovým výparům i za velmi vysokých provozních teplot. Do prostoru hořáku jsou přivedeny dvě elektrody. Sodík je do hořáku vkládán ve formě amalgámu a zbylý prostor hořáku je plněn inertním plynem pro usnadnění zapálení výboje, nejvhodnější je xenon. Celý hořák s přívody a přívodními elektrodami je zataven do skleněné baňky, ze které je vyčerpán vzduch kvůli omezení tepelných ztrát. Pro udržení vysokého vakua je v baňce umístěn getr, což je aktivní materiál, který na sebe váže a dále neuvolňuje molekuly plynů. Konstrukce je popsána na *Obrázek 13* a skládá se z těchto částí:

- korundová trubice (1),
- elektroda (2),
- niobová průchodka (3),
- pájecí kroužek (4),
- nosný rámeček (5),
- vnější baňka (6),
- patice (7),
- amalgám sodíku (8),
- getr (9),
- plynná náplň (10).

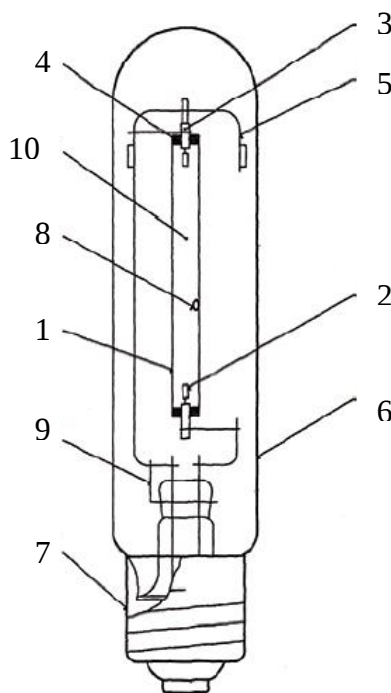
Na baňku se připevňuje přívodní patice, nejčastěji klasický závit E27 a E40 nebo bajonet. K zapálení oblouku se používá vysokonapěťový impuls, takže musí být v obvodu zařazena v sérii tlumivka, nebo je výbojka zapalována elektronicky.

Hořák vysokotlaké rtuťové výbojky se vyrábí z křemenného skla, do hořáku jsou zavedeny tři elektrody, dvě hlavní a jedna pomocná – startovací. Pomocná elektroda způsobuje prvotní ionizaci v prostředí okolo hlavní a pomocné elektrody a napomáhá tak snadnějšímu zapálení výboje mezi hlavními elektrodami. K zapálení postačuje síťové napětí, není tedy potřeba žádné další pomocné zařízení. Hořák se umísťuje do skleněné baňky, jejíž stěna je pokryta luminoforem, který převádí ultrafialové záření z hořáku do viditelného spektra. Rtuťové vysokotlaké výbojky vyzařují na rozdíl od sodíkových nejvíce světelné energie právě v ultrafialové oblasti spektra. Baňka

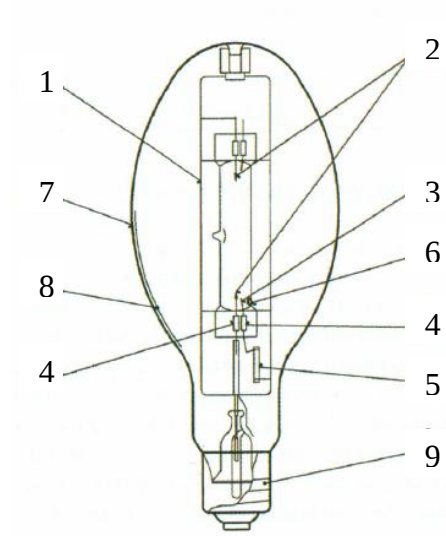
je plněna směsí argonu a dusíku o tlaku 50kPa, a je k ní připevňována patice, nejčastěji podle příkonu E27 nebo E40, konstrukční řešení je na *Obrázek 14* a skládá se z:

- nosný rámeček (1),
- hlavní elektrody (2),
- pomocná elektroda (3),
- molybdenová fólie (4),
- resistor (5),
- rtuť (6),
- vnější baňka (7),
- vrstva luminoforu (8),
- patice (9).

Parciální tlak v hořáku se za provozu podle typu výbojky pohybuje v rozmezí 10 - 100kPa. Poslední typ – halogenidové výbojky jsou konstrukčně řešeny podobně jako vysokotlaké rtuťové výbojky. Náplň hořáku je tvoří směs argonu, rtuti a některého halogenidu (například jodidy nebo bromidy kovů jako sodík, scandium, litium, thalium, indium, kovy vzácných zemin, dysprosium, holmium, thulium, erbium, ytterbium a další). Použití halogenidů má za důsledek lepší barevné vlastnosti produkovaného světla. [1],[5]



Obrázek 13: Konstrukce vysokotlaké sodíkové výbojky [18]



Obrázek 14: Konstrukce vysokotlaké rtuťové výbojky [19]

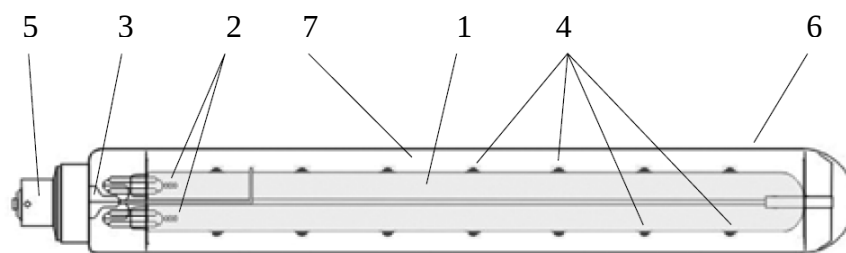
Nízkotlaké výbojky

Nízkotlaké výbojky jsou velice používané, a to jak v domácnostech, tak i v průmyslu, protože se do této kategorie řadí hlavně lineární zářivky, kompaktní zářivky, jakožto nízkotlaké rtuťové výbojky, a současně také sodíkové nízkotlaké výbojky.

Nízkotlaké sodíkové výbojky se používají většinou pro osvětlování dálnic, tunelů a jako bezpečnostní osvětlení, v České republice však moc rozšířené nejsou. Mají sice velkou světelnou účinnost, jejich světlo je však monochromatické, index podání barev nulový, takže výrazné praktické použití v průmyslu nemá. Hořák nízkotlaké sodíkové výbojky se vyrábí ze speciálního vápenatého skla s vnitřní tenkou boritou vrstvou, která zabraňuje agresivnímu působení sodíku. Sklo nemusí být odolné vysokým teplotám, jak tomu je u vysokotlaké sodíkové výbojky, protože pracovní teplota světelného zdroje se pohybuje jen okolo 270 °C, téměř vždy se vyrábějí ve tvaru U a umísťují se do další ochranné baňky, jak je znázorněno na *Obrázek 15*. Tyto výbojky se vyrábí do jmenovitého příkonu 180W a jednou z výhod je rychlejší náběh na plný světelný výkon na rozdíl od vysokotlaké sodíkové výbojky. Bez problému to zvládá i při okolní teplotě do -20 °C. Jednou z hlavních nevýhod mimo barvu světla je postupný nárůst příkonu s přibývajícím hodinami provozu. Jednotlivé konstrukční části nízkotlaké sodíkové výbojky jsou:

- výbojová trubice (1),
- katoda (2),
- nožka (3),
- chladná místa (4),
- patice (5),
- vnější baňka s odraznou vrstvou (6),

- vakuum (7).

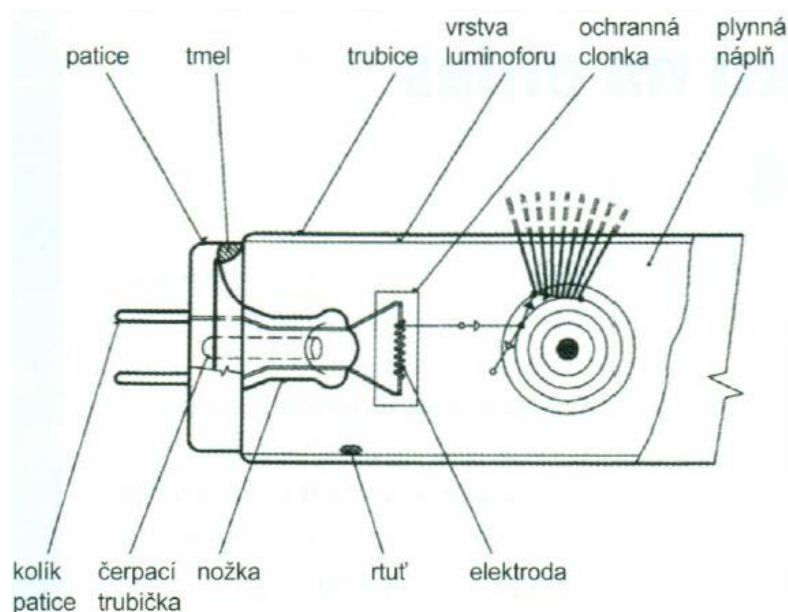


Obrázek 15: Konstrukce nizkotlaké sodíkové výbojky [20]

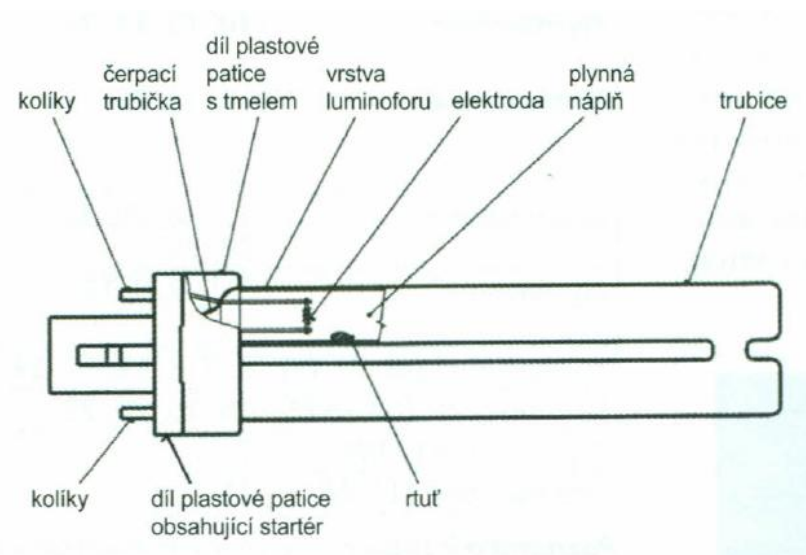
Nízkotlakou rtuťovou výbojku tvoří skleněná baňka tvaru válce, jejíž délka je vždy daleko větší než průměr. Na každé straně trubice je dvojice elektrod, mezi nimiž je připojeno wolframové vlákno, trubice se tedy do obvodu zapojuje čtyřmi vodiči. Vnitřní stěna trubice je pokryta vrstvou luminoforu, který převádí UV záření, vznikající výbojem v trubici, na viditelné světlo a vrstva luminoforu může být i několikanásobná (Obrázek 16). Použitý luminofor přímo určuje index podání barev. Tlak v trubici se pohybuje okolo 0,8 Pa a teplota je asi 42 °C.

Nízkotlaké výbojky jsou specifické způsobem zapínání, jak již bylo naznačeno v úvodu kapitoly. Pro zažehnutí výboje se výbojka připojuje buď přes elektronický předřadník, nebo se v zapojení musí použít tlumivka, anebo startér. Tlumivka slouží k proudovému omezení a k vytvoření vysokonapěťového impulsu při rozpojení obvodu startérem. Startér je bimetal, který se průchodem proudu zahřívá a při určité teplotě se rozpojí. Po zapnutí zářivky a uzavření elektrického obvodu začne proud protékat tlumivkou, vlákny na konci trubice a uzavírá se přes startér. Ve chvíli, kdy se bimetal rozpojí, vytvoří se na tlumivce vysokonapěťový puls, který zažehne oblouk v trubici mezi elektrodami na obou koncích. V případě, že se nepodaří zažehnout výboj při prvním impulsu, tak se po ochlazení bimetalu ve startéru a jeho spojení, akce opakuje. Po zažehnutí výboje se na trubici objeví napětí, výboj hoří a startér ztrácí v obvodu význam.

Mimo lineárních zářivek se rtuťové výbojky vyrábějí ve formě malých kompaktních zářivek (Obrázek 17), které startují v naprosté většině díky elektronickému předřadníku, takže je náběh hladší, i přesto naběhne tato kompaktní zářivka na plný výkon v řádu minut. Pro připojení do svítidla bývají opatřeny standardními paticemi E14 a E27. [6],[1]



Obrázek 16: Konstrukce lineární zářivky [21]

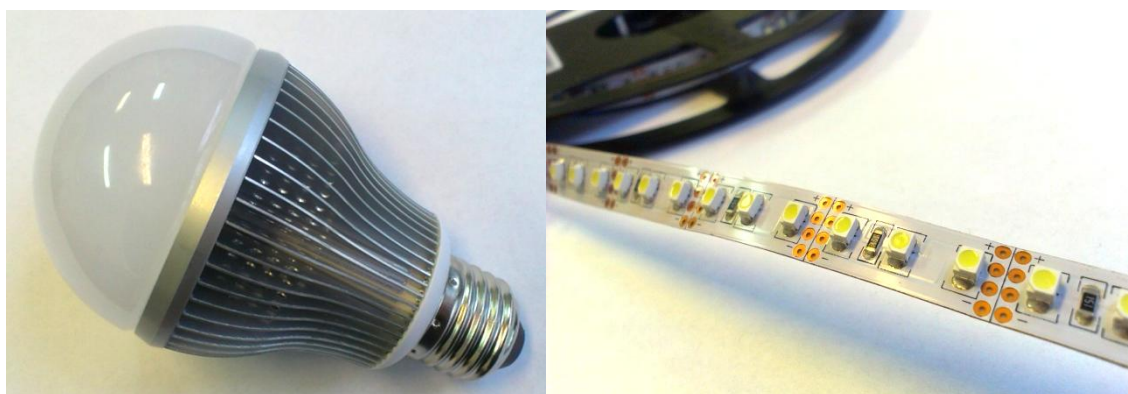


Obrázek 17: Konstrukce kompaktní zářivky s integrovaným startérem [22]

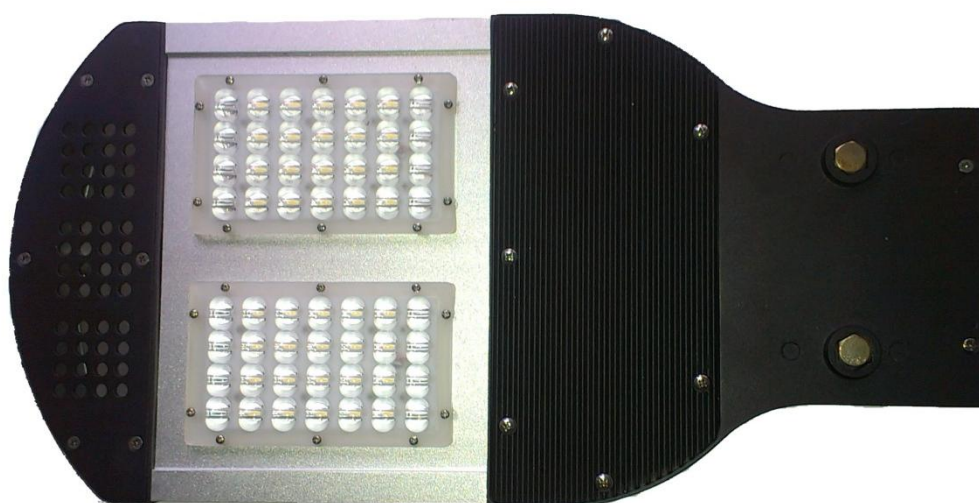
4.3 Luminiscenční zdroje světla (LED)

LED zdroje světla jsou v současné době jedny z nejdynamičtější se rozvíjejících a nejdiskutovanějších elektrických zdrojů světla. Svítivé diody se jako signálky, kontrolky a malé zdroje světla pro orientační svítidla používají už dlouho, ale v podobě, jak je známe dnes – jako ekvivalenty k běžným zdrojům jako žárovka nebo kompaktní zářivka, existují jen několik let, stávají se světelnými zdroji budoucnosti. Na trhu se objevuje nepřehledné množství forem, tvarů a provedení těchto zdrojů, ale všechny mají společné dva základní prvky, které jsou pro jejich funkci nutné – samotný LED modul a zdroj elektrické energie pro tento modul. Mezi výhody LED zdrojů světla patří okamžitý náběh na plný výkon hned po zapnutí, a také jednoduchá možnost stmívání.

Nejtypičtější formy LED zdrojů světla jsou LED žárovky, které mají všechny funkční součásti v jednom zařízení, lze je tedy vyměnit za stávající zdroje světla. Pro připojení se vyrábějí se stejnými paticemi jako žárovky, lineární zářivky, kompaktní zářivky a další. Nejčastěji se jedná o patice E14, E27, GU10, MR16, G24, T8 a další. Jiná, často používaná forma provedení je LED pásek. Jedná se o sérioparalelní kombinaci LED, které jsou připájeny na měděnou vrstvu plastového samolepícího pásu. Tyto LED pásy se vyrábějí v různých barevných provedeních, různě výkonné a taky bez krytí nebo celé zalité v čirém plastu, u takových je dosaženo krytí až IP 67. K LED páskům je potřebný externí napájecí zdroj, protože jsou nejčastěji provozovány na 12 V nebo 24 V. Příklady provedení LED zdrojů světla jsou na *Obrázek 18*. Dále se na trhu s LED produkty lze setkat přímo se svítidly, ve kterých jsou LED moduly použity jako zdroj světla, nejčastěji se jedná o LED reflektory, jakožto ekvivalenty k halogenovým reflektorům a taky ekvivalenty lamp pouličního osvětlení, například *Obrázek 19*. U těchto svítidel je napájecí zdroj rovněž součástí svítidla, přívod napájení je v provedení pevného přívodu připojeného na svorkovnici.



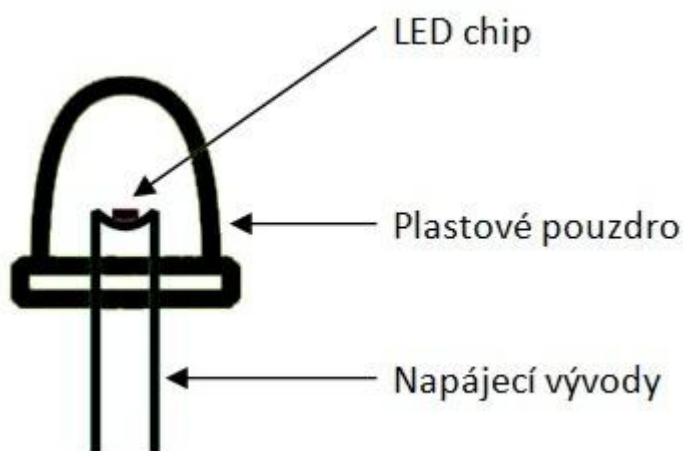
Obrázek 18: Typy LED zdrojů světla - LED žárovka, LED pásek



Obrázek 19: LED pouliční lampa

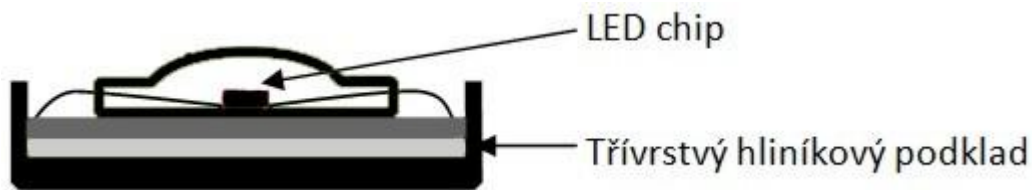
LED moduly

V oblasti LED modulů se v současné době používají čtyři základní typy modulů. Prvním typem, vývojově nejstarším, je DIP LED (Dual In-line Package), jedná se o klasickou svítivou diodu v pouzdře se dvěma drátovými vývody. Toto konstrukční řešení svítivé diody bylo poprvé použito v roce 1962 a je patrné z *Obrázek 20*. Dalším velkým přelomem byl vynález modré LED, která je technologicky náročnější, než jiné barvy a to už byl jen krůček k bílé LED, která je základem všech LED zdrojů světla. Z hlediska principu vzniku bílého světla ve svítivé diodě existují tři principy. Prvním je míchání bílé barvy z RGB složek. Negativum je prosvítání jednotlivých barev na okrajích světelných kuželů, které se nikdy zcela nepřekrývají a postupná změna výsledné barvy z důvodu různého stárnutí jednotlivých RGB složek. Druhým, nejčastěji používaným principem je modrá LED, jejíž přechod je pokryt vrstvou luminoforu, který má za úkol transformovat vyzařované spektrum tak, aby výsledné světlo bylo bílé. Třetí a poslední princip je podobný druhému, na bílé světlo je prostřednictvím luminoforu transformováno UV záření, které vychází s PN přechodu svítivé diody. LED moduly s DIP LED modulem se skládají z několika těchto diod umístěných na desce plošného spoje, zapojené sérioparalelně. Od tohoto typu se postupně upouští, protože je ve srovnání s ostatními nejméně efektivní a zároveň je u tohoto typu největší problém s chlazením.



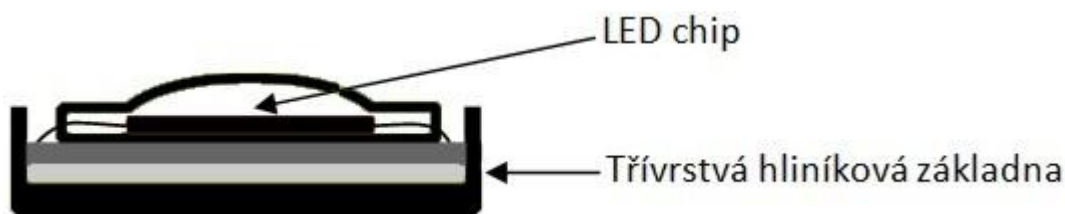
Obrázek 20: Konstrukce DIP LED [23]

Druhým typem v historické vývojové řadě je SMD LED (Surface Mount Device). U SMD LED na rozdíl od DIP LED je PN přechod, na kterém vzniká samotné světlo, umístěn na hliníkové základně, přes kterou lze jednoduše od PN přechodu odvádět vznikající teplo. Celý PN přechod je zataven do plastového pouzdra a přívody jsou realizovány ve formě dvou měděných pájecích plošek po stranách součástky, jak je vidět na *Obrázek 21*. LED moduly podobně jako u předchozího typu vznikají seskupením více SMD LED na jedno místo nebo v případě LED pásky a trubice za sebou do řady. Běžný vyzařovací úhel těchto LED je 120°.



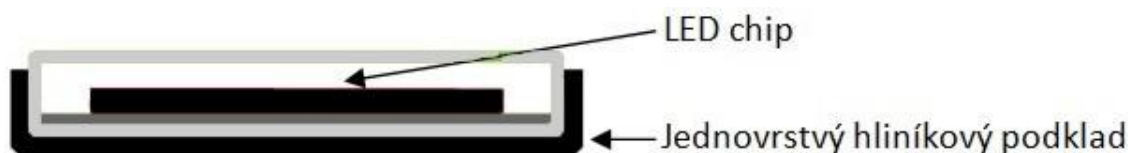
Obrázek 21: Konstrukce SMD LED [23]

Dalším typem je COB LED (Chip On Board). Konstrukčně je tento typ hodně podobný SMD LED. Opět se jedná o PN přechod, umístěný na hliníkové základně s tím rozdílem, že je větší než u předchozího typu, jedná se už o LED chip. Pro zvýšení efektivity využití světla vyzařovaného z PN přechodu je součástí zapouzdření čočka, která opticky usměrňuje světlo tam, kde je vyžadováno. Po stranách pouzdra jsou přívody ve formě měděných plošek. Konstrukci popisuje *Obrázek 22*.



Obrázek 22: Konstrukce COB LED [23]

Posledním typem, z hlediska vývoje nejnovějším, je MCOB LED (Multi-Chip On Board). MCOB LED se od COB LED liší pouze v konstrukci LED chipu, ten je oproti předchozímu složen z více PN přechodů, jako by bylo na jednom chipu integrováno více LED v jednom pouzdře. Výsledkem je součástka, u které lze dosáhnout daleko větších výkonů než u předchozích, takže LED modul světelného zdroje může tvořit pouze jedna součástka, pouze tato MCOB LED, jak je patrné z *Obrázek 23*. [23],[24]



Obrázek 23: Konstrukce MCOB LED [23]

Zdroje pro LED moduly - drivery

Zdroje pro LED světelné zdroje, mezi výrobci a distributory též označovány jako drivery, jsou elektrická zařízení, která transformují síťové napětí 230 V na napětí pro potřeby LED modulu. Velikost tohoto napětí se typ od typu liší, ale nejčastěji je to 12 V a 24 V. Zdrojů pro LED existuje velké množství, liší se hlavně ve složitosti konstrukce, účinnosti transformace napětí, ceně, životnosti, kvalitě a v dalších parametrech.

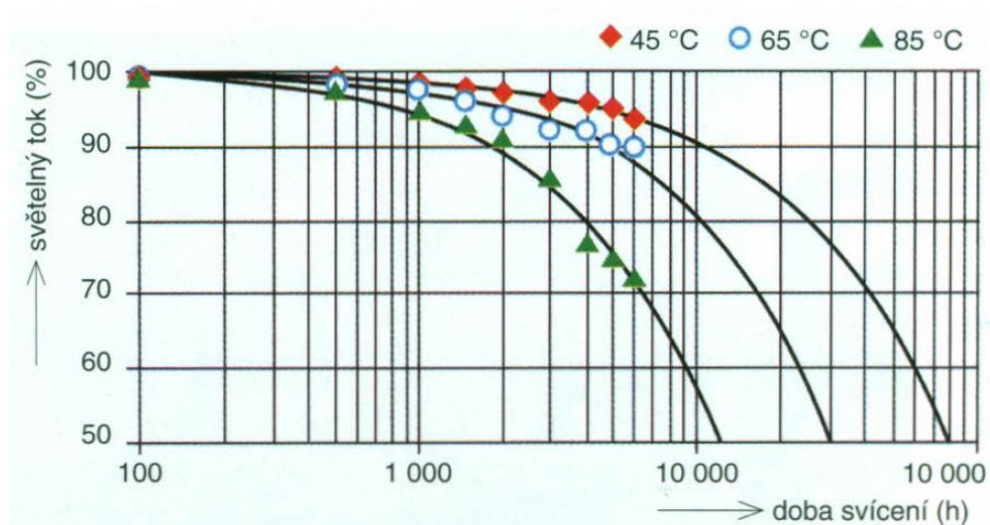
Nejzákladnějším, nejjednodušším a nejlevnějším zdrojem je odporový nebo kapacitní zdroj. V principu se jedná pouze o snižování napětí na pasivních prvcích, protože i pasivní prvky mají svou vlastní spotřebu, kterou nelze zanedbat, je účinnost těchto

zdrojů malá. Také kvalita a životnost těchto zdrojů je právě díky své jednoduchosti malá.

Mnohem lepší, účinnější a kvalitnější, ale konstrukčně složitější jsou spínané zdroje. V principu jsou ale jednoduché - vstupní napětí spínaného zdroje je usměrněno a vyfiltrováno. Toto stejnosměrné napětí je převedeno na střídavé vysokofrekvenční napětí, které je transformováno vysokofrekvenčním transformátorem na nižší hodnotu a nakonec opět usměrněno a vyfiltrováno. Vysoká frekvence je u tohoto typu zdroje použita, protože na vyšších frekvencích je transformátor lépe využit a tím pádem lze ve zdroji použít transformátor menších rozměrů, než u klasického zdroje, který pracuje se síťovou frekvencí 50Hz. [25], [26]

Chlazení LED prvků

Protože životnost LED a potažmo i LED modulů je přímo závislá na teplotě, je nesmírně důležité tyto při provozu chladit. Teploty nad 65 °C mají za následek trvalé poškození LED chipu a tím se výrazně zkracuje životnost těchto světelných zdrojů, jak naznačuje graf na *Obrázek 24*. V naprosté většině případů se pro chlazení používají pasivní hliníkové chladiče, které jsou v přímém kontaktu s LED modulem. U LED žárovek to bývá žebrový hliníkový chladič, u LED pásků je dostačujícím chladičem hliníkový profil, v němž by měl být LED pásek umístěný. [27]



Obrázek 24: Závislost parametrů LED na teplotě okolí [28]

5 PŘEHLED PROVOZNÍCH PARAMETRŮ ZDROJŮ SVĚTLA

Při porovnávání světelných zdrojů je potřeba porovnávat jejich nejpodstatnější provozní parametry. Je možné však porovnávat pouze takové parametry, které lze srovnatelně u všech porovnávaných zdrojů změřit, což může být někdy problém. Některé světelné zdroje svou velmi odlišnou konstrukcí mohou být v jistých ohledech neporovnatelné. Všechny porovnávané parametry lze rozdělit do dvou skupin podle jejich charakteru. Jsou to elektrické parametry a světelně technické parametry.

5.1 Elektrické parametry

- *Jmenovité napájecí napětí U* je nejdůležitějším elektrickým parametrem světelného zdroje. U všech světelných zdrojů platí, že špatnou volbou napájecího napětí je možné tento zničit. Výrobce je povinen napájecí napětí na výrobku, případně na obalu vždy uvádět.

- *Jmenovitý napájecí proud I* je ustálená hodnota proudu, která by při standardním provozu světelného zdroje při jmenovitém napájecím napětí neměla být překročena.

- *Příkon P* světelného zdroje je dalším velmi důležitým sledovaným parametrem. Tento parametr by výrobce samozřejmě měl taky na zařízení uvádět. Příkon světelného zdroje je nutné měřit v komplexní rovině jako příkon obecné impedance, protože vlivem používání spínaných zdrojů u většiny světelných zdrojů může být důležitý podíl jalové složky, a tudíž nebude možné ji zanedbat a brát zařízení za čistě odporovou zátěž. Hlavně u veřejného osvětlení může docházet k úbytkům napětí na vedení, proto je vhodné měřit wattmetrem příkon zdrojů světla i v závislosti na napětí a také prověřit, jestli není příkon po zapnutí světelného zdroje vyšší, než při jeho provozu. [30]

- *Účinník $\cos \varphi$* udává poměr činné a zdánlivé složky odebírané energie, udává, jaké množství činné energie na první harmonické dokáže spotřebič dle svého charakteru využít z energie zdánlivé. Vyjadřuje kosinus fázového posunu mezi napětím a proudem. Je snaha, aby se účinník blížil jedné, proto se k dosažení tohoto požadavku provádí kompenzace.

- *Power faktor PF* je podobně jako účinník vyjádření poměru činné a zdánlivé složky odebírané energie, ale se zohledněním i vyšších harmonických.

- *Vliv vyšších harmonických proudů I_h* je důležité prověřit z důvodu používaných spínaných zdrojů, zda nedochází ke zkreslení, a tím k rušení rozvodné sítě. Při odebírání vyšších harmonických vznikají na vedení neharmonické napěťové úbytky, které jsou nežádoucí.

- *Křížové charakteristiky* jsou grafické znázornění relativních hodnot vybraných parametrů světelných zdrojů v závislosti na napájecím napětí.

5.2 Světelně technické parametry

Světelně technické parametry spolu vzájemně hodně souvisí, při srovnávání nelze porovnávat čistě stejné parametry mezi sebou, ale je nutné přemýšlet nad porovnávanými světelnými zdroji komplexně, hlavně při úvaze nad použitím světelného zdroje v praxi. Může se stát, že například v měrném světelném výkonu převyšuje jeden světelný zdroj všechny ostatní, ale jeho index podání barev je pro některé účely naprosto nevhodný, typicky nízkotlaká sodíková výbojka. Proto je i při porovnávání potřeba přemýšlet jaký je konkrétní účel použití.

- *Světelný tok ϕ* je základním světelně technickým parametrem, vychází a počítají se z něj další důležité parametry. Při měření světelného toku je pro porovnávání parametrů podstatné jeho množství bez ohledu na jeho prostorové rozložení, je potřeba ho měřit ve všech směrech vyzařování. Pro určení tohoto množství je potřeba určit elementární světelný tok v elementárním prostorovém úhlu. Sumací všech elementů světelného toku přes všechny směry vyzařování, pak lze získat úhrnný světelný tok ϕ , jak dokazuje vztah (9). [29]

$$\phi = \int_{4\pi} I(\gamma, \nu) \cdot d\omega \quad (9)$$

,kde

ϕ – světelný tok [lm],

γ, ν – elementy světelného toku.

- *Měrný světelný výkon η* je jedním z nejsledovanějších parametrů. Je dán poměrem změřeného světelného toku světelného zdroje a jeho příkonu, jak znázorňuje vzorec (10).

$$\eta = \frac{\phi}{P} \quad (10)$$

,kde

η – měrný výkon světelného zdroje [$\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$],

ϕ – světelný tok [lm],

P – příkon světelného zdroje [P].

- *Teplota chromatičnosti T* vyjadřuje charakter spektra bílého světla. Hodnota odpovídá teplotě absolutně černého rozžhaveného tělesa v Kelvinech, z něhož vychází jak tepelné, tak světelné záření. Podrobněji je tomuto parametru věnován odstavec v kapitole 3.2.

- *Index podání barev Ra* udává jak spektrum, vyzařované světelným zdrojem ovlivňuje zrakový vjem člověka a zkreslení barev předmětů, které jsou daným světelným zdrojem osvětlovány při zohlednění různé citlivosti lidského zraku na různé vlnové délky záření. Podrobněji je tomuto parametru věnován odstavec v kapitole 3.2.

- *Spektrum vyzařované světelným zdrojem* je sledováno například z důvodu zastoupení jednotlivých složek spektra, z důvodu intenzity záření na těchto složkách a v neposlední řadě je sledována spojitost a rozložení zastoupených složek.

- *Náběh světelného toku v čase* velmi souvisí s účelem použití světelného zdroje. Žádný světelný zdroj se po zapnutí nedostane v nulovém čase na plný světelný tok, vždy to trvá nějaký čas. Například u žárovky se tento čas pohybuje v řádech vteřin, u zářivek v řádech minut a u výbojek to může být dokonce v řádech desítek minut.

- *Oteplení povrchu světelného zdroje v čase* je zkoumáno především u LED zdrojů světla z důvodu ověření efektivnosti chladiče. Jestliže se povrch rychle zahřívá, znamená to, že chladič není dostatečný, aby odvedl odpadní teplo od LED chipu, a ten se potom přehřívá. U jiných světelných zdrojů to může být například z důvodu bezpečnosti. Například žárovka se na povrchu již po krátké době provozu výrazně zahřívá a při nevhodném umístění může být při doteku nebezpečná.

- *Provozní teplota t* je dalším důležitým sledovaným parametrem, hlavně pro LED zdroje světla. K měření se nejčastěji používají termočlánky nebo termokamera, zde je ale problém, protože různé části světelného zdroje mají na povrchu různou emisivitu, což by mohlo být termokamerou chybně vyhodnoceno.

- *Křivky svítivosti* je v praxi ve světelné technice také často potřeba měřit, jedná se o spojnice míst se stejnou svítivostí I v polárních souřadnicích. Měření se provádí luxmetrem v různých vzdálenostech od svítidla. Jednotlivé hodnoty se vypočítají jako součin naměřené osvětlenosti E a druhé mocniny vzdálenosti čidla luxmetru od světelného zdroje, jak je vidět ze vztahu (11).

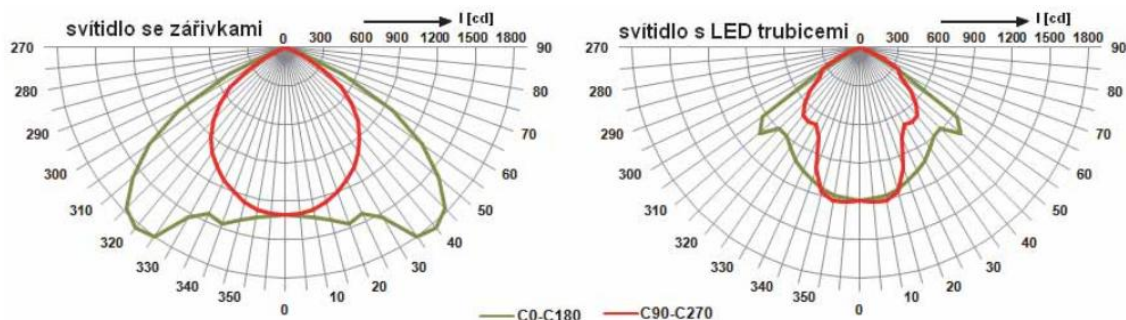
$$I = E \cdot l^2 \quad (11)$$

,kde

I – svítivost [cd],

E – osvětlenost [lx].

V praxi se pro tato měření používají goniofotometry, což jsou zařízení, která měří svítivost v různých úhlech a rovinách, výsledkem měření jsou křivky svítivosti jako například na *Obrázek 25*.



Obrázek 25: Křivky svítivosti pro mřížkové svítidlo s lineární zářivkou a LED trubici ve dvou rovinách [30]

Obecně je při záměně lineárních zářivek za LED trubice problém v nerovnoměrnosti osvětlení a v nerovnoměrnosti světelného toku, vycházejícího ze svítidla. Běžné moderní svítidlo, osazené lineární zářivkou, bývá ve většině případů vybaveno odraznými plochami, které přenášejí světelný tok, který vyzařuje trubice dozadu do směru na osvětlovanou plochu a při jasové analýze se svítidlo jeví jako velká rovnoměrně svítící plocha. Na *Obrázek 25* jsou vidět křivky svítivosti svítidla, osazeného v jednom případě lineární zářivkovou trubicí, ve druhém LED trubicí, pokaždé ve dvou na sebe kolmých rovinách. LED trubice jsou konstruovány jako jednosměrně svítící světelný zdroj, který je omezený na určitý úhel, nejčastěji 120° – 150° , odrazné plochy svítidla v tomto případě nejsou využívány a svítidlo svítí ostře jen v úzkém pruhu, do kterého jsou v LED trubicí osazeny LED moduly. Takto svítící svítidlo naráží na problematiku oslnění, které se částečně řeší umístěním mléčného difuzoru přímo před LED trubicí, ten se postará o rozptýlení světla vycházejícího ze světelného zdroje. Dalším problémem při jednoduché výměně světelných zdrojů je nerovnoměrnost osvětlené srovnávací roviny, to je dáno právě úzkým vyzařovacím úhlem LED trubic. Řešením může být vhodné rozmístění svítidel se správnými vzdálenostmi mezi sebou.

Další světelně technické parametry, které je možno sledovat a porovnávat jsou:

- vyzařovací úhel,
- životnost.

6 MĚŘICÍ METODY PRO VYBRANÉ MĚŘENÉ PARAMETRY

Jedním z cílů bakalářské práce je realizovat měřicí řetězec, ve kterém jsou měřeny světelně technické parametry světelných zdrojů jako světelný tok, teplota chromatičnosti, index barevného podání barevné souřadnice v trichromatické soustavě a spektrum, které světelný zdroj vyzařuje. Tyto parametry se měří prostřednictvím kulového integrátoru. Dále jsou proměřeny elektrické parametry jako napětí U , proud I , činný P , zdánlivý S a jalový Q výkon, účinník $\cos\varphi$, power factor PF , frekvenci f a proud, odebíraný na vyšších harmonických I_h . Veškeré tyto parametry jsou změřeny v laboratoři světelné techniky na Ústavu elektroenergetiky FEKT VUT v Brně. Další z cílů je proměřit závislosti proudu, osvětlení a činného, jalového a zdánlivého výkonu. Protože je u LED světelných zdrojů nutné sledovat i oteplení, bylo sledováno oteplení povrchu jednotlivých světelných zdrojů termokamerou. Měření světelných parametrů je hodně specifické, protože není moc způsobů, jak je měřit. Většinou existují velmi složité vztahy, jak parametry vypočítat nebo existují jednoúčelové měřicí přístroje, které jsou přímo konstruované na měření daného parametru případně několika parametrů.

6.1 Princip měřicích metod

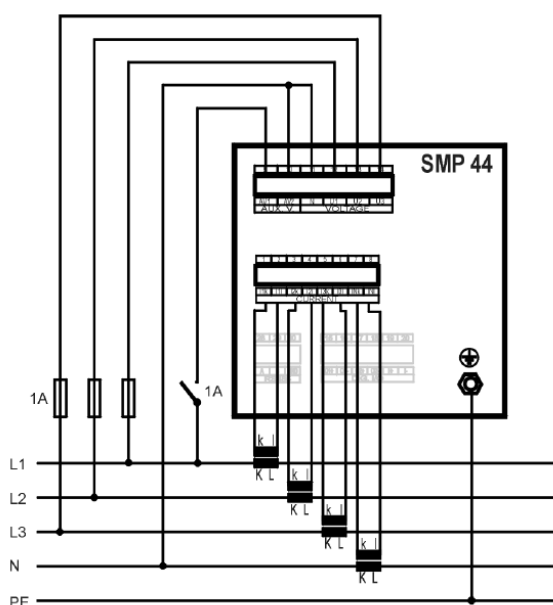
Světelně technické parametry

Při měření světelných parametrů jako světelný tok Φ , teplota chromatičnosti T , index barevného podání R_a , barevné souřadnice v trichromatické soustavě a spektrum, které světelný zdroj vyzařuje, se používá kulový integrátor. Jedná se o dutou kouli, jejíž vnitřní stěna je natřena bílou, dokonale odrazivou, rozptýlnou a barevně neselektivní vrstvou, která umožňuje vícenásobný odraz světelného záření uvnitř kulového integrátoru. Kromě odrazivé vrstvy obsahuje kulový integrátor referenční žárovku o známém světelném toku, která je kryta clonou, tudíž příspěvek světelného toku od této žárovky je vždy odrazem. Pro připojení měřicího přístroje je v kouli malé okénko s mléčným sklem, které je zevnitř koule rovněž kryto clonou, aby světelný tok dopadající na okénko byl rovněž jen odražený. Odražené záření dopadající na okénko kulového integrátoru snímá spektrometr CS-1000A Konica Minolta, který uvedené světelně technické parametry měří. Délka jednoho měření se odvíjí od množství energie, které do spektrometru dopadá. Čím je dopadající energie menší, tím je doba měření delší. Naměřená data ze spektrometru CS-1000A Konica Minolta jsou zaznamenávána a ukládána prostřednictvím software CS-S10w, který je dodáván výrobcem Konica Minolta přímo k danému typu spektrometru.

Pro měření teploty chromatičnosti T se také používá chromametr, ale spektrometr je díky proměření celého světelného spektra v tomto měření přesnější.

Elektrické parametry

Pro měření elektrických parametrů při měření světelně technických parametrů byl v laboratoři světelné techniky na Ústavu elektroenergetiky FEKT VUT v Brně použit průchozí analyzátor sítě SMP44, KMB SYSTEMS. Jedná se o zařízení, které se používá k monitoringu přenosových sítí vysokého a nízkého napětí v přenosové soustavě z pohledu kvality elektrické energie. Pro účel měření elektrických parametrů světelných zdrojů byla využívána pouze jedna fáze zařízení. Analyzátor sítě SMP44, KMB SYSTEMS měří a ukládá do paměti každých 5s napětí, proud, činný, zdánlivý a jalový výkon, power factor, účinník, frekvenci a napětí a proud na vyšších harmonických. Naměřené hodnoty v paměti síťového analyzátoru se stahují do počítače prostřednictvím software ENVIS, tento software umožňuje i přímé grafické zobrazení zvolených naměřených dat. Doporučené schéma zapojení tohoto síťového analyzátoru SMP44, KMB SYSTEMS znázorňuje *Obrázek 26*.



Obrázek 26: Doporučené schéma zapojení analyzátoru sítě SMP44, KMB SYSTEMS. [33]

Měření křížových charakteristik, tj. měření odebíraného proudu I , power factoru PF , činného P , jalového Q a zdánlivého S výkonu v závislosti na napětí U probíhalo na průchozím digitálním wattmetru HAMEG HM8115-2. Wattmetr realizuje součin napětí U na světelném zdroji a proud I , který je světelným zdrojem odebírán. Pro zvýšení přesnosti nastavování napětí byl paralelně ke světelnému zdroji připojen voltmetr s vyšší přesností než voltmetr integrovaný ve wattmetru.

6.2 Měřicí řetězec

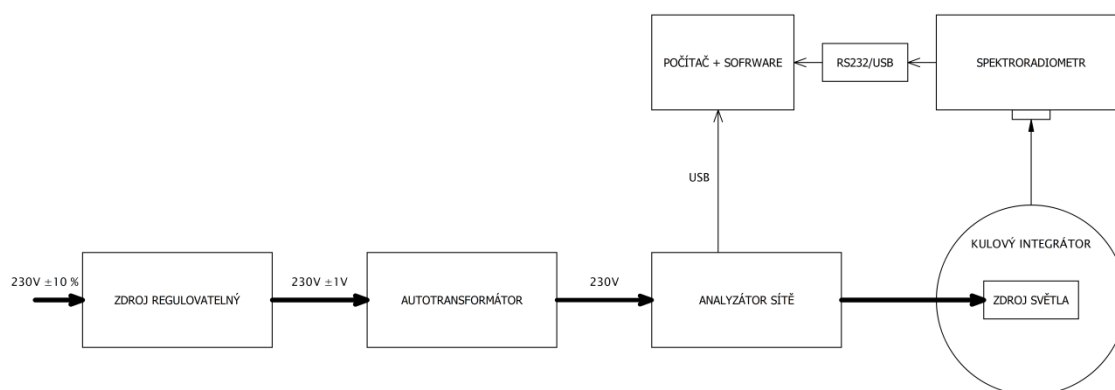
Světelný tok ϕ je měřen nepřímo, na okénko kulového integrátoru je namířen spektrometr CS-1000A Konica Minolta, který měří jas v okénku kulového

integrátoru. Světelný tok ϕ je potom součinem změřeného jasu a konstanty kulového integrátoru, která se musí vždy kalibrovat a je závislá na vzdálenosti spektrometru od kulového integrátoru a také na úhlu optiky a snímače spektrometru. Protože mezi kulovým integrátorem a spektrometrem není optické vlákno, ale přenosným médiem je vzduch, musí být v laboratoři šero až tma a na čočku spektrometru nesmí dopadat žádné jiné přímé světlo kromě toho z okénka kulového integrátoru.

Podobně jako světelný tok ϕ jsou měřeny i další veličiny jako například teplota chromatičnosti T , index barevného podání R_a , barevné souřadnice a spektrum vyzařované světelným zdrojem. Veškeré tyto parametry jsou měřeny přímo spektrometrem, který je přes rozhraní RS232 propojen s počítačem, na kterém je spuštěn ovládací software spektrometru, dodaný přímo výrobcem. Software ovládá každé jednotlivé měření případně sekvenci těchto měření a zaznamenává je do tabulky. V mém měření se vždy jednalo o spektrometr CS-1000A výrobce Konica Minolta se softwarem CS-S10W od stejného výrobce.

Veškeré elektrické parametry (U , I , P , Q , S , $\cos \phi$, PF , U_h , I_h) zaznamenával v průběhu celého měření v 5s časových intervalech analyzátor sítě SMP44, KMB SYSTEMS, který byl připojen prostřednictvím USB k počítači a příslušný software ENVIS sloužil ke stažení naměřených dat z paměti analyzátoru.

Celý měřicí řetězec pro měření světelně technických a elektrických parametrů při jmenovitém napětí U 230 V v laboratoři světelné techniky je znázorněn na *Obrázek 27*. Na začátku zapojení je zařazen digitální zdroj s pevným nastaveným výstupním napětím. Tento zdroj pracuje na principu přepínání odboček vinutí, proto je přesnost výstupního napětí $\pm 1V$. Aby napětí bylo zcela přesné, je dále pro jemné doladění zařazen autotransfornátor pro eliminaci chyby předchozího zdroje. Dále je v řetězci zařazen analyzátor sítě SMP44, KMB SYSTEMS, měřící zmíněné elektrické parametry a následuje samotný měřený světelný zdroj, umístěný v kulovém integrátoru. Okénko kulového integrátoru snímá spektrometr. Počítač, který slouží pro ovládání a sběr dat ze spektrometru a analyzátoru měřicí řetězec uzavírá.



Obrázek 27: Měřicí řetězec pro měření světelně technických parametrů a elektrických parametrů při jmenovitém napájecím napětí spektrometrem CS-1000A a analyzátozem sítě SMP44, KMB SYSTEMS.

7 NAMĚŘENÉ HODNOTY

Pro měření bylo vybráno devět vzorků různých typů světelných zdrojů různých výrobců, při výběru LED žárovek bylo směřováno spíše k méně známým značkám, případně ke značkám, u kterých by mohly vznikat pochybnosti o kvalitě výrobků.

Měření elektrických a světelně technických parametrů na UEEN bylo automatizováno a bylo změřeno velké množství hodnot, následující kapitola je pouze přehledem nejdůležitějších změřených hodnot. Podrobnější tabulky s naměřenými hodnotami jsou obsaženy v příloze a veškeré naměřené hodnoty potom na přiloženém CD. Měření napětíových závislostí v laboratoři na UAMT bylo rovněž rozsáhlé, proto jsou zde jen některé základní hodnoty a podrobné tabulky jsou obsaženy rovněž v příloze.

Seznam měřených světelných zdrojů:

Zdroj 1 – Klasická žárovka čirá 60W, E27

Zdroj 2 – Kompaktní zářivka OSRAM 13W, E27

Zdroj 3 – LED žárovka AFIMO 5W (5x1W COB), E27

Zdroj 4 – LED žárovka IKEA 11W, E27

Zdroj 5 – LED žárovka AFIMO 5,5W (1x5,5W MCOB), E27

Zdroj 6 – LED žárovka TIPa 2,4W, E27

Zdroj 7 – LED trubice AFIMO vysokosvítivá 20W, T8

Zdroj 8 – LED trubice AFIMO standard 20W, T8

Zdroj 9 – Lineární zářivková trubice OSRAM 36W, T8, s tlumivkou, bez kompenzace

Tabulka 4: Přehled naměřených parametrů všech měřených světelných zdrojů při jmenovitém napájecím napětí spektrometrem CS-1000A Konica Minolta a síťovým analyzátozem SMP44, KMB SYSTEMS.

zdroj	1	2	3	4	5	6	7	8	9
L [cd/m ²]	124,08	148,18	65,07	104,61	54,56	15,35	373,79	281,78	525,07
φ [lm]	756,60	903,58	396,77	637,88	332,69	93,60	2279,2	1718,2	3201,7
η [lm/W]	12,38	68,38	70,51	60,09	69,30	49,61	112,46	87,29	72,56
X	141,70	168,41	70,23	117,83	59,19	16,43	360,85	307,84	531,52
Y	124,08	148,18	65,07	104,61	54,56	15,35	373,79	281,78	525,07
Z	35,04	38,39	25,17	27,36	18,69	4,85	345,56	90,98	299,50
x	0,471	0,474	0,438	0,472	0,447	0,448	0,334	0,452	0,392
y	0,413	0,417	0,406	0,419	0,412	0,419	0,346	0,414	0,387
T [K]	2570	2567	2999	2613	2904	2938	5435	2839	3782
duv	0,001	0,003	0,001	0,003	0,002	0,005	0,002	0,002	0,002
Ra [-]	100	83	65	93	71	63	83	73	83
U [V]	230,05	230,00	230,40	229,88	230,45	230,10	229,58	230,08	230,45
I [A]	0,265	0,096	0,052	0,049	0,049	0,027	0,090	0,091	0,415
P [W]	61,076	13,212	5,627	10,615	4,801	1,886	20,267	19,682	44,120
Q [var]	1,634	-5,524	-1,399	-2,950	-1,100	-5,656	-4,339	-6,320	84,151
S [VA]	61,104	22,151	11,961	11,175	11,371	6,287	20,786	20,946	95,622
PF [-]	0,9995	0,596	0,460	0,950	0,422	0,300	0,975	0,933	0,461
cos φ [-]	1,000L	0,915C	0,961C	0,964C	0,964C	0,312C	0,978C	0,953C	0,466L
f [Hz]	49,99	49,94	50,02	50,01	49,99	50,02	50,02	49,99	50,00

Tabulka 5: Proudby jednotlivých světelných zdrojů, odebírané na vyšších harmonických, změřené síťovým analyzátozem SMP44, KMB SYSTEMS.

zdroj	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I_{h1} [A]	0,2646	0,0624	0,0234	0,0474	0,0198	0,0252	0,0888	0,0888	0,4122
I_{h2} [A]	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0024
I_{h3} [A]	0,0024	0,0516	0,0222	0,0024	0,0192	0,0042	0,0018	0,009	0,0354
I_{h4} [A]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I_{h5} [A]	0,0042	0,0354	0,0192	0,0024	0,0174	0,0042	0,0012	0,0048	0,0042
I_{h6} [A]	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0006
I_{h7} [A]	0,0006	0,024	0,0168	0,0012	0,0162	0,0006	0	0	0,0042
I_{h8} [A]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I_{h9} [A]	0	0,0180	0,0144	0,0012	0,0138	0,0012	0	0	0,0012
I_{h10} [A]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I_{h11} [A]	0	0,0120	0,0120	0	0,0120	0,0012	0	0	0,0006
I_{h12} [A]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I_{h13} [A]	0	0,0078	0,0108	0	0,0108	0	0	0	0
I_{h14} [A]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I_{h15} [A]	0	0,0066	0,0096	0	0,0096	0,0006	0	0	0
I_{h16} [A]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I_{h17} [A]	0	0,0066	0,0084	0	0,0084	0	0	0	0
I_{h18} [A]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I_{h19} [A]	0	0,0066	0,0066	0	0,0084	0	0	0	0
I_{h20} [A]	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabulka 6: Tabulka naměřených napěťových závislostí zdroje 2 na wattmetru HAMEG HM8115-2 a Luxmetru FX-101.

U [V]	I [A]	P [W]	PF [-]	E [lx]	Q [VAR]	S [VA]
20	0	0		0	0,05	
40	0	0		0	0,04	
60,1	0,088	4,36	0,82	53	3	5,3
80,5	0,082	4,35	0,66	74	5	6,6
100	0,086	5,5	0,64	108	6,6	8,61
119,9	0,088	6,7	0,63	152	8,3	10,66
140,3	0,092	7,92	0,61	189	10,2	12,91
160,1	0,095	8,85	0,58	240	12,2	15,22
170,1	0,095	9,4	0,59	264	13	15,97
179,9	0,095	9,99	0,58	288	13,9	17,15
190,3	0,095	10,59	0,58	309	14,7	18,15
200	0,096	11,17	0,59	333	15,6	19,33
210,1	0,096	11,73	0,58	354	16,3	19,93
220,1	0,096	12,37	0,59	374	17,3	21,25
230,7	0,098	12,97	0,58	395	18,4	22,29

Tabulka 7: Tabulka naměřených napěťových závislostí zdroje 3 na wattmetru HAMEG HM8115-2 a Luxmetru FX-101.

U [V]	I [A]	P [W]	cos φ	E [lx]	Q [VAr]	S [VA]
20,2	0,121	1,925	0,79	97	1,48	2,41
40	0,11	3,04	0,69	191	3,16	4,41
60	0,12	4,06	0,58	267	5,7	7
80,2	0,1	4,9	0,6	332	6,5	8,19
99,9	0,091	5,3	0,58	364	7,3	9,03
120,1	0,078	5,34	0,57	369	7,8	9,43
140,2	0,073	5,33	0,51	371	8,8	10,3
160	0,07	5,09	0,44	372	9,9	11,22
170	0,065	5,06	0,45	372	10,1	11,33
180	0,067	5,05	0,45	373	10,5	11,63
190,1	0,062	5,08	0,43	373	10,7	11,73
200,2	0,059	5,07	0,43	374	10,6	11,8
210	0,056	5,08	0,43	374	10,5	11,78
219,9	0,054	5,09	0,43	375	10,6	11,75
230,6	0,052	5,1	0,43	375	10,7	11,89

Tabulka 8: Tabulka naměřených napěťových závislostí zdroje 7 na wattmetru HAMEG HM8115-2 a Luxmetru FX-101.

U [V]	I [A]	P [W]	cos φ	E [lx]	Q [VAr]	S [VA]
20,9	0,58	10	0,79	480	7,6	12,3
40,7	0,69	10	0,84	3440	27,9	27,8
60	0,34	19,3	0,93	4170	8	20,7
80	0,25	18,6	0,93	4230	7	20
100,5	0,197	18,4	0,93	4260	7	19,8
120,5	0,164	18,4	0,93	4290	7	19,8
140	0,144	19,81	0,98	4310	3,9	20,19
160,2	0,126	19,51	0,96	4310	5,4	20,22
170,3	0,119	19,53	0,96	4320	5,5	20,29
180,1	0,113	19,56	0,96	4320	5,7	20,37
190,3	0,108	19,61	0,96	4320	5,9	20,46
200	0,103	19,64	0,96	4320	6,1	20,56
210	0,098	19,64	0,95	4310	6,4	20,63
220,3	0,094	19,66	0,95	4320	6,7	20,77
230,9	0,091	19,74	0,94	4320	7	20,92

Přehled světelně technických parametrů a základních elektrických parametrů měřených na UEEN při konstantním napájecím napětí shrnuje Tabulka 4. Přehled proudů odebíraných u jednotlivých zdrojů na vyšších harmonických znázorňuje Tabulka 5. V Tabulka 6, Tabulka 7 a Tabulka 8 jsou přehledy napěťových závislostí – křížových charakteristik v absolutním vyjádření a to pro zdroje 2, 3 a 7.

8 VYHODNOCENÍ A POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ

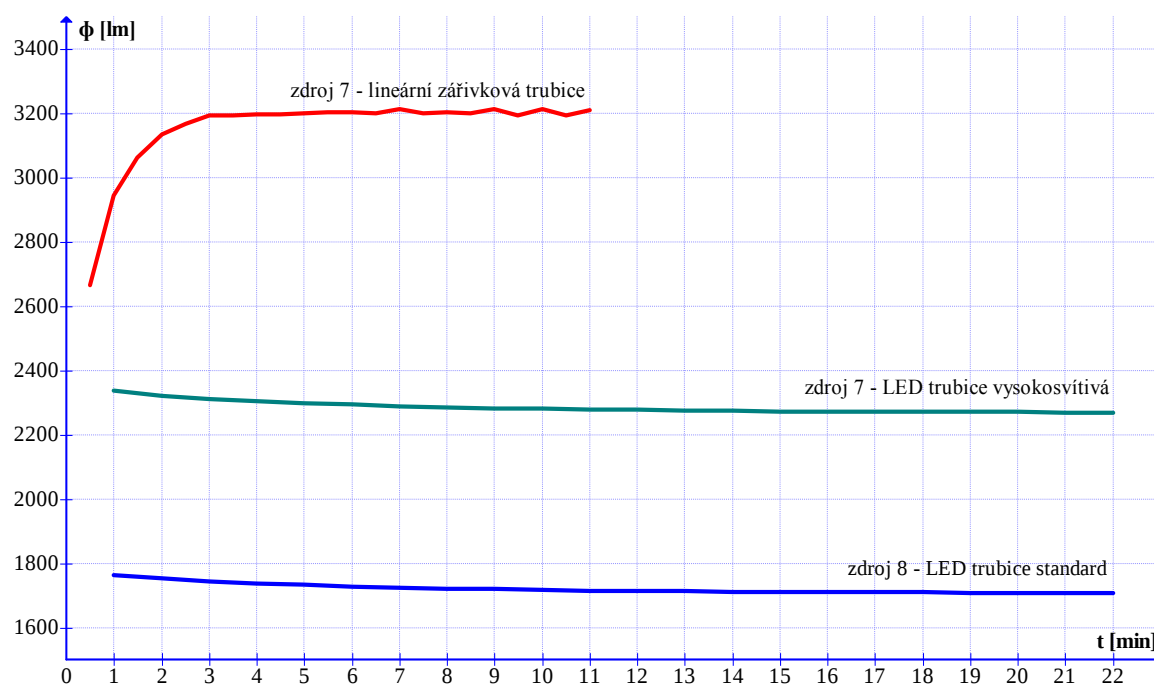
Výsledné srovnání je pojato převážně jako srovnání LED světelných zdrojů jakožto možných náhrad starších klasicky používaných světelných zdrojů jako žárovka, kompaktní zářivka a lineární zářivka. LED světelné zdroje jsou v současné době aktuální a atraktivní téma a cílem práce bylo mimo jiné zhodnotit na základě provedených měření současný vývoj a technologickou vyspělost, dokázat, jestli jsou LED světelné zdroje na takové úrovni, že by mohly být plnohodnotnou ekvivalentní náhradou klasických světelných zdrojů.

V rámci měření elektrických a světelně technických parametrů bylo změřeno a srovnáváno následujících devět různých světelných zdrojů:

- Zdroj 1 – Klasická žárovka čirá 60W, E27
- Zdroj 2 – Kompaktní zářivka OSRAM 13W, E27
- Zdroj 3 – LED žárovka AFIMO 5W (5x1W COB), E27
- Zdroj 4 – LED žárovka IKEA 11W, E27
- Zdroj 5 – LED žárovka AFIMO 5,5W (1x5,5W MCOB), E27
- Zdroj 6 – LED žárovka TIPa 2,4W, E27
- Zdroj 7 – LED trubice AFIMO vysokosvítivá 20W, T8
- Zdroj 8 – LED trubice AFIMO standard 20W, T8
- Zdroj 9 – Lineární zářivková trubice OSRAM 36W, T8, s tlumivkou, bez kompenzace

8.1 Světelný tok, měrný výkon světelného zdroje

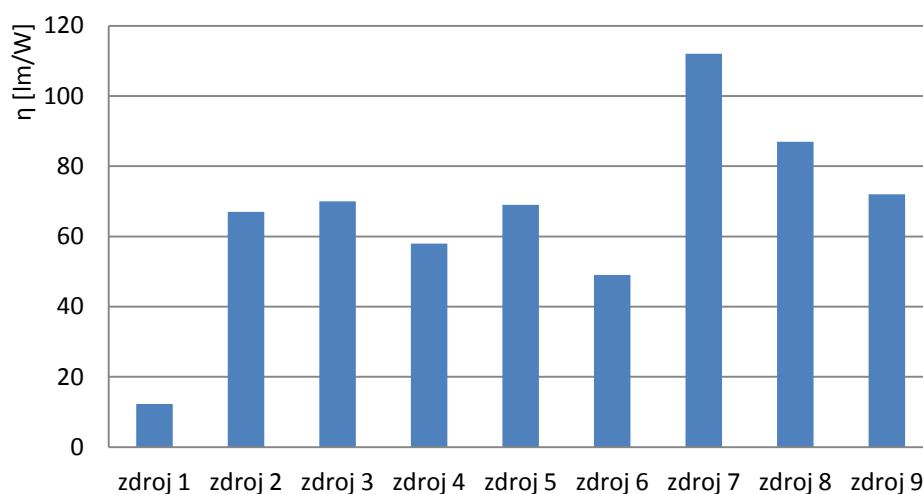
Světelný tok ϕ jako základní měřená veličina se u jednotlivých světelných zdrojů liší podle výkonu, ale důležitým parametrem je průběh světelného toku v čase od připojení světelného zdroje k napájecímu napětí do doby, než se světelný tok ustálí na nějaké konstantní hodnotě. Klasická žárovka svítí svým plným výkonem téměř okamžitě, řádově v jednotkách vteřin. Dostupná měřicí technika není schopna takto rychlý náběh změřit. Zdroje zastupující další skupinu – zářivky, se po zapálení výboje na maximální světelný tok dostane až během několika minut. Světelný tok ϕ v čase postupně nelineárně narůstá, až se dostane na maximální hodnotu, poté mírně klesne a ustálí se na konstantní hodnotě. LED světelné zdroje, podobně jako klasická žárovka, dosáhne maximálního světelného toku téměř ihned po připojení napájení, ale vlivem postupného zahřívání chipu začne postupně světelný tok klesat. Není totiž možné v běžných provozních podmínkách odvádět odpadní teplo ideálně tak, aby se po zapnutí teplota chipu nezvyšovala. Časové průběhy zástupců jednotlivých typů světelných zdrojů jsou znázorněny na *Obrázek 28*.



Obrázek 28: Průběh světelného toku v čase po zapnutí světelného zdroje, změřený spektrometrem CS-1000A, Konica Minolta.

Z průběhů je zřejmé, že je zářivka na rozdíl od ostatních světelných zdrojů z důvodu pomalého náběhu světelného toku nevhodná pro velmi krátká svícení (průchod chodbou, komora, ...), protože v těchto případech je potřeba ihned maximální výkon.

Další parametr, který je důležitý při výběru světelného zdroje, je měrný výkon světelného zdroje η . Vyjadřuje účinnost přeměny elektrické energie na světelnou, neboli jaký světelný tok lze získat z jednoho wattu. Přehled měrných výkonů měřených světelných zdrojů je vidět z Obrázek 29.

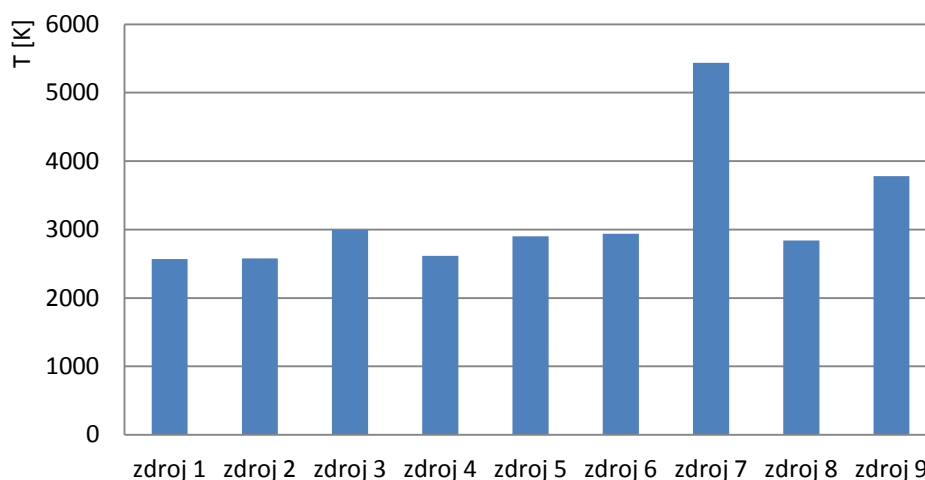


Obrázek 29: Srovnání měrných světelných výkonů měřených světelných zdrojů.

Z přehledu vyplývá, že nejvyšší měrný světelný výkon η byl naměřen u zdroje 7 – vysokosvítivé trubice AFIMO 20W, T8. V dnešní době výrobci se svými světelnými zdroji dosahují hodnot i přes 200lm/W. I když je účinnost samotné přeměny elektrické energie na světelnou u LED světelných zdrojů nejvyšší, z energetického hlediska při předpokladu, že technologická hranice měrného světelného výkonu je 683 lm/W, dosahuje zdroj 7 (LED trubice) s nejvyšší změřenou hodnotou měrného světelného výkonu účinnosti pouze 16%, klasická žárovka jen 1,8%.

8.2 Barevné vlastnosti

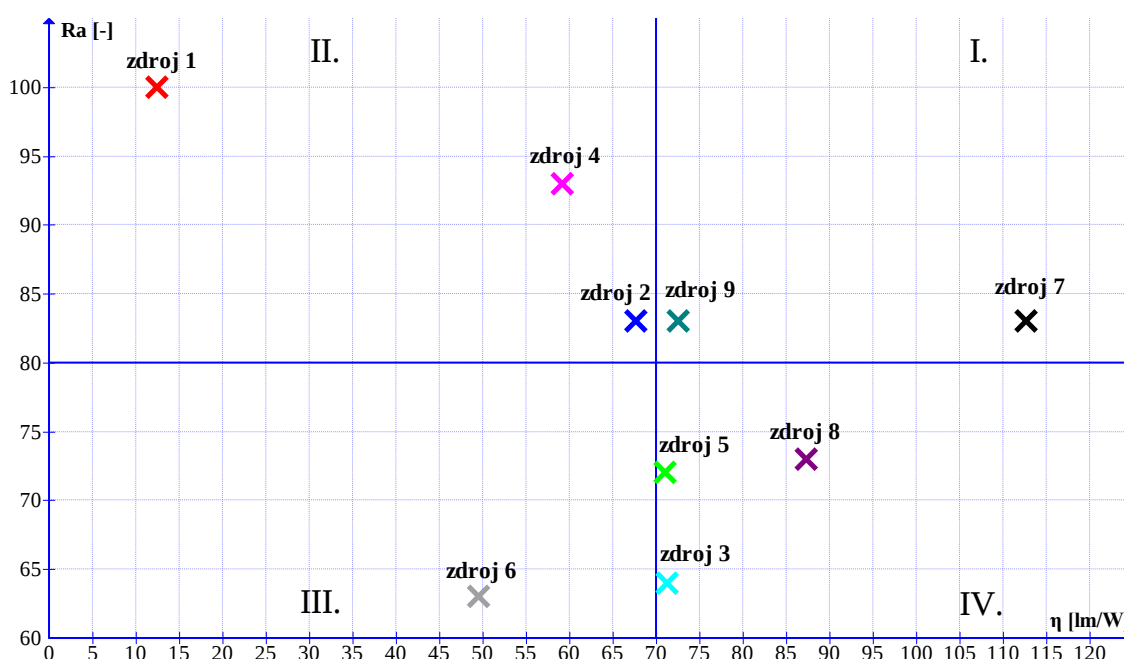
Podle teploty chromatičnosti se dají světelné zdroje zjednodušeně rozdělit na teple bílé s nižší teplotou chromatičnosti a studené bílé s vyšší teplotou chromatičnosti. Vše vychází z množství a velikosti složek, které v rámci spektra světelný zdroj vyzařuje. Světelné zdroje s nižší teplotou chromatičnosti jsou vhodnější pro obytné prostory, vyšší teplota chromatičnosti je vhodná pro osvětlení pracovních prostorů, učeben, poslucháren a to hlavně kvůli podobnosti s denním světlem. Z přehledu na *Obrázek 30* je patrné, že většina měřených zdrojů se řadí mezi teple bílé ($T < 3000$ K) až na zdroj 7 a zdroj 9, které jsou studené bílé ($T > 3700$ K). Teplotu chromatičnosti je nutné při nákupu zohlednit podle účelu použití.



Obrázek 30: Srovnání teplot chromatičnosti měřených světelných zdrojů, měřených spektorradiometrem CS-1000A Konica Minolta.

Pro výběr světelného zdroje je nutné zohlednit index podání barev, protože tento parametr má zásadní vliv na vnímání osvětlovaného prostoru. V prostorech pro bydlení a na pracovišti by index barevného podání neměl být z důvodu světelné pohody nižší než 80. Na chodbách a ve venkovních prostorech může být i nižší. Na základě naměřených hodnot, ale i průzkumu lze usoudit, že na rozdíl od žárovek a zářivek, které mají téměř vždy $Ra > 80$, LED žárovky se kolem této hranice sice pohybují, ale většinou jí nedosahují. Z šesti měřených LED zdrojů, mají $Ra > 80$ pouze dva. Bezkonkurenčně

nejlepší index barevného podání má stále klasická žárovka. Pro srovnání měřených světelných zdrojů z hlediska barevného a zároveň energetické slouží *Obrázek 31*. I. kvadrant zahrnuje nejlepší světelné zdroje, jejich měrný světelný výkon je vysoký a současně je vysoký i index barevného podání (zdroj 7 a 9). Toto je směr, kterým se výrobci moderních světelných zdrojů snaží vydávat. Do II. kvadrantu spadají současné klasické světelné zdroje, jejich index barevného podání je výborný, ale měrný světelný výkon je nízký (zdroj 1, 2 a 4). Světelné zdroje ve IV. kvadrantu mají sice dobrý měrný světelný výkon, ale index barevného podání nedosahuje ani hodnoty 80 pro osvětlení obytných prostor (zdroj 3, 5 a 8). Poslední III. kvadrant obsahuje světelné zdroje, které svou kvalitou nevynikají ani v oblasti barevného podání, ani v oblasti energetické.

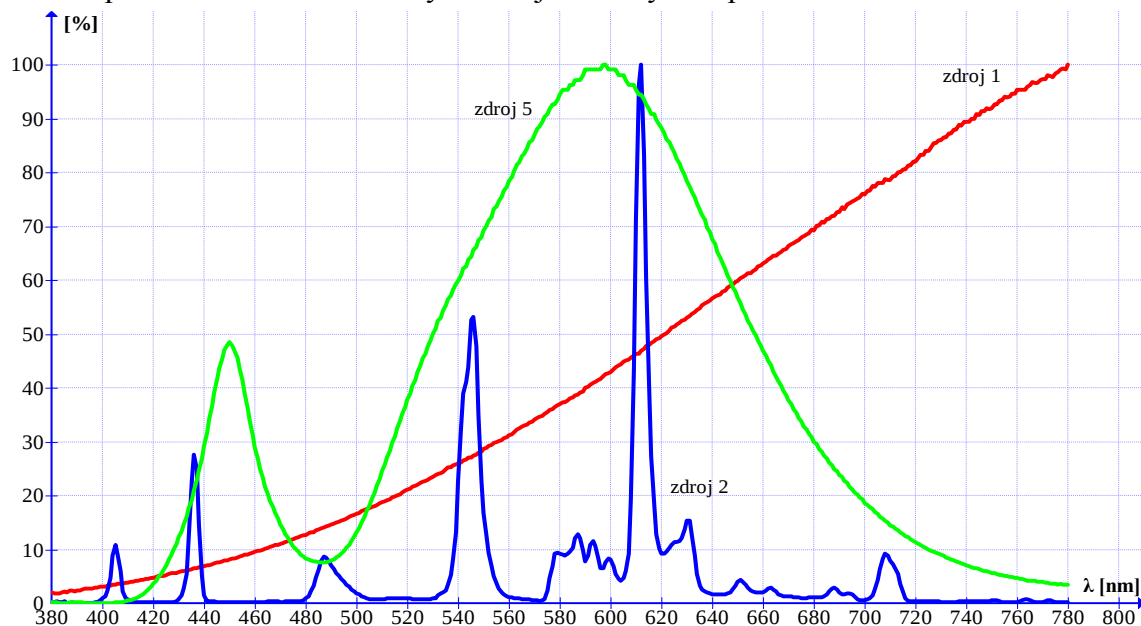


Obrázek 31: Hodnocení měřených světelných zdrojů z pohledu indexu barevného podání a měrného světelného výkonu.

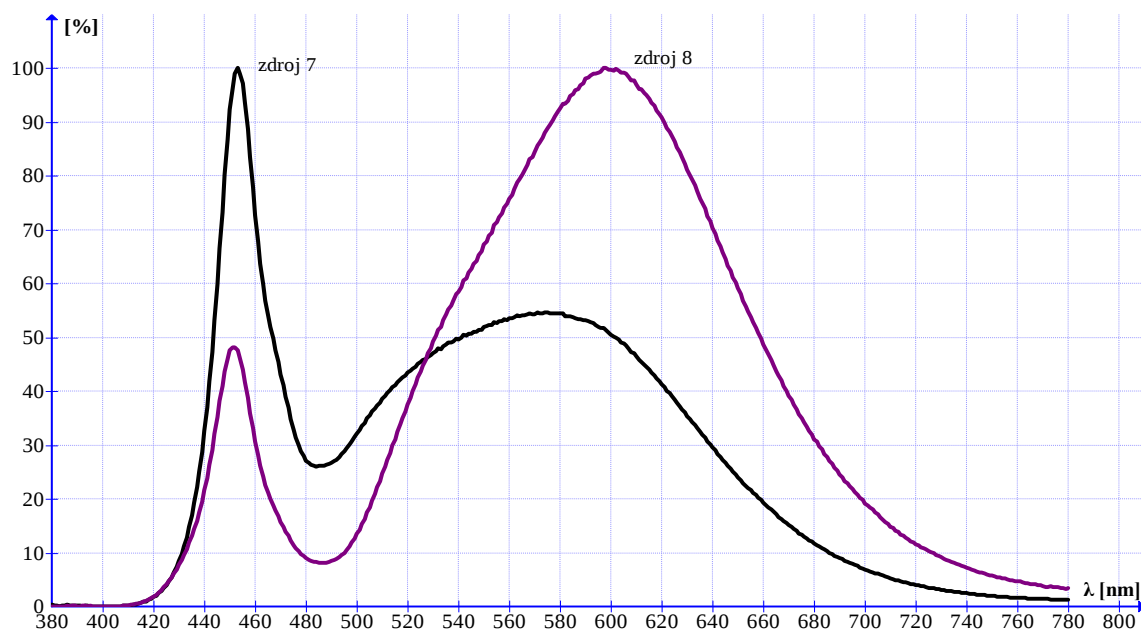
8.3 Světelné spektrum

Zásadně se všechny typy měřených světelných zdrojů liší ve spektru, které každý zdroj vyzařuje. Spektrum klasické žárovky je spojité a jsou v něm zastoupeny převážně vyšší vlnové délky, charakterem se toto spektrum nejvíce blíží dennímu světlu. Charakter spektra zářivky je čárový, spektrum obsahuje pouze několik čar na vybraných vlnových délkách, z jejichž barvy a intenzity si oko skládá bílou barvu, počet čar a intenzita je dána použitým luminoforem. Spektrum LED světelných zdrojů se skládá ze dvou oblastí, jedné menší v oblasti modré barvy a druhý větší v oblasti teplejších barevných odstínů. Intenzita záření jedné a druhé oblasti spolu udávají charakter zabarvení světla. Udávají, jestli bude teplota chromatičnosti vyšší nebo nižší. Srovnání spekter žárovky,

zářivky a LED zdroje světla je ukázáno na *Obrázek 32*. Na *Obrázek 33* je ukázáno, jak se liší spektra dvou LED světelných zdrojů s různými teplotami chromatičnosti.



Obrázek 32: Srovnání spektra žárovky, zářivky a LED světelného zdroje změřené spektrometrem CS-1000A Konica Minolta.

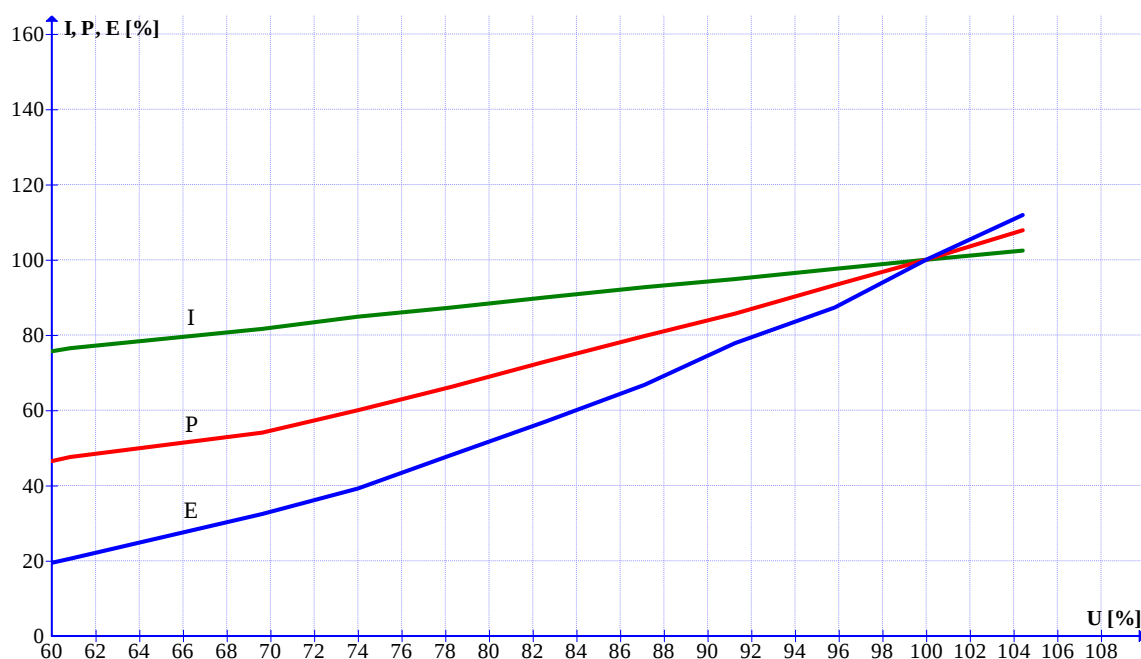


Obrázek 33: Srovnání spekter zdroje 7 a 8 s různou teplotou chromatičnosti, změřené spektrometrem CS-1000A Konica Minolta.

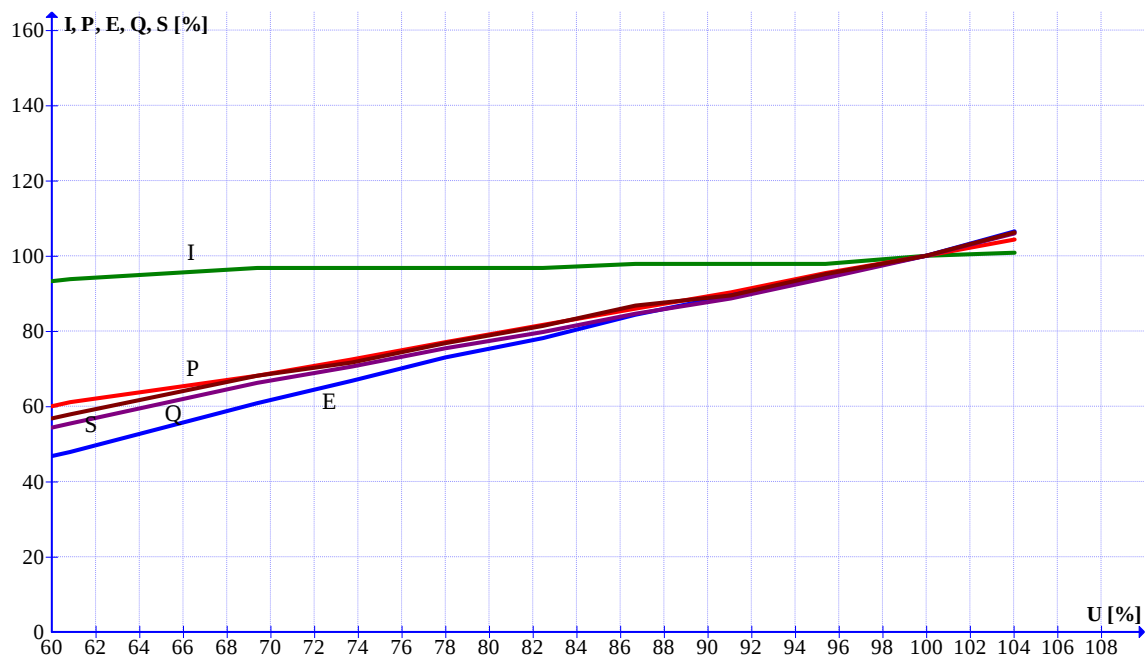
8.4 Napěťové závislosti, křížové charakteristiky

Srovnání elektrických parametrů lze vyjádřit v křížových charakteristikách. Jsou to napěťové závislosti, které se zpravidla zabývají oblastí okolo jmenovitého napětí. Ukazují, co se děje s ostatními veličinami, když například krátkodobě napětí v síti

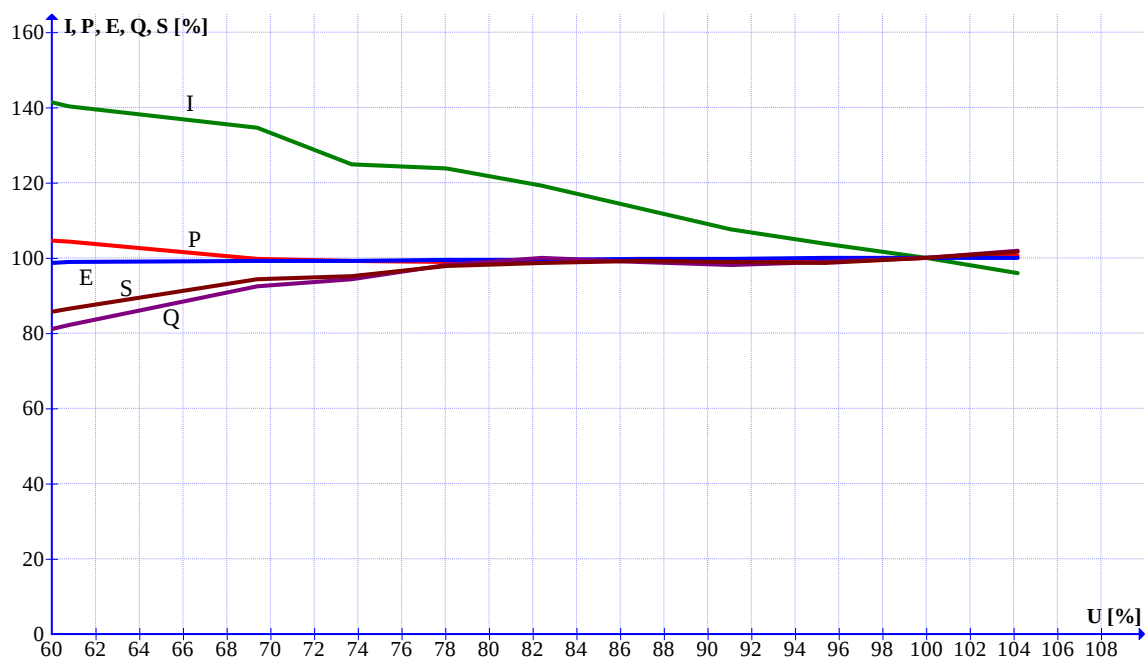
poklesne či stoupne, nebo když je v rozvodné síti dlouhodobě například podpětí. V křížových charakteristikách se z důvodu názornějšího srovnání uvádějí veškeré veličiny ve stejném grafu a v procentním vyjádření na obou osách. Většina moderních světelných zdrojů, které se připojují přímo na síťové napětí (kompaktní žárovka, LED žárovka) obsahuje na vstupu elektroniku, která se buď stará o zapálení a udržení výboje, nebo napájecí zdroj udržující konstantní napětí nebo proud pro LED moduly. Křížové charakteristiky jsou touto elektronikou značně ovlivněny. Následující křížové charakteristiky ukazují, jak se v těchto měřených parametrech liší různé typy světelných zdrojů (žárovka, kompaktní žárovka, LED žárovka a LED trubice), srovnání zobrazuje *Obrázek 34, Obrázek 35, Obrázek 36 a Obrázek 37.*



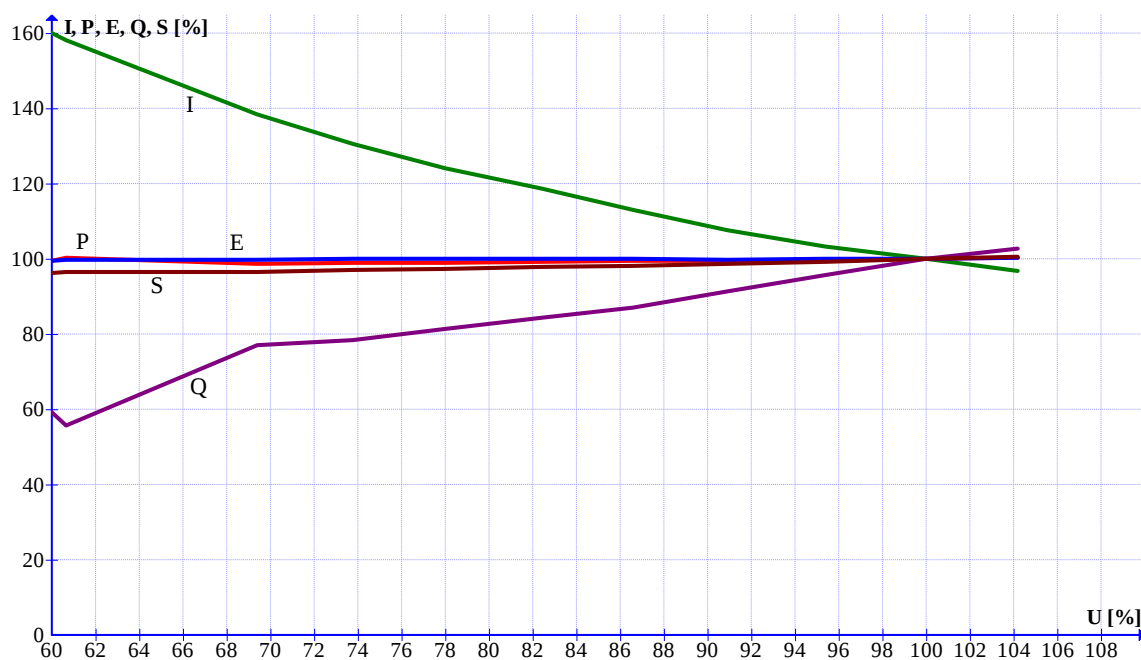
Obrázek 34: Křížové charakteristiky zdroje 1 (žárovka), změřené průchozím wattmetrem HAMEG HM8115-2.



Obrázek 35: Křížové charakteristiky zdroje 2 (kompaktní zářivka), změřené průchozím wattmetrem HAMEG HM8115-2.



Obrázek 36: Křížové charakteristiky zdroje 3 (LED žárovka), změřené průchozím wattmetrem HAMEG HM8115-2.

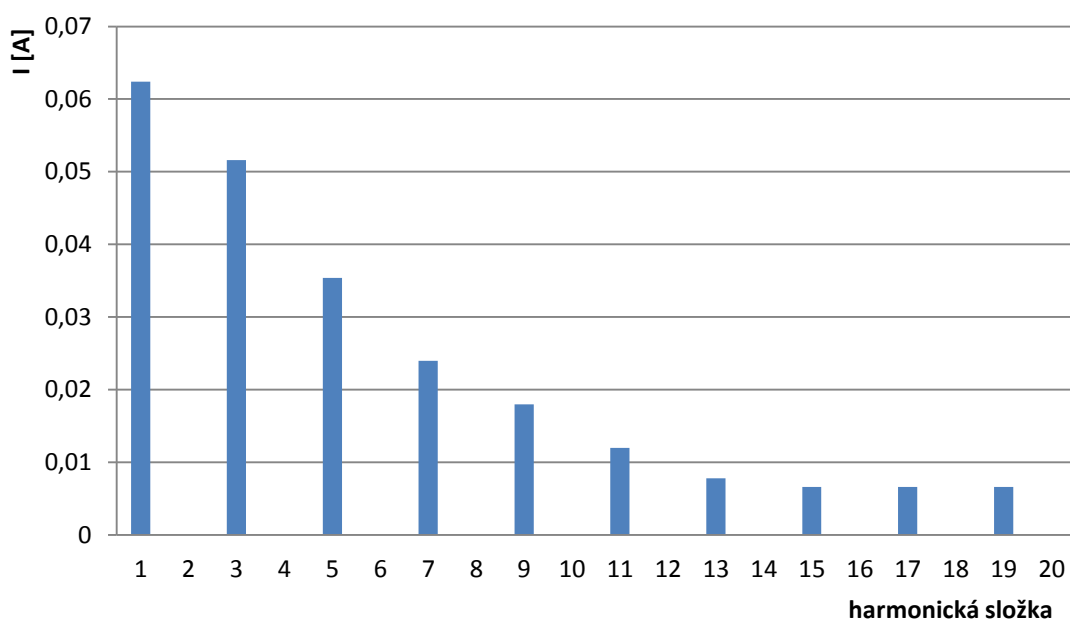


Obrázek 37: Křížové charakteristiky zdroje 7 (LED trubice), změřené průchozím wattmetrem HAMEG HM8115-2.

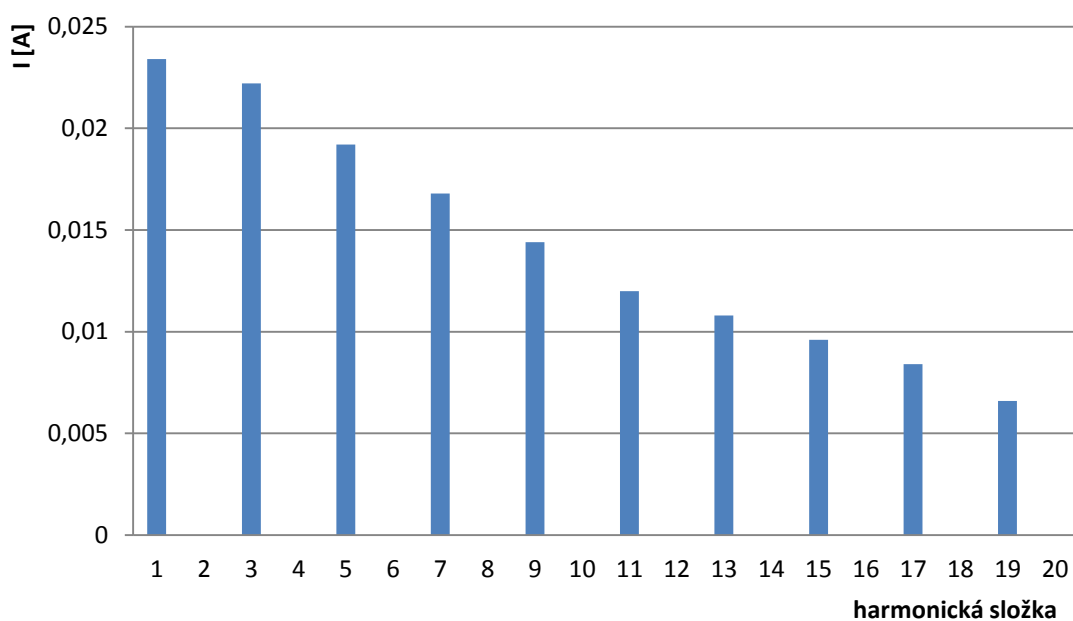
8.5 Amplitudové spektrum proudu

Protože moderní, převážně LED světelné zdroje obsahují často spínané zdroje pro úpravu síťového napětí na napájecí napětí pro LED moduly, mohou tyto zdroje způsobovat rušení v síti díky svému neharmonickému proudovému odběru. Tento neharmonický odebíraný proud způsobuje na přírodním vedení neharmonické napěťové úbytky, které snižují kvalitu elektrické energie v síti. Následující grafické znázornění ukazuje srovnání odebíraných proudů na vyšších harmonických I_h u různých typů světelných zdrojů. U méně kvalitních nebo jednodušších spínaných zdrojů je podstatný odběr proudu až do jedenácté harmonické. Srovnání velikosti odebíraných proudů na vyšších harmonických pro jednotlivé světelné zdroje je vidět v následujících grafech a v *Tabulka 5*. Zdroj 1 - Klasická žárovka odebírá díky svému čistě odporovému charakteru proud pouze na první harmonické. Z grafů na *Obrázek 38* a *Obrázek 39* je patrné, že napájecí obvody zdroje 2 - kompaktní zářivky a zdroje 3 - LED žárovky AFIMO jsou z důvodu omezených rozměrů méně kvalitní, protože se musí vejít do konstrukce světelného zdroje. Naopak u zdroje 4 - LED žárovky IKEA lze podle vysoké hodnoty power factoru a minimálním proudovém odběru na vyšších harmonických usuzovat, že se jedná o kvalitnější napájecí obvod, je to patrné i z *Obrázek 40*. Zdroj 7 - LED trubice AFIMO a zdroj 9 klasická lineární zářivková trubice s indukčním předřadníkem jsou z hlediska proudového odběru na vyšších harmonických téměř ideální a tento odběr na vyšších harmonických lze zanedbat. Lineární zářivková trubice byla měřena bez kompenzačního kondenzátoru, který by power factor posunul do oblasti nad 0,9.

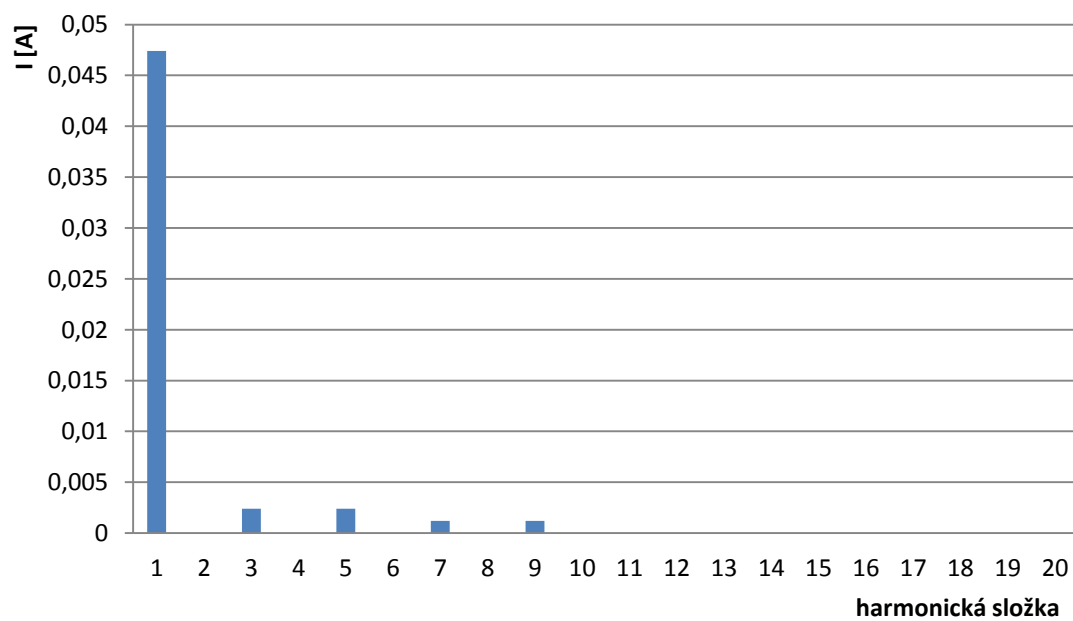
U všech těchto napájecích zdrojů LED produktů je nevýhodné jejich umístění, protože musí být součástí světelného zdroje, jsou zpravidla umístěny v prostoru chladiče, kde je jejich provozní teplota při trvalém svícení často o několik desítek °C vyšší než teplota okolí, což výrazně zkracuje jejich životnost. Právě napájecí obvody bývají v LED produktech nejporuchovějším prvkem.



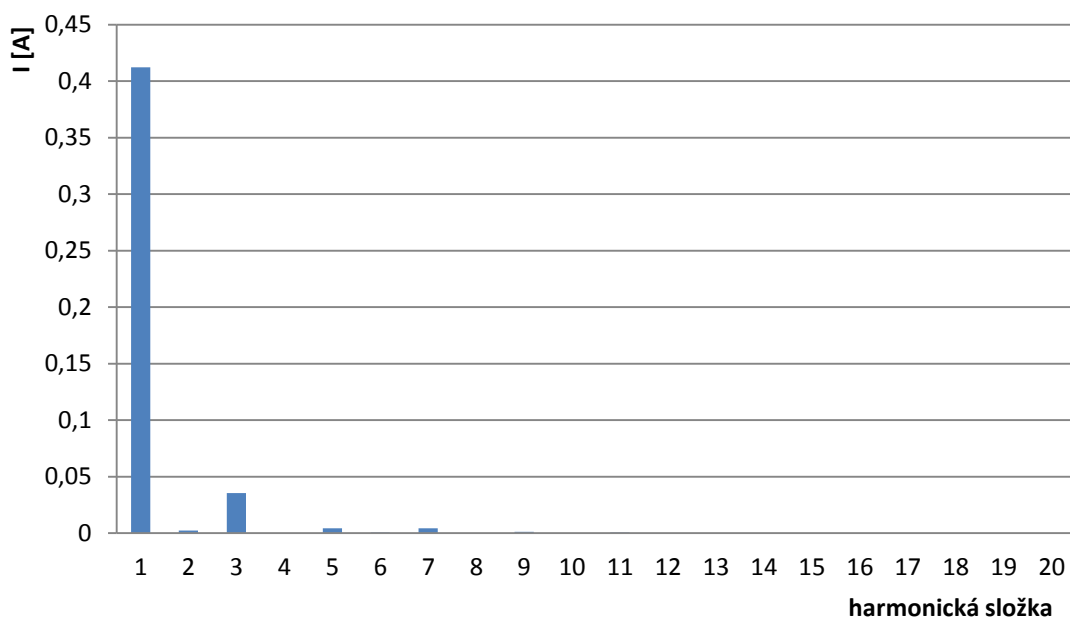
Obrázek 38: Amplitudové spektrum proudu odebíraného zdrojem 2 (kompaktní zářivka), změřené síťovým analyzátozem SMP44, KMB SYSTEMS



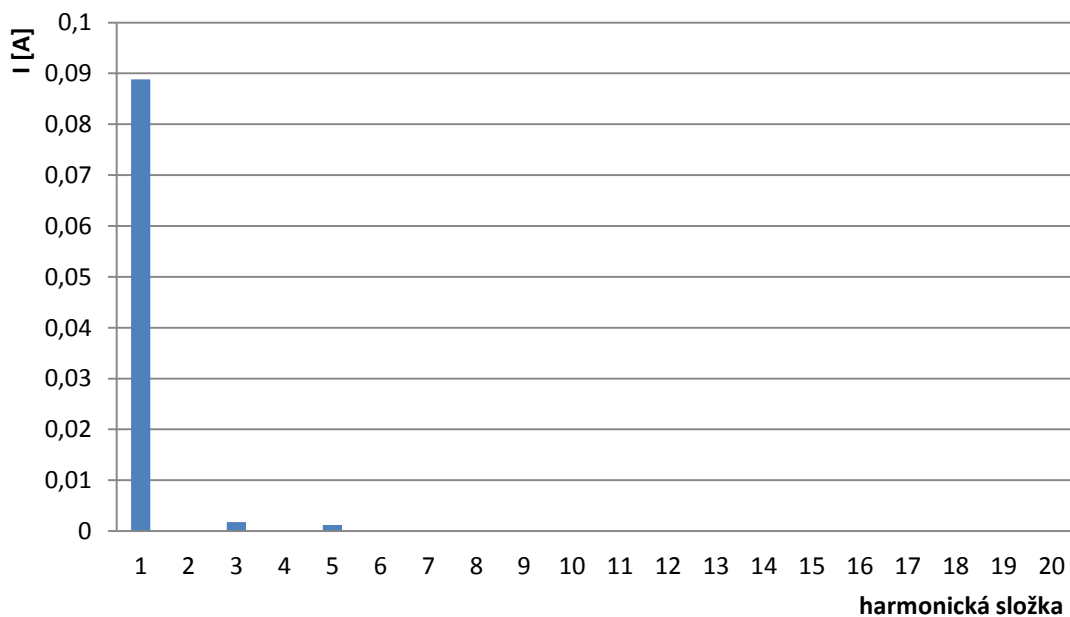
Obrázek 39: Amplitudové spektrum proudu odebíraného zdrojem 3 (LED žárovka AFIMO), změřené síťovým analyzátozem SMP44, KMB SYSTEMS



Obrázek 40: Amplitudové spektrum proudu odebíraného zdrojem 4 (LED žárovka IKEA), změřené síťovým analyzátozem SMP44, KMB SYSTEMS



Obrázek 41: Amplitudové spektrum proudu odebíraného zdrojem 9 (lineární zářivková trubice), změřené síťovým analyzátozem SMP44, KMB SYSTEMS

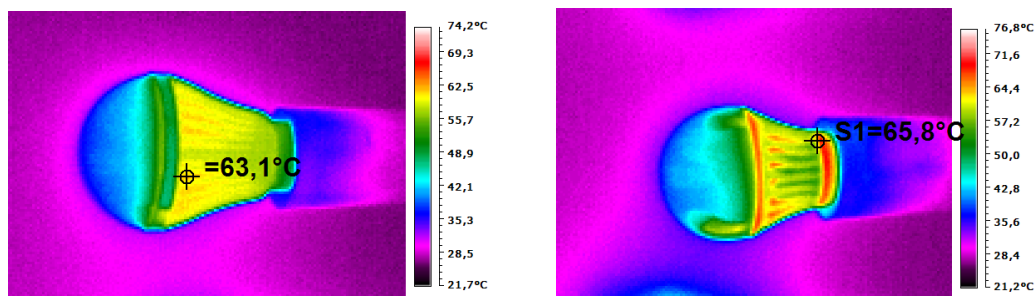


Obrázek 42: Amplitudové spektrum proudu odebíraného zdrojem 7 (LED trubice AFIMO), změřené síťovým analyzátozem SMP44, KMB SYSTEMS

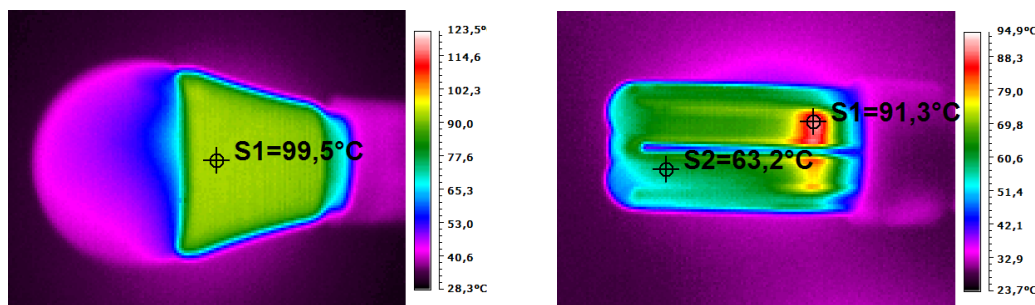
8.6 Oteplování světelných zdrojů

Přeměna elektrické energie na světlo ve světelných zdrojích není dokonalá, a proto se všechny světelné zdroje zahřívají. Nejkritičtější je oteplování pro LED světelné zdroje,

protože při dlouhodobém překročení teploty 70 °C během provozu má za následek trvalé poškození LED chipu a výrazné zkrácení životnosti, zmenšení svítivosti nebo i zničení. Tento problém umocňuje ještě nesprávný způsob používání LED světelných zdrojů, tyto bývají často umísťovány do uzavřených svítidel, ve kterých je dostatečné odvádění odpadního tepla prakticky znemožněno. V průběhu práce se naskytla možnost provést měření oteplení povrchu zkoumených světelných zdrojů termokamerou GUIDE EasIR-4. Bylo ověřeno nejen, jak vysokých teplot je na povrchu světelných zdrojů dosahováno, ale také ve které části konstrukce se nejvíce zahřívají. Měření bylo prováděno po dobu 60 minut. Nejlepších výsledků dosáhly zdroje 3 a 5 - LED žárovky AFIMO, jejichž povrch na konci měření dosahoval maximální teploty 63,1 °C (zdroj 3) a 65,8 °C (zdroj 5), což znázorňuje *Obrázek 43*. Nejhorších výsledků dosáhl zdroj 4 - LED žárovka IKEA, která měla na konci měření teplotu na povrchu 99,5 °C. Maximální možná provozní teplota byla překročena o 41%, což výrazně zkracuje životnost této LED žárovky a současně pokles světelného toku. Při takto vysoké teplotě lze pochybovat, že žárovka dosáhne životnosti, kterou výrobce garantuje, protože se tato LED žárovka značně přehřívá. Poslednímu měření byl podroben zdroj 2 - kompaktní zářivka, u které šlo pouze o lokalizaci nejteplejších míst v konstrukci a jak je vidět z *Obrázek 44*, nejteplejší místa jsou u elektrod na začátku a konce trubice a trubice jako taková i když v ní probíhá výboj, se v porovnání s konci výrazně nezahřívá.



Obrázek 43: Tepelné snímky LED žárovek AFIMO (zdroj 3 a 5) s vyznačenou maximální teplotou, pořízené termokamerou GUIDE EasIR-4.



Obrázek 44: Tepelné snímky LED žárovky IKEA (zdroj 4) a kompaktní zářivky (zdroj 2) s vyznačenou maximální teplotou, pořízené termokamerou GUIDE EasIR-4.

8.7 Porovnání naměřených parametrů s dostupnými parametry výrobců

Protože výrobci světelných někdy neuvádějí na obalech svých výrobků pravdivé údaje nebo některé neuvádějí vůbec, následuje tabulka, ve které jsou parametry získané při měření porovnány s dostupnými parametry výrobců. Spotřeba u lineární zářivky je výrobcem udávána bez předřadníku, ale měřena byla s předřadníkem. Z přehledu je vidět, že výrobci většinou píší na obalech svých výrobků pravdivé údaje až na některé výjimky. Přehled pro kompaktní zářivku, LED trubice a klasickou trubici je obsažen v *Tabulka 6*, výčet pro LED žárovky ukazuje *Tabulka 7*. Údaje obsažené v tabulce jsou základními parametry, na které se zaměřuje nebo by se měl zaměřovat běžný spotřebitel, když si světelný zdroj vybírá pro daný účel použití.

Tabulka 9: Vybrané měřené a deklarované parametry pro zdroje 2, 7, 8 a 9.

	zdroj 2		zdroj 7		zdroj 8		zdroj 9	
	měřeno	deklar.	měřeno	deklar.	měřeno	deklar.	měřeno	deklar.
Φ [lm]	903,58	840	2279,2	2100 - 2200	1718,2	1800 - 2000	3201,7	3350
η [lm/W]	68,38	-	112,46	-	87,29	-	72,56	-
T [K]	2567	2700	5435	5500 - 6500	2839	3000 - 3500	3782	4000
R_a [-]	83	>80	83	>80	73	>72	83	80 - 89
U [V]	230	230 - 240	230	85 - 277	230	85 - 265	230	-
P [W]	13,212	15	20,267	20	19,682	20	44,120	36
životnost [h]	-	6000	-	-	-	>30000	-	-
úhel svitu [°]	-	-	-	-	-	280	-	-

Tabulka 10: Vybrané měřené a deklarované parametry pro zdroje 3, 4, 5 a 6.

	zdroj 3		zdroj 4		zdroj 5		zdroj 6	
	měřeno	deklar.	měřeno	deklar.	měřeno	deklar.	měřeno	deklar.
Φ [lm]	396,77	400	637,88	600	332,69	460 - 550	93,60	-
η [lm/W]	70,51	-	60,09	54	69,30	-	49,61	-
T [K]	2999	3500	2613	2700	2904	2800 - 3500	2938	-
R_a [-]	65	>80	93	>87	71	-	63	-
U [V]	230	100 - 220	230	220 - 240	230	80 - 240	230	230
P [W]	5,627	5	10,615	11	4,801	5,5	1,886	2,4
životnost [h]	-	50000	-	25000	-	-	-	30000
úhel svitu [°]	-	-	-	-	-	120	-	120

9 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo seznámit se se základními fotometrickými veličinami, se vztahy, které mezi nimi platí a se způsoby jejich stanovování a měření. Dále bylo mezi úkoly obeznámit se se způsoby vzniku světla v elektrických světelných zdrojích a se třemi základními druhy světelných zdrojů včetně jednotlivých typů a principu jejich funkce.

Na základě přehledu provozních parametrů světelných zdrojů bylo stanoveno, které parametry je možno s ohledem na časovou náročnost, dostupnost měřicí techniky na UAMT a dostupnost vybavení laboratoře světelné techniky na UEEN v rámci bakalářské práce změřit. Pro porovnání s deklarovanými parametry výrobce, bylo nejdůležitější změřit světelně technické parametry jako světelný tok a barevné vlastnosti světla. Dalším důležitým měřeným parametrem byl činný, jalový a zdánlivý výkon, odebíraný proud a power factor - to vše při konstantním napájecím napětí. Celé měření bylo automatizované a byl pro něj navržen jednoduchý měřicí řetězec. Tato měření probíhala v laboratoři světelné techniky na UEEN. Dále bylo potřeba prozkoumat změny provozních veličin v závislosti na napájecím napětí, jako například pokles napětí nebo přepětí v síti. Tato měření se vyjadřují ve formě křížových charakteristik, jedná se o závislosti činného, jalového a zdánlivého výkonu, proudu a světelného toku nebo intenzity osvětlení na napájecím napětí.

Z naměřených výsledků jasně plyne, že nelze jednoduše a jednoznačně určit, který z měřených světelných zdrojů je nejlepší. Každý světelný zdroj vyniká v jiné oblasti a jinými parametry, proto je potřeba se vždy při výběru světelného zdroje rozhodovat individuálně podle účelu použití. Je důležité si uvědomit, jestli je od světelného zdroje očekávána energetická úspora nebo kvalita světla například ve formě jeho barevných vlastností, případně kompromis mezi těmito dvěma extrémy. Nejlepších vlastností ať v oblasti teploty chromatičnosti nebo indexu barevného podání dosahuje klasická žárovka. Největší účinnosti dosahují LED světelné zdroje.

Literatura

- [1] BAXANT, P.: *Světelná technika*, Skripta VUT Brno
- [2] BAXANT, P.: DRÁPELA, J.: *Užití elektrické energie*, Skripta VUT Brno, 2007
- [3] HORŇÁK, Pavol. *Světelná technika*. 1. vyd. Bratislava: ALFA, 1989, 247 s. ISBN 80-050-0122-3.
- [4] *Obyčejné žárovky* [online]. 2013 [cit. 2014-03-01]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetelne-zdroje-%E2%80%93-obycejne-zarovky-37590.html>
- [5] HABEL, Jiří. *Světelná technika a osvětlování*. 1. vyd. Praha: FCC Public, 1995, 437 s. ISBN 80-901-9850-3.
- [6] *Kompaktní zářivky* [online]. 2013 [cit. 2014-03-05]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetelne-zdroje-%E2%80%93-kompaktni-zarivky-37410.html>
- [7] BAXANT, Petr. *Elektrické teplo a světlo*. 1. vyd. Brno: CERM, 2004, 190 s. ISBN 80-214-2761-2.
- [8] HABEL, Jiří. *Světlo a osvětlování*. Praha: FCC Public, 2013, 622 s. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [9] SOKANSKÝ, Karel, Tomáš NOVÁK, Marek BÁLSKÝ, Zdeněk BLÁHA, Zbyněk CARBOL, Daniel DIVIŠ, Blahoslav SOCHA, Jaroslav ŠNOBL, Jan ŠUMPICH a Petr ZÁVADA. *Světelná technika*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 255 s. ISBN 978-80-01-04941-9.
- [10] HABEL, J.: *Základy světelné techniky*. Časopis Světlo. 2009, roč. 11, č. 1, s. 40-43. ISSN 1212-0812 .
- [11] ŽÁK, P.: *Trendy ve světelných diodách a svítidlech se světelnými diodami*. Časopis Světlo. 2010 roč. 12, č. 6, s. 16-18. ISSN 1212-0812 .
- [12] HABEL, J.: *Základy světelné techniky*. Časopis Světlo. 2008, roč. 10, č. 4, s. 40-41. ISSN 1212-0812
- [13] *Additive color mixing* [online]. 2008 [cit. 2013-12-20]. Dostupné z: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e8/AdditiveColorMixiing.svg>
- [14] HABEL, J.: *Základy světelné techniky*. Časopis Světlo. 2008, roč. 10, č. 5, s. 53-55. ISSN 1212-0812
- [15] HABEL, J.: *Základy světelné techniky*. Časopis Světlo. 2009, roč. 11, č. 5, s. 64-66. ISSN 1212-0812
- [16] DVOŘÁČEK, V.: *Světelné zdroje – obyčejné žárovky*. Časopis Světlo. 2008, roč. 10, č. 4, s. 38-39. ISSN 1212-0812
- [17] DVOŘÁČEK, V.: *Světelné zdroje – halogenové žárovky*. Časopis Světlo. 2008, roč. 10, č. 5, s. 56-58. ISSN 1212-0812
- [18] DVOŘÁČEK, V.: *Světelné zdroje – vysokotlaké sodíkové výbojky*. Časopis Světlo. 2009, roč. 11, č. 4, s. 40-42. ISSN 1212-0812

- [19] DVOŘÁČEK, V.: *Světelné zdroje – vysokotlaké rtuťové výbojky, směšové výbojky*. Časopis Světlo. 2008, roč. 11, č. 6, s. 56-58. ISSN 1212-0812
- [20] DVOŘÁČEK, V.: *Světelné zdroje – nízkotlaké sodíkové výbojky*. Časopis Světlo. 2009, roč. 12, č. 6, s. 58-59. ISSN 1212-0812
- [21] DVOŘÁČEK, V.: *Světelné zdroje – lineární zářivky*. Časopis Světlo. 2008, roč. 11, č. 2, s. 56-58. ISSN 1212-0812
- [22] DVOŘÁČEK, V.: *Světelné zdroje – kompaktní zářivky*. Časopis Světlo. 2008, roč. 11, č. 3, s. 43-45. ISSN 1212-0812
- [23] *Seriál LED osvětlení, 1. díl – Technologie LED* [online]. 2013 [cit. 2014-04-04]. Dostupné z: <http://www.afimocz.cz/serial-led-osvetleni-1-dil-technologie-led/>
- [24] *LED Education - DIP, SMD, and MCOB LEDs* [online]. 2013 [cit. 2014-04-04]. Dostupné z: <http://www.statelineeco.com/resources-eco-education/led-education/smd-vs-dip-mcob-leds.html>
- [25] *Seriál LED osvětlení, 3. díl – LED drivery* [online]. 2013 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: <http://www.afimocz.cz/serial-led-osvetleni-3-dil-led-drivery/>
- [26] *LEDs and AC Power* [online]. 2013 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: <http://www.statelineeco.com/led-education/led-ac-power.html>
- [27] *Seriál LED osvětlení, 2. díl – Chlazení LED* [online]. 2013 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: <http://www.afimocz.cz/serial-led-osvetleni-2-dil-chlazení-led/>
- [28] DVOŘÁČEK, V.: *Světelné zdroje – světelné diody*. Časopis Světlo. 2009, roč. 12, č. 5, s. 68-71. ISSN 1212-0812
- [29] *Měření světelného toku a měrného výkonu světelných zdrojů* [online]. 2010 [cit. 2014-04-20]. Dostupné z: http://www.ueen.feec.vutbr.cz/cz/images/stories/images_laboratory/BUEE/pdf/BUEE_Lab_navod_02_mernyvykon.pdf
- [30] *Měření parametrů moderních světelných zdrojů a svítidel* [online]. 2013 [cit. 2014-04-20]. Dostupné z: http://www.elektroatrh.cz/pdf/mereni_parametru_modernich_svetelných_zdroju_a_svitidel.pdf
- [31] HABEL, J.: *Základy světelné techniky – Základy nauky o barvě (1. část)*. Časopis Světlo. 2009, roč. 12, č. 5, s. 64-66. ISSN 1212-0812
- [32] HABEL, J.: *Základy světelné techniky – Základy nauky o barvě (2. část)*. Časopis Světlo. 2009, roč. 12, č. 6, s. 53-57. ISSN 1212-0812
- [33] *SMP a SMPQ měřicí přístroje* [online]. 2010 [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: <http://www.kmb.cz/index.php/cs/analyzatory-kvality/en-50160-smp-a-smpq>

Seznam příloh

Příloha 1. Podrobné tabulky naměřených hodnot

Příloha 2. Grafy srovnání spekter světelných zdrojů a křížové charakteristiky

Příloha 3. Katalogové listy produktů AFIMO CZ s.r.o.

Příloha 4. CD/DVD

- Dokument práce
- Tabulky všech naměřených hodnot

*P1.1: Světelně technické a elektrické parametry zdroje 1 při jmenovitém napětí spektrometrem CS-1000A
Konica Minolta a síťovým analyzátozem SMP44, KMB SYSTEMS.*

t [min]	2	4	6	8	10
L [cd/m ²]	125,34	124,50	124,08	124,31	125,18
Φ [lm]	764,28	759,16	756,60	758,00	763,31
η [lm/W]	12,39	12,38	12,38	12,37	12,45
X	143,08	142,16	141,70	141,95	142,88
Y	125,34	124,50	124,08	124,31	125,18
Z	35,48	35,19	35,04	35,12	35,46
x	0,471	0,471	0,471	0,471	0,471
y	0,412	0,413	0,413	0,413	0,412
T [K]	2572	2571	2570	2570	2573
duv	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Ra [-]	100	100	100	100	100
U [V]	231,48	230,60	230,05	230,53	230,15
I [A]	0,266	0,266	0,265	0,266	0,266
P [W]	61,657	61,300	61,076	61,271	61,273
Q [var]	1,649	1,628	1,634	1,629	1,617
S [VA]	61,686	61,328	61,104	61,299	61,301
PF [-]	0,9995	0,9995	0,9995	0,9995	0,9995
cos φ [-]	1,000L	1,000L	1,000L	1,000L	1,000L
f [Hz]	50,01	50,00	49,99	49,99	50,00

P1.2: Světelné technické a elektrické parametry zdroje 2 při jmenovitém napětí spektorradiometrem CS-1000A Konica Minolta a síťovým analyzátořem SMP44, KMB SYSTEMS.

t [min]	0,5	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5
L [cd/m2]	78,59	110,29	132,13	140,72	144,02	145,89	147,05	147,89	148,18	148,28
φ [lm]	479,21	672,51	805,69	858,06	878,19	889,59	896,66	901,79	903,55	904,16
η [lm/W]		48,59	58,28	62,58	64,31	65,46	66,49	67,40	68,38	68,64
X	89,81	126,30	151,25	160,81	164,31	166,27	167,44	168,26	168,41	168,28
Y	78,59	110,29	132,13	140,72	144,02	145,89	147,05	147,89	148,18	148,28
Z	18,85	28,69	35,39	37,46	38,08	38,34	38,46	38,50	38,39	38,21
X	0,480	0,476	0,475	0,474	0,474	0,474	0,474	0,474	0,474	0,474
Y	0,420	0,416	0,415	0,415	0,416	0,416	0,417	0,417	0,417	0,418
T [K]	2520	2531	2542	2548	2554	2558	2560	2563	2567	2572
duv	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003
Ra [-]	84	83	83	83	83	83	83	83	83	83
U [V]	230,05	230,88	230,63	230,40	230,43	230,15	230,43	230,48	230,00	230,40
I [A]	0,062	0,101	0,101	0,099	0,099	0,098	0,099	0,098	0,096	0,097
P [W]	0,000	13,840	13,824	13,711	13,655	13,590	13,484	13,379	13,212	13,172
Q [var]	-1,933	-5,969	-5,942	-5,872	-5,849	-5,739	-5,849	-5,709	-5,524	-5,537
S [VA]	8,586	23,289	23,252	22,910	22,926	22,775	22,818	22,743	22,151	22,422
PF [-]	0,536	0,594	0,595	0,598	0,596	0,597	0,591	0,588	0,596	0,587
cos φ [-]	0,916C	0,911C	0,912C	0,912C	0,912C	0,914C	0,910C	0,912C	0,915C	0,914C
f [Hz]	49,97	49,96	49,96	49,95	49,93	49,94	49,94	49,95	49,94	49,94

t [min]	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5
L [cd/m2]	147,49	146,42	146,02	145,27	144,90	144,28	144,46	144,74	145,70	147,06
φ [lm]	899,35	892,82	890,38	885,81	883,55	879,77	880,87	882,58	888,43	896,72
η [lm/W]	68,73	68,40	68,57	68,16	67,63	66,81	66,89	66,78	67,10	67,94
X	167,14	165,72	165,07	164,11	163,59	162,83	163,10	163,44	164,65	166,42
Y	147,49	146,42	146,02	145,27	144,90	144,28	144,46	144,74	145,70	147,06
Z	37,78	37,38	37,20	36,96	36,88	36,68	36,73	36,75	36,93	37,40
x	0,474	0,474	0,474	0,474	0,474	0,474	0,474	0,474	0,474	0,474
y	0,419	0,419	0,419	0,419	0,420	0,420	0,420	0,420	0,420	0,419
T [K]	2577	2582	2588	2591	2594	2595	2593	2592	2588	2582
duv	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
Ra [-]	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83
U [V]	230,30	230,33	229,98	230,05	230,03	230,30	230,10	230,43	230,40	230,35
I [A]	0,097	0,096	0,095	0,095	0,095	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097
P [W]	13,084	13,051	12,983	12,995	13,064	13,167	13,169	13,215	13,240	13,199
Q [var]	-5,508	-5,373	-5,314	-5,417	-5,307	-5,531	-5,497	-5,540	-5,422	-5,473
S [VA]	22,255	22,232	21,977	22,038	21,983	22,407	22,245	22,491	22,462	22,475
PF [-]	0,588	0,587	0,591	0,590	0,594	0,588	0,592	0,588	0,589	0,587
cos φ [-]	0,914C	0,917C	0,918C	0,915C	0,919C	0,914C	0,915C	0,914C	0,918C	0,916C
f [Hz]	49,95	49,95	49,96	49,96	49,98	49,99	49,99	49,98	49,99	49,98

P1.3: Světelné technické a elektrické parametry zdroje 3 při jmenovitém napětí spektorradiometrem CS-1000A Konica Minolta a síťovým analyzátozem SMP44, KMB SYSTEMS.

t [min]	0,5	1,7	2,9	4,1	5,3	6,5	7,7	8,9	10,1	11,3
L [cd/m2]	68,50	67,66	67,11	66,63	66,19	65,78	65,41	65,07	64,78	64,53
φ [lm]	417,69	412,57	409,21	406,29	403,60	401,10	398,85	396,77	395,00	393,48
η [lm/W]		70,57	71,17	70,48	70,51	71,54	71,01	70,51	71,25	70,52
X	74,47	73,43	72,73	72,13	71,59	71,09	70,64	70,23	69,87	69,57
Y	68,50	67,66	67,11	66,63	66,19	65,78	65,41	65,07	64,78	64,53
Z	25,53	25,61	25,59	25,57	25,52	25,43	25,30	25,17	25,06	24,96
x	0,442	0,441	0,440	0,439	0,438	0,438	0,438	0,438	0,438	0,437
y	0,407	0,406	0,406	0,406	0,405	0,405	0,405	0,406	0,406	0,406
T [K]	2937	2956	2967	2977	2985	2991	2996	2999	3003	3005
duv	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Ra [-]	64	64	64	64	65	65	65	65	65	64
U [V]	230,50	230,70	231,08	231,10	230,23	230,35	230,05	230,40	230,08	229,75
I [A]	0,042	0,053	0,053	0,053	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052
P [W]	2,761	5,846	5,750	5,764	5,724	5,606	5,617	5,627	5,544	5,580
Q [var]	-0,704	-1,485	-1,409	-1,405	-1,421	-1,435	-1,464	-1,399	-1,436	-1,376
S [VA]	6,536	12,418	12,309	12,324	12,141	12,086	12,064	11,961	12,042	12,020
PF [-]	0,471	0,467	0,468	0,471	0,464	0,466	0,470	0,460	0,464	0,466
cos φ [-]	0,959C	0,959C	0,961C	0,962C	0,961C	0,959C	0,958C	0,961C	0,958C	0,961C
f [Hz]	50,00	49,99	50,00	50,00	49,99	49,99	50,02	50,02	49,99	49,99

t [min]	12,5	13,7	14,9	16,1	17,3	18,5	19,7	20,9	22,1	23,3
L [cd/m2]	64,31	64,11	63,94	63,80	63,67	63,55	63,46	63,37	63,29	63,23
φ [lm]	392,14	390,92	389,88	389,03	388,24	387,50	386,96	386,41	385,92	385,55
η [lm/W]	70,48	70,05	69,88	70,24	69,40	69,88	70,02	70,20	69,53	77,70
X	69,31	69,07	68,87	68,69	68,54	68,40	68,29	68,18	68,09	68,02
Y	64,31	64,11	63,94	63,80	63,67	63,55	63,46	63,37	63,29	63,23
Z	24,88	24,81	24,74	24,69	24,64	24,60	24,57	24,53	24,50	24,48
x	0,437	0,437	0,437	0,437	0,437	0,437	0,437	0,437	0,437	0,437
y	0,406	0,406	0,406	0,406	0,406	0,406	0,406	0,406	0,406	0,406
T [K]	3007	3010	3011	3013	3014	3015	3016	3017	3018	3018
duv	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Ra [-]	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
U [V]	230,10	229,93	230,10	230,35	230,25	230,05	230,50	230,38	230,28	230,38
I [A]	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,049
P [W]	5,564	5,580	5,579	5,538	5,594	5,545	5,526	5,504	5,550	4,962
Q [var]	-1,387	-1,249	-1,356	-1,400	-1,387	-1,382	-1,383	-1,393	-1,352	-1,261
S [VA]	11,947	11,944	11,917	12,003	12,083	11,932	11,921	12,060	12,120	10,902
PF [-]	0,467	0,468	0,461	0,463	0,465	0,464	0,456	0,458	0,455	0,456
cos φ [-]	0,960C	0,967C	0,962C	0,960C	0,961C	0,960C	0,961C	0,959C	0,962C	0,959C
f [Hz]	49,98	50,00	49,98	49,98	49,99	49,98	50,00	50,00	49,99	50,02

P1.4: Světelné technické a elektrické parametry zdroje 4 při jmenovitém napětí spektorradiometrem CS-1000A Konica Minolta a síťovým analyzátořem SMP44, KMB SYSTEMS.

t [min]	0,5	1,7	2,9	4,1	5,3	6,5	7,7	8,9	10,1	11,3	12,5
L [cd/m2]	114,29	112,56	110,77	109,38	108,21	107,30	106,43	105,80	105,11	104,61	104,01
φ [lm]	696,90	686,35	675,44	666,96	659,83	654,28	648,97	645,13	640,93	637,88	634,22
η [lm/W]	63,65	62,91	62,40	62,05	61,50	61,09	60,89	60,54	60,22	60,09	59,90
X	127,59	125,94	124,14	122,73	121,54	120,61	119,72	119,07	118,34	117,83	117,19
Y	114,29	112,56	110,77	109,38	108,21	107,30	106,43	105,80	105,11	104,61	104,01
Z	28,18	28,16	27,99	27,87	27,74	27,66	27,56	27,50	27,41	27,36	27,28
x	0,472	0,472	0,472	0,472	0,472	0,472	0,472	0,472	0,472	0,472	0,472
y	0,423	0,422	0,421	0,421	0,420	0,420	0,420	0,419	0,419	0,419	0,419
T [K]	2640	2633	2628	2625	2621	2619	2617	2616	2614	2613	2612
duv	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
Ra [-]	94	94	94	94	94	94	93	93	93	93	93
U [V]	229,93	230,05	230,20	230,08	230,40	230,30	229,98	230,03	229,90	229,88	229,65
I [A]	0,050	0,050	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,048
P [W]	10,949	10,910	10,824	10,748	10,729	10,709	10,657	10,655	10,643	10,615	10,587
Q [var]	-3,039	-3,037	-3,025	-2,994	-3,008	-3,004	-2,984	-2,975	-2,965	-2,950	-2,952
S [VA]	11,509	11,472	11,390	11,311	11,299	11,280	11,223	11,218	11,205	11,175	11,150
PF [-]	0,951	0,951	0,950	0,950	0,949	0,949	0,950	0,950	0,950	0,950	0,950
cos φ [-]	0,964C	0,964C	0,963C	0,963C	0,963C	0,963C	0,963C	0,963C	0,964C	0,964C	0,963C
f [Hz]	50,01	49,99	50,01	50,02	50,03	50,00	49,97	49,99	50,01	50,01	50,01

t [min]	13,7	14,9	16,1	17,3	18,5	19,7	20,9	22,1	23,3	24,5	25,7
L [cd/m2]	103,58	103,11	102,79	102,47	102,08	102,04	101,60	101,45	101,33	101,05	101,06
φ [lm]	631,60	628,73	626,78	624,83	622,45	622,21	619,52	618,61	617,88	616,17	616,23
η [lm/W]	59,55	59,39	59,30	59,17	58,78	59,18	58,72	58,79	58,48	58,52	58,41
X	116,74	116,25	115,91	115,57	115,15	115,12	114,65	114,48	114,36	114,05	114,07
Y	103,58	103,11	102,79	102,47	102,08	102,04	101,60	101,45	101,33	101,05	101,06
Z	27,21	27,14	27,10	27,06	26,98	27,01	26,92	26,90	26,89	26,83	26,85
x	0,472	0,472	0,472	0,472	0,472	0,472	0,472	0,471	0,471	0,471	0,471
y	0,418	0,418	0,418	0,418	0,418	0,418	0,418	0,418	0,418	0,418	0,418
T [K]	2612	2611	2610	2610	2610	2609	2609	2609	2608	2608	2608
duv	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
Ra [-]	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93
U [V]	229,90	230,03	229,93	229,63	230,33	229,85	230,23	229,90	230,28	230,43	230,65
I [A]	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048
P [W]	10,605	10,585	10,569	10,559	10,588	10,513	10,550	10,521	10,564	10,529	10,550
Q [var]	-2,949	-2,934	-2,939	-2,940	-2,924	-2,923	-2,929	-2,929	-2,930	-2,928	-2,935
S [VA]	11,167	11,143	11,130	11,120	11,148	11,073	11,112	11,082	11,126	11,091	11,114
PF [-]	0,950	0,950	0,950	0,950	0,950	0,949	0,949	0,949	0,950	0,949	0,949
cos φ [-]	0,964C	0,964C	0,964C	0,964C	0,964C	0,964C	0,964C	0,963C	0,964C	0,964C	0,964C
f [Hz]	50,00	49,99	50,01	50,02	50,01	50,01	50,03	50,03	50,03	50,03	50,02

P1.5: Světelné technické a elektrické parametry zdroje 5 při jmenovitém napětí spektrometrem CS-1000A Konica Minolta a síťovým analyzátozem SMP44, KMB SYSTEMS.

t [min]	0,5	2,7	4,9	7,1	9,3	11,5	13,7	15,9	18,1	20,3
L [cd/m2]	57,02	56,34	55,75	55,28	54,88	54,56	54,28	54,08	53,91	53,77
φ [lm]	347,69	343,54	339,94	337,08	334,64	332,69	330,98	329,76	328,72	327,87
η [lm/W]	71,75	70,93	69,99	70,05	69,17	69,30	69,18	69,07	68,63	68,25
X	61,98	61,21	60,55	60,00	59,55	59,19	58,87	58,64	58,45	58,30
Y	57,02	56,34	55,75	55,28	54,88	54,56	54,28	54,08	53,91	53,77
Z	19,29	19,12	18,98	18,86	18,77	18,69	18,62	18,58	18,54	18,51
x	0,448	0,448	0,448	0,447	0,447	0,447	0,447	0,447	0,447	0,446
y	0,412	0,412	0,412	0,412	0,412	0,412	0,412	0,412	0,412	0,412
T [K]	2887	2892	2895	2899	2902	2904	2906	2907	2909	2910
duv	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Ra [-]	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71
U [V]	230,90	230,88	230,73	230,90	230,63	230,45	231,18	230,40	230,53	230,68
I [A]	0,049	0,049	0,050	0,050	0,049	0,049	0,049	0,050	0,050	0,049
P [W]	4,845	4,843	4,857	4,812	4,838	4,801	4,784	4,774	4,790	4,804
Q [var]	-1,173	-1,157	-1,173	-1,190	-1,137	-1,100	-1,192	-1,189	-1,148	-1,132
S [VA]	11,431	11,406	11,518	11,553	11,215	11,371	11,443	11,492	11,512	11,397
PF [-]	0,424	0,425	0,422	0,417	0,431	0,422	0,418	0,415	0,416	0,421
cos φ [-]	0,962C	0,963C	0,962C	0,960C	0,963C	0,964C	0,959C	0,959C	0,962C	0,963C
f [Hz]	49,96	49,98	49,98	49,98	49,99	49,99	50,01	50,01	50,00	49,99

P1.6: Světelné technické a elektrické parametry zdroje 6 při jmenovitém napětí spektrometrem CS-1000A Konica Minolta a síťovým analyzátozem SMP44, KMB SYSTEMS.

t [min]	0,5	3,3	6,1	8,9	11,7	14,5	17,3	20,1	22,9	25,7	28,5	31,3
L [cd/m2]	15,64	15,52	15,46	15,39	15,38	15,38	15,35	15,34	15,31	15,32	15,33	15,34
φ [lm]	95,36	94,63	94,27	93,84	93,78	93,78	93,60	93,53	93,35	93,41	93,47	93,53
η [lm/W]	50,25	49,95	49,90	49,46	49,60	49,54	49,61	49,82	49,65	49,32	49,52	53,81
X	16,80	16,64	16,56	16,48	16,46	16,46	16,43	16,41	16,38	16,39	16,40	16,40
Y	15,64	15,52	15,46	15,39	15,38	15,38	15,35	15,34	15,31	15,32	15,33	15,34
Z	4,88	4,86	4,86	4,85	4,85	4,86	4,85	4,85	4,84	4,84	4,85	4,85
x	0,450	0,450	0,449	0,449	0,449	0,449	0,448	0,448	0,448	0,448	0,448	0,448
y	0,419	0,419	0,419	0,419	0,419	0,419	0,419	0,419	0,419	0,419	0,419	0,419
T [K]	2912	2922	2928	2932	2935	2937	2938	2939	2939	2939	2940	2940
duv	0,004	0,004	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Ra [-]	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
U [V]	230,68	230,70	230,58	230,60	230,68	230,53	230,10	229,70	230,60	230,73	231,05	230,98
I [A]	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,026
P [W]	1,898	1,895	1,889	1,897	1,891	1,893	1,886	1,877	1,880	1,894	1,887	1,738
Q [var]	-5,649	-5,657	-5,660	-5,677	-5,688	-5,668	-5,656	-5,621	-5,683	-5,686	-5,700	-5,235
S [VA]	6,282	6,296	6,293	6,314	6,332	6,302	6,287	6,245	6,309	6,320	6,332	5,828
PF [-]	0,302	0,302	0,301	0,300	0,300	0,299	0,300	0,300	0,301	0,298	0,300	0,298
cos φ [-]	0,314C	0,314C	0,312C	0,313C	0,311C	0,313C	0,312C	0,312C	0,310C	0,312C	0,310C	0,311C
f [Hz]	49,96	49,95	49,97	49,99	50,01	50,04	50,02	50,01	50,01	50,02	49,99	49,98

P1.7: Světelné technické a elektrické parametry zdroje 7 při jmenovitém napětí spektorradiometrem CS-1000A Konica Minolta a síťovým analyzátořem SMP44, KMB SYSTEMS.

t [min]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
L [cd/m2]	383,00	380,20	378,73	377,61	376,67	375,87	375,23	374,73	374,22	373,79	373,47
ϕ [lm]	2335,4	2318,3	2309,3	2302,5	2296,2	2291,9	2288,0	2284,9	2281,8	2279,2	2277,3
η [lm/W]	171,06	113,25	113,05	112,88	112,81	112,67	112,58	112,55	112,54	112,46	112,36
X	369,41	366,85	365,48	364,43	363,56	362,82	362,21	361,74	361,25	360,85	360,55
Y	383,00	380,20	378,73	377,61	376,67	375,87	375,23	374,73	374,22	373,79	373,47
Z	350,07	348,52	347,84	347,38	346,92	346,55	346,29	346,04	345,76	345,56	345,40
x	0,335	0,335	0,335	0,335	0,334	0,334	0,334	0,334	0,334	0,334	0,334
y	0,347	0,347	0,347	0,347	0,347	0,346	0,346	0,346	0,346	0,346	0,346
T [K]	5394	5403	5410	5416	5420	5424	5428	5430	5433	5435	5436
duv	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Ra [-]	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83
U [V]	229,40	229,33	229,53	229,43	229,50	229,43	229,80	229,78	229,78	229,58	229,85
I [A]	0,074	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,090	0,090	0,090
P [W]	13,652	20,470	20,427	20,398	20,360	20,342	20,322	20,302	20,276	20,267	20,267
Q [var]	-3,158	-4,359	-4,361	-4,350	-4,355	-4,336	-4,367	-4,358	-4,347	-4,339	-4,345
S [VA]	14,461	20,988	20,947	20,916	20,881	20,858	20,847	20,825	20,797	20,786	20,787
PF [-]	0,944	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975
cos ϕ [-]	0,974C	0,978C	0,978C	0,978C	0,978C	0,978C	0,978C	0,978C	0,978C	0,978C	0,978C
f [Hz]	49,99	50,00	50,02	50,01	50,01	50,02	50,03	50,03	50,02	50,02	50,01

t [min]	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
L [cd/m2]	373,23	373,00	372,79	372,62	372,50	372,37	372,26	372,20	372,13	372,06	372,03
ϕ [lm]	2275,8	2274,4	2273,1	2272,1	2271,3	2270,6	2269,9	2269,5	2269,1	2268,7	2268,5
η [lm/W]	112,37	112,38	112,38	112,35	112,27	112,24	112,19	112,26	112,22	112,21	112,22
X	360,31	360,10	359,91	359,74	359,62	359,49	359,39	359,33	359,26	359,21	359,16
Y	373,23	373,00	372,79	372,62	372,50	372,37	372,26	372,20	372,13	372,06	372,03
Z	345,30	345,21	345,09	345,01	344,96	344,86	344,85	344,79	344,76	344,76	344,72
x	0,334	0,334	0,334	0,334	0,334	0,334	0,334	0,334	0,334	0,334	0,334
y	0,346	0,346	0,346	0,346	0,346	0,346	0,346	0,346	0,346	0,346	0,346
T [K]	5438	5439	5440	5441	5442	5442	5443	5444	5444	5444	5445
duv	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Ra [-]	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83
U [V]	229,83	229,98	229,43	229,65	229,58	229,60	229,48	229,70	229,40	229,23	229,53
I [A]	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090
P [W]	20,252	20,238	20,227	20,223	20,230	20,228	20,232	20,216	20,221	20,217	20,215
Q [var]	-4,356	-4,361	-4,343	-4,334	-4,343	-4,359	-4,327	-4,358	-4,331	-4,328	-4,328
S [VA]	20,775	20,764	20,748	20,742	20,751	20,754	20,750	20,740	20,739	20,735	20,733
PF [-]	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975
cos ϕ [-]	0,978C	0,978C	0,978C	0,978C	0,978C	0,978C	0,978C	0,978C	0,978C	0,978C	0,978C
f [Hz]	50,00	49,98	49,97	49,98	49,98	49,97	49,97	49,97	49,98	49,97	49,98

P1.8: Světelné technické a elektrické parametry zdroje 8 při jmenovitém napětí spektorradiometrem CS-1000A Konica Minolta a síťovým analyzátořem SMP44, KMB SYSTEMS.

t [min]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L [cd/m2]	288,99	287,14	285,84	284,78	283,93	283,23	282,64	282,20	281,78	281,45
ϕ [lm]	1762,1	1750,8	1742,9	1736,5	1731,3	1727,0	1723,4	1720,7	1718,2	1716,2
η [lm/W]	89,40	86,98	87,18	87,17	87,28	87,26	87,27	87,32	87,29	87,37
X	315,79	313,79	312,37	311,19	310,24	309,46	308,81	308,31	307,84	307,48
Y	288,99	287,14	285,84	284,78	283,93	283,23	282,64	282,20	281,78	281,45
Z	92,16	91,94	91,80	91,59	91,36	91,21	91,10	91,02	90,98	90,92
x	0,453	0,453	0,453	0,453	0,453	0,453	0,452	0,452	0,452	0,452
y	0,415	0,414	0,414	0,414	0,414	0,414	0,414	0,414	0,414	0,414
T [K]	2833	2834	2836	2836	2837	2838	2838	2839	2839	2840
duv	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Ra [-]	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73
U [V]	229,80	229,88	229,58	229,60	229,73	229,43	230,53	230,00	230,08	230,33
I [A]	0,091	0,092	0,092	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091
P [W]	19,709	20,129	19,991	19,921	19,836	19,791	19,747	19,705	19,682	19,643
Q [var]	-5,824	-5,984	-6,018	-6,070	-6,126	-6,172	-6,272	-6,274	-6,320	-6,359
S [VA]	20,906	21,243	21,124	21,074	21,017	20,991	20,986	20,948	20,946	20,930
PF [-]	0,934	0,933	0,933	0,933	0,933	0,933	0,933	0,933	0,933	0,933
cos ϕ [-]	0,960C	0,959C	0,958C	0,957C	0,956C	0,956C	0,954C	0,954C	0,953C	0,952C
f [Hz]	49,98	49,97	49,98	49,97	49,99	49,99	49,98	49,99	49,99	49,99

t [min]	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
L [cd/m2]	281,16	280,94	280,76	280,57	280,43	280,30	280,21	280,15	280,07	280,00
ϕ [lm]	1714,4	1713,0	1711,9	1710,8	1709,9	1709,1	1708,6	1708,2	1707,7	1707,3
η [lm/W]	87,36	87,36	87,34	87,32	87,31	87,32	87,33	87,28	87,33	87,35
X	307,15	306,91	306,70	306,49	306,34	306,20	306,09	306,01	305,92	305,86
Y	281,16	280,94	280,76	280,57	280,43	280,30	280,21	280,15	280,07	280,00
Z	90,86	90,82	90,81	90,77	90,73	90,73	90,71	90,70	90,68	90,69
x	0,452	0,452	0,452	0,452	0,452	0,452	0,452	0,452	0,452	0,452
y	0,414	0,414	0,414	0,414	0,414	0,414	0,414	0,414	0,414	0,414
T [K]	2840	2840	2841	2841	2841	2841	2841	2841	2841	2841
duv	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Ra [-]	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73
U [V]	229,98	230,38	230,00	230,28	230,60	230,43	230,30	230,55	230,45	230,33
I [A]	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091
P [W]	19,624	19,609	19,600	19,592	19,584	19,572	19,564	19,571	19,555	19,545
Q [var]	-6,403	-6,427	-6,447	-6,474	-6,501	-6,501	-6,542	-6,551	-6,553	-6,566
S [VA]	20,922	20,918	20,922	20,925	20,928	20,920	20,926	20,938	20,923	20,920
PF [-]	0,933	0,933	0,933	0,933	0,933	0,933	0,933	0,933	0,933	0,933
cos ϕ [-]	0,952C	0,951C	0,951C	0,951C	0,950C	0,950C	0,949C	0,949C	0,949C	0,949C
f [Hz]	49,99	50,00	50,00	50,01	50,00	49,99	49,98	49,98	49,97	49,97

P1.9: Světelné technické a elektrické parametry zdroje 9 při jmenovitém napětí spektorradiometrem CS-1000A Konica Minolta a síťovým analyzátořem SMP44, KMB SYSTEMS.

t [min]	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5
L [cd/m2]	437,13	482,70	502,03	513,98	519,25	523,57	523,28	524,09	523,93	524,31	525,07
φ [lm]	2665,4	2943,3	3061,3	3134,0	3166,2	3192,5	3190,8	3195,7	3194,7	3197,0	3201,7
η [lm/W]	63,79	68,06	70,80	71,55	72,53	72,86	72,66	72,54	72,10	72,24	72,56
X	445,14	491,41	510,38	522,05	526,78	531,05	530,33	530,96	530,69	531,03	531,52
Y	437,13	482,70	502,03	513,98	519,25	523,57	523,28	524,09	523,93	524,31	525,07
Z	256,49	283,17	293,36	298,15	299,77	300,92	299,73	299,83	299,28	299,24	299,50
x	0,391	0,391	0,391	0,391	0,391	0,392	0,392	0,392	0,392	0,392	0,392
y	0,384	0,384	0,385	0,385	0,386	0,386	0,387	0,387	0,387	0,387	0,387
T [K]	3782	3783	3787	3783	3784	3779	3779	3780	3779	3779	3782
duv	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002
Ra [-]	84	84	84	84	84	84	84	83	83	83	83
U [V]	228,58	230,15	229,43	230,28	229,83	230,05	230,23	230,28	231,00	230,73	230,45
I [A]	0,416	0,415	0,409	0,413	0,411	0,412	0,413	0,414	0,416	0,416	0,415
P [W]	41,781	43,241	43,233	43,798	43,652	43,817	43,911	44,050	44,310	44,251	44,120
Q [var]	84,919	84,438	82,772	83,696	83,142	83,499	83,763	83,974	84,821	84,540	84,151
S [VA]	95,246	95,503	94,014	95,085	94,521	94,910	95,182	95,429	96,305	96,026	95,622
PF [-]	0,439	0,453	0,460	0,461	0,462	0,462	0,461	0,462	0,460	0,461	0,461
cos φ [-]	0,443L	0,457L	0,464L	0,465L	0,466L	0,466L	0,466L	0,466L	0,464L	0,465L	0,466L
f [Hz]	49,98	49,98	49,98	49,99	49,99	49,99	50,00	49,99	49,97	49,98	50,00

t [min]	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11
L [cd/m2]	524,86	524,54	526,70	524,54	525,15	524,69	526,71	523,27	526,73	523,65	526,26
φ [lm]	3200,4	3198,4	3211,6	3198,4	3202,2	3199,4	3211,7	3190,7	3211,8	3193,0	3208,9
η [lm/W]	72,59	72,26	72,92	72,41	72,88	72,16	72,56	72,23	72,70	72,41	72,31
X	531,21	531,00	533,26	531,21	531,65	531,28	533,22	529,43	533,20	529,85	532,73
Y	524,86	524,54	526,70	524,54	525,15	524,69	526,71	523,27	526,73	523,65	526,26
Z	299,15	298,90	299,93	298,44	298,91	298,25	300,03	297,92	299,66	298,13	299,34
x	0,392	0,392	0,392	0,392	0,392	0,392	0,392	0,392	0,392	0,392	0,392
y	0,387	0,387	0,387	0,387	0,387	0,387	0,387	0,387	0,387	0,387	0,387
T [K]	3782	3780	3778	3775	3778	3775	3779	3782	3778	3782	3777
duv	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Ra [-]	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83
U [V]	230,45	230,85	230,30	230,53	230,08	230,88	230,73	230,53	230,53	230,28	230,90
I [A]	0,414	0,416	0,413	0,415	0,412	0,416	0,415	0,414	0,414	0,413	0,415
P [W]	44,087	44,261	44,041	44,170	43,933	44,333	44,262	44,169	44,174	44,092	44,376
Q [var]	84,080	84,587	83,862	84,148	83,495	84,523	84,303	84,010	83,969	83,668	84,442
S [VA]	95,543	96,078	95,329	95,643	94,959	96,051	95,829	95,526	95,486	95,190	96,004
PF [-]	0,461	0,461	0,462	0,462	0,463	0,462	0,462	0,462	0,463	0,463	0,462
cos φ [-]	0,466L	0,465L	0,466L	0,466L	0,467L	0,466L	0,466L	0,467L	0,467L	0,467L	0,466L
f [Hz]	49,99	49,98	49,98	49,97	49,98	49,98	49,98	49,99	49,99	49,98	49,97

P1.10: Napětíové závislosti zdroje 1, změřené wattmetrem HAMEG HM8115-2 a luxmetrem FX -101.

U [V]	I [A]	P [W]	PF [-]	E [lx]
20,2	0,086	1,697	0,97	0
40,2	0,111	4,415	0,99	1
60	0,133	7,81	0,98	7
80,3	0,153	12,11	0,99	26
100,1	0,171	16,88	0,99	62
120	0,186	21	0,94	122
140	0,202	27	0,96	209
160,2	0,216	30,6	0,88	332
170,3	0,224	34,1	0,89	400
180,1	0,231	37,5	0,9	491
190,1	0,238	41,4	0,91	582
200,5	0,245	45,3	0,92	681
210	0,251	48,6	0,92	795
220,5	0,258	52,9	0,93	891
230,1	0,264	56,7	0,94	1019
240,3	0,271	61,2	0,94	1142

P1.11: Napětíové závislosti zdroje 2, změřené wattmetrem HAMEG HM8115-2 a luxmetrem FX -101.

U [V]	I [A]	P [W]	PF [-]	E [lx]	Q [VAr]	S [VA]
20	0	0		0	0,05	
40	0	0		0	0,04	
60,1	0,088	4,36	0,82	53	3	5,3
80,5	0,082	4,35	0,66	74	5	6,6
100	0,086	5,5	0,64	108	6,6	8,61
119,9	0,088	6,7	0,63	152	8,3	10,66
140,3	0,092	7,92	0,61	189	10,2	12,91
160,1	0,095	8,85	0,58	240	12,2	15,22
170,1	0,095	9,4	0,59	264	13	15,97
179,9	0,095	9,99	0,58	288	13,9	17,15
190,3	0,095	10,59	0,58	309	14,7	18,15
200	0,096	11,17	0,59	333	15,6	19,33
210,1	0,096	11,73	0,58	354	16,3	19,93
220,1	0,096	12,37	0,59	374	17,3	21,25
230,7	0,098	12,97	0,58	395	18,4	22,29
240	0,099	13,53	0,57	421	19,5	23,67

P1.11: Napětové závislosti zdroje 3, změřené wattmetrem HAMEG HM8115-2 a luxmetrem FX -101.

U [V]	I [A]	P [W]	PF [-]	E [lx]	Q [VAr]	S [VA]
20,2	0,121	1,925	0,79	97	1,48	2,41
40	0,11	3,04	0,69	191	3,16	4,41
60	0,12	4,06	0,58	267	5,7	7
80,2	0,1	4,9	0,6	332	6,5	8,19
99,9	0,091	5,3	0,58	364	7,3	9,03
120,1	0,078	5,34	0,57	369	7,8	9,43
140,2	0,073	5,33	0,51	371	8,8	10,3
160	0,07	5,09	0,44	372	9,9	11,22
170	0,065	5,06	0,45	372	10,1	11,33
180	0,067	5,05	0,45	373	10,5	11,63
190,1	0,062	5,08	0,43	373	10,7	11,73
200,2	0,059	5,07	0,43	374	10,6	11,8
210	0,056	5,08	0,43	374	10,5	11,78
219,9	0,054	5,09	0,43	375	10,6	11,75
230,6	0,052	5,1	0,43	375	10,7	11,89
240,3	0,05	5,13	0,43	375	10,9	12,08

P1.12: Napětové závislosti zdroje 4, změřené wattmetrem HAMEG HM8115-2 a luxmetrem FX -101.

U [V]	I [A]	P [W]	PF [-]	E [lx]	Q [VAr]	S [VA]
20	0,02	0,002		0	0,05	0,05
40	0,22	7,16	0,81	290	5,3	8,95
60,2	0,186	7,7	0,69	402	8	11,2
80	0,172	9,7	0,7	503	10	13,8
100	0,15	10	0,67	542	11	15
120,3	0,138	11,23	0,67	554	12,3	16,6
140,1	0,125	10,83	0,61	540	13,8	17,52
160,5	0,116	10,53	0,56	498	15,4	18,6
170,1	0,112	10,46	0,54	497	16,1	19,12
180,3	0,109	10,38	0,53	498	16,6	19,66
190,5	0,107	10,44	0,52	498	17,1	20,08
200,5	0,103	10,44	0,51	500	17,6	20,58
210	0,1	10,51	0,49	504	18,3	21,11
220,1	0,098	10,51	0,48	502	19	21,69
230,1	0,096	10,54	0,47	504	19,5	22,08
240	0,094	10,54	0,47	504	19,9	22,54

P1.13: Napětíové závislosti zdroje 5, změřené wattmetrem HAMEG HM8115-2 a luxmetrem FX -101.

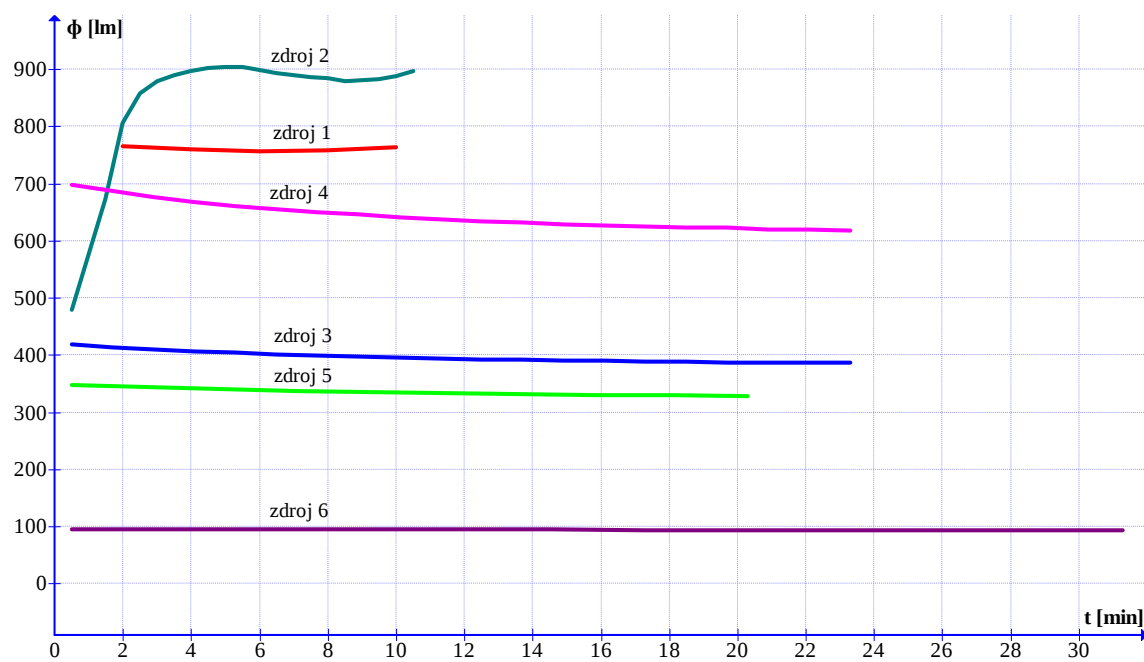
U [V]	I [A]	P [W]	PF [-]	E [lx]	Q [VAr]	S [VA]
20,1	0	0		0	0	0
40	0	0		120	0	0
60,1	0,086	2,24	0,63	183	4	5,16
80	0,085	4,03	0,59	222	5,5	6,83
100,1	0,08	4,36	0,55	237	6,6	7,95
120,1	0,068	4,35	0,53	235	6,9	8,11
140	0,067	4,34	0,46	236	8,3	9,33
160	0,064	4,1	0,4	236	9,3	10,19
170,2	0,061	4,14	0,39	237	9,5	10,53
180,6	0,059	4,21	0,4	239	9,8	10,65
190	0,057	4,24	0,4	239	9,9	10,7
200	0,054	4,28	0,4	240	9,9	10,67
210	0,052	4,3	0,4	241	10	10,9
220	0,05	4,33	0,4	241	10	10,9
230,4	0,048	4,37	0,39	242	10,2	11,13
240	0,047	4,4	0,39	242	10,5	11,42

P1.14: Napětíové závislosti zdroje 6, změřené wattmetrem HAMEG HM8115-2 a luxmetrem FX -101.

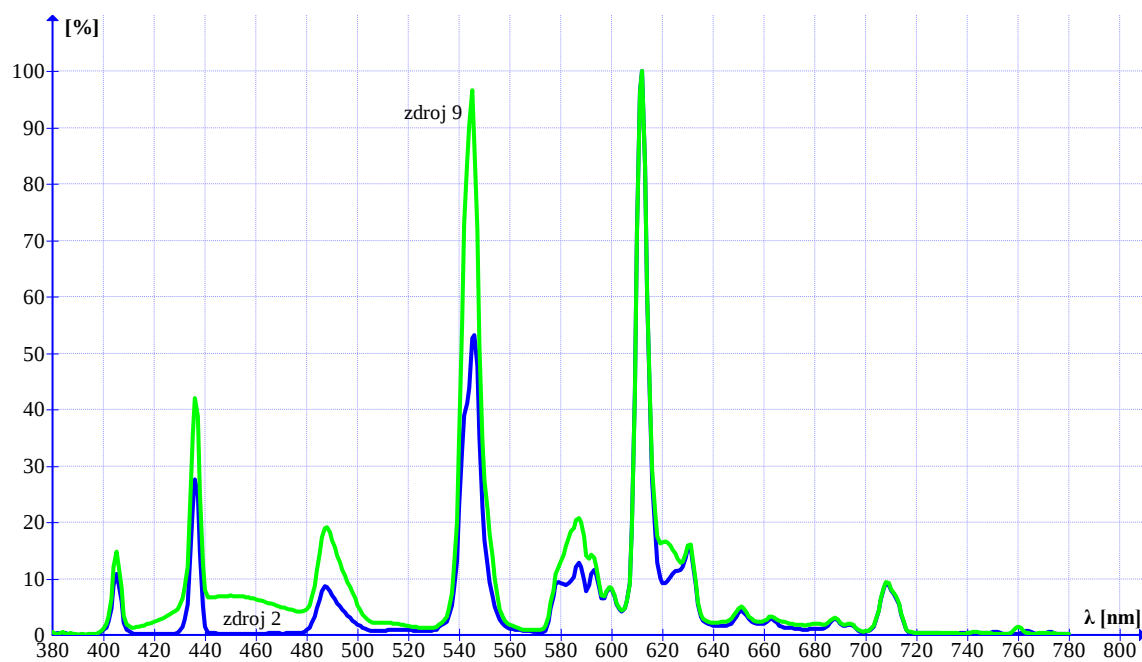
U [V]	I [A]	P [W]	PF [-]	E [lx]	Q [VAr]	S [VA]
20,2	0	0		0		
40	0,001	0,02		0		
60	0,003	0,03		29		
80	0,006	0,12		86	0,5	0,5
100	0,009	0,28		142	0,9	0,9
120,1	0,012	0,45		197	1,4	1,43
140,1	0,015	0,53		252	2	2,06
160,3	0,017	0,62	0,19	306	2,8	2,8
170	0,019	0,64	0,19	330	3,1	3,18
180,2	0,02	0,74	0,2	358	3,6	3,65
190,3	0,022	0,82	0,2	383	4	4,08
200,3	0,023	0,93	0,2	411	4,5	4,6
210,1	0,025	1,04	0,2	435	5	5,1
220,1	0,026	1,13	0,2	456	5,6	5,69
230,1	0,027	1,24	0,2	478	6,2	6,26
235,2	0,028	1,3	0,2	490	6,5	6,58

P1.15: Napětové závislosti zdroje 7, změřené wattmetrem HAMEG HM8115-2 a luxmetrem FX -101.

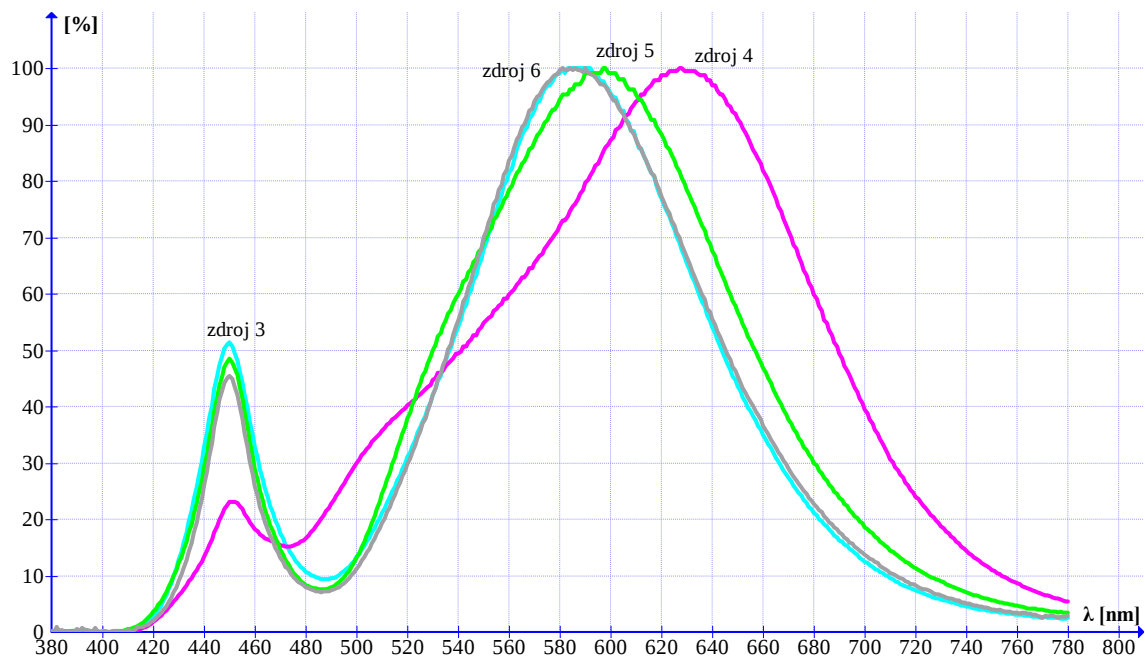
U [V]	I [A]	P [W]	cos φ	E [lx]	Q [VAr]	S [VA]
20,9	0,58	10	0,79	480	7,6	12,3
40,7	0,69	10	0,84	3440	27,9	27,8
60	0,34	19,3	0,93	4170	8	20,7
80	0,25	18,6	0,93	4230	7	20
100,5	0,197	18,4	0,93	4260	7	19,8
120,5	0,164	18,4	0,93	4290	7	19,8
140	0,144	19,81	0,98	4310	3,9	20,19
160,2	0,126	19,51	0,96	4310	5,4	20,22
170,3	0,119	19,53	0,96	4320	5,5	20,29
180,1	0,113	19,56	0,96	4320	5,7	20,37
190,3	0,108	19,61	0,96	4320	5,9	20,46
200	0,103	19,64	0,96	4320	6,1	20,56
210	0,098	19,64	0,95	4310	6,4	20,63
220,3	0,094	19,66	0,95	4320	6,7	20,77
230,9	0,091	19,74	0,94	4320	7	20,92
240,6	0,088	19,79	0,94	4330	7,2	21,06



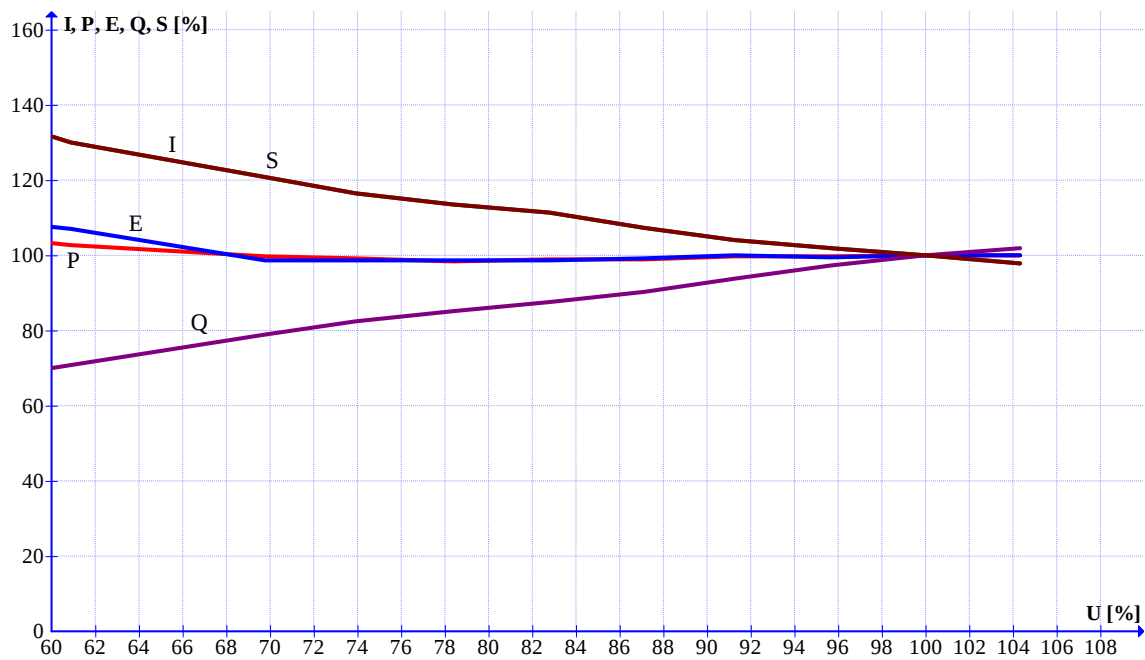
P2.1: Průběh světelného toku v čase po zapnutí světelného zdroje, změřený spektrometrem CS-1000A, Konica Minolta



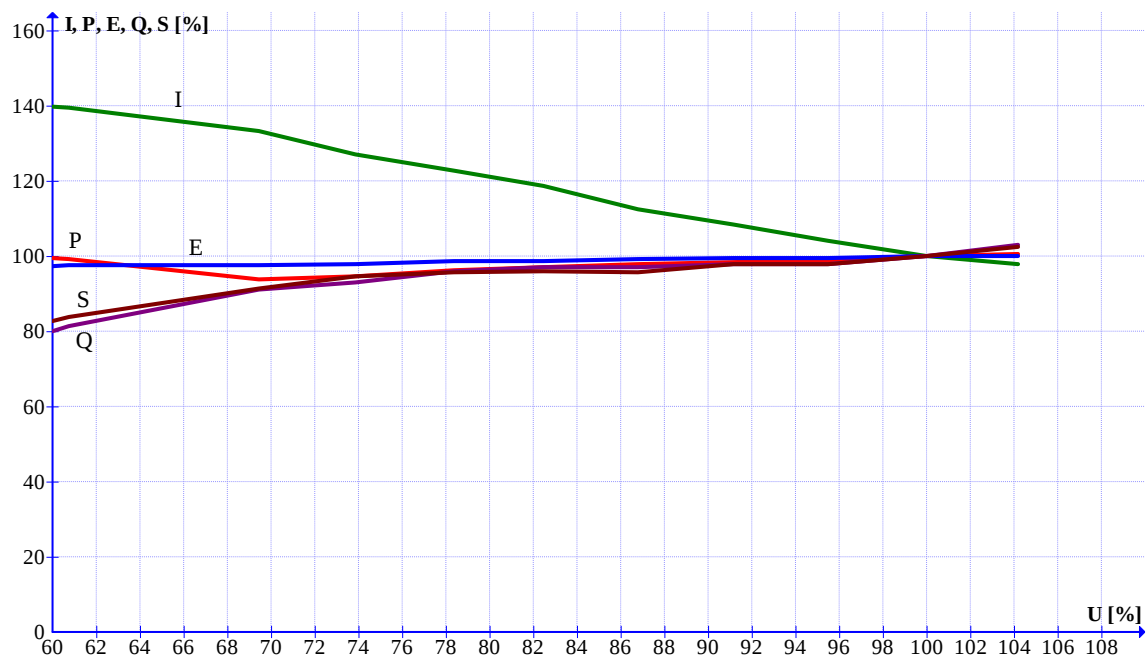
P2.2: Srovnání spekter zdrojů 2 a 9 (kompaktní a lineární zářivky s různou teplotou chromatičnosti), změřené spektrometrem CS-1000A, Konica Minolta.



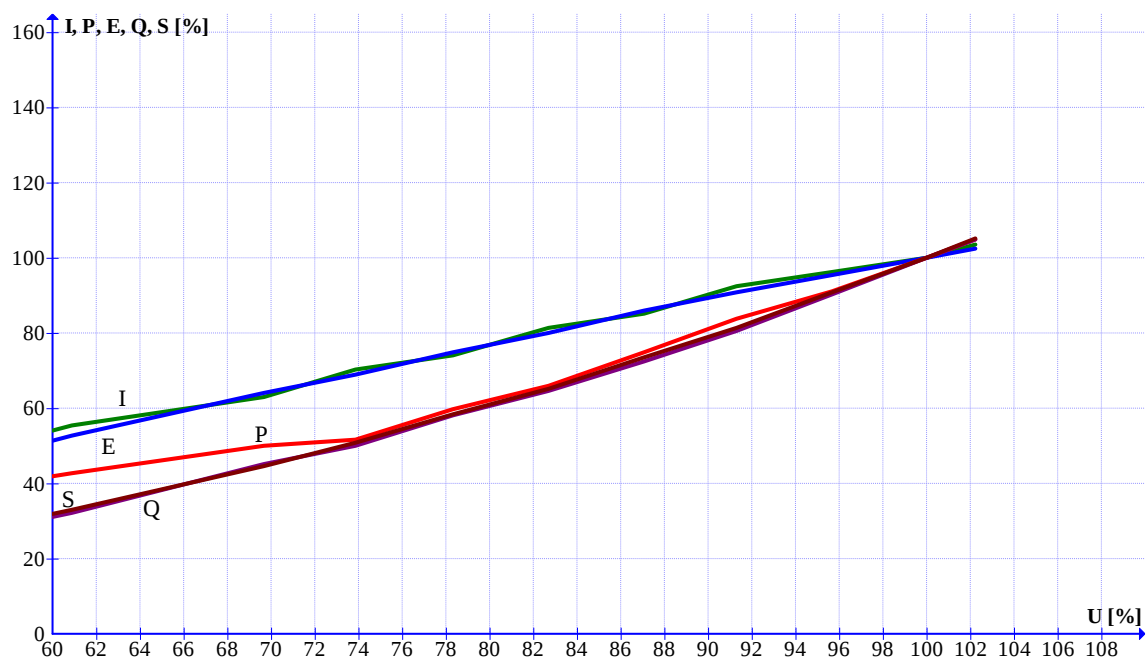
P2.3: Srovnání spekter zdrojů 3, 4, 5 a 6 (LED žárovky), změřené spektrometrem CS-1000A, Konica Minolta.



P2.4: Křížové charakteristiky zdroje 4 (LED žárovka), změřené wattmetrem HAMEG HM8115-2 a luxmetrem FX - 101.



P2.5: Křížové charakteristiky zdroje 5 (LED žárovka), změřené wattmetrem HAMEG HM8115-2 a luxmetrem FX - 101.



P2.6: Křížové charakteristiky zdroje 6 (LED žárovka), změřené wattmetrem HAMEG HM8115-2 a luxmetrem FX - 101.

Parametry LED produktů AFIMO

(parametry udávané výrobcem)

Vysokosvítivé LED trubice 1200 mm - nové

Power	Emitting color	LED Type	LED Q'ty	Input	Luminous Flux	
					Ra≥72	Ra≥80
20W±2.0W	Pure white 5500-6500K	SMD 2835	192 PCS	AC85-277V	2200- 2300LM	2100- 2200LM

Vysokosvítivé LED trubice 1200 mm – standard

Power	Emitting color	LED Type	LED Q'ty	Input	Lumen Ra >72
20W±1.5W	Pure white 3000-3500K	SMD 3014	192 PCS	AC85-265V	1900±100Lm

LED žárovka Epistar

Power	Emitting color	Input	CRI	Lumen
5W	3500K	AC100-220V	>80	400Lm

LED žárovka MCOB

Power	Emitting color	Input	LED Type	Lumen
5.5W	2800-3500K	AC86-240V	MCOB	460 - 550 lm